Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Н.В. Тимофеева-Ресовского

Минск, Беларусь, 17–18 октября 2000 г.

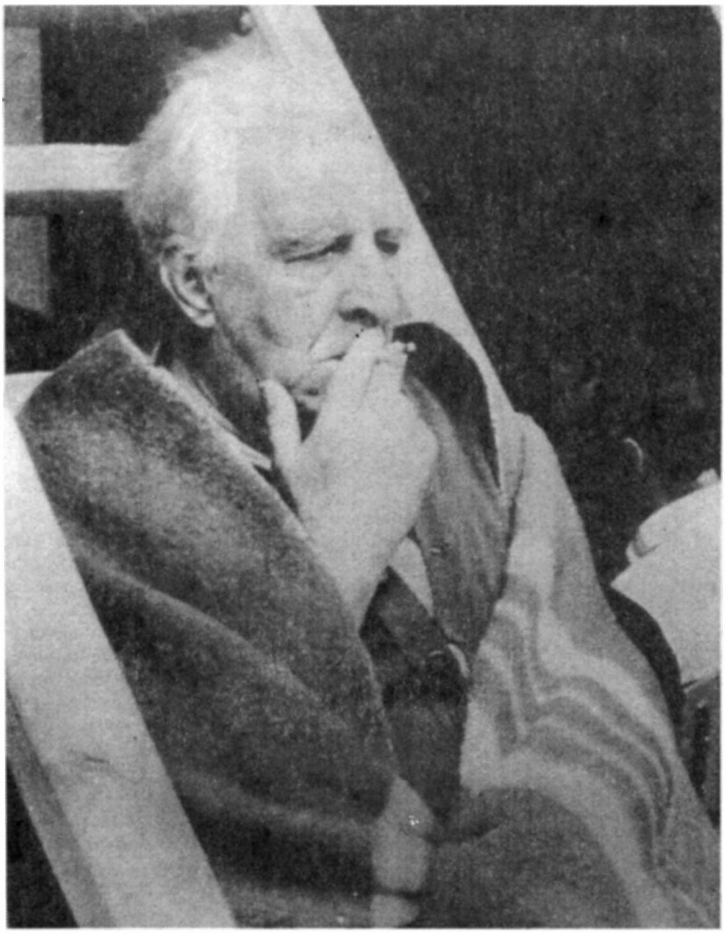
Министерство образования Республики Беларусь
Белорусское общество генетиков и селекционеров
Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова
Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Беларуси

Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Н.В. Тимофеева-Ресовского

Минск, Беларусь, 17–18 октября 2000 г.

Под общей редакцией
доктор биологических наук **А.А. Милютин**
доктор биологических наук **И.Б. Моссэ**

Минск 2000



Н.В. Тимофеев-Ресовский
(7 сентября 1900 г. – 28 марта 1981 г.)

Научный комитет:

А.А. Милютин, д.б.н., ректор МЭУ им. А.Д. Сахарова, **председатель**
И.Б. Моссэ, профессор, зав. лабораторией радиационной генетики Института генетики и цитологии НАН Беларуси, **зам. председателя**
Н.А. Картель, академик, директор Института генетики и цитологии НАН Беларуси
Л.В. Хотылева, академик, президент Белорусского общества генетиков и селекционеров
Н.Н. Тушин, к.т.н., зав. кафедрой радиоэкологии МЭУ им. А.Д. Сахарова
О.В. Чистик, д.с-х.н., профессор кафедры радиоэкологии МЭУ им. А.Д. Сахарова

Организационный комитет:

В.А. Иванюкович, к.ф.-м.н., **председатель**
В.С. Маляров, зам. председателя
А.А. Остроумов, секретарь
С.Б. Бокуть, д.б.н.
М.Е. Михайлова, к.б.н.
В.Д. Свирид, к.б.н.
В.В. Селявко, к.б.н.
И.В. Матецкая
Г.С. Позняк
М.Л. Юркова

Н.В. Тимофеев-Ресовский: судьба ученого и человека

И.Б. Моссэ

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г. Минск, Беларусь

N.V. Timofeeff-Ressovsky — the Fate of the Scientist and of the Human. 7 September 2000 marked the 100-th anniversary of the birth of Nikolaj Timofeeff-Ressovsky (1900-1981), an eminent biologist of the twentieth century. N. Timofeeff-Ressovsky was born in Moscow, where he received his education at a high school and later at Moscow State University. At the University he joined a club of young geneticists who worked together with leading Russian biologists N.K. Koltsov and S.S. Chetverikov. The main topic of their discussions was the origin of mutations. Upon N. Koltsov's recommendation, N. Timofeeff-Ressovsky was appointed for a post at the Brain Research Institute in Berlin-Buch, Germany, where he continued his studies on drosophila together with his colleagues — young scientists K. Zimmer and M. Delbruck. After the Second World War, N. Timofeeff-Ressovsky returned to the USSR, where he was sent by the regime first to a Stalin camp near Karaganda, and then to Site No. 0211, a secret scientific laboratory in the South Urals. There he headed pioneering studies of the biological effect of radionuclides and their impact on ecosystems. Later N. Timofeeff-Ressovsky continued his research at the Institute of Biology of the Urals Branch of the USSR Academy of Sciences (Sverdlovsk) and completed it at the Institute of Medical Radiology of the USSR Academy of Medical Sciences (Obninsk). The basic theme of his studies was the determination of the coefficient of radionuclide accumulation by water and different representatives of biota. During all his creative period of life N. Timofeeff-Ressovsky devoted himself to the research in radiation genetics and general radiology, radiation biogeocenology and evolution theory. His name is associated with the concept of «hitting the target», the booster concept, mutation theory, basic aspects of microevolution, foundations of radiation biogeocenology, and other well-known branches of science developed by him together with his disciples and colleagues.

7 сентября 2000 г. исполнилось 100 лет со дня рождения одного из крупнейших биологов XX века — Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского. Николай Владимирович родился и окончил гимназию в Москве, учился в Московском университете. Ученик Н.К. Кольцова и С.С. Четверикова, генетик по образованию и по сути, Н.В. Тимофеев-Ресовский внес неоценимый вклад не только в радиационную и молекулярную генетику, но и в радиобиологию, радиоэкологию, эволюционное учение, биогеоценологию, биофизику и даже в космические исследования. О широте его интересов и заслуг говорит перечень членства Тимофеева-Ресовского в различных академиях и обществах мира — действительный член (академик) Германской академии естествоиспытателей в Галле (ГДР) — Леопольдина; почетный член Американской академии наук и искусств в Бостоне (США); почетный член Итальянского общества экспериментальной биологии (Италия); почетный член Менделевского общества в Лунде (Швеция); почетный член Британского генетического общества в Лидсе (Великобритания); почетный член и член-учредитель ВОГиС им. Н.И. Вавилова (СССР); научный член общества содействия наукам им. Макса Планка (ФРГ); действительный член МОИП, Всесоюзного географического общества (СССР), Всесоюзного ботанического общества; лауреат медалей и премий Лацоро Спалланцани (Италия), Дарвинской (ГДР), Менделеевской (ЧССР и ГДР), Кимберовской (США). Он не был избран только членом Российской Академии наук.

Этот человек был настолько необыкновенным, а судьба его настолько драматичной, что о нем написано немало книг и создано немало фильмов, причем не только в нашей стране, но и за рубежом. Благодаря силе и мощи его натуры, Николай Владимирович получил прозвище «Зубр» — так названа известная книга Даниила Гранина /1/ и серия фильмов Е.С. Саканян — «Рядом с Зубром», «Охота за Зубром» и т.д.

Судьба Николая Владимировича вначале складывалась вполне счастливо. По его словам ему повезло вдвойне — быть учеником Н.К. Кольцова и встретить свою большую и пламенную любовь: в 22 года он женился на Елене Александровне Фидлер, ставшей его неизменной спутницей и помощницей, как в жизни, так и в науке. Николай Владимирович интересовался филогенетикой и вместе с Еленой Александровной исследовал плейотропное действие генов, влияние внешней среды, и в частности температурных воздействий на проявление признаков. Будучи еще студентом и изучая природу мутаций у дрозофилы, ввел понятие «пенетрантность» и «экспрессивность», которыми мы пользуемся до сих пор.

Он вошел в круг молодых генетиков «гнезда» Кольцова — Н.П.Дубинина, Б.Л. Астаурова, А.С. Серебровского, П.Ф. Рокицкого и др. Участвовал в биологическом кружке под руководством С.С. Четверикова «Дрозсоор» (совместный «ор» дрозофилистов). Главная тема дискуссий — происхождение мутаций.

В 1925 г. в Москву приехал немецкий ученый Оскар Фогт для изучения мозга В.И. Ленина. Познакомившись с работами Института, возглавляемого Н.К. Кольцовым, О. Фогт задумал создать в Берлине генетический отдел и попросил Кольцова порекомендовать ему кого-нибудь для этой цели. Николай Владимирович был очень горд, что едет за рубеж не учиться, как это было принято в России, а учить! Тимофеев-Ресовский стал руководителем Отдела генетики и биофизики Института исследования мозга в Берлин-Бухе. Там он продолжил исследования на дрозофиле. Его учениками были К.Г. Циммер и М. Дельбрюк, ставшие впоследствии знаменитыми учеными. В 1935 г. вышла их совместная книга «О природе генных мутаций и структуре гена», оказавшая большое влияние на последующее развитие молекулярной генетики.

В 30-ых годах он начал свои радиоэкологические исследования. Круг его общения расширился и включал математиков, физиков, генетиков. Среди них Н.Х.Д. Бор, А. Буццати-Траверзо, С. Дарлингтон, Э. Шредингер, Т.Х. Морган, Г.Дж. Меллер, Д.Э. Ли, Г. Штуббе и др. А известные Нобелевские лауреаты Дж.Д. Уотсон и Ф. Крик считали себя внуками Тимофеева-Ресовского, поскольку были учениками Дельбрюка. Как писал сам Тимофеев-Ресовский, ему посчастливилось принимать участие в ряде семинаров «Круга Нильса Бора» в Копенгагене, а также организовать совместно с Б.С. Эфрусси небольшую (около 20 человек) международную группу физиков, химиков, цитологов, генетиков, биологов и математиков, заинтересованных в обсуждении важнейших проблем теоретической биологии. Эта группа собиралась в конце 30-ых годов, до начала войны.

Длительная командировка в Германию обернулась страшной трагедией для Николая Владимировича и его семьи. Когда в конце 30-ых годов Николай Владимирович решил вернуться на Родину, ему кружным путем передали письмо Н.К. Кольцова. В нем Николай Константинович описывал репрессии, которым подвергались генетики в нашей стране в те годы, и настоятельно советовал подождать с возвращением до лучших времен. Так Н.В. Тимофеев-Ресовский стал «невозвращенцем». Война 1941-45гг. усугубила положение Николая Владимировича. Его старший сын, член подпольной антифашистской организации, погиб в концлагере Маутхаузен. Тем не менее Тимофеев-Ресовский, рискуя своей жизнью и семьей, помогал советским военнопленным и спас немало жизней.

После окончания войны Николай Владимирович получил несколько приглашений переехать со своими немецкими коллегами в США или в страны западной Европы, но он

хотел вернуться на Родину, передать своему народу накопленные знания, однако был обвинен в невозвращении на Родину и попал в Карагандинский концлагерь, где едва не умер. Полумертвого его разыскали и после лечения в тюремной больнице перевезли на секретный объект атомной системы на Южном Урале (г.Сунгуль). Он был не свободен, но имел все необходимое для жизни и научной работы. Начался знаменитый Уральский период в жизни Тимофеева-Ресовского. Он возглавил пионерские исследования по биологическому действию радионуклидов и их судьбе в экосистемах и был заведующим лабораторией, не имея даже кандидатской степени. К нему потянулись и ученые, и недипломированная молодежь — Николай Владимирович притягивал не только своей высочайшей научной квалификацией, но и необыкновенностью своей натуры. Он был и аристократом (балетоманом, искусствоведом), и простым русским мужиком.

В середине 50-ых годов поведение радионуклидов в природной среде изучалось на биофизической станции «Миассово». Там под руководством Н.В. Тимофеева-Ресовского работали ученые Москвы, Ленинграда и других городов. Семинары, проводившиеся в Миассово, помнят все, кому посчастливилось там побывать. Например, в жаркое время года заседание проходило в воде озера Б.Миассово. Молодые девушки в купальниках сидели на берегу и держали таблицы. Слушатели сидели в воде. Туда же периодически погружались и докладчики. От остальных участников семинара их отличало наличие не только плавок, но и галстука.

Вот как характеризует этот период времени ученица Тимофеева-Ресовского М.Я. Чеботина: «Миассовский период при Николае Владимировиче был не только самым интересным, но и самым важным с точки зрения того вклада, который он внес во все последующие жизненные ситуации. Он заложил в нас ту фундаментальную основу, на которой в дальнейшем строилось не только отношение к науке, но и к жизни. Миассово было тогда Божественным ашрамом науки, а Николай Владимирович в нем — Бог, Учитель, Святой» /2/.

В 1955 г. была снята судимость с Н.В. Тимофеева-Ресовского и после 30-летнего перерыва он смог приехать в Москву. В 1957г. защитил докторскую диссертацию, однако ВАК не утвердила результатов защиты! И только в 1964 г. Николаю Владимировичу после повторной защиты удалось получить степень доктора биологических наук. Он становится заведующим Отделом радиобиологии и генетики Института медицинской радиобиологии АМН СССР в г.Обнинске. К этому периоду относятся его контакты с белорусскими генетиками (в частности с его другом П.Ф. Рокицким) и его приезд в г.Минск в качестве оппонента по докторской диссертации Н.А. Троицкого.

Везде, где довелось побывать Николаю Владимировичу, он организовывал неформальные и свободные научные кружки, так называемые «коллеквии», что очень оживляло жизнь и помогало в работе. Такие «коллеквии» он создавал в Москве, Германии, Свердловске, Обнинске и даже в Бутырской тюрьме, где среди участников семинаров были и А.И. Солженицын, и отбывавшие заключение «святые отцы». Всюду он сеял семена правды, любознательности и сомнения. Так, он считал, что наука никаких окончательных знаний не дает и что в этом убеждаются все «крупные ученые». А смысл жизни видел в «непостыдной смерти». Да, Николай Владимирович прожил свою нелегкую жизнь так, что мог ею гордиться. Он не боялся говорить «опасную» правду, и слушатели недоумевали, как может человек, побывавший в лагере, говорить такое, за что может снова попасть в лагерь. Он был несгибаем.

Н.В. Тимофеев-Ресовский и А.И. Солженицын

Научные достижения Н.В. Тимофеева-Ресовского столь многочисленны и разнообразны, что трудно поверить, что все они принадлежат одному человеку. Вот что писал Николай Владимирович в своей автобиографической записке: «...мне пришлось принять посильное участие в разработке принципов попадания, мишени и усилителя в радиобиологии; в разработке и классификации явлений изменчивости фенотипического проявления в основном последних стадий постэмбрионального развития признаков, определяемых теми или иными мутациями под влиянием генотипической, внешней и внутренней среды; в области феногенетики, феноменологии проявления генов и, наконец, в разработке элементарных материала и факторов микроэволюционного процесса и соотношений между микро- и макроэволюцией» /3/.

За 10 дней до смерти Николая Владимировича (которая произошла 28 марта 1981 года) к нему в больницу отец Александр Борисов (кстати, бывший ранее генетиком, кандидат биологических наук) привел отца Александра Меня. Позже отец А.Мень говорил, что был удивлен мощи Николая Владимировича, силе его духа, свободе, юмору и вере!

Таким был этот необыкновенный человек, таким он и остался в памяти его многочисленных учеников и всех тех, кому судьба подарила счастливую возможность общения с «Зубром».

Литература

1. Гранин Д. Зубр. – Новый мир. №1-2. 1987.
2. Тимофеев-Ресовский на Урале. – Екатеринбург. 1998.- 160с.
3. Тимофеев-Ресовский – ОИЯИ. Дубна. 2000.- 51с.

Н.В. Тимофеев-Ресовский и традиции "кружкового" образования

А.И. Вернер, И.В. Вуевская

Гомельский государственный медицинский институт, г. Гомель, Беларусь

N.V. Timofeeff- Ressovsky and traditions of "circle" for studuing. In this paper N.V.Timofeeff-Ressovsky methodological principles are shown in point of wiew of pedagogic.

Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский, столетие которого все мы сейчас отмечаем, оставил огромное научное наследие в фундаментальных разделах биологии - разработке учения о микроэволюции и соотношения ее с макроэволюцией; разработке основополагающих принципов ядерной биологии и медицины - принципы попадания, мишени и усилителя; разработке учения о феноменологическом проявлении генов. Огромная заслуга принадлежит ему в области комплексного осмысления биосферных процессов и прогнозирования нарушений в их течении на всех уровнях организации живого [1].

Нужно сказать и о такой малоисследованной пока области, как методология педагогического процесса не только при изучении биологических дисциплин, но и в целом. Речь идет о научных кружках, где Н.В. Тимофеев-Ресовский участвовал или был их организатором.

Качество подготовки врача-специалиста закладывается с первых минут обучения в высшем медицинском заведении. Этот фактор имеет значение не только для рейтинга ВУЗа, но и определяет в целом уровень здравоохранения в стране. Несмотря на обилие учебных программ, различного рода пособий, проведение соответствующих конференций, проблемы качества обучения врачей не убывают, а с течением времени утяжеляются и трансформируются.

На наш взгляд отсутствие философской культуры и глубокого понимания истории науки в отношении медицины проявляются невозможностью сформировать базис клинического мышления, а в некоторых случаях он просто-напросто отвергается как ненужный элемент врачебного образования.

При подготовке учебно-методических пособий по различным аспектам патофизиологии, у нас сформировалась идея организации методологического кружка. В истории науки было несколько примеров, являющих выдающийся уровень понимания и значимости методологии – "Боровский круг – Bohr Kries", ДРОЗСООР, описанный Н.В. Тимофеевым-Ресовским, семинары в Б.Миассово, семинары академика П.Л. Капицы ("капичники" по средам на физфаке МГУ), методологический кружок П.Г. Щедровицкого.

Н.В. Тимофеев-Ресовский в "Автобиографической записке" указывал: "Теоретическому осмысливанию и упорядочению получаемых в экспериментах и наблюдениях результатов мне очень помогли два обстоятельства. Во-первых, с начала 20-х годов группой С.С. Четверикова в Институте Н.К. Кольцова был организован кружок по совместному обсуждению всех проводимых нами работ и важнейшей литературы по интересующих нас

вопросам (вскоре, примерно с 1922 г., с появлением у нас в качестве главного экспериментального объекта – дрозофилы – этот кружок получил прозвище "Дрозсоор"). В дальнейшем, в течение всей своей жизни, я со своими сотрудниками и ближайшими личными друзьями из других лабораторий всегда организовывал такие же совершенно неформальные и свободные кружки, что очень оживляло научную жизнь и помогало в работе. Во-вторых, большое влияние на развитие моих научных интересов и на достижение мною и рядом наших сотрудников достаточной строгости в формулировках необходимейших биологических понятий сыграло счастливое сочетание условий, позволившее мне познакомиться, в ряде случаев навсегда сдружиться и в некоторых случаях научно сотрудничать или консультироваться со многими крупнейшими математиками, физиками, химиками, геологами, географами, биологами, не только в нашем отечестве, но и за границей...".

Начавшись в 10-ых годах нашего столетия с домашних постановок межгимназического обьединения "Сикамбр" (из древне-германской мифологии - дерзкий, дикий – по названию одного из варварских племен (принадлежит Сатину из пьесы М.Горького "На дне")) до семинаров в Б.Миассово, восстановивших "настоящую" генетику – такой путь прошли кружки Н.В. Тимофеева-Ресовского. Эти кружки были очень разные - достаточно вспомнить Берлин-Бух, тюремные лекции – но во всех в них сквозила "сикамбрность" мышления, которая помогла выстоять человеку под натиском тоталитарной машины. Сейчас нас интересует не конкретный вклад в разработку той или иной области радиационной генетики и биологии в целом. Он огромен. Важна атмосфера, энергетика этих кружков. Важно и то, что эти кружки указали на лиц вкупе и под магическим влиянием "Зубра", стоявших у истоков возрождения биологии. Концентрация этих умов (М.А. Реформатская), проводимая Н.В. Тимофеевым-Ресовским, помогла и в преодолении автономности мысли с постепенным формированием полифонии, используя терминологию М.М.Бахтина. Именно это и был Диалог культур, но диалог обучающий. К большому сожалению не сохранилось достоверных сведений, был ли Н.В. Тимофеев-Ресовский знаком с философскими трудами М.О. Гершензона (кроме личного знакомства), во всяком случае жизнь "Зубра" является очень верной иллюстрацией работы упомянутого философа "Творческое самосознание", опубликованной еще в 1909 г. в сборнике "Вехи". Действительно, "Зубр" был "обречен осуществлять собственной жизнью... исторический перелом", не только в рамках науки, но и в жизни отдельно взятого человека во время политической катастрофы в его стране. Она сохранила его жизнь, сберегла для науки, помогла преодолеть "формальность мышления". От простого перечисления участников "кружков" просто захватывает дух - все они на слуху у современных ученых, работающих в русле радиационной генетики, молекулярной биологии, биосфероведения.

Нобелевский лауреат 1987 г. поэт И. Бродский по-другому поводу как-то заметил: "... в России XIX кончился в 1917 году, на Западе он все еще продолжается". Слог "Воспоминаний" Н.В. Тимофеева-Ресовского, который, между прочим, угадывается и в сугубо научных работах, несмотря на все усилия редакторов, галантность поведения, и в тоже время безапелляционность поступков, "кружковщина" образования (термин "Зубра") роднят его с прошлым столетием. Именно поэтому это был и остается Диалог столетий.

Наша инициатива, навеянная изучением трудов и жизни Н.В. Тимофеева-Ресовского, предусматривает следующее.

Общая философская культура рождается из потребности осознать современное бытие и здесь крайне велика роль преподавателя, указывающего на ключевые труды выдающихся философов и естествоиспытателей. "Замечания о развитии моего ума и характера" Ч. Дарвина, "Философские основы цельного знания" В.С. Соловьева, "Самопознание"

Н.А. Бердяева, "О понимании" В.В. Розанова, "Научная мысль как планетное явление" В.А. Вернадского задают тон, это и есть та "анатомия рассудка" о которой говорил П.А. Флоренский. Конечно, для полноты рассматриваемой картины и глубокой проработки ее, необходимо участие в этом процессе многих кафедр и такой междисциплинарный подход должен быть всегда. На втором этапе наукоучения (в концепции Библера В.С.) необходимо затронуть работы М.К. Мамардашвили, А.Ф. Лосева, В.Н. Топорова и других представителей мысли.

Естественно-исторический блок в методологическом плане должен быть представлен работами А.А. Богданова по тектологии ("Всеобщая организация науки") и исследованиями А.А. Любищева и С.В. Мейена.

Мы намеренно не говорим здесь об общем подходе к патогенезу болезней, развиваемом сейчас на кафедрах общей патологии и в соответствующих учебниках. Мы считаем, что для комплексного их восприятия должен быть подготовленный ум, это - конечная цель методологического кружка.

В примечательной с точки зрения педагога книге М.С. Шагинян "Четыре урока у Ленина" [2] автор указывает, что педагогика обращена к совершенствующемуся в человеке. Н.В. Тимофеев-Ресовский не оставил сугубо педагогических трудов, в то же время дух фундаментального образования был важнее "томов философии". "Я здесь для того, чтобы поддержать качество дискуссии между Вами" – такой нравственный и дидактический императив должен определять поведение преподавателя как на занятии, так и при подготовке к нему.

Литература

1. Тимофеев-Ресовский Н.В. Воспоминания / Сост. Н.И. Дубровина. - М.: Издательская группа "Прогресс", "Пангея", 1995. - 384 с.

2. Шагинян М.С. Билет по истории; Четыре урока у Ленина; Очерки и статьи. - М.: Худож. лит., 1980. - 367 с.

РАДИОЭКОЛОГИЯ

Состав свободных аминокислот почв сосновых лесов в условиях радионуклидного загрязнения

А.Л. Ефремов

Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

«The composition of the free amino-acids from the soil of the pine-tree forests in the condition of radionuclide contamination». The migration of free amino-acids, as an index of biological soil activity, determine not only the specific of nitrogen-microbial metabolism and ecological situation of radio-nuclide contamination but obviously the possibility of amino-acid remains with water-solved and metabolite form of radionuclides complex.

В последнее десятилетие в связи с аварией на Чернобыльской АЭС особенно актуальной остается проблема влияния радионуклидного загрязнения на почвенную микробиоту. Прочность закрепления радионуклидов в почве, их участие в миграционных процессах и скорость включения в трофические цепи неразрывно связаны с микробиологическими процессами трансформациии органического вещества. Наличие в почве водорастворимой, обменной и подвижной форм радионуклидов убеждает в возможности их микробного метаболизма с участием таких биологических соединений, как ферменты, аминокислоты и нуклеиновые кислоты.

В почвах, загрязненных радионуклидами, изучена численность микроорганизмов и состав микробных метаболитов, выявлены уровни радиационного фона окружающей среды, снижающие интенсивность микробиологических процессов (100-200 Ки/км^2) и отмечающие возрастание микробно-метаболитного пула (10-50 Ки/км^2) почв. Специфика микробной трансформации включает посредническую функцию некоторых метаболитов в разложении органического вещества почв и трансформации его остатков [1]. В число таких соединений входят свободные аминокислоты, количественная оценка содержания которых является одним из методов определения биологической активности почв.

Специфика азотного метаболизма почв состоит не только в том, что протеолитические ферменты гидролизуют белки до полипептидов и аминокислот, а затем при участии дезаминаз разлагаются до аммиака и органических кислот, но и в конструкции структурных единиц гумусовых веществ на основе конденсации с полифенолами, моносахарами и уроновыми кислотами. Среди методов определения биологической активности почв оценка

содержания свободных аминокислот и азотсодержащих соединений проводится хроматографическим анализом количественно-качественного состава и аппликационным способом микробного разложения клетчатки.

В почвах загрязненных радионуклидами сосновых фитоценозов идентифицировано 13 свободных аминокислот: аспарагиновая, серин, глицин, глютаминовая, треонин, аланин, гамма-аминомасляная (ГАМК), тирозин, валин, метионин, фенилаланин, лейцин с изолейцином. Общее содержание свободных аминокислот варьирует от 1,66 до 6,51 мг/кг почвы. Наибольшее их количество обнаружено в дерново-палево-подзолистых почвах елово-кисличных сосняков в Могилевской обл. Высокие показатели содержания свободных аминокислот выявлены в почвах мшистых и черничных сосняков в Наровлянском и Хойникском лесхозах при уровне радиации 10-20 Ки/км^2 в сосновых фитоценозах Ветковского и Оревичевского лесничеств Чечерского и Первомайского лесхозов, а также в почвах мшистых сосняков в Кировском и Брагинском лесничествах Наровлянского и Комаринского лесхозов при уровне радиационного излучения 5-20 Ки/км^2.

По качественному составу в изученных почвах среди моноаминокарбоновых аминокислот преобладают: серин с глицином (12,68-23,04%), аланин (7,75-17,08%), лейцины (6,16-18,67%); среди моноаминодикарбоновых – аспарагиновая (5,14-18,07%), глютаминовая (7,41-21,29%); из ароматических – тирозин ((5,76-28,87%). Не были обнаружены основные аминокислоты: цистеин, лизин, гистидин, не всегда идентифицировались валин с метионином (4,42-10,58%), фенилаланин (4,93-16,24%) и ГАМК (1,20-8,81% от общего количества аминокислот). Свободные аминокислоты составляют 0,05-0,1% от органического вещества, 0,9-1,2% от общего и 18-25% от легкогидролизуемого азота почвы. Аминный азот составляет 0,20-0,78 мг/кг почвы или 11-14% от общего количества свободных аминокислот.

Динамика свободных аминокислот повторяет картину распределения микроорганизмов и нуклеиновых кислот, однако диапазон их варьирования значительно уже [2]. Миграция аминокислот, возможно, диагностирует не столько специфику и уровень радионуклидного загрязнения, сколько, по-видимому, возможность комплексации аминокислотных остатков с водорастворимыми и обменными формами радионуклидов, что способствует их выделению из сорбционного состояния и дальнейшей дезактивации.

На площадках закладки аппликационных опытов в дерново-подзолистой песчаной почве сосновых лишайниковых фитоценозов содержание свободных аминокислот составляло 1,41-2,97 мг/кг почвы, аминного азота – 0,17-0,35 мг/кг почвы. В почвах площадок с высокой экспозиционной дозой излучения 1250-1500 мкР/ч. в наибольшем количесиве были представлены аспарагиновая, серин с глицином и глютаминовая аминокислоты (0,26-0,32 мг/кг почвы). Здесь отсутствовали ГАМК, валин с метионином и фенилаланин. Содержание аминокислот в почвах аппликационных площадок с экспозиционной дозой излучения 250-500 мкР/ч. возрастало в 1,5-2 раза по сравнению с двумя первыми площадками, где практически присутствовали все ранее обнаруживаемые аминокислоты, с возрастающей долей участия треонина, аланина, тирозина и лейцинов. Почва аппликационной площадки с экспозиционной дозой излучения 250 мкР/ч. выделяется не только высоким содержанием аминокислот, но и доминированием группировок: серина с глицином (0,57 мг/кг), аланина(0,32 мг/кг) и лейцина с изолейцином (0,58 мг/кг почвы). По этим результатам получается, что уменьшение экспозиционной дозы излучения способствует накоплению в почве свободных аминокислот.

Изучение динамики разложения аппликационных материалов в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв сосняков лишайникового типа при различных уровнях радионуклидного загрязнения от 250 до 1500 мкР/ч. в процентах от массы контрольных образцов выявило: 1) очень низкую скорость разложения полиэтиленовой пленки (1,6-3,3%), 2) среднюю – льняной ткани (35,2-68,7%), 3) заметно высокую – фотобумаги и бумажных фильтров (73,2-86,9% и 73,7-96,7%). Извлеченные из почвы полотна льняной ткани обладали нингидринположительной реакцией. Эти данные свидетельствуют об отсутствии очень

заметных изменений всех разрушающихся аппликационных материалов в соответствии с экспозиционной дозой излучения, однако наиболее интенсивнее эти процессы идут при 1500 мкР/ч. и 500 мкР/ч. Скорость разложения аппликационных материалов во многом зависит от микробиологических процессов и влажности почвы [3].

Влияние экспозиционной дозы излучения на интенсивность разрушения аппликационных субстратов тесно связана с почвенно-климатическими особенностями и, возможно, здесь снижение уровня радиационного фона стимулирует общий пул микроорганизмов и микробных метаболитов, но не специфичных эколого-трофических (азот-минерализующих) микробных группировок. Это также обнаруживается при сравнении данных по содержанию свободных аминокислот и скорости разрушения аппликационных материалов.

По совокупности оценки биологической активности почв результаты аппликационных опытов более приближены к естественным природным условиям и наиболее полно отражают как почвенно-климатические особенности, так и техногенно-стрессовые нагрузки.

Литература

1. Ефремов А.Л. Индикация радионуклидного загрязнения хвойных лесов по активности почвенной микробиоты//Почвоведение, 1997, № 6, С.743- 749.

2. Ефремов А.Л. Зонально-типологический анализ биогенных процессов в почвах сосновых лесов Беларуси: Автреф. дис. доктора биол. наук (03.00.05/03.00.16) Минск: ИЭБ НАН Б – 1999. 40 с.

3. Ефремов А.Л. Биологическая активность и динамика разложения аппликационных материалов в почвах лесных биогеоценозов в связи с их радионуклидным загрязнением//Почвоведение, 1999, № 10, С. 1273-1279.

Динамика радиоактивного загрязнения почвенной мезофауны

С.Л. Максимова

Институт зоологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

The dynamics of the radioactive contamination of soil mezofauna. We carried out the pedobiological research in the forest biogeocenoses in the zone of radioactive contamination. Obtained results were analyzed for all soil invertebrates. The study showed that the species composition is more poor under the increasing level of radioactive contamination - was found the disturbance of the trophic structure. Hematological properties of the invertebrates seem to be a convenient bioindicator of radiocontamination impact upon the biogeocenoses.

Изучение воздействия ионизирующих излучений на наземные экосистемы, а особенно, на их животное население - зооценозы, немыслимо без наблюдений над почвенными животными. На долю почвенной фауны приходится 90 - 95% числа всех видов, составляющих зооценоз, и не менее 90% зоомассы.

В качестве модельного биогеоценоза выбран сосняк мшистый, д. Бабчин (Гомельская область, Хойникский район). В сосняке мшистом систематические исследования проводятся с 1990 г. В качестве реперных точек выбраны участки данного лесного биогеоценоза с разным уровнем радиоактивного загрязнения: повышенный (150 - 190 мкР/час) и пониженный (120 - 130 мкР/час).

Сбор материала проводили в течение вегетационных периодов 1990 - 2000 г. (с середины апреля по октябрь). Для изучения видового состава комплекса поверхностно-почвенных членистоногих использовали стандартную методику отлова их в ловушки Барбера (Тихомирова, 1975). В качестве ловушек были использованы полистирольные стаканчики объемом 0,2 л и диаметром горловины 72 мм, наполненные на 1/3 объема 4 %-ным формалином. Для сбора живого материала формалин не использовали, а ловушки заполняли на 1/3 почвой.

Для проведения гемоцитологических исследований у всех собранных беспозвоночных брали гемолимфу. Мазки гемолимфы сушили, фиксировали спиртом-ректификатом и фиксировали азур-эозином по Гимза-Романовскому (стандартный метод). Процентное соотношение разных групп гемоцитов определяли подсчета в 10 полях зрения микроскопа серий по 100 гемоцитов, классификацию которых проводили по М.И. Сиротиной (1949). Одновременно проводили учет патологических, мертвых и делящихся клеток.

Для оценки радиационной ситуации при проведении исследований на территории обследуемых биогеоценозов были выделены модельные участки и определены фиксированные точки для установки ловушек. Выбранные точки привязки оставались постоянными в течение всего периода проведения исследований. В каждой контрольной точке ежегодно проводили гамма-съемку и отбор образцов подстилки и почвы для радиоспектрометрического анализа.

В результате проведенных исследований нами изучена динамика комплексов почвенных беспозвоночных, а также экологических последствий длительного воздействия малых доз ионизирующего излучения на организменном уровне на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС и изъятых их хозяйственного использования. В результате данных исследований выявлены некоторые основные тенденции изменений в сообществах почвообитающих беспозвоночных, заключающиеся в изменении трофической структуры и снижении динамической плотности почвенных беспозвоночных в реперных точках с большей мощностью экспозиционной дозы, а также в изменении структуры доминирования отдельных семейств и видов.

Отмечена высокая численность долгоносиков - вредителей лесного хозяйства. Получены данные, характеризующие физиологическое состояние популяций модельных видов и групп животных в зоне, пострадавшей от аварии на ЧАЭС. Проведено цитологическое исследование гемолимфы беспозвоночных, обитающих в реперных точках с разным уровнем радиоактивного загрязнения. Отмечено увеличение доли мертвых клеток в гемолимфе при увеличении мощности экспозиционной дозы. Выявлены патологические признаки изменения гемолимфы, выражающиеся в изменении окраски цитоплазмы и распаде ядер. Отмечен низкий уровень кроветворения. Показано, что гематологические характеристики беспозвоночных могут служить удобным биологическим индикатором изменения радиационной ситуации в биогеоценозах.

Выводы:

На участках с различным рельефом в 1990 - 1999 гг. в сосняке мшистом в зоне слабого радиоактивного загрязнения выявлены различия в структуре населения почвенной мезофауны. На повышенном участке отсутствуют представители двух семейств - пластинчатоусые и мертвоеды, не выявлены многоножки (как губоногие, так и двупарноногие), дождевые черви и слизни. Динамическая плотность почвенной мезофауны повышенного участка в 3 раза ниже таковой, отмеченной для почвенных беспозвоночных пониженного участка.

В 2000 г. в сосняке мшистом (повышенный участок, пониженный участок) выявлены изменения в структуре доминирования отдельных семейств и видов по сравнению с предыдущими годами исследований.. Доминирующее положение занимают фитофаги (повышенный участок), доля зоофагов значительно снижается, зоофаги доминируют на участке с пониженным рельефом.. Сапрофаги практически отсутствуют на всех участках.

В 2000 г. в данной реперной точке отмечено повышение доли мертвых клеток в гемолимфе беспозвоночных до 19 %, что выше таковой, отмеченной в предыдущие года исследований на 7 - 9 %.

Литература

1. 1.Сиротина М.И. Генезис форменных элементов крови здоровых и больных желтухой гусениц и бабочек дубового шелкопряда. - Докл. ВАСХНИЛ. 1949. - Т.4, №1. - С. 22 -28.

2. 2. Тихомирова А.Л. Учет напочвенных беспозвоночных. - Методы почвенно-зоологических исследований. - М.:Наука, 1975. - С. 73 - 85.

Загрязнение территории Беларуси ураном чернобыльского происхождения

В.П. Кудряшов, В.П. Миронов, Ж.Л. Матусевич

Институт радиобиологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г.Минск, Беларусь

The contamination of Belarus territory by uranium of Chernobyl origin. The results on isotopic composition and contribution to the radioactive contamination of upper soil levels of Chernobyl uranium are presented. This results were obtained by mass spectrometric and radiochemical methods measurement of ^{235}U, ^{236}U and ^{238}U isotopic ratio in the samples collected at differ distances from ChNPP. The Chernobyl uranium contribution is substantial to radioactive contamination of evacuation zone

Чернобыльская катастрофа привела к попаданию в биосферу нового типа радиоактивного загрязнения- топливным частицам. Это микронного размера частицы ядерного топлива содержащего в своем составе весь спектр продуктов деления,но основным их компонентом являются окислы урана. Из всех выброшенных в биосферу радионуклидов в результате Чернобыльской катастрофы наибольшее количество по массе приходится на долгоживущие изотопы урана - ^{235}U, ^{236}U, ^{238}U. В активной зоне ядерного реактора находилось 190,2 т урана [1]. При условии 5 % -ного выброса топлива в ближней зоне на поверхность почвы выпало около10 т урана, что могло существенным образом сказаться на изотопном составе и содержании природного урана.

Для определения изотопного состава урана, в поверхностном слое почвы, использовались методы масс-спектрометрического и радиохимического анализа. Результаты масс-спектрометрического анализа изотопного состава урана представлены в таблице 3.1, из которой следует, что во всех исследованных точках, находящихся в 30-км зоне ЧАЭС и прилегающих к ней районах, величина массового изотопного отношения ^{235}U/^{238}U превышает природное.

Расчет доли урана от «чернобыльского» выброса ($D_{U_Ч}$) в общем загрязнении поверхностного слоя почвы этим изотопом проводился по формуле, аналогичной для определения вклада «чернобыльского» плутония:

$$D_{U_ч} = \frac{\gamma - \gamma_п}{\gamma_ч - \gamma},$$

где γ – массовое изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$, полученное экспериментальным путем;

$\gamma_п$ - массовое изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ в природном уране - 0,00725;

$\gamma_ч$ – атомное изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ урана «чернобыльского» происхождения; По данным работы [2] средняя глубина выгорания топлива на 4 блоке ЧАЭС составила 10,9 Мвт сут/кг(U), что соответствует среднему содержанию ^{235}U в выброшенном топливе, равному 0,0096.

$Du_ч$ – доля «чернобыльского» урана в радиоактивном загрязнении местности.

Таблица 1

Изотопное отношение урана-235 к урану-238 в поверхностном 5 см слое почве Республики Беларусь (определение методом масс спектрометрии)

Место отбора	Расстояние от ЧАЭС	Изотопное отношение 235U/238U по массе	% чернобыльского урана
Погонное	27 км	0,00813 ± 0,00017	37,5±0,8
Крюки	15 км	0,00855 ± 0,00013	55,3±0,8
Масаны	8 км	0,0091 ± 0,00011	79,1±0,9
Радин	20 км	0,00790 ± 0,00017	27,7±0,6
Красноселье	15 км	0,00819 ± 0,00019	40,2±0,9
Борисовщина	55 км	0,00734 ± 0,00015	3,84±0,08
Мозырь	90 км	0,00732 ± 0,00011	3,06±0,04
Гомель	130 км	0,00744 ± 0,00011	8,14±0,22
Природный уран		0,00725	
Чернобыльский уран		0,0096[2]	

Из табл. 1. следует, что изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ в 30- км зоне и прилегающих к ней загрязненных районах всюду превышает природное отношение и приближается к нему по мере удаления от ЧАЭС, и на расстоянии свыше 100 км доля урана чернобыльского происхождения по сравнению с природным становится пренебрежимо малой. Наибольшие значения величин изотопного отношения $^{235}U/^{238}U$ обнаружены вблизи ЧАЭС (н.п. Масаны и Крюки). В этих пунктах отмечены и наивысшие в Беларуси уровни загрязнения поверхностного слоя почвы изотопами плутония и америция. Для этих точек вклад чернобыльского урана в загрязнение почвы превышает природное содержание в 1,5-2 раза по массе.

При работе ядерного реактора типа РБМК также в значительных количествах образуется и долгоживущий изотоп урана- уран-236. Уран-236 является радионуклидом исключительно техногенного происхождения и в природной смеси изотопов не встречается.

Результаты определения отношения активностей урана-236 и урана-238 представлены в таблице 2.

С использованием результатов по определению вклада чернобыльского ^{238}U для изученных точек (табл. 1) определено отношение активностей $^{236}U/^{238}U$ для урана чернобыльского выброса. Эта величина является постоянной для всех изученных точек. Среднее значение этого отношения составило 0,34±0,04.

Таблица 2

Относительное содержание ^{236}U в поверхностном 5 см слое почвы 30-ти км зоны ЧАЭС

Место отбора	Отношение активностей $^{236}U/^{238}U_o$	Отношение активностей $^{236}U/^{238}U_ч$	Отношение активностей $^{236}U/^{239,240}Pu \times 10^{-4}$
Погонное	0,14±0,04	0,35±0,10	4,30±1,2
Крюки	0,15±0,04	0,27±0,08	4,8±1,4
Радин	0,09±0,027	0,32±0,09	4,0±1,1
Красноселье	0,16±0,05	0,39±0,11	4,4±1,2
Масаны	0,31±0,09	0,39±0,11	4,2±1,1
Среднее значение		0,34±0,11	4,3±1,2

Примечание: 1) $^{238}U_o$-уран-238 чернобыльского происхождения +природный уран-238;
2) $^{238}U_ч$ - уран-238 чернобыльского происхождения.

С учетом полученных величин определено отношение активностей изотопов урана к $^{239,240}Pu$ в чернобыльском выбросе на территорию Республики Беларусь отношение активностей ^{235}U: ^{236}U: ^{238}U: $^{239,240}Pu$ составляет $7,9\times10^{-5}$:$4,3\times10^{-4}$:$1,3\times10^{-3}$:1 соответственно.

В работе [3] отмечено, что уран Чернобыльского происхождения выпавший на почву существует в иных химических формах по сравнению с природным. Причем эти формы являются значительно более растворимыми и, следовательно, более высоко реакционноспособными. Определить формы нахождения урана возможно исследуя изотопный состав при воздействии различных растворителей.

Литература

1. Итоговый доклад по рассмотрению причин последствий аварии в Чернобыле: Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. International atomic Energy Agency: Safety Ser.- N 75. - Vienna, 1988. - 110 p.

2. Форма и характеристики топливного выброса при аварии на Чернобыльской АЭС / С.А. Богатов, А.А. Боровой, Ю.В. Дубасов, В.В. Ломоносов // Атомная энергия.- 1990.- Т.69, вып.1.- С.36-40.

3. Соботович Э.В., Чебаненко С.И. Изотопный состав урана в почвах ближней зоны ЧАЭС // Доклады АН СССР.- 1990.- Т.315, N 4. - С.885-888.

Республиканский пункт захоронения радиоактивных отходов: состояние и перспективы

М.Л. Жемжуров, В.В. Скурат

Институт радиоэкологических проблем НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Republican point for radioactive waste storage: state and perspectives. At present the only point for radioactive waste storage (PRAWS) of non-Chernobyl origin in the Republic of Belarus is a special facility being under operation from 1963 and located in Sosny settlement near Minsk-city. These are two storage facilities for RAW built from a type design. Solid RAW are stored in PRAWS according to the simplified technology not including their preliminary processing and conditioning, and not answering the up-to-date international standard on RAW management. A radical reconstruction of PRAWS is envisaged with the purpose of recovery of natural systems, ensuring ecological and economical balance of future economical evolution of PRAWS, development of measures decreasing the level of the ecological danger of the planned activity of PRAWS.

Сегодня в Республике единственным пунктом захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), обеспечивающим потребности около 1000 использующих радиоактивные материалы промышленных, медицинских и исследовательских предприятий, является эксплуатируемый с 1963 г. ПЗРО вблизи пос. Сосны г.Минска. До 1977 года захоронение производилось в 2-х железобетонных каньонах, которые в настоящее время законсервированы и обвалованы, а затем - в 2-х хранилищах радиоактивных РАО полезным объемом 820 м^3, выполненных по типовому проекту и оборудованных колодцами для отработанных источников ионизирующего излучения (ИИИ). Одно из хранилищ заполнено отходами полностью, второе - приблизительно на 80%.

На ПЗРО применяется практика локализации радиоактивных отходов (РАО) в приповерхностные емкости «навалом», без обязательной в современной мировой практике процедуры кондиционирования. Вместе с тем, экологической экспертизой [1] отмечено, что ПЗРО находится практически на окраине г.Минска; в районе истоков двух малых рек - Тростянки и Слоуста, которые уже в настоящее время испытывают значительную антропогенную нагрузку; в области питания напорных водоносных горизонтов, эксплуатируемых хозяйственно-питьевыми водозаборами г.Минска; в 2,5 км от минского городского коммунального водозабора "Дражня" в зоне его влияния. Зона аэрации на участке ПЗРО сложена песчаными, хорошо проницаемыми грунтами, что повышает вероятность водной миграции радионуклидов в экосистемы.

Для оценки потенциальной радиоэкологической опасности ПЗРО на основе созданной в ГП «Экорес» компьютерной базы данных произведен уточненный анализ номенклатуры и изотопного состава захороненных твердых РАО.

В двух законсервированных каньонах захоронено ~123000 кг твердых РАО. Суммарный запас активности РАО в каньонах по состоянию на 01.01.99г. составил 476,6 Ки, в том числе в каньоне №1 – 71,6 Ки, в каньоне №2 – 405 Ки. Радиоизотопный состав РАО в каньоне №1 представлен 15 радиоизотопами, из которых ~75% приходится на ^{60}Co; ~13,6% - ^{137}Cs; ~6% - ^{226}Ra; ~1,7% - ^{90}Sr; ~1,35% - ^{239}Pu; общий запас активности в каньоне составлял ~ 222 Ku на момент последнего захоронения (23.07.1970 г.). То же для каньона №2 - 24

радиоизотопа, из которых ~41% приходится на ^{60}Co; ~40,4% - ^{137}Cs; ~8,9% - ^{192}Ir; ~4,3% - ^{3}H; ~2,46% - ^{75}Se; общий запас активности в каньоне составлял ~1050 Ku на момент последнего захоронения (26.06.1979 г.).

В двух хранилищах ПЗРО в 1979 – 1998гг. всего захоронено более 375000 кг РАО активностью ~15000 Ки. Суммарный запас активности РАО в хранилищах по состоянию на 01.12.98г. составил 9587 Ки, в том числе в хранилище №1 – 6887 Ки, в хранилище №2 – 2700 Ки (без РАО и ИИИ, находящихся на временном хранении и в колодцах). Изотопный состав РАО, захороненных в хранилищах №1 и №2 ПЗРО, существенно различен и представлен более 35 радиоизотопами, из которых около 70% активности приходится на ^{137}Cs, 25% - ^{3}H, 0,4% - ^{90}Sr и 0,3% - ^{239}Pu.

Следует особо отметить, что в 1989 г. в хранилище №1 были захоронены 10 контейнеров с облученными высокоактивными ядерными материалами, содержащими 2178,28 г урана различного обогащения по ^{235}U (естеств., 45%, 90%). ПЗРО по своему нормативному статусу и обустройству не предназначено для этих целей и не обеспечивает долговременной радиационной и ядерной безопасности такого захоронения. Контейнеры расположены в углу одной из ячеек, покрыты слоем бетона толщиной ~20 см и экранированы сверху радиоактивными отходами. По имеющимся данным, их суммарная активность на время захоронения не превышала 300 Ки, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на поверхности контейнеров - в диапазоне от 40 до 950 мкР/с, а с учетом ослабления излучения слоем бетона на его поверхности ~0,3Р/ч.

Вся номенклатура РАО в хранилищах рассмотрена с разделением на компактируемые и некомпактируемые. Оценено, что масса компактируемых РАО составляет 106800 кг при объеме 356,1 м^3, а некомпактируемых – соответственно 268200 кг и 89,4 м^3, т.е. при массе компактируемых отходов в ~2,5 раза меньшей по сравнению с некомпактируемыми, объем первых в 4 раза больше и занимает значительную часть емкостей хранилищ. Компактирование всех находящихся в хранилищах РАО позволило бы высвободить более 400 м^3 их полезного объема.

Исходя из определенных значений запасов активности с использованием разработанных в ИРЭП расчетных моделей выполнены прогнозные оценки потенциальной опасности ПЗРО [2]. Показано, что при гипотетически возможных неблагоприятных условиях возможно превышение концентраций $ДК_6$ для питьевой воды в грунтовых водах для ряда изотопов: ^{241}Am, ^{14}C, ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{238}U, ^{3}H, ^{239}Pu, ^{226}Ra, ^{232}Th. В течение 20 - 1000 лет наиболее опасными являются радиоизотопы ^{14}C, ^{3}H, ^{90}Sr, которые имеют низкие сорбционные характеристики. Их высокая миграционная способность может привести к загрязнению нижних водоносных горизонтов, подземные воды которых используются для городского водоснабжения. При более длительных сроках хранения РАО реальна опасность существенного загрязнения грунтовых вод долгоживущими радиотоксичными изотопами ^{239}Pu, ^{226}Ra и ^{232}Th.

Возможное периодическое превышение предельно допустимых концентраций радионуклидов и предельно допустимой дозы от потребления загрязненной питьевой воды подтверждает, что существующее состояние твердых РАО в хранилищах ПЗРО не обеспечивает их долговременной радиационной безопасности для окружающей среды, противоречит основным международным принципам безопасного хранения РАО и требует принятия конструктивных решений по кондиционированию отходов и локализации распространения радионуклидов.

Таким образом, дальнейшее пребывание ПЗРО в нынешнем состоянии может стать причиной ухудшения радиоэкологической обстановки в регионе. Учитывая отмеченные выше недостатки его размещения, безусловно, должны быть начаты работы по выбору площадки для нового национального ПЗРО. При реконструкции существующего ПЗРО, которую необходимо осуществить до создания нового, должна быть предусмотрена возможность извлечения отходов, в том числе уже накопленных, из хранилищ для их

передислокации в новое место захоронения. Разрабатываемые технологии обращения с РАО должны соответствовать современному международному уровню, предполагающему проведение предварительного кондиционирования отходов с целью уменьшения объёма, фиксацию радиоактивных веществ в отходах, контейнеризацию для обеспечения долговременного хранения, безопасности перевозки и устойчивости отходов к проникающему и разрушающему воздействию окружающей среды. При этом необходимо решить технически сложную задачу создания технологий извлечения и кондиционирования РАО из существующих хранилищ. В мировой практике к настоящему времени имеется лишь несколько аналогов проведения работ, связанных с перезахоронением РАО. Разработка технологий извлечения и переработки РАО усложняется необходимостью проведения работ в напряженных радиационных условиях при обращении с самой разнообразной номенклатурой радиоактивных веществ, представляющих собой конгломерат из различных материалов (пластмасса, стекло, металл, ветошь и т.д.), загрязненных как короткоживущими, так и долгоживущими радиоактивными веществами, включая высокоактивные ядерные материалы, закрытые источники гамма- и нейтронного излучения, радиоизотопные извещатели дыма, содержащие ^{239}Pu, соли ^{226}Ra и т.д.

Литература

1. М.Л. Жемжуров и др. Экспертное заключение на том «Оценка воздействия на окружающую среду» проекта реконструкции пункта захоронения радиоактивных отходов в п. Сосны, г. Минск. – Экологическая комиссия НАН Беларуси. 1998.

2. 2. N.M. Shiryaeva et al. The State and safety assessment of the low level waste repositories in the territory of Belarus. - Proceedings of «Waste Management to Conference-00», Tucson, Arizona, USA, 27 February-2 March, 2000.

Использование Polygonum sachalinense F. Schmilt для фиторемидиации почв, загрязненных радионуклидами стронция и цезия

А.В. Башарин, М.А. Другаченок, Д.А. Ицакова, В.В. Скурат, А.А. Баклай

Институт радиоэкологических проблем НАН Беларуси г. Минск, Беларусь

The results of field trials Polygonum sachalinense F. Schmilt for phytorehmediation of bedrock are given. Is obtained, that average for two years the transfer coefficient Sr-90 from bedrock in a plant has made 12,7 ± 4,5.

Известно [1], что основными факторами, определяющими эффективность технического решения по фиторемедиации почвы, являются видовая способность культуры к извлечению радионуклидов и их состояние в почвенно-поглощающем комплексе (ППК).

Особенность поведения радиостронция в ППК заключается в том, что практически весь выпавший в результате Чернобыльской аварии ^{90}Sr (80-95 % от валового содержания) стабилизировался в формах, легкодоступных для корневой системы растений. В отличие от радиостронция, ^{137}Cs в ППК находится в труднодоступных для растений формах. В органической составляющей почвы - это хелатные комплексы с гуминовыми кислотами. В минеральной составляющей почвы Cs-137 прочно закреплен на поверхности минералов

монтмориллонитовой группы и гидрослюд, а также находится в межпакетных слоях и каналах слюдистых минералов и цеолитов. Поэтому для реализации метода фиторемедиации необходим поиск путей повышения корневого поглощения радиоцезия и их экспериментальная апробация.

Идея исследования была построена на том, что из неорганических катионов, не отравляющих почву, максимальный эффект при взаимодействии с органическими лигандами имеет катион трехвалентного железа [2]. Экспериментальные данные по десорбции ^{137}Cs из дерновых и дерново-подзолистых почв растворами, содержащими хлориды железа и аммония, показали, что элюируется ~ 30-32 % радиоцезия. Возможно это связано с вытеснением радиоцезия из хелатных комплексов гуминовых кислот.

В качестве объекта исследования была выбран горец сахалинский (Polygonum sachalinense F. Schmilt) – многолетнее травянистое растение из семейства гречишных. В условиях Германии за один вегетационный период данная культура может извлекать с гектара почвы 322 кг цинка и до 24 кг свинца. Учитывая вышеизложенное, Polygonum sachalinense F. Schmilt был апробирован в естественных условиях зоны отселения Чернобыльской АЭС для оценки степени извлечения радионуклидов из почвы.

Основные агрохимические показатели опытного поля на время закладки (мг/100г почвы): K – 20-10,2; P – 20-21,3; содержание гумуса – 1,55 %; pH – 4,5. Средняя плотность радиоактивного загрязнения составляла: ^{137}Cs -11,72, ^{90}Sr-0,87 и $^{239,240}Pu$-0,005 Ки/км^2

За период весна-осень 1999 г. была дважды проведена междурядная обработка и прополка растений. Отбор проб биомассы культуры за вегетационный период проводился три раза: 16.07.99; 02.09.99 и 30.09.99. Примерно за месяц до второго отбора проб биомассы провели обработку участка раствором, содержащим хлориды железа и аммония.

По результатам измерений удельной активности радионуклидов рассчитывали коэффициенты переноса ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в вегетативные органы культуры на конец вегетации.

Определение коэффициента переноса радионуклида в системе почва-растение дается выражением:

$$K_{sv} = \frac{C_v}{C_s},$$

где K_{sv}- коэффициент переноса почва- растение ; C_v – средняя по растению удельная активность радионуклида в конце периода вегетации, *Бк/кг зеленой массы растения*; C_s – удельная активность радионуклида в пахотном (корнеобитаемом) слое почвы (L=20 см), *Бк/кг почвы*.

Коэффициенты переноса 137Cs и 90Sr из почвы в растение приведены в табл.1.

Таблица 1

Коэффициенты переноса радионуклидов из почвы в надземные вегетативные органы Polygonum sachalinense F. Schmilt, Ksv *(зеленая масса, конец вегетации)*

Вариант	Коэффициент переноса почва-растение, Ksv	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Контроль	0,10	12,9
N120 P90 K120	0,05	13,2
N240 P90 K120	0,07	14,1
Среднее	0,072	13,4
Станд. отклонение.	0,024	0,64

В целом по растению Polygonum sachalinense F. Schmilt коэффициенты переноса ^{90}Sr из почвы в растение значительно выше, чем для ^{137}Cs (см. табл. 1).

Совокупность результатов экспериментов по определению коэффициентов переноса

почва-растение для ^{90}Sr, полученных в 1998-1999 годах, приведена на рис.1 в координатах Ksv = f(Q), где Q – урожайность культуры, ц/га.

Радиационный мониторинг за содержанием радиостронция на опытном поле Савичи показал, что в период с весны 1998 года по сентябрь 1999 года плотность поверхностного загрязнения почвы ^{90}Sr снизилась на 10-20%. Средний за два года полевых испытаний коэффициент переноса ^{90}Sr составил 12,7 ± 4,5. При урожайности Polygonum sachalinense F. Schmilt 500 ц/га скорость снижения концентрации ^{90}Sr в почве составит 25% в год.

Снижение концентрации ^{137}Cs в почве за счет выноса его с биомассой Polygonum sachalinense F. Schmilt незначительно. Однако применение разрабатываемой нами технологии изменения подвижности радионуклидов в почве дало возможность повысить содержание радиоцезия в воздушно-сухой биомассе листьев культуры на два порядка, что составило 11850 Бк/кг. Коэффициент переноса ^{137}Cs равен 3,3. При данном значении коэффициента переноса снижение содержания радиоцезия в почве при урожайности Polygonum sachalinense F. Schmilt 500 ц/га может достигать 6% за вегетационный период. Для получения сравнимых со стронцием скоростей выведения ^{137}Cs из почвы необходимо увеличение подвижности ^{137}Cs в ППК.

Литература

1. Н.П.Архипов, Е.А.Федоров, Р.М.Алексахин и др. Почвенная химия и корневое накопление искусственных радионуклидов в урожае сельскохозяйственных растений. - Почвоведение.- №11.- 1975.- с. 40-52.

2. Д.Э.Чиркст, К.Н.Чалиян, А.Г.Чалиян. Рекультивация почв, контаминированных цезием-137 и стронцием-90 в результате аварии на ЧАЭС. – Радиохимия.- т. 38.-вып. 6.- 1996.

Определение параметров двойного электрического слоя для почв различного гранулометрического состава

Н.Г. Климова

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г. Минск. Беларусь

Determination of a dual electric layer for soils with different grain size. The paper discusses an approach to determination of parameters of a dual electric layer for different soils. The parameters are following: capacity of cationic exchange, specific surface, specific weight, and moisture of soil.

Поглотительная способность почвы является одним из её важнейших, фундаментальных свойств. Известно, что физико-химическая поглотительная способность почв тесно связана с двойным электрическим слоем (ДЭС), возникающем на границе раздела твёрдой и жидкой фаз. Именно в этом слое происходит обмен ионов электролитов на ионы компенсирующего слоя.

Изучению ДЭС почвенных коллоидных систем посвящено весьма незначительное количество работ, тогда как исследование его параметров даёт более полное представление о сорбционно-десорбционных процессах, протекающих в почве.

Прямое измерение параметров ДЭС не представляется возможным в силу объективных причин, однако его свойства можно исследовать при помощи электрокинетических

характеристик, таких как поверхностная проводимость и электрокинетический потенциал.

Для исследования параметров ДЭС были взяты почвы различного гранулометрического и минералогического состава:

дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на моренных суглинках;

дерново-подзолистая средне оподзоленная, связно супесчаная, на пылеватых супесях, подстилаемая моренным суглинком глубже 1м;

дерново-перегнойно-глеевая легкосуглинистая, подстилаемая глубже 1 метра песками рыхлыми;

дерново-подзолистая связно-песчаная, на озёрно-ледниковых песках.

Для расчёта параметров (ДЭС) проводилось определение поверхностной проводимости в почвенной пасте по методике, описанной ранее [1]. На основании данных определения поверхностной проводимости, ёмкости катионного обмена (ЁКО), удельной поверхности и влажности почв были рассчитаны некоторые параметры ДЭС.

Расчёт параметров ДЭС проводился по формулам, предложенным М.Б. Минкиным с сотрудниками [2]:

$$K_s = (X_s \times W \times 0{,}01) / S \qquad (1)$$

где K_s – удельная поверхностная проводимость, S – удельная поверхность почвы $см^2/г$, W – объёмная влажность водонасыщенной почвы, $г/см^3$, 0,01 – коэффициент перевода содержания влаги, $г/см^3$, выраженный ранее в %;

$$a_0^к = T_к / (W \times 10^3) \qquad (2)$$

где $a_0^к$ – количество обменных катионов в 1 $см^3$ почвенного раствора, $T_к$ – ёмкость катионного обмена, мг-экв/100г почвы;

$$\sigma^0 = (a_0^к \times F \times \varepsilon) / S \times \Delta \qquad (3)$$

где σ^0 – поверхностная плотность заряда всего ДЭС, F – число Фарадея, равное $2{,}895 \times 10^{14}$ ед. CGSE×экв$^{-1}$; S – удельная поверхность почвы в $см^2$ /г, Δ– удельный вес почвы, $г/см^3$;

$$Fu_к = t \times X_s / a_0^к \qquad (4)$$

где $Fu_к$ – средняя эквивалентная подвижность обменных катионов, t – доля участия катионов в общем переносе ионов в ДЭС;

$$\delta = 1 / 2Fz \sqrt{DRT / (2\pi \times C_v)} \qquad (5)$$

где (– приведённая толщина диффузного слоя, z – заряд иона, D – диэлектрическая проницаемость диффузного слоя (81; R – газовая постоянная ; T – абсолютная температура ($RT = 2{,}44 \times 10^{10}$ г×см^2×сек$^{-2}$×экв$^{-1}$);

$$f = Fu_к / Fu_к^0 \qquad (6)$$

где f – коэффициент электропроводности ДЭС, $Fu_к^0$ – подвижность иона в водном растворе (численные значения подвижностей всех ионов см. таблицы в Справочник химика [3];

$$\lambda = 1 / f \qquad (7)$$

где (относительная «связанность» обменных катионов.

Данные расчётов показывают, что величина Ks в различных разрезах варьируется в пределах от 0,12 до 0,0046 Ом-1. Величина Ks определяется количеством, качеством и степенью подвижности ионов ДЭС (при этом имеется ввиду, что поверхностная проводимость обусловлена только катионами). Так, горизонты Апах, А2 и В1 дерново-подзолистой песчаной почвы (разрез № 4), обладающие наименьшей удельной поверхностью, характеризуются практически наибольшими величинами Ks. Поскольку в данных горизонтах наблюдается наименьшее количество катионов (ЁКО составляет 16-8 мг-экв/100г), то такое увеличение удельной поверхностной проводимости объясняется либо более высокой степенью подвижности обменных катионов, либо наличием большего количества многозарядных катионов. Снижение величины Ks в горизонтах В2 и В1 объясняется небольшим количеством обменных катионов при значительно большей

удельной поверхности (т.е. большей их связанностью с твёрдой фазой почвы). Наименьшими величинами Ks характеризуется дерново-перегнойно-глеевая, легкосуглинистая почва (разрез №3). Это объясняется как общим количеством, так и качеством обменных катионов ДЭС, поскольку чем меньше их количество и заряд, а также чем меньше их скорость движения, тем меньшей электропроводностью характеризуется ДЭС почвенных коллоидных частиц.

Величина $a^0_к$ указывает на суммарное эквивалентное количество обменных катионов в 1 $см^3$ раствора для той влажности образца, при которой проводилось измерение электропроводности почвы. Согласно данным расчётов, суммарное эквивалентное количество обменных катионов в 1 $см^3$ раствора варьируется в различных разрезах от $6{,}4\times10^{-4}$ до $2{,}3\times10^{-4}$ г-экв·$см^{-3}$. Наибольшими величинами $a^0_к$ характеризуется дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на моренных суглинках почва (разрез №1). Не наблюдается резкого снижения величины $a^0_к$ для дерново-подзолистой, песчаной почвы (разрез №4), несмотря на значительное снижение величины ЁКО в данном разрезе. Это связано с небольшой влагоёмкостью и, как следствие, небольшой влажностью данной почвы при измерении электропроводности в почвенной пасте. Данный факт указывает на то, что при одинаковом режиме увлажнения почвы различного гранулометрического состава характеризуются различной влажностью, а это в свою очередь, влияет на количество обменных катионов в 1 $см^3$ раствора в порах.

По данным расчётов, наибольшими величинами σ^0 характеризуется дерново-подзолистая, песчаная почва (разрез № 4). Это связано с небольшой удельной поверхностью данной почвы и хорошо согласуется с данными ЁКО, отнесённой к единице поверхности почвы.

Величина (для разных катионов имеет различное. Причём данная величина для калия значительно превосходит таковую для калия и кальция. Наименьшей величиной (характеризуется катион кальция. Полученные значения в 5-70 раз больше толщины адсорбционного слоя, условно принятой Ф.Д. Овчаренко [4] равной диаметру одной молекулы воды: $2{,}6\times10^{-8}$ м.

Важным показателем, характеризующим физико-химические особенности исследуемых почв, является величина $Fu_к$. По данным расчётов, эта величина варьируется в пределах от 2,42 до 0,06 $см^2\times Ом^{-1}\times экв^{-1}$. Наименьшими величинами $Fu_к$ характеризуется дерново-подзолистая, песчаная почва (разрез № 4), Такое снижение $Fu_к$ в почве, характеризующейся наибольшими величинами K_s, объясняется использованием величины поверхностной проводимости X_s в формуле, предложенной М.Б. Минкиным и др. для определения $Fu_к$ (4).

Очевидно, величина X_s не может быть использована для определения средней эквивалентной подвижности обменных катионов в почвах различного гранулометрического состава, поскольку на X_s влияют кроме всего прочего и структурно-геометрические свойства почвы. Величина K_s не зависит от пористости и влажности почвы и может быть использована для определения величины $Fu_к$. Тогда формула для определения этой величины будет выглядеть следующим образом:

$$Fu_к = t \cdot K_s / a_0^к \qquad (8)$$

Согласно данным расчётов, наименьшими коэффициентами электропроводности двойного слоя для K, Ca и Mg также характеризуется дерново-подзолистая, песчаная почва (разрез № 4). Это объясняется тем, что данный коэффициент находится из соотношения (6).

Однако в формуле (6), предложенной М.Б. Минкиным и др. [2], остаются неучтёнными заряды катионов, обладающих подвижностью $Fu_к^0$ в свободном растворе. Поэтому с учётом зарядов катионов коэффициент электропроводности ДЭС находится из соотношения:

$$f = Fu_к / z \cdot Fu_к^0, \qquad (9)$$

где z – заряд иона.

Кроме того, из данных расчётов следует, что наименьшими коэффициентами электропроводности ДЭС характеризуется K^+, а наибольшими – Mg^{2+}. Для величины относительной связанности катиона (также наблюдается зависимость, при которой K^+

обладает наименьшей подвижностью, а Mg^{2+} – наибольшей. Однако согласно данным многих авторов [5, 6, 7] калий находится в основном в диффузной части ДЭС и характеризуется большей подвижностью по сравнению с Са и Mg, поскольку обладает меньшей поляризующей способностью, большей гидратной оболочкой и меньшим зарядом.

Расчёт величины $Fu_к$, коэффициента f и относительной связанности катиона (с использованием формул (8) и (9) показал, что наибольшей $Fu_к$, а также коэффициентами f характеризуется дерново-подзолистая песчаная почва (разрез № 4). Это хорошо согласуется с данными по определению величины K_s. Кроме того, расчёт по формулам (8) и (9) показал, что наибольшими коэффициентами f характеризуется K^+, а наименьшими – Mg^{2+}. Эти расчёты выявили, что K^+ обладает наименьшей относительной связанностью, а Mg^{2+} – наибольшей. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, в том числе С.С. Духина [5], который отмечает, что однозарядные катионы находится преимущественно в диффузной части ДЭС, тогда как многозарядные – в диффузной и адсорбционной его части.

Литература

1. Климова Н. Г. Электропроводность почв // Экологические проблемы XXI века: Материалы международной конференции молодых учёных; МЭУ им. А.Д. Сахарова, 1999 г. Мн., 1999. С. 29-32.

2. Минкин М. Б., Горбунов Н. И., Садименко П. А. Актуальные вопросы физической и коллоидной химиии почв. Ростов на Дону, 1982. 280 с.

3. Справочник химика Т. 3. М-Л, 1965. 1005 с.

4. Овчаренко Ф. Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. Киев, 1961. 125 с.

5. Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. Киев, 1975. 246 с.

6. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв М, 1986 415 с.

7. Возбуцкая А. Е. Химия почвы. М, 1964. 397 с.

Оценка накопления радиоцезия у жителей некоторых районов Гродненской области

Е.Н.Орлова, Е.И.Макшанова, Р.Ш.Саляхов

Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь

Estimate of the radio-active caesium's accumulation among the inhabitants of some Grodno region districts. About the real sizes of the radio-isotopes of caesium's accumulation in depend on the age, sex, profession and the residence.

На территории Гродненской области зоны радиоактивного загрязнения почв с содержанием радиоцезия преимущественно в пределах 1-5 Ки/км^2 являются сельскохозяйственными зонами с развитой системой дорог, населенных пунктов, специализирующимися на производстве растениеводческой и животноводческой продукции. В регионе пострадало 178 населенных пунктов, в которых проживает более 43 тысяч человек.

По данным Главного управления по гидрометеорологии и МЗ РБ крупными населенными пунктами на загрязненной территории являются Ивье (около 8 тыс. чел.),

Березовка Лидского района (около 12 тыс. чел.), Новоельня Дятловского района (около 4 тыс. чел.). Жизнь людей на этих территориях связана с возможным поступлением радионуклидов через органы дыхания и с продуктами питания. Принимая во внимание отсутствие сведений о фактическом содержании радиоцезия в организме жителей г.Гродно и Гродненской области, было проведено обследование организованных групп населения постоянно или временно проживающих в Гродненской области. Оценка фактического содержания радионуклидов в организме людей в настоящее время практически означает измерение содержания основного дозообразующего радионуклида, поступившего вследствие аварии на ЧАЭС – цезия-137 ($T_{1/2}$ – 30 лет; $T_{эф.}$ – 50-200 сут.; бета-, гамма – излучатель). Для оценки возможности влияния радиоцезия на состояние здоровья населения (на территориях с плотностью загрязнения менее 3 Ки/км^2) в конечном итоге следует ориентироваться на значение поглощенной дозы в организме, которая создается излучением инкорпорированных радионуклидов [1, 2].

Проблема малых доз радиации показала еще один из возможных биологических эффектов: чем более длительным и менее интенсивным становится лучевое воздействие на организм, тем большее значение приобретают сопутствующие воздействия неблагоприятных экологических факторов. В частности, имеются сведения, что нитраты, широко применяемые в сельском хозяйстве, не являются сами по себе активными химическими мутагенами, но способны в 4 – 6 раз усиливать мутагенное действие радиации [6]. Поэтому для оценки и прогнозирования коэффициентов риска для населения, проживающего на загрязненных территориях с различными уровнями радиационного и химического фона, представляется важным развитие исследований по механизмам взаимодействия повреждений индуцированных радиацией и вредными химическими соединениями окружающей среды [3].

Экспресс-определение содержания радионуклидов в организме людей выполнялось с помощью стационарной аппаратуры СИЧ – СМБ –1. Параллельно с обследованием людей проводилось определение цезия - 137 в пищевых продуктах и воде радиометром РКГ – 07 П [4, 7].

Всего в 1994 – 1995 гг. было обследовано 2287 человек, в том числе 1277 детей и подростков и 1010 взрослых.

Величины активности и соответствующие им дозы внутреннего эквивалентного облучения детей и подростков Гродненской области были ниже контрольных цифр и составляли в среднем 0,012 ± 0,007 мкКи и 0,002 ± 0,001 Бэр соответственно. Для взрослого населения среднестатистические величины активности и эквивалентной дозы внутреннего облучения составляли 0,015 ± 0,010 мкКи и 0,003 ± 0,001 Бэр, причем у мужчин, накопление радионуклидов было несколько выше, чем у женщин. Очевидно, это обусловлено накоплением в мышцах радиокалия, т.к. в дальнейшем у мужчин старше 51 года активность снижается, что связано с возрастным уменьшением мышечной массы. В число обследованных вошло 60 человек ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и 3 переселенцев из 30- км зоны. Показатели активности этих групп были выше средних по области и даже несколько выше, чем у большинства мужчин области, но по эквивалентным дозам облучения различия отсутствовали.

Профессиональные различия в накоплении радионуклидов в организме почти отсутствуют, но вместе с тем анализ свидетельствует, что наиболее значительные величины накопления радионуклидов и, соответственно, эквивалентных доз в организмах работников леса и людей рабочих профессий, растениеводов, механизаторов, слесарей сельхозхимии и сельхозтехники. В целом, размах колебаний по уровням активности составлял 0,070 мкКи (от 0,010 ± 0,005 до 0,080 ± 0,057), а эквивалентные дозы внутреннего облучения колебались от 0,001 до 0,009 Бэра.

Влияние места жительства было заметно в населенных пунктах Новоельня и Козловщина. Поселок Новоельня находится на загрязненной Чернобыльским выбросом территории, а поселок Козловщина в район бедствия не попал. Вместе с тем у жителей именно этого поселка в момент обследования обнаруживалось максимальное количество

радионуклидов. При более детальном обследовании было выявлено, что в закрытых помещениях Козловщины фон выше, постоянно регистрируемого в пределах области. Установлена более высокая бета-активность питьевой воды и молока не соответствующая санитарным нормам.

Таким образом, было выяснено, что помимо Чернобыльского следа на территории области имеются природные очаги повышенной радиоактивности, обусловленные присутствием в естественных средах радиоактивных эманаций, в том числе – радона [5].

Не было выявлено отчетливой зависимости интенсивности накопления радионуклидов от состава рациона. Ни молоко, ни грибы местной заготовки, ни мясо диких животных не определяли уровни содержания радиоактивных веществ в организме. По-видимому, в экологической ситуации Гродненской области существуют другие пути перемещения радиоактивных веществ по пищевым цепям к человеку.

Подводя итог выше изложенному, можно сформулировать следующее:

1. Имеется отчетливое различие в накоплении радионуклидов в зависимости от места проживания населения, пола и возраста, а также от загрязнения территории бета-излучающими нуклидами.

2. Определенное влияние на уровни накопления оказывает профессиональный фактор: боле высокие величины активности наблюдались у некоторых категорий работников лесного хозяйства, военнослужащих и работников сельскохозяйственной отрасли.

3. Продукты питания, традиционно считавшиеся поставщиками радионуклидов, в условиях Гродненской области, в настоящее время не играют заметной роли.

4. В Гродненской области помимо искусственного радиоактивного загрязнения имеется ряд экологических проблем обусловленных естественным присутствием радона и его производных, которым до настоящего времени не уделяется должного внимания со стороны органов государственного надзора и здравоохранения.

5. Длительное время будут вносить свои коррективы в величины активности и дозы облучения продолжающиеся миграционные процессы радиоактивных изотопов.

Литература

1. Бархударов Р.М., Лебедев А.Н., Севкин М.Н. Расчетный метод оценки эквивалентной дозы облучения населения радиоизотопами цезия после Чернобыльской аварии // Тез. докл. Всесоюзн. совещ.- М.: 1989. – С. 28 – 29.

2. Васильев В.Н., Лучков А.В., Трушин В.И. Динамика содержания инкорпорированных радионуклидов цезия у населения с повышенным радиационным фоном //Медицинская радиология.–1990. Т.35.-№ 12.–С. 35 – 37.

3. Кенигсберг Я.Э., Тернов В.И., Буглова Е.Е. Роль радиационной гигиены в защите населения от ионизирующего излучения //Актуальные проблемы научного обеспечения санитарно-эпидемического благополучия населения и пути их реализации. – Минск, 2000. – С. 23 – 26.

4. Кеприм –Маркузе И.Б. О контроле содержания радионуклидов в организме человека // Атомная энергия. – 1990. – Т. 68. - № 3. – С. 208 – 209.

5. Лепешко Н.Н. Радон, или эманация радия – газ, опасный для здоровья человека // Здравоохранение Беларуси. – 1990. - № 1. – С. 76 – 77.

6. Логачев В.А., Михалихина Л.А., Гомонова М.А. Влияние радиационных и нерадиационных факторов на здоровье населения Могилевской области после аварии на Чернобыльской АЭС // Медицинская радиология. – 1993. – Т. 38. – № 2. – С. 19 – 24.

7. Радиометрический контроль облучения населения БССР// Здравоохранение Белоруссии. – 1990. - № 6. – С. 60 – 61.

Методика определения параметров двойного электрического слоя почвенных коллоидных систем

Н.Г. Климова

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г. Минск. Беларусь.

Approach to determination of dual electric layer of soil colloids. The paper studies an approach to evaluation of surface conductivity and to determination of parameters of a dual electric layer for different soils.

Поглотительная способность почвы является её важнейшим, фундаментальным свойством. Известно, что физико-химическое поглощение, на особую роль которого в поглотительной способности почв указывает К. К. Гедройц [1], протекает в слое ионов, возникающем на границе раздела почва – раствор. Этот слой, так называемый двойной электрический слой (ДЭС), образуется при взаимодействии природных дисперсных систем с раствором на границе твёрдой и жидкой фаз. Его свойства во многом обусловливают процессы структурообразования, ионного обмена, поверхностной растворимости, связывание воды, различные физико-механические характеристики: пластичность, вязкость, предельное напряжение сдвигу и т.д.

В этом смысле представляет особый интерес исследование параметров ДЭС. Прямое измерение этих параметров не представляется возможным в силу объективных причин, однако их можно исследовать при помощи электрокинетических характеристик, таких как величина поверхностной проводимости почвы.

В целом, в литературе имеется мало данных по определении поверхностной проводимости различного типа почв, а также по расчёту параметров ДЭС. Отсутствует единая методика определения этих показателей. Большинство работ посвящено исследованию электрокинетических свойств почв засолённого ряда; практически совсем нет данных по дерново-подзолистым почвам. Публикаций в этом направлении для почв Республики Беларусь не обнаружено. Наиболее полное описание метода определения параметров двойного электрического слоя некоторых почв дано в работе [2].

Методика определения поверхностной проводимости составлена на основе нескольких методик, предлагаемых различными авторами [2, 3, 4, 5].

Определение поверхностной проводимости основано на измерении электросопротивления почвенной пасты и почвенного раствора. Так как электропроводность почвенной пасты в значительной степени зависит от температуры, полученные результаты приводились к значению ОпределеПрибор, используемый для измерения электросопротивления, состоит из трех главных узлов: питания, датчиков и измерительного устройства; питание осуществляется от сети переменного тока. В качестве датчика (измерительной ячейки) служит ячейка из плексигласа с прикрепленными к её верхней и нижней части угольными электродами (см. рисунок 1).

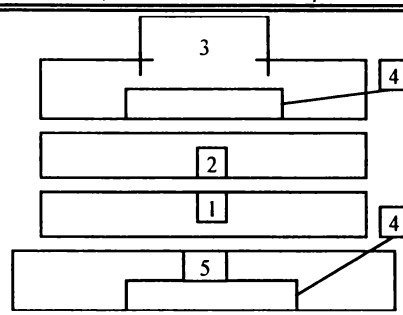


Рис. 1. Измерительная ячейка для определения электропроводности в почвенной пасте (1 – измерительное кольцо с грунтом; 2 – съёмное кольцо; 3 – штамп; 4 – электроды; 5 -- дно)

При измерении электросопротивления почвы использовался метод Кольрауша с применением моста Уитстона. Калибровка прибора проводилась методом сравнения измеренных величин удельной электропроводности ряда растворов (1 н, 0,1 н и 0,01 н KCl) с табличными значениями для данных растворов, приведенными в «Справочнике химика» [6].

К образцам почв, просеянным через сито 1 мм, приливалась дистиллированная вода, освобожденная от углекислоты, в соотношении 1:1, и оставлялась на двое суток для достижения физико-химического равновесия. О достижении такого равновесия судилось по постоянной электропроводности. Одновременно приготавливались контрольные образцы, путём приливания вместо воды 0,1 н раствор KCl, которые также оставлялись на двое суток. Полученные суспензии отфильтровывались и фильтрат использовался в качестве свободного равновесного раствора, путём измерения его сопротивления R_v.

Почвенная паста помещалась в измерительную ячейку для измерения её электросопротивление R_d. Предварительно определялась константа ячейки C^0. Для этого 0,1 н раствор KCl наливался в калибруемый сосуд и определялась электропроводность раствора R^0. Подставив в формулу измеренное значение R^0 и найденное по таблицам значение X^0 при температуре раствора во время опыта, вычислялась константа сосуда

$$C^0 = R^0 \times X^0 \qquad (1)$$

Найденное значение константы использовалось во всех дальнейших измерениях.

Влажность образцов при измерении несколько превышала нижнюю границу текучести, что позволяло исключить задержку воздуха между электродами и диафрагмой

На основании полученных значений R_d и C^0 определялась удельная электропроводность почвенной пасты X_d и свободного равновесного раствора X_v

$$X_d = C^0 / R_d \qquad (2)$$

$$X_v = C^0 / R_v \qquad (3)$$

Почвенная паста, насыщенная 0,1 н раствором KCl также помещалась в ячейку для измерения электросопротивления R_d^0. Затем для каждого образца определялась константа ячейки с почвой:

$$C^0_d = X^0 \times R^0_d \qquad (4)$$

Измеренные значения электросопротивлений приводились к температуре 25 C° по формуле:

$$R_{25} = R_t / 1 + \alpha \times \Delta t \qquad (5)$$

где: R_t – измеренное сопротивление; α – температурный коэффициент, равный в среднем 0,029 в пределе температуры от –20 до +40 C°; Δt – разница между температурой опыта и температурой, принятой для расчёта.

На основании полученных значений для каждого образца определялся коэффициент структурного сопротивления β:

$$\beta = C^0_d / C^0 \qquad (6)$$

Электропроводность раствора в порах X находилась из соотношения:

$$X = \beta \times X_d \qquad (7)$$

Поверхностная проводимость X_s определялась как разность величин:

$$X_s = X - X_v \qquad (8)$$

Коэффициент эффективности диафрагмы α находился из соотношения:

$$\alpha = X_v + X_s / X_v \qquad (9)$$

На основании данных определения поверхностной проводимости, а также ёмкости катионного обмена, удельной поверхности, удельной массы и влажности почв рассчитывались некоторые параметры ДЭС. Расчёт этих параметров проводился по формулам, приведённым в работах [2, 7].

1. Удельная поверхностная проводимость всего двойного слоя K_s:

$$K_s = X_s \times (/ S_0 \times (, Ом^{-1} \quad (10),$$

где (– коэффициент пористости; $\varepsilon = \Delta \times 0{,}01 \times W$ (W-влажность, %); S_0 – удельная поверхность почвы, $см^2/г$; Δ– удельный вес, $г/см^3$.

2. Суммарное эквивалентное количество обменных катионов в 1 $см^3$ раствора $a_к^0$:

$$a_к^0 = T_к / W \times 10^3, г\text{-}экв \times см^{-3} \quad (11),$$

где $T_к$ – ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г.

3. Поверхностная плотность зарядов всего двойного слоя σ^0:

$$\sigma^0 = a_к^0 \times F \times (/ S_0 \times (, ед.\ CGSE \times см^{-2} \qquad (12),$$

где F – число Фарадея, равное $2{,}895 \times 10^{14}$ ед. CGSE•$экв^{-1}$.

4. Средняя эквивалентная подвижность обменных катионов $Fu_к$ определяется по формуле, предложенной М. Б. Минкиным с сотр. [2]:

$$Fu_к = \tau \times X_s / a_к^0, см^2 \times Ом^{-1} \times экв^{-1} \qquad (13),$$

где (– доля участия обменных катионов в общем переносе ионов двойного слоя, равная единице.

Однако величина X_s не может быть использована для определения $Fu_к$ в почвах различного гранулометрического состава, поскольку эта величина не учитывает структурно-геометрические особенности почв. В связи с этим предлагается вместо величины X_s использовать величину K_s, которая не зависит от пористости и влажности почвы. Тогда формула для определения этой величины будет выглядеть следующим образом:

$$Fu_к = t \times K_s / a_0^к, см^2 \times Ом^{-1} \times экв^{-1} \qquad (14)$$

5. Коэффициент электропроводности двойного слоя f согласно М. Б. Минкину с сотр. [2] находится по следующей формуле:

$$f = Fu_к / Fu_к^0 \qquad (15),$$

где $Fu_к^0$ – подвижность катионов в диффузном слое, принимаемая равной подвижности катионов в свободном растворе для Ca^{2+} – 50,7; Mg^{2+} – 44,9; для K^+ – 63,9 [6].

Однако в формуле (15), предложенной М.Б. Минкиным с сотр. [2], остаются неучтёнными заряды катионов, обладающих подвижностью $Fu_к^0$ в свободном растворе. Поэтому с учётом зарядов катионов коэффициент электропроводности ДЭС находится из соотношения:

$$f = Fu_к / z \times Fu_к^0 \qquad (16),$$

где z – заряд иона.

6. Относительная «связанность» обменного катиона λ:

$$\lambda = 1/f \qquad (17)$$

7. Приведенная толщина двойного электрического слоя δ:

$$\delta = 1/2 \times F \times z \times \sqrt{D \times R \times T / 2 \times \pi \times C_v}, м \qquad (18)$$

где z – заряд иона, D-диэлектрическая проницаемость диффузного слоя ≈81, R – газовая постоянная, T – абсолютная температура ($R \times T = 2{,}44 \times 10^{10}$ $г \times см^2 \times сек^{-2} \times экв^{-1}$); π=3,14, C_v – концентрация равновесного раствора, г-экв / $см^3$.

Литература

1. Гедройц. К. К. Учение о поглотительной способности почв // Избранные научные труды. М, 1975. 637 с.
2. Минкин М. Б., Горбунов Н. И., Садименко П. А. Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв. Ростов-на-Дону, 1982. 277 с.
3. Злочевская Р. И. Об определении электрокинетического потенциала в глинистых грунтах методом электроосмоса // Вестник МГУ: Сер. Геология.. Вып. 6. 1964. С. 57-66.
4. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв М, 1986. 415 с.
5. Шкаруба М. П. Устройства для измерения электрокинетического потенциала и поверхностной проводимости почв // Почвоведение. № 7. 1990. С. 145-146.
6. Справочник химика Т. 3. М-Л, 1965. 1005 с.
7. Электрокинетические свойства капиллярных систем. М, 1956. 265 с.

Влияние удельной поверхности на поглотительную способность некоторых почв дерново-подзолистого типа

Н.Г. Климова

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г. Минск. Беларусь

Effect of specific surface on sorbtion ability of derno-podzolic soils. The paper considers a dependence between capacity of cationic exchange and specific surface of soils. It was obtained that characteristic of the dependence is different for soils with different grain-seize.

Сорбционно-десорбционные процессы, протекающие в почвах, оказывают влияние на подвижность химических элементов и, как следствие, на их миграцию и поступление в растения. Экспериментальные материалы по агрохимической характеристике почв показывают, что свойства почв, отражающие кислотность, состояние ППК и запасы подвижных элементов питания, тесно связаны с гранулометрическим составом почвы. Гранулометрический состав в значительной степени определяет поглотительную способность почв.

В тоже время недостаточно внимания уделяется влиянию удельной поверхности почв на их агрохимические характеристики, в частности, на ёмкость катионного обмена (ЁКО). Известно, что с увеличением степени дисперсности вещества возрастает его химическая активность, поскольку при этом, с возрастанием площади поверхности, увеличивается число ионогенных групп, участвующих в реакции обмена. Поэтому величина удельной поверхности может рассматриваться как один из параметров, определяющих химическую активность почв. Удельная поверхность представляет определённый интерес и для определения термодинамических свойств почв, важнейшей из которых является внутренняя энергия.

В настоящее время существует большое количество методов определения удельной поверхности почв, и число их постоянно растёт. Эти методы можно разделить на две группы: расчётные и методы, основанные на поглощении поверхностью почвы различных веществ. Расчётный метод основан на данных гранулометрического состава почв и считается самым

простым методом определения удельной поверхности почв. Этот метод нельзя признать идеальным вследствие ряда недостаточно обоснованных допущений, предложенных его авторами.

Прежде всего в каждой фракции выводится средний диаметр частиц. Дальнейший расчёт строится на допущении, что частицы имеют правильную шаровидную или кубическую форму. Но известно, что их форма различна, а частицы, составляющие основу ППК, зачастую обладают пластинчатой структурой. Наконец, следует учитывать, что содержание ряда фракций также определяется на основе многих допущений.

Тем не менее, даже при таких допущениях расчётный метод определения удельной поверхности позволяет более точно оценить физическое и физико-химическое состояние почв по сравнению с данными гранулометрического состава.

Для изучения влияния величины удельной поверхности на ёмкость катионного обмена почв, были взяты почвы различного гранулометрического состава: суглинистые, супесчаные и песчаные. Величина удельной поверхности определялась геометрическим методом по данным гранулометрического состава с использованием формулы, приведённой в работе А. Ф. Вадюниной, З. А. Корчагиной [1]:

$$S = 6 / (10 \cdot p \cdot d) \qquad (1)$$

где S – удельная поверхность почвы, $см^2/г$; P – удельный вес почвы, $г/см^3$; d – усреднённый диаметр частиц для каждой фракции, мм.

Для выявления зависимости ЁКО от удельной поверхности почв проведён корреляционный анализ данных по этим показателям для 174 образцов почв. Корреляционный анализ проводился по методике, описанной в работе [2].

Корреляционный анализ ЁКО и удельной поверхности исследуемых почв показал, что величина ЁКО песчаных и супесчаных почв находится в прямолинейной корреляционной зависимости от величины удельной поверхности этих почв. Причём для песчаных почв характерно наличие тесной корреляционной зависимости (коэффициент корреляции равен 0,68), а для супесчаных – средней (коэффициент корреляции равен 0,56). Корреляция в обоих случаях существенна на 1%-ном уровне, что позволяет сделать вывод о существенности регрессии. Уравнение регрессии для песчаных почв выглядит следующим образом:

$$Y = 0{,}30X - 2{,}92 \qquad (2)$$

для супесчаных почв:

$$Y = 0{,}15X - 2{,}41 \qquad (3)$$

Эмпирические и теоретические линии регрессии представлены на рис. 1 и 2.

Рис. 1. Эмпирическая и теоретическая линии регрессии для песчаных почв

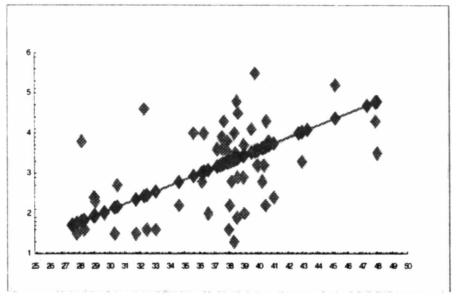


Рис. 2 Эмпирическая и теоретическая. линии регрессии для супесчаных почв

Не обнаружено прямолинейной корреляционной зависимости между ЁКО и удельной поверхностью суглинистых почв. Этот факт объясняется, с одной стороны, недостатками расчётного метода по данным гранулометрического состава (в суглинистых почвах количество частиц коллоидной и предколлоидной фракции возрастает, а анализ гранулометрического состава не позволяет судить о процентном составе фракций >0,001 мм). Более точные показатели удельной поверхности суглинистых почв можно получить при использовании данных и гранулометрического и микроагрегатного состава. С другой стороны, величина ЁКО в суглинистых почвах, по-видимому, обусловлена в большей степени такими факторами, как уровень pH, процентное содержание и состав органического вещества, минералогический состав, чем величиной удельной поверхности.

Анализ корреляционной зависимости между ЁКО и удельной поверхностью проводился для 174 образцов почв различного гранулометрического состава. Было установлено, что величина ЁКО песчаных и супесчаных почв в большей степени зависит от удельной поверхности этих почв. Роль других факторов (уровень pH, процентное содержание и состав органического вещества, минералогический состав), взятых в отдельности, выглядит менее существенной. В суглинистых почвах наблюдается обратная зависимость.

Литература

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв М, 1986 415 с.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта М, 1985. 335 с.

Изучение миграции ^{90}Sr в системе почва-растение

М.Н. Ненашева, С.Ф. Тимофеев*, О.М. Храмченкова

Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины
**Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие Институт Радиологии, г.Гомель, Беларусь*

Study of migration ^{90}Sr in system a soil - plant. The study of accumulation ^{90}Sr by various parts of vegetables is carried out. The highest contents ^{90}Sr is marked for cabbage. It, apparently, is connected to a high level of the contents Ca in the given culture. The considerably smaller accumulation radionuclides is observed in carrots and beet.

Изучение механизмов миграции ^{90}Sr в основных трофических цепях является особенно актуальным в настоящее время в связи с высокой биологической доступностью данного радионуклида в системе почва-растение.

Исследованиями последних лет было установлено, что парциальный вклад овощной компоненты в дозу внутреннего облучения ^{90}Sr жителей загрязненных в результате аварии на ЧАЭС регионов составляет до 30%. Учитывая, что основные овощные культуры (в частности, капуста, морковь, свекла), являясь кальциефилами, преимущественно поглощают и накапливают аналог кальция - ^{90}Sr, представляет интерес выяснение механизмов поступления и аккумуляции данного радионуклида в хозяйственно-значимые органы овощных культур. Выявление локусов наибольшего накопления ^{90}Sr в растениях позволит разработать новые подходы к управлению процессами его миграции в основных трофических цепях.

Для изучения закономерностей накопления ^{90}Sr различными вегетативными органами и тканями растений был проведен вегетационный эксперимент в условиях почвенной культуры. Изучались следующие овощные культуры: белокочанная капуста сорта Белорусская 85, морковь Нантская, свекла Бордо. Варианты опыта: супесчаная почва с искусственным внесением ^{90}Sr (суммарная активность 746 Бк/кг) и контроль (без внесения ^{90}Sr, активность 146 Бк/кг). Повторность опыта 6-кратная. Определение ^{90}Sr проводилось путем его радиохимического выделения по стандартной методике ЦИНАО с последующим радиометрическим окончанием на аттестованном низкофоновом бета-счетчике «Canberra-2400» с пропорциональным детектором.

Установлено, что содержание ^{90}Sr значительно варьирует в различных органах и тканях растений. Так, в контрольном варианте у растений капусты максимальное накопление радионуклида обнаружено в мезофилле нижних листьев и составило 146,6 Бк/кг. В верхних листьях содержание ^{90}Sr значительно меньше – 68,9 Бк/кг, в корне - 102,6 Бк/кг. Таким образом, наружные старые листья содержат больше радионуклида, чем молодые. Минимальное содержание ^{90}Sr было в тканях стебля–45,5 Бк/кг. Величина коэффициента накопления (Кн) составила для различных органов и тканей капусты от 0,31 до 1,00.

Содержание ^{90}Sr в корнеплодах свеклы оказалось существенно ниже, чем в листьях. Наиболее высоким накоплением ^{90}Sr отличался мезофилл листа – 111,0 Бк/кг и черешки листьев - 111,5 Бк/кг. Минимальное содержание ^{90}Sr было зарегистрировано в хозяйственно-ценной части растения – 23,7 Бк/кг, а в покровной ткани уровень накопления радионуклида

был существенно выше – 51,5 Бк/кг. Кн составляли для органов и тканей свеклы в контрольном варианте (без внесения радионуклида) от 0,16 до 0,76.

Анализ полученных данных по содержанию ^{90}Sr в вегетативных органах моркови показал, что описанные выше закономерности прослеживаются и для данной культуры: в листьях содержание ^{90}Sr было существенно выше, чем в корнеплодах, и составило 151,0 Бк/кг в контрольном варианте. Проводящие ткани накапливали радионуклид в значительно меньшей мере, чем покровные: флоэма – 22,1 Бк/кг, ксилема – 24,3 Бк/кг, покровная ткань – 43,3 Бк/кг. Кн составили для варианта без внесения ^{90}Sr в почву от 0,15 во флоэме до 1,03 в листьях.

Внесение ^{90}Sr в почву существенно увеличило содержание радионуклида в тканях изучаемых растений. Так, содержание ^{90}Sr в наружных листьях капусты составило 1019,9 Бк/кг, а в стебле – 374,9 Бк/кг. Величина Кн составила 0,39 –1,37. Важно отметить, что в данном варианте опыта прослеживаются те же тенденции по уровням накопления радионуклида различными органами и тканями, то есть, наиболее высокое накопление ^{90}Sr присуще старым наружным листьям, а наименьшее – стеблю и корню. Соотношение между Кн для вариантов без внесения ^{90}Sr и с его внесением составило 0,56-1,67 (см.рис.1).

Проведенными исследованиями было установлено, что при внесении стронция-90 в почву уровни накопления ^{90}Sr вегетативными органами и тканями свеклы также были заметно выше – от 200,6 Бк/кг в корнеплодах свеклы до 1157,4 Бк/кг в листьях. В покровной ткани содержание ^{90}Sr было существенно выше по сравнению с хозяйственно-ценной частью растения – 417,4 Бк/кг. Кн варьировали от 0,27 до 1,55. Соотношения между Кн для вариантов с внесением стронция-90 и без его внесения составляли от 1,18 до 2,04.

У растений моркови уровень накопления стронция-90 в листьях был максимальным - 1139,7 Бк/кг, в покровной ткани - 371,0 Бк/кг, наименьшим накоплением отличались проводящие ткани: флоэма - 171,8 Бк/кг, ксилема - 168,8 Бк/кг. Кн для различных органов и тканей составляли от 0,23 до 1,53. Соотношения между Кн для вариантов с внесением стронция-90 и без его внесения - 1,35 - 1,67.

Таким образом, можно отметить, что соотношения между Кн для обоих вариантов опыта находятся в пределах 1,18 - 2,04 вне зависимости от вида изучаемых растений. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения более детальных исследований в данном направлении. Также установлено существенное влияние видовых особенностей растений на размеры накопления радионуклида. Наиболее высокое содержание стронция-90 в хозяйственно-ценной части отмечено для капусты. Это, по-видимому, связано с высоким уровнем содержания кальция в данной культуре. Значительно меньшее накопление радионуклида зарегистрировано в корнеплодах. Для всех изучаемых культур максимальные уровни ^{90}Sr были зарегистрированы в листьях, а минимальные - в стеблях.

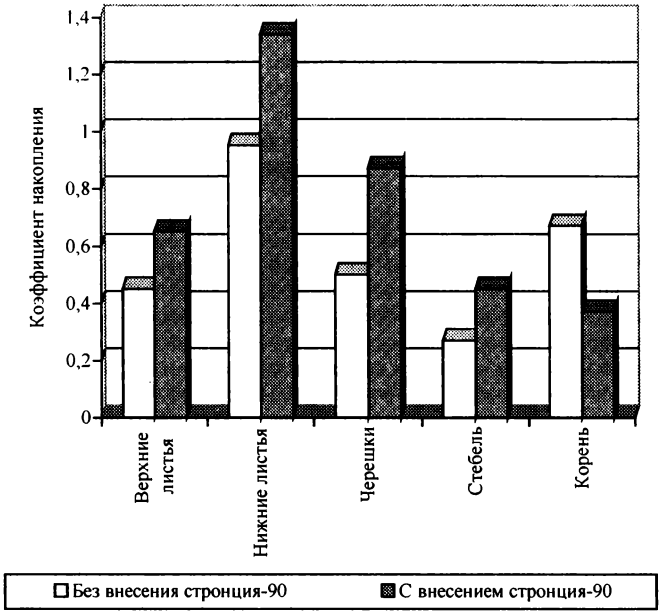


Рис. 1. Накопление ^{90}Sr вегетативными органами капусты белокочанной

Результаты, представленные в настоящей статье, получены при частичной поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Ненашева М.Н. Некоторые закономерности поступления и накопления ^{90}Sr растениями// Молодежь и экологические проблемы современности: Мат-лы III науч.-практ.конф. молодых ученых, Гомель, май 1999 г.- Гомель, 1999.-С.121-123.

2. Изучение механизма поступления и накопления стронция-90 и тяжелых металлов в звене почва – растительность в условиях вегетационного опыта и промышленного выращивания: Отчет о НИР (промеж.)// Гомельский гос. ун-т (ГГУ). Рук. О.М. Храмченкова. №ГР 1999640. - Гомель,1999.– 79 с.

3. Ненашева М.Н., Храмченкова О.М., Тимофеев С.Ф.. Некоторые особенности накопления стронция-90 овощными культурами// Тез.VII Молодежной конф. ботаников в С.-Петербурге (15-19 мая 2000). - С.-Петербург: »Буслай»,2000. - С.140.

The behaviour peculiarites ^{137}Cs and ^{90}Sr in the same reservoir ecosystem components of the far zone influence of the Chernobyl APS accident

O.D. Khvaley

Institute of Radiobiology of National Akademy of Sciences of elarus, Minsk, Belarus

About the distribution of the ^{137}Cs and ^{90}Sr between the main components of the lentical type water ecosystem in the far zone influence of the ChAPS. The water, water suspensions, bottom sediments and aquatic vegetation were investigated in 1990-1997. The date on the change of the radioactivity situation for this time were obtained.

The watercollections of the Dnieper, Sohz, Pripjat and partially Njoman rivers with their tributaries were exposed to the essential radioactivity influence. The common area of radioactivity contamination by the radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr of the Belarus' territory is than more 40 000 km^2, with the density of contamination larger 40 Ku/km^2 - 2 480 km^2; 15-40 Ku/km^2 - 4 600 km^2; with density 5-15 Ku/km^2 - 10 260 km^2, and with density of contamination 1-5 Ku/km^2 - 22 700 km^2 [1].

The different forms of radionuclides quickly to include themselves into the exchange processes of water - aquatic inhabitans - bottom sediments system. Similar processes occur particularly quickly in the vegetation period. The aquatic inhabitants particularly aquatic vegetation, as known, have a high capacity for radionuclide accumulation. The partial burial of radionuclides in the bottom sediments takes place when aquatic inhabitants die. The radionuclides of the surface layer of bottom sediments to be included in the repeated migration cycles including biological cycle during disruptions as they are stirred by the wind, water and the influence of spring floods and heavy rains.

The object under investigation is the relatively small river-bed type reservoir near v.Malinovka Cherikov district Mogilev area. It has a water surface area on the SWL mark of 0,27 km^2, the water collection area of 23,8 km^2, the water volume on the SWL mark of 373 000 m^3. The reservoir is 1,8 km long and 0,36 km wide. Together with water its water-collection area the water of the Senna river (tributary of the Sohz river) provides of the water nutrition for the reservoir. The reservoir is relatively new and was put use into 1982.

The aim of investigation is the study of behaviour of ^{137}Cs, ^{90}Sr in the artifical reservoir Malinovka ecosystem placed at 250 km distance from ChAPS in the alienation zone. The investigations were carred out in 1990-1998, mostly, in spring, summer and autumn. In the process of long-term radioecological monitoring suches components of water ecosystems as filtered water, water suspensions, bottom sediments and water vegetation were investigated.

The content of principal radionuclides - ^{137}Cs, ^{90}Sr in water ecosystem components was determined in the laboratory conditions with use of standard methods of semiconductor gamma-spectrometry, beta- radiometry and radiochemistry with gamma- and beta-termination.

The need for radioecological monitoring is explained by the danger of radioactive contaminated components of the ecosystem of reservoir. A residential area is 5 km away from the reservoir. This is the danger because the reservoir ecosystem despite prohibition is being used of local rural population for fishing purposes and as watering-place for cattle.

The reservoir near v.Malinovka underwent considerable pollution as a result of radionuclides aerosol precipitation and as a result of secondary contamination (site of decontamination of automobiles bounding from the nearest accident zone to the Russia was established on its shore). As a consequence, the water collection areas were polluted with a density of up to 200 000 Bq/kg for ^{137}Cs and up to 1 120 Bq/kg for ^{90}Sr in 1990 -1998.

If the activity of filtred water of the Malinovka reservoir for ^{137}Cs in period 1990-1998 didn't exceed the Republic's permitted level (RPL) - 18,5 Bq/l, the excess was registered for ^{90}Sr -- 0,44 Bq/l in May 1990 (^{90}Sr RPL - 0,37 Bq/l). In the next years the values of specific activities of water for ^{90}Sr were in interval 0,12 - 0,33 Bq/l. There are data of ^{90}Sr, ^{137}Cs content in water suspensions, soils of water-colecction areas and bottom sediments. Together with the radioecological state water apraisal with reference to RPL we used the scale of radioecological assessment elaborated by ukrainian hydrobiologists in 1993 [2]. The water in the Malinovka reservoir is classified thus: contamination by ^{137}Cs is from slightly contaminated to moderatly contaminated (II-III levels), quality is classified from satisfactory cleanness (class 3) to contaminated (class4), the category of the quality of water is classified from feebly contaminated (category 3b) to the moderatly contaminated (category 4a).

Thus according to this classification the range of feebly contaminated water on ^{137}Cs is form 0,004 - 0,185 Bq/l, and the moderatly contaminated - 0,19 - 5,6 Bq/l. The specific activity of ^{137}Cs of reservoir water was 0,05 - 0,77 Bq/l during the research period.The reservoir water on the ^{90}Sr has III level of radioactivite contamination (moderatly contaminated), the class of quality is 4 (contaminated), the category of quality is 4a (moderatly contaminated) and is found in a range of activities from 0,11 to 0,44 Bq/l.

Ukrainian radioecologists estimate the levels of limity contaminated water on ^{90}Sr - more than 14,8 Bq/l and on ^{137}Cs - more than 555 Bq/l [2]. Such high values were observed very seldom for the aquatic areas of Belarus even in the first monthes after the ChAPS disaster.

The next results were obtained too:

- a constant tendency in a fall of activities ^{137}Cs, ^{90}Sr of water, suspensions, bottom sediments in the period 1990-1998 has not been observed;
- the rise in activities of ^{90}Sr in the reservoir water over the amount of ^{137}Cs equates Malinovka reservoir with the some reservoirs of near ChAPS accident zone;
- the reservoir ecosystem is similar to the cooler-reservoirs of APS, in particularly, to the Belojarskoje reservoir, Ural's region of Russia on the portion contents of the radionuclides in the bottom sediments, aquatic vegetation from the common radioactivity of the ecosystem reservoir Malinovka components;
- a constant fall in radioactive contamination of aquatic vegetation has not occured over the years which is indicated by the processes of the radionuclides inside recycling and the all new radionuclides receivings from water-collection areas from the reservoir ecosystems;
- the contribution of the aquatic vegetation in the summary radioactivity proved to be insignificant and not exceed 0,023 % on ^{137}Cs and 0,014 % on ^{90}Sr on cause of the relatively youth of reservoir (small biomass and unimportent area of aquatic vegetation overgrown);
- the main contribution in the summary radioactivity of the reservoir ecosystems components brings in the bottom deposits - 94,6-99,9 % on ^{137}Cs and 57 - 99,5 % on ^{90}Sr; the part of water sediments is 0,01 - 0,61 % ^{137}Cs and 0,03 - 8,08 % ^{90}Sr; and part of strictly filtred water is 0,013 - 4,81 % ^{137}Cs and 0,5 - 41,37 % ^{90}Sr;
- the correlation coefficients (r) and the determination coefficients (rl; $rl=r^2$) for the ^{137}Cs in the next groups of comparison: «suspensions-bottom deposits» (r=0,59, rl=0,34), «suspensions-vegetations» (r=0,69, rl=0,48), «bottom deposits-vegetation» r=0,73, rl=0,53) at $p<0,05$ with help of the «STATGRAPHICS PLUS for WINDOWS 6.0» program were obtained;

- the regression analyses of the radioactivity situation changes in during 8 years was carry out and the next equations of the regression of the type $y = a + bx \pm cx^2$ for the main water ecosystem components were obtained:
  - for the water on ^{137}Cs : y = -49,445+0,942*x-,004*x^2+eps;
  - for the water on ^{90}Sr : y = 28,501-0,52*x+0,002*x^2+ eps (є);
  - for the suspensions on ^{137}Cs : y = 28,578- 0,534*x+0,002*x^2 + eps;
  - for the suspensions on ^{90}Sr: y = 6,012-0,11*x+5,007e-4*x^2 + eps;
  - for the bottom sediments on ^{137}Cs: y = 3,78e6-70110,24*x+325,18*x^2+ eps;
  - for the bottom sediments on ^{90}Sr: y = -85813,06+1614,803*x-7,574*x^2+ eps;
  - for the soils of water collection ^{137}Cs: y =2,114e6-39425,17*x+184,703*x^2+ eps;
  - for the soils of water collection on ^{90}Sr: y =84032,6-1599,636*x+7,619*x^2+ eps;
  - for the water vegetation on ^{137}Cs: y =9,154e6-1,662e5*x+754,326* x^2+ eps;
  - for the water vegetation on ^{90}Sr: y = 21754,46-402,483*x+1,871*x^2 + eps.

Reference

1. Ljutsko A.M., Rolevich I.V., Ternov V.I. To survive after Chernobyl. Minsk.:» High school» Publishing House.-1990-.190p (russ.).

2. O.P.Oksijuk, V.N.Gukinskij, L.P.Braginskij and other. «The complex ecological classification of the quality of the surface water of dry-land». /Hidrobiol. jurnal.-1993.-V.29.N4. P.62-76 (russ.).

Специфика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях живого напочвенного покрова лесных ценозов

О.О. Ермакова, О.Т. Кузьмич, А.П. Казей

Институт экспериментальной ботаники НАНРБ, г.Минск, Беларусь

Specifical ^{137}Cs and ^{90}Sr accbmulation in living soil cover plants of forest cenoses. Observations of the radionuclide content in 38 species of living soil cover plants were carried out in Pinetum myrtillosum, P. pleuroziosum; Quercetum pteridiosum; Betuletum myrtillosum; Glutinoso-Alnetum filipendulosum, Glutinoso-Alnetum. Radiological monitoring for the ^{137}Cs and ^{90}Sr content in living cover plants of forest cenosis in Belarus allows ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation to be predicted for the plants of lower circles of forest cenosis. a obtained one can notice that the radionuclide accumulation intensity depends on the contamination density of the accumulation soil layer, forest growing conditions, species and first of all on the weather conditions of the year of observation. Infavourable conditions (drought) lead to an increase in ^{137}Cs accumulation by a factor of 3-5 depending on the plant species. The maximum values was obtained in ferns which grow under all the controlled forest growing conditions. The species specific character of ^{137}Cs and ^{90}Sr ^{90}Sr accumulation is due to their ecological-physiological peculiarities. The relationship was found between the caesium-137 accumulation and macroelement quantity in overground organs of living soil cover plants.

Обобщены 14 - летние наблюдения за аккумуляцией цезия-137 и стронция-90 растениями живого напочвенного покрова лесных формаций Республики Беларусь. Исследования проводили в следующих типах леса - Pinetum myrtillosum, P. pleuroziosum,

Quercetum pteridiosum, Betuletum myrtillosum; Glutinoso-Alnetum filipendulosum, Glutinoso-Alnetum. Мощность экспозиционной дозы излучения в 1998 г на пробных площадях колеблется от 72 до 177 мкР/ч, плотность загрязнения О-5 см слоя почвы ^{137}Cs составила 2 - 6,8 Ки/км^2, а ^{90}Sr - 3,5-5,4 Ки/км^2.

Данные по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях живого напочвенного покрова лесных фитоценозов показывают, что на количественные показатели аккумуляции цезия-137 и стронция-90 существенное влияние оказывают как видовая принадлежность, так и лесорастительные условия.

Существует видовая специфика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями живого напочвенного покрова. Видоспецифичность аккумуляции ^{137}Cs в сосняке черничном проявилась таким образом: орляк обыкновенный > черника > вейник наземный > мох Шребера > брусника. По накоплению ^{90}Sr растительность данного типа леса можно расположить в следующем порядке: орляк обыкновенный> вереск> черника> брусника> мох Шребера> вейник наземный. Соотношение содержания радиоактивных цезия и стронция в данном типе фитоценоза колеблется от 30,48 (вейник наземный) до 9,61 (брусника). Найдены коррелятивные связи между содержанием цезия-137 и количеством стронция-90 в растениях живого напочвенного покрова. В данном типе леса они наибольшие у брусники (r = -0,999) и мха Шребера (r = -0,690).

Как видно из приведенных рядов, на первых местах по накоплению цезия-137 - папоротники, плауны и представители сем. Норичниковых (растения-полупаразиты), а на последних - представители сем. Брусничных, Лилейных, Мятликовых.

Видоспецифичность накопления ^{137}Cs в сосняках мшистого такова: чистотел большой > орляк обыкновенный > мох Шребера > иван-чай узколистный > зверобой продырявленный > тимьян обыкновенный > земляника, а ^{90}Sr колеблется от $9{,}8\cdot10^{-8}$ Ки/кг (мох Шребера) до $2{,}3\cdot10^{-6}$ Ки/кг (чистотел большой). Коэффициенты накопления стронция у растений данного типа леса следующие: у мха Шребера - 0,23, орляка обыкновенного -2,93, земляники -2,93, зверобоя продырявленного - 1,66, иван-чая узколистного - 4,39, тимьяна обыкновенного - 2,68, чистотела большого - 5,61, вейника наземного - 0,59, овсяницы овечьей - 0,24. Найдены соотношения между содержанием ^{137}Cs к величине аккумуляции ^{90}Sr в растениях живого напочвенного покрова сосняков мшистого типа. Они соответствуют следующим показателям - у мха Шребера - 4,15, орляка обыкновенного -1,25, земляники - 0,27, зверобоя продырявленного - 1,35, иван-чая узколистного - 1,11, тимьяна обыкновенного - 0,38, чистотела большого -1,95, вейника наземного - 3,63, овсяницы овечьей - 1,80. Найдены коррелятивные связи между содержанием цезия-137 и количеством стронция-90 в растениях живого напочвенного покрова сосняков мшистого типа. Наибольшие они у мха Шребера - r = +0,610, орляка обыкновенного r = -0,975, вейника наземного r = +0,811, овсяница овечья r = +0,999.

В условиях дубравы орляковой максимум содержания ^{137}Cs наблюдается у папоротников и растениях сем. Норичниковых, минимум - у видов сем. Брусничных и Мятликовых. Растительность живого напочвенного покрова дубрав орляковых по накоплению цезия-137 можно расположить в следующем порядке: ландыш майский > плаун > марьянник > орляк обыкновенный > вейник наземный > черника, майник двулистный, мох Шребера > молиния голубая, буквица лекарственная, купена лекарственная > овсяница овечья > горичник горный > герань кроваво-красная > брусника. Максимальное содержание стронция-90 в данном типе леса зафиксировано у купены лекарственной, а минимальное - у злакового компонента ценоза. Соотношение содержания ^{137}Cs к количеству ^{90}Sr в данном типе леса - у орляка обыкновенного - 0,03, буквицы лекарственной - 0,19, купены лекарственной - 0,06, вейника наземного- 0,14, овсяницы овечьей - 0,05. Наиболее высокие корреляционные зависимости между содержанием цезия-137 и стронция-90 обнаружены у орляка обыкновенного (r = +0,621).

По накоплению ^{137}Cs растительность черноольшаника крапивного можно расположить

в следующем порядке: чистотел большой > кочедыжник женский > осока удлиненная > крапива двудомная > хмель > таволга вязолистная. По содержанию ^{90}Sr растительность черноольшаников распределилась таким образом - Маковые, Коноплевые, Крапивные, Розоцветные, Осоковые, Папоротники. Соотношения содержания цезия-137 к аккумуляции стронция-90 в условиях черноольшаника крапивного были таковы - у таволги вязолистной - 1,68, кочедыжника женского - 20,31, хмеля - 1,11, чистотела большого - 3,72, осоки удлиненной - 8,16. Наибольший коэффициент корреляции между количеством ^{137}Cs и ^{90}Sr в черноольшанниках обнаружен у таволги вязолистной r = -0,970.

Видоспецифичность накопления ^{137}Cs в условиях березняка черничного проявилась следующим образом: кочедыжник женский > орляк обыкновенный > чемерица > плаун годичный > марьянник дубравный >вейник наземный > мох Шребера > черника, овсяница овечья > плаун булавовидный. В условиях березняка черничного максимальное содержание ^{90}Sr отмечено у кочедыжника женского, минимальное у плауна булавовидного. Растительность березняков черничного типа по накоплению ^{90}Sr можно расположить в следующем порядке: кочедыжник женский, ландыш майский, вейник наземный, черника, марьянник дубравный, брусника, мох Шребера, плауны. В условиях березняка черничного наибольшие коэффициенты корреляции между содержанием радиоактивных цезия и стронция у черники r = -0,942, плаунов r = +0,769, мха Шребера r = -0,999.

Вышеприведенные данные убедительно показывают на наличии видоспецифичности аккумуляции цезия-137 и стронция-90 у растений живого напочвенного покрова различных лесных ценозов.

Радионуклиды Sr-90, Cs-137, Pu-238, Pu-239+240 и Am-241 в компонентах водных экосистем зоны отчуждения Чернобыльской АЭС

Д.И. Гудков, В.В. Деревец, М.И. Кузьменко, А.Б. Назаров

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина
Государственное научно-производственное предприятие «РАДЭК»
Министерства Украины по чрезвычайным ситуациям и делам защиты населения от последствий чернобыльской катастрофы, Чернобыль, Украина

Radionuclides of Sr-90, Cs-137, Pu-238, Pu-239+240 and Am-241 in components of freshwater ecosystems within the Chernobyl NPP exclusion zone. The results of radionuclides ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}Pu$ and ^{241}Am content in hydrobionts tissues of different trophic levels of water objects within Chernobyl NPP exclusion zone have been analysed. Biodiversity of phyto- and zoocenose was studied and spice-indicators of radioactive contamination as well are exposed. The seasonal dynamics of radionuclides content in Macrophites was studied and the role of main aquatic plant clumps in processes of ^{137}Cs and ^{90}Sr distribution in abiotic component of biohydrocenose have been demonstrated. The content of radionuclides in molluscs as well as spices of ichtiocenose are studied. The distribution of radionuclides in organs and tissues of fish have been determined.

Водные экосистемы зоны отчуждения Чернобыльской АЭС продолжают характеризоваться достаточно высокими уровнями радиоактивного загрязнения, что обусловливает актуальность дальнейшего проведения исследований, связанных с изучением

распределения и динамики содержания радионуклидов в абиотических и биотических компонентах биогидроценозов.

Первоначально водоемы и речные поверхности были загрязнены в результате атмосферных выпадений радиоактивных веществ. За годы после аварии уровни содержания радионуклидов стабилизировались. Речное дно рек было промыто в паводки и периоды весеннего половодья и радиоактивные вещества в донных отложениях перестали здесь играть значимую роль вторичного источника загрязнения вод руслового потока. В настоящее время радиоактивное загрязнение рек происходит в результате вторичных процессов: смыва с территории водосборов и притока радионуклидов из более загрязненных водоемов.

В то же время, замкнутые водоемы, и, в частности, озера ближней зоны отчуждения, имеют значительно большие уровни радиоактивного загрязнения. Это связано с ограниченностью водообмена и более высокими уровнями радиоактивного загрязнения донных отложений, в сравнении с промытыми грунтами речных русел. Поэтому для большинства закрытых водоемов современный уровень радиоактивного загрязнения определяется интенсивностью обмена мобильных форм радионуклидов в загрязненных донных отложениях с водными массами, а также внешним смывом с территории водосбора.

Главными задачами проведенных исследований являлись: изучение современного видового состава фито- и зооценозов водных экосистем водоемов зоны отчуждения ЧАЭС; анализ распределения радионуклидов ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}Pu$ и ^{241}Am в гидробионтах различных трофических уровней, а также особенности сезонного накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs высшими водными растениями; выявление специфических накопителей, или видов-индикаторов радиоактивного загрязнения.

Водными объектами исследований являлись: оз. Азбучин, Яновский (Припятский) затон, пруд-охладитель ЧАЭС, озера левобережной поймы р. Припяти – Глубокое и Далекое-1, а также рр. Уж и Припять. На р. Уж станция пробоотбора располагалась в устьевой части реки, на р. Припять пробы отбирались на двух станциях – выше (траверз с. Довляды) и ниже (причал у г. Чернобыля) по течению от ЧАЭС.

Анализ радиоэкологической ситуации в водоемах и выявление организмов-индикаторов проводили с использованием 15 видов высших водных растений, 5 видов моллюсков и 13 видов рыб, среди которых хищных – 4 вида.

Способность водных организмов аккумулировать радионуклиды и традиционно выражаемая в единицах коэффициента накопления или концентрирования (КК) определяли отношением удельной активности радионуклидов в тканях гидробионтов к их содержанию в воде мест обитания. Результаты измерений для биологических объектов приведены в Бк/кг массы естественной влажности.

В результате выполненных исследований проанализирован видовой состав представителей биоценозов ряда водоемов зоны отчуждения ЧАЭС, и сезонная видоспецифичность накопления радионуклидов гидробионтами различных систематических групп.

Среднее содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в тканях высших водных растений из различных водоемов зоны отчуждения ЧАЭС составляло, соответственно 54–6534 и 28-4335 Бк/кг с максимальными значениями в непроточных озерах Глубоком, Далеком-1 и Азбучин. Активность радионуклидов в тканях макрофитов из различных водоемов положительно коррелирует с концентрацией ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде мест обитания в течении вегетационного периода.

Среди высших водных растений зоны отчуждения ЧАЭС выявлены виды-индикаторы радиоактивного загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs: концентраторами 1-го порядка для ^{90}Sr являются тростник обыкновенный, роголистник и водяной орех; концентраторами 1-го порядка для ^{137}Cs являются тростник обыкновенный, уруть колосовидная и осока острая.

Изучение сезонной динамики содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs у высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС позволяет заключить, что пики накопления

радионуклидов для большинства видов приходятся на летний период, а видовые характеристики КК в различные сезоны связаны с фенологическими особенностями периода вегетации и зависит от фаз роста, которые существенно варьируют во времени для представителей различных видов и эколого-биологических групп.

Максимальными коэффициентами концентрирования среди моллюсков характеризуются облигатные фильтраторы – дрейссена и перловица. При этом, если различия КК ^{90}Sr можно объяснить особенностями морфологического строения раковины и соотношением ее веса и общего веса моллюска, то различия КК ^{137}Cs связаны с особенностями функциональной экологии и типом питания этих беспозвоночных.

Содержание ^{137}Cs в мышцах рыб из непроточных озер зоны отчуждения ЧАЭС регистрировалось в диапазоне 5200–27000 Бк/кг, что в 35–180 раз выше допустимого содержания, согласно принятым в Украине нормативам для рыбы, как продукта питания [1]. Содержание ^{90}Sr в мышцах рыб регистрировалось в диапазоне 750–1100 Бк/кг, что превышает допустимое содержание в 21–32 раза. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в съедобной части рыб из р. Припяти, отловленных на территории зоны отчуждения ЧАЭС, лишь в отдельных случаях незначительно превышали допустимые уровни.

Активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышцах водоплавающих птиц, имеющих охотниче-промысловое значение и добытых на р. Припять в районах сел Оташево и Плютовище не превышало, соответственно 54 и 11 Бк/кг. В то же время в скорлупе и содержимом яиц околоводных и водоплавающих птиц, обитающих в районе оз. Азбучин и пруда-охладителя ЧАЭС, отмечены значительно большие активности, достинающие 670 Бк/кг для ^{137}Cs в содержимом яиц и 370 000 Бк/кг для ^{90}Sr в скорлупе.

Содержание $^{238+239+240}Pu$ и ^{241}Am в высших водных растениях, отобранных в наиболее загрязненных радионуклидами озерах зоны отчуждения, регистрировалось, соответственно, в диапазоне 0,4–65,6 Бк/кг (КК – 23,6–4175,2) и 0,3–44,8 Бк/кг (КК – 82,5–7458,3). При этом, специфическим концентратором исследуемых трансурановых элементов, среди изученных видов макрофитов, является рогоз узколистный. Среди водных животных максимальные активности $^{238+239+240}Pu$ и ^{241}Am отмечены для моллюсков, соответственно, 0,3–77,7 Бк/кг (КК – 24,7–10459,8) и 4,6–310,0 Бк/кг (КК – 1095,2–51666,7). Содержание изотопов плутония и ^{241}Am у мирных видов рыб, отловленных в оз. Глубоком, было, соответственно, 1,1-1,4 Бк/кг (с КК не более 90) и 2,2–10,0 Бк/кг, (со средним значением КК – 1027,8).

Особенности морфологического строения и функционирования исследованных гидробионтов, различающихся по своему трофическому уровню и систематическому положению, обуславливают характерные различия в строении и соотношении удельного веса специфических тканей и органов, концентрирующих радионуклиды. Это предопределяет различные величины КК для исследованных радионуклидов, позволяя расположить их для представителей различных систематических групп в следующие ряды: высшие водные растения – $^{241}Am > ^{238}Pu > ^{239+240}Pu > ^{137}Cs > ^{90}Sr$; моллюски – $^{241}Am > ^{238}Pu > ^{239+240}Pu > ^{90}Sr > ^{137}Cs$; рыбы – $^{137}Cs > ^{241}Am > ^{90}Sr > ^{238}Pu > ^{239+240}Pu$.

Литература

1. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питної води (ДР–97). – Київ: Мін. охорони здоров'я України. Комітет з питань гігієничного регламентування. НКРЗУ, 1997. – 38 с.

Особенности накопления радиоцезия различными видами растений

Г.Г. Филипцова

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Radiocaesium accumulation by different plant species. Using the model object influence of mineral nutritions level on radiocaesium accumulation by different plant species has been studied. It was shown the wheat roots accumulation the minimal value on radiocaesium on normal potassium level, the rye roots accumulation maximal level radiocaesium.

Уровень накопления радионуклидов растениями определяется не только характеристиками среды выращивания, но в значительной степени зависит и от видовых особенностей растений. Разные авторы приводят данные, что накопление радиоцезия из почвы различными видами растений варьирует от нескольких процентов до двух порядков [1, 2]. Многофакторность полевого эксперимента не позволяет разделить влияние внешних факторов на накопление радиоцезия от непосредственной роли самого растения в этом процессе. Поэтому целесообразно проведение вегетационных экспериментов, которые позволили бы оценить видовые особенности растений в процессе накопления радионуклидов. Для выявления особенностей в накоплении радиоцезия разными видами культур были проведены эксперименты с использованием 5-6 дневных проростков ячменя, пшеницы, ржи и рапса. Проростки выращивали в водной культуре рулонным способом по методике Журбицкого [3] при люминесцентном освещении (100 лк) в режиме 16 часов свет, 8 – темнота, при комнатной температуре (20±2°С). Выращивали растения в растворе Кнопа и аналогичных растворах с дефицитом ионов K^+, Ca^{2+} и Mg^{2+}, pH 6,5. В работе использовали радиоактивные изотопы ^{137}Cs в виде хлоридов в концентрациях 10^{-7} - 10^{-8} М, удельная активность растворов составляла 20 -- 50 кБк/мл. Коэффициент накопления (Кн) радионуклидов вычисляли как отношение удельных объемных активностей корня и раствора.

Прежде всего, отметим качественное подобие процессов входа и выхода радиоцезия для всех изученных культур. Это позволяет предположить, что поступление радиоцезия в корневую систему растений происходит по одним и тем же механизмам. Различия касаются главным образом количественных характеристик (табл. 1).

В растворе Кнопа максимальное значение Кн наблюдалось у проростков ржи (4,72), а минимальное у пшеницы (3,37). У всех изученных культур дефицит калия вызывал резкое увеличение коэффициента накопления радиоцезия. В порядке возрастания эффекта калия в снижении уровня накопления радиоцезия в корневой системе культуры можно расположить в следующий ряд: ячмень (Кн возрастает в 20 раз по сравнению с полной средой), рапс – в 30 раз, рожь – в 35 раз, пшеница - приблизительно в 40 раз. Пшеница, имеющая в полной среде минимальный коэффициент накопления радиоцезия, оказывается наиболее отзывчивой к уровню калия в среде.

Таблица 1

Характеристики накопления и выхода радиоцезия у различных видов растений

Параметр	Раствор			
	Кнop	Кнop-K^+	Кнop-Ca^{2+}	Кнop-(Ca^{2+}+Mg^{2+})
	Ячмень			
$Кн_{корня}$	4,47±0,45	100±12	6,80±0,52	4,09±0,41
$Кн_{надземн.ч.}$	7,9±0,82	78,6±8,30	9,2±0,88	11,8±1,35
Выход,%	65±5	60±4	50±4	70±6
	Пшеница			
$Кн_{корня}$	3,37±0,32	134±14	3,53±0,30	4,39±0,38
$Кн_{надземн.ч.}$	6,9±0,70	121,5±14,8	5,7±0,54	8,8±1,12
Выход,%	50±4	40±3	50±5	45±4
	Рожь			
$Кн_{корня}$	5,82±0,49	207±21	5,97±0,44	6,23±0,67
$Кн_{надземн.ч.}$	5,1±0,57	148,3±16,1	6,4±0,67	7,0±0,94
Выход,%	50±5	40±4	53±4	55±5
	Рапс			
$Кн_{корня}$	3,84±0,34	125±10	4,48±0,39	7,82±0,72
$Кн_{надземн.ч.}$	1,63±0,21	38,9±2,78	2,62±0,33	3,2±0,46
Выход,%	65±5	70±6	72±6	85±7

$Кн_{корня}$ - коэффициент накопления радиоцезия корневой системой;

$Кн_{надземн.ч.}$ - коэффициент накопления радиоцезия надземной частью проростка;

Выход,% - доля выхода радиоцезия из корневой системы проростков.

При дефиците кальция наблюдается незначительное увеличение стационарного накопления радиоцезия по сравнению с полной средой, которое увеличивалось с дефицитом магния (за исключением проростков ячменя, когда накопление снижается).

Данные о накоплении радиоцезия в надземной части растений обнаруживают как видовые различия, так и общую для всех культур зависимость величины накопления радионуклида в корневой системе растения и его надземной части (см. табл. 1). Отметим, что в полной питательной среде коэффициент накопления радиоцезия в надземной части превышает аналогичную величину для корневой системы растения в 1,5 – 2 раза. Исключение составляет рапс, у которого для всех вариантов растворов основное количество радиоцезия накапливается в клетках корня. При дефиците калия, когда накопление в корне велико, отношение Кн радиоцезия в корневой системе к Кн в надземной части растения снижается, особенно сильно (приблизительно в 3 раза) у проростков рапса. Дефицит ионов кальция, а так же совместно кальция и магния не изменяет соотношение в накоплении радиоцезия в корне и в надземной части по сравнению с раствором Кнопа.

Процесс выхода радиоцезия из корневой системы проростков состоит из двух экспоненциальных. Первая – быстрая фаза соответствует выходу ионов цезия из апопласта корня, вторая более медленная фаза – выход цезия из симпласта клеток корней. Общая доля выхода составляет 40-50% для пшеницы, 40-55% для ржи и 65-85% для рапса, для ячменя аналогичная величина составляла 50-70%.

Таким образом, соотношение скоростей входа и выхода радиоцезия, которое в значительной степени определяет уровень стационарного накопления этого нуклида, в большой степени зависит от минерального состава среды выращивания растений. Наибольшее влияние на все культуры оказывает калий, значительно меньшее кальций и магний, и это понятно, если учесть, что именно ионы калия сильнее всех изменяют разность

мембранного потенциала и, следовательно, соотношение селективного и неселективного механизмов транспорта ионов [4]. Сопоставляя абсолютные величины коэффициента накопления радиоцезия в корневой системе культуры можно расположить в следующий ряд в порядке убывания Кн: рожь > ячмень > рапс> пшеница – в полной питательной среде, и рожь > пшеница > рапс > ячмень – при дефиците калия. Выявленные закономерности подтверждают существенную роль видовых различий растений в процессе накопления радиоцезия.

Ряд культур по убыванию Кн радиоцезия в надземной части выглядит следующим образом: ячмень > пшеница > рожь > рапс. Различия в накоплении радиоцезия надземной частью растения свидетельствуют о том, что переход корневая система растений - надземная часть тоже имеет свою специфику. По всей видимости, этот процесс зависит от водного режима, поэтому максимальное накопление в корневой системе растений не соответствует максимальному накоплению в надземной части.

Литература

1. Итоги научных исследований в области радиоэкологии окружающей среды за десятилетний период после аварии на Чернобыльской АЭС. Сб. науч. Трудов / Под ред. С.К. Фирсаковой. -Гомель, 1996. -205 с.

2. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / Под ред. В.И. Парфенова, Б.И. Якушева. -Мн.: Наука и техника, 1995. -582 с.

3. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода.-М.: Наука, 1968. -266 с.

4. Соколик А.И., Демко Г.Г., Горобченко Н.В., Юрин В.М. Основные механизмы поступления ^{137}Cs в корневую систему растений // Радиационная биология. Радиоэкология. - 1997. № 5. –С. 787-796.

Радиочувствительность Arabidopsis thaliana L. при действии малых доз ионизирующей радиации

В.И. Шершунова

Институт Биологии Коми научный центр Уральского Отделения РАН, г Сыктывкар, Россия

Radiosensitivity of Arabidopsis thaliana L. in condition of influence of low ionozing radiation doses. Arabidopsis thaliana is a convinient genetic object. This work represents the date of laboratory experiments concerning research of influence of chronic γ-irradiation on plants of arabidopsis at rosette stage (shortstemmed mutant Lansberg Erecta) The findings contribute to the high sensitivity of rosette stage of arabidopsis to irradiation by γ-rays in low doses(0.67-10.0 sGr). It is shown in depressing effects of ionising radiation on growth, development, vitality and bearing of plants, but also in hightened output morphological anomalities of plants and embrionic lethalities in pods.

Arabidopsis thaliana L. является удобным генетическим объектом и имеет статус «ботанической дрозофилы». Геном этого модельного организма полностью секвенирован, на нем работают 500 лабораторий мира. Этот объект довольно широко используют при исследовании радиационных воздействий как в лабораторных экспериментах, так и в природе [1,2,3,4]. В работе представлены данные опытов по изучению чувствительности генома арабидопсиса к воздействию малых доз ионизирующих излучений.

Растения арабидопсиса на розеточной стадии подвергали хроническому γ-облучению от источника ^{226} Ra (50 Р/ч):

а) в течение 7 суток при мощности экспозиционных доз 4 мР/ч (Опыт I) и 60 мР/ч (Опыт II). Дозы облучения составили 0.67сГр и 10сГр, соответственно (первый эксперимент). Наблюдали за ростом и развитием растений, учитывали такие показатели как морфологические аномалии, высоту, плодовитость, выживаемость у растений.

б) в течение 6 суток при мощности экспозиционной дозы 11 - 12.5 мР/ч. Общая доза облучения составила 1.6 – 1.8 сГр. Определяли частоту эмбриональных леталей и хлорофильных мутаций методом стручкового анализа по Мюллеру [5](второй эксперимент).

Растения выращивали на почвенной смеси в ящичках.

Результаты исследований в первом эксперименте показали, что облученные растения заметно отставали в росте и развитии от контрольных. Так, контрольные растения приступили к цветению на 10 дней раньше облученных растений. Высота растений через 8 дней после облучения в опыте I (4мР/ч) составила 4.3 см, в опыте II (60мР/ч) - 3.0 см (в контроле - 10.6 см). Среди облученных растений чаще чем в контроле встречались измененные растения(морфозы). Частота морфозов в опыте I составила 16.1%, а в опыте II - 13.8%. В обоих вариантах измененные растения главным образом были представлены в виде растений с коротким главным стеблем, или же стебель полностью отсутствовал. Встречались растения с двумя «главными» стеблями. Это явление характерно для арабидопсиса: наиболее часто встречающиеся морфологические отклонения у арабидопсиса - это многостебельные формы и фасциации [5]. Среди отклонений в развитии у облученных растений можно отметить такие случаи, когда боковые соцветия появляются прямо в пазухах листьев главного стебля.

Учитывали также число розеточных листьев на растение. Если для контроля среднее число листьев на розетку составляет около 6, то для опыта I это значение составило 4.3, для опыта П - 3.4(из них много было желтых и высохших листьев). Выживаемость растений на момент наблюдений (фаза цветения) для контроля составила 92.3%, для опыта I - 77.7%, опыта П - 58.3%. Стерильность растений(число неплодоносящих растений по отношению к числу растений, подвергнутых облучению) в опыте I составила 55.6 % и опыте II - 52.7%.

Надо отметить, что растения в период облучения находились в несколько иных условиях, чем контрольные. Контрольные растения произрастали при солнечном освещении и температуре 25-30 градусов. Опытные растения во время облучения находились в облучательной комнате при искусственном освещении и температуре 23 градуса. После облучения растения перенесли в контрольные условия. Возможно, в данном случае, условия выращивания растений могли повлиять на эффекты радиации и, поэтому корректнее сравнивать варианты Опыт I и Опыт II, которые находились в течение всего эксперимента в одинаковых условиях. Это сравнение выявило, что негативные эффекты радиации проявлялись сильнее в варианте с более высоким уровнем облучения.

Результаты второй серии экспериментов показали, что у растений, подвергшихся облучению, повышена частота эмбриональных леталей до 5.3 %, а в контроле это значение достигало 2.0%($P<0.05$). Наблюдали следующие типы эмбриональных леталей в варианте с хроническим облучением: diffusa - 33.3 %, vana - 27. 3 %, murca – 33.3 %, viridis (XM) – 0.05 %, а в контроле: vana - 28.6%, sicca - 28.6%, parva - 14.3%, brevis – 14.3%. В облучаемом варианте зародыши значительной доли семян были недоразвиты(полностью несформированы).

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности розеточной стадии растений арабидопсиса к облучению γ-квантами в малых дозах(0.67 – 10.0 сГр), проявляющейся в угнетающем действии радиации на рост, развитие, выживаемость и плодовитость растений, а также в повышенном выходе частоты морфологических аномалий у растений и эмбриональных леталей в стручках.

Литература

1. Федоренко О.М. Изучение генетического разнообразия природных популяций растений и его значение для адаптации к экстремальным факторам среды// Автореф.дисс. на соиск.ученой степени к.б.н.. М.1991. - 26с.

2. Kovalchuk I., Kovalchuk O., Arkhipov A., Hohn B. Transgenic plants are sensitive bioindicators of nuclear pollution caused by the Chernobyl accident// Nat Biotechnol.1998.V.16.N.11.P.1054-95.

3. Kovalchuk O, Kovalchuk I, Titov V, Arkhipov A, Hohn B Radiation hazard caused by the Chernobyl accident in inhabited areas of Ukraine can be monitored by transgenic plants// Mutat Res.1999.V.446.N.1. P. 49-55.

4. Лысенко Е.А. Изменение генетического разнообразия в природных популяциях Arabidopsis thaliana L. под действием хронического облучения// II съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Санкт-Петербург. Т.2. 2000.С.123(тезисы докладов).

5. Иванов В.И.. Радиобиология и генетика арабидопсиса// Проблемы космической биологии. - М.: Наука.Т.27. 1974. - 191с.

Аккумуляция радионуклидов в подлеске и подросте в лесных природных комплексах

Г.И. Кабашникова

Институт экспериментальной ботаники Национальной Академии Наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

Accumulation of radionuclides by undergrowth and underbrush plants in forest natural complexes. Dynamics of specific gamma - activity and specific difference of radionuclide accumulation by plants of undergrowth and underbrush in natural vegetative complexes was examined.

Компоненты лесного фитоценоза: подлесок и подрост, расположенные под пологом леса, испытывают отрицательное действие хронического облучения, вызванного аварией на ЧАЭС, в большей степени, чем растения верхнего яруса. Поэтому изучение динамики накопления радионуклидов подростом и подлеском является актуальной задачей. Исследовались динамика удельной гамма-активности и видовая специфичность аккумуляции радионуклидов растениями подлеска и подроста в природно-растительных комплексах.

Радиоэкологический мониторинг аккумуляции радионуклидов растениями нижнего яруса в естественных фитоценозах в зависимости от плотности загрязнения почв проводился на 8 видах растений подроста (дуб черешчатый, береза повислая, осина, ель обыкновенная, ольха черная, клен остролистный, граб обыкновенный, сосна обыкновенная) и на 11 видах растений подлеска (крушина ломкая, рябина обыкновенная, лещина обыкновенная, ежевика несская и сизая, малина, калина, ракитник русский, ива козья и ушастая, бересклет бородавчатый) на 28 пробных площадях в зонах с различной плотностью радиоактивного загрязнения почвы в нескольких типах леса (сосняках: мшистом, черничном, кисличном, багульниковом, лишайниковом; березняках: черничном, мшистом, злаковом; ольшаниках: крапивном и таволговом, и дубравах грабово-орляковых).Удельная гамма-активность растительных и почвенных образцов определялась с помощью радиометров отечественного производства.

С 1986 по 1988 годы произошло резкое снижение радиоактивности растений и почвы за счет распада короткоживущих изотопов. В этот период накопление радионуклидов в компонентах подземной фитомассы определялось особенностями перевода поверхностного загрязнения аэрального происхождения в наземное с последующей миграцией радионуклидов в подстилку и вглубь почвы. К 1988 году поступление радионуклидов в компоненты фитоценоза практически полностью стало корневым. В докладе приводятся результаты исследований удельной гамма-активности почв и растений подлеска и подроста за период с 1992 по 1996 годы. Материалы исследований, полученные с момента аварии до 1992 года, представлены в монографии: «Радиоактивное загрязнение растений Белоруссии». Минск. Наука и техника. 1995.

Наиболее загрязненными среди сосняков мшистых были пробные площади в д. Савичи и д. Бартоломеевка в Гомельской области и в д.Ушаки Могилевской области. Мощность экспозиционной дозы излучения на уровне почвы в 1996 году равнялась 544 – 729 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 36 – 42 Ки/км^2. На этих пробных площадях растения загрязнены в наибольшей степени. По средним данным по каждой пробной площади удельная гамма активность растений составляла $1{,}9\,10^{-6}$- $6{,}9\,10^{-7}$ Ки/кг. В 1996 году самая высокая гамма-активность среди подроста была на пробной площади в д. Бартоломеевке у дуба черешчатого ($1{,}3\cdot10^{-6}$ Ки/кг), а в подлеске - у ежевики несской и рябины обыкновенной ($3{,}0\cdot10^{-6}$ - $1{,}1.10^{-6}$ Ки/кг). Сосняки черничного типа в окрестностях д. Кирово и г. Добруш относятся к средне загрязненным территориям. Мощность экспозиционной дозы излучения на уровне почвы в 1996 году равнялась соответственно 205 и 136 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 12 и 7,8 Ки/км^2. Удельная гамма активность растений составляла $7{,}4\cdot10^{-7}$ и $2{,}9\cdot10^{-7}$ Ки/кг. Вблизи д. Кирово наиболее высокая гамма-активность наблюдалась у дуба ($1{,}6.10^{-6}$ Ки/кг). В окрестностях Добруша наибольшая гамма-активность была у крушины ($1{,}1.10^{-7}$ Ки/кг). На менее загрязненной площади вблизи г. Добруша у дуба, березы, крушины и ежевики гамма-активность за рассматриваемый период практически не менялась. У всех видов растений в 1994 и 1996 годах происходили »всплески» гамма-активности.

Березняки черничные, представленные четырьмя пробными площадями, расположенными в Брестской, Гомельской и Могилевской областях, различались степенью загрязнения радионуклидами. Самый высокий уровень ионизирующего излучения был в д. Вепри. Мощность экспозиционной дозы излучения на уровне почвы в 1996 году составляла 279 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 16,5 Ки/км^2. Наиболее низкий уровень- в д. Белоуша. Мощность экспозиционной дозы излучения на уровне почвы была 68 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 4,7 Ки/км^2. Средняя удельная гамма-активность растений находилась на уровне $1{,}9\text{-}2{,}3\cdot10^{-7}$ Ки/кг. Вблизи д. Вепри наиболее высокая гамма-активность наблюдалась у ежевики сизой ($3{,}6.10^{-7}$ Ки/кг). В районе д. Белоуша наибольшая гамма-активность была у малины ($3{,}1.10^{-7}$ Ки/кг). Также как и в сосняках, в березняках черничных в 1996 г. на некоторых пробных площадях наблюдался »всплеск» гамма-активности некоторых растений.

Дубравы орляковые представлены тремя пробными площадями в Гомельской области у населенных пунктов д. Савичи, г. Брагин, д. Кирово. Мощности экспозиционной дозы излучения на указанных площадях на уровне почвы были равны соответственно 85, 42 и 582 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 5,6, 1,8 и 40 Ки/км^2. Радиоактивность растений на этих пробных площадях изменялась пропорционально изменениям радиационного фона. Средняя за пять лет гамма-активность листьев на этих пробных площадях составляла соответственно $6{,}4\cdot10^{-8}$, $1{,}2\cdot10^{-7}$ и $8{,}1\cdot10^{-7}$. В окрестностях д. Кирово наиболее высокая гамма-активность листьев отмечена у крушины $4{,}0\cdot10^{-7}$ Ки/кг, и рябины $-3{,}3\cdot10^{-7}$ Ки/кг. На пробной площади у д. Савичи- у листьев дуба и лещины $1{,}3\cdot10^{-7}$ Ки/кг, в районе г. Брагин – у лещины $1{,}1\cdot10^{-7}$ Ки/кг.

Изучение аккумуляции радионуклидов в черноольшанике таволговом (д. Олексичи) и крапивном (д. Бабчин) проводилось в Гомельской области. Мощность экспозиционной дозы

излучения на уровне почвы в 1996 году на этих площадях равнялась соответственно 360 и 58 мкр/час, а плотность загрязнения почвы – 22 и 2 Ки/км^2. Средняя удельная гамма-активность растений в черноольшанике крапивном превышала активность в черноольшанике таволговом в 5 раз ($1{,}1 \cdot 10^{-6}$-$2{,}1 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг). Наиболее активно поглощала радионуклиды в Бабчине малина ($8{,}3 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг), а в Олексичах – крушина ($3{,}2 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг). В засушливые 1994, 1996 годы в черноольшаниках происходило кратковременное увеличение удельной гамма-активности листьев у многих видов растений: малины, лещины, рябины, крушины. Таким образом увеличение удельной гамма-активности в засушливые вегетационные периоды наблюдалось в различных типах сосновых, березовых, дубовых, ольховых фитоценозах с сильно различающимися уровнями загрязнения. Наиболее отчетливо это заметно на гидроморфных и полугидроморфных почвах.

Мониторинг динамики аккумуляции радионуклидов в растениях подлеска и подроста в природно-растительных комплексах показал, что не только уровень загрязнения почв радионуклидами, но и условия местообитания и видовая принадлежность играют существенную роль в накоплении радионуклидов. Отмечено, что в засушливые вегетационные периоды происходило увеличение удельной гамма-активности у многих видов растений, особенно, на гидроморфных и полугидроморфных почвах.

Исследование распределения гелия в подземных водах юго-востока Беларуси

В.Н. Лукша

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Research of distribution of helium in underground waters of a southeast Belarus. The resume. The exponential relation between concentrations of helium and depth of test is determined. Are detected of regularity in change of fields of helium in a vertical and horizontal cut.The background concentrations of helium for different aquifers are determined. Is compounded isohelium map of groundwaters of the Gomel locale. The communication of this aquifer with underlying is estimated. The helium fields are compared to a hydro-geological cut, design and operational mode of wells, hydrography, elemental composition of water. The correlation of helium with some chemical components is detected.

Гелий образуется при α- распаде и делении радиоактивных элементов (почти исключительно урана и тория) и вызываемых этим ядерных реакциях [1].Благодаря процессу диссипации гелия из верхних слоев атмосферы в космическое пространство существует только восходящий поток гелия в направлении «мантия-кора-атмосфера-космос» [4].

С глубиной содержание гелия увеличивается [3], причем скачкообразное увеличение концентраций гелия происходит между водоносными горизонтами, разделенными мощными водоупорами. Распределение гелия зависит также от эксплуатации и условий питания подземных вод [2]. В пределах зоны питания восходящие потоки гелия «подавляются» нисходящим движением подземных вод. В области разгрузки основным является вертикальное движение подземных вод. Исходя из этого область разгрузки по сравнению с зоной питания должна характеризоваться повышенным значением плотности поля гелия, если естественный водообмен не осложнен эксплуатацией водоносных горизонтов. Кроме того, интересным является изучение поля гелия в зоне активного водообмена, где формируется сложная структура местных потоков с активным взаимодействием подземных

вод через слабопроницаемые слои.

Отбор проб воды выполнялся в соответствии с существующей методикой [5]. Определение концентраций гелия производилось с помощью магниторазрядного индикатора гелия ИНГЕМ-1.

В результате массового гелиеметрического опробования подземных вод зон затрудненного и активного водообмена Гомельской области выявлена достаточно тесная экспоненциальная зависимость между концентрациями гелия и глубиной опробования:

C_{He} = 14,3893*exp(0,125789*H), с коэффициентом корреляции 0,65.

Кроме того, определены фоновые содержания гелия для различных водоносных горизонтов, составлена карта гелиенасыщенности грунтовых вод Гомельского региона, оценена связь этого водоносного горизонта с нижележащим. Гелиевые поля сопоставлены с гидрогеологическим разрезом, конструкцией и режимом работы скважин, гидрографией, химическим составом извлеченной воды. Выявлена четкая корреляция гелия с некоторыми химическими компонентами. При чем на различных водозаборах гелий коррелировал иногда с разными химическими элементами, что связано в первую очередь с различными условиями восполнения запасов эксплуатируемых водоносных горизонтов. Кроме того, гелий имеет иной генезис чем другие микро- и макрокомпоненты воды, но на определенных этапах движения они становятся спутниками.

В результате гелиеметрических исследований в зоне активного водообмена юго-востока Беларуси можно сделать следующие выводы:

- в горизонтальном разрезе наблюдается увеличение концентраций гелия от водоразделов к метам разгрузки межпластовых вод
- в вертикальном разрезе:
- в условиях преобладания метеогенного потока концентрация гелия сверху вниз уменьшается медленно;
- в условиях заметного влияния глубинного потока увеличение концентрации *He* происходит быстрее;
- в переходной гидрогеодинамической зоне распределение гелия имеет двоякий вид: для верхних водоносных горизонтов – близкий к первому случаю, для нижних водоносных горизонтов – близкий ко второму случаю.

Литература

1. Алексеев Ф.А., Готтих Р.П., Сааков С.А. и др. Радиохимические и изотопные исследования подземных вод нефтегазоносных областей СССР. -М.: Недра, 1975. -271с.

2. Василихин Н.И. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.г.-м.н. Использование гелиеметрических данных при гидрогеологических исследованиях.- М.1984.16с.

3. Гумен А.М., Гусев А.П. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси.//Литосфера. Мн.1997.С.140-148.

4. Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе.- М.: Энергоиздат, 1981.- 140с.

5. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка.- М.:Недра,1979.-96с.

Исследования планктона в водоеме-охладителе Белоярской АЭС

В.П. Гусева, М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Studies of Plankton from Beloyarskaya NPP's Reservoir-cooler. The given work presents research information about phyto- and zooplankton number and biomass dynamics in various water fronts of Beloyarskoye reservoir, changes of these indices after water passage through cooling system, content of basic radionuclides-contaminators in plankton. Here is also estimated plankton contribution in overall radionuclide balance in reservoir-cooler.

Планктон Белоярского водохранилища является практически не изученным компонентом водоема как в плане его качественного и количественного состава (видового разнообразия, численности, биомассы), так и с точки зрения роли этих организмов в самоочищении водоемов от радионуклидов.

Проведенная нами инвентаризация фито- и зоопланктона позволила зарегистрировать в водоеме более 120 видов планктонных водорослей и 25 видов зоопланктонных организмов. Выявлены доминирующие комплексы микроводорослей и зоопланктона.Установлено, что среди фитопланктонных водорослей по численности преобладают синезеленые, которые и по биомассе составляют от 40 до 80% и более в зависиимости от места и времени отбора. Среди зоопланктона преобладают ракообразные. Средняя численность и биомасса изученных организмов в водоеме составляет, соответственно, 184 млн. кл./ л и 20 г /м^3 для фитопланктона и 131 тыс. экз./ м^3 и 5 г / м^3 для зоопланктона.

Наиболее сильное воздействие Белоярской АЭС планктонный комплекс испытывает при прохождении через систему охлаждения. На выходе из нее численность фитопланктона сокрвщается в 2, а биомасса – в 1,6 раза. Ежесуточно примерно 65 т фитопланктона и 6 т зоопланктона погибает в системах охлаждения. Выявлена большая гибель веслоногих рачков по сравнению с вветвистоусыми; последниие оказались менее чувствительными к повреждающим факторам.

В зоне сброса подогретых вод численность и биомасса зоопланктона соответственно в 4 и 7 раз снижается по сравнению с контрольным участком, расположенным за пределами зоны подогрева. В отношении фитопланктона четкого влияния сброса подогретой воды на численность и биомассу выявить не удалось. В зоне подогрева концентрация ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs достоверно выше, по сравнению с контрольным районом, что обусловлено влиянием комплекса факторов (повышенной температурой воды, засасываниием слаборадиоактивных стоков в охлаждающую систему от вышерасположенных каналов и др.). В период работы второго энергоблока Белоярской АЭС (1985 – 1986 г.г.) через водосбросной канал по сравнению с водозаборным в зону подогрева водоема поступало дополнительное количество радионуклидов ^{60}Co, ^{90}Sr и ^{137}Cs. После вывода из эксплуатации этого энергоблока (1990 – 1991 гг.) таких поступлений радионуклидов в водоем не выявлено.

Концентрации радионуклидов в планктоне Белоярского водохранилища варьирует в широких пределах при средних значениях 270 (^{60}Co), 40 (^{90}Sr) и 260 (^{137}Cs) Бк/кг сухой массы. Их суммарное количество, удерживаемое планктоном водоема-охладителя в летнее время, составило 736 МБк/кг ^{60}Co, 109 МБк/кг ^{90}Sr и 709 МБк/кг^{137}Cs, что во много раз превышает соответствующие показатели для высших водных растений, обитающих в водоеме.

Динамика активности поступления радиоактивных веществ в древесные растения

Б.С. Мартинович, М.М. Сак, Р.М. Голушко

Институт экспериментальной ботаники НАНБ, г.Минск, Беларусь

Dynamics of penetration activity of radioactive substances to woody plants. The article presents the rasults of absorbing ability dynamics of woody plants as one of the criteria for estimating the influence of ionozing radiation on their vital functions.

На всем пути миграции радионуклидов в системе окружающая среда - растение облучение последних сопровождается заметным биологическим воздействием, приводящим к нежелательным последствиям (острые лучевые поражения, радиационный мутагенез и др.), что в свою очередь может отразиться и на скорости поглощения, накопления и миграции радионуклидов растительными организмами. В этой связи ставилась задача - изучить отдаленные последствия влияния катастрофы на Чернобыльской АЭС на жизнедеятельность древесных растений в местах радионуклидного загрязнения лесных территорий.

Объектами исследования служили 40-50-летние сосновые насаждения, расположенные на различном удалении от места катастрофы с разной плотностью загрязнения почв, и различными условиями местопроизрастания. Насаждения представлены лишайниковым (пробная площадь (ПП) 39), черничным (ПП 3 и 16) и мшистым (ПП 11, 14, 18, 21, 22) типами леса. Исследования по данному вопросу проводились в течение 12 лет (1987-1998гг.).

В качестве ответной реакции древесных растений на изменившиеся условия внешней среды под воздействием радиоактивного загрязнения лесных фитоценозов использована их поглотительная способность. Для количественной оценки активности поступления радионуклидов из почвы в древесные растения взят коэффициент перехода ($K_п$) продуктов деления в хвою сосны, который соотносит концентрацию радионуклидов в растениях к площадному загрязнению почв. Выбор хвои в качестве теста на предмет активности поступления продуктов распада в растения определялся тем, что в хвою текущего года переходят радионуклиды в основном корневым путем и в известной степени исключается поверхностное загрязнение (аэральный путь поступления).

Результаты проведенных исследований влияния ионизирующих излучений, вызванных катастрофой на ЧАЭС, на жизнедеятельность сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.) приводятся в табл. 1. Анализ полученных экспериментальных материалов показывает, что ионизирующие излучения в определенной мере оказывают свое влияние на активность поступления радиоактивных веществ в древесные растения. Некоторый спад активности перехода радионуклидов в растения и особенно в зоне с относительновысокой плотностью загрязнения почв (ПП 39, 11, 21, 3) наблюдался вплоть до 1992--1993 гг. Несколько более высокие в ряде случаев коэффициенты перехода в начальный период после аварии на ЧАЭС (1986-1988гг.) объясняются, как показано ранее [1,2], поверхностным загрязнением различных органов растений. В местах с низким уровнем загрязнения почв (ПП 14, 18) эта разница (по сравнению со средним $K_п$ за 12 лет) минимальна либо совсем отсутствует. Наблюдаемые колебания значения $K_п$ в данном случае часто связано не столько с влиянием ионизирующих излучений, сколько с колебанием климатических факторов среды обитания и эдафических условий местопроизрастания сосны обыкновенной.

Наибольшая активность поступления радиоактивных веществ из почвы в древесные растения отмечена нами в сосняках черничных (ПП 3 и 16). Средний коэффициент перехода равен соответственно 8,06 и 3,99. 10^{-2}. Несколько менее интенсивный переход продуктов

деления из почвы в растения сосны наблюдается в сосняках мшистых ($2,50 \cdot 10^{-2}$ и $0,91 \cdot 10^{-2}$) и сосняке лишайниковом ($1,65 \cdot 10^{-2}$). Относительно активный процесс перехода радионуклидов из почвы в растение в сосняке лишайниковом (ПП39) связан с развитием поверхностной корневой системы сосны в данном типе леса, сосредоточенной в верхнем слое почвы, максимально насыщенном радиоактивными веществами. Отсюда и более резкие колебания активности поглощения радиоактивных элементов сосной обыкновенной по годам.

Анализ полученных экспериментальных материалов по воздействию различных доз ионизирующих излучений на поглотительную деятельность древесных растений (на примере сосны обыкновенной) показывает (табл. 1), что устойчивое снижение активности поступления радионуклидов независимо от типов леса и плотности загрязнения почв ($K_п$ $1,38 \cdot 10^{-2}$ - $1,96 \cdot 10^{-2}$ при среднем $K_п = 2,53 \cdot 10^{-2}$) наблюдалось вплоть до 1994 года и только с 1994г. активность перехода резко начала возрастать (на 50-75%), что связано, очевидно, в значительной мере как со снижением дозы ионизирующих излучений (в связи с распадом короткоживущих изотопов), так и с разложением лесной подстилки и переходом в почву большего количества радиоактивных веществ, усиливающих корневой путь их поступления в растения.

Таблица 1

Динамика активности поступления радиоактивных веществ в сосну обыкновенную в условиях хронического облучения

Местонахождение Объектов исследования и их NN	Коэффициенты перехода (Кп) 10^{-2} / Отклонение от среднего $K_п$ за 12 лет, %												Средний $K_п$ за 12 лет
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
ПП 39 д.Масаны	2,92 +28,07	2,98 +30,70	1,79 -21,49	0,76 -66,67	0,41 -82,01	0,43 -81,14	0,21 -90,79	2,23 -2,19	1,21 -46,93	3,60 +57,89	5,09 +123,25	5,68 +149,12	2,28
ПП 11 д.Савичи	1,22 +34,07	0,35 -61,54	0,35 -61,54	0,65 -28,57	0,58 -36,26	1,52 +67,03	0,82 9,89	0,45 -50,55	0,39 -57,14	2,78 +205,49	0,48 -47,25	1,43 +57,14	0,91
ПП 21 д.Бартоло-Меевка	1,41 -41,74	2,63 +8,68	1,78 -26,45	1,69 -30,17	1,62 -33,06	2,03 -16,12	1,95 -19,42	2,23 -7,85	4,03 +66,53	4,78 +97,52	2,76 +14,05	2,08 -14,05	2,42
ПП 22 д.Ушаки	0,54 -29,87	0,94 +22,08	0,51 -33,77	1,36 +76,62	0,24 -68,83	0,19 -75,32	0,29 -62,33	1,61 +109,09	0,35 -54,54	1,00 +42,86	0,43 -44,16	1,75 +127,27	0,77
ПП 3 д.Кирово	1,53 -81,02	1,72 -78,66	3,55 -55,95	6,98 -13,40	1,53 -81,02	1,49 -81,51	5,97 -25,93	24,38 +202,48	21,30 +164,27	18,33 +127,42	8,34 +3,47	1,56 -80,65	8,06
ПП 16 г.Добруш	1,29 -67,67	1,88 -76,67	3,58 -10,28	6,18 +54,89	6,91 +73,18	7,87 +97,24	2,45 -38,59	4,34 +8,77	3,41 -20,88	5,26 +22,04	2,41 -39,60	2,26 -43,36	3,99
ПП 18 д.Светило-вичи	1,99 +155,13	0,87 +11,54	0,68 -12,82	0,83 +6,41	0,84 +7,69	1,43 +83,33	0,34 -56,41	0,68 -12,82	0,90 +15,38	0,19 -75,64	0,18 -74,29	0,48 -38,46	0,78
ПП 14 д.Теклинов	0,10 87,50	1,36 +70,00	0,46 -42,50	1,25 +56,25	0,89 +11,25	0,68 -15,00	0,72 -10,00	0,17 -78,75	0,36 -55,00	0,61 -23,75	1,86 +132,50	0,24 -70,00	0,80
Средние значения по годам	1,38 -44,80	1,59 -36,40	1,59 -36,40	1,59 -36,40	1,63 -34,80	1,96 -21,60	1,59 -36,40	4,51 +80,40	3,99 +59,60	4,57 +82,80	2,69 +7,60	1,94 -22,40	2,50

Литература

1. Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавик И.М. и др. Лес.Человек.Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации.-Гомель: Институт леса НАН Беларуси,1999.-454с.

2. Парфенов В.И., Якушев Б.И., Мартинович Б.С. и др. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аврией на Чернобыльской АЭС).-Мн. : Навука и тэхника, 1995.-582с.

Опыт изучения десорбции ^{137}Cs различными видами мхов

В.А. Собченко[1], А.Н. Переволоцкий[2], О.М. Храмченкова[1]

[1]Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
[2]Институт леса НАН Б, г. Гомель, Беларусь

Studying experiment of ^{137}Cs desorbtion from the different moss species. It had studied the dynamic of ^{137}Cs inference from 4 moss species, which had been taken in the contamination zone more then 1480 kBk/m^2. It was shown there is one nuclide sorbtion-desorbtion mechanism in case artificial nuclide introduction as well as accident forest ecosystems pollution. The achievement of equilibrium time in the «moss - water solution» system was 13 days.

Мохообразным принадлежит существенная роль в процессах первичной аккумуляции радионуклидов аэрального выпадения. Это связано с рядом экологических и морфологических особенностей мхов: широким ареалом распространения, видовым разнообразием, медленным нарастанием и отмиранием биомассы, большой сорбционной емкостью и способностью прочно фиксировать выпавшие радиоактивные частицы. Рядом авторов показано, что мхи способны накапливать и удерживать в своих тканях повышенные по сравнению с травянистыми растениями количества радионуклидов (Молчанова с соавт., 1981, 1990; Нифонтова, 1995; Bovard, Grauby, 1966; Svensson, 1967).

На степень доступности сорбированного ^{137}Cs для минерального питания растений существенное влияние оказывает режим увлажнения почвы (Павлоцкая, 1974), одним из факторов которого является вклад мохообразных - Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt, Dicranum polysetum Sw, Hylocomium splendens (Hedw.) B.S.G. и др.

Настоящая работа была посвящена изучению скорости десорбции ^{137}Cs, накопленного различными видами мхов, произрастающих в зоне загрязнения Чернобыльской аварии. Образцы мхов (Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt, Dicranum polysetum Sw, Hylocomium splendens (Hedw.) B.S.G. и Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not.) были отобраны в июле 2000г на территории Чечерского района Гомельской области в зоне загрязнения свыше 1480 кБк/м^2. Удельная активность отобранных проб составляла 28020±433, 62530±1840, 22260±550 и 83490±1150 Бк/кг сухой массы соответственно. Для опыта были взяты навески массой 20г воздушно-сухой пробы мхов каждого вида. Пробы были помещены в сосуды, наполненные дистиллированной водой, исключающие возможность испарения воды. С учетом того, что мхи в воздушно-сухом состоянии способны поглотить 3-5 собственных масс воды, первоначальный её объем составил 1100мл, в дальнейшем объем воды составлял 1000мл. Так как для установления равновесия в системе «мох-вода» достаточно 13 суток

(Молчанова с соавт., 1980) поэтому смена воды в сосудах производилась на 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 сутки после начала опыта. Абсолютное содержание ^{137}Cs рассчитывалась по содержанию нуклида в воде. Измерения производились на гамма-радиометре МКС-1311 (EL-1311) с детектором «Фосвич» (кристалл CsI(Tl) 152x40 мм) 1024 канала, диапазон измерений 10-10^5 Бк/кг и гамма-спектрометре «Прогресс-гамма» с детектором БДЭГ 3-1 (кристалл NaI(Tl) 76x76 мм) 2048 каналов, диапазон измерений 4-10^6 Бк/кг.

Наиболее прочно удерживает ^{137}Cs Pleurozium schreberi - после установления равновесия в системе в пробе содержалось более 70 % начального количества (рис), Динамика снижения ^{137}Cs в пробе данного вида характеризовалась только одноэкспоненциальной зависимостью вида $y = a + be^{(-x/c)}$, тогда как для трех других видов мхов были получены и двуэкспоненциальные кривые вида $y = ae^{(-x/b)} + ce^{(-x/d)}$. Коэффициенты зависимостей у Dicranum polysetum и Ptilium crista-castrensis практически одинаковы (табл.), что свидетельствует о близких значениях вклада первой и второй экспонент, а также периодов полуснижения соответствующих экспонент. Промежуточное положение по скорости и доле вымывания ^{137}Cs занимает Hylocomium splendens.

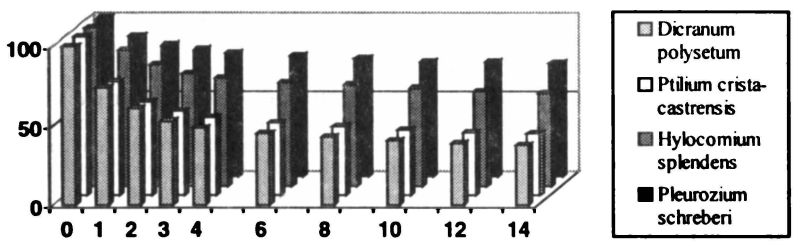


Рис. 1. Динамика содержания ^{137}Cs во мхах, %

Таблица 1

Коэффициенты экспоненциальных зависимостей десорбции ^{137}Cs

	$y = a + be^{(-x/c)}$			$y = ae^{(-x/b)} + ce^{(-x/d)}$			
	a	b	c	a	b	c	d
Dicranum polysetum	40.07	52.15	2.20	50,37	1,42	49,90	47,61
Ptilium crista-castrensis	41.19	46.74	2.23	47,89	1,18	52,53	42,62
Hylocomium splendens	61.12	36.39	2.45	35,20	1,29	70,70	72,83
Pleurozium schreberi	73.03	22.06	2.77	–	–	–	–

Необходимо отметить, что полученные нами данные по мохообразным зоны загрязнения аварии на ЧАЭС хорошо согласуются с данными опытов по искусственному насыщению мхов ^{137}Cs и последующему вымыванию нуклида (Молчанова с соавт., 1980). Это свидетельствует о наличии единого механизма сорбции-десорбции нуклида мохообразными, независимо от способа его поступления. В опыте было подтверждено, что период установления равновесия в системе «мох - водный раствор» составляет 13 суток.

Литература

1. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в мохово-торфянистых отложениях верхового болота. // Экология, 1981, № 5. - С. 86-88.

2. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Куликов Н.В. Радиоэкологическое изучение почвенно-растительного покрова сопряжённых участков ландшафта Чернобыльской АЭС. // Экология, 1990, №3. - С. 30-35.

3. Bovard P., Grauby A. The fixation of radionuclides from atmospheric fallout in peat-bog *Sphagnum* sp., *Polytrichum* and *Myriophyllum*.- In: Radioecological concentration processes. Stockholm, 1966, p. 533-537.

4. Svensson G.K. The increasing ^{137}Cs in forest moss in relation to the total ^{137}Cs fallout from 1961 through 1965. - In: Radioecological concentration processes. Stockholm, 1967, p. 539-546.

5. Нифонтова М.Г. Содержание долгоживущих радионуклидов в моховом покрове зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа. // Экология, 1995, № 4. - С. 326-329.

6. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. - М.: Атомиздат, 1974. - 216с.

7. Молчанова И.В., Боченина Н.В. Мхи как накопители радионуклидов. // Экология. 1980, № 3. - С. 42-47.

Сорбция и десорбция радиоцезия и радиостронция растительной клеткой

А.П. Кудряшов, В.М. Юрин, Н.Н. Кудряшова*, Г.Д. Матусов*

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь
**Институт экспериментальной ботаники НАНБ, г. Минск, Беларусь*

Sorption and desorption of radiocesium and radiostrontium by plant cell. The processes of sorption and desorption of radionuclides by Nitella flexilis cell are considered. Uptake coefficient of ^{137}Cs and ^{90}Sr in cell compartments were established. It was shown the cell wall play impotent role in the processes of radionuclides sorption and desorption in plant cell.

Зачастую растения являются начальными элементами трофических цепей, поэтому их роль, как первичных аккумуляторов радионуклидов более чем значительна. Кроме того, показано, что растения могут вносить заметный вклад в процессы перераспределения радиоцезия и радиостронция по вертикальному профилю среды в водоемах и почве [1, 2]. Ход процессов поступления радионуклидов в растительный организм, их транспорт по тканям и органам и экскреция из растений в значительной мере определяется сорбцией и десорбцией изотопов отдельными структурами клетки.

С целью изучения особенностей миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в системе клетка-среда на модельном объекте (гигантских клетках междоузлий харовой водоросли Nitella flexilis) проводились исследования динамики поглощения и выделения изотопов цезия и стронция растениями, а также распределение радионуклидов между отдельными клеточными компартментами. Основные преимущества клеток харовой водоросли перед другими модельными объектами следующие: простота культивирования в лабораторных условиях, значительные размеры как клетки, так и хорошо дифференцированных ее компартметов, изученность физиологических и мембранных процессов.

В динамике процесса поглощения ^{137}Cs клетками водоросли отчетливо выделяется несколько фаз. Равновесное распределение радионуклида между растением и средой достигается лишь спустя несколько недель. При этом установившиеся значения

коэффициентов накопления ^{137}Cs ($K_н^{Cs}$) для клетки в целом варьировали в пределах 10 – 62 и зависели от ионной силы и кислотности среды. Например, изменение кислотности растворов с низкой ионной силой от pH9,0 до pH8,0 приводило к более чем троекратному падению $K_н^{Cs}$ в клетках.

С увеличением содержания ионов K^+ в среде с 10^{-5} до $3 \cdot 10^{-4}$ г-экв/л не отмечалось существенного снижения $K_н^{Cs}$ для клетки во всех вариантах опыта. В экспериментальные растворы, содержащие от $3 \cdot 10^{-3}$ до 10^{-2} г-экв/л ионов Na^+. В реальных почвенных растворах содержание Na^+ обычно выше чем K^+, поэтому указанные среды гораздо лучше моделировали систему почвенный раствор-растение, чем однокомпонентные смеси. В тоже время, повышение ионной силы среды за счет увеличения содержания в ней NaCl приводило к значительному снижению $K_н^{Cs}$ при всех исследуемых значениях pH. В этих средах поглощение ^{137}Cs клетками слабо зависело от кислотности среды.

Основная часть поглощенного клеткой радиоцезия распределяется между вакуолью и целлюлозной оболочкой. Причем в средах низкой ионной силы при pH 9,0 – pH 8,0, активность оболочки клетки многократно превосходит активность вакуоли и вносит основной вклад в величину общей активности клетки. Величина $K_н^{Cs}$ вакуоли была в пределах 6-8 и оставалась относительно постоянной независимо от состава среды. Поскольку при длительных экспозициях (сутки) отмечается значительное возрастание активности клеток, по сравнению с короткими экспозициями (часы), нельзя утверждать, что равновесное распределение ^{137}Cs между оболочками клеток и средой устанавливается за короткие промежутки времени, исчисляемыми часами и даже минутами.

Аккумуляции ^{90}Sr клетками Nitella flexilis – длительный многостадийный процесс. При варьировании pH среды в пределах 6,0 – 9,0 не отмечалось существенных изменений величины коэффициентов накопления этого нуклида ($K_н^{Sr}$) для клетки в целом. При отсутствии ионов Ca^{2+} в среде с уменьшением pH $K_н^{Sr}$ возрастал, т.е. при сорбции ^{90}Sr наблюдалось противоположное чем при поглощении ^{137}Cs влияние среды. В то же время процессы сорбции ^{90}Sr клетками водоросли сильно зависели от наличия ионов Ca^{2+} в среде. Так, в растворах без Ca^{2+} при pH6,0 и pH9,0 установившиеся значения $K_н^{Sr}$ для клетки в целом составляли 1051 и 782, соответственно. При наличии 10^{-4} М $CaCl_2$ $K_н^{Sr}$ снижался до 392, и не зависел от pH среды. При увеличении содержания $CaCl_2$ до $5 \cdot 10^{-4}$ М отмечался заметный рост $K_н^{Sr}$ по сравнению с предыдущим вариантом.

Оболочки клеток содержали основное количество аккумулированного ^{90}Sr (величина $K_н^{Sr}$ для оболочек варьировала в пределах 3062 – 6161 в зависимости от вариантов эксперимента). Максимального значения $K_н^{Sr}$ для оболочки достигал в отсутствии ионов кальция в среде при pH6.0. Добавление в раствор 10^{-4} г-экв/л ионов Ca^{2+} снижало $K_н^{Sr}$ до 3176, однако в присутствии $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $CaCl_2$ $K_н^{Sr}$ возрастал до 3847 при pH6,0 или до 5082 – при pH9,0. В щелочных растворах именно в присутствии $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $CaCl_2$ оболочки аккумулировали заметно больше ^{90}Sr, чем при других вариантах опыта. Наблюдаемый парадоксальный рост $K_н^{Sr}$ для оболочек клеток с возрастанием содержания ионов Ca^{2+} в среде обусловлен вероятно процессом осаждения $CaCO_3$ на поверхности клеточных стенок. Такого рода осаждение обычно связывается с ассимиляцией CO_2 растениями, т.е. этот процесс имеет непосредственное отношение к внутриклеточному метаболизму. Сложный характер зависимости процесса аккумуляции ^{90}Sr в оболочке клеток от содержания ионов H^+ и Ca^{2+} в среде позволяет сделать заключение, что процесс сорбции ^{90}Sr клеточной стенкой не может быть сведен лишь к ионообменным процессам. Более того, сорбция ^{90}Sr в клеточных стенках, вероятно, происходит одновременно с отложением $CaCO_3$. Поэтому процесс накопления ^{90}Sr в оболочке клетки длится неограниченно долго. В цитоплазме содержится большая часть ^{90}Sr, поступившего внутрь клетки. Однако $K_н^{Sr}$ для цитоплазмы сильно зависит от содержания Ca^{2+} в среде. Так, в отсутствии Ca^{2+} в среде в цитоплазме аккумулировался ^{90}Sr в концентрации в 2310 раз превышающей наружную, добавление 10^{-4} М $CaCl_2$ снижало этот показатель до 665. Увеличение содержания ионов Ca^{2+} до $5 \cdot 10^{-4}$ г-экв/л

приводило к дальнейшему падению $K_н^{Sr}$. Содержание ^{90}Sr в вакуолях клеток было заметно ниже, чем в цитоплазме, однако при всех вариантах экспериментов $K_н^{Sr}$ для вакуолей составляло 0,01 $K_н^{Sr}$ для цитоплазмы.

Ход экстракции ^{137}Cs и ^{90}Sr из клеток харовой водоросли – медленный процесс, зависящий от физико-химических показателей среды. В дистиллированной воде и средах с низкой ионной силой экстракция идет крайне медленно. При этом не достигается полного извлечения радионуклидов из клетки. Увеличение ионной силы среды добавлением $5 \cdot 10^{-3}$ М NaCl или KCl приводит к резкому ускорению процесса экстракции ^{137}Cs из клеток. Причем, в этом случае при длительных экспозициях возможно практически полное извлечение поглощенного клеткой радиоизотопа. Скорость экстракции ^{90}Sr в присутствии ионов Ca^{2+} увеличивается многократно.

Ранее [3] нами было показано, что оболочка клеток вносит существенный вклад в ход процесса поступления радиоцезия в растительную клетку. Приведенные результаты, вероятно, указывают на подобную роль целлюлозных оболочек клеток и в процессах десорбции радионуклида из растения. При этом первичное распределение ^{137}Cs между клеточной стенкой и средой определяется в основном ионообменными процессами, обусловленными наличием фиксированных отрицательных зарядов в материале оболочки растительной клетки. Аккумуляция же ^{90}Sr в целлюлозных оболочках клеток обусловлена не только ионным обменом, но и другими процессами. Наличие значительного количества радионуклидов в непосредственной близости к плазмалемме в виде пула адсорбированного клеточной стенкой, препятствует его выходу из внутриклеточного содержимого. В то же время, при отсутствии противоиона снижение количества адсорбированного в клеточной стенке радионуклида затруднено. И лишь при интенсивном замещении радионуклидов оболочки катионами индуцируется выход изотопов из клеток в среду. Причем, десорбция радионуклидов протекает в несколько этапов, каждый из которых соответствует переходу радионуклида из одного компартмента в другой.

Литература

1. Yakushev B.I., Kudryashov A.P., Matusov G.D., Kudryashova N.N., Sak M.M. // Proc. Belarus-Japan symp. «Acute and late consequences of nuclear catastrophes: Hiroshima-Nagasaki and Chernobyl» Minsk, 1994. P. 235 – 242.

2. Матусов Г.Д., Якушев Б.И., Кудряшов А.П., Кудряшова Н.Н. // Проблемы экспериментальной ботаники. 1997. С. 93-99.

3. Матусов Г.Д., Кудряшов А.П., Кудряшова Н.Н. // Тезисы докл. Междунар.совещания «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». Москва. 2000. С. 291.

К вопросу о биологической доступности ^{90}Sr для растений луговых фитоценозов

С.Ф. Тимофеев, А.Г. Подоляк, А.С. Тимофеев

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие Институт Радиологии, г.Гомель. Беларусь

The biological availability ^{90}Sr for plants of meadow communities. The accumulation of ^{90}Sr by meadow plants on peaty soil changes over a wide range. The essential influence on receipt radionuclides of processing of soil and fertilizers is established. Is shown, that to current of time there is a reduction of receipt ^{90}Sr in plants.

Среди радиоактивных изотопов особый интерес представляет ^{90}Sr. Это объясняется сочетанием ряда свойств, которое делает его одним из наиболее опасных радионуклидов: длительный период полураспада, химическое сходство с таким элементом как кальций, относительно высокая биологическая подвижность.

Одним из главных факторов, определяющих размер перехода в растения радионуклида, является почвенно-климатический. Вклад почвенно-климатических факторов на изменчивость накопления ^{90}Sr сельскохозяйственными растениями составляет 66-94%, в то время как на влияние случайных факторов приходится всего 6-32%. Величины накопления ^{90}Sr одними и теми же видами растений из почвы в зависимости от почвенно-климатических условий отличаются в 3-8 раз, а в отдельных случаях достигают 20-30 раз /1/.

Почвенно-климатические факторы, влияющие на поведение радионуклидов в почве и переход их в растения можно разделить на две группы: физико-химические характеристики почвы (минералогический, химический и гранулометрический состав, содержание обменных катионов, органического вещества, влажность, кислотность, температура) и погодно-климатические условия (продолжительность сезона положительных температур, средние температуры года, сезона, годовое количество осадков).

Для научного обоснования приемов по уменьшению накопления радионуклидов в урожае большое значение имеет исследование их поведения в почве, поглощения растениями и факторами, определяющими переход стронция из почвы в растения.

Особое значение приобретает круг рассматриваемых вопросов в связи с радиоэкологической обстановкой, складывающейся в южных районах Гомельской области Республики Беларусь. В ряде хозяйств на загрязненной территории существует серьезная проблема получения продукции, отвечающей РДУ по содержанию ^{90}Sr.

Научно-исследовательские работы по данной тематике проводили на протяжении 1992-2000 гг в окрестностях д. Дублин Брагинского района Гомельской области на мелиорированных землях, ранее использовавшихся как сенокосно -пастбищные угодья.

Почва - торфяно-глеевая, развивающаяся на хорошо разложившихся осоково - древесных торфах. Плотность загрязнения опытного участка ^{137}Cs в 1992 г составила 270,1 кБк/кв. м (7,3 Ки/кв. км), ^{90}Sr - 74,6 кБк/кв. м (2,0 Ки/кв. км).

Основное количество радионуклидов продолжает находиться в слое 0-5 см. Результаты исследований показывают, что миграция радионуклидов по профилю торфяно-болотной почвы происходит достаточно медленно. Можно отметить, что ^{90}Sr мигрирует более сильно по сравнению с ^{137}Cs.

Не отмечено существенного влияния затопления торфяника на скорость вертикальной миграции радионуклидов.

В экспериментах изучали влияние обработки почвы, доз минеральных удобрений и мелиорантов, способов их внесения на поступление ^{90}Sr в естественные и сеяные злаковые травы /2-4/.

Накопление ^{90}Sr естественными травами колеблется в широких пределах. Можно отметить уменьшение амплитуды колебаний с течением времени.

Проведение перезалужения без внесения минеральных удобрений и мелиорантов неэффективно. Наиболее существенно снижает биологическую доступность ^{90}Sr для растений внесение минеральных удобрений и мелиорантов в сочетании с обработкой почвы.

Значения удельных активностей растений по повторениям были усреднены и сгруппированы по вариантам и годам. Затем по усредненным данным по вариантам были построены аппроксимирующие кривые (линии тренда), имеющие вид степенной функции (рис.1).

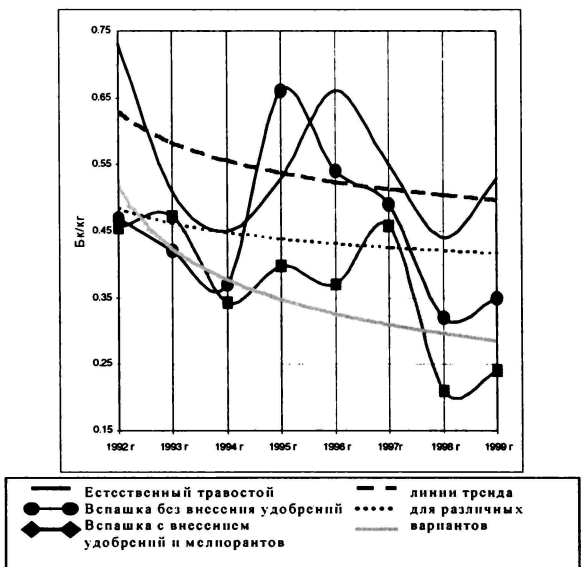


Рис. 1 Динамика накопления ^{90}Sr в растениях

По линиям тренда можно судить о тенденции к уменьшению доступности радиостронция для растений независимо от применяемых контрмер. Для естественного травостоя величина снижения поступления радионуклида за 8 лет составила 21%.

Наиболее быстрое снижение происходит в варианте "вспашка с применением удобрений и мелиорантов", около 19-44% за время проведения исследований, а в варианте "вспашка без удобрений" уменьшение накопления радиоактивного стронция составила 14--25% по отношению к естественному травостою.

Следует отметить, что загрязнение растений ^{90}Sr с течением времени может не только уменьшаться, но и увеличиваться. Однако, данные колебания со временем становятся все меньше относительно линии тренда.

Таким образом, проведенные исследования показали, что с течением времени происходит закономерное уменьшение биологической доступности ^{90}Sr для растений луговых фитоценозов на торфяно-болотных почвах.

Литература

1. Клечковский В.М., Федоров Е.А., Архипов Н.П. и др. Закономерности почвенного и аэрального поступления радиоактивного стронция в сельскохозяйственные растения //Почвоведение.-1973.- №5.-С.38-47.

2. Фирсакова С.К., Тимофеев С.Ф., Гребенщикова Н.В. Коренное улучшение луговых угодий -эффективная мера для снижения перехода радионуклидов в сеяные травы. // Экология и здоровье.-1996.-N2.С.84-88.

3. Тимофеев С.Ф.. Гребенщикова Н.В., Фирсакова С.К. Влияние улучшения сенокосно-пастбищных угодий, расположенных на основных типах почв Белорусского Полесья, на размеры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостой. / Итоги научных исследований в области радиоэкологии окружающей среды за десятилетний период после аварии на ЧАЭС. Сб. науч. трудов НИИР. Гомель. 1996.С.40-43

4. Фирсакова С.К., Гребенщикова Н.В., Тимофеев С.Ф. Эффективность агромелиоративных мероприятий в снижении накопления цезия-137 растениями на лугопастбищных угодьях в зоне аварии на ЧАЭС. /Доклады ВАСХНИЛ.-1992.-N3.

Приемы изменения биологической доступности радионуклидов на пойменных лугах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС

А.Г. Подоляк,* С.Ф. Тимофеев,* Т.Ф. Персикова**

**Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии», г. Гомель, Беларусь*

***Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь*

The methods of change of biological availability radionuclides on river meadows contamination after the accident on Chernobyl NPP. The estimation of effectiveness of different methods for river meadows improvement in Belarus Republic is given. These methods allow to get the feed corresponding to permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr content.

Анализ содержания радионуклидов в травостоях естественных и культурных фитоценозов пойменных лугов после аварии на ЧАЭС выявил значительный разброс показателей, который объясняется рядом факторов: неоднородностью уровня загрязнения угодий, различиями по типам почв и их механическому составу, неодинаковой удаленностью обследуемых площадей от места аварии, различными формами нахождения радионуклидов в почве. Как общая закономерность, отмечена высокая степень загрязнения травостоя естественных кормовых угодий по сравнению с растительностью окультуренных сенокосов и пастбищ, а также сеяных трав возделываемых на пашне [1-5].

Как показатели результаты десятилетних исследований, для оценки объемов и прогноза качества кормов, получаемых с пойменных угодий, помимо показателей плотности загрязнения радионуклидами необходимо также учитывать структуру луговых фитоценозов и определять уровни радиоактивного загрязнения травостоя. В зависимости от содержания радионуклидов в травостое авторами предложены параметры содержания радионуклидов, которыми определяется возможность использования этих земель для производства кормов.

Так, при содержании в зеленой массе травостоя: ^{137}Cs до 370 Бк/кг, ^{90}Sr до 65 Бк/кг – корма пригодны для использования без ограничений; ^{137}Cs от 370 Бк/кг до 1480 Бк/га, ^{90}Sr до 260 Бк/кг – корма пригодны для получения молока с обязательной его переработкой в другие молочные продукты (сметана, масло), а также для откорма КРС на I-II стадиях; ^{137}Cs более 1480 Бк/га, ^{90}Sr более 260 Бк/кг –корма непригодны для сельскохозяйственного использования без проведения защитных мероприятий, позволяющих снизить параметры перехода радионуклидов в травостой.

На основе результатов комплексного радиологического обследования разрабатывается программа агротехнических и агрохимических мероприятий, позволяющих снизить биологическую доступность радионуклидов.

На практике к подобным мерам относятся: поверхностное и коренное улучшение при помощи различных видов обработки почвы в сочетании с внесением повышенных доз калийных, фосфорных и известковых удобрений, а также умеренных доз азотных.

Поверхностное улучшение предполагает сохранение естественного растительного покрова и создание лучших условий для его роста и развития. Данный прием эффективен на кормовых угодьях с низкой плотностью радиоактивного загрязнения (1-5 Ku/км^2 (37-185 Бк/м^2) по ^{137}Cs и 0,1-0,5 Ku/км^2 (3,7-18,5 кБк/м^2) по ^{90}Sr), в травостое которых имеется не менее 45-50% ценных кормовых трав (представителей ботанической группы злаковых) и содержание радионуклидов в травах незначительно превышает допустимые уровни. Применение этого приема позволяет снизить размеры перехода в травостой ^{137}Cs в среднем в 2-3 раза и ^{90}Sr в 1,2-1,5 раза.

Наиболее эффективным приемом, снижающим поступление радионуклидов в луговую растительность, является коренное улучшение естественных и повторное залужение улучшенных кормовых угодий. Этот прием обеспечивает в среднем 10-кратное снижение размеров перехода ^{137}Cs и 3-х кратное – ^{90}Sr. Рекомендуется проводить как при низком, так и высоком уровне загрязнения пойменных земель радионуклидами (на участках центральной поймы или при условии соблюдения природоохранных мероприятий на пойменных землях).

Коренное улучшение включает в себя комплекс агротехнических и агрохимических мероприятий по окультуриванию почв, а также созданию сеяного травостоя. Лучшие сроки проведения этого приема на пойменных угодьях – конец июня - начало июля, крайние сроки – первая декада августа.

Правильный выбор обработки почвы при коренном улучшении позволяет существенно снизить размеры перехода радионуклидов. Основной вид обработки почвы, который применяется при коренном улучшении – вспашка. Однако на тех участках пойменных земель, где мощность гумусово-аккумулятивного горизонта не превышает 15-20 см, необходимо проводить улучшение путем многократного (в 3-4 следа) дискования.

Обязательный элемент коренного улучшения - известкование. Наибольший эффект дает послойное внесение доломитовой муки, при котором 1/3 расчетной по гидролитической кислотности дозы вносится под дискование перед проведением вспашки, а 2/3 дозы – под дискование после вспашки при предпосевной обработке почвы.

Система удобрения пойменного луга при поверхностном улучшении определяется почвенными условиями, ботаническим составом травостоя и режимом дальнейшего использования луга (сенокосный или пастбищный).

При сенокосном использовании минеральные удобрения наиболее эффективны при внесении под каждый укос (2 укоса в год): половину расчетной дозы азотных и калийных удобрений и полную дозу фосфорных удобрений рекомендуется вносить весной, вторая половина азотных и калийных удобрений вносится после первого укоса трав. Максимальная разовая доза азотных удобрений не должна превышать 80-90 кг/га д.в., во избежание увеличения размеров перехода радионуклидов в травостой, а также накопления нитратов в получаемой продукции.

Система применения удобрений при пастбищном типе использования пойменного луга

(не более 3-х стравливаний в год) предусматривает 1/3 дозы азотных и калийных удобрений и полную дозу фосфорных удобрений вносить весной и по 1/3 дозы азотных и калийных удобрений – после каждого последующего стравливания. Во избежание избыточного накопления радионуклидов, нитратов и калия в урожае зеленой массы разовая доза азотных удобрений не должна превышать 60 кг/га д.в., а калийных – 90 кг/га д.в.

Залужение рекомендуется проводить травосмесями, включающими как минимум 3-5 видов трав. При составлении травосмесей в их состав следует включать виды и сорта трав, наиболее приспособленные к конкретным почвенно-климатическим условиям. Учитывая, что бобовые более интенсивно поглощают радионуклиды, особенно ^{90}Sr, включать их в состав травосмесей можно лишь при очень низкой плотности радиоактивного загрязнения.

При сенокосном типе использования желательно включать кострец безостый, овсяницу луговую, тимофеевку луговую. При дальнейшем (на 3-й – 4-й год) использовании угодья как пастбища в состав травосмеси следует включать 40-45% низовых злаков и 55-60% корневищных. При пастбищном типе использования можно рекомендовать травосмеси, состоящие из тимофеевки луговой, костреца безостого, мятлика лугового, ежи сборной.

Результаты многолетних исследований легли в основу рекомендаций, предназначенных для руководителей и специалистов предприятий агропромышленного комплекса, при выполнении которых возможно получение травяных кормов на пойменных кормовых угодьях, соответствующих существующим республиканским нормативным требованиям даже при относительно высокой плотности их радиоактивного загрязнения.

Литература

1. Методические рекомендации по повышению продуктивности кормовых угодий в колхозах и совхозах Гомельской области. Гомель. 1989. 66с.

2. Подоляк А.Г, Тимофеев С.Ф., Медведев В. А., Борович О.А. Параметры перехода радионуклидов в растения различных ботанических групп и отдельных видов пойменного луга.// Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетия и пути их решения. Матер. межд. науч.-практ. конф., Брянск, 15-17 июня 1999 г. Т-2.-С. 210-217.

3. Касьянчик С.А., Круглов Л.В., Котович А.М., Лазовская Л.Н. Получение чистых кормов на пойменных лугах // Международный аграрный журнал. - 1999. - №10. - С. 26-31.

4. G. Rauret, N.Grebenshikova, N.Sanzharova, S.Firsakova, A. Podolyak. Effectiveness of agricultural practices as a restoration strategy to reduce radionuclide root uptake in contaminated meadows. Deliverable for REDUP Research project European Commission Contract №IC 15-CT 96-0212, September 1999. 57p.

5. L. Sapegin, N. Daineko, S. Timofeev, A.Podolyak. Prognoses of plant communities changes on the territories, not used in agricu-ltureafter the accident at the Chernobyl NPP./ International Conference One decade after Chernobyl. Austria, 1996.- P..306-307.

Исследование аккумуляции ^{137}Cs клетками растений

*Г.Д. Матусов, Н.Н. Кудряшова, А.П. Кудряшов**

Институт экспериментальной ботаники Н АНБ,
**Белорусский государственный университет Республики Беларусь,*
г. Минск, Беларусь

The study of accumulation of ^{137}Cs by plant cells. In this work the absorption and desorption of ions ^{137}Cs by plant cells and influence of different physical and chemical factors of environment on that proceses were investigated. The kinetiks of cesium accumulation have been obtained and the factors of accumulation of ^{137}Cs have been determined for a plant cell itself and its separate compartments.

Изучение процессов аккумуляции растениями различных радиоактивных элементов из внешней среды и локализации этих элементов в растительных клетках и отдельных компартментах этих клеток представляется весьма существенным аспектом современной радиоэкологии (1).

В связи с этим нами проводились исследования процессов поглощения и десорбции ^{137}Cs растительными клетками и влияния на эти процессы различных физико-химических факторов внешней среды. В качестве модельного объекта использовались гигантские клетки харовой водоросли Nitella flexilis, имеющие макроскопические размеры и хорошо дифференцированные основные клеточные структуры.

Полученные временные зависимости накопления ^{137}Cs клетками Nitella позволяют утверждать, что поглощение ^{137}Cs растительными клетками--это сложный многостадийный процесс, в котором можно выделить три стадии, различающиеся скоростью поглощения. Первая стадия поглощения цезия заканчивается через 20-30 мин. после перенесения клеток в радиоактивный раствор и отражает, по-видимому, поглощение цезия клеточной оболочкой. Вторая стадия, соответствующая поглощению цезия цитоплазмой, длится несколько часов. И третья стадия - вхождение цезия в вакуоль клетки продолжается несколько суток.

Были определены величины входящих потоков ионов цезия при различных концентрациях K^+ в среде. При низкой концентрации K^+ $3 \cdot 10^{-5}$ моля поток Cs+ составлял $1{,}4 \cdot 10^{-11}$ моль/м^{2}с, при концентрации K^+ $5 \cdot 10^{-3}$ моля поток равен $3{,}1 \cdot 10^{-11}$ моль/м^{2}с.

Установлено, что изменение кислотности среды от pH 6 до pH 9 на фоне $3\ 10^{-3}$ М натрия приводит к заметному росту скорости поглощения Cs+. Увеличение концентрации калия от $3 \cdot 10^{-5}$ М до 10^{-4} М не приводило к существенному изменению хода поглощения цезия при всех значениях pH среды от pH 6 до pH 9. Добавление 10^{-2} М хлорида натрия заметно изменяло зависимость поглощения ^{137}Cs клетками Нителлы от pH среды.

При перенесении клеток Nitella в нерадиоактивный раствор, наблюдался постепенный выход поглощенного ^{137}Cs из клеток во внешнюю среду. Причем кинетика отмыва была также многостадийной. После двадцати суток отмыва в клетке оставалось еще около 13 % первоначально накопленной радиоактивности. Увеличение концентрации калия во внешнем растворе до $5 \cdot 10^{-3}$ М приводило к заметному ускорению отмыва. Причем, ^{137}Cs практически полностью вымывался из клеток.

Такая зависимость выхода ионов цезия из клетки от концентрации ионов K^+ очевидно объясняется тем, что в средах, содержащих ионы K^+ в концентрациях, превышающих 10^{-3} М

наблюдается равновесное распределение ионов K^+ между средой и клеткой. Вследствие этого процессы активного транспорта ионов K^+ через мембрану клетки не играют существенной роли в обмене этого катиона. При концентрациях порядка 10^{-4} М роль активного транспорта весьма значительна. Поскольку ион цезия в различной мере может замещать ионы калия в процессах диффузии и активного транспорта через клеточную мембрану, наблюдаются значительные различия в ходе отмыва клеток, содержащих 10^{-4} и $5 \cdot 10^{-3}$ М хлорида калия (2,3).

В исследованиях закономерностей поглощения элементов среды растительной клеткой существенное значение имеет определение коэффициентов накопления этих веществ как для всей клетки в целом, так и для различных ее компартментов в отдельности. Поэтому в процессе исследований нами были определены коэффициенты накопления ^{137}Cs для растительной клетки, клеточной оболочки и клеточного содержимого.

Коэффициенты накопления ($k_н$) определялись из соотношения:

$k_н = A_{комп} / (V_{комп} \cdot C)$, где $A_{комп}$ - активность радионуклида в рассматриваемом компартменте клетки, $V_{комп}$ - объем данного компартмента, С - удельная активность среды.

В результате определения коэффициентов накопления ^{137}Cs было установлено, что концентрирование этого элемента происходит во всех отделах клетки. Особенно сильными накопительными свойствами обладают клеточные оболочки. Так, при pH6 в искусственной прудовой воде (ИПВ), в которой находились клетки, коэффициент накопления для внутриклеточного содержимого составил 8,5 $\pm$ 0,25, для клетки в целом - 26,9 $\pm$ 0,95 и для клеточной оболочки - 139,5 $\pm$ 8,7.

Для коэффициентов накопления ^{137}Cs отмечено уменьшение их величины при возрастании pH среды от pH 6 до pH 9. Причем увеличение концентрации ионов K^+ в среде от $3 \cdot 10^{-5}$ М до $3 \cdot 10^{-4}$ М при pH 9 приводило к уменьшению коэффициентов накопления для клетки и клеточной оболочки, в то же время коэффициенты накопления для внутриклеточного содержимого существенно не изменялись при варьировании концентрации калия. Увеличение ионной силы среды при добавлении 10^{-2} М хлорида натрия приводило к заметному снижению накопления ^{137}Cs в оболочке, практически не изменяя его накопления во внутреннем содержимом.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что значительная часть поглощенного клеткой цезия сорбируется целлюлозной оболочкой клетки. Это, повидимому, объясняется тем, что целлюлозная клеточная стенка имеет матрикс, состоящий из полимерных молекул пектина, всегда заряженных отрицательно. Этот отрицательный заряд клеточной стенки, очевидно, способствует адсорбции положительно заряженных ионов среды и в основном обуславливает ее катионообменные свойства.

Литература

1. Парфенов В.И., Якушев Б.И., Мартинович Б.С. и др. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси в связи с аварией на Черноыльской АЭС. - Мн.: Наука и техника, 1995.

2. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки. М.: Мир, 1978.

3. Регуляция функций мембран растительных клеток / Под ред. М.Н. Гончарика. Мн.: Наука и техника, 1979.

Видовая специфика поглощения ^{90}Sr растениями

Д.А. Федорович, А.И. Соколик, В.М. Юрин

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

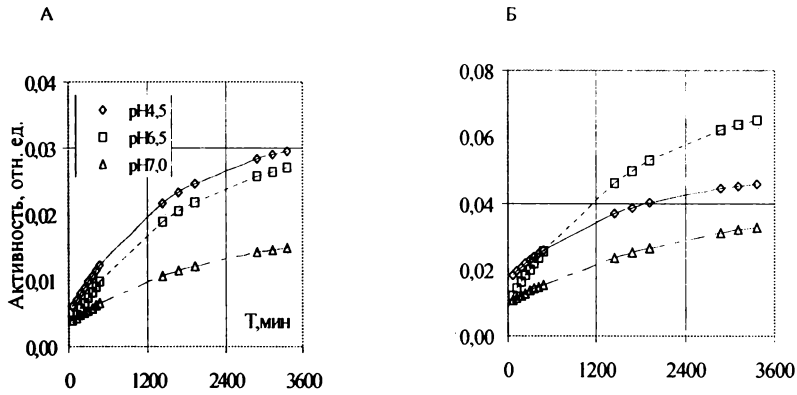
Specific peculiarities of ^{90}Sr accumulation by plants. Radionuclide accumulation in seedling of Cereals and Legumes from solution was under study. It was shown, that potassium content and pH influence on parameters of ^{90}Sr accumulation by different species of plants in a different way.

Известно, что из радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr, оставшихся в результате аварии на Чернобыльской АЭС в почве, радиостронций (РС) является более опасным для человека, т.к. обладает большим периодом выведения из организма. Кроме того, особенности взаимодействия одновалентного цезия и двухвалентного стронция с компонентами почвенного комплекса приводят к тому, что доля доступного РС (53-87% от валового содержания), изначально более высокая, чем цезия, еще больше возрастает со временем (в среднем на 5-25% [2]). Обусловленное этим возрастание накопления нуклида растениями превышает убыль за счет естественного распада и общая опасность от РС возрастает [1]. Это подтверждается установленной экспериментально устойчивой тенденцией к повышению его перехода из почвы в растения [2]; тем самым задача изучить механизмы накопления ^{90}Sr растениями приобретает все большую остроту.

В условиях полевого опыта трудно проконтролировать все, а особенно минеральные условия. Результат можно получить, используя модельную систему, когда за счет упрощения реальной ситуации можно выявить основные закономерности наблюдаемых явлений. Этот подход используется нами в настоящей работе: моделируется основной этап поглощения радионуклидов растением из почвы – переход почвенный раствор –корень. Использовались проростки ячменя сорта Зазерский-85, озимая рожь Пуховчанка, люпин Гелена, гороха Желтый, выращенные в водной культуре [4]. до 2-3 дневного возраста в неизотопных растворах. В опыте получали кривые временного хода накопления РС, для чего корень проростка погружали в раствор с добавкой РС, через определенные промежутки времени извлекали из раствора и помещали в счетчик для подсчета накопленной активности. Для отделения иттрия от стронция применяли специальную процедуру, включающую использование алюминиевого фильтра. Коэффициент накопления ($K_н$) определяли как отношение удельных активностей корня и раствора, из которого происходило накопление, скорость входа нуклида - по наклону начальных участков кривых временного хода (см. рис.).

На рисунке показаны типичные кривые хода накопления радиостронция корнями проростков люпина из растворов с разным уровнем калия и pH. Видно, что накопление происходит по экспоненциальному закону, причем варьирование параметров раствора изменяет только количественные показатели экспонент. Накопление радиостронция в корне представляет собой сложный многостадийный процесс, обусловленный как особенностями его анатомического строения, так и наличием по крайней мере трех внутрикорневых пулов нуклида.

Типичные временные зависимости накопления радиостронция проростками (люпина) при варьировании минеральных условий среды; А и Б соответственно низкий (0,1 мМ) высокий (3,5 мМ) уровни калия в растворе, Б – pH 6,5.



Это так называемое «апопластическое пространство» корня, в котором нуклид связан в основном ион-обменно, и его «симпласт», включающий внутреннюю часть клеток корня, где нуклид находится либо в свободной ионной форме, либо достаточно прочно связан в цитоплазме. Тем не менее, в первом приближении процесс можно считать одноэкспоненциальным. Соответствующие количественные параметры, полученные аппроксимацией зависимостей, подобных представленным на рис. 1, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Влияние уровня калия в среде на параметры накопления радиостронция различными видами растений

Сельскохозяйственная культура	Бобовые				Злаковые			
	Горох		Люпин		Ячмень		Рожь	
Уровень калия, мМ	3,5	0,1	3,5	0,1	3,5	0,1	3,5	0,1
$K_н$	1,94 ± 0,13	1,76 ± 0,21	1,69 ± 0,17	3,95 ± 0,31	3,9 ± 0,25	2,7 ± 0,17	1,5 ± 0,22	0,16 ± 0,02
Скорость накопления, $K_н$/час	0,038	0,076	0,016	0,034	0,057	0,037	0,030	0,0030

Видно, что $K_н$ в зависимости от условий варьирует в достаточно широких пределах – от 0,16 для ржи до 12,64 для люпина. В целом $K_н$ для бобовых по всем вариантам выше, чем для злаковых, что соответствует результатам полевых опытов [4]. Однако в нашей модельной системе величина различий существенно меньше. Это может означать, что накопление радиостронция непосредственно из почвенного раствора не является единственным путем (лимитирующей стадией) всего процесса. По-видимому, в реальных почвенных условиях значительную роль играет переход нуклида в корень из обменной части почвенного комплекса.

Отметим четкую положительную корреляцию $K_н$ и скорости накопления, особенно для люпина и ячменя. Это говорит в пользу диффузионного характера переноса нуклида как основного процесса накопления; в этом случае стационарный уровень ($K_н$) определяется балансом входа-выхода нуклида.

Таблица 2

Параметры накопления радиостронция проростками люпина при варьировании уровня калия и pH раствора.

pH	4,5		6,5		7,0	
Уровень калия, мМ	3,5	0,1	3,5	0,1	3,5	0,1
$K_н$	0,89 ± 0,15	12,64 ± 0,45	1,69 ± 0,17	3,95 ± 0,31	0,50 ± 0,11	0,78 ± 0,15
Скорость накопления, $K_н$/час	0,038	0,076	0,016	0,034	0,057	0,037

Сравнительно небольшое влияние оказал уровень калия в растворе при нормальном pH (табл. 1) на параметры накопления радиостронция корнями гороха и ячменя, и несколько большее для люпина и особенно ржи, причем для злаковых направление эффекта противоположно относительно зерновых: рост калия в растворе на порядок стимулирует накопление нуклида корнями ржи. Большой эффект на накопление радиостронция корнями люпина оказало варьирование pH раствора, но только на низком уровне калия (табл. 2): при подкислении $K_н$ возрастает более чем на порядок. Эксперименты показали, что для злаковых (на примере ячменя) подобная pH-зависимость не наблюдается.

Таким образом, представленные результаты показывают наличие существенных различий не только между бобовыми и злаковыми, но и между отдельными представителями этих семейств в параметрах накопления радиостронция корнями из раствора. Показано значительное влияние уровня калия (особенно для ржи), которое становится весьма заметным и для бобовых (люпин) при подкислении раствора. Очевидно, что эффекты вызваны ответами физиологических механизмов, транспортирующих ионы стронция в системе корень-раствор.

Литература

1. Пристер Б.С. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС для сельского хозяйства Украины.- Киев, Украина-Червень – 1999. 103 с.

2. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997 - 2000 г.г./ Под ред. академика ААН РБ И.М.Богдевича. - Минск, 1997,- 76 с.

3. Алексахин Р.М., Корнеев Н.А. Сельскохозяйственная радиоэкология. -М.: Экология, 1991. -396 с.

4. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.:. Наука, 1968, 266 с.

Распределение радиоцезия в организме волка

В.М. Королев, К.М. Киреенко, В.С. Пискунов

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г.Хойники, Беларусь

The allocation of ^{137}Cs in the Wolf's organism. In this article the results of the research into the ^{137}Cs allocation in different wolf's organs, muscles and bones are given. The original technique of determination of the ^{137}Cs allocation degree in animals' organism is offered.

Целью настоящих исследований являлось определение распределения ^{137}Cs во внутренних органах, мышечных и костных тканях волка. Всего обследовано 9 особей волков, из них 4 самца и 5 самок. Несмотря на то, что отстрел животных производился приблизительно в одном районе, а именно в треугольнике Масаны-Борщевка-Усов, т.е. на наиболее загрязненной радиоцезием территории ПГРЭЗ с валовым запасом ^{137}Cs свыше 250 Ки/км^2, удельная активность органов и тканей у обследованных особей значительно различалась между собой, что затрудняло сравнение и анализ результатов (см. табл.). При этом при весе отстрелянных особей, колеблющемся в интервале от 25 до 46 кг как величина суммарной активности тела и органов животных, так и величины их удельной активности значительно разнились между собой более чем на порядок вне зависимости от пола особи.

Таблица 1

Содержание ^{137}Cs во внутренних органах волка

№	Наименование органов	Удельная активность (кБк/кг)	Вес, Кг	Суммарная активность (кБк)
1	Мышцы	2,2-165,0	16,0-33,3	43,0-3549,1
2	Кости	0,7-26,8	4,2-8,5	3,2-140,7
3	Сердце	2,4-49,9	0,3-0,4	0,7-9,7
4	Легкие	1,4-27,2	0,3-0,8	0,6-17,9
5	Печень	2,6-105,0	0,7-1,4	3,0-50,3
6	Почки	2,5-63,8	0,2-0,4	0,5-11,2
7	Селезенка	2,2-53,0	0,1-0,2	0,2-6,0
8	Желудок с содержимым	1,8-25,0	0,4-2,7	0,8-40,5
9	Кишечник	1,2-14,0	1,0-1,8	4,3-25,4
10	Общая активность туши без шкуры	-	25,0-46,0	57,9-3754,9

Для упрощения оценки распределения радиоцезия в организме нами был предложен метод относительного анализа с определением коэффициента распределения по основным органам.

Для оценки распределения активности по органам и тканям волков нами была использована следующая методика: определялся процент (или доля) веса каждого органа,

мышечной или костной ткани от общего веса животного и процент (или доля) содержания радиоцезия в тех же органах от суммарного его содержания в организме каждой исследуемой особи. При этом безразмерный коэффициент, равный отношению содержания радиоцезия в процентах (или долях) от суммарной активности к весу органа в процентах (или долях) от общего веса каждого исследуемого животного свидетельствует степени его накопления на момент определения. Формула для расчета коэффициента распределения (K_P) выглядит следующим образом:

$$K_p = A_{орг.} P_{об} / A_s P_{орг.}$$

где - $P_{об}$ - вес тела животного, кг, $P_{орг}$ - вес органа животного, кг, $A_{орг.}$ - общая активность органа, кБк, определяемое как а х $P_{орг.}$, где а – удельная активность органа, кБк/кг, A_s - суммарная активность тела животного, равная сумме общей активности органов в кБк.

Если коэффициент распределения для всех органов и тканей был бы равен единице, то в этом случае цезий распределялся бы по всем органам равномерно или выводился бы из них с одинаковым периодом полувыведения.

Если коэффициент распределения для какого-либо органа больше единицы, то в этом случае радиоцезий накапливается в нем больше, чем в других или выводится значительно медленнее.

Если же он меньше единицы, то можно делать противоположные выводы.

Такая методика имеет определенные достоинства, позволяющие охарактеризовать распределение радиоцезия по органам и тканям животных вне зависимости от величины удельной активности животной пробы на момент ее сбора.

Во всех особях волка, проанализированных нами, наименьшее накопление ^{137}Cs наблюдается в костной ткани (см. рис., Р1), где коэффициент его распределения не превышает 0,3. В легких K_p колеблется в интервале 0,4-0,6, что говорит о том, что ингаляционное поступление радиоцезия играет значительно меньшую роль, чем поступление его с кровью. Во всех случаях отмечено повышенное содержание ^{137}Cs в мышечных тканях, где K_p составляет 1,16-1,43, т.е. мышечная ткань у волка накапливает радиоцезий значительно в большей степени, чем другие органы, и выводится он из нее медленнее.

Нами зафиксирован факт, что коэффициент распределения зависит от загрязненности пищи, причем в различной степени от загрязненности в желудке и кишечнике. Если содержание радионуклидов выше в содержимом желудка (K_p= 1,99), чем в кишечнике (1,54) (рис. Р2), то происходит большее его накопление в печени (K_p= 2,75), сердце (1,66), почках (1,84) и селезенке (1,08). Если же удельная активность содержимого кишечника выше, чем в желудке (рис. Р3), наиболее "грязными" оказываются печень (K_p= 1,5) и мышечная ткань (см. рис.), а почки, селезенка и печень содержат радиоцезия значительно меньше, т.е. либо быстрее выводят его из организма либо перераспределяют в мышечную ткань.

В случае, если содержимое желудка и кишечника "загрязнено" по удельной активности меньше, чем мышечная ткань и внутренние органы, наибольшая активность, а, следовательно, и наибольшая величина K_P наблюдается в мышечной ткани, а у остальных органов, в том числе и в печени, она ниже единицы, т.е. при активном усваивании загрязненной пищи эти органы быстрее освобождаются от радионуклидов, депонируя их в мышечную ткань.

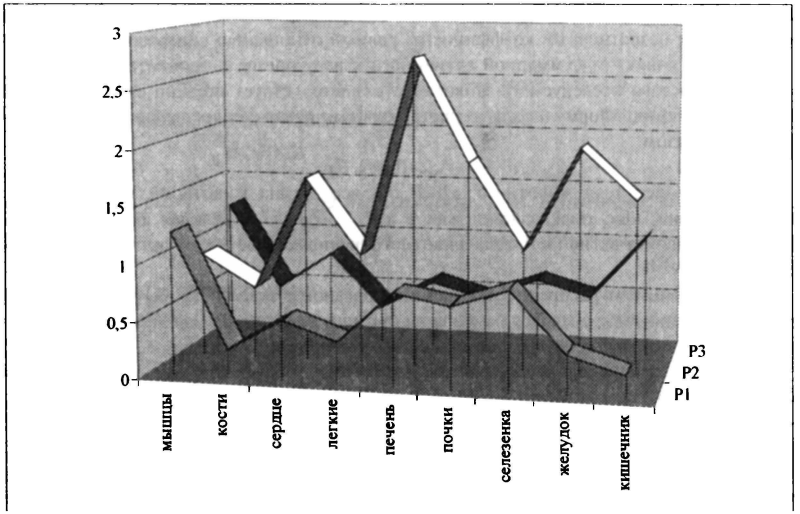


Рис. 1. Коэффициент распределения ^{137}Cs во внутренних органах волка

Практика показала, что коэффициент распределения является наглядным показателем, определяющим общую тенденцию распределения радиоцезия в теле животного по отдельным органам, причем характер распределения практически не зависит от величины суммарной активности, накопленной животным за время обитания в загрязненной среде.

Скрининговая оценка уровней мощности дозы на рыбу Белоярского водохранилища от искусственных радионуклидов

А.А. Екидин

Институт Промышленной Экологии Уральского отделения Российской Академии наук, г.Екатеринбург, Россия

Screening level dose rate assessment of fishes exposed to artificial radionuclides of the Belojrskoe storage pond. Aquatic biota in the Belojrskoe storage pond of the nuclear power station are exposed to radioactivity released from the fast-breeder reactor. A simple conservative screening level model was used to estimate absorbed (whole body) dose rates for aquatic organisms. Four species of fishes were studied, (non-bottom-feeding fish, and bottom-feeding fish). The analysis was based on radionuclide concentrations reported in papers published by Russian Academy of Sciences.

Эколого-географическая характеристика Белоярского водохранилища

Белоярское водохранилище расположено на Среднем Урале, в 60 км к востоку от г. Екатеринбурга. Водоем образован в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы, в

75 км от ее истока. Протяженность водоема около 20 км, ширина на уровне Белоярской АЭС около 3 км. Глубина по фарватеру р. Пышмы достигает 15–20 м, средняя глубина 8–9 м. Зеркало водоема составляет 47 км^2. По качеству воды водоем можно отнести к гидрокарбонатно-кальциевому типу со средней степенью минерализации и слабощелочной реакцией среды [1].

Ихтиофауна водоема представлена в основном плотвой *(Rutilus rutilus)*, лещом *(Abramis Brama)*, щукой *(Esox lucius)*, зеркальным карпом *(Cyrpinus carpio)*, реже встречаются линь *(Tinca tinca)*, карась *(Carassius auratus gibeli)*, окунь *(Perca fluviatilis)*, судак *(Lucioperca lucioperca)*.

Преобладающий тип донных отложений в водоеме – илистый сапропель, кроме него встречаются затопленная почва, песчано-илистый, илисто-песчаный и песчаный грунты.

Белоярская атомная станция расположена на левом берегу водохранилища, в 7 км к северу от плотины. Поступление радиоактивных веществ от АЭС во внешнюю среду возможно воздушным (через вентиляционные трубы, в виде принудительного выхлопа пара из барбатеров) и водным путем. Частичный сброс слаборадиоактивных жидких стоков в водоем-охладитель осуществляется через промливневый канал. Еще ниже (2,5 –3 км) расположен водосбросный (теплый) канал, с помощью которого вода после прохождения через системы охлаждения сбрасывается в водоем. В зоне подогрева температура воды в летний период в среднем на 6 –7°С выше, чем за ее пределами.

В 0,5 км от БАЭС, в сторону верховья водохранилища, расположен еще один канал общей протяженностью около 1,5–2 км. Он берет свое начало около водоочистных сооружений, в него сливаются и воды из котельной БАЭС. Раньше в этот канал выводились жидкие слаборадиоактивные воды АЭС, поступавшие в него через трубу, расположенную в 600-700 м выше места впадения в залив. В настоящее время выход из трубы забетонирован. Согласно технологии, в канал не должно производиться сброса каких-либо радиоактивных веществ, однако такие протечки, по-видимому, имеют место – от водоочистных сооружений АЭС.

Оценка содержания радионуклидов.

Для определения содержания ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs пробы воды отбирали в двух-трех повторностях (по 200 л на повторность) в различных точках водохранилища. Пробы воды подкисляли, фильтровали, затем выпаривали, а сухие остатки озоляли при t=450°С. Для количественного определения трития проводили предварительное обогащение проб воды. Рыб обоего пола отлавливали сетями в летне-осенний период. Вес одной пробы каждого вида рыб (в трех повторностях) составлял 3 кг сырой массы. Тушки рыб (без внутренних органов) высушивали и озоляли при 450 °С в муфельной печи. Донные отложения отбирали 2–3 кг сырой массы на повторность, подсушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито диаметром 1 мм. Радиометрию проб в лабораторных опытах с ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{90}Y, ^{137}Cs производили на счетной установке типа ПСТ-100 с торцовым счетчиком СБТ-13. Содержание ^{90}Sr в пробах воды, грунта, рыбы определяли радиохимически, а ^{60}Co и ^{137}Cs–гаммаспектрометрическим методом с использованием многоканального амплитудного анализатора АИ-256-6 со сцинтилляционным NaI(Tl)–детектором типа «Лимон». Тритий в пробах определяли на жидкостных сцинтилляционных счетчиках Изокап-300 и Дельта-300. Данные представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Нуклиды	Вода, Бк/л		Донные отложения, Бк/кг		Плотва, Бк/кг сырой массы		Лещ, Бк/кг сырой массы		Щука, Бк/кг сырой массы		Карп, Бк/кг сырой массы	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
^{60}Co	0,02	5,0	20	610	0,01	20	0,01	20	0,01	20	Н.о.	
$^{90}Sr+^{90}Y$	0,05	7,0	11	51	Н.о.		Н.о.		Н.о.		Н.о.	
^{137}Cs	0,04	8,0	41	970	10	210	30	60	50	115	10	30
^{3}H	10,0	90,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Оценка мощности дозы.

Для оценки радиационной мощности дозы использована методология, представленная Блейлоком и соавторами, на основе подхода, «распределение дозы от точечного источника» («Point Source Dose Distribution») [3]. Этот подход использует эмпирически полученные формулы мощности дозы для выбранных по размерам категорий организмов, которые по своим геометрическим параметрам представляют эллипсоид.

Расчет мощности дозы внутреннего облучения выполняется следующим образом:

$$D = 5{,}76 \times 10^{-4} E\, n\, \Phi\, C_o \quad \text{мкГр/ч,} \quad (1)$$

где

E – испущенная средняя энергия альфа, бета, гамма излучении (МеВ/распад);

n – количество частиц, образованных при распаде;

Ф – поглощенная доля для энергии E_γ (безмерная);

C_o – концентрация радионуклидов в организме (Бк/кг сухого веса).

Расчет мощности дозы внешнего облучения основана на концентрации радионуклидов в окружающей воде и донных отложениях. Внешняя мощность дозы от радионуклидов в воде определяется как:

$$D = 5{,}76 \times 10\text{-}4\ E\, n\, (1\text{-}\Phi)\, CW \quad \text{мкГр/ч,} \quad (2)$$

где C_W – концентрация радионуклидов в воде (Бк/л).

Мощность дозы гамма-излучения на организм от поверхности донных отложений в воде при равномерном загрязнении отложений есть:

$$D = 2{,}88 \times 10^{-4} E\, n\, (1\text{-}\Phi)\, C_S \quad \text{мкГр/ч,} \quad (3)$$

где C_S – концентрация радионуклидов в отложениях (Бк/ кг сухого веса).

Важно заметить, что вид формул одинаков для любого вида радиации (альфа, бета и гамма), но доза для каждого типа должна рассчитываться отдельно. Для каждого изотопа, суммарная мощность дозы по всем возможным путям является суммой мощностей доз от каждого типа излучения. Например:

$$D_{внутр.\ сум} = D_{внутр.\ альфа} + D_{внутр.\ бета} + D_{внутр.\ гамма} \quad (4)$$

Затем, для каждого изотопа, суммарная мощность дозы ($D_{сум}$) является суммой полной мощности дозы внутреннего облучения ($D_{внутр.\ сум}$) и полной мощности дозы внутреннего облучения ($D_{внеш.\ сум}$). Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Внешнее облучение, мкГр/ч				Внутреннее облучение, мкГр/ч							
От воды		От отложений		Плотва		Лещ		Щука		Карп	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
$2,7\times10^{-6}$	$3,9\times10^{-4}$	$6,1\times10^{-4}$	$3,8\times10^{-3}$	$9,6\times10^{-4}$	$2,6\times10^{-2}$	$8,6\times10^{-3}$	$5,9\times10^{-3}$	$4,8\times10^{-3}$	$4,5\times10^{-2}$	$9,6\times10^{-4}$	$2,8\times10^{-3}$

Полученное максимальное значение (для щуки – $4,9\times10^{-2}$ мкГр/ч) значительно меньше, рекомендованной допустимой мощности дозы на естественные популяции водной биоты – 0,4 мГр/ч [4].

Литература

1. Любимова С.А., Карачун И.А., Трапезников А.В. Некоторые особенности гидрохимического режима Белоярского водохранилища // Поведение радиоизотопов в водоемах и почвах. Свердловск, 1983. С. 22-26.

2. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезников В.Н., Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. Свердловск, 1992.

3. B.G.Blaylock, M.L.Frank, and B.R.O'Neal. 1993. Methodology for Estimating Radiation Dose Rates to Freshwater Biota Exposed to Radionuclides in the Environment, ES/ER/TM-78, Oak Ridge Natl. Lab., Oak Ridge, Tenn.

4. NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements). 1991. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms, NCRP Report No. 109, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Md.

Радиоэкологическая оценка состояния животного мира в зоне аварии Чернобыльской АЭС

М.М. Пикулик, А.Е. Пленин, М.Д. Мороз

Институт зоологии Национальной академии наук Беларуси, г.Минск, Беларусь

Radioecological estimation of the condition of wild fauna in the zone of Chernobyl nuclear accident. As the result of long time of wildlife radioecological monitoring in the zone of Chernobyl nuclear accident the main trends in radioactive contamination of the animals of different taxones, the condition of faunal biodiversity have been shown. After a noticeable decrease of the radionuclide contents observed in the period immediately following the accident which was mainly caused by decay of short-living isotopes, in recent years a tendency of stabilising the radionuclide accumulation was found in the majority of the animal groups. The dynamics and state of the fauna depends more on the secondary effects of human evacuation than on direct radioecological impact. Natural ecological succession may have accelerated due to the post-evacuation removal of human pressure on contaminated habitats. Cessation of economic activity had the greatest effect on the structure and number of ornithocomplexes and populations of commercial game mammals. Changes in aquatic animals are expressed to a smaller extent and follow the laws of natural development to a greater extent. These dynamics processes of transformation of wildlife communities offer a unique opportunity to study the development and conservation of wild animal biodiversity within the context of specific land use and landscape ecological changes.

Долговременный мониторинг радиоактивного загрязнения и состояния животного мира показывает, что последствия аварии на Чернобыльской АЭС для фауны реализуются не только за счет влияния радиоактивного загрязнения, но и, главным образом, посредством кардинального изменения режима функционирования отдельных ландшафтов и экосистем. В этом отношении наибольший интерес представляет территория зоны отчуждения и отселения, которая в связи с отселением людей и практически полным снятием хозяйственной нагрузки превратилась в глобальный уникальный научный полигон для изучения радиоэкологических последствий аварии на ЧАЭС.

В начальный период после аварии накопление радионуклидов животными в большей степени определялось скоростью физического процесса распада короткоживущих радионуклидов. В настоящее время все более возрастает роль характера биотических взаимоотношений животных, а также экологических связей с радиационным биоценозом.

Наиболее заметное снижение содержания радионуклидов, причем с наименьшими различиями между таксонами, отмечено у водных животных, что определяется более однородной и менее загрязненной по сравнению с наземными экосистемами средой. По абсолютным значениям содержания радионуклидов и скорости их уменьшения, животные, условия жизни которых связаны как с водной, так и наземной средой (амфибии, полуводные млекопитающие), более близки обитателям водных, чем наземных экосистем.

Обитание животных в загрязненных радионуклидами биогеоценозах не привело к заметным радиационным эффектам на организменном и популяционном уровнях. Вместе с тем у некоторых модельных групп животных из 30-ти км зоны выявлен ряд изменений на более низких уровнях биологической организации. Так, в ооцитах рыб наблюдаются дегенеративные изменения, коррелирующие с уровнем содержания радионуклидов, причем хищные виды рыб имеют более выраженные нарушения в состоянии и развитии половых клеток, чем мирные, с большей частотой их встречаемости у рыб оз.Персток по сравнению с рыбами р.Припяти. У почвенных беспозвоночных животных выявлены количественные и качественные изменения гемолимфы, выражающиеся в увеличении доли мертвых клеток, снижении фагоцитарная активность и агрегационной способности клеток, нарушении структуры цитоплазмы. У моллюсков отмечены структурные изменения белков и мембран лизосом. Показаны генетические изменения модельных видов герпетофауны, проявляющиеся в более высоком уровне частоты аберрантных клеток у лягушек по сравнению с животными из контрольных биотопов. Насекомые сем.Vespida, характеризуются более широким диапазоном фенотипической изменчивости окраски по сравнению с насекомыми из Березинского заповедника.

В наибольшей степени на процесс формирования биоразнообразия на загрязненных радионуклидами территориях оказали воздействие вторичные радиоэкологические процессы, связанные с изменением хозяйственной нагрузки вплоть до ее полного снятия после эвакуации населения.

В первые годы режима отселения и отчуждения наиболее заметно проявились два противоположно направленных процесса - резкое снижение численности и затем почти полное исчезновение синантропных видов птиц и мелких млекопитающих, с одной стороны, и увеличение численности ряда антропогенно уязвимых видов - с другой. В дальнейшем сукцессионные изменения на территориях, активно использовавшихся человеком до аварии: (населенных пунктах, сельхозугодьях, мелиорированных землях) привели к формированию здесь сообществ животных, более близких по составу к естественным экосистемам.

После создания в 1988 г. Полесского государственного радиационно-экологического заповедника произошел рост численности популяций копытных и крупных хищников. Особенно высокие темпы роста наблюдались с 1990 г., когда стали сказываться условия заповедного режима, в то время как на остальной территории Беларуси численность копытных в это же время имела тенденцию к заметному сокращению.

Видовое разнообразие наиболее распространенных и многочисленных в этом районе млекопитающих - мышевидных грызунов к настоящему времени в 30-км зоне сократилось с восемнадцати до 11 видов. Практически сразу же после аварии исчезли такие виды как домовая мышь, черная и серая крысы, места обитания которых связаны с деятельностью человека. На территории выселенных деревень появились лесные виды и виды открытых пространств: рыжая и обыкновенная полевки, бурозубки.

Возрастание численности околоводных хищных млекопитающих (выдры и американской норки) на каналах осушительной мелиорации также было вызвано в основном улучшением экологических условий: увеличением водности каналов в результате шлюзования и появления древесно-кустарниковой растительности по их берегам. Заметно увеличилась численность каменной куницы, заселившей многочисленные брошенные человеком поселки и их окрестности, являющиеся экологически емкими стациями для этого вида куньих. Увеличение экологической емкости для обитания куньих за счет освоения нетрадиционных мест обитания - зарастающих и заболачивающихся полей - ведет к постепенному росту численности в 30-км зоне горностая, ласки, лесного хорька, лесной куницы и барсука. Кроме того, эти виды куньих также как и каменная куница встречаются в брошенных человеком поселках и их окрестностях.

Динамика численности популяций герпетокомплексов также находится в прямой зависимости от изменений условий обитания и наличия мест размножения. Наметилась тенденция к расширению спектра используемых стаций болотной черепахой, уж, прыткая ящерица, жерлянка, зеленые лягушки начинают осваивать зарастающие участки бывших сельхозугодий.

В сообществах беспозвоночных в различных биогеоценозах хвойных и широколиственных лесов, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения, в течение первых трех лет после аварии на ЧАЭС произошли значительные изменения, проявившиеся в снижении численности, зоомассы, нарушении трофической структуры и снижении жизнеспособности популяции почвенных животных.

Видовой состав и численность водных животных, как обитателей водных экосистем в меньшей степени, чем наземные, подвергшихся трансформации в результате аварии на Чернобыльской АЭС, характеризуется большей стабильностью по сравнению с наземными зооценозами.

Учитывая, что радиоактивное загрязнение зоны отчуждения характеризуется долгоживущими радионуклидами, что предопределяет долговременное существование настоящего режима, территория Полесского государственного радиоэкологического заповедника может стать источником заметного влияния на состояние биоразнообразия фауны всего региона и Беларуси в целом. Отсутствие мирового опыта в изучении такого явления в масштабе большой территории обуславливает исключительную важность продолжения радиоэкологического мониторинга фауны, необходимого для понимания механизмов формирования биологического разнообразия, а также разработки стратегии сохранения и использования животного мира в специфических ландшафтных условиях.

Исследование «случай-контроль» в Свердловской области

И.А. Кирдин, А.А. Екидин, И.В. Ярмошенко

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, г. Екатеринбург, Россия.

Case-control study in Sverdlovsk region. Indoor radon is the greatest individual source of radiation exposure to the public. This paper presents the results of epidemiological studies on indoor radon and lung cancer. The case-control study was performed between the 1998-2000. Total number of cases subjects was 341 and total number of controls subjects was 448. This study gave odds ratios and their 95% confidence intervals and it failed to establish a significant risk of lung cancer associated with indoor exposure.

В период с 1998 по 2000 годы на территории Свердловской области (в городах Первоуральск и Карпинск) было проведено эпидемиологическое исследование по принципу "случай-контроль".

Целью проведения этого исследования было изучение зависимости между облучением населения дочерними продуктами распада (ДПР) изотопов радона и возникновением рака легких.

Облучение населения радоном в помещениях вносит основной вклад в суммарную дозу облучения. Облучению радоном подвержены все люди без исключения, при этом уровни облучения радоном в большей части случаев относятся к области малых доз.

Исследование начинается с того, что формируются две группы: "случай" – лица с установленным и подтвержденным специальным методом диагнозом "рак легких". При этом используются архивы медицинских и санитарно-эпидемиологических учреждений, в том числе карты эпидемиологических расследований; "контроль" – лица, для которых диагноз "рак легких" не установлен. При этом по некоторым параметрам (половозрастной состав группы, курение, работа на вредных производствах, состояние окружающей природной среды и др.) контрольная группа аналогична группе "случай". Методика создания групп «случай» и «контроль» является стандартной и достаточно хорошо отработанной.

Проводится оценка уровней облучения лиц из групп "контроль" и "случай" изотопами радона и их ДПР. Основанием для такой оценки служат результаты проводимых непосредственных измерений объемной активности (ОА) радона (Rn-222) и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) торона (Rn-220) в жилищах лиц из этих групп.

Измерения объемной активности радона проводились с использованием интегральных трековых радиометров радона (интегральный метод измерения ОА радона в воздухе). Измерение ЭРОА торона в помещениях производилось аспирационным методом (использовался трёхточечный модифицированный метод Маркова-Терентьева). Всего было исследованы уровни ОА радона и ЭРОА торона в жилищах 341 «случаев» и 448 «контролей».

Вся шкала ЭРОА изотопов радона была разбита на четыре интервала, для которых были определены OR (odds ratio) и 95% доверительные интервалы (представлены в таблице 1). Все доверительные интервалы включают единицу. Зависимость OR от ЭРОА изотопов радона представлена на рисунке 1.

В настоящее время подобные эпидемиологические исследования в России не получили широкого распространения. Проведение их в дальнейшем позволит развить методы анализа

на основании моделирования результатов эпидемиологических исследований путем статистических испытаний.

Таблица 1

OR и 95% доверительные интервалы

ЭРОА изотопов радона, Бк/м^3	OR	95% доверительный интервал
0-6	1	
6-13	0,91	0,62-1,32
13-36	1,20	0,83-1,73
36-375	1,12	0,78-1,62

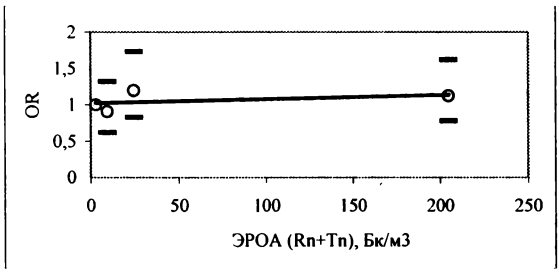


Рис.1. Зависимость OR от ЭРОА изотопов радона

Литература

1. Эпидемиология неинфекционных заболеваний/ А.М. Вихерт, В.С. Жданов, А.В. Чкалин и др./М.: Медицина, 1990, 272с.

2. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург: УрО РАН, 1997.

ОБЩАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА

«Chernobyl digest» – электронный вариант для Интернет

С.Е. Дромашко, А.А. Желудок, Т.В. Лисовская, А.В. Горбачев, Г.А. Мартысь, А.В. Телятникова

Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

«Chernobyl Digest» – an electronic version for Internet. The article deals with an Internet version of «Chernobyl Digest» – interdisciplinary bulletin of review, abstract and bibliography information on the Chernobyl problems. It can be visited at http://biobel.bas-net.by/igc/ChD.

Авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. – крупнейшая техногенная катастрофа всемирного масштаба в XX столетии. Изучение ее последствий имеет междисциплинарный характер и затрагивает интересы ученых, врачей, политиков, лиц, принимающих решения и т.д. В Отделе научной информации и информатики Института генетики и цитологии НАН Беларуси с 1991 г. накапливается банк информации по проблемам Чернобыля «Пост-Чернобыльские эффекты в Беларуси, России и Украине», являющийся результатом прямого просмотра и реферирования литературы, выходящей в Беларуси, России и на Украине. Этот банк стал основой для разработки двух проектов: 1) базы данных междисциплинарной информации CHEDIBASE [1] и 2) междисциплинарного бюллетеня чернобыльской информации на русском и английском языках «Чернобыль дайджест»/«Chernobyl Digest».

С 1991 г. подготовлено 5 выпусков «Чернобыль дайджест»/«Chernobyl Digest» (выпуски 1, 3–5 опубликованы, выпуск 2 – в электронной форме только на русском языке), который с 1992 г. (выпуски 3-5) является официальным изданием Чернобыльской экологичеекой научной сети (ЧЭНС) ЮНЕСКО. В 1992–1998 гг. ЮНЕСКО проведен ряд совещаний в Беларуси, на которых ученые из разных стран отмечали отсутствие достаточной информации о результатах исследований, проводимых в Беларуси, России и Украине. «Чернобыль дайджест»/«Chernobyl Digest» заполняет эту брешь, предоставляя реферативную информацию по актуальным вопросам радиоэкологии, радиобиологии, радиационной медицины и смежных дисциплин как из известных журналов, так и малодоступной отраслевой периодики, отдельных брошюр и книг. Его электронным аналогом является база CHEDIBASE, содержащая еще больший объем данных. Эта междисциплинарная информация представляет большой интерес для специалистов–катастрофологов, медиков,

психологов и др.

Потребность в подобной информации и ее оперативном предоставлении пользователям со временем не уменьшается и заставляет думать об использовании средств новейших информационных технологий для удовлетворения читательского спроса на самом современном уровне. Информационные технологии находятся в стадии активного роста и расширения сферы своего применения. Особенно заметный рост наблюдается в области Internet-технологий. Одним из важнейших преимуществ Internet-технологий является возможность организации оперативного доступа пользователей к различным информационным ресурсам с использованием стандартизованных программных средств и каналов связи общего назначения [2]. Поэтому для своевременного удовлетворения запросов исследователей, входящих в ЧЭНС предлагается создать Web-журнал «Chernobyl Digest International».

Как первый шаг в реализации этого проекта с мая 2000 г. на сервере Отделения биологических наук НАН Беларуси BIOBEL на сайте Института генетики и цитологии открыта страница бюллетеня «Чернобыль дайджест»/«Chernobyl Digest» (http://biobel.bas-net.by/igc/ChD). Здесь размещены уже опубликованный 5-й выпуск »Chernobyl Digest'95–98» на английском языке [3] и подготовленный к печати русский вариант 5-го выпуска «Чернобыль дайджест'95–99». В электронной версии сохранены основные разделы бюллетеня: «Обзоры», «Официальные материалы», «Природа», «Человек», «Общество», «Патентная информация». Английский вариант бюллетеня включает 3 обзора и 460 рефератов по публикациям 1995–1998 гг. Несколько шире версия на русском языке, которая частично охватывает публикации 1999 г. и содержит 4 обзора и 593 реферата, в том числе 64 ссылки на патентные источники. Ретро-дайджест по предыдущим выпускам, опубликованным или подготовленным в 1991–1996 гг. [4–7[, планируется развернуть в ближайшем будущем по мере перевода информации в htm-формат.

Дальнейшее развитие электронного журнала «Chernobyl Digest» на основе WWW-технологий видится в предоставлении доступа через Internet к информации, содержащейся непосредственно в базе данных CHEDIBASE [8]. При этом данные (как текстовые, так и числовые) физически располагаются на сервере базы данных (БД) под управлением СУБД MS Access. Поэтому отпадает необходимость поддержки форматов данных, администрирования пользовательского доступа, защиты данных, слежения за целостностью информации и т.д., так как этими задачами занимается непосредственно сервер БД. Весь спектр функций по управлению потоками данных и предоставлению интересующей пользователя отчётности ложится на Web-сервер. Преимущества предлагаемой системы перед традиционными средствами распространения или хранения (сбора) подобной информации заключаются в дешевизне распространения информационных материалов, оперативности их выпуска, возможности организации управляемого доступа к данным, оперативности обратной связи с пользователем, включением пользователя в процесс сбора и накопления информации и т.д.

Литература

1. Panich I., Makeeva E., Dromashko S. CHEDIBASE – interdisciplinary searching and base for the Chernobyl information // EUROMAB VI: Proc. MAB Sci. Symp. "Use and Conservation of Biological Resources". – Minsk, 1998. – P. 194-203.

2. Берченко Н.Н., Березовская И.Б. Самоучитель по работе в Internet и каталог ресурсов. – Киев: Ирина, BHV, 1999. – 480 с.

3. Chernobyl Digest'95-98. Issue 5. – Minsk, 1999. – 257 p.

4. Чернобыль индекс'91. Выпуск 1. – Минск, 1991. – 192 с. / Chernobyl Digest'91. Issue 1. – Minsk–Moscow, 1991. – 75 p.

5. Чернобыль индекс'91–92. Выпуск 2. – Минск, 1992 (на русском языке, в электронной форме)

6. Чернобыль дайджест'93–94. Выпуск 3.– Минск, 1995. – 204 с. / Chernobyl Digest'93-94. Issue 3. – Minsk, 1995. – 108 p.

7. Чернобыль дайджест'94–95. Выпуск 4. – Минск, 1996. – 275 с. / Chernobyl Digest'94-95. Issue 4. – Minsk, 1996. – 115 p.

8. Горбачев А.В., Дромашко С.Е. Internet-система Chernobyl Digest для обработки и хранения междисциплинарной библиографической и реферативной информации по проблемам Чернобыля // Проблемы создания информационных технологий. Вып. 4. – М.: МАИТ, 1999. – С. 273-276.

Скрининг новых гибридных форм зерновых на устойчивость к алюминию

Л.Ф. Ходорцова, Л.В. Корень, С.Н. Матвеенко, О.А. Орловская

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

As a result of the pursued investigations for aluminium tolerance, genotypic specificity of triticale hybrid forms to aluminium concentration in medium was revealed. Aluminium concentration in medium permissible for triticale was established.

Среди многочисленных стрессовых факторов, воздействующих на растительный организм, особое место занимают металлы. Если при водном, солевом, температурном стрессах в первую очередь изменяется осмотический статус клеток, то спектр влияния ионов металлов характеризуется большой разнонаправленностью токсического влияния. Они воздействуют на клеточные мембраны, изменяют водный и энергетический баланс растений, влияют на дыхательные процессы.

В связи с тем, что значительная часть земельных площадей характеризуется повышенной кислотностью, разработаны селекционные программы, которые включают отбор сортообразцов зерновых культур, устойчивых к таким почвам. Кислотность почвы определяется чаще всего наличием солей алюминия. Скрининг на толерантность к алюминию проводится многими исследовательскими группами (1, 2) по методике, разработанной для пшеницы в университете штата Орегона, в которой основным фоном для отбора толерантных форм являются искусственные среды с добавлением солей алюминия. Полученные к настоящему времени литературные данные показывают, что отбор на толерантность к кислым почвам среди сортов и сортообразцов зерновых, а также среди гибридных растений в расщепляющихся популяциях может быть эффективным.

Среди культурных злаков тритикале считаются более устойчивыми к солям алюминия и пригодны для культивирования на кислых почвах. Однако, у них отмечена генотипическая специфичность реакции на кислотность почв, в связи с чем возникает необходимость отбора нужных генотипов на искусственно созданных фонах.

Для проведения скрининга нами были использованы гибридные формы озимых тритикале, полученные в результате скрещиваний озимых гексаплоидных тритикале отечественной и зарубежной селекции (Альмо, Мально, Уго, Модуль - AABBRR) и озимых гексаплоидных пшениц (Авролата - AABBUU, Аврозис - AABBSS, Авродата - AABBCC), у которых геном D замещен соответствующими геномами эгелопса. Яровые гибридные формы (Мироновская 808-1 х Аллорожь, Мироновская 808-2 х Аллорожь, Triple Dirk х Аллорожь,

Т441 х Армадилло, Рознер х ГЛ17, Т441 х ГЛ17, 6ТА471 х Т441), также были созданы на основании сортов пшеницы и ржи отечественной и зарубежной селекции с использованием культуры in vitro.

Семена анализируемых образцов помещали на фильтровальную бумагу в чашки Петри, заливали дистиллированной водой, помещали на 12 часов в холодильник при температуре 1-2°С, затем ставили в термостат на сутки при температуре 24°С. Проросшие семена отбирали с одинаковой длиной корешков и помещали на фильтровальную бумагу, которую сворачивали рулончиком и опускали свободным концом в раствор.

В состав основной среды входили микро- и макроэлементы, pH 4.0. Для проведения скрининга были подобраны четыре среды, в которые алюминий добавляли в виде $AlCl_3$, в количестве 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0 мг $Al/л^{-1}$ (1 $мг/л^{-1}$ = 37 μM Al). В качестве контроля использовали основную среду, не содержащую Al. Режим выращивания: 16-часовой день, 8-часовая ночь, температура 25-26°С.

Для сравнения полученных данных применяли показатель RTI (индекс толерантности), который представляет собой отношение средней длины корней при данной концентрации к средней длине корней в контроле.

В таблице представлены результаты по реакции изучаемых форм тритикале и их родительских форм на различную кислотность среды. Показатель RTI позволяет объективно судить об отзывчивости образцов на разные концентрации солей алюминия по сравнению с контролем. Судя по нашим и литературным данным на концентрации, содержащие меньше 1.0 мг/л Al, тритикале слабо реагируют. Начиная с этой концентрации наблюдаются значительные отличия от контроля. Отмечены высокие значения RTI, а, следовательно, и устойчивость к данной концентрации у озимых форм от 0.70 до 0.83. Выявлены высокие показатели устойчивости у яровых в комбинациях Мироновская 808-1 х Аллорожь(0.89), Т441 х ГЛ17(0.56), Triple Dirk B x Аллорожь (0.54), Triple Dirk D x Аллорожь (0.49), Т441 х Армадило(0.49). Внутри каждой комбинации также выявлена генотипическая специфичность на разные концентрации алюминия в среде. На средах с 2.0 мг/л Al наблюдали снижение значения RTI в 1.7 - 5.0 раза. Дальнейшее повышение содержания алюминия значительно угнетало рост и развитие растений. Наблюдали видоизменения корневой системы: образование утолщений на кончиках корешков, рост в обратном направлении. Только отдельные растения продолжали медленно расти, приобретая антоциановую окраску.

Таким образом, данный метод позволяет определить реакцию растений на изменение содержания алюминия в растворе/почве, а также допустимую концентрацию этого вещества. Используя эти фоновые среды можно отобрать как устойчивые к определенным условиям растения, так и определить оптимальное содержание данного вещества - алюминия в пахотном слое.

Таблица 1

Отзывчивость гибридных форм тритикале на различные концентрации солей алюминия

Образец	Контроль	Варианты концентрации алюминия				RTI			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Triple Dirk D x Аллорожь	8.60	4.20	2.20	1.98	1.41	0.49	0.26	0.23	0.16
Triple Dirk B x Аллорожь	8.40	4.56	1.15	1.91	1.53	0.54	0.14	0.23	0.18
Мироновская 808-1 x Аллорожь	9.55	4.60	1.56	1.60	2.17	0.48	0.16	0.17	0.23
Мироновская 808-2 x Аллорожь	7.37	6.58	1.29	1.50	0.83	0.89	0.18	0.20	0.11
Модуль x Аврозис	8.48	7.08	1.75	1.68	1.61	0.83	0.21	0.20	0.19
Уго x Авродата	7.90	3.80	1.88	2.12	2.03	0.48	0.24	0.27	0.26
Мально x Авролата	7.60	6.15	1.48	1.58	1.54	0.81	0.19	0.21	0.20
Альмо x Авролата	8.38	5.90	1.33	1.82	1.60	0.70	0.16	0.22	0.19
Альмо x Аврозис	8.13	4.22	1.41	1.05	1.28	0.52	0.17	0.17	0.13
Т441 x Армадилло	9.40	4.64	1.80	2.67	1.87	0.49	0.19	0.28	0.20
Рознер x ГЛ 17	8.60	3.60	0.84	1.83	—	0.42	0.10	0.21	—
Т441 x ГЛ 17	7.80	4.35	1.23	1.52	0.40	0.56	0.16	0.19	0.10

Литература

1. Aniol Andrzej. The variability of aluminium tolerance among Triticale strains and cultivars bred in Poland.- Triticale: Today and Tomorrow.- Kluwer Academic Publishers. 1996, p. 461-65.

2. Morath Dorothee, Oettler Gitta, Melchinger E. Albrecht. Screening methods for aluminium tolerance in seedlings of Triticale.- Triticale: Today and Tomorrow.- Kluwer Academic Publishers. 1996, p.453-459.

Проявление количественных признаков у тритикале, полученных in vitro и in vivo

Л.Н. Каминская, С.Н. Матвеенко

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Comparative data for productivity traits of triticale plants R_2, R_5 developed in in vitro anther culture based on F_1 hybrids and for that of plants of F_2, F_5 populations of the same crossing combinations are discussed.

Для расширения спектра наследственной изменчивости и фиксирования ценных признаков или свойств в ряду поколений соответствующим биотехнологическим методом является культивирование пыльников или изолированных микроспор. Идея использования

выделяемых гаплоидов привлекает возможностью создания на их основе полностью гомозиготных линий, имеющих большое значение для селекционной работы. Для зерновых культур особенно важно получение таких линий непосредственно из F_1, т. к. в этом случае облегчается поиск ценных в практическом отношении генотипов, возникающих в результате рекомбинации генетических факторов, повышается скорость и надежность отбора. Процесс создания гомозиготных линий ускоряется путем удвоения гаплоидов, полученных на основе гибридного материала F_1 и последующего отбора образующихся дигаплоидов [1]. Внутри популяций дигаплоидов, полученных из одной гибридной комбинации, можно наблюдать высокую вариабельность между ними, позволяющую проводить отбор по хозяйственным признакам [2].

У самоопыляющихся видов зерновых, где один гомозиготный генотип формирует основу нового сортового источника, каждый дигаплоид может потенциально стать новым сортом. Эффективными оказываются результаты при сочетании традиционных приемов полевых экспериментов и биотехнологических методов, как например, культуры пыльников in vitro, возможны перспективы при использовании комбинативной селекции с использованием протопластов, мутационной селекции, при применении сомаклональной изменчивости.

В данном исследовании скрещивали полученные дигаплоидные линии тритикале гексаплоидного уровня, при котором обеспечивается достаточно высокий уровень изменчивости. Цель данной работы - сравнить проявление количественных признаков у дигаплоидов тритикале различных поколений (R_2, R_5), полученных в культуре пыльников in vitro на основе гибридных комбинаций F_1, с этими показателями у растений расщепляющихся гибридов (F_2, F_5) тех же комбинаций скрещивания.

Яровые гексаплоидные тритикале (ГЛ17, Т441, 6ТА471, Армадилло, Рознер) послужили исходным материалом для создания дигаплоидных линий в культуре пыльников in vitro. Затем гибриды F_1 от скрещивания линий были использованы для: 1) получения регенерантов (R) в культуре пыльников in vitro и 2) получения F_2 и последующих расщепляющихся поколений. Эти две группы растений изучались в полевых условиях на протяжении нескольких поколений.

Начиная со второго поколения в обеих группах тритикале (R и F) отбирали лучшие растения по важнейшим признакам продуктивности, а именно, по числу и массе зерен колоса, массе зерен растения, для получения следующего поколения. Тритикале R_2 и F_2 испытывали в один год, а R_5 и F_5 - в другой, после их получения. Растения в полевых условиях испытывали на опытных делянках размером 2м х 1м, по 20 растений в рядке, в 5 повторностях каждой комбинации при рендомизированном посеве. Для статистической обработки количественных признаков учитывали 100 растений каждой комбинации в R- и F-поколениях. Чтобы оценить, как изменилось проявление признаков после нескольких лет испытаний в полевых условиях провели сравнительный анализ поколений R_2, F_2 и R_5, F_5.

При сравнении продуктивности и ее компонентов двух групп растений (R и F) обнаружено, что большинство популяций R (полученных посредством культуры пыльников in vitro) превосходят соответствующие популяции F по массе зерен растения и колоса, длине, числу колосков и зерен колоса (Табл. 1).

Анализ данных позволяет сделать вывод о тенденции повышения продуктивности популяций R_2 по сравнению с соответствующими значениями признаков F_2. С нашей точки зрения, это объясняется тем, что сравниваемые популяции имеют разную генотипическую структуру и разный уровень фенотипической изменчивости. Так, амплитуда колебаний коэффициентов фенотипической изменчивости по массе зерен растения среди всех комбинаций R_2, составляла от 22,3 до 84,2%, в то время как в F_2 - 26,8 - 68,1%. Поэтому однократный отбор в гетерогенных, состоящих из разных гомозиготных генотипов, популяций R_2 оказался более эффективным, чем в расщепляющихся популяциях F_2. Кроме того, в процессе создания дигаплоидных гомозиготных линий в культуре пыльников in vitro

происходит отбор как на уровне новообразований, так и на уровне растений регенерантов, который также может оказывать влияние на продуктивность полученных растений.

Таблица 1

Сравнение количественных признаков у форм тритикале во втором (R_2 - F_2) и пятом поколениях (R_5 - F_5)

Материал	Поколение	Длина колоса, см		Число колосков		Число зерен колоса		Масса зерен колоса, г		Масса зерен растения, г	
		R	R-F	R	R-F	R	R-F	R	R-F	R	R-F
Рознер	2	11,8	-0,6*	29,8	2,9***	50,0	-7,6**	2,1	0,6**	4,7	1,3***
x											
6ТА471	5	10,7	0,5*	24,3	2,2**	48,8	6,5**	1,7	0,3	3,5	1,0***
6ТА471	2	11,4	1,4***	27,9	6,2***	49,8	13,6**	2,1	0,8***	5,8	1,0***
x											
Рознер	5	10,3	0,4	22,5	1,6**	40,7	-2,4	1,3	-0,1	4,2	0,1
6ТА471	2	11,7	1,0*	29,9	7,3***	49,0	4,8*	2,1	0,9***	4,8	0,8***
x											
Т441	5	11,5	-0,1	25,0	0,1	54,7	3,1*	1,7	-0,3	3,3	-0,4
Т441 x	2	12,2	2,3***	25,9	3,4***	56,7	17,4***	2,6	1,3***	6,5	0,7**
Рознер	5	9,9	0	24,9	-0,2	29,0	-4,5**	1,1	-0,2	4,1	-0,2
Т441 x	2	12,0	3,0***	28,3	8,1***	74,0	43,1***	2,9	2,3***	7,6	4,4***
Армадилло	5	10,4	-0,1	24,2	-1,9**	43,2	1,1	1,4	0	4,8	0,5
Т441 x	2	12,6	2,1***	29,4	7,2***	52,3	17,9***	2,3	1,3***	4,9	1,2***
6ТА471	5	10,7	-0,1	26,3	1,2**	46,1	6,6**	1,6	0	3,1	1,1***
Рознер	2	8,9	-0,8*	21,5	-0,1	24,4	-7,8**	0,9	-0,1	2,1	-0,4
x											
ГЛ17	5	10,4	-0,5*	23,4	0,3	41,7	6,2**	1,3	0,3	2,9	0,6**
Т441 x	2	11,5	0,3	28,5	4,5***	48,4	2,2	1,8	0,1	3,5	0,4
ГЛ17	5	12,0	0,5*	30,2	1,9**	52,3	4,9**	2,3	0,5**	4,3	1,1***
ГЛ17 x	2	10,6	0,3	25,0	2,5***	32,8	-2,3	1,4	0,4	3,3	0,5
Рознер	5	10,9	0,5*	24,5	1,8**	42,2	3,4*	1,9	0,2	4,8	0,7**
ГЛ17 x	2	12,0	0,1	28,6	3,1***	49,2	-5,2**	2,1	0,4	4,4	1,5***
Т441	5	12,1	0,5*	28,5	3,4***	54,4	10,9**	2,1	0,6**	4,7	1,2***

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

Дальнейшие исследования были направлены на выяснение эффективности продолжающегося отбора лучших растений в созданных популяциях. В ходе исследования были получены популяции R_5 и F_5. Оказалось, что в процессе нескольких поколений отбора популяции R_5, в основном, сохраняют превосходство над F_5 по всем анализируемым признакам. Таким образом, продолжающийся отбор лучших растений до получения R_5 в популяциях, состоящих из разных гомозиготных генотипов, оказался более эффективным, чем в популяциях F.

Литература

1. Jansen R.C. On the selection for specific genes in doubled haploids.- Heredity. 1992. 69. N 1. p. 92 - 95.

2. Borojevic K., Sesek S. The use of in vitro anther culture techniques in a wheat breeding programm.- Bull. Soc. bot. Fr. Actual. bot. 1990. 137. N 3-4. p. 145.

Генетическая специфичность белков тритикале и их родительских форм

В.И.Домаш, Т.Я. Пелагейчик, С.А. Забрейко, Н.Ф. Волохович, Л.Ф. Ходорцова, Л.В. Корень, С.Н. Матвеенко.

Институт экспериментальной ботаники, Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г.Минск, Беларусь

The article represents the data on species-specificity of proteinases, their protein inhibitors and electrophoretic spectrum of proteins of triticales and their parental forms

Тритикале получила большое распространение в Беларуси как зернофуражная культура. Тритикале привлекает внимание к себе тем, что по ряду показателей превосходит родителей пшеницу и рожь. По биологической ценности белкового комплекса, в частности, по содержанию белка и сбалансированности его по аминокислотному составу, тритикале занимает промежуточное положение между родительскими сортами, но с некоторым преобладанием компонентов, унаследованных от ржи, белки которой лучше сбалансированы по аминокислотному составу [1]. Так, для этой культуры характерно более высокое содержание незаменимой аминокислоты лизина (примерно на 30%), чем у пшеницы. Нами проведено исследование 18 яровых и озимых форм тритикале, среди которых выделены и формы, устойчивые к кислотности почвы. Как показали результаты, формы тритикале характеризуются различной высотой, длиной колоса, числом зерен в колосе и др. Различные гибридные формы тритикале различаются и по некоторым биохимическим показателям. Так, яровые формы имеют более высокое содержание белка, варьирующее от 12 до 17%, озимые же формы имеют содержание белка 10,4-11,3%. Следует отметить, что озимые геномно-замещенные линии пшеницы Авролата и Аврозис имеют содержание белка до 21%. Наше внимание привлекает исследование и такого биохимического показателя, как активность протеолитических ферментов. Известно [2], что протеиназы играют большую роль в различных проявлениях жизнедеятельности растительного организма, прорастании, созревании семян, устойчивости к неблагоприятным факторам и др. Для каждой гибридной формы установлен свой определенный уровень активности нейтральных, кислых и щелочных протеиназ. Так, например яровая форма тритикале Мироновская 808-1 х Аллорожь имеет активность нейтральных протеиназ 3,13, кислых 8,05, щелочных 40,26, а Triple Dirk B x Аллорожь сответственно 5,7, 22,7 и 27,7 единиц. Генотипические особенности характерны и для показателя белков-ингибиторов протеиназ. Белковые ингибиторы представляют собой особую группу белков, способную образовывать с ферментами устойчивые обратимые комплексы в составе которых фермент утрачивает свою каталитическую активность [3]. Активность ингибиторов протеиназ (трипсина) мы определяли с использованием синтетического субстрата Nα–бензоил-DL-аргинин-нитроанилида. Установлено, что исследованные гибридные формы тритикале имеют различный уровень активности белковых ингибиторов, варьирующий от 6 до 25 ингибиторных единиц. Кроме того, существует тесная корреляционная связь между этим показателем и устойчивостью тритикале к закислению среды.

Таблица 1

Компонентный состав ингибиторсодержащей фракции белков зерна тритикале и их родительских форм

№№ компонентов	Triple Dirk B – изогенная линия пшеницы		Аллорожь – рожь		Triple Dirk B х Аллорожь – гибрид тритикале		Альмо - тритикале		Авролата – геномно-замещенная линия пшеницы		Альмо х Авролата – гибрид тритикале	
	ОЭП	Интенсивность	ОЭП	интенсивность	ОЭП	интенсивность	ОЭП	интенсивность	ОЭП	интенсивность	ОЭП	интенсивность
1.	0,22	сл.	0,20	сл.	0,20	ср.	0,09	сл.	0,08	сл.	0,08	сл.
2.	0,29	инт.	0,32	сл.	0,28	ср.	0,10	ср.	0,11	сл.	0,10	ср.
3.	0,34	инт.	0,37	ср.	0,36	инт.	0,15	инт.	0,15	ср.	0.15	ср.
4.	0,37	инт.	0,40	ср.	0,43	инт.	0,17	инт.	0,18	инт.	0,18	инт.
5.	0,50	сл.	0,45	инт.	0,50	ср.	0,20	ср.	0,30	инт.	0,23	ср.
6.	0,53	сл.	0,47	ср.	0,54	ср.	0,23	инт.	0,43	инт.	0,26	инт.
7.	0,58	сл.	0,51	ср.	0,57	сл.	0,27	инт.	0,50	ср.	0,36	ср.
8.	0,60	ср.	0,54	инт.	0,65	инт.	0,30	ср.	0,54	ср.	0,40	ср.
9.	0,62	ср.	0,58	инт.			0,36	ср.	0,58	инт.	0,43	ср.
10.	0,65	сл.	0,60	ср.			0,42	ср.	0,62	инт.	0,47	ср.
11.	0,72	ср.	0,65	ср.			0,48	ср.	0,70	ср.	0,53	ср.
12.	0,74	ср.	0,68	ср.			0,53	инт.	0,75	сл.	0,56	ср.
13.			0,71	сл.			0.55	инт.			0,59	сл.
14.							0,62	инт.			0,60	ср.
15.							0,65	ср.			0,63	сл.
16.							0,75	сл.			0.74	ср.
17.							0,78	сл.			0,80	сл.

Примечание: сл. – следы; ср.- средняя интенсивность; инт.- интенсивная

В настоящее время в селекции растений для установления видовой и сортовой принадлежности растений широко используются белковые маркеры [4]. Проведенный нами электрофорез ингибиторсодержащей фракции белков тритикале и их родительских форм в 10% ПААГ в нативных условиях показал, что их электрофоретический спектр состоит из 13-17 компонентов. Причем, каждый из исследованных видов имеет свой определенный спектр. В таблице представлена относительная электрофоретическая подвижность (ОЭП) белковых компонентов. Видно, что основные зоны расположены в области ОЭП 0,2-0,7. Для каждой родительской формы и гибридов характерен свой определенный электрофоретический спектр. Используемый обычно в практике спектр запасных белков имеет большое число компонентов, что затрудняет их идентификацию. Ингибиторные же белки имеют значительно меньшее количество белковых зон, что упрощает работу, повышает ее достоверность и является весьма перспективным в генетике и селекции растений.

Таким образом, наши исследования показали существование генетической обусловленности в общем содержании белка, уровне активности протеиназ, их белковых ингибиторов и в электрофоретическом спектре белков, что может быть с успехом использовано в генетике и селекционной практике

Литература

1. Мироненко В.И.,Домаш В.И.,Рогульченко И.В. Белки культурных и дикорас щих кормовых растений. - Мн.: Наука и техника. 1990. - 200с.
2. Антонов В.К. Химия протеолиза. - М.: Наука. 1991. - 504с.
3. Мосолов В.В., Валуева Т.А. Растительные белковые ингибиторы протеолитических ферментов растений. - М.: ВИНИТИ. 1993. – 207с.
4. Конарев В.Г. Белки растений как генетические маркеры. – М.: Колос.1983.-320с.

Определение взаимосвязи между контролируемыми факторами среды и хозяйственно-ценными признаками томата

М.В. Шилина

Витебский госуниверситет им. П.М. Машерова, г. Витебск, Беларусь

Study of influence of some monitored outer factores on useful caracterictics of tomatous. The article researches the influence of some monitored outer factors on useful characteristics of tomatoes. Several corresponding coefficients are calculated.

Эффективность селекционной работы во многом зависит от фона, на котором проводится отбор. Фон играет активную роль в увеличении или уменьшении доли генотипической изменчивости в изучаемой популяции. Проведенные нами исследования показывают, что сложно создать селективный фон для отбора генотипов по одному или нескольким положительно сопряженным признакам и практически невозможно – для всей гаммы признаков, по которым проводится селекционный отбор.

Используя многолетние данные (1980-1991 гг.) рассчитана взаимосвязь между управляемыми факторами среды и проявлением хозяйственно-ценных признаков у томата. (Оптимальный уровень азота 80-90 мг/кг, фосфора – 40-60 мг/кг, калия – 300-380 мг/кг почвы. Недостаток азота < 30 мг/кг почвы. Избыток азота 150-200 мг/кг почвы. Избыток фосфора 120-150 мг/кг почвы. Избыток калия 500-700 мг/кг почвы. Водообеспеченность: без орошения, предельная влажность почвы 60% от НВ, 90: от НВ. Агротехника общепринятая).

Видно, что при увеличении уровня водообеспеченности практически у всех изученных образцов томата (более 50 сортов), но в разной степени, повышалась продуктивность растений, масса плодов, доля сосудисто-волокнистых пучков в плодах и достоверно снижалось удельное усилие на отрыв плода от плодоножки, удельное усилие раздавливания плода, содержание в плодах сухого вещества, сахаров и титруемых кислот.

Изучение 38 сортов томата в разных условиях водообеспеченности показало, что длина межфазного периода «цветение – созревание» у 14 сортов в условиях высокой водообеспеченности увеличилась на 3-10 дней. Видимо это связано с тем, что в условиях высокой водообеспеченности более сильно охлаждается корневая система, что ведет к удлинению вегетационного периода.

При увеличении уровня водообеспеченности у 74 из 86 изученных сортов, гибридов F_1, и линии томата наблюдалось существенное снижение на 10-60% содержания сухого вещества в плодах. При этом на долю факториального влияния фона обеспеченности (η^2) приходилось от 25 до 90%. У большинства изученных образцов томата снижение уровня азотной и калийной обеспеченности на 10-28% снижало содержание сухого вещества в

плодах. На долю факториального влияния фона азотного питания (η^2) приходилось от 41 до 87%, а калийного питания – от 36 до 86%.

Только у одного из каждых пяти изучаемых сортов томата недостаточный уровень фосфорного питания приводит к снижению содержания сухого вещества в плодах на 9-12% (η^2 = 0,32 - 0,74%). Высокий фон азотной обеспеченности растений томата в 50% случаев способствовал повышению содержания сухого вещества в плодах на 7-18% (η^2 = 25 - 70%).

Увеличение уровня водообеспеченности растений на фоне оптимального минерального питания у всех изученных сортов томата достоверно на 11-55% снижало содержание титруемых кислот в плодах (η^2 = 42 - 92%). В большинстве случаев недостаточный уровень азотного питания растений томата способствовал снижению титруемых кислот в плодах (на 12-25%), а недостаточный уровень фосфорного питания на 10-39% увеличивал их содержание в плодах (η^2 = 27 - 67% и 26 - 75% соответственно).

Высокий фон азотной обеспеченности практически не оказывал существенного влияния на изменение уровня титруемых кислот в плодах изученных сортов томата.

Из всех изученных управляемых факторов среды наибольшее влияние на изменчивость содержания аскорбиновой кислоты в плодах томата оказал фон азотной обеспеченности растений. Так, у всех из 25 изученных сортов томата отмечено увеличение содержания аскорбиновой кислоты в плодах на 33-90% в условиях недостаточной азотной обеспеченности (η^2 = 43 - 87%), тогда как у половины этих же образцов в условиях высокой азотной обеспеченности, относительно фона оптимального азотного питания, отмечено снижение содержания аскорбиновой кислоты в плодах на 12 - 20% (η^2 = 32 - 70%). Только у небольшой группы сортов (5 из 22) увеличение уровня водообеспеченности на 15-38% (при η^2 = 54 - 90%) снижало содержание аскорбиновой кислоты в плодах.

Изменение фона фосфорной или калийной обеспеченности для большинства изученных сортов томата не оказывало существенного влияния на уровень содержания аскорбиновой кислоты в плодах.

Под влиянием изученных факторов минерального питания и водообеспеченности активная кислотность (pH) сока плодов томата изменялась незначительно на 3-5% от его уровня на оптимальном фоне выращивания растений. Причем, повышение обеспеченности растений томатов азотом и фосфором снижало активную кислотность сока, а недостаточная обеспеченность калием и водой – повышала активную кислотность плодов томата.

Повышение уровня водообеспеченности в 54 случаях из 60 увеличивало массу плодов у изученных образцов томата на 20-200% при доле факториального влияния, фона водообеспеченности (η^2) равном 11-87%. При действии данного фактора у этих образцов на 50-250% снижались прочностные свойства плодов.

У 2/3 изученных образцов томата увеличение водообеспеченности в 1,5-3 раза повышало долю сосудисто-волокнистых пучков в плодах, особенно на фонах с высоким уровнем минерального питания. При этом степень факториального влияния фона высокой водообеспеченности на долю сосудисто-волокнистых пучков в плодах в зависимости от сорта находилась в пределах от 15 до 64%.

У половины изученных образцов (25 из 60) увеличение фона водообеспеченности растений томата в зависимости от сорта на 30-300% повышало размер прозелени на плодах (η^2 = 11 - 51%).

Доля факториального влияния фона водообеспеченности на наличие прозелени на плодах находилась в пределах от 11 до 57%.

У четырех изучаемых сортов томата – Поток, Викторина, Факел и Призер доля влияния фона азотной обеспеченности на 6,6% определяла различия между генотипами в пределах сорта по доле сосудисто-волокнистых пучков в плодах.

Изменение фона водообеспеченности только на 2,7% предопределяло изменение этого признака. Для одного и того же образца томата доля сосудисто-волокнистых пучков в плодах

возрастает пропорционально фону обеспеченности элементами минерального питания.

Так для сорта Призер, коэффициент корреляции между долей сосудисто-волокнистых пучков в плодах томата и уровнем водообеспеченности возрастала от 0,44 на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$, 0,95 – на фоне $N_{120}P_{120}K_{180}$ и до 0,92 – на фоне $N_{180}P_{180}K_{180}$.

Таблица 1

Взаимосвязь между управляемыми факторами среды и хозяйственно-ценными признаками у растений томата

Факторы среды / Признаки	Водообеспеченность	Уровень обеспеченности растений		
		Азотом	фосфором	калием
Продуктивность	0,37 - 0,94	0,84– 0,85	0,37 - 0,98	-0,91 - 0,96
Масса плода	0,44 - 0,98	-0,69 – 0,68	-0,90 - 0,05	-0,69 - 0,02
Прозелень на плодах	-0,82 - 0,60	-0,34 – -0,65	-0,36 - 0,61	-0,40 - 0,68
Удельное усилие на отрыв плода от плодоножки	-0,38 – -0,89	-0,86 – 0,96	-0,80 - 0,81	-0,86 - 0,84
Удельное усилие раздавливания плода	-0,40 - -0,94	-0,83 – 0,99	-0,34 - 0,70	-0,61 - 0,69
Доля сосудисто-волокнистых пучков в плодах	0,44 -0,92	0,31 - 0,77	-0,63 - 0,01	0,03 - 0,73
Содержание в плодах: Сухого вещества	-0,28 - -0,97	0 - 0,96	-0,70 - 0,78	0,05 - 0,95
Сахаров	-0,30 - -0,87	0, - 0,88	-0,62 - 0,03	-0, 66 - 0,02
Аскорбиновой кислоты	-0,86 - 0,03	-0,93 - 0,02	0,04 - 0,49	-0,56 - 0,03
Титруемой кислотности	-0,36 - 0,96	0,03 - 0,87	-0,86 - 0,96	0,43 - 0,99
Активная кислотность (pH) в плодах	0,01 - 0,98	0,45 - 0,56	- 0,53 - 0,07	0,06 - 0,72

Делеции некоторых сегментов хлоропластного генома устойчивых к вирусам клонов картофеля

А.Н. Палилова, В.И. Пыко, А.Д. Ахраменко, Н.В. Павлючук

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Для выявления роли хлоропластной ДНК в механизмах устойчивости картофеля к Х- и L-вирусной инфекции была изучена первичная структура хлоропластной (хл) ДНК контрастных по устойчивости клонов картофеля, созданных методом многоступенчатого отбора. Эти клоны сохраняют относительную стабильность признака резистентности к Х- и L-вирусам и могут быть рассмотрены как почти изогенные линии. Аналогичные исследования, проведенные нами на сортах, демисоидных формах, примитивных и диких видах картофеля показали, что некоторые ферменты рестрикции дифференцируют исследуемые образцы по признаку устойчивости к Х-вирусу [1]. Как правило, при действии рестриктазы BamH1 на хл ДНК использованных образцов картофеля выявлялось отсутствие

двух крупных фрагментов в спектре рестрикции. В то же время эти фрагменты присутствовали в хлоропластном геноме восприимчивых к вирусам образцов. Однако в ряде случаев наблюдались отклонения от этого правила, что может быть обусловлено гетерогенностью исследованных образцов по резистентности к вирусам, а также спонтанной изменчивостью этого признака [2].

В этой связи нами была создана коллекция почти изогенных клонов картофеля на основе четырех сортов белорусской селекции, позволяющая исключить влияние этих факторов на результаты исследований. Для исследований были использованы клоны с геномом сортов белорусской селекции: Явар, Альтаир, Аксамит, Лошицкий, контрастные по устойчивости к X- и L- (PVX и PLRV) вирусам. Хлоропласты изолировали из 50-100 г листьев 3-4-дневных растений, измельчали в 5-10-кратном объеме 0,04М трис-HCl буфера (pH=8,5), содержащем 0,4М сахарозы 0,0110,0_а (pH=8,5), содержащем 0,4М сахарозы_ в 5-10-кратном объеме 0,04 10 мин при 200 g и 20 мин при 1800 g на центрифуге К-70.

Хлоропласты были очищены в градиенте плотности (10 мл 50% и 15 мл 30% сахарозы), лизированы в 1,75% сарказиле и обработаны 0,5 мг/мл протеиназой в течение 1 часа при 37°С. Хлоропластная ДНК была очищена в градиенте плотности литий хлорида, содержащем этидий-бромид. Для расщепления хл ДНК использовали рестриктазы Bam H1, Hind III, PVU 2, Pst 1, Ecor 1, действие которых осуществлялось в течение 2 ч. Соответствующие ферменты рестрикции добавляли в реакционную среду в начале и в середине инкубационного времени. Продукты рестрикции перемещали в 3 мл горизонтальный 0,8% агарозный гель. Гель окрашивали этидий бромидом в течение 1 часа и фотографировали на пленку микрат 300 с оранжевым фильтром.

Анализ спектров рестрикции хл ДНК, образуемых пятью ферментами, позволил выделить два из них, которые дифференцируют признак устойчивости к X- и L-вирусам. При действии рестриктаз Hind III и Bam H1 на хл ДНК растений с одинаковым ядерным геномом и контрастных по устойчивости, отмечены отличия по числу образуемых фрагментов в спектрах хл ДНК в зависимости от типа рестриктазы, устойчивости и восприимчивости клона и его ядерного генома.

Как показали исследования в спектре Hind III фрагментов устойчивого клона с генотипом сорта Явар отсутствуют фрагменты 5,6,7, расположенные в верхней зоне спектра. Все фрагменты хл ДНК восприимчивого аналога с тем же ядерным геномом присутствуют в этом спектре. Аналогичная картина наблюдается при анализе Hind III фрагментов рестрикции хл ДНК устойчивого клона с геномом сорта Аксамит. Отсутствующими фрагментами оказались 5, 11, 17. Однако в отличие от клонов с геномом сорта Явар в этом случае фрагменты 5 и 11 отсутствуют не только в спектре фрагментов хл ДНК устойчивого клона, но и у восприимчивого аналога. Устойчивые клоны с геномом сорта Альтаир не содержат фрагментов 7, 11, 15, а у устойчивого клона с геномом сорта Лошицкий отсутствуют 5, 6, 7, 12, 14, 17. Все эти фрагменты присутствуют в спектре Hind III рестрикции восприимчивого клона (рис.).

Рестриктаза Bam H1 дифференцирует устойчивые и восприимчивые к вирусам клоны с геномами сортов Аксамит, Явар и Лошицкий. Различий между клонами с геномом сорта Альтаир не выявлено. Характер изменений в спектре Bam H1 фрагментов хл ДНК устойчивых к X- и L-вирусам клонов с геномами этих сортов оказался аналогичным, но не идентичным: спектры устойчивых клонов с геномом сорта Лошицкий не содержат 6, 8, 9, 18 фрагментов, которые присутствуют в спектре хл ДНК восприимчивого (чувствительного) клона. В рестрикционном спектре устойчивого клона с геномом сорта Аксамит отсутствуют фрагменты 3, 4, 6, 8, 12, но дополнительно присутствует фрагмент 10, который не обнаружен у восприимчивого к вирусам клона. Спектр хл ДНК восприимчивого клона с геномом сорта Явар содержит все 23 фрагмента.

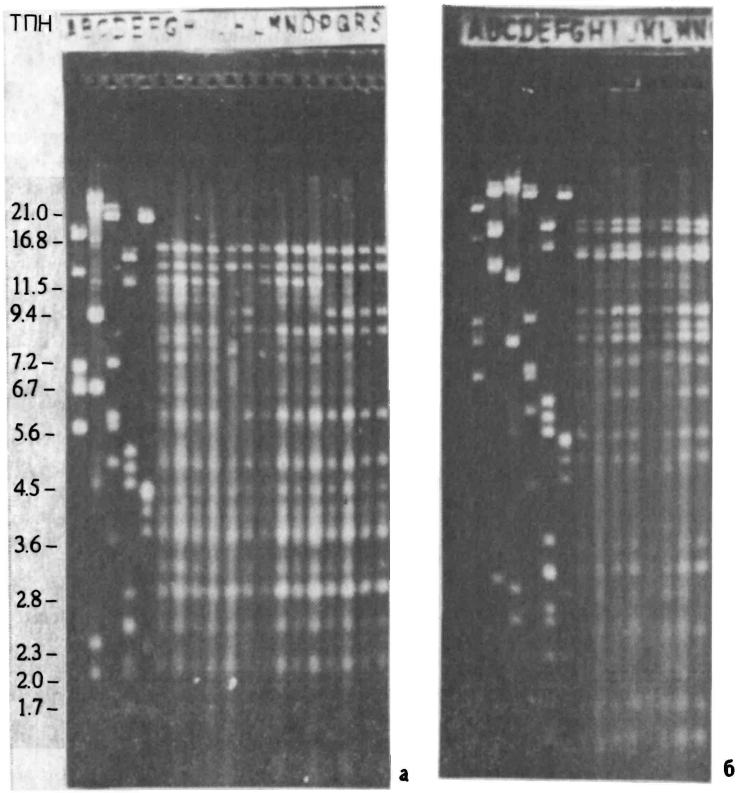


Рис. 1. Электрофорез хлорпластной ДНК: а-обработанной рестриктазой Bam H1; б-обработанной рестриктазой Hind !II. а: A,B,C,D,E – ДНК фага Л, обработанная рестриктазами Bam H1, Hind III, Eco Rl, Pst 1, Pvu 11 соответственно; F-S-обработанная рестриктазой Bam H1 ДНК хлоропластов картофеля; F-G-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Альтаир; H-восприимчивого к X- и L-вирусам клона сорта Альтаир; I-восприимчивого к X-и L-вирусам клона сорта Явар; J-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Аксамит; K-воспрт H1 ДНК хлоропластов картофеля; F-G-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Альтаир; H-восприимчивого к X- и L-вирусам клона сорта Альтаир; I-восприимчивого к X-и L-вирусам клона сорта Явар; J-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Аксамит; K-воспрPvu II соответственно; G-N-обработанная рестриктазой Hind III ДНК хлоропластов картофеля; G-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Явар; H-восприимчивого к X- и L-вирусам клона сорта Явар; I-устойчивогок X- и L-вирусам клона сорта Аксамит; J-восприимчивого к X- и L-вирусам клона сорта Аксамит; K, L-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Альтаир; M-восприимчивого к X- и L-вирусам клона сорта Лошицкий; N-устойчивого к X- и L-вирусам клона сорта Лошицкий.*

Рестриктазы PVU III, PSt 1 и Eco R1 не выявили различий между устойчивыми и восприимчивыми клонами картофеля с геномами этих сортов. Обнаруженные нами нехватки определенных фрагментов в спектрах хл ДНК устойчивых к X- и L-вирусам клонов

картофеля позволяют заключить, что признак устойчивости связан с делециями в определенных участках хлоропластного генома. По-видимому, они контролируют синтез некоторых факторов растения-хозяина, необходимых для репликации вирусов. Число делеций в хл ДНК и их расположение в геноме этих органелл у генетически различных устойчивых клонов неоднозначны и определяются ядерными геномами клона.

Эти данные согласуются с результатами молекулярно-генетических исследований [3], показавших наличие делеции большого сегмента ядерного генома у разновидностей табака, устойчивых к Y-вирусу картофеля. Авторы пришли к выводу, что этот признак является рецессивным по отношению к доминантному аллелю восприимчивости. Это положение подтверждается недавно опубликованными данными о существовании рецессивных генов, подавляющих репликацию вируса у мутантных линий Arabidopsis Thaliana таких как tom-1-1 и tom-2-1, определяющих устойчивость к мозаичному вирусу табака [4], cum-ген устойчивости к мозаичному вирусу кукурузы и другие. При изучении молекулярной структуры рецессивного гена устойчивости mlo к мучнистой росе у ячменя обнаружены дефекты в его основной структуре и делеции некоторых нуклеотидов [5].

Литература

1. Палилова А.Н., Пыко В.И. Физическое картирование хлоропластной ДНК картофеля как подход к поиску маркеров устойчивости к вирусам. – Генетика. –1997. Т.33. №2 –С.177-182.

2. Павлючук Н.В., Ахраменко А.Д., Палилова А.Н. Эффективность клонового отбора на резистентность к Х-вирусу в пределах сортов –популяций картофеля. –Доклады АН Беларуси. –1998. Т.6. №6. –С.77-80.

3. Noguchi S., Tajima T., Yamamato Y., Ohno T., Kubo T. Deletion of a large genomic segment i tobacco varieties that are resistant to potato virus Y (PVY). –Mol. Gen. Genet. –1999. – 262. –P. 822-829.

4. Ohshima K., Taniyama T., Yamanaka T., Ishikawa M., Naito S. Isolation of mutant of *Arabidopsis thaliana* carrying two simultaneous affecting tobacco mosaic virus multiplication within a single cell. –Virology. –1998. –243. –P. 472-481.

5. Jorgensen J.M. Genetics of powdery mildew resistence in barley. –Grit. Rev. Plant Science. –1994. –13. –P. 97-119.

Идентификация гомо- и гетерозигот по гену самонесовместимости в гибридной селекции капусты белокочанной

А.В. Якимович

Белорусский научно-исследовательский институт овощеводства, г. Минск, Беларусь

Identification homo- and heterozygotes of a gene of self-incompatibility in hybrid selection of a cabbage. The paper deals with the advanced method the genetic analysis for homo- and heterozygosis by alleles of the gene of self-incompatibility in the selection of F_1 hybrids of cabbage worked out at the Belarus research institute of vegetable crops.

The modified algorithm of hierarchical cluster analysis was applied for identification homo- and heterozygotes of a gene of self-incompatibility. This method has allowed to remove errors of genetical analysis, as many lines have poor self-incompatibility and strength of a seed parent's self-incompatibility

also is affected by conditions in the field.

The performed researches have allowed to develop the program as the module to the integrated system of a statistical analysis Statistica on the programming language Statistica Basic, which realizes the offered algorithm.

Использование в качестве компонентов скрещивания самонесовместимых инбредных линий является эффективным способом получения гибридных семян капусты первого поколения. Одним из важнейших и наиболее трудоемких этапов селекционного процесса является выделение гомозиготных по аллелям самонесовместимости (S-аллелям) форм из инбредных потомств от гетерозиготных растений сорта. Трудности выполнения этой работы обусловлены специфичным характером наследственной природы самонесовместимости и, как следствие, сложной системой совместимости между растениями одного инбредного потомства.

В литературе описана методика выделения гомозиготных по генам самонесовместимости растений [1], однако она применима только для «идеальных» случаев, когда разные аллели гена самонесовместимости незначительно различаются по фенотипическому проявлению. Кроме того, иногда возникает необходимость проводить исследования в условиях открытого грунта, где практически невозможно полностью нивелировать влияние всех факторов, действующих при опылении. Поэтому нами была предпринята попытка видоизменить методику, чтобы избежать данных недостатков.

Определение типа взаимодействия S-аллелей в пыльце и рыльце, гомо- или гетерозиготности по аллелям несовместимости каждого члена инбредного потомства осуществляется в результате скрещивания их друг с другом и анализа взаимной совместимости. Наиболее точные данные могут быть получены при проведении диаллельных скрещиваний каждого растения со всеми другими. Обработка данных совместимости, полученных на основании подсчета семян в стручках каждой комбинации скрещивания, проводится с помощью решетки Пеннета, в которой растения нужно расположить согласно их генотипу. Однако разделение растений по генотипу согласно методике предполагается выполнять при помощи визуальной оценки данных, что, зачастую, не выполнимо.

В случае генетического анализа по генам самонесовместимости предполагается, что для самоопыления используется гетерозиготный по генам самонесовместимости генотип, так как сортовые популяции кочанной капусты, в основном, состоят из самонесовместимых растений с разным уровнем самонесовместимости. В результате перед исследователем возникает вопрос – как из полученных данных выделить три группы растений: гомозиготные по одному гену (S_1S_1), гетерозиготные (S_1S_2) и гомозиготные по второму гену (S_2S_2). Подобные задачи призван решать кластерный анализ. Однако алгоритмы кластерного анализа нацелены на определенную структуру группировок, что может приводить к неоптимальным или даже неправильным результатам, если гипотеза о типе группировок неверна. В случае отличия реальных распределений от гипотетических алгоритмы часто «навязывают» данным не присущую им структуру и дезориентируют исследователя. Поэтому экспериментатор, учитывающий данный факт, в условиях априорной неопределенности прибегает к применению множества алгоритмов кластерного анализа и отдает предпочтение какому-либо выводу на основании комплексной оценки совокупности результатов работы алгоритмов.

Наилучшие результаты в нашем случае показал метод иерархического кластерного анализа по Варду [4], однако в дальнейшем алгоритм нами был изменен для того, чтобы учесть все нюансы применяемой схемы скрещиваний.

Метод Варда отличен от всех остальных методов тем, что использует анализ дисперсий, чтобы вычислить расстояния между кластерами. Короче говоря, этот метод пытается минимизировать сумму квадратов отклонений любых двух (гипотетических) кластеров, которые могут быть сформированы при каждом шаге.

В нашем случае поведение гомозиготных и гетерозиготных растений, как в горизонтальном (материнская форма), так и в вертикальном (отцовская форма) направлении решетки Пеннета должно быть одинаковым. При суммировании данных по этим двум направлениям уменьшается ошибка анализа.

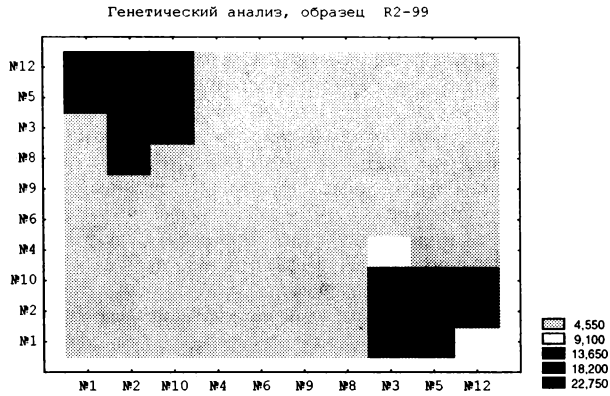
Алгоритм иерархической классификации использует неоднородности или расстояния между предметами при формировании кластеров. Одна из наиболее подходящих в нашем случае метрик, применяемых в кластерном анализе – манхэттенская. Манхэттенская метрика – это средняя абсолютная разность между наблюдениями. Однако в нашем случае не имеет смысла находить среднее значение абсолютной разности, так как в каждое наблюдение входят переменные, относящиеся к трем различным совокупностям (гомозигота S_1S_1, гетерозигота S_1S_2, гомозигота S_2S_2). В связи с этим, формулу следует упростить: необходимо суммировать абсолютные разности значений.

В отличие от метода Варда, в окончательном варианте будет минимизирована сумма абсолютных разностей переменных (в горизонтальном и вертикальном направлении решетки Пеннета), входящих в кластеры.

На основании проведенных исследований нами была разработана программа в виде модуля к интегрированной системе статистического анализа Statistica на языке программирования Statistica Basic, реализующая предложенный алгоритм. Результаты обработки данных по образцу R2-99 приведены ниже.

Из иерархической диаграммы видно, что совокупность распалась на три кластера, однако растения №11 и №7 выделяются на фоне своих кластеров. Эти растения следует исключить из окончательной схемы. Окончательные результаты анализа выглядят так:

Данная схема соответствует 4 типу взаимодействия S-аллелей (независимое действие S-аллелей в пыльце и рыльце). Растения №1, №2, №10 являются гомозиготами S_1S_1, растения №3, №5, №12 – гомозиготы S_2S_2, растения №4, №6, №9, №8 – гетерозиготы S_1S_2 по генам самонесовместимости.



Предложенный метод позволил элиминировать ошибки при отделении гомозигот от гетерозигот по гену самонесовместимости, однако в открытом грунте в некоторых случаях проявилась совместимость двух различных гомозигот. Причину этого явления предполагается исследовать в дальнейшем.

Литература

1. Методические указания по селекции сортов и гетерозисных гибридов овощных культур / ВАСХНИЛ, ВНИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова; Под ред. Д.Д. Брежнева. — Л., 1974. — 213 с.

2. Крючков А.В. Схема выведения четырехлинейных гибридов капусты на основе самонесовместимости // Известия ТСХА. — 1977. — Вып. 1. — С. 124-131.

3. Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J. (1990). Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley, New York.

4. Ward, J.H. (1963). Hierarchical groupings to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58:236-244.

Влияние чужеродных цитоплазм на параметры продуктивности аллоплазматических линий пшеницы и их дигаплоидных форм

Н.В. Хотляник, П.А. Орлов

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Буларусь, г. Минск, Беларусь.

Influence of alien cytoplasm on productivity parameters of alloplasmic wheat lines and their dihaploid forms. Effect of cytoplasm substitution on quantitative parameters characterising morphological parameters of different alloplasmic wheat lines and their dihaploid forms has been studied. Change-over of the plants to the dihaploid level was found to influence positively formation of some agronomic traits of alloplasmic wheat lines and to depend on cytoplasm type.

Одной из важных проблем современной генетики является изучение роли взаимодействия ядерных и цитоплазматических генов в наследовании хозяйственно-ценных признаков. Ее решение открывает новые возможности в селекции на продуктивность. Так, показана возможность взаимодействия ядра и цитоплазмы в наследовании таких признаков как продуктивная кустистость, дата колошения, масса тысячи зерен, семенная фертильность, масса сухого вещества, процентное содержание белка в зерне и многие другие [1, 2].

В настоящее время известен относительно широкий ряд публикаций по этой проблеме. Однако число работ по изучению эффектов цитоплазмы у растений регенерантов, полученных в культуре клеток и тканей in vitro, незначительно. Практически не исследованы эффекты процесса дигаплоидизации на формирование признаков, характеризующих продуктивность аллоплазматических линий пшеницы.

В связи с этим целью работы было изучение наследования параметров продуктивности у аллоплазматических линий мягкой пшеницы и их дигаплоидных вариантов, полученных методом культуры пыльников.

Материалом для исследований служила созданная в лаборатории генетики морфогенеза Института генетики и цитологии НАНБ серия реципрокно замещенных аллоплазматических линий пшеницы и их родительские формы. Серия включала аллоплазматические линии, полученные путем замещения ядра и цитоплазмы у 4 тетраплоидных и одного гексаплоидного вида пшениц во всех возможных комбинациях. Замещение генома осуществляли посредством проведения10-12 последовательных бэккроссов.

Оценивались такие параметры продуктивности, как общая кустистость, продуктивная кустистость, высота растения, длина главного колоса, количество цветков, количество колосков, количество и масса зерен с главного колоса, количество и масса зерен с растения.

Сравнительное изучение параметров продуктивности аллоплазматических линий мягкой пшеницы показало, что чужеродные цитоплазмы в различной степени оказывают влияние на изучаемые признаки. Так, замена в исходном варианте цитоплазмы T. aestivum на T. durum приводит к значительному увеличению общей кустистости, числа цветков, числа зёрен, массы зёрен главного колоса. Некоторые параметры, такие как: количество и масса зёрен с растения, продуктивная кустистость, длина главного колоса и число колосков при этом остаются неизменными. Полученые данные свидетельствуют о том, что замена исходной цитоплазмы на чужеродную в данном конкретном случае приводит скорее к положительному или нейтральному эффекту. При сравнении другой аллоплазматической линии (T. turgidum) x T. aestivum с исходным вариантом T. aestivum наблюдался обратный эффект. Было отмечено значительное снижение всех признаков, определяющих продуктивность. При этом значения таких параметров как продуктивная кустистость, высота растения, число колосков уменьшались в 2-3 раза, что согласуется с данными, полученными другими исследователями [3].

Одна из причин наблюдаемых отрицательных эффектов связана, по-видимому, с нарушением взаимодействия ядра и цитоплазмы, но эффекты этого нарушения могут быть совершенно различны. При лучшем сочетании взаимодействующих компонентов наблюдается увеличение показателей хозяйственно-полезных признаков, что даёт предпосылки к дальнейшему исследованию полученных аллоплазматических линий.

Результаты изучения эффектов дигаплоидизации на элементы продуктивности пшеницы показали, что в зависимости от типа цитоплазмы, эффекты также могут быть различными. Так, в двух дигаплоидных вариантах аллоплазматической линии (T. durum) x T. aestivum дигаплоидизация вызывает количественное снижение практически всех исследуемых параметров. Исключением являлся признак «высота растения», который у дигаплоидных форм несколько превышал значение исходного параметра, а во втором варианте оставался неизменным

При сравнении аллолинии (T. turgidum) x T. aestivum с её дигаплоидами наблюдался

совершенно противоположный результат. Все исследуемые признаки имели тенденцию к увеличению количественного значения, за исключением числа цветков. Выраженность этого признака оставалась равной исходной форме. Эти данные свидетельствуют о том, что эффект дигаплоидизации также оказывает существенное влияние на развитие растения. Определяющим критерием в получении дигаплоидных вариантов является, скорее всего, то, какое именно растение из всей популяции взято для эксперимента. Если это растение потенциально обладает рядом хозяйственно-ценных свойств, которые не в состоянии проявиться вследствие гетерозиготности, то вполне вероятно, что в процессе дигаплоидизации эти свойства проявятся и обретут стабильность. Поэтому, перевод растений на дигаплоидный уровень является одним из перспективных методов получения новых сортов растений.

Представлялось также интересным провести сравнительный анализ продуктивности двух типов полученных дигаплоидов и исходного донора ядра, для установления уровней влияния совместных факторов (замещения цитоплазмы и дигаплоидизации) на элементы продуктивности растений пшеницы. Сравнение T. aestivum с дигаплоидами аллоплазматической линии первого типа (T. durum) x T. aestivum показало, что дигаплоидные варианты по своим показателям значительно уступают исходному донору ядра, тогда как дигаплоиды аллоплазматической линии второго типа (T. turgidum) x T. aestivum, наоборот, имеют более высокие показатели по сравнению с T. aestivum (сорт Мироновская 808).

Для выяснения полной картины ядерно-цитоплазматических взаимодействий у дигаплоидов аллоплазматичесих линий необходимо было установить характер варьирования признака внутри популяции, как у исходных форм, так и у полученных аллоплазматических линий и их дигаплоидов, что даёт возможность определить из какой именно части популяции было взято растение для создания аллолинии и её дигаплоида. Был проанализирован каждый признак в отдельности. При сравнении исходной линии (T. aestivum) x T. aestivum с аллолиниями (T. durum) x T. aestivum и (T. turgidum) x T. aestivum было обнаружено, что практически все признаки у исходной формы донора ядерного генома варьируют в большей степени, чем у аллоплазматических линий. Это свидетельствует, по-видимому, о большей гетерогенности популяции, в сравнении с аллоплазматическими линиями. Анализ данных однофакторного дисперсионного анализа изменчивости параметров продуктивности подтвердил это предположение.

Таким образом, проведенные исследования показали неоднозначное влияние эффектов замещения цитоплазмы на количественные параметры, характеризующие морфологические признаки у различных аллоплазматических линий пшеницы и их дигаплоидных форм. В частности, отмечено увеличение большинства параметров у линии с цитоплазмой T. durum и их уменьшение у линии с цитоплазмой T. turgidum. Выявлено влияние дигаплоидизации на формирование хозяйственно-полезных признаков аллоплазматических линий пшеницы, зависящее от типа цитоплазмы. Наибольший положительный эффект отмечен у линий с цитоплазмой T. turgidum.

Литература

1. Селекция растений: новые подходы и решения (Под ред. Н.Н. Балашовой)/ Кишинев: «Штиинца».- 1991.- С. 278-285.

2. Cytoplasmic effects on quality traits of bread wheat (Triticum aestivum L.). H. Ekiz, A. Safi Kiral, A. Akcin & L. Simsek/ In: Wheat: Prospecs for Global Improvement. Dordrecht, Boston, London: KAP.- 1997.- P. 255-262.

3. Палилова А.Н. Генетические системы у растений и их взаимодействие.- Минск: Наука и техника.- 1986.- 160 с.

Оценка параметров пыльцевого эмбриогенеза у дигаплоидов мягкой яровой пшеницы и их гибридов первого поколения

С.М. Ленивко, П.А. Орлов, Л.В. Хотылёва

Институт генетики и цитологии НАН Б, г. Минск, Беларусь

Evaluation of pollen embryogenesis parameters in soft spring wheat dihaploids and their first generation hybrids. The analysis of the parameters characterising spring wheat dihaploids and their F_1 hybrids ability for pollen embryogenesis induction has been carried out. It was shown that hybrids, during whose development the best genotypes for corresponding parameteres were used as a maternal form, possess the highest embryogenic potential.

Одним из наиболее перспективных экспериментальных способов создания исходного материала, используемого для селекции гетерозисных гибридов, является метод культуры изолированных пыльников. Полученные этим способом гомозиготные дигаплоидные линии могут быть в дальнейшем использованы в селекции оригинальных линий и гибридов. Метод культивирования пыльников in vitro разработан для ряда возделываемых культур, в том числе и пшеницы [1]. Показано, что эффективность индукции пыльцевого эмбриогенеза у пшеницы зависит от многих факторов, среди которых одним из наиболее важных является генотип донорных растений [4].

Цель нашей работы состояла в изучении различий между гибридами первого поколения дигаплоидных линий пшеницы, созданных in vitro, и их родительскими формами по признакам, характеризующим способность растений к индукции пыльцевого эмбриогенеза, а также выявлении лучших по отзывчивости к культивированию пыльников комбинаций скрещиваний.

Материалы и методы

Изучаемый материал включал 14 гибридов первого поколения, полученных при скрещивании четырех дигаплоидных линий (Dh 60-10, Dh 64-21, Dh 38-2, Dh 102-4), созданных ранее методом культуры пыльников из межсортовых гибридов мягкой яровой пшеницы, с тестерами (Dh Kr, Kr, Dh M8, M8). Растения-доноры выращивали в четырех повторностях на световой установке при температуре ночью 13-15^{0}C, днем 17-20^{0}C. Пыльники, содержащие одноядерные микроспоры, после холодовой предобработки в течение 10 суток при температуре 5-7^{0}C, высаживали в чашки Петри на агаризированную питательную среду С-17 [3]. Культивирование осуществляли в термостате при температуре 31^{0}C первые 7 суток, а затем при 26^{0}C. Через 42 дня культивирования пыльников образовавшиеся эмбриоиды в стерильных условиях переносили на питательную среду Мурасиге и Скуга [2], содержащую 0,5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л ИУК. Культивировали эмбриоиды при температуре 22±2^{0}C, 16-ти часовом фотопериоде и освещении 1500-2000-лк. Учитывали следующие параметры: количество образовавшихся эмбриоидов (на 35 день культивирования), зеленых и альбиносных регенерантов через 6, 12, 18, 24 и 30 дней после пересадки, соответственно, на среду для регенерации, а так же число отзывчивых пыльников.

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка результатов показала (таблица), что из 22 исследуемых форм только две (Dh Kr и Dh 38-2 x Dh Kr) имели негативную реакцию к индукции пыльцевого эмбриогенеза в культуре пыльников. В то же время частота образования эмбриогенных

структур сильно различалась в зависимости от генотипа. Это было подтверждено результатами дисперсионного анализа ($F_{факт} > F_{теор}$ при $P<0,05$ по следующим признакам: выход эмбриоидов, число отзывчивых пыльников, выход зеленых регенерантов).

Хорошей реакцией на индукцию пыльцевого эмриогенеза отличались две родительские формы Dh 60-10 и Dh 64-21 (95 и 54 эмбриоида на 100 посаженных пыльников соответственно). Сорта Красноярская, Мироновская 808 и Dh M8 обладали слабой отзывчивостью к культивированию in vitro. Частота индукции эмбриогенных структур у гибридов F_1 варьировала от 5,47 до 166,56 (в расчете на 100 посаженных пыльников) в зависимости от комбинации скрещивания. При этом большей способностью к образованию эмбриоидов, отзывчивых пыльников и зеленых регенерантов обладали те гибриды, у которых в качестве материнской формы использовали лучшего родителя (Dh 60-10 и Dh 64-21). Для пшеницы показано, что в проявлении регенерационной активности гибридов определяющее значение имеет генотип материнской формы [5]. В то же время отдельные гибриды (Dh 38-2 x Kr и Dh 102-4 x M8) также характеризовались достаточно высокими показателями по анализируемым признакам, несмотря на то, что материнская форма имела низкую частоту индукции пыльцевого эмбриогенеза.

Таблица 1

Характеристика дигаплоидных линий пшеницы и гибридов F_1 по признакам, характеризующим их способность к индукции пыльцевого эмбриогенеза (в расчете на 100 посаженных пыльников)

Генотип	Число пыль-ников	Выход эмбриоидов	Число отзывчивых пыльников на 42 день	Выход зеленых регенерантов на 30день	Выход альбиносных регенерантов на 30 день
Dh 60-10	326	95,4±1,16	25,46±2,41	7,36±1,45	14,72±1,96
Dh 64-21	201	54,2±3,51	14,43±0,78	7,96±1,91	7,96±1,91
Dh 38-2	295	14,2±2,03	2,37±0,89	0,34±0,34	6,44±1,43
Dh 102-4	263	47,2±3,08	8,37±1,71	3,42±1,12	7,22±1,6
Dh 60-10 x Dh Kr	323	166,56±5,86	27,86±2,49	9,29±1,62	12,69±1,85
Dh 60-10 x M8	346	105,49±1,29	22,25±2,24	9,25±1,56	12,43±1,77
Dh 64-21 x Dh Kr	249	74,7±2,75	20,08±2,54	13,65±2,16	5,6±1,46
Dh 64-21 x Dh M8	357	64,15±2,54	15,41±1,91	12,61±1,76	5,04±1,16
Dh 64-21 x Kr	296	56,76±2,88	14,53±2,05	7,43±1,52	7,77±1,56
Dh 64-21 x M8	180	87,22±2,49	15,0±2,66	4,44±1,54	6,67±1,86
Dh 38-2 x Dh Kr	130	0	0	0	0
Dh 38-2 x Dh M8	231	13,85±2,27	5,19±1,46	4,33±1,34	4,76±1,4
Dh 38-2 x Kr	108	68,52±4,47	14,81±3,42	12,04±3,13	10,19±2,91
Dh 38-2 x M8	217	31,34±3,15	11,06±2,13	3,23±1,2	12,44±2,24
Dh 102-4 x Dh Kr	315	13,33±1,92	3,81±1,08	0,32±0,32	1,27±0,63
Dh 102-4 x Dh M8	85	18,82±4,24	10,59±3,34	1,18±1,18	3,53±2,0
Dh 102-4 x Kr	201	5,47±1,6	1,49±0,85	0	0,5±0,5
Dh 102-4 x M8	374	72,73±2,3	18,18±1,99	8,02±1,4	6,95±1,31
Dh Kr	207	0	0	0	0
Dh M8	306	5,23±1,27	2,61±0,91	0,98±0,56	1,31±0,65
Сорт Красноярская (Kr)	367	8,17±1,43	3,27±0,93	4,9±1,13	1,91±0,71
Сорт Мироновская 808 (M8)	225	4,0±1,31	2,22±0,98	0,44±0,44	1,78±0,88

Таким образом, исследование гибридов первого поколения дигаплоидных линий пшеницы и их родительских форм показало, что гибриды F_1, при получении которых материнской формой служили лучшие генотипы, заметно отличались высоким выходом отзывчивых на культивирование пыльников, числом образующихся эмбриоидов и выходом зеленых регенерантов. Такие гибриды с высоким выходом эмбриогенных структур могут быть использованы в гетерозисной селекции.

Литература

1. De Buyser J., Henry Y., Lonnet P., Hertzog R., and Hespel A. «Florin»: A doubled haploid wheat variety developed by the anther culture method // Plant Breeding. – 1987. – Vol. 98. – P. 53-56.

2. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // Physiol. plant. – 1962. – Vol. 15. – P. 473-497.

3. Wang P., Chen Y.R. A study of the application of C 17 medium for anther culture. Acta. Botanica Sinica. – 1986. – Vol. 28. – P. 38-45.

4. Золотова Т.М., Никонов В.И. Оценка коллекции сортов яровой мягкой пшеницы (Triticum aestivum) по морфогенетической способности в культуре пыльников in vitro // Материалы Междунар. конф. «Молекулярная генетика и биотехнология». – Мн., 1998. – С. 178-179.

5. Искаков А.Р. Генетические основы создания ценных форм ячменя в культуре in vitro // Автореф. дис. … докт. биол. наук. – Алматы, 1999. – 47 с.

Гиббереллловая кислота, смещение максимумов накопления флавоноидов во времени, изменение стадий развития на конусе нарастания растений двурядного и шестирядного ячменя

Р.С. Поплавская, Н.А. Якимович, А.А. Спицын, Л.И. Яцко

**Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь*
Белорусский Государственный Университет, биологический факультет, г. Минск, Беларусь

The gibberellic acid is the derepressor of some structural genes. The effect of gibberellic acid on correlftion between dvnamics of the flavonoid content and shoot apex developmental stages of barley was studied. The interrelation between the shift of maxima of the flavonoid content in time and shoot apex elongation was shown.

Выделены четыре уровня организации жизни на Земле: 1) молекулярно-генетический; 2)онтогенетический; 3)популяционно-видовой (собственно эволюционный); 4) биогеоценотический, или биосферный. Онтогенетический уровень пока является наименее ясным теоретически вследствие недостаточной разработанности общей теории индивидуального развития. /1, с.17/

Ритмика биологических процессов является фундаментальным признаком живых

организмов, возникшим в результате длительных эволюционных процессов. В систему колебательного режима несомненно втянута управляющая система клетки - ее генетический аппарат. Биологически активные вещества, воздействующие на сроки зацветания растений, дерепрессируют геном. Например, гиббереллювая кислота является дерепрессором некоторых структурных генов. /2, цит. 3/

ИУК - гормон роста. Флавоноиды - регуляторы роста фенольного происхождения. Оксикоричные кислоты п-кумаровая, феруловая, кофейная - аналоги кольца Б молекул флавоноидов сапонарина, 3′-метилового эфира лютонарина, лютонарина. П-кумаровая кислота - ингибитор активности ИУК, феруловая и кофейная - стимуляторы. При добавлении в среду H_2O_2 пероксидаза может окислять феруловую и п-кумаровую кислоты. Феруловая кислота при этом образует лаг-фазу в окислении ИУК, во время которой окисляется сама. В отсутствие перекиси водорода при наличии ионов марганца происходит окисление ИУК. В событиях на конусе нарастания наиболее вероятным представляется участие продуктов катаболизма флавоноидов. /5 /

Применение шкал Haun (1973) и Waddington et al (1983) привело к выводу о том, что события на конусе нарастания происходят ритмически. Изменения размеров конуса нарастания происходят по вертикальной и горизонтальной осям. Когда рост конуса по вертикальной оси прекращается, увеличивается его диаметр.

Кольцо А флавоноидной молекулы своим происхождением связано с циклом Кребса. Кольцо Б происходит из пентозофосфатного пути окисления глюкозы. Пентозофосфатный путь считают теневым. При истощении фрагментов кольца Б (в условиях протекания ВЭР) происходит остановка в образовании флавоноидов, происходит остановка роста конуса по вертикальной оси, удлинения листьев, и возникает необходимость в разрушении молекулы флавоноидов. Ацетил-K_oA из цикла Кребса помимо участия в образовании молекул флавоноидов, направляется на биосинтез жирных кислот, гиббереллинов. Причем, путь образования молекул гиббереллювой кислоты не имеет возврата в цикл Кребса. ГК индуцирует синтез и активность фермента α-амилазы, участвующего в расщеплении запасного крахмала. Крахмал является буферной системой для защиты функционирования цикла Кребса в условиях низкой освещенности, когда происходит снижение образования молекул флавоноидов при истощении фрагментов кольца А.

Изучали особенности накопления флавоноидов в листьях двурядного сорта Зазерский-85 и шестирядного сорта Ліпень селекции БелНИИЗа. Растения выращивали в рулонной культуре. Семена обрабатывали 0.1% раствором KMnO4 для обеззараживания. В опытных вариантах в среду добавляли 0.01% раствор гиббереллювой кислоты ($ГКА_3$) для модификации фенотипа. Наблюдали появление антоцианового окрашивания во влагалищах листьев в опытных вариантах с ГК.

Состояние апексов растений определяли по изменению размеров по вертикальной и горизонтальной осям. Флавоноиды определяли методом одномерной бумажной хроматографии на бумаге. Варианты с обработкой ГК обозначали - ГК (+), контрольные -- ГК (-). Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Суммарное содержание флавоноидов в листьях ячменя, мкМ на г сухого вещества

Варианты опыта	1 проба, 25.06.98, 1 лист	2 проба, 15.07.98, 1 лист	3 проба, 17.07.98, 1 лист	2 проба, 15.07.98, растущие листья	3 проба, 17.07.98, растущие листья
Ліпень ГК(-)	83.85	61.08	44.08	39.07	31.38
Ліпень ГК(+)	36.82	58.30	61.43	41.12	29.63
Зазерский-85 ГК(-)	39.75	80.12	36.46	14.40	20.21
Зазерский-85, ГК(+)	33.69	30.00	44.05	18.40	69.95

Таблица 2

Размеры конусов нарастания, мм

Варианты опыта	1 проба, высота	1 проба, диаметр	2 проба, высота	2 проба, диаметр	3 проба, высота	3 проба, диаметр
Ліпень ГК(-)	0.1	0.1	2.0	0.7	2.5-2.7	1.0
Ліпень ГК(+)	0.1	0.1	2.7	0.7	3,7	1.0
Зазерский-85 ГК(-)	0.1	0.1	1.5-1.7		1.5-1.7	0.7
Зазерский-85 ГК(+)	0.1	0.1	2.2-2.5	0.5-0.7	2.2-2.5	0.5-0.7

В 1-й пробе конус нарастания всех растений не превышал по размерам 0.1мм, во 2-й пробе стадии двойных бугорков, переходной к генеративному состоянию, соответствовали контрольные растения двурядного сорта. Растения варианта Зазерский-85 ГК(+) по степени выраженности формообразовательных процессов несколько опережали стадию двойных бугорков по шкале Waddington et al. К третей пробе у контрольных растений наблюдали остановку в росте конуса нарастания по вертикальной оси - увеличивался только диаметр с появлением новых структур колоса. В этот промежуток времени, между 2-й и 3-й пробами, сумма флавоноидов после достижения максимума снижалась в 1-м, завершившем рост, листе. В растущих, 2-м и 3-м листьях, отмечен подъем уровня накопления флавоноидов после прохождения минимума. В варианте Зазерский-85 ГК(+) в период между 2-й и 3-й пробами размеры конуса не изменялись ни по вертикальной ни по горизонтальной осям. Со 2-й пробы наблюдали увеличение суммы флавоноидов как в 1-м, так и в растущих листьях. Самая высокая скорость роста конуса нарастания по вертикальной оси отмечена для сорта Ліпень - ГК(+) - до 3.7 мм. Максимум накопления флавоноидов показан в 3-й пробе 1-го листа, а у растущих листьев наблюдали уже снижение. В варианте Ліпень ГК(-) отмечена противоположная тенденция динамики флавоноидов. Изменения параметров конуса нарастания носят сходный характер, с преобладанием увеличения по горизонтальной оси.

Таким образом, смещение максимумов накопления флавоноидов во времени при экзогенном воздействии $ГКА_3$ связано с изменением стадий развития на конусе нарастания.

Литература

1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М., 1977. С.297.

2. Боннер Дж., Варнер Дж. Биохимия растений. М., «Мир», 1968.

3. Гродзинский Д.М. Биофизика растений. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1972. С. 222.

4. Чойлахян М.Х. Регуляция цветения высших растений. Москва, «Наука», 1988. С. 560.

5. Паплаўская Р.С., Якімовіч Н. А., Яцко Л. І., Спіцын А. А. Уплыу гіберэлавай кіслаты на назапашванне флаваноідау у лістах двухрадовага і шасцірадовага сартоу ячменю і здаренні на конусе нарастання. / / Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2000.

Экспериментальная эволюция тритикале

И.А. Гордей

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Experimental Evolution of Triticale. Genetic approaches in the history of active breeding of a new grain crop —triticale (1950-2000) enabling a rise in the efficiency of the breeding process are described. A new approach, proposed by us, in genetics and breeding of triticale, based on developing rye-wheat amphidiploids with rye cytoplasm – secalotriticum is elucidated.

В истории активной селекции тритикале (1950-1990-е годы) можно выделить ряд генетических подходов, позволивших повысить эффективность селекционного процесса (1, 2). В 1950-е годы происходило расширение генофонда исходного материала, путем создания первичных гексаплоидных форм на основе тетраплоидных пшениц (T. turgidum, T.durum, ААВнетических подходов, позволивших повысить эффективность селекционного придов скрещиванием первичных октоплоидных форм с гексаплоидными (AABBDDRR, 8x = 56x AABBRR, 6x = 42). Переход на гексаплоидный уровень позволил улучшить цитогенетическую стабильность, повысить фертильность колоса и потенциал продуктивности.

В 60-е годы началась активная интрогрессивная гибридизация гексаплоидных тритикале с мягкой пшеницей (AABBRR, 6x = 42 x AABBDD, 6x = 42). Данный подход позволил улучшить морфотип растений, повысить толерантность к плотному ценозу, генетически закрепить многоцветковость колоса и потенциал продуктивности.

В 1970-80-е годы большое внимание уделялось созданию D/R замещений хромосом путем гибридизации гексаплоидных тритикале, с гексаплоидной пшеницей. Это позволило улучшить качество зерна, однако, замещение хромосом ржи на хромосомы пшеницы генома D снижало зимостойкость и адаптивность озимых тритикале.

С целью улучшения хлебопекарных свойств тритикале с 1990-х г. проводятся исследования по получению D/A, D/B замещений хромосом пшеницы, на основе гибридизации октоплоидных тритикале с тетраплоидными (AABBDDRR, 8x = 56 x A(A) B(B) RR, 4x = 28), так как с геномом D связаны хлебопекарные свойства (3).

Нам представляется, что дальнейший прогресс в селекции тритикале (2000-е годы) будет связан с расширением и обогащением генофонда исходного материала на основе вовлечения видового потенциала пшеницы и ржи путем синтеза амфидиплоидов различного геномного состава и ядерно-цитоплазматической структуры с последующей интрогресивно-рекомбинационной селекцией. Синтез тритикале на ржаной и пшеничной цитоплазмах будет способствовать оптимизации цитоплазматического фона для экспрессии и рекомбинации геномов исходных видов, что позволит повысить их экологическую адаптивность, зимостойкость, болезнеустойчивость, так как с генетическими системами цитоплазмы связаны эти признаки и свойства.

Нами предложен новый подход в генетике и селекции тритикале основанный на

создании ржано-пшеничных амфидиплоидов на цитоплазме ржи (секалотритикум), что имеет особое значение для повышения экологической стабилизации озимых тритикале, так как с плазмогенами ржи связаны экологическая адаптивность, зимостойкость и устойчивость к ряду грибных болезней. Генетическая система гексаплоидных тритикале включает пять геномов (A, B, R, геномы хлоропластов и митохондрий), причем, четыре из них принадлежат пшенице. В связи с этим у тритикале наблюдается ингибированние ряда генетических систем и признаков ржи, особенно экологической адаптивности и устойчивости к биотическим и абиотическим факторам.

У озимых гексаплоидных секалотритикум создаются более благоприятные условия для экспрессии генома ржи (геном R, геномы хлоропластов и митохондрий принадлежат ржи) и проявлению ряда ее адаптивных свойств (зимостойкость, устойчивость к болезням, экологическая адаптивность).

Предложенный нами метод создания секалотритикум включает скрещивание тетраплоидной ржи (RRRR, 2x = 28) с гексаплоидными тритикале (AABBRR, 6x = 42) идентификацию пентаплоидных гибридов F_1 (RRABR, 5x = 35) методом электрофореза секалинов либо цитологически (подсчет числа хромосом), последующее беккроссирование идентифицированных гибридов F_1 гексаплоидными тритикале, цитологический анализ полученных амфиплоидов F_1 (BC_1) и выделение в F_2-F_3 (BC_1) гексаплоидных секалотритикум (RRAABB, 6x = 42) (А.С. № 1734602, 1992) (4).

На основании анализа результатов совместимости ржи с гексаплоидными тритикале установлено, что для скрещиваний с тетраплоидной рожью характерна прогамная несовместимость, определяющая низкую завязываемость (не более 7,3 %) пентаплоидных зерновок (RRABR, 5x = 35) и высокую их жизнеспособность (70-100 %) В комбинации диплоидная рожь х гексаплоидные тритикале, а также гексаплоидные тритикале х ди- и тетраплоидная рожь несовместимость компонентов гибридизации проявлялась как в прогамный, так и в постгамный периоды, отрицательно влияя на завязываемость и жизнеспособность 28 и 35 хромосомных гибридов. Тетраплоидная рожь оказалась более совместима с гексаплоидными тритикале, чем диплоидная в обоих направлениях скрещиваний. Эти результаты привели к выводу, что в качестве источников цитоплазмы и геномов ржи необходимо использовать тетраплоидную рожь, а геномы пшеницы целесообразно интрогрессировать из гексаплоидных тритикале.

Выявлены особенности мейотического деления у ржано-тритикальных пентаплоидов F_1 (RRABR, 5x = 35), имеющих 1 диплоидный и 3 гаплоидных генома. Количество закрытых и открытых бивалентов у них достигает 14-15 вместо теоретически ожидаемых 7. Наряду с бивалентами встречаются триваленты и мультивалентные ассоциации. Это обусловлено, по-видимому, ингибирующим эффектом тройной дозы генома ржи на Ph-локус гомологичной конъюгации 5B хромосомы пшеницы. У пентаплоидов обнаружены два типа деления унивалентов в A1:

1.эквационное деление унивалентов, т.е. разделение их на хроматиды, при этом многие хроматиды не вовлекаются в дальнейший цикл деления и образуют в тетрадах микроядра с последующей их элиминацией;

2.неравномерное расхождение унивалентов к полюсам в A1, образование неравных диад.

Для второго деления мейоза у пентаплоидов F_1 характерны:

асинхронность деления ядер в диадах, отставание унивалентов в A2 и формирование микроядер в тетрадах (от 1 до 17 на тетраду), высокий уровень нарушений по стадиям мейоза (число клеток с нарушениями 60,0-88,0%), уровень формирования монод, диад, триад зависит от комбинаций скрещиваний.

Следовательно, определяющим, ключевым моментом в формировании кариотипов секалотритикум является хромосомный состав жизнеспособных гамет у пентаплоидов F_1 (RRABR, 5x = 35). Специфичностью мейоза у пентаплоидов F_1 обусловлен широкий спектр

изменчивости растений по числу хромосом у гибридов F_1BC_1 с варьированием в пределах 35-49. Большая часть кариотипов имела 37, 38 и 39 хромосом. Среди F_1BC_1 гексаплоиды (RRAABB, 6x = 42) составили 11-16 %, что подтверждает эффективность предложенного метода создания секалотритикум. Судя по спектру изменчивости растений по числу хромосом у гибридов F_1BC, число хромосом в оплодотворенных яйцеклетках пентаплоидов F_1CRRABR варьировало от 14 до 28 (5).

Таким образом, для дальнейшего прогресса селекции тритикале необходимы новые генетические подходы расширения и обогащения генофонда исходного материала, исследования особенностей структурно-функциональной организации геномов у амфидиплоидов с целью достижения аддитивности экспрессии генетических систем, исходных видов и повышения адаптивного потенциала новой культуры.

Литература

1. Lelley T. The verdict of Triticale – a critical view. Triticale: Today and Tomorrow, p. 49-55, 1996 Kluver Academic Publishers. Dordreeht /Boston/ London.

2. Гордей И.А. Тритикале: Генетические основы создания. – Минск.: Наука и техника, 1992. – 287 с.

3. Бормотов В.Е., Дубовец Н.И., Щербакова А.М., Бадаев Н.С. Тет-раплоидные тритикале. – Минск: Наука и техника, 1990. – 136 с.

4. Гордей И.А., Гордей Г.М., Новикова Л.В. Генетические основы создания тритикале (x Triticale): Создание ржано-пшеничных амфидиплоидов (секалотритикум). Генетика, 1996, Т. 32, № 6, С. 783-787.

5. Gordey I.A., Belko N.B., Khokhlova S.A. Lyusikov O.M., Gordey G.M., Novikova L.V. Development of secalotriticum: method and main stages. Proccedings of the 4th International Triticale symposium. Vol. 2. Poster Presentations, 1998, Red Deer. Alberta, Canada, p. 13-16.

Межвидовое разнообразие ячменя по признакам, характеризующим способность к каллусообразованию и регенерации в культуре листовых эксплантов

Л.С. Сидор

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Interspecific diversity of barley in characters defining ability for callus formation and regeneration in leaf explant culture. The article represents the results of studing interspecific differences in 5 barley genotypes in their ability to induce morphogenetic processes in young leaf culture. The efficiency of embryogenic callus induction and the frequency of plant regeneration were shown to differ depending on the species. The species Hordeum marinum has exhibited the highest ability for induction of embryogenesis and regeneration.

Известно, что на каллусообразование и последующую регенерацию растений в культуре клеток и тканей в значительной мере влияют условия культивирования и состав питательной среды. Установленным является факт различия по этим признакам между

видами растений, а также между сортами и линиями в пределах одного вида, что указывает на генетическую обусловленность этих различий [1]. Генотипическая зависимость способности к формированию эмбриогенных каллусов и регенерантов описана для различных злаков [2]. Для ячменя такие работы проведены в культуре незрелых зародышей для различных линий *Hordeum vulgare L.* [3,4]. Значительно меньше известно о межвидовых различиях ячменя по признакам, характеризующим способность к каллусообразованию и регенерации. В всязи с этим целью данной работы было изучение морфогенетического потенциала и регенерационной способности различных видов ячменя при культивировании тканей молодых листочков.

Листовые экспланты были получены из 5-дневных проростков 5 видов ячменя: *Hordeum marinum, H. leporinum, H. bulbosum, H. geniculatum, H. glaucum.*

Растительный материал стерилизовали в течение 8 минут раствором диоцида, затем промывали дисциллированной водой. Для индукции каллусогенеза в стерильных условиях выделяли базальные участки побегов, разделяли их на 5 мм секции и помещали в чашки Петри (9 см) с питательной средой МС [5] с добавкой глутамина (150 мг/л), 2,4-Д (2 мг/л) и сахарозы (3%). Чашки заклеивали парафилмом и помещали в термостат с постоянной температурой (26^0C).

Для дальнейшего роста образовавшиеся каллусы пассировали на ту же среду и культивировали на свету 3 недели (длина светового дня – 16 часов, интенсивность освещения – 1500-2000 лк). Затем каллусы переносили на среду МС с концентрацией 2,4-Д 1 мг/л, индуцирующую процессы дифференцировки клеточных культур. Через 3 недели каллусы пассировали на среду для регенерации, включающую соли и витамины по Мурасиге-Скугу, НУК (0,5 мг/л), кинетин (0,5 мг/л). В случае дифференцировки листочков для более интенсивного корнеобразования каллусную ткань с проростками пересаживали на безгормональную среду Мурасиге-Скуга с уменьшенным вдвое содержанием солей. По мере подрастания регенерантов и формирования у них развитой корневой системы растения пересаживали в вазоны с почвой.

В ходе первых двух недель культивирования у всех видов ячменя на срезах листовых эксплантов было отмечено формирование мелких, прозрачных или желтоватых каллусов. Частота индукции каллсуов была не высокой, что согласуется с литературными данными для листовых культур ячменя *H. vulgare* [6]. Наименьшая способность к формированию каллусных тканей была характерна для вида *H. geniculatum* – 17,24%, наибольшая – 50% - для вида *H. glaucum* (таблица). Индуцированные каллусы характеризовались небольшими размерами и низкой скоростью роста. К концу седьмой недели культивирования в большинстве случаев они не превышали 2-3 мм в диаметре и только некоторые каллусы вида *H. bulbosum* достигали размера 5-8 мм.

После пассирования каллусных культур на среду для дифференцировки клеточных тканей, при их дальнейшем культивировании наблюдалось формирование нескольких типов каллусов с различным морфогенетическим потенциалом. Визуально их можно было разделить на три группы: 1) плотные, желтоватого цвета; 2) рыхлые, прозрачные, обводненные и 3) смешанные, состоящие из бурой плотной ткани в центре каллуса и желеобразной субстанции на поверхности. Только каллусы первой группы были способны формировать эмбриогенные зоны, т.е. обладали регенерационной способностью. Каллусы второй и третьей групп такой способности не проявили. Кроме того, при пассировании на среду для регенерации в каллусах смешанного типа очень быстро развивались некротические процессы.

Способность к формированию эмбриогенных каллусов проявили три из пяти исследованных видов ячменя: *H. marinum, H. glaucum, H. bulbosum.* Причем у *H. marinum* частота индукции такого типа каллусов достигала 76,92%. В то же время такие виды как *H. leporinum* и *H. geniculatum* в ходе эксперимента формировали только неэмбриогенные каллусы смешанного и рыхлого типа (таблица).

Таблица 1

Индукция морфогенетических процессов в культуре листовых эксплантов различных видов ячменя

Вид	Число эксплантов	Частота индукции каллусов, %	Размер каллусов, мм	Тип каллусов, %			% каллусов с проросшими эмбриоидами
				плотный эмбриогенный	рыхлый	смешанный	
H.marinum	28	28,57	1,97	76,92	0	23,08	38,46
H. leporinum	16	18,75	1,88	0	0	100	0
H. bulbosum	46	45,65	3,18	4.76	95.24	0	0
H.geniculatum	29	17,24	1,13	0	100	0	0
H. glaucum	18	50,00	2,60	20,00	0	80,00	0

При пассировании на среду для регенерации эмбриогенные каллусы вида *H. marinum* дифференцировали листовые структуры и корешки. Частота индукции регенерантов составила 38,46%. Всего в ходе эксперимента было получено 47 зеленых регенерантов данного вида. У остальных видов эмбриоидные структуры останавливались в развитии и регенерантов не формировали.

Анализируя полученные данные следует отметить, что все пять изученных видов ячменя были способны к индукции каллуса в культуре молодых листочков, но только три из них продуцировали каллусные ткани, обладающие эмбриогенным потенциалом и лишь для одного вида - *Hordeum marinum* – наблюдалась растительная регенерация. Эффективность индукции эмбриогенных каллусов и частота регенерации растений различались в зависимости от вида. Это подтверждает генетическую обусловленность исследованных параметров у ячменя. Наиболее отзывчивым гнотипом был *Hordeum marinum*, проявивший высокую способность к индукции эмбриогенеза и регенерации.

Литература

1. Чеченева Т.Н., Труханов В.А. Генетическая обусловленность каллусообразования и регенерационной способности у кукурузы.// Цитология и генетика.1994.-Т.28-№5.- С.46-50.

2. Gless C., Lurz H., Jdhne-Gdrtner A. Establishment of a highly efficient regeneration system from leaf base segments of oat *(Avena sativa L.).*// Plant Cell Reports. 1998. -Vol. 17. -P. 441-445.

3. R. Lьhrs, H. Lurz Plant regeneration i*n vitro* from embryogenic cultures of spring- and winter-type barley (*Hordeum vulgare L.)* varietis.// Theor. Appl. Genet. 1987.-Vol. 75.- N1.- P. 16-25.

4. Hanzel J.J., Miller J.P.,Brinkmann M.A. et al. Genotype and media effects on callus formation and regeneration in barley.// Crop. Sci. 1985.- Vol.25.- P. 27-31.

5. Murashige T., Skoog F.A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962.- Vol. 15.- P. 473-496.

6. Saalbach G., Koblitz H. Attempts to initiate callus formation from barley leaves. // Pl. Sci. Let. 1978. -V. 13.- P. 165-169.

Противодействие генетическому и тератогенному риску от продолжающегося облучения в загрязненных местностях

В.В. Силуянов, П.Н. Овсянников

Гомельский государственный медицинский институт, г. Гомель, Беларусь
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь

Counteraction against genetic and teratogenic risk from continuing radiation in radioactive places. Theoretical premises of existence of genetic and teratogenic risk in small doses of radioactive contamination and the measures for their reduction are studied as the way of problem.

Как известно, генетический риск наиболее оживленно обсуждается как источник «радиационного геноцида» в загрязненных местностях. По понятным причинам дискуссии на эту тему оказываются едва ли не самым мощным средством отрицательного психологического воздействия на жителей пострадавших местностей, тем более в связи со страхом этого вида риска из-за его объявленной «непредсказуемости».

Однако этот вид радиационных последствий изучен достаточно хорошо, что ставит генетический риск по своей количественной значимости далеко после риска, например, канцерогенного.

Хотя теоретические предпосылки к существованию генетического риска (при малых дозах) являются не менее более вескими, чем для индуцированного рака, они не наблюдались ни в одной облученной группе людей. Не составили здесь исключения и когорты японцев, облученных при ядерной бомбардировке Хиросимы и Нагасаки, - главный источник существующих данных о радиационном канцерогенном риске.

Представляется необходимым отметить, что прогноз (предположительно существующего) генетического риска обоснован на экстраполяции с опытов на животных. Эти опыты были спланированы и испытаны еще в 1950-1970-е годы – в пору, когда этот вид риска действительно являлся предметом озабоченности в проблеме мирного использования ядерной энергии. Их результаты стали основой признания прогностических оценок данного вида риска – самое малое, в 10 раз меньше риска канцерогенного.

Как показала практика, единственный вид тератогенного риска в подвергшихся общему однородному однократному облучению in utero японских когортах – появление врожденных дефектов нервной реактивности: ухудшенной способности к обучению, редких случаев тяжелой умственной отсталости и наклонности к непровоцированным судорогам. Тератогенный риск наименее изучен по сравнению с другими видами радиационного риска. Не выявлен механизм формирования данного эффекта, как и не создана достаточно простая и адекватная экспериментальная модель данного явления на животных.

Прогноз тератогенного риска основан на прямом переносе данных, полученных в обследованиях японских когорт, облученных in utero однократно и при большой мощности дозы. Если он верен, то величина тератогенного риска в расчете на единицу годовой дозы протяженного облучения не превышает величину риска генетического и меньше риска канцерогенного, самое малое, в 10 раз.

Неопределенности прогноза тератогенного риска могут оказаться достаточно

большими в обе стороны – от его полного отсутствия при малых уровнях излучения до несколько большей эффективности протяженного облучения по сравнению с однократным. Недостаточная изученность действия облучения (и других вредных агентов) in utero должна рассматриваться как предпосылка к введению мер по защите беременности, материнства и детства в загрязненных районах.

Эти меры могут быть косвенными(улучшение медицинского обслуживания беременных женщин и родовспоможения, повышение медицинского внимания к новорожденным) и прямыми: ограничение воздействия на беременных женщин вредных (химических) факторов, свойственных современному сельскохозяйственному производству, в сочетании с которыми только и может осуществляться действие излучения in utero. Из соображений той же осторожности следует создать все условия (включая и материальные предпосылки) для своевременного выведения беременных женщин из производства, сопровождающегося действием любых (потенциально) вредных для полноценного течения беременности факторов (ядохимикатов, круглосуточного режима работы, отличающегося повышенными физическими нагрузками и психологическим стрессом, и др.). Именно так поступают с беременными женщинами-профессионалами на ядерном производстве и на обеспечение аналогичных действий и следует направлять материальные средства в загрязненных районах.

Целесообразны организация повсеместного регулярного углубленного медицинского наблюдения детей младших возрастов и создание предпосылок для получения ими специализированной медицинской помощи, возможности для общего оздоровления: многие случаи врожденной умственной отсталости корригируются при своевременном лечении.

Для противодействия риску появления врожденных нервных заболеваний, помимо собственно включения соответствующего раздела в Государственные программы улучшения здоровья населения, рациональна постановка специальных научных исследований. Они должны быть направлены на понимание механизма формирования врожденных дефектов нервной системы под влиянием воздействия in utero радиационных и нерадиационных факторов, свойственных загрязненным местностям, выявление сравнительной роли их изолированного и в особенности сочетанного действия. Получение этих результатов оказало бы неоценимую помощь в выделении наиболее эффективных медико-социальных мер для предотвращения врожденных нервных (и иммунных) заболеваний - наиболее социально значимых последствий вредного действия радиационных и нерадиационных агентов, а также их сочетаний.

Хирономус в исследованиях генетического действия радиации

А.Н. Тарасюк, Н.Ф. Ковалевич

Брестский государственный университет им.А.С.Пушкина, г.Брест, Беларусь

Chironomus in the investigation of the genetic influence of radiation. The influence of γ-radiation in different doses on the structure and functional activity of polytene chromosomes of chironomus has been explored. There have been shown the increase of frequency and change of spectrum of chromosome aberrations, the induction of puffs formation. The description of the revealed chromosome aberrations is given. Possible reasons and mechanisms of the observable effects and the further research program are being discussed.

Для оценки долговременных генетических последствий действия радиации в

результате аварии на Чернобыльской АЭС чрезвычайно актуальной задачей является организация эффективной системы генетического мониторинга природных популяций (Савченко, 1997). Решение этой задачи требует координации усилий исследователей в различных регионах страны. За истекший с момента аварии на ЧАЭС период белорусскими учёными проделана большая работа по изучению генетических последствий действия радиации на популяции растений, животных и человека, главным образом, с использованием цитогенетических тестов. В качестве объектов исследований при этом использовались человек (Шевченко и др., 1990), мышевидные грызуны (Ганчарова и інш., 1990), лягушки (Елисеева и др., 1991), дикорастущие растения (Дмитриева, 1991). Во всех работах показано увеличение частоты и изменение спектра хромосомных аберраций у организмов, обитающих на загрязнённых радионуклидами территориях.

Удобным объектом для изучения генетического действия радиации на живые организмы в природных условиях являются комары рода *Chironomus (Diptera, Chironomidae)*. Личинки этих комаров обитают в иле водоёмов и распространены повсеместно. Преимущества данных объектов состоят в том, что в клетках слюнных желез их личинок образуются политенные хромосомы. Эти хромосомы в сотни раз длиннее и в 20-40 раз толще метафазных хромосом, что позволяет наблюдать практически любые изменения, происходящие с ними. Каждая из политенных хромосом имеет точную и постоянную для данного вида морфологию дисковых и междисковых участков. Гомологи при образовании политенных хромосом в результате соматического синапсиса настолько тесно прилегают друг к другу, что создают кажущуюся единой структуру, которая нарушается только в случае появления перестроек хромосом. Кроме того, политенные хромосомы являются по своей природе профазными, что даёт уникальную возможность перенесения данных об их структурных и функциональных изменениях на обычные митотические хромосомы.

Несмотря на очевидные преимущества, политенные хромосомы ранее мало использовались для оценки генетического действия ионизирующих излучений, так как большинство работ в этой области выполнено на митотических хромосомах. В отдельных работах приведены данные о частоте и спектре хромосомных аберраций после облучения хирономид в естественных (Петрова, 1991) и лабораторных (Гундерина, Айманова, 1998) условиях.

Приступая к исследованию генетических последствий радиационного загрязнения среды, на первом этапе работы мы ставили целью изучить и описать структурные и функциональные изменения политенных хромосом хирономуса, возникающие при искусственном облучении в лаПриступая к исследованию генетических последствий радиационного загрязнения*Chironomus plumosus L.* из природных популяций водоёмов г.Бреста. Использовалась терапевтическая установка РОКУС, мощностью 0,837 Грей/мин. (источник Co^{60}) в дозах 25, 50 и 100 Грей. Облучённых личинок анализировали через 48 часов после облучения. Для этой цели у них выделяли слюнные железы и приготавливали давленные препараты политенных хромосом по модифицированной нами стандартной ацетокарминовой методике (МакГрегори, Варли, 1986).

В результате проведённых исследований были выявлены следующие структурные изменения политенных хромосом:

1. При γ-облучении в дозе 25 Грей наблюдались повсеместный асинапсис F-конца 3 хромосомы, специфические перекручивания гомологичных хромосом между собой, увеличение частоты образования пуффов.

2. При γ-облучении в дозе 50 Грей были выявлены многочисленные изменения структурной организации политенных хромосом:

- асинапсис F-конца 3 хромосомы в 30% исследованных клеток;
- инверсии в 1 и 2 хромосомах;
- сильные перегибы 1, 2 и 3 хромосом;

- слипание свободных концов неспаренных гомологов;
- полное отсутствие конъюгации гомологов 1 и 2 хромосом;
- разрывы хромосом;
- индукция образования пуффов.

3. При γ-облучении в дозе 100 Грей были обнаружены:

- асинапсис F-конца 3 хромосомы в 50% исследованных клеток;
- изломы хромосом;
- образование петель, тенденция к сворачиванию хромосом в кольца;
- другие изменения структуры, отмеченные в п.2.

В редких случаях при γ-облучении в дозах 50 и 100 Грей наблюдались единичные деления.

По нашему мнению и по мнению других исследователей (Белянина и др., 1992) асинапсис на F-конце в 3 хромосоме может быть обусловлен перестройкой в одном из гомологов этого участка. Слипание хромосом происходит, по-видимому, за счёт разрывов этих хромосом и образования вследствие этого «липких» концов. В свете теории предмутационных состояний (Дубинин, 1976) перегибы и специфические перекручивания гомологов могут объясняться возникновением потенциальных повреждений хромосом, вслед за которыми происходят истинные нарушения их структуры, либо возврат к исходному состоянию.

В ходе проведения дальнейших исследований планируется сравнительное изучение кариотипов природных популяций *Chironomus plumosus L.* из Беловежской пущи и Полесского радиационно-экологического заповедника с последующим искусственным γ-облучением личинок с целью выявления устойчивости к действию радиации. Главный вопрос, на который предстоит ответить: произошли ли более чем за 14 лет, прошедших после аварии, какие-либо изменения в устойчивости к радиации организмов, обитающих на загрязнённой территории. Полученные данные предполагается использовать для прогнозирования долговременных генетических последствий радиационного загрязнения окружающей среды.

Литература

1. Белянина С.И., Андреева С.И., Гаврикова В.В. Хромосомный анализ массовых видов хирономид из Северного Казахстана//Систематика, зоогеография и кариология двукрылых насекомых *(Insecta, Diptera)*. - Санкт-Петербург, 1992. – С.19-21.

2. Ганчарова Р.І., Левіна А.В., Забрэйка С.П. і інш. Частата храмасомных аберацый і гама-актыўнасць інкарпарыраваных дзікімі грызунамі радыёнуклідаў ў зоне радыёактыўнага забруджвання//Весці АН БССР. Сер.біял.навук. – 1990. - №5. – С.32-38.

3. Гундерина Л.И., Айманова К.Г. Генетические последствия γ-облучения

4. *Chironomus thummi.* Аберрации политенных хромосом//Генетика. –1998. - т.34. - №3. - С.355-363.

5. Дубинин Н.П. Общая генетика. – М.: Наука, 1976. – 572 с.

6. Дмитриева С.А. Генетические последствия действия ионизирующей радиации на природные популяции некоторых видов растений// Биологические и радиоэкологические аспекты последствий аварии на Чернобыльской атомной станции. – М.: 1990.

7. Елисеева К.Г., Войтович А.М., Плоская М.В. и др. Цитогенетический анализ клеток различных тканей-мишеней амфибий, населяющих загрязнённые радионуклидами районы//Всесоюзная конференция «Радиобиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС». – Мн., 1991. – С.41-42.

8. МакГрегори Г., Варли Дж. Методы работы с хромосомами животных. – М.: Мир, 1986. – 272 с.

9. Петрова Н.А. Хромосомные перестройки трёх видов хирономид из зоны Чернобыля (*Diptera, Chironomidae*)//Генетика, 1991. - т.27. - №5. - С.836-848.

10. Савченко В.К. Экология чернобыльской катастрофы. – Мн.: Беларуская навука». 1997. – 224 с.

11. Шевченко В.А., Акаева Э.А., Башлыкова Л.Н. и др. Цитогенетические эффекты у лиц, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС//Биологические и радиоэкологические аспекты последствий аварии на Чернобыльской атомной станции. – М.: 1990. – С.127.

Роль генетической нестабильности в формировании отдаленных эффектов малых доз радиации

С.Б. Мельнов

Научно-исследовательский клинический институт радиационной медицины и эндокринологии МЗ РБ, г. Минск, Беларусь

Genetic instability role in delayed effects of low dose radiation

Основной мишенью для действия радиации является ДНК, степень повреждения которой является критическим моментом для гибели клетки [Nunez и др., 1996]. Хотя имеются факты, свидетельствующие о том, что повреждение мембраны также может играть определенную роль [Haimovitz, Friedman и др., 1994; Iarova и др.,1992], все же повреждение ДНК является гораздо более эффективным механизмом [Warters и др., 1977]. Основную роль в формировании радиационных эффектов играют так называемые двунитчатые разрывы (ДНР). Полагают, что именно этот эффект радиации ответственен за хорошо известные ее эпифеномены, такие как гибель клеток, мутагенез, злокачественная трансформация и образование опухолей [Radford и Murphy, 1994; Li и др., 1994]. Полагают [Dikomey и др., 1998], что частота ДНР коррелирует с клеточной радиочувствительностью. Показано, что частота невоссоединившихся PCC фрагментов также отражает уровень клеточной радиочувствительности [Borgmann, Dikomey, 1988]. Более того - этот параметр, установленный на одном типе тканей, с известными ограничениями, может, по-видимому, быть характеристичным для всего организма. Так, например, по данным Burnet и др. (1996), West и др. (1998), основываясь на радиочувствительности фибробластов пациентов можно предсказать чувствительность к радиотерапии имеющихся у них опухолей. По-видимому, именно неправильная репарация ДНР сопряжена с возникновением генетической нестабильности и ведет к формированию репликационноошибочного фенотипа, что может быть сопряжено с малигнизацией [Krajinovich и др., 1998]. Таким образом, разрывы ДНК являются первым шагом формирования хромосомных аберраций. Визуальным проявлением аберраций летального типа может служить формирование микроядер. По мнению Fenech и др. (1997), возросшая частота микроядер может отражать общую нестабильность генома, что позволяет использовать этот параметр для широкомасштабного мониторинга популяций, подвергшихся дополнительному радиационному воздействию в ходе аварии на ЧАЭС.

В настоящее время можно считать общепризнанным факт, что формирующаяся в результате радиационного воздействия генетическая нестабильность ведет не только к новообразованиям, но может быть также ответственна и за ряд ее отдаленных феноменов, реализующиеся на организменном уровне. Некоторые практические подтверждения вышеизложенных положений уже получены. Так, по данным Воробцовой и др. (1995)

уровень хромосомных аберраций в облученных лимфоцитах детей, родители которых подверглись противоопухолевой радио- или химиотерапии, был существенно выше, чем в контрольной группе. В пользу этого положения свидетельствуют также данные Косенко (1995), показавшей, что частота врожденных пороков развития у детей облученных родителей была существенно выше, чем в контрольной группе. По мнению Lazjuk и др. (1998) радиационный фактор может играть определенную роль в нарастании частоты эмбриональных аномалий у населения Беларуси в постчернобыльский период.

В первую очередь указанные рассуждения применимы для наиболее пострадавшей части населения - ликвидаторов 1986-1987г. Нами, на протяжении 1991-1999 гг. проведен динамический мониторинг цитогенетического статуса этой группы пациентов [Мельнов и др., 1998, 2000]. Полученные данные свидетельствуют о поступательном снижении частоты маркеров радиационного воздействия (0.39±0.06 и 0.23±0.07 в 1991 и 1998-1999гг) и нарастании общей нестабильности генома (3.89±0.20 и 6.10±0.30, соответственно).

Отмечается также существенное нарастание частоты аберраций стабильного типа (в 1991 году - 0.13±0.04, в 1998-1999 - 0.22±0.06) и полиплоидных клеток. Это является вполне закономерным результатом естественной селекции в пользу аберраций стабильного типа (атипичные хромосомы - транслокации и инверсии), которые не сопряжены с потерей генетического материала (а, следовательно, не являются столь гибельными для клетки).

В то же время анализ иммуногенетического статуса ликвидаторов, сделанный относительно изменения общей нестабильности генома (общая частота аберраций и аберрантных клеток) указывает на явное углубление иммунного дисбаланса.

Полученные данные свидетельствуют о том, что с нарастанием частоты аберраций наблюдается угнетение клеточного звена иммунной системы, что проявляется в снижении количества Т-клеток (CD3+), Т-хелперов (CD4+), цитотоксических Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов (CD19+). Это существенно отличается от ранее уже опубликованных данных [Ярилин, 1996], согласно которым низкодозовое радиационное воздействие индуцирует в течение первых 7 лет повышение этих показателей, за исключением количества цитотоксических Т-лимфоцитов.

Характер изменений иммунофенотипов обследованной нами группы сходен с изменениями, наблюдаемыми у ликвидаторов, имеющих в анамнезе выраженную клиническую симптоматику (в частности цереброваскулярные нарушения) [Фролов и соавт., 1993]. При этом в наибольшей степени снижается относительное количество клеток более дифференцированных субпопуляций - Т-хелперы, цитотоксические Т-лимфоциты и В-лимфоциты, что также согласуется с данными литературы [Потапнев и соавт., 1998]. Отмечается также недостаточность рецепторного аппарата - снижается количество клеток с экспрессией рецепторов к интерлейкину-2 (CD25), содержащих активационные маркеры - CD-71, HLA DR.

Данные дискриминантного анализа свидетельствуют о том, что выделенные три группы, отличающиеся по уровню общей нестабильности генома, определяемой суммарной частотой аберраций, могут быть успешно разделены в 90-91% случаев. При этом максимальной диагностической чувствительностью обладают следующие параметры - CD3+ (диагностическая чувствительность (дч) - 85,7-89,5%), CD4+ (дч - 71,4-77,8%), CD19+ (дч - 66,7-77,8%). При этом разные параметры играют главенствующую роль при сравнении между собой групп 1-3. Так, частота HLA DR+ клеток играет определяющую роль при сравнении группы с общей частотой аберраций менее 3% (уровень контроля) с группами с выраженной хромосомной нестабильностью (частота аберраций 3-4,5% и >4,5%) - диагностическая чувствительность - 66,7-100%.

Представленные выше данные убедительно свидетельствуют о связи иммунологического и цитогенетического статусов обследованных. С нарастанием общей хромосомной нестабильности отмечаются явные и параллельные сдвиги в иммунной системе. С общебиологической точки зрения эта связь легко объяснима - полноценность

функционирования высоко скорригированной иммунологической суперсистемы обусловлена в первую очередь нормальным функционированием базовой системы - генетической. В этом смысле природа хромосомной нестабильности (типы аберраций и их соотношение) не столь важны, как их суммарная количественная оценка.

На фоне выраженных изменений в цитогенетическом статусе в группе ликвидаторов наблюдается также явное изменение клеточной реакции на дополнительное радиационное воздействие. Так, при дополнительном облучение фракций крови в диапазоне 0,1-0,5 Гр. у ликвидаторов 1986-1987 гг. по мере нарастания дозовой нагрузки, выход индуцированных микроядер был существенно выше, чем в контрольной группе (для доз 0,4-0,5 Гр. $P< 0,05$).

На основании клинических данных была проведена разбивка основной группы пациентов на 3 подгруппы: первые две подгруппы составили больные с сочетанной органической патологией, более выраженной в первой подгруппе. Существенное отличие больных третьей подгруппа заключалось в отсутствии органических изменений со стороны внутренних органов. Полученные данные свидетельствуют о том, что скрытая генетическая нестабильность явно менее выражена у пациентов 3 подгруппы, тогда как данные по подгруппам 2 и 1 практически совпадают. Исходя из того, что в подгруппу 3 вошли пациенты, состояние здоровья которых существенно лучше остальных, можно сделать вывод, что факт наличия генетической нестабильности у пациентов, как правило, коррелирует с явно выраженными соматическими нарушениями и может быть использован для дифференцированной оценки риска по состоянию здоровья ликвидаторов.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что у лиц, подвергшихся дополнительном радиационному воздействию, через 15 лет наблюдаются явные признаки генетической нестабильности, сопровождающиеся выраженными изменениями состояния здоровья. При этом отмечается изменение индивидуальной реакции на дополнительное радиационное воздействие, степень выраженности которого явно коррелирует с состоянием здоровья обследованных.

Феногенетическое исследование плодовитости Arabidopsis thaliana (L) Heynh

П.Д. Усманов, О.В. Усманова, Т.П. Усманов

Институт физиологии растений и генетики Академии Наук Республики Таджикистан, г. Душанбе, Таджикистан

Phenogenetics study of fertility of Arabidopsis thaliana (L) Heynh. Action of five mutant genes and there different combination on fertility Arabidopsis thaliana has been study. Reverse correlation between fertility, on the one hand and number of genes in one genotipe, on the other hand, has been detected. Line of Arabidopsis thaliana, marked with different number of signal genes, which we have selected, are recommended for study of mechanisms of action of gene on character.

Одна из самых удивительных загадок природы состоит в том, что в результате слияния двух половых клеток при оплодотворении, в которых нет никаких зачатков или зародышей органов и признаков будущего организма, образуется зигота, воспроизводящая в процессе своего развития сложноорганизованную особь нового поколения. В результате большого числа последовательно проходящих митотических делений совершаются превращения, приводящие к дефференциации тканей зародыша и воспроизведению в строгой

последовательности органов, всех признаков и свойств организма. Изучение этих процессов составляет один из наиболее трудных и вместе с тем волнующих разделов классической генетики.

Индивидуальное развитие (онтогенез) является следствием и отражением длительного исторического процесса взаимодействия организма с внешней средой. В результате осуществления этого процесса признаки и свойства приобретённые организмом закрепляются путём отбора в его генотипе. Следовательно индивидуальное развитие осуществляется на основе генотипа в определённых условиях внешней среды.

Изучение того, каким образом генотип определяет фенотип, составляет особый раздел генетики, который по предложению В.Геккера, ещё в 1918г. был назван феногенетикой. Предметом его изучения является проявление гена и анализ механизма его действия на признак. Проявление гена представляет конечный эффект функционирования генотипа, а механизм его действия входит в качестве элемента в целостную систему онтогенеза (Лобашев,1967; Гуляев Г.В,1971). А для создания общей теории онтогенеза, помимо всего прочего, весьма важным является и изучение особенностей действия генов в различной генотипической среде на процессы роста, развития и формирование продуктивности растений. К большому сожалению из-за отсутствия до сих пор удобных для решения проблем феногенетики растений экспериментальных моделей наши знания в данной области исследования дополняются слишком медленно.

Располагая большим опытом работы с растительной дрозофилой-арабидопсисом, излюбленным объектом экспериментальных исследований мы поставили перед собой цель на примере указанного объекта изучить действие генов на характер изменчивости ряда параметров роста, развития и плодовитости высших растений.

Для реализации этой цели, казалось необходимым решение следующих задач:

- отобрать из генетической коллекции лаборатории физиологической генетики ряд мутантных линий, маркированных различными сигнальными генами;
- скрестить между собой отобранные нами мутанты для создания экспериментальной модельной системы, включающей в себя 32 линии с различными сочетаниями интересующих нас генов;
- провести феногенетическое изучение и феноанализ отобранных форм по ряду параметрам роста, развития и плодовитости арабидопсиса.

Материалом для исследования послужили, выделенный нами высокоплодовитый мутант «triplex» (tr)- тройные плоды, ген локализован в V-ой хромосомной группе сцепления, а так же маркерные линии - vc`er и gl`an полученные Реди и Хироно (Redei, Hirono, 1964). Приведённые символы генов обозначают следующее: vc-viridocaulis, светлозелёный стебель (IV); er – erecta, эректоид (II); gl – glabra, отсутствие опушения (III); an – angulosa, удлинённые листья (I). В скобках римские цифры обозначают хромосомные группы сцепления, в которых локализуется данный ген.

Опыты проводили на высокогорном стационаре – Сия - Кух на высоте 2500 метров над уровнем моря. Семена высевали на поверхность цветочной почвы в пикировочные ящики, пластмассовые ванночки и керамические горшки. В процессе роста и развития растений проводили фенологические наблюдения, учитывали изменчивость ряда количественных признаков. Результаты опытов подвергли статистической обработке, используя общепринятые методы.

Не вдаваясь в детали, большого по объёму, полученного нами экспериментального материала остановимся на главном.

При изучении ряда параметров семенной продуктивности арабидопсиса (вес 1000 семян, количество семян в стручке, число семян на растение и др.) обнаружено следующее закономерное уменьшение изученных показателей в зависимости от числа генов, вводимых в генотип арабидопсиса:

Таблица 1

Изученные показатели продуктивности в %

Число генов в генотипе особи	вес 1000 семян, г	Число семян в стручке	Число семян на 1 растение
1	115	106	88
2	112	89	83
3	100	77	98
4	103	71	52
5	103	61	51

Наиболее общим итогом всей проделанной нами работы является получение дополнительных сведений подтверждающих справедливость широко обсуждаемого в генетике мнения, о том, что введение в генотип высшего растения большого числа рецессивных генов, приводит к замедлению темпов роста и развития растений, к уменьшению величин различных показателей, характеризующие их фотосинтетическую продуктивность.

Литература

1. Гуляев Г.В. Генетика. М. Колос, 1971, 344с.
2. Лобашев М.Е. Генетика. ЛГУ, 1967, 752с.
3. Redei G.P. Hirono Y. Arab. Inf. Serv., N1, 1964, p.9-10.

Зависимость экспрессии признака опухолевого роста - онкотолерогена (иммунные комплексы (ИК) + специфический для опухоли комплекс антигенов) от генотипа опухоли и состояния иммунореактивности организма

Г.В. Красковский, Т.И. Миголеня

Институт физиологии Академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

Depending of expression of the tumor growth marker - oncotolerogen (immune complexes (IC) + specific for every tumor antigen complex) on tumor genotype and organism immunoreactivity state. Tumor growth occurs under immune complex (IC) and free tumor antigen increased serum level. Under urethan application (1,75 mg/kg before the tumor inoculation) the rate of Erlich's ascites carcinoma (EAC) and ascites hepatoma 22a (AH22a) growth accelerates, immune complexes and free tumor specific antigen quantities increase. Urethan application effect is more manifest in mice AH22a-bearers: tumor growth acceleration is more powerful and lingering, free tumor specific antigen level is higher, than in EAC-bearers. Tumor genotype affects more strongly on IC amount during initial 10 days of the tumor growth (influence share - 33,6% - 77,3%), urethan inoculation - after 13-th tumor growth day (43,6% - 65,4%). The urethan inoculation factor affects largely on free tumor antigen serum concentration (19,7% - 57,4%).

Характер иммуннологического реагирования организма на опухоль зависит как от

генетических особенностей организма-носителя и влияния различных факторов (в частности, введения иммуномодулирующих препаратов, оказывающих иммунодепрессивный или иммуностимулирующий эффект), так и от генетических особенностей растущей в организме опухоли.

Согласно генетической теории раковой анергии (1,2,3), ассоциация факторов: онкотолероген - иммунный комплекс (ИК) опухолевый антиген - противоопухолевое антитело + специфический для опухоли комплекс свободных антигенов - является признаком опухолевого роста и типа (фенотипа) опухоли, основой индукции и поддержания состояния онкотолерантности. Изменение количества опухолевых антигенов и ИК в сыворотке опухоленосителя является фактором, отражающим экспрессию онкотолерогена, онкотолерантности, характер состояния раковой анергии.

Изучали зависимость количественных изменений указанных показателей (ИК + специфический для опухоли комплекс свободных антигенов в сыворотке опухоленосителей) от генетических особенностей (генотипа) опухоли и воздействия иммунодепрессанта канцерогена уретана. Набор противоопухолевых антител при удалении опухоли соответствует специфическому для опухоли комплексу антигенов сыворотки опухоленосителя (4, 5)

Исследования проведены на мышах линии Af 2-3-месячного возраста массой 18-20 г. Использовали опухоли различного генотипа и гистогенеза: асцитную карциному Эрлиха (АКЭ) и асцитную гепатому 22а (ГЕП 22а). *Количество ИК* в сыворотках определяли с помощью 3,5% полиэтиленгликоля /ПЭГ/ 6000. Для получения *иммунных противоопухолевых сывороток* мышам 5-кратно (через 3 дня на 4-ый) вводили в/б по 6 х 10^6 убитых γ-облучением 12000 Р опухолевых клеток. Сыворотку получали у мышей на 10 день после последней иммунизации. *Количество ассоциированных с опухолью антигенов* оценивали по приросту количества ИК после реакции 0,05 мл исследуемой сыворотки опухоленосителя с 0,05 мл соответствующей иммунной (в контроле - интактной) сыворотки. Инкубировали 1 ч при 37 °С. Достоверность прироста количества ИК определяли, используя t-критерий Стьюдента. Для определения доли влияния генотипа опухолевых клеток и введения уретана на количество опухолевых клеток, концентрацию ИК и опухолевых антигенов в сыворотке использовали дисперсионный анализ.

Мышам вводили в/б уретан в дозе 1,75 мг/г. Через 24 часа после введения уретана вводили в/б по 0,25 х 10^6 клеток АКЭ или ГЕП 22а. На 8, 10, 13, 16, 17 дни после прививки опухоли определяли количество опухолевых клеток на мышь, количество нативных ИК и свободных опухолеспецифических антигенов в сыворотке.

Введение уретана способствует ускорению роста опухолей. Рост ГЕП 22а ускоряется сильнее, чем рост АКЭ, и этот эффект проявляется дольше.

Количество ИК в сыворотке носителей АКЭ в сериях с уретаном и без уретана постоянно является повышенным по сравнению с количеством ИК в сыворотке интактных мышей. На протяжении всего эксперимента в сыворотке носителей АКЭ обнаруживали свободные опухолеспецифические антигены. В контрольной серии их количество было максимальным на 16 день роста опухоли, в серии с введением уретана - на 10 и 17 дни роста опухоли.

При росте ГЕП 22а наблюдали повышение количества ИК в сыворотке мышей, увеличивающееся к 16 - 17 дню роста опухоли. При введении уретана количество ИК в сыворотке носителей ГЕП 22а является наиболее высоким от 10 до 16 дня роста опухоли, на 17 день снижается. Количество свободных опухолеспецифических антигенов выше в серии, где вводили уретан. Ускорение роста ГЕП 22а при введении уретана ассоциируется с увеличением количества ИК и опухолевых антигенов в сыворотке.

Таким образом, рост опухолей происходит при повышенном количестве в сыворотке ИК и свободных опухолевых антигенов. Введение уретана оказывает выраженный эффект на носителей АКЭ и ГЕП 22а: ускоряется опухолевый рост и увеличивается количество ИК в

сыворотке на начальных этапах опухолевого роста, повышается количество свободных опухолевых антигенов. Необходимо отметить, что за 24 часа уретан выводится из организма (6), поэтому влияние уретана на скорость роста опухоли обусловлено его влиянием на иммунную систему (опухолевые клетки прививались мышам через 24 часа после инъекции уретана).

Эффект введения уретана сильнее проявляется у носителей ГЕП 22а: ускорение роста опухоли значительнее и длительнее, подъём уровня свободных опухолеспецифических антигенов более выражен, чем у носителей АКЭ.

Результаты дисперсионного анализа (табл.) показали, что на количество ИК в первые 10 дней роста опухоли наиболее значительно влияет генотип опухоли, после 13 дня роста опухоли - введение уретана. На концентрацию свободных опухолевых антигенов в сыворотке в основном влияет фактор введения уретана. Таким образом, генотип опухоли значительно влияет на уровень ИК в сыворотке опухоленосителей и слабо влияет на уровень свободных опухолевых антигенов.

Таблица 1

Доля влияния генотипа опухолевых клеток и введения уретана на рост опухоли, концентрацию ИК и опухолевых антигенов в сыворотке мышей

Признаки	Время после прививки опухоли, дни	Доля влияния факторов, %	
		генотипа опухоли	введения уретана
Концентрация ИК	8	77,3	10,6[1]
	10	33.6	9,0
	13	30,5	43,6[1]
	16	30,6	62,9[1]
	17	25,6	65,4[1]
Концентрация опухолевых антигенов	8	24,3	57,4[1]
	10	7,4	19,7
	13	10,3	36,8[1]
	16	10,0	27,2[1]
	17	25,9	48,1[1]
Количество опухолевых клеток на мышь	8	5,1	36,0[1]
	10	6,0	36,0[1]
	13	5,7	26,2[1]
	16	7,1	45,0[1]
	17	3,6	76,8[1]

Примечание. 1) $F > F_{0.05}$

Литература

1. Красковский Г.В. Иммуногенетические основы раковой анергии. - Мн.: Наука и техника, 1970. - 264 с.

2. Красковский Г.В. Раковая анергия. Иммуногенетические механизмы // Проблемы генетики. - Минск.: Наука и Техника. - 1994. - С. 151-170.

3. Красковский Г.В. Актуальные вопросы иммунологии и аллергологии. Мат. IV Съезда Бел. науч. об-ва иммунологов и аллергологов (15 - 16 июня 2000 г, г.Гомель) - "Белый ветер" - 2000 г. - С 179 - 181.

4. Красковский Г.В., Миголеня Т.И. Способ диагностики опухолевого роста и определения типа опухоли. Официальный бюллетень. Государственный патентный комитет Республики Беларусь. - 1998. - №4 (19). - С. 177.

5. Красковский Г.В., Миголеня Т.И. // Современные проблемы инфекционной

патологии человека. Статьи и тезисы докладов I Итоговой науч.-практич. конференции. Мн., 8 - 9 апреля 1998 г. Мн. - 1998. - С. 444 - 446.

6. Медведев Н.Н. Практическая генетика, М.: Наука, 1966, 140 с.

Генетические подходы к анализу базового аппарата транскрипции эукариот: структура и функции ядерных РНК-полимераз I–III

Г.В. Шпаковский, Г.М. Баранова, С.А. Прошкин, Е.Н. Лебеденко, Е.К. Шематорова

Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской Академии Наук, г. Москва, Россия

Genetic approaches to the analysis of basal transcription machinery of eukaryotes: structure and function of nuclear RNA polymerases I-III. Recent progress in structural genomics has made it possible to analyze the most important biological processes (including transcription) on the whole genome level. For a number of model organisms it has become possible to systematize all the components (both genes and proteins) participating in a particular process. We are studying basal transcription apparatus of the fission yeast Schizosaccharomyces pombe, with a primary emphasis on the characterization of all components of nuclear RNA polymerases I-III and general transcription factors (GTFs) of RNA polymerase II. To this end, we have cloned (or re-cloned) cDNAs and genes encoding all twelve subunits of the fission yeast RNA polymerase II [2], twelve distinct subunits of RNA polymerase I (including all indispensable) [4], many subunits specific for RNA polymerase III, and some components of GTFs. All cDNAs cloned were tested on their ability to functionally replace **in vivo** the corresponding components of the basal transcription machinery of Saccharomyces cerevisiae. We found that the high degree of structural conservation between the Sch. pombe and S. cerevisiae subunits (ranging from 35 to 72%) is accompanied by their remarkable functional interchangeability. The results indicate that more than a dozen fission yeast subunits (including Rpb3, Rpb4, Rpb5, Rpb6, Rpb7, Rpb9, Rpb10, Rpb11, Rpc10, Rpc11, Rpc19, Rpc40, Rpa12, Rpa49) are functionally interchangeable with their budding yeast counterparts [3, 11]. Some cDNAs (rpb10$^+$, rpc19$^+$, rpa12$^+$) encoding RNA polymerase subunits of Sch. pombe were isolated by direct functional cloning as heterospecific suppressors of the corresponding conditional mutations in S. cerevisiae.

The functions of some subunits of Sch. pombe RNA polymerases (e.g., Rpb10 and Rpa12) were studied in more detail. Extensive mutagenesis of the subunit Rpa12 indicates that not all eight cysteines of the two Zn-binding domains of this subunit are strictly essential for its function. The phenotype of one mutant in this domain (C27Y) was suppressed by overexpression of the common subunit Rpb6 indicating direct interaction between these two components of nuclear RNA polymerase I.

Последние достижения структурной геномики открыли перспективу изучения важнейших молекулярно-биологических процессов на уровне целого генома. Для некоторых модельных организмов появилась возможность систематизировать все компоненты (как гены, так и белки), участвующие в том или ином процессе.

Одним из важнейших процессов жизнедеятельности эукариотической клетки является транскрипция (матричный синтез РНК на ДНК хроматина), осуществляемая ядерными РНК-полимеразами I, II и III, и регулируемая разнообразными белковыми факторами транскрипции. РНК-полимеразы I-III эукариот представляют собой высокоорганизованные гетеромультимерные комплексы, состоящие из 12-17 субъединиц, в большинстве своем необходимых для жизнедеятельности клетки. Индивидуальные функции многих компонентов ядерных РНК-полимераз и факторов транскрипции все еще не известны, что

затрудняет построение общей картины функционирования аппарата транскрипции эукариот.

Мы изучаем базовый аппарат транскрипции делящихся дрожжей *Schizosaccharomyces pombe*, причем основные наши усилия направлены на характеристику компонентов ядерных РНК-полимераз I-III и общих факторов инициации транскрипции РНК-полимеразы II. На сегодняшний день мы клонировали кДНК и гены *Sch. pombe*, кодирующие все 12 субъединиц РНК-полимеразы II, 12 различных субъединиц РНК-полимеразы I (в том числе все незаменимые), многие субъединицы, специфические для РНК-полимеразы III, а также компоненты общих факторов транскрипции TFIIE и TFIIB. Кроме того, с целью изучения структурно-функциональной консервативности аппарата транскрипции эукариот клонированы и исследованы кДНК, кодирующие некоторые субъединицы ядерных РНК-полимераз других эукариотических организмов (*Arabidopsis thaliana, Drosophila melanogaster, Caenorhabditis elegans*), а также многих компонентов аппарата транскрипции человека.

Все клонированные кДНК были исследованы на их способность заменять in vivo функции соответствующих компонентов базового аппарата транскрипции почкующихся дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Такой систематический анализ показал, что 7 малых субъединиц РНК-полимеразы II человека (hRPB4, hRPB6, hRPB7, hRPB8, hRPB9, hRPB10α и hRPB10β), 9 малых субъединиц РНК-полимеразы II *Sch. pombe* (Rpb3, Rpb4, Rpb5, Rpb6, Rpb7, Rpb9, Rpc10, Rpb10 и Rpb11) и 8 малых субъединиц РНК-полимеразы I *Sch. pombe* (Rpc40, Rpb5, Rpb6, Rpc19, Rpa49, Rpa12, Rpb10 и Rpc10), 6 из которых (за исключением Rpa49 и Rpa12) входят также в состав РНК-полимеразы III, способны успешно функционировать в составе аппарата транскрипции *S. cerevisiae*. Сопоставление результатов комплементации с данными сравнительного анализа первичных структур субъединиц-ортологов из трех эволюционно далеких организмов (*S. cerevisiae, Sch. pombe, Homo sapien*) позволило выявить новый функционально важный домен в составе субъединицы Rpb11. Этот домен (10-18 а.о.), кодируемый у *H. sapiens* и *Ar. thaliana* последним экзоном генов этого белка, расположен на самом *C*-конце ортологов Rpb11 и содержит в составе субъединиц обоих видов дрожжей характеристическую последовательность **EW**N/E**L**.

Впервые показано, что некоторые из малых субъединиц (hRPB8 *H. sapiens*; Rpb3 и Rpb11 *Sch. pombe*) могут замещать функцию соответствующего белка из *S. cerevisiae* лишь частично, приводя к образованию условных (термочувствительных) мутантов. Анализ супрессоров такого рода мутантов *S. cerevisiae* с мозаичными РНК-полимеразами позволил получить ценную информацию о генетических партнерах субъединиц Rpb8, Rpb10, Rpb3, Rpb11 и Rpa12. Так, по данным супрессорного анализа с субъединицей Rpb8 помимо общей для всех трех РНК-полимераз субъединицы Rpb6 взаимодействуют специфическая только для РНК-полимеразы III субъединица Rpc1 (RPC160), а также продукты генов *UBI1, UBI2* и *SSD1 S. cerevisiae*. Мультикопийными супрессорами мутантов по функции субъединицы Rpb10 оказались локализованный в ядрышке белок SRP40 (Nop140) и GTP/ATP-связывающий белок Fet5. В качестве супрессоров условного мутанта *S. cerevisiae* по субъединице Rpb3 выявлены субъединицы Rpb10 и Rpb11; в свою очередь супрессорами дефекта по функции субъединицы Rpb11 оказались продукты генов *RAD3* и *YGP1* почкующихся дрожжей.

Функции некоторых субъединиц изучены более подробно. Показано, что специфический только для эукариот *C*-концевой домен **HVDLIEK** общей субъединицы РНК-полимераз I-III Rpb10 особенно важен для нормального функционирования РНК-полимеразы I, способствуя поддержанию в составе ферментного комплекса самой большой субъединицы этого фермента Rpa1 (RPA190). Детальный мутагенез специфической субъединицы РНК-полимеразы I Rpa12 показал, что далеко не все из 8 остатков цистеина двух цинк-связывающих доменов, присутствующих в составе этого белка, строго необходимы для его функционирования in vivo. В качестве супрессоров различных мутантов по функции субъединицы Rpa12 нами обнаружены общая субъединица РНК-полимераз I-III

Rpb6, содержащая в своем составе характерный RING-домен субъединица убиквитин-лигазы Rbx1/ROC1/Hrt1, составной белок семейства убиквитинов Ubi1 (содержит домены, гомологичные последовательностям убиквитина и рибосомного белка L40) и рибосомный белок L41 (Rpl41).

Поскольку большинство субъединиц представляют собой белки с уникальной последовательностью, то есть не содержат известных структурных доменов и функциональных модулей, большой интерес представляет исследование пространственной структуры этих белков. Для анализа третичной структуры пяти общих субъединиц РНК-полимераз I-III (Rpb5, Rpb6, Rpb8, Rpb10 и Rpc10) с помощью спектроскопии ЯМР мы осуществили гетерологическую экспрессию их генов в *Escherichia coli* и провели очистку целевых белков Rpc10, Rpb8 и Rpb10 с помощью металло-аффинной хроматографии, гель-фильтрации и/или обращенно-фазовой хроматографии. Гомогенность препаратов очищенных белков доказана с помощью денатурирующего гель-электрофореза и TOF-MALDI масс-спектрометрии.

Для полноты сравнения аппаратов транскрипции различных видов эукариот (*S. cerevisiae, Sch. pombe* и *H. sapiens*) исследования расширены на субъединицы, специфические для РНК-полимеразы III. С этой целью клонированы кДНК *Sch. pombe* и *H. sapiens*, кодирующие субъединицы Rpc11 и Rpc25 и получено несколько точковых мутантов этих белков.

Работа выполнена при финансовой поддержке, предоставленной по Государственной целевой научно-технической программе России "Новейшие методы биоинженерии" (направление "Генная инженерия и трансгеноз").

Принцип участия в генетике долговечности

О.В. Квитко, И.И. Конева, А.П. Тюриков, Я.И. Шейко

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

Participation rule in longevity genetics. Participation rule comes from the idea that ageing is a side effect, a «payment» for developmental processes which, similar to ageing, occur during all life. Participation rule assumes that primary processes of ageing result from the participation of regulatory systems in performing development by means of the expenditure of their limited regulatory resources (for instance, telomere shortening, decrease of 5-methylcytosine in nuclear DNA, deletions in mitochondrial DNA, loss of cells in various regions of the brain and other organs, fall of the concentrations of hormones in the blood serum), that simultaneously leads to the deterioration of maintenance (homeostasis). Life is longer when more regulatory systems spend their resources for governing development due to the mutual substitutive saving. That explains why lifespan, as a rule, extends when the regulatory complexity increases and why (paradoxically) the mechanisms of ageing are more numerous in the more long-lived species. From the point of the participation rule, the improved antiageing strategy aiming at the treatment and prevention of age-related diseases may be grounded on harmonizing the expenditure of resources of regulatory systems in the processes of developmental regulation throughout life.

Исследования по проблеме старения в XXI столетии во многом определят научные и технологические приоритеты, внимание общественности и культурную деятельность в целом. Системное понимание этого одного из наиболее загадочных процессов природы будет иметь значительную ценность не только для интеллектуального удовлетворения

научного любопытства, расширения мировоззрения и, в более широком смысле, обогащения культурных сокровищниц человечества. Научное понимание старения является также необходимой предпосылкой разработки эффективных методов профилактики и лечения возрастных заболеваний и, возможно, увеличения не только средней, но и максимальной видовой продолжительности жизни. Прибавление здоровых и активных лет не только отвечает подлинно гуманистической идее продления счастливого индивидуального существования человека, но также принципиально важно для процветания цивилизации в исторической перспективе, потому что только при условии постоянного продления жизни люди смогут усваивать и эффективно использовать нарастающий объем накопленной информации, успешно преодолевая негативные последствия углубляющейся специализации.

К настоящему времени установленным фактом является то, что некоторые генетические и средовые манипуляции продляют жизнь экспериментальных животных и клеток in vitro. Это вселяет надежду, что в будущем удастся отдалить развитие возрастных болезней и даже увеличить максимальную продолжительность жизни человека (Fossel, 1998).

Выяснение механизмов старения, в первую очередь генетических, является научной основой разработки средств продления жизни. Некоторые механизмы старения являются частными («private»), присущими определенным клеточным линиям, тканям организма или биологическим видам. Другие механизмы старения, по-видимому, можно назвать общими («public»), которые действуют у самых различных организмов (Martin et al., 1996). Эта сложность старения приводит к выводу о том, что наряду с дальнейшим исследованием уже открытых механизмов старения и поиском новых необходим теоретический анализ старения как системы взаимодействующих процессов.

Предложены различные теории старения, и вполне вероятно, что все они правильно описывают частные особенности этого сложного процесса (Holliday, 1997). Теория молекулярного окислительного повреждения (the theory of molecular oxidative damage) и теория маргинотомии (the theory of marginotomy), которая связывает старение с сокращением теломерной ДНК (Harman, 1998; Olovnikov, 1973), могут быть упомянуты как примеры элегантно сформулированных и хорошо обоснованных экспериментально частных теорий. Критика этих (и ряда других) концепций основана на их попытках объяснить старение в рамках одного механизма, хотя старение – мультифакториальный процесс (Holliday, 1987). Необходимость общей теории подчеркивается рядом исследователей, работающих в области биологии старения. Предназначение такой унифицированной парадигмы – объединить рациональные содержания частных теорий, разрешить имеющиеся противоречия, предложить общую причину старения (почему старение существует вообще) и объяснить межвидовую и внутривидовую вариацию продолжительности жизни.

Правило участия, сформулированное нами вначале на основе анализа молекулярно-генетических механизмов регуляции продолжительности жизни, может служить интегративным принципом в исследованиях по старению.

Ряд данных свидетельствует об участии в старении процессов изменения генома, к которым относятся накопление делеций в ДНК митохондрий, потеря 5-метилцитозина (деметилирование ДНК) и предсказанная Алексеем Оловниковым и экспериментально обнаруженная Харли маргинотомия (укорочение теломерной ДНК, представляющей собой многократно повторяющуюся последовательность TTAGGG). Анализируя данные литературы, мы обратили внимание на то, что у видов с разной продолжительностью жизни эти процессы находятся в различном соотношении. Например, у мыши скорость накопления делеций в ДНК митохондрий и деметилирования ядерной ДНК намного больше, чем у человека. В то же время теломеры у мыши значительно длиннее, чем у человека, что может свидетельствовать о том, что утрата теломерной ДНК играет более значительную роль в старении у человека, чем у мыши. С другой стороны, у некоторых короткоживущих видов вообще отсутствуют метильные группы в ДНК (следовательно, нет и деметилирования) и не укорачиваются теломеры.

Таким образом, наблюдается эволюционный парадокс старения: по мере увеличения продолжительности жизни в эволюции количество механизмов старения не уменьшалось, а увеличивалось. Это привело нас к идее о том, что внутриклеточные и организменные системы, управляющие процессами развития организма и дифференцировки клеток, осуществляют это управление путем расходования своих регуляторных ресурсов и одновременно участвуют в выполнении других функций, которые не только не требуют расхода ресурсов, но, напротив, ослабевают (стареют) при их затрате на цели развития и дифференцировки. Следовательно, старение - «плата за развитие». Например, процессы деметилирования и маргинотомии теломерной ДНК ведут к изменению генной экспрессии и тем самым регулируют развитие и дифференцировку, но при этом ослабляются (стареют) другие функции - в частности, сокращение теломер уменьшает стабильность хромосом и нарушает сегрегацию хромосом при делении клеток.

При эволюционной мобилизации новых систем для участия в управлении развитием появляются новые механизмы старения, связанные с ослаблением других функций (функций гомеостаза), не сопряженных с развитием, но при этом участие в развитии дополнительных регуляторных ресурсов замедляет расход ресурсов других систем. Возможно, например, что механизм маргинотомии частично замещает эволюционно более ранний эпигенетический (развитийный) механизм, связанный с деметилированием ДНК, обеспечивая экономию метильных групп и тем самым замедляя возрастное ослабление функций, обусловленное деметилированием. Продолжительность жизни при этом возрастает и старение клетки (организма) замедляется, потому что, хотя и возникает новый механизм старения, расход ресурса каждой из двух систем происходит медленнее, чем старение единственной системы на предшествующем этапе эволюции.

Принцип участия регуляторных систем в управлении развитием путем расходования регуляторных ресурсов может быть универсальным в функционировании не только внутриклеточных, молекулярно-генетических, но и организменных систем, включая эндокринную и нервную. Сокращение теломер хромосом, деметилирование ДНК, потеря клеток и изменения уровней гормонов являются примерами расходования регуляторных ресурсов, необходимых для поддержания функций (гомеостаза). Продолжительность жизни больше, когда большее количество регуляторных систем расходует ресурсы на управление развитием в течение всей жизни благодаря взаимной субститутивной экономии. Это объясняет, почему механизмов старения больше у долговечных видов и каким образом регуляторная сложность способствует долговечности. Совершенное долговечно. Для замедления процессов старения перспективны не только средства, замедляющие непродуктивную (не сопряженную с управлением развитием) трату регуляторных ресурсов (например, путем замедления накопления повреждений, вызываемых кислородными радикалами), но также такие средства, которые селективно ускоряют расходование некоторых других ресурсов и, парадоксальным образом, ускоряют также некоторые процессы, ведущие к старению. Иными словами, речь идет о гармонизации расходования регуляторных ресурсов в процессе развития.

Правило участия может сыграть роль интегрирующего принципа, который позволит непротиворечиво объединить частные теории, описывающие различные механизмы старения, послужить основой разработки общей теории старения и стратегии средств профилактики и лечения возрастных заболеваний.

Влияние кровнородственных браков на частоту мертворожденных детей в популяции города Конакри (Гвинейская Республика)

М.С. Морозик, Б. Камано, П.М. Морозик, А. Талль

Международный экологический университет имени А.Д. Сахарова, г. Минск, Беларусь
Конакрийский университет имени Гамаль Абдель Насера, г. Конакри, Гвинейская Республика

Influence of inbred marriages on the frequency of stillborn infants in Conakry city population (Republic of Guinea). Comparative investigation of the stillborn frequencies in inbred and outbreed families was carried out. The 7 times increase of stillborn frequency in inbred families was discovered. This frequency increases with the coefficient of inbreeding.

Научно-технический прогресс приводит к непрерывному возрастанию экологической нагрузки на популяции всех живых существ, включая и человека. Воздействие разнообразных химических соединений, используемых в сельско-хозяйственном производстве, медицине, пищевой и легкой промышленности, а также других сферах производственной деятельности человека вызывает не только физиологическое воздействие на живые организмы (токсическое воздействие, различные аллергические, «экологические» и другие заболевания), но и провоцирует мутации, либо вызывая наследственные заболевания, либо увеличивая генетический груз популяций.

В Гвинейской Республике, где проводилось это исследование, традиционно распространены и даже, более того, поощряются кровнородственные браки. Следует добавить, что в Гвинейской Республике практически полностью отсутствует сеть медико-генетических консультаций, а уровень санитарно-гигиенической и научно-просветительской активности оставляет желать лучшего. Поэтому, мы и попытались проанализировать степень влияния кровнородственных браков на уровень заболеваемости родителей, появившихся от кровнородственных браков, и их детей.

Давно известно, что среди рецессивных гомозигот больных какими-либо наследственными заболеваниями частота пробандов, происходящих из кровнородственных браков в 10-15 раз выше, чем в среднем в популяции [1]. Общеизвестно также, что кровнородственные браки вызывают не только генотипические изменения в популяции, но и провоцируют разнообразные фенотипические эффекты: врожденные уродства, наследственные заболевания, спонтанные аборты, появление мертворожденных детей и ранняя детская смертность [2]. Ранее нами было показано, что кровнородственные браки оказывают очень серьезные деструктивные воздействия на механизмы регуляции физиолого-биохимического гомеостаза в организме, нарушая сложившиеся веками и тысячелетиями корреляции [3,4]. Нами было изучено также и влияние кровнородственных браков на ряд других параметров организма и популяции, среди них и частота появления мертворожденных детей. Характеристика материала и методов исследования опубликованы нами ранее [3].

Всего по материалам четырех крупнейших госпиталей, родильных домов, центра матери и ребенка и Института питания и здоровья детей в городе Конакри проанализировано

565 случаев мертворожденных детей у 370 матерей. Среди них было только 79 мертворожденных детей в семьях, где родители не являются родственниками (14% ± 1,5%), а остальные 486 – в семьях с кровнородственными браками. Таким образом, частота мертворожденных в инбредных семьях в 6 раз выше по сравнению с «нормальными».

Как видно из выше приведенных цифр, проводился анализ по частотам мертворожденных детей и в зависимости от происхождения матерей. Из 370 матерей, имевших мертворожденных детей, только 78 (21% ± 1,0%) происходят из семей, где родители не являлись родственниками (следовательно, только одна из них имела двоих мертворожденных детей), а остальные 292 вышли из семей с кровнородственными браками. Таким образом, среди женщин, имеющих мертворожденных детей, в 5 раз большее число составляют женщины, вышедшие из инбредных семей.

Для того, чтобы определить насколько влияет на частоту мертворожденных детей уровень инбредности, мы использовали качественный критерий и количественный. В качестве количественного критерия использовали общеизвестный метод расчета коэффициента инбридинга. Однако, по объективным условиям определить его можно было не всегда. Поэтому все семьи с кровнородственными браками мы разделили на две группы: 1) семьи, в которых родители состоят в кровном родстве, но среди своих потомков кровнородственных браков они не помнят; 2) семьи, в которых не только родители являются кровными родственниками между собой, но и сами они (либо оба, либо хотя бы один кто-нибудь из них) происходят из семей с кровнородственными браками. Результаты этого анализа приводятся ниже.

Если частота мертворожденных детей в семьях первого типа в 1,6 раза превосходит таковую в семьях, где родители не являются родственниками, то в семьях второго типа – почти в 5 раз. Аналогичная ситуация и с роженицами. Частота мертворожденных детей у рожениц в семьях второго типа почти в 3 раза, а в семьях первого типа только незначительно превышала этот показатель в семьях, где родители не являются родственниками между собой.

Определение коэффициента инбридинга по Бернштейну показало прямо пропорциональную зависимость между степенью инбридинга и частотой мертворожденных детей в семьях. Так, для семей нормальных, не имеющих мертворожденных детей (или других выраженных аномалий), то есть для семей имеющих нормальных здоровых детей (контроль) коэффициент инбридинга Бернштейна был в 10 раз ниже, чем в семьях имеющих мертворожденных детей.

Таким образом, проведенное исследование совершенно однозначно показало значительное и статистически высоко достоверное ($P << 0,01$) превышение частот мертворожденных детей в семьях с кровнородственными браками, над аналогичными частотами для семей, где ни родители, ни их потомки не состояли в кровнородственных браках. При этом можно констатировать, что частота мертворожденных детей пропорциональна степени инбридинга.

Литература

1. Stern C.- Principle of Human Genetics, San-Francisco, 1973
2. Vogel F., Motulsky - Human Genetics, N.Y., 1986
3. M.S.Morozik, B.Kamano, M.L.Toure, A.Tall, et al. - Distribution de certains parameters statistique du poids et de la taille des nouveaux nes selon le type de mariage. Revue des Sciences. Serie Biologie-Chimie; №1, 1999; 1-7.
4. M.S.Morozik, B.Kamano, A.Tall, M.L.Toure, B.B.Sow, I.Sow, O.T.Thiaw – Analyse quantitative de la correlation poids-taille a la naissance en fonction du type de marriage.Revue des Sciences. Serie Biologie-Chimie; №1, 1999; 18-22.

Влияние ионизирующей радиации и низкой температуры на генетическую структуру популяций дрозофилы по локусу Adh

С.И. Касинская, М.Е. Михайлова, Н.И. Тиханович

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

The influence of ionizing radiation and low temperature on genetic structure of drosophila populations. Selective advantage of FS-heterozygotes of Adh locus was revealed under combined action of ionizing radiation and low temperature. At the same time F-allele of Adh locus had a selective advantage only under radiation effect, and heterozygote deficiency and high frequency of FF-homozygotes were observed at low temperature.

Оценка влияния радиоактивного загрязнения на окружающую среду является важной задачей, стоящей перед современной генетикой. Все большую актуальность приобретают исследования комбинированных факторов физической и химической природы. Важная роль отводится также изучению генетического контроля стресс-реакции. Было показано, что стрессовые воздействия (высокая и низкая температура) не являющиеся, как правило, мутагенными эффективно модифицируют повреждающий эффект мутагенных факторов /1,2/. В тех случаях, когда только ионизирующее излучение вызывает повреждающее действие, а его характер и степень модифицируется другим агентом, который сам по себе не активен, выделяют два варианта воздействия: протекцию, или защиту, и сенсибилизацию, или повышение чувствительности.

Было интересно изучить изменение генетической структуры экспериментальных популяций дрозофилы при комбинированном действии ионизирующей радиации и низкой температуры.

Исследования проводили на экспериментальных популяциях *Drosophila melanogaster.*

...популяции облучаемой и содержавшейся при пониженной температуре (НО).

Все популяции содержались в одинаковых условиях в стеклянных банках объемом 0,8л Облучение гамма-лучами проводили в каждом поколении на установке ЛМБ-γ- 1М с источником облучения Cs^{137}, мощность дозы 700Р/ мин. Облучали взрослых мух в дозе 15 Гр на поколение. После облучения мух сажали на сутки на свежую среду для откладки яиц, после чего удаляли, взвешивали и подсчитывали численность.

В контрольной популяции, содержавшейся при стандартных условиях, частота F-аллеля локуса Adh на протяжении 20-и поколений мониторинга колебалась в пределах 0,50—0,54. При этом частота гетерозигот (FS) находилась на уровне 0,46—0,48, гомозигот FF – в пределах 0,30-0,34, и гомозигот SS – в пределах 0,20-0,24.

В популяции, подвергавшейся облучению, частота F-аллеля в ходе мониторинга постепенно повышалась, достигнув к 25-му поколению 0,69. Необходимо отметить, что в первые 10 поколений частота гетерозигот повысилась до 0,54, а частота SS-гомозигот постепенно понизилась. Вероятно, в начале мониторинга облучаемая популяция

приспосабливается к новым условиям за счет повышения частоты гетерозигот, которые являются более жизнеспособными и способствуют поддержанию гетерогенности популяции. После 10-го поколения отмечается повышение частоты F-аллеля до 0,67-0,69 ($P<0,01$). При этом частота SS-гомозигот поддерживалась на уровне 0,09-0,10.Таким образом, в облучаемой популяции отмечается селективное преимущество F-аллеля.

В экспериментальной популяции содержавшейся при колеблющейся комнатной температуре (16–18°С), отмечается возрастание частоты F-аллеля за 15 поколений отбора до 0,70, по сравнению с 0,53-0,54 в контрольной популяции (25°С). При этом на протяжении мониторинга наблюдается дефицит гетерозигот. Таким образом, под влиянием пониженной температуры существенно изменяется концентрация аллеля F. При дефиците гетерозигот селективное преимущество имеет генотипы Adh FF.

На роль температуры в качестве фактора отбора в лабораторных популяциях указывали Джонсон и Пауэл [4]. Подвергая половозрелых особей тепловому шоку (40°С) установили, что повышение температуры приводит к элиминации FF-гомозигот, а понижение – SS-гомозигот. Сходные данные получены также в ряде других работ.

Таблица

Динамика частоты F-аллеля локуса Adh в экспериментальных популяциях дрозофилы при различных воздействиях

Поколения мониторинга	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОПУЛЯЦИИ							
	Контроль		Облучение		t 16-18 С		t 16-18 С + облуч.	
	К-во	Частота F-аллеля	К-во	Частота F-аллеля	К-во	Частота F-аллеля	К-во	Частота F-аллеля
	n	$p^F \pm S_p$	n	$p^F \pm S_p$	n	$p^F \pm S_p$	n	$p^F \pm S_p$
1	120	0,49±0,05	121	0,54±0,05	107	0,51±0,05	105	0,52±0,05
5	100	0,51±0,05	100	0,53±0,05	100	0,54±0,06	100	0,50±0,06
10	120	0,53±0,05	112	0,60±0,05	120	0,63*±0,05	114	0,48*±0,06
15	129	0,54±0,05	121	0,67*±0,05	100	0,70*±0,06	120	0,48*±0,05
20	119	0,53±0,05	108	0,67*±0,05				
25	120	0,57±0,05	90	0,69*±0,06				

* $P < 0,01$

Особый интерес представляют исследования изменчивости в популяциях при комбинированном действии ионизирующей радиации и низкой температуры. Мутагенное действие ионизирующих излучений может быть модифицировано (усилено или подавлено) некоторыми физическими (температура, УФ-лучи, магнитные или электромагнитные поля и др.), химическими (промышленная пыль, антибиотики, пестициды и др.) или биологическими (гормоны, вирусы) агентами.

Как показывают результаты наших исследований, в популяции, содержавшейся при пониженной температуре (16-18°(_к показывают результаты наших исследований, в популяцF-аллеля на протяжении первых 10-и поколений находилась в пределах 0,48-0,50. Отмечается уравновешенное соотношение F и S аллелей локуса Adh, изменчивость поддерживается в сбалансированной форме за счет адаптивного преимущества гетерозигот и базируется на взаимодействии различных локусов

Необходимо отметить, что комбинированное воздействие облучения и низкой температуры привело к значительному снижению численности особей в популяции, ее уровень был ниже, чем в облучаемой. Таким образом, можно предположить, что в экстремальных условиях (облучение, низкая температура) популяция стремится сохраниться

за счет адаптивного преимущества гетерозигот и уравновешенного соотношения F- и S-аллелей локуса Adh.

Результаты наших исследований показывают, что как F-, так и S-аллели Adh могут стать интегральной частью адаптационных комплексов генов, возникающих у потомков в условиях постоянного давления на популяцию неблагоприятных экологических факторов. При этом селективная ценность каждого конкретного гена из серии множественных аллелей определяется экологической ситуацией. Можно полагать, что в ответ на конкретное неблагоприятное воздействие в популяции формируются генотипы со строго определенным адаптационным комплексом генов, т.е. с весьма конкретным и сбалансированным аллельным составом структурных генов, обеспечивающим максимальную приспособленность особей в популяции.

Литература

1. Тихомирова М.М., Ватти К.В., Мамон Л.А., Барабанова Л.В., Куцкова Ю.А.- Механизмы, обеспечивающие устойчивость генетического материала клетки к стрессовым воздействиям.-Генетика. 1994. Т.30,№8.С.1097-1104.

2. И.Ю. Раушенбах. Стресс-реакция насекомых: механизм, генетический контроль, роль в адаптации.- Генетика. 1997. Т.33, №8. С.1110-1118.

3. Ayala F.J., Powell J.R., Tracey M.J. et al. Enzyme-variability in the Drosophila willistony group. IV. Genic variation in natural populations of Drosophila willistony // Genetics. 1972. V. 70, P. 113-139.

4. Jonson F. M., Powell A. The alcohol dehydrogenase of Drosophila melanogaster: jrequency changes associated with heat and cold shock. //Proc. Nat. Acad. Sci. 1974. V.71. P.1783-1784.

Сравнительные дозовые нагрузки у амфибий на загрязненных радионуклидами территориях и в условиях острого облучения

А.М. Войтович

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Comporative doses for amphibia from radiocontaminated areas and acute irradiation. Brown frogs were exposed to acute irradiation (0,5-4 Gy). Dynamics and levels of aberrant bone morrow cells were investigated. The radiosensitivity of R.temporaria and R.arvalis was the same at 2-3 Gy dose rate. The isoeffective doses for frogs from radiocontaminated biotopes were established to be from 1 for 30 cGy.

Исследования [1] были начаты в июле 1986 г., т.е. в самом конце первого, так называемого острго периода, когда доза в значительной степени задавалась короткоживущими изотопами, прежде всего йода. Поэтому условия ее формирования были ближе к острому облучению, чем в последующий период. Исходя из данного обстоятельства, изоэффективные дозы, которые соответсвовали бы реальным эффектам, были установлены в остром эксперименте.

С этой целью облучали лягушек на короткофокусной рентгеновской установке РУМ-17

однократно в диапазоне доз от 0.5 до 4 Гр. Животные отловленны на контрольной территории в течение летнего сезона (конец июня-июль месяц). Было установлено, что при дозах более 2 Гр видимо происходит задержка значительного числа клеток в митотическом цикле, т.к. максимальный выход аберрантных клеток и нагруженность их аберрациями при дозах 3-4 Гр наблюдается через 72 часа после облучения. При дозе 4 Гр через 72 часа практически половина клеток костного мозга было аберрантна. Можно предположить наличие в костном мозге лягушек клеток с более длительными сроками прохождения митотического цикла. Видимо по этой причине элиминация поврежденных клеток становится более выраженной с 72 часов после облучения при дозе 2 Гр. Подобная тенденция описана как в экспериментах in vitro, так и in vivo [2,3].

В острых экспериментах было показано также, что радиочувствительность двух видов бурых лягушек по тесту учета аберраций в клетках костного мозга практически одинаковая. Весьма схожими оказались как уровни аберрантных клеток после облучения (рис.), так и спектр аберраций хромосом (табл.). При изучении динамики выхода аберрантных клеток в костном мозге Rana temporaria после однократного облучения в дозе 2 Гр установлено, что уровень аберрантных клеток резко снижается после 3-х суток и на 5 сутки находится даже ниже уровней, наблюдавшихся в большинстве популяций лягушек, обитающих на загрязненных радионуклидами территориях. При этом происходит почти полная элиминация аберраций хромосомного типа. Описанные выше особенности уровней и динамики цитогенетических повреждений в костном мозге хорошо соотносятся с литературными данными [3,4].

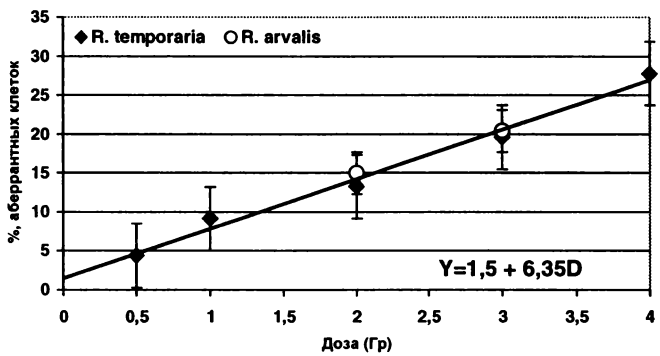


Рис.1. Частота аберрантных клеток в костном мозге в зависимости от дозы острого рентгеновского облучения.

Таблица 1

Спектр аберраций хромосом в клетках костного мозга бурых лягушек через 24 часа после острого облучения (2 Гр)

Вид животных	Число проанализированных клеток	% аберрантных клеток	Спектр аберраций %	
			хромосомного типа	хроматидного типа
R. temporaria	682	13,26±1,80	70	30
R. arvalis	300	15.00±2,06	59	41

Исходя из полученного уравнения дозовой зависимости (Рис.1) выведены изоэффективные дозы в диапозоне наблюдавшихся в реальных условиях уровней аберрантных клеток. Эти значения находятся для популяций, обитающих на границе 30-км зоны в пределах 1-10 сГр. Почти во всех случаях такие дозовые нагрузки были вполне возможны в 1986 г. на пострадавших территориях [5,6]. Проблематичным остается вопрос о соответствии изоэффективной дозе 27 сГр реальной дозовой нагрузки в районе г.Чериков, где в июле 1986 г. гамма-фон не превышал 200 мкр/час. Изоэффективная доза для популяции R.arvalis из того же биотопа не превышала 1 сГр. Такие различия предполагают при схожей радиочувствительгости двух видов совершенно разный характер формирования дозовых нагрузок, вызванный возможно мозаичностью радиоактивных выпадений и разными сроками размножения, когда взрослые животные находятся в воде. Известно, что R.temporaria покидает водоемы раньше.

Литература

1. Елисеева К.Г., Н.А.Картель, Войтович А.М.и др. Хромосомные аберрации в различных тканях мышевидных грызунов и амфибий из загрязненных радионуклидами районов Беларуси. // Цитология и генетика.-1996.- Т.30, №4.- С.20-25.

2. Панкова Н.В. Изучение характера повреждений хромосом ядер лейкоцитов амфибий после их облучения в различных фазах клеточного цикла. Сообщение I. Облучение в фазе G2. // Генетика.-1972.- T.VII.,№3.- С.52-60.

3. Bender M.A., Gooch P.C. Spontaneous and X-ray-induced somatic- chromosome aberrations in the Chines hamster.// Int. J. Radiat. Biol. - 1961.-Vol.4.,N2.-P.175-184.

4. Devi P.U. and Sharma A.S. Mouse bone- morrow response to low doses of whole- body gamma irradiation: induction of micronuclei.// Int. J. Radiat.Biol.-1990.-Vol.53.,N1.-P.91-101.

5. Matveenko I.I., Zhukova O.M., Germenchk M.G. State and prognosis of radiation situation at the territory of the Republic of Belarus.// Acute and Late Consequences of Nuclear catastrophes: Hiroshima-Nagasaki and Chernobyl.- 1994.- P.231-244.

6. UNSCEAR. Report of the United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation.- U.N.-N.Y.-1988.-428 p.

Влияние витаминно-минерального комплекса на хромосомные структуры сперматогониев на фоне пролонгированного гамма-облучения в пре- и раннем постнатальном периоде развития животных

Е.Г. Гайдукевич, И.А. Краснова

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г.Минск, Беларусь

The vitamin-mineral complex influence on chromosome structures of spermatogonia in conditions of protracted gamma-irradiation in pre-and early postnatal period of animals development. The spermatogonia of rats testes at the age 30 days after protracted γ–irradiation in dose 1,0 Gy in the period of their embriogenesis and in first weeks after birth, and also after the introduction of mineral–vitamin complex (vitamin E + Se) are investigated.

The object of the work is to estimate cytogenetic damages' induction after protracted irradiation and after introduction of vitaminous complex.

It is shown the increase of reciprocal translations' amount in the spermatogonia, so it's an evidence of lowintensive protracted γ–irradiation's damage action on the chromosome apparatus of rats' males' cager sexual cells. It is revealed radioprotector characteristics of complex vitamin E + Se in conditions of protracted irradiation in the ante- and postnatal period of development. But this complex has also mutagen action.

В настоящее время в свете создавшейся радиоэкологической обстановки прогноз генетических последствий длительного облучения в малой дозе и разработка защиты от его негативных эффектов требует изучения частоты генетических нарушений в половых клетках. Из различных видов мутаций наибольшее внимание привлекают стабильные хромосомные аберрации (транслокации, инверсии).

Повышение радиационного фона внешней среды в настоящее время усиливает интерес не только к проблеме влияния длительного облучения в малых дозах, но и минимизации отдаленных последствий хронического радиационного воздействия препаратами различного спектра действия. Проблема защиты половых клеток зародышей заслуживает особого внимания в связи с их высокой радиочувствительностью. В этом плане применение фармакологических препаратов антиоксидантного действия с лечебно-профилактической целью при длительном действии ионизирующих излучений в пре- и постнатальном периодах развития организма весьма перспективно, поскольку формирование эффектов облучения происходит на фоне снижения общей сопротивляемости организма.

В связи с вышесказанным представляется важным оценить возможность использования витаминов в комплексе с микроэлементами в условиях облучения организма в период эмбриогенеза и ранней постнатальной жизни. К таким комплексам относится альфа-токоферол и селен (витамин Е + селен).

Радиопротекторные и антимутагенные свойства витамина Е и селена, а также их роль в развитии многих заболеваний хорошо известна. Известно также, что территория Беларуси

относится к регионам с низким содержанием селена в почве [1, 2].

Работа проведена на белых крысах стадного разведения. В соответствии с целью исследования были поставлены следующие эксперименты.

Самки с первых сут беременности [3] были разделены на четыре группы. Две группы облучали на γ–установке ГАММАРИД (^{137}Cs, мощность дозы $3{,}08\times10^{-7}$ Гр/с) в течение всего периода гестации и части периода лактации. Поглощенная доза составила 1,0 Гр. Часть беременных животных в течение всего срока облучения получала комплекс – витамин Е в дозе 2,361 мг/кг и селенит натрия в дозе 0,105 мг/кг в виде питьевого раствора каждый день (препарат Vesel, Германия). Потребляемая доза веществ была рассчитана, исходя из рекомендаций о суточной норме поступления их в организм [4, 5].

Третья и четвертая группы беременных животных были размещены на виварии. Одна часть животных получала витамин Е и селенит натрия в той же дозе и в течение того же срока, что и облученные животные. Четвертая группа животных служила контролем. Самцы из потомства всех групп животных поступали в опыт в возрасте 30 сут. Материалом исследования служил семенник. Определяли некоторые соматометрические показатели органа : абсолютную и относительную массу семенников, а также массу тела животных. Генетический эффект в половых клетках оценивали по показателю частоты РТ, возникающих в сперматогониях [6].

Установлено, что у 30 сут животных, подвергшихся пролонгированному облучению в малой дозе в период их пренатального и раннего постнатального онтогенеза, достоверно уменьшается относительная масса семенника (на 29% по сравнению с контролем, $P<0{,}05$). У самцов потомства крыс, получавших комплекс витамина Е и селенита натрия в период их эмбриогенеза и в первые недели после рождения, этот показатель был незначительно выше контрольных значений (на 7%). Однако использование этого препарата в условиях облучения животных не приводило к нормализации исследуемого показателя. Относительная масса семенников в этих условиях эксперимента оставалась сниженной по сравнению с контролем на 24 %.

Полученные результаты подтверждают литературные данные, согласно которым снижение относительной массы семенника рассматривается, как показатель повреждающего действия ИИ, и связано с нарушением структуры исследуемого органа. Причем введение минерало-витаминного комплекса животным, облучавшимся в период их эмбриогенеза и ранней постнатальной жизни в дозе 1Гр, не противодействовало развитию радиационно-индуцированных изменений в семенниках.

Результаты цитогенетического анализа сперматогониев самцов из потомства крыс, подвергшихся длительному низкоинтенсивному облучению в пре- и раннем постнатальном онтогенезе, свидетельствуют о значительном повышении частоты встречаемости РТ по сравнению с контрольными значениями (0,867±0,015 РТ на 100 клеток по сравнению с 0,049±0,007 у интактных животных, более чем в 17 раз, $P<0{,}01$). Применение минерало-витаминного комплекса в условиях пролонгированного гамма-облучения снизило частоту РТ в сперматогониях до 0,392± 0,030. Однако введение данного комплекса необлученным животным несколько увеличило выход РТ по сравнению с контрольным уровнем (на 20%).

Уровень цитогенетических нарушений свидетельствует о высокой чувствительности зародышей и новорожденных животных к пролонгированному гамма-облучению, что может привести к образованию неполноценных половых клеток у половозрелых животных. Выявлен радиопротекторный эффект минерало-витаминного комплекса (Se + витамин Е) в этих условиях облучения в пре- и ранний постнатальный период развития. Однако результаты наших исследований свидетельствуют также о возможном мутагенном действии этого комплекса в период раннего развития животных.

Литература

1. Кактурский Л.В., Строчкова Л.С., Истомин А.А. Гипоселенозы // Архив патологии. 1990. Т. 52. № 12. С. 3-8.
2. Токарев В. Этот незаменимый селен // Здоровье и успех. 1999. № 5. С. 28.
3. Объекты биологии развития. / Ред. А.П. Дыбана. М.: Наука, 1975. 579 с.
4. On the monitoring of the selenium status in humans / Bratter P., Negretti de Bratter V.E., Jaffe W.G., Mendez C.H // 6th Int. trace elem. symp. Leipzig, 1989. Vol. 3.- Jena, 1989. P. 897-903.
5. Selenium: role physiologique et interet en pathologie humaine / Dubois F., Belleville F. // Sem. hop. Paris. 1989. V. 65. № 8. C. 414-422.
6. Дыбан А.П., Баранов В.С. Метод приготовления препаратов мейотических и митотических хромосом из семенников млекопитающих // Архив АГЭ. 1974. Т. 66. № 1. С. 79.

Генетическая оценка качества ооцитов крупного рогатого скота

Л.В. Голубец, О.А. Шпаковская, В.П. Симоненко, Е.И. Карнач

Белорусский научно-исследовательский институт животноводства, г. Жодино, Беларусь

Genetic estimation of the cattle oosytes' quality. The most efficient maturation of oocytes in vitro was observed in the case when no less then 80% of cells were a the stage of diplotene.

Популяция ооцитов, получаемых из яичников коров после их убоя на мясокомбинате, характеризуется различной способностью к дальнейшему развитию в культуре in vitro. Одним из основных факторов, определяющих эту способность, является стадия развития ядерного материала ооцита на момент его извлечения из фолликула.

Исследования проведены в лаборатории генетики БелНИИЖ и племсовхоз «Литвиново» Брестского Госплемпредприятия. Объектом исследований служили ооциты и эмбрионы крупного рогатого скота, полученные вне организма матери. Основной питательной средой для культивирования половых клеток служила среда ТС-199. Морфологическую оценку качества ооцит-кумулюсных комплексов проводили под бинокулярным микроскопом МБС-10. Анализ уровня ядерного созревания осуществляли по методу Тарковского (1966).

Яичники доставляли с Борисовского мясокомбината в течение 1,5-2 часов с момента убоя животного в среде Хенкса при температуре 32-36°С, ооциты извлекали путем надреза фолликулов лезвием безопасной бритвы.

Перед постановкой на культивирование ооциты разделялись на 5 групп в соответствии с их морфологическими характеристиками:

1 группа - компактный, многослойный, плотно прилегающий к ооциту кумулюс, ооплазма мелкозернистая, равномерно заполняющая прозрачную оболочку;

2 группа - компактный многослойный, плотно прилегающий к ооциту кумулюс, ооплазма имеет участки гранулярной конденсации;

3 группа - разрыхленный многослойный кумулюс, ооплазма имеет участки гранулярной конденсации;

4 группа - частично разрыхлившийся многослойный кумулюс, ооплазма с гранулярной конденсацией;

5 группа - ооциты без кумулюса с мелкозернистой ооплазмой, равномерно заполняющей прозрачную оболочку.

Цитогенетический анализ стадий мейоза свидетельствует о том, что ооциты с различными морфологическими характеристиками обладают неодинаковым потенциалом к дальнейшему развитию. Наибольшее количество ооцитов, находящихся на стадии диплотены мейоза обнаружено в первой и третьей группах (86,7 и 85,0% соответственно), в то время как во второй и четвертой группах данный показатель составил 72,4 и 63,6%. Пятая группа характеризовалась самым низким количеством ооцитов, способных к дальнейшему развитию (27,5%). Большое количество дегенерированных ооцитов во второй, четвертой и пятой группах (15,5 - 32,1%), по сравнению с первой и третьей группами (7,4 - 6,7%), также свидетельствует о снижении способности к дальнейшему развитию ооцитов этих групп.

Другим фактором, определяющим вероятность получения большего количества зрелых яйцеклеток после их культивирования вне организма, а значит и более высокого выхода эмбрионов, является способность ооцитов к инициации мейоза в синтетических питательных средах.

В первой, второй и третьей группах уже через 8 часов культивирования 58,3-61,9% ооцитов достигают стадии диакинеза мейоза, и 3,6-4,7% - стадии метафазы I. К 24 часам культивирования в первой группе обнаруживается 71,4% зрелых яйцеклеток, во второй - 54,7; в третьей - 43,1%. Ооциты первой группы характеризовались также более низким уровнем дегенерации (5,7-8,6%) по сравнению со второй и третьей группами (11,9-17,8% и 10,8-25,4% соответственно). Ооциты четвертой и пятой групп показали самый низкий уровень инициации мейоза через 8 часов культивирования (26,5-36,5% ооцитов развились до стадии диакинеза и 1,6-3,3% до стадии метафаза b), низкий уровень зрелых яйцеклеток (16,7-30,1%) и высокий уровень дегенерации ооцитов (23,8-30,0%).

Результаты цитогенетической оценки потенциала развития извлеченных из фолликулов ооцитов коров подтверждаются их способностью к развитию после оплодотворения. Наибольший процент дробящихся зародышей и пригодных к пересадке эмбрионов получен в первой группе (67,6 и 25,7%) В третьей группе выход дробящихся зародышей составил 47,6%,а пригодных к пересадке эмбрионов - 19,0%. Количество дробящихся зародышей и выход пригодных к пересадке эмбрионов во второй группе находились на уровне 31,3 и 11,8% соответственно. В четвертой и пятой группах процент дробящихся зародышей был еще ниже (19,0 и 10,0%, соотьетственно), а пригодные к пересадке эмбрионы обнаружены лишь в четвертой группе (3,2%). В контроле данный показатель составил 13%.

Таким образом, наибольшей эффективностью при культивировании вне организма обладает популяция ооцитов, не менее 80% клеток которой после извлечения из фолликулов находится на стадии диплотены.

Откормочная и мясная продуктивность свиней при скрещивании и гибридизации

Н.А. Лобан, В.А. Дойлидов

Белорусский научно-исследовательский институт животноводства, г. Жодино, Беларусь

Fattening performance and carcass guilty of crossbred and hybrid pigs. The efficiency of different crosses of pigs involving Large White (LM), Byelorussian Meaty (BM), Byelorussian Black and White (BBW), Landrace (L) and Duroc (D) breeds was studied. Pigs of (LW x BM) x D genotype had the highest productivity: average daily day 745g, feed expenses 3,45 F.U., dressing percentage 69,8% and carcass meat yield 60,7%. This genotype is recommended to be used as a final hybrid for commercial units.

В условиях селекционно-гибридного центра «Заднепровский» Витебской области проводилась сравнительная оценка репродуктивных, откормочных и мясных качеств свиней крупной белой породы в различных вариантах межпородного скрещивания. Нашей целью было определение оптимальных вариантов скрещивания и гибридизации для получения товарного молодняка свиней. Решались задачи - оценка продуктивности свиноматок и молодняка по откормочным и мясным качествам, выявление гетерозисных генотипов (1).

По методу аналогов были сформированы 7 групп (табл. 1). Апробировались различные варианты двух- и трехпородного скрещивания плановых пород свиней в РБ - крупная белая (КБ), белорусская черно-пестрая (БЧ), белорусская мясная (БМ), дюрок (Д) и ландрас (Л).

Репродуктивные качества изучались в среднем по 20 свиноматкам в каждой группе, откормочные и мясные - по 24-29 подсвинкам.

Межпородное скрещивание не оказало существенного влияния на улучшение воспроизводительных качеств свиноматок опытных групп по сравнению с контрольной. Во всех опытных группах отмечалась устойчивая положительная тенденция роста продуктивности свиноматок. Достоверное ($P < 0,001$) увеличение сохранности молодняка было в VII опытной группе, до 97% или на 4,2 процентных пункта. Отсутствие эффекта гетерозиса по репродуктивным качествам в межпородном скрещивании можно объяснить высокими исходными показателями продуктивности свиноматок крупной белой породы, уровнем селекционно-племенной работы с ней в хозяйстве, а также характером промежуточного наследования данного признака.

Из приведенных результатов откорма следует, что максимальными показателями откормочной продуктивности характеризовались подсвинки VII группы - гибриды от скрещивания свиноматок (крупная белая х белорусская мясная) с хряками породы дюрок. Живой массы 100 кг они достигали на 4,6 дней раньше ($P < 0,01$) чистопородных сверстников при лучших среднесуточных приростах - 746 г. ($P < 0,01$) и меньших затратах корма - 3,45 к.ед. ($P < 0,001$).

Таблица 1

Основные показатели продуктивности свиней при чистопородном разведении и скрещивании.

Показатели	Генотипы, группы						
	I КБ х КБ	II КБ х БМП	III КБ х БЧ	IV КБ х Л	V (КБ х БЧ) х БМП	VI (КБ х БЧ) х Л	VII (КБ х БМП) х Д
Многоплодие, гол.	10,7	10,9	11,0	11,1	11,2	11,1	10,4
Отъемная масса гнезда, кг	89,5	90,5	89,0	86,5	93,8	88,5	91,8
Сохранность, %	93,1	90,9	92,6	92,1	91,2	93,2	97,0***
Возраст достижения 100 кг, дней	189,6	188,8	194,1*	187,7	185,7*	186,1*	185,0**
Среднесуточный прирост, г	701,0	713,1	675,0*	706,2	739,0**	710,0	746,0**
Затраты корма, к.ед.	3,66	3,57	3,80*	3,63	3,50**	3,62	3,45***
Убойный выход, %	66,2	67,9	65,6	69,2*	69,5**	66,8	69,8**
Длина туши, см	96,8	98,3**	94,8**	98,8**	97,2	96,9	99,2***
Площадь «мышечного глазка», $см^2$	31,9	33,7**	31,2	33,8**	34,0*	33,7***	38,5***
Содержание мяса в туше, %	57,6	58,8	57,1	60,7**	59,8*	59,9**	60,7**
Толщина шпика, мм	27,4	26,9	29,8	26,4	28,6	28,0	24,6***
Масса окорока задней трети полутуши, кг	10,6	10,7	10,5	10,9	10,7	10,7	11,0**
Экономия (перерасход) средств на 1 свиноматку за год, у.е.	-	55,65	-77,84	184,98	290,09	-21,84	291,05

** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Известно, что мясные качества поместного молодняка зависят от уровня продуктивности исходных пород(2) Молодняк VII опытной группы достоверно ($P < 0,01$; 0,001) превосходил по всем показателям мясной продуктивности подсвинков крупной белой породы: убойному выходу на 3,6 процентных пункта, массе задней трети полутуши на 0,4 кг или 3,8%, толщина шпика уменьшилась на 2,4 мм ($P < 0,001$) или 10,2%, туши молодняка были длиннее на 2,4 см или 2,5 %. Экономическая эффективность в расчете на 1 основную свиноматку была максимальной в VII опытной группе, где дополнительный годовой доход составил - 291,05 у.е. Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о более высокой эффективности межпородного скрещивания двухпородных свиноматок (крупная белая х белорусская мясная) с хряками породы дюрок.

Эта генетическая формула финального гибрида рекомендуется для широкого практического внедрения в условиях промышленной технологии РБ и западных регионах России.

Литература

1. Шейко И.П. Состояние и эффективность работы свиноводства Беларуси.
2. Современные проблемы развития свиноводства: Материалы 7-ой Международной научно-практической конференции,г.Жодино,23-24 августа 2000 г. - Мн.,2000.- С. 3- 8.
3. Шмаков Ю.И. Эффективность преимущественной селекции при чистопородном разведении. Современные проблемы развития свиноводства: Материалы 7-ой Международной научно-практической конференции,г.Жодино,23-24 августа 2000 г.- Мн., 2000.- С.12 - 14.

Новые генотипы белорусской чёрно-пёстрой породы свиней

В.Л. Денисевич, И.Ф. Гридюшко

Белорусский научно-исследовательский институт животноводства, г. Жодино, Беларусь

New genotypes of Black and White breed of pigs. Sows of new genotypes of Black and White breed which are to be used in further selection work have higher litter size and better survival of piglets. Crossbred progeny (FL x BBW, D x BBW) is characterized by higher fattening ability and carcass meat yield.

В системе гибридизации, принятой в Республике Беларусь, широко используются свиньи белорусской черно-пестрой породы (БЧ) в качестве отцовской и материнской форм. Они обладают достаточно высоким многоплодием (10,5-11,2 поросят), хорошими откормочными качествами (возраст достижения живой массы 100 кг - 190-200 дней, расход корма на 1 кг. прироста 3,6-3,8 к. ед.), но уступают некоторым породам по мясным качествам (толщина шпика 28-32 мм, масса окорока 10,2-10,5 кг.).

Для улучшения мясных качеств продолжается работа по выведению мясного типа свиней белорусской черно-пестрой породы с прилитием крови пород дюрок (Д) и финский ландрас. Выведение мясного типа в породе позволит улучшить откормочные и мясные качества получаемого потомства, не снижая репродуктивных качеств и использовать явление гетерозиса при внутрипородных кроссах, межпородном скрещивании и обеспечит жизнеспособность и прогрессирование породы в целом.

Получены животные черно-пестрой породы с кровностью 1/4, 1/8 пород дюрок или ландрас финской селекции от разведения «в себе», предварительная оценка которых показала перспективность направления. Наши данные согласуются с исследованиями В. Рыбалко и И. Самохвал[1], В. Варяна [2], О. Сердюка [3].

Показатели репродуктивных качеств свиноматок новых генотипов свидетельствует, что многоплодие и молочность маток новых генотипов находится на уровне чистопородного разведения и составляет 10,4 гол. и 52 кг соответственно. Количество поросят и масса гнезда к 2-х месячному возрасту существенно не отличались от таких показателей чистопородных свиноматок. Однако, отобранные для дальнейшего воспроизводства 450 маток по многоплодию (10,8 гол.) и количеству поросят к отъему (9,4 гол.) превосходили контрольную группу на 0,4 поросенка ($P<0,05$).

Для оценки откормочной и мясной продуктивности подсвинков новых генотипов

проведены контрольный откорм и убой. Откормочники новых генотипов на контрольном откорме достигали живой массы 100 кг за 185,4 дня или на 3,5 дня раньше ($P<0,01$), их среднесуточные приросты были 720 г или больше на 17,1 г., чем чистопородные сверстники белорусской черно-пестрой породы ($P<0,05$). Кроме того, подсвинки новых генотипов расходовали корма на 1 кг прироста 3,58 к. ед. или на 0,09 к. ед. меньше, чем чистопородные сверстники. Наши выводы подтверждают исследования В. И. Денисова [4] и В. В. Герасимова [5] о снижении расхода корма на 1 кг прироста у помесей породы дюрок и ландрас.

В условиях товарных ферм прослеживается аналогичная закономерность по скороспелости и затратам корма у откормочников генотипа 3/4БЧ1/4Д в сравнении с чистопородными сверстниками белорусской черно-пестрой породы.

Подсвинки новых генотипов обладали лучшей мясностью, чем чистопородные сверстники белорусской черно-пестрой породы. У них толщина шпика над 6-7 грудными позвонками составила 26 мм или тоньше на 2,3 мм. ($P<0,001$). Кроме того, площадь «мышечного глазка» у животных новых генотипов была больше на 3,65 $см^2$ ($P<0,001$) и составила 32,0 $см^2$. По выходу мяса в тушах животные новых генотипов превосходили своих сверстников белорусской черно-пестрой породы на 2,9%, который составил 60,5%. Повышенные приросты, пониженный расход корма на 1 кг прироста и высокая мясность туш, поднимает экономическую значимость новых генотипов свиней в производстве свинины.

Заключение.

1. Репродуктивные качества свиноматок белорусской черно-пестрой породы и ее новых генотипов существенных различий не имеют. Различия находятся в пределах статистической ошибки ($P>0,05$). Отобранные свиноматки новых генотипов для дальнейшей селекционной работы обладают повышенным многоплодием и сохранностью поросят ($P<0,05$).

2. Созданные новые генотипы свиней в белорусской черно-пестрой породе путем прилития крови пород дюрок, отличаются повышенными откормочными и мясными качествами. Молодняк на откорме достигает живой массы 100 кг за 185 дней при расходе корма на 1 кг прироста 3,58 к. ед., при этом толщина шпика на спине - 27 мм., выход мяса в туше - 60,5%.

Литература

1. Рыбалко В., Самохвал И. Результаты различных вариантов скрещивания. // Свиноводство.-1990. - №3. - С. 18

2. Варян Р. Создание армянской мясной породы свиней. // Свиноводство. - 1995. - №2. - С. 19

3. Сердюк О. Качество свинины животных мясной линии. // Зоотехния. - 1993. - №1. - С. 17-18

4. Денисов В. И., Самков С. А., Кузьмина Т. В. Ассоциация по племенной работе со свиньями породы дюрок. // Зоотехния. - 1992. - №11-12. - С. 12-14

5. Герасимов В., Пронь Е., Данилова Т. Влияние генотипа в конечной живой массе при откорме на хозяйственно-полезные качества подсвинков. //Синоводство. - 1996. - №2. - С. 23-25

Иммунно-гормональный статус и энергетический обмен тканей крыс при действии малых доз радиации и ацетата свинца

Г.Ф. Цыхун, Т.Б. Бокуть, Н.К. Викентьева, Т.И. Житкевич

Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Immune and hormonal status and energy metabolism of rat tissues under the influence of small doses of ionizing radiation and lead acetate. Application of lead acetate (10 mg/kg) to rats induced, 3 months after, a decrease in the blood content of insulin, triiodothyronine and thyroxin. increased the proliferative activity of thymic lymphocytes, and activated the bioenergy processes in brain and myocardial mitochondria. A combined application of low doses of ionizing radiation (0,02 Gr 25 times) and lead in this period facilitated a decrease in the blood concentration of thyroid hormones, inhibition of the energy-producing function of brain and myocardial mitochondria.

Исследование биологических эффектов длительного действия малых доз ионизирующей радиации в сочетании с химическими агентами является одной из наиболее актуальных проблем современной радиобиологии. Среди химических соединений, загрязняющих окружающую среду, наиболее распространен свинец, обладающий способностью накапливаться в тканях и оказывать токсическое действие на гемопоэз, сердечно-сосудистую, нервную, иммунную и другие функциональные системы организма [1, 2, 5,].

Известно, что действие фракционированного ионизирующего излучения в относительно малой дозе (0,5 Гр) способно вызывать ряд функциональных изменений, в первую очередь в нейроэндокринной системе, которые в дальнейшем либо компенсируются, либо могут привести к стойким расстройствам вегетативных функций организма [4, 6, 7, 8,].

Задача настоящего исследования заключалась в комплексной оценке отдаленных эффектов хронического сочетанного действия ацетата свинца и малых доз ионизирующего излучения на содержание в крови гормонов щитовидной и поджелудочной желез, пролиферативную активность иммунокомпетентных клеток тимуса и состояние энергопродуцирующей системы в митохондриях головного мозга и миокарда.

Материалы и методы

Опыты проведены на вистаровских крысах самцах массой 180-200 г. Первой группе животных в течение 25 дней с помощью зонда внутрижелудочно вводили раствор ацетата свинца в дозе 10 мг/кг, вторую группу животных подвергали общему рентгеновскому облучению (25 сеансов по 0.02 Гр/день) на аппарате РУМ-11 (интенсивность облучения 0,09 Гр/мин), третью группу животных облучали и вводили ацетат свинца в указанной дозе в течение 25 дней. Контролем служили крысы, получавшие физиологический раствор.

Активность мембраносвязанных ферментов цикла трикарбоновых кислот (ЦТК): пируватдегидрогеназы (ПДГ), НАД-изоцитратдегидрогеназы (НАД-ИЦДГ), 2-оксоглутаратдегидрогеназы (ОДГ), сукцинатдегидрогеназы (СДГ) определяли спектрофотометрически. Инсулин и тиреоидные гормоны: тироксин (T_4) и трийодтиронин (T_3) - определяли в сыворотке крови радиоиммунологически. Пролиферативную активность лимфоцитов оценивали по включению ^{3}H-тимидина в культурах нестимулированных и стимулированных Т митогеном конканавалином А (Кон А) клеток тимуса.

Результаты и обсуждение

Опыты показали, что внутрижелудочное введение ацетата свинца в дозе 10 мг/кг через 3 мес приводило к снижению содержания в крови T_4 на 26,5%, T_3 на 25% и инсулина на 44%. При комплексном действии ионизирующего излучения и ацетата свинца установлена аналогичная направленность изменения уровней гормонов, но с меньшей степенью выраженности (на 20%, 22% и 21%, соответственно).

Свинцовая нагрузка способствовала усилению синтеза ДНК в культуре нестимулированных и стимулированных Кон А тимоцитов (на 33% и 43%, соответственно). Ионизирующее излучение вызывало подавление пролиферативной активности лимфоцитов тимуса, причем индукция культур митогеном приводила к более выраженному угнетению клеточного деления. При сочетанном действии свинца и облучения обнаружены глубокие изменения функциональной активности иммунокомпетентных клеток – значительное снижение синтеза ДНК в нестимулированных и стимулированных тимоцитах по отношению как к контрольной (на 64% и 75%, соответственно), так и к облученной группе животных (на 47% и 35%, соответственно). Описанное нами угнетение пролиферативной активности клеток лимфоидных органов в отдаленный период после действия облучения и свинца согласуется с уже имеющимися сведениями о нарушении иммунного статуса у населения, проживающего на территориях с повышенным радиоактивным фоном и химическим загрязнением [3].

Хроническое действие свинца в отдаленный период (в это время в крови обнаруживается следовое содержание металла) приводило к активации функционирования ЦТК в митохондриях головного мозга и миокарда на 25-35%, что в определенной степени можно связать с повышением проницаемости митохондриальных мембран для субстратов лимонно-кислого цикла и их утилизации. В группе животных, подвергавшихся хроническому рентгеновскому облучению, через 3 мес скорость процессов дегидрирования в ЦТК исследованных тканей сохранялась в пределах контрольных величин. При комплексном влиянии ацетата свинца и облучения, в отличие от действия одного свинца, наблюдалось снижение активности ферментов цикла трикарбоновых кислот в митохондриях исследованных тканей.

Таким образом, в отдаленные сроки после действия ацетата свинца на фоне фракционированного рентгеновского облучения наблюдается снижение функциональной активности щитовидной железы и инсулярного аппарата поджелудочной железы крыс, а также угнетение пролиферативных процессов в тимусе и энергопродуцирующей функции митохондрий головного мозга и миокарда.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о снижении резервных возможностей организма в отдаленный период после хронического комбинированного действия ионизирующего излучения и свинца, что необходимо учитывать при профилактике и терапии возникающих в организме нарушений.

Литература

1. Бардов В.Г., Сучков Б.П., Мотузков И.Н. и др. // Гигиена окружающей среды. – К., 1993. – С. 22-24.

2. Гончарук Е.Г., Бардов В.Г., Картиш А.П. и др. // Лікарська справа. – 1995. - № 5 – 6. – С. 7-11.

3. Гребенюк А.Н., Беженарь В.Ф., Антушевич А.Е., Лютов Р.В. // Военно-медицинский журнал. – 1999. – Т. CCCXX, № 11. – С. 49-54.

4. Гурин В.Н., Елкина А.И., Дудина Т.В., Кандыбо Т.С. // 10 лет после Чернобыльской катастрофы. Тез. докл. Междунар. конф., Минск, 1996. – С. 95.

5. Зербино Д.Д., Поспишель Ю.А. // Архив патологии. – 1990. - № 7. – С. 70-73.

6. Тайц М.Ю., Дудина Т.В., Кандыбо Т.С., Елкина А.И. // Радиобиология. – 1990. – Т. 30. – С. 276-279.

7. Цыхун Г.Ф., Бокуть Т.Б., Викентьева Н.К., Мурзенок П.П. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36. – В. 3. – С. 387-393.

Генетические эффекты малых доз ионизирующей радиации и сравнение эффективности хронического и острого облучения

Р.И. Гончарова, Н.И. Рябоконь, И.И. Смолич

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Genetic effects of low-dose ionising radiation and comparison of efficiency between chronic and acute irradiation. The analysis of dose–effect relationships was carried out by taking into account individual frequencies of cytogenetic damages (chromosome aberrations and polyploid cells in bone marrow as well as micronucleated erythrocytes in bone marrow and peripheral blood) and individual radiation exposure. The objects of investigations were bank voles (Clethrionomys glareolus) inhabited radiocontaminated regions of Belarus and laboratory mice exposed in these regions in the conditions of external and internal irradiation. The frequencies of cytogenetic damages were the first revealed to depend on low levels of exposure: concentration of basic dose-forming radionuclides (4–145410 Bq/kg of ^{137}Cs and ^{134}Cs), total absorbed dose rate (2–730 μGy/day) and the total absorbed dose (0.02–7.3 cGy). According to the latest information on cancerous and non-cancerous risks acquired by survivors of nuclear bombardments, significant effects of acute irradiation were observed in the range of 0.005–0.2 Sv [1]. Our findings demonstrate effects of chronic irradiation in much lower range and indicate the absence of threshold of low dose impact [2, 3].

For comparing effectiveness of chronic and acute irradiation, the dose–effect curves of acute irradiation (10–100 cGy) were obtained for bank voles from two chronically irradiated populations. Extrapolation of the obtained dose–effect straight lines to the dose range of chronic irradiation has shown their much higher efficiency as against low doses of acute irradiation. Possible causes of such disagreement are discussed.

Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации являются центральной проблемой радиобиологии. Исследования генетических эффектов хронического низкоинтенсивного облучения в течение ряда поколений животных, живущих в условиях повышенного радиационного фона, представляют наибольший интерес.

Нами проведены подобные исследования на рыжей полёвке (*Clethrionomys glareolus*),...

...экспонированными на радиационно-загрязненных территориях в течение 133 сут. в условиях сочетанного внешнего и внутреннего облучения (в корм животным использовали загрязненные сельскохозяйственные продукты). Участки мониторинга за природными популяциями рыжей полёвки, а также территории экспонирования лабораторных животных составляли градиент по плотности радиоактивного загрязнения почв (соответственно 8–1526 и 8–2331 кБк/м^2 по ^{137}Cs), по концентрации радионуклидов, инкорпорированных в тушках животных, и по поглощенным дозам облучения.

Концентрации ^{137}Cs и ^{134}Cs оценены у каждой исследуемой особи, трансурановых элементов и ^{90}Sr...

..., что в течение всего периода наблюдений (1986–1996 гг.) основной вклад в мощность поглощенной дозы вносило внешнее облучение, а также внутреннее облучение изотопами цезия [3].

Для учета индивидуальных частот цитогенетических повреждений в соматических клетках исследуемых животных использованы общепринятый метафазный метод учета аберраций хромосом (АХ) и полиплоидных (Пп) клеток в костном мозге, а также стандартный микроядерный тест на полихроматофильных эритроцитах (ПХЭ) костного мозга и нормохроматофильных эритроцитах (НХЭ) периферической крови. Анализ зависимостей доза–эффект выполнен с применением регрессионного анализа в пакетах прикладных программ АБ-СТАТ (версия 1.1) и Microsoft Excel (версия 5.0а).

Повышенные частоты цитогенетических повреждений обнаружены как у экспонированных лабораторных мышей, так и у диких мышевидных грызунов на протяжении 10 лет мониторинга, или в течение 22 поколений животных [3].

Впервые доказана обусловленность частот цитогенетических повреждений малыми дозами радиационного воздействия в диапазоне от фоновых величин и выше. Так, установлена статистически значимая зависимость индивидуальных частот АХ и Пп клеток у лабораторных мышей и рыжих полёвок от индивидульных уровней удельной активности инкорпорированных радионуклидов в диапазоне 4–145410 Бк/кг, мощности поглощенной дозы 2–730 мкГр/сут и поглощенной дозы 0,02–7,3 сГр. Результаты такого анализа данных для популяций рыжей полёвки в каждом году исследований приведены в таблице. При этом полёвки всех исследуемых популяций были объединены в одну группу в пределах каждого года исследований; таким образом, в каждой исследуемой группе были объединены животные одних и тех же послеаварийных поколений. Существенная зависимость частот АХ и Пп клеток от радиационной нагрузки у животных была обнаружена и в отдельно взятых популяциях [3]. Аналогичные данные получены и для МЯ-ПХЭ и МЯ-НХЭ [4].

Таблица 1

Зависимость частоты АХ от радиационной нагрузки у рыжей полёвки

Год	Кол-во живот-ных	Концентрация РН		Мощность дозы		Поглощенная доза	
		Диапазон концентра-ций, Бк/кг	Коэффи-циент детерми-нации	Диапа-зон мощ-ности, мкГр/сут	Коэффи-циент детерми-нации	Диапа-зон доз, мГр	Коэффи-циент детерми-нации
1986	42	38 – 24844	0,13*	6 – 670	0,13*	0,4 – 73	0,22*
1987	35–36	3959–145410	0,17*	205 –615	0,17*	3 – 30	0,23**
1988	38–43	58 – 385810	0,07	3 – 730	0,12*	0,2–267	0,03
1991	32–41	5 – 20736	0,48**	3 – 132	0,23**	0,2 – 11	0,31**
1996	37	4 – 2911	0,27**	2 – 46	0,15*	0,3 – 23	0,37**

* – $P<0,05$ и ** – $P<0,01$

Согласно последней информации по риску возникновения раковых и нераковых заболеваний у переживших атомную бомбардировку, существенные эффекты острого облучения наблюдаются в диапазоне 0.005–0.2 Зв [1]. Наши данные демонстрируют эффекты хронического облучения в значительно меньшем диапазоне [2–4]. Помимо этого, нами впервые установлено, что в ряду облучаемых поколений животных сохраняется зависимость частот цитогенетических повреждений в соматических клетках от малых доз облучения [3].

Форму зависимости цитогенетических эффектов от радиационной нагрузки в ряде

случаев можно было бы описать линейным уравнением (при достоверных коэффициентах детерминации). Однако все данные лучше аппроксимировались полиномиальной функцией. Нелинейная форма зависимости доза–эффект, по-видимому, есть следствие работы ряда восстановительных систем на различных биологических уровнях [3, 4].

Для сравнения эффективности острого и хронического облучения рыжие полёвки из двух хронически облучаемых популяций были дополнительно подд_я сравнения эффективности ос^{137}Cs, 5.4 Р/мин). Полученные линейные зависимости доза–эффект в диапазоне 10–100 сГр для МЯ-ПХЭ были экстраполированы в область малых доз. Установлено, что наблюдаемые при хроническом облучении частоты МЯ-ПХЭ значительно превышают ожидаемые величины при остром облучении...

....хронического облучения по сравнению с острым. Во-вторых, возможно, что кривые доза–эффект в диапазоне малых доз значительно отличаются от прямой линии, установленной в области средних и высоких доз острого облучения. Следовательно, некорректно проводить линейную экстраполяцию. И в-третьих, более высокие эффекты хронического облучения по сравнению с острым могут быть следствием генетического груза и генетической нестабильности, накопленных в хронически облучаемых популяциях.

Литература

1. Preston D. Recent findings on cancer and non-cancer risks in the atomic bomb survivors // Book of abstract of the 2nd Intern. Symp. «Chronic Radiation Exposure: Possibilities of Biological Indication», Chelyabinsk, Russian Federation, March, 14–16, 2000. – P. 37.

2. Goncharova R.I. Attempt to predict genetic consequences of the Chernobyl catastrophe // Intern. Conf. «One Decade After the Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident», Vienna, 8–12 April, 1996. – P. 138–141.

3. Рябоконь Н.И. Генетический мониторинг мышевидных грызунов из загрязненных радионуклидами районов Беларуси: Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Мн.: 1999. – 24 с.

4. Goncharova R.I., Ryabokon N.I., Smolich I.I. Biological effects of low-dose chronic irradation in somatic cells of small mammals // Proc. of the 9th Annual Conf. «Risk Analysis: Facing the New Millennium», Rotterdam, October 10–13, 1999. – P. 710–714.

Динамика генетических процессов в хронически облучаемых популяциях мелких млекопитающих

Н.И. Рябоконь, Р.И. Гончарова, И.И. Смолич, Н.П. Капитанова, Н.В. Никитченко

Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь. г. Минск, Беларусь

Dynamics of genetic processes in chronically irradiated populations of small mammals. The distinctive features of dynamics of mutagenesis in mammalian populations under chronic low-intensive irradiation were first revealed. The main of them is gradual increase in mutability in somatic cells and embrional lethality during series of irradiated generations of animals (bank vole – Clethrionomys glareolus). The data obtained strongly suggest that there are oppositely directed processes in natural populations after irradiation of more than 20 generations of animals: on the one hand, accumulation of mutations (genetic load of populations) and pre-mutation events which increase genome instability of germ and somatic cells in consecutive generations of animals, and on the other, formation of genetic radioadaptation through better functioning protection systems. In this period of microevolution in chronically irradiated populations, the frequencies of genetic damages could be higher if the radiation adaptation doesn't form.

Для предсказания генетических последствий хронического низкоинтенсивного ионизирующего облучения и разработки систем защиты популяций от негативных эффектов необходимо знание закономерностей динамики мутационного процесса в ряду поколений животных при хроническом облучении.

Целью данной работы было изучить особенности динамики мутационного процесса и формирование генетической адаптации в природных популяциях мелких млекопитающих (Европейская рыжая полёвка – *Clethrionomys glareous, Schreber*) при хроническом внешнем и внутреннем облучении малыми дозами вследствие загрязнения среды обитания после аварии на Чернобыльской АЭС.

Для проведения длительного мониторинга были выбраны 4 больших лесных участка с ограниченной деятельностью человека и вдали от возможных источников химического загрязнения [1–3]. Стационары (ст.) с 1 по 4, расположенные на различном расстоянии от ЧАЭС, представляли градиент по плотности радиоактивного загрязнения (8, 18, 220 и 1526 кБк/м^2 по ^{137}Cs) и, соответственно, по дозовым нагрузкам на животных. В течение всего периода наблюдений облучение исследуемых популяций имело низкоинтенсивный характер (максимальная мощность поглощенной дозы до 3 мГр/сут), а поглощенные дозы находились в диапазоне малых (не превышали 5 сГр у большинства особей). Внешнее облучение, а также внутреннее инкорпорированными ^{137}Cs и ^{134}Cs вносили основной вклад в поглощенную дозу. Несмотря на существенное увеличение к 1996 г. биологической доступности трансурановых элементов и ^{90}Sr, вклад этих радионуклидов в общую поглощенную дозу оставался намного меньше внешнего гамма-облучения. За период наблюдений радиационная нагрузка на животных постепенно и существенно снизилась. Так, мощность поглощенной дозы с 1986 по 1996 г. уменьшилась в 2–15 раз.

Согласно нашим данным, в исследуемых популяциях происходила полная смена не менее 2 поколений животных в год. Таким образом, с 1986 по 1998 г. мы изучили

приблизительно 26 послеаварийных поколений. Уровень мутабильности соматических клеток животных оценен по частоте аберраций хромосом (АХ) и полиплоидных (Пп) клеток (метафазный метод), а также микроядерных полихроматофильных эритроцитов (МЯ-ПХЭ) в костном мозге и микроядерных нормохроматофильных эритроцитов (МЯ-НХЭ) в периферической крови.

У полёвок в послеаварийный период обнаружен повышенный уровень мутабильности пролиферирующих клеток костного мозга. Так, частоты АХ и Пп клеток у 1–22-го облучаемых поколений животных на территориях с различной плотностью радиоактивного загрязнения были соответственно до 7 и 300 раз выше фоновых частот и доаварийных уровней (0.41 и 0.04%). Для всех исследуемых популяций установлены общие закономерности динамики мутационного процесса. В частности, показан рост частоты АХ пролиферирующих соматических клеток вплоть до 22-го облучаемого поколения животных; частота Пп клеток увеличивалась до 12-го поколения с последующим снижением к 22-му поколению. Динамика эмбриональной летальности также характеризовалась постепенным ростом (вплоть до 22-го поколения животных) [1–3]. Увеличение уровня мутабильности в течение смены многих поколений животных при снижающихся дозовых нагрузках свидетельствует о более высокой чувствительности геномов соматических и половых клеток каждого последующего поколения животных к низкоинтенсивному облучению и, по-видимому, обусловлено ростом генетического груза в популяциях и нестабильности геномов [1–3].

О росте из поколения в поколение животных чувствительности соматических клеток к повреждающему действию ионизирующей радиации могут свидетельствовать наши данные с дополнительным острым облучением. Во-первых, было обнаружено, что при относительно низкой дозе острого гамма-облучения (10 сГр, 5.4 Р/мин, источник – ^{137}Cs) у 23–24-го послеаварийных поколений полёвок на ст. 2 прирост частоты МЯ-ПХЭ был значительно выше, чем у предыдущих 21–22-го поколений. Во-вторых, у животных на этой территории с низкой плотностью радиоактивного загрязнения и при адаптирующей дозе острого облучения 10 сГр не было выявлено реакции «адаптивный ответ» на повреждающую дозу 100 сГр, что может быть следствием плохой или напряженной работы индуцибельных восстановительных систем у исследуемых животных при малых дозах острого облучения.

В то же время в наблюдаемых популяциях одновременно с ростом мутационного процесса было обнаружено формирование генетической радиорезистентности к 21–26-му послеаварийному поколению. В частности, чистый эффект дополнительного острого облучения (прирост частот МЯ-ПХЭ при 10–400 сГр) был значительно ниже у полёвок, обитающих на территории с высокой плотностью радиоактивного загрязнения (ст. 4), по сравнению с животными на участке с низкой плотностью загрязнения (ст. 2). Эти данные могут быть доказательством большей генетической радиорезистентности популяций, обитающих тельством большей генетической радиорезистентности популяций, обитагнутыми меньшим радиационным нагрузкам. Помимо этого, в эксперименте с высокими дозами дополнительного острого облучения (50 и 100 сГр) было обнаружено снижение индуцированной частоты МЯ-ПХЭ в ряду с 21–22-го по 25–26-ое поколение животных, что свидетельствует о росте радиорезистентности в хронически облучаемых популяциях.

Увеличение радиорезистентности в исследуемых популяциях может идти по пути естественного отбора особей с лучшим функционированием репаративных систем и механизмов биологической защиты тканей. Функционирование индуцибельной защитной системы «адаптивный ответ» было зарегистрировано у 23–24-го хронически облучаемых поколений рыжей полёвки при относительно высокой адаптирующей дозе острого облучения 50 сГр и последующей повреждающей дозе 100 сГр. Кроме этого, у 21–22-го послеаварийных поколения полёвок, обитающих на территориях с различной плотностью радиоактивного загрязнения (ст. 1–4), зарегистрированы неожиданно низкие частоты МЯ-НХЭ в периферической крови по сравнению с МЯ-ПХЭ в кроветворной ткани (костный

мозг), что может свидетельствовать о высокой эффективности функционирования биологических механизмов защиты тканей от неполноценных созревающих клеток с цитогенетическими повреждениями.

Таким образом, в популяциях мелких млекопитающих после хронического низкоинтенсивного облучения более 20 поколений животных наблюдаются противоположно направленные процессы: с одной стороны, накопление мутаций (генетический груз популяций) и предмутационных событий, которые увеличивают генетическую нестабильность соматических и половых клеток в ряду поколений животных, а с другой стороны, формирование генетической радиоадаптации через лучшее функционирование защитных систем. В этот период микроэволюции в хронически облучаемых популяциях частоты генетических повреждений могли быть выше при отсутствии процессов радиоадаптации.

Литература

1. Goncharova R.I., Ryabokon N.I. Dynamics of cytogenetic injuries in natural populations of bank vole in the Republic of Belarus // Radiation Protection Dosimetry. – 1995. – Vol. 62, № 1/2. – P. 37–40.

2. Goncharova R., Riabokon N. Results of long-term monitoring of animal populations chronically irradiated in the radiocontaminated areas // Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by the accident. Report of an Intern. collaborative work under the research grant of the Toyota Foundation in 1995–1997 / Ed. by Imanaka T. – Research Reactor Institute, Kyoto University, 1998. – P. 194–202.

3. Гончарова Р.И., Рябоконь Н.И. Биологические эффекты в природных популяциях мелких грызунов на радиационно-загрязненных территориях. Динамика частоты аберраций хромосом в ряду поколений европейской рыжей лесной полевки // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – Т. 38, вып. 5. –С. 746–753.

Анализ полиморфных повторов, фланкирующих ген FMR-1, в исследовании синдрома ломкой X хромосомы

К.А. Моссэ Г.Л. Цукерман

НИИ Наследственных и Врожденных Заболеваний Министерства Здравохранения Республики Беларусь, г.Минск Беларусь

Polymorphic repeat analysis of FMR-1 alleles in fragile X syndrome study. Flanking microsatellite markers and their association with instability of the FMR-1 (CGG)n repeat, involved in the fragile X syndrome, were analyzed in DNA samples from Belarus population. Comparison of DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2 haplotype frequencies in the normal and expanded alleles suggested strong linkage disequilibrium between normal alleles and haplotype 7-3-4+ and between fragile X alleles and haplotype 2-1-3. Due to the high heterozygosity the studied microsatellite markers can be effectively used for the indirect prenatal diagnosis of the fragile X syndrome.

Синдром ломкой X хромосомы (СЛХ) является результатом динамической мутации - экспансии полиморфной тандемной (CGG)n последовательности, находящейся в 5'-

нетранслируемой области FMR-1 гена на участке Xq27.3 [1]. В зависимости от количества CGG повторов X хромосома может нести нормальный FRAXA аллель (5-60 повторов), аллель с премутацией (60-200 повторов) или с fra(X) мутацией (>200 повторов). Процесс перехода аллелей из нормального состояния в премутантное является наименее изученным и в то же время наиболее важным для возникновения и развития СЛХ. Особый интерес касающийся как механизма так и факторов влияющих на первоначальную экспансию CGG повторов, уделяется на современном этапе исследований аллелям с числом повторов от 41 до 60, для которых используется термин «промежуточные» аллели [2]. Возможно, что они обладают несколько меньшей мейотической стабильностью чем обычные аллели и именно в них происходит первичное накопление тринуклеотидных повторов из поколения в поколение и соответствующее уменьшение стабильности при наследовании.

Для оценки предполагаемых механизмов возникновения и поддержания в популяции различных мутационных изменений также используется анализ сцепления мутантных аллелей с близкорасположенными полиморфными ДНК маркерами. Большинство исследований по происхождению синдрома ломкой X хромосомы включали использование DXS548, FRAXAC1, и FRAXAC2 полиморфных маркеров фланкирующих ген FMR-1.

Анализ гаплотипов нормальных и мутантных хромосом среди различных популяционных групп показал, что большинство fra(X) аллелей демонстрирует неравновесное сцепление только с небольшим числом DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2 гаплотипов [3-6]. В европейских популяциях выделяют две основные группы гаплотипов имеющих неравновесное сцепление с мутацией, и представляющих два различных пути развития нестабильности [7]. Первая группа включает единственный DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2 гаплотип **2-1-3** обнаруженный в 14% мутантных хромосом, а также в большинстве аллелей с числом повторов от 41 до 60. Вторая группа встречается в 30% случаев fra(X) (гаплотипы **6-4-4** и **6-4-5**). Однако было выявлено отсутствие сцепления данных гаплотипов с промежуточными аллелями.

Материалы и методы исследования

В качестве исследуемого материала использовались геномная ДНК выделенная из лейкоцитов периферической крови и экстрагированная из пятен крови высушенных на фильтровальной бумаге S&S N2992 (Schleicher and Schuell).

Амплификацию ДНК маркеров DXS548, FRAXAC1 и FRAXAC2 проводили в одной мультиплексной реакции по методике Eichler et al. [7]. Для ПЦР использовали три пары флуоресцентно меченных праймеров с различными молекулами «репортера» FAM, NED и HEX.

Для анализа продуктов ПЦР использовали автоматический капиллярный электрофорез в генетическом анализаторе ABI PRISM 310 (ABI/Perkin Elmer). Трехцветная флуоресценция позволяла идентифицировать сигнал соответствующий каждому из трех ДНК-маркеров. Анализ данных и определение аллелей выполняли с помощью компьютерных программ GENESCAN 672 и GENOTYPER (ABI/Perkin Elmer). Аллели обозначались по общепринятой номенклатуре порядковыми цифрами в зависимости от длины продукта ПЦР [3].

Результаты и их обсуждение

Микросателлитные повторы проанализированы в 189 нормальных X хромосомах, 22 хромосомах с «промежуточными» аллелями и 9 мутантных хромосомах. В нормальных хромосомах выявлено 35 различных DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2 гаплотипов (Рис 1).

В таблице 1 показано распределение основных гаплотипов по классам CGG повторов. Из результатов видно, что распределение имеет существенные различия среди нормальных аллелей и аллелей с экспансией. С другой стороны, все гаплотипы хромосом с fra(X) мутацией ассоциированы также и с «промежуточными» повторами. Вероятно, что некоторые FRAXA аллели сцепленные с определенным гаплотипом обладают меньшей стабильностью и имеют больший риск развития мутации при передаче из поколения в поколение. Увеличение числа CGG повторов в таких аллелях, до достижения ими размеров премутации,

проходит постепенно хотя для различных гаплотипов скорость экспансии может быть неодинаковой. В зависимости от этого одни гаплотипы накапливаются в группе «промежуточных» аллелей (**2-1-3**), другие встречаются с незначительной частотой (**6-4-5, 8-3-4+**).

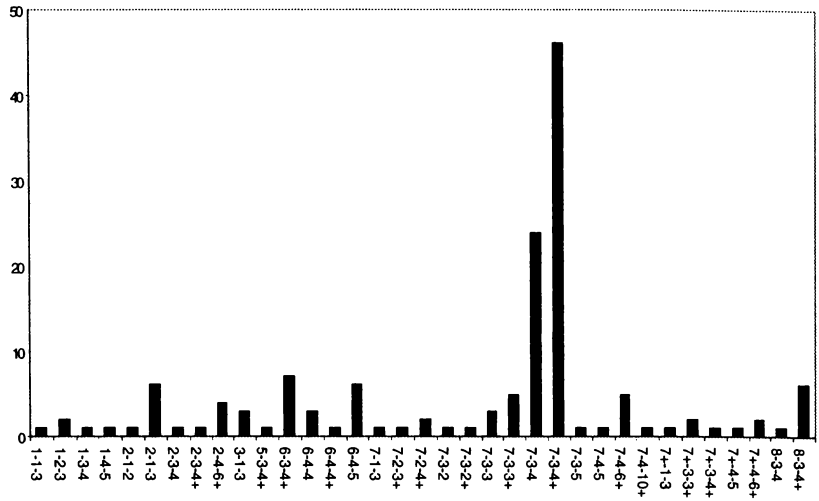


Рис 1. Частота гаплотипов в 189 нормальных X хромосомах

Таблица 1

Распределение основных гаплотипов по классам CGG повторов

DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2	нормальные аллели		«промежуточные» аллели		мутантные аллели	
гаплотип	5-40 CGG		41-60 CGG		›200 CGG	
	N	%	N	%	N	%
1-1-3	1	0,5	1	4,5	0	0,0
2-1-2	0	0,0	1	4,5	0	0,0
2-1-3	4	2,1	5	22,5	3	33,3
3-1-3	2	1,0	3	13,5	1	11,1
2-4-5+	0	0,0	1	4,5	0	0,0
2-4-6+	3	1,5	2	9,0	1	11,1
6-4-4	3	1,5	2	9,0	0	0,0
6-4-5	6	3,2	1	4,5	1	11,1
7-3-4	24	12,6	1	4,5	0	0,0
7-3-4+	90	47,4	4	18,0	2	22,2
8-3-4+	6	3,2	2	9,0	1	11,1
другие	50	26,3	0	0,0	0	0,0
всего	189	100,0	22	100,0	9	100,0

Анализ DXS548-FRAXAC1-FRAXAC2 гаплотипов, обладающих высокой гетерозиготностью, также может эффективно использоваться для проведения непрямой диагностики синдрома ломкой X хромосомы, в том числе и пренатальной.

Литература

1. Oberle I., Rousseau F., Heitz D.// Science 1991; Vol252: P1097-1102.
2. Murray A., Youings S., Dennis N.// Hum. Mol. Genet. 1996. Vol.6. P.727-735
3. Richards RI, Holman K, Friend K, Kremer E, Hillen D, Staples A, Brown WT, Goonewardena P, Schwartz C, Sutherland GR.// Nat Genet 1992; 1, 257-260.
4. Oudet C, Mornet E, Serre JL, Thomas F, Lentes-Zengerling S, Kretz C, Delushat C, Tejada I, Boue J, Boue A, Mandel JL.// Am J Hum Genet 1993; 52, 297-304.
5. Hirst MC, Knight SJL, Christodoulou Z, Grewal PK, Fryns JP, Davies KE.// J Med Genet 1993; 30, 647-650.
6. Jacobs PA, Bullman H, Macpherson JN, Youings SA, Rooney V, Watson A, Dennis NR.// J Med Genet 1993; 30, 454-459.
7. Eichler EE, Macpherson JN, Murray A, Jacobs PA, Nelson DL.// Hum Mol Genet 1996, Vol 5, 3, 319-330.

РАДИОБИОЛОГИЯ

Муцинпродуцирующая функция и количество экзокриноцитов в двенадцатиперстной кишке при хроническом воздействии малых доз радиации

М.Н. Зезюльчик

Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

Mucin-producing function and amount of exocrinocytes after chronic exposure to the small radiation doses. Chronic exposure to incorporated radionuclides resulted in a decrease of goblet fraction among epitheliocytes, depression of their mucin-producing function, leading to the thinning of mural mucosal layer on the surfaces of duodenal villi.

Загрязнение окружающей среды, продуктов питания, питьевой воды радиоактивными веществами создает реальные предпосылки для длительного энтералыного проникновения радионуклидов в организм человека и постоянного воздействия на клетки и ткани малых доз ионизирующей радиации. Эта проблема имеет особую значимость для населения нашей страны, в связи с широким распространением в среде обитания радиоактивных. Основными дозообразующими радионуклидами при их оральном поступлении в организм человека являются ^{137}Cs – 74.2%, ^{90}Sr – 24.3% [3].

В условиях хронического орального поступления радионуклидов происходит постоянное облучение тканей пищеварительного тракта, что может явиться причиной разнообразных морфофункциональных нарушений. В структуре заболеваемости все больший удельный вес занимают болезни органов пищеварения, а дети всех возрастных групп в связи с процессами развития отличаются особой чувствительностью к действию радиации. Отмечено увеличение в несколько раз инкорпорации радиоцезия в организме детей, что, вероятно, привело к росту заболеваемости у них органов пищеварения и в 1994-1995 годах она вышла на первое место [1, 2]. Таким образом, изучение биологических эффектов малых доз радиации составляет актуальную проблему современной биологии и медицины. Особый интерес приобретает моделирование таких состояний у животных.

Бокаловидные экзокриноциты представляют собой одноклеточные железы в слизистой оболочке тонкой кишки. Муцины, вырабатываемые этими клетками, выполняют не только механическую (продвижение пищи), но и защитную функцию в кишечном эпителии. В связи

с этим была поставлена цель изучить влияние инкорпорированных радионуклидов на количество бокаловидных экзокриноцитов в слизистой оболочке 12-перстной кишки и их муцинпродуцирующую функцию у крысят 3-х групп: 1-ая – крысята, родившиеся от самок, находившихся на чистом рационе (контрольная); 2-ая – крысята, родившиеся от самок, находившихся на спецрационе (получали радиоактивное зерно из расчета 15 г/сут. на животное, удельная активность по 137Cs – 428.74 Бк/кг при ПДУ – 185 Бк/кг, по 90 Sr – 97.69 Бк/кг при ПДУ – 3.7 Бк/кг) с 1-го дня беременности до родов; 3-я - крысята, родившиеся от самок, находившихся на спецрационе во время беременности и в течение подсосного периода, и которые продолжали получать радиоактивное зерно при переходе на дефинитивное питание. Забой животных проводился с помощью эвтаназии на 15-ые (препубертатный период развития), 45-ые (пубертатный) и 90-ые сутки развития (половозрелый). Забирался материал 12-перстной кишки, фиксировался в растворе Карнуа, заливался в парафин, на микротоме изготавливались срезы толщиной 10 мкм и окрашивались по Шабадашу. Этот метод выявляет нейтральные мукополисахариды (НМПС) и по их локализации определялось расположение бокаловидных клеток, подсчитывалось их количество. Морфометрические данные статистически обрабатывались с помощью ЭВМ.

В эпителии слизистой оболочки 12-перстной кишки контрольных групп бокаловидные клетки наиболее многочисленны в основании крипт, а по направлению к верхушке ворсинок количество, размер и секреторная активность их уменьшалась.. На 15 сутки развития бокаловидные клетки немногочисленны, при переходе на дефинитивное питание их количество значительно возрастало как в криптах, так и в ворсинках (табл.1). В экзокриноцитах крипт НМПС располагались в надъядерной области и клетка имела типичную шаровидную форму. В эпителии ворсинок размер бокаловидных клеток уменьшался и они принимали более вытянутую призматическую форму. НМПС постоянно выявлялись в поверхностной слизи, что может говорить о сбалансированности процесса синтеза и экструзии муцинов.

Таблица 1

Количество бокаловидных клеток в слизистой оболочке 12-перстной кишки крысят в различные сроки после рождения при инкорпорации радионуклидов

Груп-пы	15-ые сутки		45-ые сутки		90-ые сутки	
	ворсинка	крипта	ворсинка	крипта	ворсинка	крипта
1-ая	9,9+0,52	6,2+0,47	35,2+0,96	31,9+2,17	38,9+1,48	31,4+2,01
2-ая	7,9+0,31	5,9+0,32	29,4+1,24*	27,2+0,85	33,7+1,26*	30,4+0,74
3-ая	8,6+0,75	6,8+0,19	27,3+1,11*	24,5+0,47*	30,1+1,26*	27,9+1,44*

Примечание: * - показатели, достоверно отличающиеся от контрольных ($p<0.05$).

В опытных группах отмечено снижение содержания НМПС не только в бокаловидных клетках, но и в просвете крипт и в пленке поверхностной слизи. Подсчет бокаловидных клеток показал, что у опытных животных 3-ей группы на 45-ые и 90-ые сутки развития по сравнению не только с контрольной, но и со 2-ой группой отмечено снижение их количества как в криптах, так и в ворсинках (таблица 1). Во 2-ой группе животных отмечается тенденция к увеличению количества экзокриноцитов при переводе на чистое питание. Однако, эти показатели не достигают контрольного уровня. Снижено незначительно и содержание НМПС как в самих бокаловидных клетках, так и в пленке слизи.

Следовательно, при хроническом воздействии инкорпорированных радионуклидов уменьшается количество бокаловидных клеток среди эпителиоцитов, угнетается их муцинпродуцирующая функция, что приводит к истончению пристеночного слоя слизи на поверхности ворсинок 12-перстной кишки. Однако, при переводе животных на чистое питание наблюдается частичное восстановление количества экзокриноцитов и содержания в

них НПМС. Уменьшение количества бокаловидных клеток, угнетение их муцинпродуцирующей функции при инкорпорации радионуклидов может быть результатом задержки дифференцировки клеток и снижения при этом их секреторной активности.

Литература

1. 1.Динамика показателей общей заболеваемости среди детей Гомельской области в 1986-1992 годах / Т.В. Блетько, А.В. Кулькова, И.А. Тутковский, Е.В. Улановская // Материалы междунар. научной конф., посвященной 5-летию образования Гомельского Государственного мединститута, Гомель, 9-10 ноября 1995 г. - Гомель, 1995. - С. 5-6.

2. Содержание радионуклидов и некоторых токсических веществ в организме детей и подростков Беларуси / Кенинсберг Я.Р., Петрова В.С., Бондарев М.Н., Головнева А. А. // В кн.: Патоморфоз хронических гастритов у детей и подростков, подвергшихся комбинированному радиационно-химическому воздействию / Материалы научных исследований 1991-1994 гг. -Минск, 1995. - С.51-74.

3. Possibility of monitoring internal radiation doses in the heavily contaminated zone at the late stage of the Chernobylm accident / Repin V.S., Bondarenko O.A., Novak N.I, Tsygankov N.I., et al // Pap. Workshop Intakes radionucl.: Occup. and Public Expos. Avignon, Sept. 15-18, 1997. - Radiat. Prot. Dosim. - 1998. -Vol.79.N 1-4. - P. 183-186.

Некоторые показатели иммунитета у клинически здоровых детей с повышенным титром антител к тироглобулину, проживающих в районах с низким уровнем радиактивного загрязнения

Н.С. Парамонова

Государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь

Some indexes of immunity at clinical healthy children with the raised level of antibody to thyroglobuline, living in areas with a low level of radioactive contamination. Antibody to thyroglobuline (Ab TG) was defined in 420 clinical healthy children, living in areas with a low level of radioactive contamination. The day before the analyses all the children hadn't any acute or intensification of chronic diseases.

High level of antibodies (more, than 40 t. e.) was established in 5,47% of residents.

The children with high level of antibodies had very low indexes of proliferation after stimulation by lipoprotein of lymphocytes preactivated by lipopolisacharydes.

В динамике 1990-1995 годов заболеваемость аутоиммунным тироидитом у детей в республике Беларусь возросла почти в 3 раза (3). Эта тенденция сохраняется и в настоящее время. Центральной задачей экологической иммунологии на современном этапе является донозологическая диагностика нарушений иммунитета под влиянием различных факторов у практически здоровых людей (4). Выявление этих изменений позволяет прогнозировать развитие того или иного заболевания. Известно, что воздействие малых доз радиации приводит к появлению в крови антител, реагирующих с аутоантигенами различных органов и тканей. Например, в сыворотке крови 33% здоровых ликвидаторов выявлены антитела к

тироглобулину и микросомальной фракции щитовидной железы (1). В некоторых районах, пострадавших от аварии на ЧАЭС, обнаружены особые нарушения антитироидного аутоиммунитета, так называемое субклиническое антителоносительство, которые можно расценить как начальные проявления нестохастического воздействия малых доз радиации на щитовидную железу (2).

Целью нашей работы было изучение некоторых показателей иммунитета у клинически здоровых детей с повышенным титром антител к тироглобулину из регионов с различным уровнем радиоактивности.

Титр антител к тиреоглобулину (Ab_TG) был оценен у 420 детей 6-18 лет случайным образом отобранных в 10 населенных пунктах Беларуси. На момент обследования дети не имели острых инфекционных заболеваний. Хронические болезни, выявленные у обследованных, были вне обострения.

Повышенный титр Ab_TG (более 40 т.е.) определялся у 23 детей, что составило 5.47%. Ни один ребенок из этой группы ранее не обращался за медицинской помощью по поводу нарушений со стороны щитовидной железы. При клиническом осмотре у этих детей не было выявлено никаких проявлений эндокринных заболеваний.

Повторное обследование на наличие антител к тиреоглобулину было проведено через 3-4 месяца после первого 92 детям (основная группа), в том числе 21 ребенку с установленным при первом обследовании повышенным титром Ab_TG. С учетом результатов обоих исследований дети основной группы были распределены на 4 группы. Первую группу составили 56 детей, титр Ab_TG в крови у которых по результатам двух определений не превысил 30 т.е. Во вторую группу вошло 15 детей, у которых при первом обследовании содержание антител было от 30 до 50 т.е., а при повторном – менее 30 т.е. В третьей группе (6 человек) были собраны дети, у которых изначально высокий уровень Ab_TG нормализовался, а в четвертой (15 детей) – остался повышенным.

В пробах крови, полученных при первом заборе, определяли титр антител к тироглобулину и концентрацию иммуноглобулинов (1-е определение Ab_TG). В образцах, полученных время второго забора крови, определяли уровень Ab_TG и некоторые показатели иммунитета: спонтанную пролиферацию Т-лимфоцитов (SP), пролиферацию, стимулированную фитогемаглютинином (FGA), поквидмитогеном (PWM), липополисахаридом (LPS), пролиферацию Т-лимфоцитов, стимулированную тиреоглобулином (SP_TG), пролиферацию, стимулированную тиреоглобулином, клеток преактивированных ФГА (FGA_TG), поквидмитогеном (PWM_TG), липополисахаридом (LPS_TG), пролиферацию, стимулированную модифицированным липопротеином (SP_ML), пролиферацию, стимулированную модифицированным липопротеином, клеток преактивированных ФГА (FGA_ML) и преактивированных поквидмитогеном (PWM_ML), пролиферацию, стимулированную модифицированным липопротеином, клеток, преактивированных липополисахаридом (LPS_ML).

Положительно титр антител коррелирует только с уровнем иммуноглобулина G. С показателями, характеризующими пролиферативный ответ лимфоцитов, связи устойчиво отрицательные.

У детей с высоким титром антител снижен пролиферативный ответ Т- и В-лимфоцитов на стимуляцию модифицированным липопротеином, особенно стабильной является реакция клеток, преактивированных липополисахаридом. Тироглобулин также подавляет пролиферацию Т-лимфоцитов, преактивированных липополисахаридом.

При анализе связей между динамикой титра антител к тиреоглобулину и характеристиками иммунитета установлено, что устойчивость аутоантителобразования достоверно зависит от следующих показателей:

- пролиферации, стимулированной ФГА (Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks test: H=11.96 p=0.007),
- пролиферации, стимулированной тиреоглобулином, клеток преактивированных

ФГА (Median Test, Overall Median = 3.43, Chi-Square = 8.136, p =0.043),

- пролиферации, стимулированной модифицированным липопротеином, клеток преактивированных липополисахаридом (Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks test, H=9.11, p=0.028),
- соотношения пролиферативной активности, стимулированной тиреоглобулином, клеток преактивированных поквидмитогеном к интенсивности пролиферации, стимулированной поквидмитогеном (Median Test, Overall Median = 1.06, Chi-Square = 9.57, p = 0.022).

Средние значения показателей пролиферационной активности в зависимости от динамики титра антител приведены в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые показатели иммунитета у детей с различной динамикой титра антител

Группы	n	FGA		FGA_TG		LPS_ML		K_TG_PWM	
		M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1 группа	49	5.89	4.23	4.54	2.81	3.62	2.18	1.25	0.59
2 группа	15	6.11	4.07	4.64	2.77	3.21	2.93	0.95	0.33
3 группа	6	1.82	0.81	2.07	0.97	3.18	1.33	1.31	0.15
4 группа	14	4.98	3.42	3.62	1.56	2.06	1.16	1.21	0.67
Все	84	5.49	4.02	4.23	2.61	3.26	2.20	1.19	0.55

Наиболее низкие показатели пролиферации, стимулированной ФГА и тироглобулином, определяются у детей 3-й группы (с изначально высоким титром Ab_TG, который нормализовался ко второму обследованию). Только в этой группе средняя пролиферативная активность после стимуляции TG лимфоцитов преактивированных ФГА была выше, чем после стимуляции одним фитогемаглютинином. Кроме того, у представителей этой группы наиболее высокий ответ В-лифоцитов на стимуляцию тиреоглобулином.

У детей со стабильно высоким титром антител (4-я группа) были самые низкие показатели пролиферации после стимуляции липопротеином лимфоцитов преактивированных липополисахаридом. В целом изменения иммунных показателей у представителей 3-й и 4-й групп были идентичны.

Литература

1. Иммунология / Е.П.Киселёва, Л.С.Косицкая, О.И.Кузьменок, М.П.Потапнёв. – 1998. - № 6. – С. 29.

2. Касаткина Э.П., Шилин Д.Е. Радиационная патология щитовидной железы у детей и подростков //Пробл. Эндокринол. – 1997. - № 4. – с.24-29.

3. Леонова Г.А., Астахова Л.Н. // Здравоохранение Беларуси. – 1998. - № 5. – С. 30-34.

4. Петров Р.В., Хаитов Р.М. Пинегин Б.В. и др. // Иммунология. - 1995, N 2 - с. 4-5.

Зависимость радиопротекторных способностей некоторых растений от уровня накопления радионуклидов

Т.А. Катулина, Л.В. Николайчук, И.В. Зубец

Брестский государственный университет им. А.С.Пушкина, г. Брест, Беларусь

The dependence of radioprotectoral guallities of some plants on the level of accumulation of radionuclides. Incorporated radionuclides in fluence the process of peroxide oxidation of lipids in plants. The reactions of adaptation developes to the certain level of radionuclides to the given type of plants. This plants using as radioptotectors displays advanced effectivness.

Лекарственные растения и композиции из них являются потенциальными радиопротекторами природного происхождения. Выявление эффективных природных средств основывается на механизмах развития лучевых поражений.

В условиях техногенного загрязнения обширных территорий сами растения подвержены влиянию вредных факторов. В этой связи существует проблема возможности использования лекарственных растений, произрастающих на территориях с радиоактивным загрязнением. Актуальным является изучение хронического действия понизирующей радиации на растительные организмы, что характерно для районов, попавших в зону Чернобыльского действия.

Особенно важным является аспект, касающийся влияния инкорпорированных в растение радионуклидов на содержание в нем антиоксидантных веществ, что является важной характеристикой фитосырья как радиопротектора и определяет эффективность применения в лечебно-профилактических целях лекарственного сырья из районов радионуклидного загрязнения при обязательном радиометрическом контроле.

В нашей работе исследовано влияние различного уровня радионуклидов цезия – 137, включенных в растения крапивы двудомной и иван-чая узколистного, на способность этих растений проявлять радиозащитное действие нормализуя процессы перекисного окисления липидов в крови облученных животных.

В опыте сухие размолотые растения крапивы двудомной (Urtica dioica) и иван-чая узколистного (Chamerion andustifolium), выросшие в чернобыльской зоне, использовали как добавку к пищевому рациону крыс после острого облучения 2 Гр в течение 1 месяца из расчета 3 ч на 1 кг массы животного в сутки. Животные были распределены на 8 экспериментальных групп: 1 – интактные животные; 2 – облучение; 3, 4, 5 – облучение + крапива двудомная; 6, 7, 8 – облучение + иван-чай узколистный (таблица 1). Показатели изучали через 30 дней после облучения (крыс декапитировали). Для оценки радиопротекторной способности растений изучали состояние ПОЛ в крови крыс /1, 2/.

Таблица 1

Показатели ПОЛ в сыворотке крови крыс при гамма-облучении на фоне приема фитопротекторов

Группы живот-ных	Вид растения	Удельная активность растения, Бк/кг	МДА, нмоль/л	АОАв-в, л/мл мин.	МДА, %	АОАв-в, %
1	-	-	67,2 ±3,3	1,50±0,16	100	100
2	-	-	96,6±6,7	0,60±0,05	144	40
3	Крапива двудомная	120	54,4±3,2	1,42±0,09	81	95
4	Крапива двудомная	750	64,0±4,5	2,05±0,10	95	137
5	Крапива двудомная	4346	89,6±4,4	0,81±0,05	133	54
6	Иван-чай узколистный	117	57,6±3,4	1,48±0,09	86	97
7	Иван-чай узколистный	334	73,2±5,8	1,52±0,11	109	101
8	Иван-чай узколистный	7643	80,0±5,6	0,76±0,05	119	51

Применение у облученных крыс растений оказало выраженный радиозащитный эффект. На фоне приема фитопротекторов процессы ПОЛ в крови животных имели тенденцию к нормализации (наиболее эффективны растения крапивы двудомной с удельной активностью 750 Бк/кг). Вероятно данный уровень радионуклидов соответствует стадии адаптации в растении, что сопровождается активацией антиоксидантной системы. Развитие ответной реакции растений на облучение не имеет линейной зависимости от удельной активности нуклидов (крапива двудомная – 4346 Бк/кг) радиозащитные способности уменьшаются, хотя состояние системы ПОЛ в растениях остается нормальным, что говорит о высокой адаптационной способности растений. Результаты исследований совпадают с концепцией физико-химической регуляции ПОЛ /4/.

Литература

1. Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Украинский биохимический журнал. 1985. Т.57. № 3. С.50-52.

2. Мартынюк В.Б., Ковальчук С.Н. Индекс антиокислительной активности биологического материала // Лабораторное дело. 1991. № 3. С.19-22.

3. Катулина Т.А., Шурхай С.Ф., Николайчук Л.В. Оценка системы перекисного окисления липидов лекарственных растений с различным уровнем накопления цезия – 137 // Веснік Брэсцкага універсітэта 2000, № 2. С.50-52.

4. Бурлакова Е.Б. Исследование памяти / Под ред. Н.Н.Корж. – М.: Наука. – 1990. – С.146-153.

Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и солей тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат растений гороха

Н.В. Гончарова

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, г.Минск, Беларусь.

Effect of Ionizing Iradiation and Hevy Metals on the potosynthetic. apparatus of pea plants.Toxic metal contamination is nowdays one of the most serious problems with great incidence on human health and the environment. As a consequence of mining and other industrial activities, municipal wastes and sewage, toxic metals like Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg and As are being accumulated at toxic levels in soil and water. The biosynthesis of chlorophyll in pear leaves was studied in the conditions of combined action of low (0.01-1.5Gy) γ - radiation doses and low (10^{-5}) concentration of Pb and Cd ions. The paper considers the mechanism of strengthening or weakening of radiation effects at combined actions.

Проблема количественной оценки биологических эффектов комбинированного воздействия факторов разной природы является одной из наиболее сложных. В то же время решение практических задач охраны окружающей среды требует создания прочной научной основы для оценки экологического риска комбинированного воздействия и разработки соответствующих количественных критериев и методов, которые носили бы универсальный характер. Сложные разнонаправленные процессы, индуцируемые в клетке комбинированным воздействием факторов различной природы включающие как индукцию систем репарации, так и подавление их работы, способны, в зависимости от их соотношения, формировать самые разные ответные реакции – от антагонизма до синергизма. Подтверждением этого являются многочисленные примеры нелинейного изменения величины и характера отклика биологической системы при изменении порядка, уровней и времени воздействия повреждающих агентов [1,2].

Согласно литературным данным количественным показателем стрессовой нагрузки является содержание хлорофилла (соответственно степень разрушения хлорофилла).

Ранее было показано [3], что в присутствии малых концентраций ионов меди радиостимуляция биосинтеза хлорофилла выражена более четко на уровне превращения хлорофилла *a* в хлорофилл *b*.

С целью изучения биологических эффектов комбинированного действия

γ-излучения и загрязнения тяжелыми металлами было два двухфакторных модельных эксперимента (Pb+γ и Cd +γ) по полной факторной схеме.

Минимальные значения концентрации хлорофилла в листе наблюдались при сочетании максимальной дозы ионизирующего излучения с кадмием и со свинцом в отличной от конторолля концентрации. Интересно отметить, что важный показатель-активность хлорофиллазы-фермета деградпации хлорофилла, достигает максимальных значений при аналогичных сочетаниях действующих факторов. Можно предположить воздействие тяжелых металлов на ферменты метаболизма хлорофилла, в частности на хлорофиллазу, катализирующую этерификацию хлорофиллидов фитолом с образованием хлолфиллов.

Установлено, что свинец и кадмий не оказывают влияния на хлорофиллы *a* и *b* в листьях гороха. Эффект проявляется в сочетании с γ-излучением, причем наиболее

подвержен изменению хлорофилл *a*. Пониженное отношение хлорофилл *a*/хлорофилл *b* (в контроле 2.9; при повреждении 1.7-1.9) свидетельствует о существенном разрушении молекул хлорофилла *a*.

Полученные результаты свидетельствуют о вкладе малых значений экспозиций в отклик биологических систем, что очень важно учитывать при нормировании техногенного воздействия на агроценозы.

Литература

1. Виленчик М.М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда. М.:Энергоатомиздат.1991. 160с.

2. Гераськин С.А, Дикорев В.Г, Удалова А.А, Дикарева Н.С. Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и солей тяжелых металлов на частоту хромосомных аберраций в листовой меристеме ярового ячменя. //Генетика 1996 Т.32.№2. С.279-288.

3. Goncharova N. Effect of Cu^{2+} ions on photosynthetic apparatus of pea plants in the conditions of γ-irradiation // Revue de Cytologie et Biologie vйgйtales, Le Botaniste (1-2).

Цитологическая характеристика альвеолярных макрофагов животных с дисбалансом щитовидной железы при воздействии малых доз радиации

Н.И. Тимохина

Институт радиобиологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Cytological characteristic of alveolar macrophages animals under the conditions of irradiation in small doses. Investigation of bronchial-alveolar wash-outs (BAWO) showed the tendency to increase of absolute number of cells BAWO in all groups of animals. The ratio of subpopulations of macrophages was vividly changed. The difference between monitoring and experimental groups on value of the ratio of neutrophiles content to the number of alveolar macrophages (NL/AM) were minute, as owing to considerable personal deviations, so, is interquartile, and because of absence of cytotoxic properties of the investigated factors in the data low dose irradiation.

Микроскопия легких животных, содержащихся в течение месяца в 10-км зоне ЧАЭС, выявила признаки усиления функциональной активности, что выражалось в гиперплазии реснитчатых эпителиоцитов бронхов и бронхиол. Со стороны сурфактантной системы несколько чаще, чем в контроле наблюдалось отслаивание клеток Клара в просвет бронхиол. Часто в цитоплазме этих клеток отмечалось формирование вакуолей и пузырей, что свидетельствует о высокой активности последних. Обнаруженные незначительные изменения со стороны данной популяции в условиях низких уровней радиационного воздействия и других факторов внешней среды зоны ЧАЭС могут свидетельствовать о возможности репарации и компенсации повреждения. На фоне выявленных изменений в процессе всех сроков наблюдения в легких экспериментальных животных отмечалась умеренно выраженная инфильтрация межальвеолярных перегородок нейтрофилами и лимфоцитами, что приводило к некоторому утолщению альвеолярных

перегородок.Отмеченные эффекты характерны и для животных опытных групп, подвергшихся воздействию факторов зоны ЧАЭС и введению тироксина. Следует отметить, что для этих животных характерна более выраженная лимфоидно-гистиоцитарная инфильтрация межальвеолярных перегородок. Несколько чаще, чем в контроле, и в группах, не подверженных воздействию тироксина, выявлялись периваскулярные, перибронхиальные инфильтраты, состоящие из гистиоцитов, лимфоцитов, макрофагов, плазматических и тучных клеток.

Морфологическое исследование легких животных, пребывающих в зоне ЧАЭС и подвергшихся воздействию тироксина, показало повышение частоты встречаемости альвеолярных макрофагов в просветах альвеол и бронхиол. На основании этого можно думать о неспецифическом действии атмосферных факторов зоны ЧАЭС и тироксина на системы альвеолярных макрофагов. Известно, что способность токсических факторов угнетать синтез бактерицидных и антивирусных соединений в макрофагах повышает риск развития специфических и неспецифических заболеваний легких.

Альвеолярные макрофаги легких (АМЛ) в значительной мере определяют устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды (1, 2, 3). Это обусловлено биологической функцией АМЛ, проявляющейся в фагоцитарной активности, участии в процессах иммунитета, образовании интерферона и других. В сложной экологической обстановке, создавшейся на территории Беларуси в результате чернобыльских событий, когда длительное облучение с малой мощностью дозы сопровождается учащением легочной патологии и снижением уровня адаптативных реакций вследствие дисбаланса тиреоидной системы, актуальным является исследование морфофункционального состояния АМЛ.

Анализ полученных показателей состояния свободных клеточных элементов легкого после воздействия факторов зоны ЧАЭС (суммарная доза – 1,3 Бэр) и тироксина (259 мг/кг в течение 1,5 месяцев) свидетельствует о том, что организм опытных животных в ответ на исследуемые факторы не отреагировал достоверным отклонением значений абсолютного числа клеток бронхоальвеолярных смывов (БАС) и количества альвеолярных макрофагов. Однако, прослеживалась тенденция к увеличению абсолютного количества клеток во всех экспериментальных группах: тироксин, тироксин + зона ЧАЭС, зона ЧАЭС. Так, абсолютное число клеток при воздействии тироксина увеличивалось в среднем на 40%, однако, существенные индивидуальные отклонения позволяют говорить лишь о наметившейся тенденции к повышению этих показателей.

Интенсивность фагоцитарной реакции, отражающая увеличение числа свободных макрофагов, отмечена в группах животных при воздействии тироксина, тироксин плюс факторы зоны ЧАЭС и при длительном нахождении в зоне ЧАЭС животных с нормальной функцией щитовидной железы. При этом более выраженная тенденция к увеличению количества альвеолярных макрофагов было в группе животных, подвергшихся сочетанному воздействию. Этот факт, очевидно, свидетельствует о включении в фагоцитарную активность дополнительных клеток при воздействии исследуемых факторов. О цитотоксических эффектах исследуемых факторов судить не приходится, так как заметных морфологических изменений по сравнению с контролем не выявлено. Акцент внимания на величину проекционной площади ядер альвеолярных макрофагов показал, что площадь ядер увеличивалась на 3 сутки после пребывания в зоне ЧАЭС в группах с воздействием тироксина и тироксин плюс факторы зоны ЧАЭС на 11%-12% соответственно. В другие сроки исследования проекционная площадь ядер альвеолярных макрофагов не изменялась по сравнению с контрольными значениями.

Известно, что размеры ядер прямо пропорционально зависят от функционального состояния клеток и регулируются сложными механизмами, связанными с синтезом нуклеиновых кислот, не входящих в ДНК белков и с изменением содержания воды и солей в кариоплазме. Можно думать, что выявленное увеличение площади ядер альвеолярных

макрофагов через 3, 10, 30 суток после пребывания в зоне ЧАЭС в группах животных тироксин, тироксин плюс факторы зоны ЧАЭС обусловлено изменением функционального состояния альвеолярных макрофагов в ответ на воздействие исследуемых факторов. Возможно, это является защитной фазой реакции клетки. Отсутствие отклонений величин ядер в другие сроки исследования, по-видимому, можно расценивать как отсутствие цитотоксического эффекта.

Светомикроскопическое исследование мазков осадка клеточных элементов легочных смывов, подсчет клеточной формулы и определение процентного соотношения различных клеточных элементов БАС показало, что в контрольных группах макрофаги составляют 88,1 ±6,5% всех вымытых клеточных элементов нейтрофилы - 2,0±1,0 %, лимфоциты - 8,5±1,0%, эпителиальные клетки - 1,5±1,0%. Анализ относительного содержания клеточных форм БАС экспериментальных групп животных показал некоторое увеличение процента альвеолярных макрофагов при воздействии тироксина и радиоэкологических факторов зоны ЧАЭС. При этом, более выраженная тенденция к увеличению количества макрофагов отмечена в группе сочетанного воздействия - тироксин + зона ЧАЭС. Следует отметить, что у этой группы животных несколько возрос уровень нейтрофилов и лимфоцитов, хотя имеются при этом индивидуальные отклонения. Полученные данные, возможно, говорят об экспрессии популяций эффекторов клеточного иммунитета легких, являющейся адаптативным механизмом. В какой -то степени об этом можно судить и по анализу субпопуляций альвеолярных макрофагов, так в группе сочетанного воздействия отмечено увеличение доли малых клеток - молодых макрофагальных форм.

Анализ исследуемого нами показателя отношения содержания нейтрофилов в лаваже к числу альвеолярных макрофагов НЛ\АМ, отражающего на основании экспериментальных материалов, уровень гибели АМ в результате цитотоксичности факторов воздействия, свидетельствует о заметных колебаниях данного показателя. Величина НЛ/ АМ регулируется продуктами разрушения макрофагов, которые отвечают за протекание альвеолярного фагоцитоза на различных ее этапах, в том числе и за компенсаторную мобилизацию нейтрофильных лейкоцитов. Согласно результатам выполненных нами исследований, различия между контрольными и опытными группами по величине отношения НЛ\АМ были незначительными, как вследствие большой вариабельности, так, вероятно, и из-за отсутствия цитотоксических свойств исследуемых факторов в данных дозовых нагрузках.

Литература

1. Мальцев В.Н. Количественные закономерности радиационой иммунологии. – М. 1983. –130 с.

2. 2.Маянский А.Н., Маянский Д.Н. Очерки о нейтрофиле и макрофаге. -Новосибирск, 1983.

3. Фетисова Л. И. Фагоцитарная активность свободных клеточных макрофагов после γ -облучения.//Мед. Радиология. – 1987.- №5.- с. 74 –76.

О механизме радиационноиндуцированного адаптивного ответа клеток млекопитающих

И.А. Боднарчук

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской области, Россия

On the mechanism for radiation induced adaptive response in mammalian cells. The start point of the radiation induced adaptive response in mammalian cells in the frame of mechanism presented in this report is the receptor for growth factor activation due to the increase the microviscosity of plasma membrane containing oxided damage. There are components of the mitogen-activated sygnal transducing pathway which take part in the following processes. The main of them is protein kynase C (PK C). The PK C makes posttranslation modification of the DNA metabolism enzymes and of the transcription factors AP-1 and p53. There are genes taking part in the excision repair and apoptosis among the AP-1 and the p53 targets. AP-1 and p53 can be direct participants at the stage of exision repair when DNA damage is recognized. Thus, the proposed scheme of events is in a good agreement with the contradictory hypotheses which explain the adaptive response: DNA repair induction, either of cell selection, or of the genetic instability in mammalian cells.

Радиационноиндуцированный адаптивный ответ (РАО) проявляется в снижении повреждающего действия высоких доз радиации после предварительного облучения клеток в малой дозе. Несмотря на то, что РАО клеток млекопитающих посвящено большое количество публикаций, его механизм остается неизвестным.

В данном докладе предполагается, что ключом для понимания природы РАО может послужить аналогия между реакцией клеток на действие ростовых факторов и на воздействие малых доз радиации, которые способны стимулировать пролиферацию [1]. Известно, что активация рецепторов соответствующим лигандом обычно сопровождается димеризацией гомологичных субъединиц рецептора [2]. Индуцировать образование гомодимера и тем самым активировать рецептор можно любыми воздействиями, способствующими образованию межбелковых сшивок или увеличению микровязкости мембраны [3]. Увеличение микровязкости мембран наблюдается, например, при возникновении в них окисленных повреждений, индуцированных малыми дозами радиации, соответствующими дозам, индуцирующим РАО [4].

Поскольку пусковым механизмом РАО может быть активация рецепторов ростовых факторов, возможно, что в последующих процессах, приводящих к индукции радиорезистентности, участвуют компоненты пути передачи митогенного сигнала. Передача митогенного сигнала начинается с прикрепления к активированным рецепторам и последующей активации различных белков, среди которых - фосфатидилинозитол 3-киназа, фосфолипаза С и белок Ras [2]. Продукты первых двух активируют протеин-киназу С (ПК С), а Ras запускает каскад событий, завершающихся активацией киназы JNK [5]. Увеличение активности ПК С происходит при облучении клеток в малых дозах [6], индукция же JNK малыми дозами прямо не показана.

Наиболее вероятным механизмом увеличения радиорезистентности клеток при активации JNK и ПК С является их активирующее действие на транскрипционный фактор c-Jun/AP-1. JNK увеличивает трансактивационную активность AP-1 благодаря

фосфорилированию трансактивационного домена последнего [7], а в качестве посредника, передающего сигнал от ПК С к АР-1, по-видимому, функционирует белок c-Fos [8]. Увеличение количества мРНК c-fos наблюдали после облучения клеток млекопитающих дозой 5 сГр [9] – это свидетельствует об участии c-Fos в индукции радиорезистентности.

Сайт связывания АР-1 содержит ген, кодирующий транскрипционный фактор p53 [10], и ген, кодирующий ДНК полимеразу β [11]. После трансляции белок p53 находится в неактивном состоянии, и ПК С активирует его латентную функцию [12]. P53 активирует транскрипцию генов, функционирование которых определяет остановку клеточного цикла в фазе G1 и/или G2, обеспечивая репарацию повреждений ДНК, или вызывает апоптоз, удаляя таким образом из популяции клетки, имеющие повреждения [13]. ДНК полимераза β необходима для функционирования эксцизионной репарации оснований [14], в которой на этапе узнавания повреждений могут непосредственно принимать участие p53 [15] и АР-1 [8,16]. Сайты связывания АР-1 присутствуют в генах c-jun [8] и c-fos [17], стимуляция экспрессии которых, по-видимому, обусловливает усиление и длительное сохранение радиорезистентного фенотипа.

Кроме активации АР-1 и p53, ПК С осуществляет посттрансляционную модификацию ДНК полимеразы α, топоизомеразы I и гистона H1. ДНК полимераза α, по-видимому, участвует в эксцизионной репарации оснований ДНК [14]. Гистон H1 после фосфорилирования приобретает более кислые свойства, вследствие чего ослабляется его связь с ДНК и происходит деконденсация хроматина, что может облегчить работу ферментов репарации и увеличить благодаря этому радиорезистентность клеток. Топоизомераза I также способствует декомпактизации хроматина.

Таким образом, активация рецепторов ростовых факторов малыми дозами радиации через компоненты пути передачи митогенного сигнала вызывает активацию транскрипционных факторов ядра АР-1 и p53, функционирование которых способствует как репарации ДНК, так и апоптотической гибели клеток. По-видимому, получение наиболее радиочувствительными и, следовательно, наиболее поврежденными клетками популяции дополнительного стимула к пролиферации может привести к отягощению популяции неполноценными клетками, которые оказывается предпочтительнее выбраковать с помощью апоптоза. Повышение количества апоптотически гибнущих клеток действительно наблюдается после адаптирующего облучения [18]. В оставшейся, более радиорезистентной фракции клеток, могут активироваться процессы, облегчающие репарацию ДНК (деконденсация хроматина, задержка клеточного цикла), и происходить транскрипционная и посттрансляционная активация ферментов, участвующих в эксцизионной репарации. Значительная роль в РАО именно эксцизионной репарации экспериментально подтверждается [19].

Таким образом, предлагаемая схема событий согласуется с противоречивыми гипотезами, предполагающими, что РАО может быть вызван как индукцией поклеточной репарации ДНК [1], так и клеточной селекцией [18]. Предлагаемому механизму РАО не противоречит и оригинальное предположение, выдвинутое в [20], о том, что РАО может быть артефактом, связанным с повышенной генетической нестабильностью в культуре клеток. Действительно, сверхэкспрессия гена c-fos индуцирует хромосомную нестабильность и мутации [21], поэтому стимуляция его транскрипции фактором АР-1 и посттрансляционная активация белка c-Fos ПКой С действительно может имитировать РАО благодаря усилению генетической нестабильности.

Предлагаемую схему событий нельзя рассматривать как окончательный механизм индукции РАО, поскольку в ее пользу свидетельствуют пока немногочисленные и, главным образом, косвенные экспериментальные данные. Установить механизм РАО интересно как с практической, так и с познавательной точки зрения, и это, вероятно, произойдет в результате последующих целенаправленных исследований.

Литература

1. *Эйдус Л.Х.* // Радиац. биол. Радиоэкология. 1996. Т. 36. Вып. 6. С. 874.
2. *Stephens L.R. et al.* // Biochimica et Biophysica Acta. 1993. V. 1179. P. 27.
3. *Ткачук В.А.*, личное сообщение.
4. *Ginsti A.M. et al.* // Int. J. Radiat. Biol. 1998. V. 74. № 5. P. 595.
5. *Новиков В.С. и др.* // В сб.: Программированная клеточная гибель. / Под ред. В.С. Новикова. СПб.: Наука, 1996. С. 30.
6. *Hasan N.M. et al.* // Radiat. Res. 1996. V. 145. P. 128.
7. *Kaina B. et al.* // Cancer Res. 1997. V. 57. P. 2721.
8. *Angel P. et al.* // Cell. 1988. V. 55. P. 875.
9. *Martin M. et al.* // Radiat. Res. 1995. V. 141. P. 118.
10. *Ginsberg D. et al.* // Oncogene. 1990. V. 5. P. 1285.
11. *Kedar P.S. et al.* // Mol. Cell. Biol. 1990. V. 10. P. 3852.
12. *Chung L.F. et al.* // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1987. V. 145. P. 1376.
13. *Hartwell L., Kastan M.* // Science. 1994. V. 266. P. 1821.
14. *Dantzer F. et al.* // Nucl. Acids Res. 1998. V. 26. № 8. P. 1891.
15. *Wang X.W. et al.* // Nature Genet. 1995. V. 10. P. 188.
16. *Vichi P. et al.* // EMBO J. 1997. V. 16. № 24. P. 7444.
17. *Imler J.L. et al.* // Nature (London). 1988. V. 332. P. 275.
18. *Гильяно Н.Я. и др.* // Радиац. биол. Радиоэкол. 1998. Т. 38. Вып. 5. С. 663.
19. *Ikushima T.* // Mutat. Res. 1987. V. 180. № 2. P. 215.
20. *Wojcik A. et al.* // Radiat. Res. 1993. V. 135. P. 249.
21. *van den Berg S. et al.* // Carcinogenesis. 1993. V. 14. P. 925.

Биохимические и биофизические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов

А.Г. Кудяшева, О.Г. Шевченко, Н.Г. Загорская

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, г.Сыктывкар, Россия

Based on the long-term experience of studying small mammals inhabiting biogeocenoses with increased level of natural radioactivity, a complex research has been conducted. Systems of cell regulation were studied, as well as interrelation between indices of different processes of peroxide oxidation of lipids and dehydration in tissues of mice caught in 1987 – 1993 in 30-km zone of the Chernobyl accident, and on sites with increased γ-background in the Komi Republic in 1981 – 1999.

Опираясь на многолетний опыт изучения мелких млекопитающих, обитающих в биогеоценозах с повышенным уровнем естественной радиоактивности, проведено комплексное изучение состояния систем клеточной регуляции, а также взаимосвязи между показателями разных звеньев процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и дегидрирования в тканях мышевидных грызунов, отловленных в 30-километровой зоне аварии на Чернобыльской АЭС в 1987-1993 гг. и на участках с повышенным γ-фоном в Республике Коми в период 1981-1999 гг.

Повсеместное ухудшение экологической обстановки, в том числе и радиационной, способствует тому, что изучению действия низких доз и мощностей доз ионизирующей радиации уделяется пристальное внимание. В настоящее время не вызывает сомнения необходимость проведения комплексного радиоэкологического мониторинга для прогнозирования состояния природных популяций. Одним из перспективных направлений работы является изучение процессов перекисного окисления липидов, поскольку известно, что усиление этих процессов является одним из ведущих механизмов радиационного поражения. Тем не менее, практически отсутствуют сведения о закономерностях хронического действия радиации в малых дозах на отдельные звенья процессов перекисного окисления липидов и их взаимосвязи в тканях животных из природных популяций. Полагаем, что выявление закономерностей радиационного нарушения регуляции ПОЛ и энергетического обмена в тканях мышевидных грызунов, обитающих на территориях с техногенным загрязнением, будет представлять как теоретическую, так и практическую значимость в целях углубления представлений о механизмах действия малых доз ионизирующего излучения и разработке надежных тестов, позволяющих оценить степень и глубину радиационного воздействия.

Исследования проведены на природных популяциях мышевидных грызунов нескольких видов (полевка–экономка — Microtus oeconomus Pall., полевая мышь — Apodemus agrarius Pall., рыжая полевка — Cletrionomus glareolus Schreb., обыкновенная полевка — Microtus arvalis Pall., желтогорлая мышь — Apodemus flavicollis Melchior.). Отлов животных проводили на стационарных участках с нормальным (контрольный), повышенным (опытные) содержанием естественных радионуклидов (зона средней тайги, Ухтинский район Республики Коми) и на территориях, относительно чистых (районы г.Киев), и загрязненных искусственными радионуклидами (зона отчуждения ЧАЭС). Повышенный в 50-100 раз уровень γ-излучения и увеличенное содержание радионуклидов уранового и ториевого рядов, поступающих в организм зверьков с пищей, водой и при дыхании, обусловливает следующие дозовые нагрузки: от внешнего облучения 3-30 мГр/год, от внутреннего облучения 12-40 мГр/год и от эксхоляции радона-222 в среднем около 13 мГр/год. В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС были выделены семь участков, приуроченные к стациям постоянного обитания мышевидных грызунов и различающихся по мощности дозы внешнего γ-излучения друг от друга до 4 порядков (0.05-500 и 0.02-200 мР/ч в 1986 и 1987 гг. соответственно).

Комплексное изучение состояния систем клеточной регуляции в органах мышевидных грызунов из природных популяций в районах с радиоактивным загрязнением позволило нам установить, что длительное обитание популяций мелких млекопитающих на исследуемых территориях оказывает существенное влияние на процессы ПОЛ и энергетического обмена. При всей сложности интерпретации полученных результатов обнаружено, что у животных, обитающих в условиях радиоактивного загрязнения, происходят фазные изменения биофизических, биохимических показателей, степень выраженности и глубина изменений которых зависят от радиочувствительности вида грызунов; органных и возрастных особенностей; природы исследуемого показателя; от исходного состояния рассматриваемых параметров, определяемых видом, полом, физиологическим состоянием и фазой популяционного цикла; уровня радиоактивного загрязнения и длительности радиационного воздействия. Анализ экспериментального материала позволяет обнаружить определенное сходство и различия в динамике исследуемых параметров в тканях животных при длительном воздействии радиации с малой мощностью по сравнению с острым облучением. К наиболее характерным однотипным изменениям можно отнести следующие эффекты: обеднение органов и тканей антиоксидантами протекает в соответствии с природной радиорезистентностью вида и радиочувствительности органа; изменение состава фосфолипидов и обобщенных показателей липидного обмена, дискоординация процессов дегидрирования и активности ферментов антиоксидантной защиты (Биохимические..., 1997).

При этом обнаружены особенности действия хронического облучения в малых дозах: сложный, немонотонный характер биохимических, биофизических и функциональных изменений в зависимости от мощности внешнего γ-облучения на участках отлова животных; изменение порядка распределения органов по величинам АОА липидов, активности ферментов дегидрирования; масштаб изменения исследуемых показателей в тканях мышевидных грызунов с территорий с техногенным загрязнением, особенно в зоне ЧАЭС, превосходит масштаб изменения этих же показателей в тканях лабораторных животных при облучении их в суб- и летальных дозах; высокая гетерогенность исследуемых параметров, наиболее выраженная в тканях грызунов, обитающих на участках со слабым и средним уровнем радиоактивного загрязнения.

У животных, обитающих длительное время на территориях с техногенным загрязнением отмечены изменения следующих праметров: увеличение доли лизоформ фосфолипидов в липидах печени и селезенки, появление лизоформ в составе фосфолипидов головного мозга; снижение суммарной доли фосфолипидов в составе общих липидов, в том числе уменьшение относительного содержания основных фракций фосфолипидов в липидах печени зверьков; резкие колебания в относительном содержании минорных фракций фосфолипидов в липидах всех изученных тканей; увеличение размаха колебаний обобщенных показателей липидного обмена; увеличение доли легкоокисляемых фракций фосфолипидов в липидах радиочувствительной селезенки, тенденция к падению относительного содержания этих фракций в липидах относительно радиоустойчивых печени и головного мозга; нарушение устойчивых корреляционных связей между содержанием отдельных фракций фосфолипидов в липидах всех тканей; нарушение взаимосвязи между структурой мембраны и окисляемостью ее липидов; разнонаправленный характер изменений активности каталазы печени и общей пероксидазной активности крови, а также угнетение активности СОД эритроцитов; изменение интенсивности ПОЛ в зависимости от радиочувствительности ткани и степени радиоактивного загрязнения участка отлова; наличие существенных отличий в динамике изменения параметров ПОЛ в зависимости от фазы популяционного цикла у контрольных и опытных популяций животных; неодинаковая направленность изменений отдельных показателей у животных, отловленных на участках различных по степени и характеру радиоактивного загрязнения; отсутствие связи между уровнем радиационного фона и глубиной выявленных нарушений.

Совокупность представленных данных позволяет сделать вывод о том, что длительное проживание природных популяций мышевидных грызунов как на участках с повышенным уровнем естественной радиоактивности, так на участках в зоне отчуждения приводит к существенным изменениям в протекании процессов ПОЛ и энергетического обмена, имеющим выраженную радиационную природу. Обнаружены серьезные изменения в составе липидов мембран различных органов, активности ферментов антипероксидной защиты, а также многочисленные нарушения взаимосвязей между различными параметрами ПОЛ. Наиболее чувствительными к длительному действию радиации низкой интенсивности оказались показатели состава фосфолипидов печени и селезенки, активность ферментов дегидрирования, а также супероксиддисмутазы эритроцитов, что позволяет использовать их в качестве тестов на повреждающее действие малых доз ионизирующей радиации. Анализ экспериментального материала позволяет предположить, что состояние системы регуляции ПОЛ и процессов дегидрирования в органах диких грызунов и высокая их чувствительность к хроническому действию радиации низкой интенсивности могут служить основой для раннего прогнозирования биологических эффектов и отдаленных последствий радиоактивного загрязнения в природной среде.

Изменения монооксигеназной системы печени крыс после многократного облучения в дозе 2 Гр

Л.Б. Заводник [1], Л.И. Сушко [1], А.Н. Арцукевич[1], Р.И. Кравчук [2], В.А. Овчинников [2], В.И. Кондаков [3], В.У. Буко[1]

[1]Институт биохимии НАН Беларуси, Гродно, Беларусь
[2]Гродненский государственный медицинский университет, Беларусь
[3] Гродненский государственный аграрный университет, Беларусь

Effect of many fold irradiation with dose of 2 Gy on the monooxigemase function in rat liver. We have studied the effect of low doses of many fold gamma-irradiation on the structure and functions of rat liver microsomes. The experiments were carried out on animals groups: 1, control (without irradiation); 2, irradiation, 2 Gy (0.4 Gy x 5 days). After 1 and 3 days the animals were decapitated and the liver microsomal fraction was isolated by differential centrifugation. Cytochrome b_5 and P-450 content, rates of NADPH- and NADH-oxidation as well as NADPH-cytochrome P-450-reductase activites in liver microsome were significantly decreased for 24 h after irradiation. Microviscosity of microsomal membranes lipid biloyer was lowered after gamma-irradiation.

Гидроксилирующая система печени выполняет две важные функции в живом организме. Некоторые изоформы цитохрома Р-450 катализируют окислительный этап в биосинтезе и биодеградации эндогенных веществ. С другой стороны, монооксигеназная система играет ключевую роль в окислительном этапе биодеградации экзогенных молекул, необходимого для их выведения из живого организма [10].

Первичной реакцией печени на радиационное воздействие является развитие гепатита [1, 3]. Структурные нарушения могут приводить к функциональному дисбалансу [5].

Целью настоящей работы было исследование влияние многократного облучения на биохимические параметры гидроксилирования печени крыс. Изучение динамики восстановления нарушений этих процессов, вызванных малыми дозами радиации, могло бы способствовать патогенетически обоснованному поиску путей коррекции и профилактики гепатотоксических и иных эффектов ионизирующей радиации.

Влияние ионизирующего излучения на метаболизм ксенобиотиков исследовали на белых беспородных крысах-самцах массой 150-200 грамм, содержащихся на стандартном рационе вивария. Крыс облучали на установке для дистанционной гамма-терапии АГАТ-С, исключая взаимную экранизацию животных. Исследования проводились в группах: I - контроль (без облучения), II - многократное γ-облучение в суммарной дозе 2 Гр (0,4 Гр × 5 дней, 1 раз в день). Через 24 и 72 часа после последнего облучения животных декапитировали. Методом дифференциального центрифугирования выделяли микросомы печени крыс [4]. Систему цитохром Р-450-зависимого переноса электронов оценивали с помощью спектрофотометрического определения содержания цитохромов Р-450 и b5 [9], соответствующих оксидазной [6] и редуктазной активностей [7] и гидроксилирующей функции [8] микросом печени крыс. Структуру микросомальных мембран оценивали методом ЭПР-спектроскопии [2].

Облучение животных суммарной дозой 2 Гр вызывало выраженное нарушения микросомальной системы метаболизма гепатоцитов. Содержание цитохромов Р- 450 и $в_5$,

также как и активности соответствующих оксидаз и НАДН- цитохром $в_5$- редуктазы снижалось только в 24 - часовой срок после облучения (табл. 1). Активность НАДФН-цитохром Р-450- редуктазы уменьшалась в оба срока, причем, через 72 часа это снижение было особенно выраженным (примерно в 6 раз). Активности анилин-р-гидроксилазы и МЭОС через 24 часа были существенно меньше контроля, в то время как через 72 часа оставались сниженной только активность амидопирин-N-деметилазы. Активность же анилин-р-гидроксилазы и МЭОС повышалась в этот срок по сравнению с контролем. Адаптивное повышение активности оксидаз и особенно, МЭОС, активация которой наблюдалась в более поздние сроки, очевидно связана с наработкой продуктов перекисного окисления липидов, которые могут метаболизироваться системой микросомальных оксидаз.

Таблица 1

Влияние ионизирующего облучения на показатели монооксигеназной систем в печени после многократного (0,4 × 5, 1 раз в день, в суммарной дозе 2Гр) облучения.

Показатель	Контроль	24 часа	72 часа
Цитохром Р-450 (нмоль/мг)	0,75 ± 0,06	0,27 ± 0,02*	0,83 ± 0,09
Цитохром $в_5$ (нмоль/мг)	0,40 ± 0,05	0,25 ± 0,01*	0,43 ± 0,03
НАДФН оксидаза (нмоль/мг/мин)	5,30 ± 0,39	2,95 ± 0,33*	6,19 ± 0,36
НАДН оксидаза (нмоль/мг/мин)	6,56 ± 0,44	2,75 ± 0,26*	6,74 ± 0,44
НАДФН редукт. (мкмоль/мг/мин)	0,63 ± 0,07	0,54 ± 0,04*	0,11 ± 0,01*
НАДН редукт. (мкмоль/мг/мин)	12,33 ± 1,13	9,28 ± 0,72*	13,7 ± 1,1*
Амидопирин-N-деметилаза (нмольНСОН/ мг/мин)	14,65 ± 0,41	12,32 ± 0,31	9,73 ± 0,21*
Анилин-N - гидроксилаза (нмоль/мг/мин)	1,01 ± 0,05	0,79 ± 0,06*	1,66 ± 0,06*
МЭОС (нмоль/мг/мин)	173,3 ± 8.9	143,6 ± 14*	223,5 ± 21*

Примечание: * $p<0,05$ по отношению к контрольной группе

Мы оценивали состояние микросомальной мембраны, после воздействия радиации, по поведению парамагнитных зондов на основе доксильных производных стеариновой кислоты, имеющих нитроксильную группу в 5 и 12 положении углеводной цепи, соответственно. Многократное облучение практически не меняет параметр S для зонда C_5 и несколько повышает этот показатель для зонда C_{12}. Нарушение белок-липидных контактов сопровождается уменьшением параметра τ или возрастанием вращательной подвижности зондов в мембране. Это означает уменьшение микровязкости липидной компоненты в местах расположения нитроксильного фрагмента зондов C_5 и C_{12}. Воздействие малых доз радиации приводит к нарушениям, в основном, гидрофобных участков фосфолипидного бислоя микросомальной мембраны, её молекулярной упаковки и, следовательно липид-липидных связей, а также белок-липидного взаимодействия на этом уровне организации мембраны.

Проведённые комплексные исследования структуры и функции печени крыс при облучении позволили выявить целый ряд морфо-функциональных изменений при воздействии радиации. Отмечено резкое снижение основных показателей монооксигеназной системы печени после многократного облучения в дозе 2 Гр. Частичное восстановление системы к 72 часам эксперимента говорит о значительности компенсаторных механизмов системы гомеостаза. Нарушение белок-липидных связей, в данном случае, свидетельствует об изменениях во взаимодействии фосфолипидов и интегрально встроенных белков в мембрану. Для микросомальной мембраны одним из таких белков может быть цитохром Р-450. Поэтому подобные изменения могут привести к существенному нарушению детоксикационной функции микросомальной мембраны.

Таким образом, печень, основной орган поддержания внутреннего гомеостаза организма, претерпевает ряд существенных изменений при воздействии малых доз радиации.

Литература

1. Бурлакова Е.Б., Голощапов А.Н., Горбунова Н.В.//В кн. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоросье человека. Под ред. Бурлаковой Е.Б.- М.1996. С. 149-180.
2. Добрецов Г.Е. Флуоресцентные зонды в исследовании клеточных мембран и липопротеинов.- М.: Наука 1989. С. 277.
3. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля. М.- ALARA. Limited. 1994. 446с.
4. Карузина И.И., Арчаков А.И. // Современные методы в биохимии/ Под ред. В.Н. Ореховича. - М.: Медицина, 1977. - С. 49-61.
5. Маркевич Л.Н. Радиац. биол. Радиоэкол.-1998- Т. 38, N 4 - С. 542 - 546.
6. Gillette J.R. // Ann. N.Y. Acad. Sci. - 1972. - V. 179. - P. 43-66.
7. Kato R., Gillette R. // J. Pharmacol. Exp. Ther.-1965.- Vol. 150.-P. 279-284.
8. Nash I. // J. Biochem. Pharmacol.- 1973. Vol. 22 P. 1573-1580.
9. Omura T., Sato R., Cooper D.Y. // Fed. Proc. - 1965. - V. 24.- P. 1181-1187.
10. Levis D.E.F., Pratt J.M. Drug Metabol. Rev/-1998 - V.30, N4- P. 739-786

Влияние многократного гамма облучения в дозе 2 Гр на показатели перекисного окисления в печени крыс

И.Б. Заводник[1], Л.Б. Заводник[1], С.С. Чумаченко[1], В.А. Овчинников [2], В.И. Кондаков [3], В.У. Буко [1]

[1]Институт биохимии НАН Беларуси, Гродно, Беларусь
[2]Гродненский государственный медицинский университет, Беларусь
[3] Гродненский государственный аграрный университет, Беларусь

Effect of many fold gamma-irradiation with dose 2 Gy on lipid peroxidation in rat liver. We have studied the effect of many fold gamma-irradiation on lipid peroxidation. The experiments were carried out on animal groups: 1, control (without irradiation); 2, irradiation, 2 Gy (0.4 Gy x 5 days). After 1 and 3 days the animals were decapitated and the liver microsomal fraction was isolated by differential centrifugation. The alanin- and aspartat-aminotransferase activities increased for 24 h after irradiation in rat serum. The intensity of NADPH-induced chemoluminescence, diene conjugates and MDA content increased in rat liver microsomes. The stimalation of lipid peroxidation can be one of the patogenic effects of low-dose gamma-irradiation

Функциональная роль печени как центрального органа, поддерживающего гомеостаз, имеет решающее значение в развитии многих патологических процессов. Длительное время печень считалась относительно радиорезистентным органом [1]. Однако исследования последних лет показали, что в гепатоцитах после облучения наступает ряд ультраструктурных нарушений. Первичной реакцией печени на радиационное воздействие является развитие гепатита, причем явления гепатита прогрессируют в отдаленные сроки после радиотерапии [2]. В свою очередь, цитохром Р-450-зависимая система микросом печени является важнейшим источником свободных кислородных радикалов, инициирующих процессы липопероксидации в организме. Одним из патобиохимических факторов поражения организма при ионизирующем излучении может является активизация свободно-радикальных процессов [3].

В связи с этим нами была поставлена задача, исследовать влияние многократного облучения на активность маркёрных ферментов сыворотки крови и перекисное окисление липидов в микросомах печени крыс.

Влияние ионизирующего излучения на свободнорадикальные процессы исследовали на белых беспородных крысах-самцах массой 150-200 грамм, содержащихся на стандартном рационе вивария. Крыс облучали на установке для дистанционной гамма-терапии АГАТ-С, исключая взаимную экранизацию животных. Исследования проводили в 2 группах: I - контроль (без облучения), II - многократное γ-облучение в суммарной дозе 2 Гр (0,4 Гр × 5 дней, 1 раз в день). Через 24 и 72 часа после последнего облучения животных декапитировали. Методом дифференциального центрифугирования выделяли микросомы печени крыс [4]. В плазме крови крыс определяли активность маркёрных ферментов ципатолиза: аланиновую - и аспарагиновую-трансферазу [5]. Исследовали активность системы перекисного окисления липидов (ПОЛ) крови и микросом печени по содержанию малонового диальдегида (МДА) [7] и диеновых коньюгатов (ДК) [6], а также активность свободно-радикальных процессов, оцениваемую по интенсивности НАДФН-индуцированной хемилюминесценции, усиленную люминолом.

Применение многократного облучения суммарной дозой 2 Гр приводит к повышению уровня АлАТ и АсАТ через 24 часа после последнего облучения и нормализации обоих маркерных ферментов через 72 часа после воздействия (табл. 1).

Полученные данные свидетельствуют о проходящем повреждении печени под влиянием многократного воздействия малых доз радиации в виде повреждения мембраны, приводящем к умеренному цитолизу. Восстановление исходной активности АсАТ и АлАТ через 72 часа после облучения указывает на прекращение процессов лизиса гепатоцитов к этому сроку.

Таблица 1

Влияние ионизирующего облучения на активность сывороточных ферментов и НАДФН-стимулированную хемилюминесценцию микросом печени, усиленную люминолом крыс после многократного облучения в дозе 2 Гр (0,4 х 5, 1 раз в день)

Показатель	Контроль	24 часа	72 часа
АЛТ (ммоль/л х ч)	0,27 ± 0,02	0,37 ± 0,01*	0,21 ± 0,05
АСТ (ммоль/л х ч)	0,56 ± 0,02	0,68 ± 0,02*	0,61 ± 0,05
НАДФН-стим. хемилюм. (тыс. имп./мин/0,1 мг белка)	183,2 ± 12,6	187,0 ± 2,0	261,9 ± 7,3*

Примечание: во всех таблицах * P<0.05 относительно контрольной группы

При облучении дозой 2 Гр (0,4 Гр × 5 дней) НАДФН - зависимая хемилюминисценция микросом печени, усиленная люминонолом и свидетельствующая об образовании синглетного кислорода в результате наработки свободных кислородных радикалов в системе цитохрома Р-450, не изменяется через 24 часа и усиливается только к 72 часам (табл. 1).

Наработка конечных продуктов перекисного окисления липидов: МДА и диеновых коньюгатов также увеличивается после многократного облучения. Однако, если максимум содержания МДА после облучения в дозе 1 Гр и 2 Гр приходится на 24 часа, то наибольшее содержание диеновых коньюгатов приходится на 72 часа (табл. 2).

Полученные результаты указывают на выраженный прооксидантный эффект многократного облучения в дозе 2 Гр в микросомах печени экспериментальных животных.

Таблица 2

Влияние ионизирующего облучения на свободнорадикальные процессы в микросомах печени после многократного облучения в дозе 2 Гр (0,4 х 5, 1 раз в день)

Показатель	Контроль	24 часа	72 часа
ДК (нмоль/мл)	11,1 ± 1,4	14,8 ± 1,7	19,3 ± 2,2*
МДА (нмоль/г)	60,6 ± 6,6	106,1 ± 18,9*	38,1 ± 1,4*

Таким образом, многократное гамма-облучение оказывает умеренный прооксидантный эффект. Активация наработки свободных радикалов проявляется во все исследуемые сроки. Угнетение микросомальных систем, связанных с цитохромами в5 и Р-450 в более короткие сроки и при большей дозе, очевидно, являются защитной реакцией, снижающей наработку свободных радикалов этими гемопротеинами в условиях внешнего облучения. Это явление вызывает особую тревогу в неблагоприятных экологических условиях загрязнения окружающей среды и постоянного стресса, в случае возникновения гепатопатологии и необходимости лекарственной терапии, когда требуется максимальная активация всех ферментных систем защиты организма.

Литература

1. Бурлакова Е.Б., Голощапов А.Н., Горбунова Н.В. // В кн. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье человека. Под ред. Бурлаковой Е.Б.- М.-1996. С. 149-180.

2. Иванов И.И., Балабуха В.С., Романцев Е.Ф., Федорова Т.А. Обмен веществ при лучевой болезни.- М. 1956. С. 251.

3. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля. М.- ALARA. Limited. 1994. 446С.

4. Карузина И.И., Арчаков А.И. // Современные методы в биохимии / Под ред. В.Н. Ореховича. - М.: Медицина, 1977. - С. 49-61.

5. Колб В.Г., Камышников В.С. Справочник по клинической химии.- Минск: Беларусь, 1982.- С. 366.

6. Rechnagel R.O., Ghosol A.K. Nature. - 1966. - Vol. 201. - P. 1162 - 1163.

7. Uchigama M., Michara M. Anal. Biochem. - 1978. - Vol. 86. - P. 271 - 278.

Чувствительность потомков мышей к действию канцерогенов после хронической урановой интоксикации родителей

С.Н. Сушко

Институт радиоэкологических проблем Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

The sensitivity of mice progeny to influence of carcinogens after chronic uranium intoxication of parents. It's showed that the sensitivity of the mice progeny to the combine radiation-chemical influence is increased after the mice-parents intoxication by the uranium. This increased sensitivity of the mice progeny is realized in the increased of the number lung adenomas after combined radiation-chemical influence.

Проблема изучения наследуемых последствий воздействия ионизирующей радиации на животных имеет многолетнюю историю, в том числе изучение радиационных последствий у потомков как одного облученного родителя, так и обоих, но стала предметом интенсивных научных исследований в последние годы, когда ионизирующее излучение превратилось в глобальный экологический фактор, влияние которого особенно возросло после аварии на Чернобыльской АЭС.

Облучение в малых дозах вызывает нестабильность генома, которая наследуется в поколениях клеток. Поэтому отдаленные эффекты малых доз могут быть обусловлены не столько непосредственными повреждениями ДНК, сколько индукцией наследуемых нарушений [1, 2, 3]. Исследованиями состояния здоровья детей, рожденных от отцов, участвовавших в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, а также детей, постоянно проживающих на загрязненных территориях, показана высокая распространенность морфо-функциональных и патологических отклонений [4, 5]. Эти изменения могут быть как результатом радиационных повреждений генеративных клеток родителей, так и модификации чувствительности организма к факторам окружающей среды, в том числе и природной радиоактивности.

Изучено влияние ураниловой интоксикации мышей на чувствительность их потомства к сочетанному воздействию облучения и канцерогена (уретана) по тесту аденомы легкого.

Использованы самцы и самки мышей линии Af двух возрастных групп (половозрелые и неполовозрелые, в возрасте 3–3,5 недель), которые в течение 3,5 месяцев пили раствор азотнокислого уранила $UO_2(NO_3)_2 \times 6H_2O$ в концентрации 100 СДК. Через 3,5 и 6 месяцев от окончания питья у части мышей родительских групп регистрировали опухоли в легких. Часть животных после окончания питья уранила из группы неполовозрелых мышей, а также контроль, отсаживали на 7-10 дней для спаривания. Потомков как интактных животных, так и мышей после ураниловой интоксикации в возрасте 10 недель облучали гамма-излучением в дозе 0,35 Гр, вводили уретан, а также подвергали сочетанному облучению в аналогичной дозе и введению уретана (через час после облучения, источник ^{60}Co). Контролю вводили равное количество физиологического раствора. Подсчитывали количество аденом/мышь и процент мышей с аденомами. Коэффициент взаимодействия определен отношением полученного сочетанного радиационно-токсического эффекта к вычисленному аддитивному.

Показано, что эффект опухолеобразования в лёгких при длительном поступлении уранила в организм мышей зависит от возраста. Бластомогенез, вызванный радиационно-токсическим воздействием уранила, выявлен у молодых мышей: через 3,5 мес. после воздействия существенно повысилось число мышей с опухолями, через 6 мес. – частота аденом на мышь. У половозрелых животных изменений в опухолеобразовании не обнаружено даже при увеличении длительности наблюдений до 6 мес.

У потомства мышей, получавших уранил, спонтанная частота опухолей была значительно повышена (на 63 %) по сравнению с аналогичным показателем интактного контроля (Рис.1).

Мыши, родители которых подвергались хроническому воздействию азотнокислого уранила, обладают повышенной чувствительностью к действию излучения и уретана. Последнее проявляется увеличением как количества животных с аденомами, так и частоты аденом на мышь.

При облучении потомков интактных мышей количество животных с аденомами составило 24,1 %, тогда как у потомков мышей после ураниловой затравки и облучения аналогичный показатель увеличивался вдвое. Частота аденом при воздействии уретана на потомство интактных мышей составила 4,77 аденомы/мышь, при воздействии на потомков ураниловых мышей - 8,78.

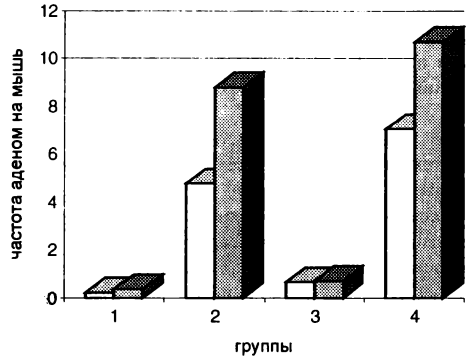


Рис.1. Частота аденом у первого поколения мышей интактных и затравленных уранилом родителей (потомство интактных родителей показано белым цветом, потомство затравленных уранилом родителей – серым)

Группы:

1. *контроль (спонтанный уровень опухолеобразования у потомков интактных и затравленных уранилом родителей);*
2. *уретан;*
3. *облучение 0,35 Гр;*
4. *облучение + уретан.*

Сочетанное воздействие облучения и уретана на потомков ураниловых мышей значительно повысило частоту опухолей в легких по сравнению с аналогичным воздействием на потомство интактных животных (соответственно 10,70 и 7,05). Коэффициент взаимодействия, достигающий величины 1,2, свидетельствует о синергическом характере действия канцерогенных факторов.

Рост детской заболеваемости, отмечаемый в последние годы, может быть не только следствием современной экологической ситуации, но и результатом вредных для здоровья воздействий, полученных их родителями после Чернобыльских событий и отягощенных неблагоприятными экологическими факторами, в том числе и природной радиоактивностью.

Литература

1. Batra B.K., Shridharan B.N. // Acta Univ. Int. Contra Cancrum. 1964. V.20. P.1181-1186.

2. Нефедов И.Ю., Нефедова И.Ю., Палыга Г.Ф. // Радиационная биология. Радиоэкология. 1996. Т.36, вып.6. С.912-920.

3. Пелевина И.И., Готлиб В.Я., Кудряшова О.В. и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. 1996. Т.36, вып.4. С.546-560.

4. Коренев Н.М., Бориско Г.А., Комарчук Л.В. и др. Променева диагностика, променева терапия.: Зб. наук робіт Асоціаці радіологів України. Вып.1. Київ. 1997. С.24.

5. Балева Л.С., Сусков И.И., Сипягина А.Е. и др. // Тез.докл. 3 съезда по радиационным исследованиям. Пущино. 1997. Т.2. С.91-92.

Комбинированное действие селена и α-токоферола на процессы развития постлучевых изменений в гемокапиллярах яичника белой крысы

О.Н. Аблековская

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

The selen and α-tocopherol combined action on development processes of postradiation changes in blood capillaries of ovary of white rat. It's shown the most important modificating influence of selen and α-tocopherol combined action on condition of blood capillaries of ovary of animals (white rat), which have been irradiated in ante- and early postnatal period of organism's development.

Цель исследования - оценить влияние минерало-витаминного комплекса (селенита натрия и α-токоферола) на состояние гемокапилляров яичника 30-сут крысят в условиях облучения их в пре- и раннем постнатальном периодах.

В соответствии с целью исследования беременные животные были разделены на следующие опытные группы:

1.контрольные (беременность, роды и лактация протекали в стандартных условиях вивария);

2.крысы, беременность и период лактации которых проходили в условиях пролонгированного облучения в суммарной дозе 1,0 Гр (цезий-137, мощность дозы $3{,}08\times10^{-7}$ Гр/с) на фоне введения минерало-витаминного комплекса «Vesel-Vitamin E + Selen» (витамин Е в дозе 2,361 мг/кг и Na_2SeO_3 в дозе 0,105 мг/кг в сутки);

3.крысы, которые подвергались пролонгированному облучению без введения минерало-витаминного комплекса.

Исследуемый материал - яичник - фиксировали в 2,5% растворе глютаральдегида на фосфатном буфере (pH 7,2 - 7,4) с последующей обработкой в 1% растворе четырехокиси осмия на том же буфере; обезвоживали в спиртах возрастающей концентрации и заливали в эпон. Срезы изготавливали на ультратоме «LKB» (Швеция). Изучение и фотографирование выполняли на электронном микроскопе «JEM - 100 CX» (Япония) при рабочем увеличении в 5800 раз.

Статистическую обработку результатов проводили пользуясь основными положениями теории вероятности и математической статистики, общепринятыми при обработке результатов исследований биологических объектов с использованием статистического пакета «Статистика для Windows».

Анализ данных, полученных в результате исследования, указывает на значительные изменения, которые возникают в кровеносных капиллярах (КК) яичника в условиях пролонгированного облучения животных в пре- и раннем постнатальном периодах развития (поглощенная доза 1,0 Гр). В большей степени они касаются органелл эндотелиоцитов. Так, количество митохондрий, определяющих процессы энергообеспечения клеток гемокапилляров яичника, в этом случае уменьшается на 27% ($p<0{,}001$). При этом в ряде эндотелиоцитов число этих органоидов варьирует в широких пределах. Если в одних клетках выявляются 2 митохондрии, то в других их количество достигает 8. Причиной сокращения

численности этих органелл под влиянием облучения является развитие в них деструктивно-дегенеративных процессов, проявляющихся в неравномерном расширении внутрикристного пространства с образованием вакуолей, нарушающих правильную ориентацию крист, их деформацию и разрушение. Несомненно, что наличие указанных нарушений части митохондрий, приводящее к их убыли, может способствовать истощению энергетических возможностей эндотелиоцитов микрососудов, не смотря на то, что в патологический процесс вовлекается далеко не весь хондриом клетки.

В системе трансэндотелиального переноса веществ клеток КК в условиях облучения также обнаруживаются заметные сдвиги. Общее количество микровезикул по сравнению с контролем уменьшается на 33% ($p<0,001$). Отмечается при этом и убыль мембраносвязанных пиноцитозных пузырьков - люминальных (на 36%; $p<0,001$) и базальных (на 33%; $p<0,001$), что, несомненно, свидетельствует о снижении функциональной активности люминальной и базальной поверхностей КК.

Цитоплазматические пузырьки также вовлекаются в процесс радиационного повреждения. Сокращение этой фракции достигает 34% ($p<0,001$).

Необходимо заметить, что для данного возраста животных (30 сут) транспортная система эндотелиоцитов КК яичника представлена и такими специализированными образованиями как фенестрации, что, вероятно, свидетельствует о начале созревания структурных компонентов яичника и об усилении их гормональной активности.

Определенные изменения наблюдаются и со стороны ядра, показатель площади которого увеличивается на 20% ($p<0,05$). Это ведет за собой снижение цитоплазменно-ядерных отношений (на 29%; $p<0,05$), определяющих уровень метаболических процессов в клетке. На снижение функциональной активности эндотелиоцитов в условиях длительного облучения указывает и изменения в соотношении диффузного и конденсированного хроматина - увеличение объема траскрипционно инертного гетерохроматина, а также изменения в структуре ядрышек.

Следует отметить, что в условиях пролонгированного облучения мы не наблюдали изменений размеров КК (площадь сечения микрососудов и их просвета остаются на уровне контрольных значений) [1]. Хотя ранее нами было установлено, что пролонгированное облучение в эмбриогенезе приводит к значительному снижению этих показателей. Отсутствие здесь такой тенденции, вероятно, связано с более высокой структурно-функциональной организацией месячных животных по сравнению с 20-суточными плодами.

Представляет особый интерес реакция клеток КК яичника животных, матери которых получали на протяжении всего периода облучения препарат «Vesel» (витамин Е + селенит натрия). В этих условиях имеет место заметная минимизация структурных нарушений, вызванных облучением. Поэтому и количество органелл в клетках сокращается не столь значительно как в случае облучения. Так, общее количество микровезикул уменьшается лишь на 18%, люминальных - на 21%, базальных - на 18%, цитоплазматических - на 17% ($p<0,001$), что практически в 2 раза меньше по сравнению с данными, полученными при облучении. Наибольший интерес представляет показатель численности митохондрий, которые, как известно, являются наиболее отзывчивыми органеллами на воздействие радиационного и других факторов [2]. Характерно, что при введении животным селена с витамином Е численный состав этих органелл остается на уровне контрольных значений.

Количественный анализ указывает также на увеличение в условиях нашего эксперимента как площади ядра, так и площади цитоплазмы, что, вероятно, и является причиной сохранения функциональной активности эндотелиальных клеток на уровне контрольных значений.

Таким образом, применение минерало-витаминного комплекса, содержащего селенит натрия и α-токоферол, на протяжении всего периода облучения нивелирует негативное воздействие радиационного фактора на организм.

Литература

1. Аблековская О.Н., Амвросьев А.П. Реакция кровеносных капилляров яичника на гамма-облучение в плодном периоде онтогенеза // Весці НАН Беларусі. Сер. біялагіч. навук. - 1999. - № 2. - С. 65-68.

2. Stearner A.Ph., Cristian E.J. Late injury to the microvasculature after neutron or gamma-irradiation // Radiation Res. - 1975. - Vol. 62, № 3. - P. 608-609.

Апоптоз и клеточная дифференцировка в тканях диких животных на территориях, загрязненных радионуклидами

В.Ю. Афонин*, К.М. Киреенко**, А.М. Войтович*

**Институт генетики и цитологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск. Беларусь*

***Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г. Хойники. Беларусь*

Apoptosis and cell differentiation in the tissues of wild animals from radiocontaminated regions. Brown frogs and bank voles from the control population and from Gomel Region were used. The increased levels of apoptoietic cells in bone marrow and thymus against control were revealed. The deviations in lymphoid cell death and differentiation were also observed under radiocontamination.

Интерфазная и репродуктивная гибель является одной из основных форм ответа клетки на воздействие факторов внешней среды, в том числе и ионизирующей радиации. В условиях 30-км зоне отчуждения ЧАЭС сложилась радиоэкологическая обстановка, при которой животные накапливают различные уровни радионуклидов.

В качестве объектов исследования были выбраны остромордая лягушка (Rana arvalis Nills) и европейская рыжая полевка (Cletrionomys glareolus, Shcreber). Использовали половозрелых животных, обитающих на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). За условно контрольные территории были приняты побережье Заславского водохранилища (д. Ратомка Минский р-н), а также Березинский государственный биосферный заповедник (Лепельский район, Витебская область).

Анализ клеток костного мозга, селезенки и периферической крови амфибийя, а также клеток костного мозга и тимуса млекопитающих проводили на мазках, прокрашенных по Романовскому-Гимза. Одной из главных особенностей лягушек является сезонная зависимость цитологических показателей для различных органов и тканей.

Цитологический анализ селезенки и костного мозга амфибий после острого облучения (2 Гр) показал, что животные двух групп отличаются по времени максимального выхода клеток с различными признаками гибели. Отмечено также, что такой признак клеточной гибели как фрагментация ядер лейкоцитов в различные сроки наблюдения после облучения и через 24 часа после воздействия колхицина (10 мг/кг) достоверно выше ($P<0.05$) в костном мозге, чем в селезенке. Костный мозг амфибий, в отличие от селезенки, помимо лимфоидной функции отвечает за процессы гранулоцитопоэза. Поэтому можно предположить, что данный признак гибели клеток характерен для досрочной дифференцировки предшественников гранулоцитов, а также для других лейкоцитов, уже прошедших G_1 стадию клеточного цикла.

При исследовании препаратов костного мозга амфибий, обитающих на радиационно загрязненных территориях было установлено уровня клеток с признаками апоптоза (таблица 1). Так, по данным 1997-1999 гг. процент клеток с конденсацией и фрагментацией хроматина (первичные признаки апоптоза) в костном мозге амфибий, отловленных на территории ПГРЭЗ, по сравнению с контролем увеличен в 1,5-2 раза ($P<0.05$). Клетки с конечными признаками апоптоза, характерные для животных, отловленных в ПГРЭЗ, в костном мозге контрольных животных почти не встречаются или отмечаются только в периферической крови.

Таблица 1

Частота клеток костного мозга с первичными признаками апоптоза в костном мозге амфибий

Место Отлова	Количество животных	Количество исследованных клеток	% клеток	
			с конденсацией хроматина	с фрагментацией хроматина
д. Ратомка Минский р-н	40	12949	1,49±0.17	0,69±0.13
д. Дроньки (ПГРЭЗ)	39	9222	1,99±0.18	1,56±0.22
д.Бабчин (ПГРЭЗ)	29	7651	2,81±0,35	1,47±0,31

Преждевременная гибель клеток костного мозга сказывается на количестве гранулоцитов в периферической крови амфибий. Так, у контрольных животных уровень гранулоцитов в периферической крови составил 9,04±0,90%, а у животных ПГРЭЗ — 7,19± 0,47%. Вместе с тем, процессы дифференцировки преобладают при больших уровнях радиационного воздействия (таблица 2).

Таблица 1

Уровень гранулоцитов в периферической крови Rana arvalis, отловленных на территории ПГРЭЗ

Район отлова	Время отлова	Количество животных	^{137}Cs Бк/кг	%, гранулоцитов
д. Дроньки	10.05.98 г	11	18000	5,63±1,62
д.Погонное	10.05.98 г	9	40320	9,44±1,25*
д. Бабчин	20.07.99 г.	13	2937	5,83±0,81
д. Дроньки	20.07.99 г.	13	21444	7,92±0,86*
д. Бабчин	20.09.99 г.	11	2937	6,97±1,56
д. Дроньки	20.09.99 г.	10	21444	10,31±1,70**
д. Бабчин	10.06.00 г.	5	2095	3,38±0,75
д. Дроньки	10.06.00 г.	11	10670	6,46±0,68*
*P<0,05 **P>0,05 для каждой парных выборок животных				

Анализ препаратов клеток тимуса рыжих полевок показал, что у животных, отловленных на территории загрязненной радионуклидами характерно достоверное ($P<0.05$) увеличение апоптоза (фрагментация и конденсация ядер клеток) лейкоцитов по сравнению с животными Березинского заповедника. В костном мозге и тимусе у контрольных животных отмечено также меньше пикнотических клеток, представленных как изолированные мембраной пикнотические ядра. При этом наблюдается обратное соотношение между процессами интерфазной гибели (пикноз) клеток в тимусе и костном мозге у животных, обитающих на территории ПГРЭЗ. В тимусе эти процессы более выражены при увеличении

дозовых нагрузок. Подобная картина может определяться не дозовыми нагрузками на момент исследования, а предыдущим хроническим радиационным воздействием, которое способствует клеточной селекции. Результатом этой селекции и явилось изменение соотношения лимфоидных клеток, обладающих различной радиочувствительностью и дифференцировочным потенциалом.

Различия в процессах клеточной гибели и досрочной дифференцировки лимфоидных клеток могут приводить к значительным искажениям данных цитогенетических исследований, в которых широко используют лимфоциты периферической крови.

Возможность коррекции постлучевых изменений при помощи растительного препарата «ФИТОГОР»

Н.Э. Козловская

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

The possibility of postradiation changes correction with fitomixt «Fitogor». It's shown the influence of the fitomixt «Fitogor» on embriogenesis processes in conditions of acute irradiation in dose 2 Gy in period of organogenesis (2^{th} day of gestation).

Защита развивающегося в эмбриогенезе организма от действия ионизирующей радиации (ИР) является актуальной проблемой.

Первоначально в качестве радиопротекторов использовались в основном токсические химические соединения [1-4], что ограничивает их применение. В настоящее время продолжается поиск новых радиозащитных средств, не обладающих отрицательным влиянием на организм. Можно указать на предложенные в последнее время многочисленные растительные сборы, обладающие радиопротекторными свойствами и, одновременно, не содержащие добавок, отрицательно воздействующих на организм в целом.

Препарат «ФИТОГОР» содержит комплекс растительных лектинов и рекомендуется как радиопротектор.

Целью исследования является изучение возможности коррекции постлучевых поражений при помощи растительного препарата «ФИТОГОР».

Материал и методы исследования

Эксперименты проводились на белых крысах стадного разведения. Животные были разделены на 4 группы: интактные, необлучённые животные получавшие «ФИТОГОР» (контроль), облученные на 11 день беременности в дозе 2 Гр, облучённые в дозе 2 Гр и одновременно получавшие «ФИТОГОР».

Облучение проводилось на установке «ИГУР» с постоянной мощностью дозы 9,0 ×10 -4 Гр /с. Поглощённая доза составила 2 Гр. Животные облучались на 11е сутки беременности (в период активного органогенеза эмбрионов). На 20е сутки гестации животных декапитировали. Исключение составила группа облученных животных, контрольных и интактных животных, оставленных на виварии для решения вопроса о выживаемости потомства в течение первого месяца жизни. 20-суточные плоды фиксировали в нейтральном формалине и определяли массу их тела и теменно-копчиковую длину (ТКД).

Для количественной оценки мутагенного действия облучения подсчитывали

количество живых и погибших эмбрионов (мест резорбции), количество желтых тел беременности, учитывали наличие уродств. Вычислялась общая эмбриональная смертность (ОЭС), предимплантационная (ПРГ) и постимплантационная (ПОГ) гибель плодов.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами установлено, что у животных, получавших «ФИТОГОР» (контроль), по сравнению с интактными, ОЭС уменьшилась на 13%; увеличилось количество живых плодов на одну самку (на 11%), а также снизилась как ПРГ (на 3%), так и ПОГ (в 12 раз). Исходя из этих данных можно предположить, что препарат «ФИТОГОР» оказывает стимулирующее действие на процессы метаболизма развивающихся во внутриутробном периоде зародышей.

Наряду с тем, установлено, что у облученных животных в дозе 2,0 Гр, ОЭС по сравнению с контрольными образцами возросла почти на 14%, ПРГ - более чем на 13% и ПОГ - на 0,4 %. В то же время при сочетанном облучении с приемом препарата «ФИТОГОР» указанные показатели заметно снизились (на 10% и 13% соответственно). Исключение составила лишь ПОГ, которая несколько возросла с приемом препарата.

Что касается массы плодов и их ТКД, то они в условиях облучения и приема препарата несколько снизились, что указывает, очевидно, на возникновение гипопластических процессов в организме развивающегося плода под влиянием облучения и действия препарата.

Клинические наблюдения за развитием крысят после рождения в течение 1 месяца показало, что у контрольных образцов выживаемость достигала 100%, тогда как среди облученных животных смертность составила 5,5%. После облучения имело место развитие аномалий (72,3%), среди которых преобладали двухсторонняя анафтальмия (34%), односторонняя микрофтальмия (7,5%), деформация или отсутствие хвоста (11%) и др. У некоторых животных наблюдались двигательные расстройства.

В периферической крови контрольных крысят количество лейкоцитов в 1 мм3 составило 6,54 тыс., что соответствует данным литературы, а у облученных животных оно резко уменьшилось (на 2,8 тыс/мм3).

При сочетанном действии препарата и облучения наблюдается увеличение количества лейкоцитов и (на 10,3%). Можно полагать, что в условиях приема препарата «ФИТОГОР» происходит активация процессов регенерации в гемопоэтической системе организма. Об этом свидетельствует также возрастание доли лимфоцитов среди исследуемых клеточных элементов периферической крови (около 9% по сравнению с облученными образцами и на 24% по сравнению с интактными).

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что препарат «ФИТОГОР» обладает разнонаправленным фармакологическим действием на развивающийся в антенатальном периоде организм. С одной стороны проявляются его тормозное влияние на процессы роста и развития его структур, а с другой - повышение общей резистентности и выживаемости организма в условиях облучения.

Литература

1. Молекулярные механизмы радиационного нарушения трансмембранного переноса ионов в нервной клетке / Дворецкий А.И., Шаинская А. М., Егорова Е. Г., Герасименко И. В. и др. // Тез. докл. Межд. симп., 9- 12 ноября, Тбилиси. - Тбилиси, 1987. - С. 24-25.

2. Maisin J.R. Chemikal protection against ionising radiation // Anv. Spaice Rex. - 1989. - N 10. - P.205- 210.

3. Cartavas. G. N., Snider S. I., Kalinich J. Y. Radioprotectiv properties of DHA onetilation - disrupting agents // Int. Radiat. Biolog.- 1991 - N 5. - P. 1217 - 1226.

4. Барская В.С., Торуа Р.А., Елистратова Ж.В. Профилактика лучевой болезни, вызванной ионизирующим излучением малой мощности, повторной инъекцией возрастающей дозировки химических радиопротекторов. // Радиобиология. - 1989. - Т. XXLX, вып. 5. - С. 567- 569.

Нарушения регуляции липидного обмена после пренатального низкодозового облучения

Ю.И. Рогов, В.С. Данильчик, Л.В. Спивак., И.Н. Рубченя

Белорусская медицинская академия постдипломного образования,
Институт радиобиологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь,
г. Минск, Беларусь

The disturbances of lipid metabolism regulation after the prenatal low-level irradiation. The objective of this study was to assess the influence of low-level irradiation on lipid metabolism in rats after prenatal exposure. Pregnant rats were irradiated during the period of gestation with the whole final dose 0,5 Gy/rat. The blood lipid fractions were investigated in newborn rats and in 6-month age rats. In irradiated offspring the liposynthesis processes exceeded lipolysis in comparison with that of the control. The negative consequences of embryo low-level irradiation in the lipid metabolism regulation are discussed in this report.

Целью работы явилось изучение процессов липолиза и липогенеза у экспериментальных животных, подвергшихся в период внутриутробного развития действию пролонгированного гамма-облучения в малых дозах. В нормальных условиях в организме существует динамическое равновесие между этими процессами. О взаимоотношении липолиза и липосинтеза в определенной степени можно судить по изменению уровней НЭЖК, ТГ и коэффициента НЭЖК/ТГ.

Материал и методы

Объектом исследования явились половозрелые крысы-самки и их потомство. Крысы-самки средней массой 200 г после однократного спаривания в течение одной ночи были тестированы на наличие беременности и разделены на контрольную и опытную группы. Последняя в течение всей беременности подвергалась внешнему облучению на установке ГАММАРИД (источник цезий-137, мощность дозы 0,001 Гр/ч). За весь период облучения поглощенная доза составила 0,5 Гр/крыса. Наблюдали за течением беременности, родов, постнатальным развитием потомства. Сразу после рождения и в 6-ти месячном возрасте часть крыс была декапитирована. Проводилось макро- и микроскопическое изучение животных, биохимическое исследование их крови. Среди различных показателей определяли содержание неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК), триацилглицеринов (ТГ) и их соотношение методом тонкослойной хроматографии (Данильчик В.С., 1990).

Результаты исследования и их обсуждение

У новорожденных крысят группы пренатального облучения обнаружено достоверное снижение НЭЖК в плазме крови на 43,4 % по сравнению с контрольными животными, а уровень ТГ имел небольшую тенденцию к повышению. В эритроцитарных мембранах новорожденных крысят после облучения показатель НЭЖК почти не изменился, а содержание ТГ возросло на 106,7 % ($p < 0,05$). В результате этих сдвигов отношение НЭЖК/ТГ оказалось у экспериментальных животных сниженным как в плазме, так и в эритроцитарных мембранах (на 44,2 % и 49,5 % соответственно). То есть процессы липосинтеза у новорожденных крысят, перенесших пролонгированное низкодозовое облучение во внутриутробном периоде, повышены по сравнению с контрольной группой.

У облученных живот в отдаленном периоде постнатального развития (6 месяцев) сохраняются нарушения жирового обмена. Наблюдается тенденция к уменьшению уровня НЭЖК у самок на 18,2 % и достоверное снижение этого показателя у самцов на 27,4 % в плазме крови. В мембранах эритроцитов также наблюдается некоторое уменьшение НЭЖК на 53,1 % ($p < 0,05$) у самок и 18,2 % ($p > 0,05$) у самцов. Уровень ТГ в плазме крови облученных самок значительно повышен на 89 % ($p < 0,01$), а у самцов имеется недостоверная противоположная тенденция. В мембранах эритроцитов облученных самок

наоборот происходит снижение ТГ на 44,3 %, а у самцов этот показатель в опытной группе не изменен по сравнению с контролем. Сравнивая плазменные и эритроцитарные изменения у самцов и самок, облученных в пренатальном периоде, можно отметить большую выраженность сдвигов выбранных параметров у самок, а значит и их большую чувствительность к радиоактивному облучению в этом аспекте.

При вычислении коэффициента НЭЖК/ТГ выявлено, что как у самок, так и у самцов отмечается его уменьшение и в плазме, и в эритроцитах, что свидетельствует о преобладании процессов липосинтеза над липолизом. Но если у самцов эта тенденция была статистически недостоверна (уменьшение коэффициента в плазме на 16,7 %, а в эритроцитах на 18,3 %), то у самок эти изменения были выражены более значительно (снижение в плазме на 56,7 %, $p < 0,001$, и на 15,6 % в эритроцитах).

Таким образом, пролонгированное внешнее гамма-облучение животных в дозе 0,5 Гр в период их внутриутробного развития приводит к нарушению динамического равновесия процессов липолиза и липосинтеза. Это выражается в повышенной активности процессов липосинтеза у облученных новорожденных крысят. В отдаленном периоде после рождения эти изменения полностью не компенсируются. В 6-месячном возрасте остается преобладание липосинтеза над липолизом. Выявленные сдвиги имеют половую зависимость и регистрируются в большей степени у самок.

По-видимому, внешнее гамма-облучение в пренатальном периоде вызывает стойкое нарушение нейроэндокринной регуляции липидного обмена с преобладанием гормонов анаболического действия, то есть у этой группы животных под влиянием внешнего гамма-облучения во внутриутробном периоде сформировался стойкий дисбаланс гормональной деятельности. Относительное снижение активности функции катаболических гормонов (кортикостероиды, адреналин, норадреналин и др.) и повышение влияния на обмен веществ анаболических гормонов (инсулин и др.) резко снижают резистентность организма к действию различных неблагоприятных факторов и способствуют развитию патологических процессов (В.Б.Розен, 1984).

Литература

1. Вельтищев Ю.Е., Ермолаев М.В., Ананенко А.А., Князев Ю.А. Обмен веществ у детей.-М.: Медицина, 1983.-464 с.

2. Галлер Г., Ганефельд Н., Яросс В.В. Нарушения липидного обмена. М.: Медицина, 1979.-336 с.

3. Данильчик В.С., Устинович А.К., Колб В.Г. Диагностика патологических состояний у новорожденных детей по данным дифференциального исследования липидов пуповинной крови (методические рекомендации).-Минск, 1990.-16 с.

4. Коломийцева И.К. Радиационная биохимия мембранных липидов.-М.: Наука, 1989.-181с.

5. Розен В.Б. Основы эндокринологии.-М.: Высшая школа, 1984.-335с.

Isoforms of thyroxine-binding globulin as a model for molecular epidemiology of human cancer risk

A.S. Golovaty, A.G. Lapko

International Sakharov Environmental University, Minsk, Belarus

Изоформы тироксинсвязывающего глобулина как модель для молекулярной эпидемиологии рака. В результате проведенного исследования показано, что применение лектинов, специфичных к отдельным углеводным остаткам гликопротеинов или элементам структуры олигосахаров, позволяет использовать особенности посттрансляционного гликозилирования белков в норме и при патологиях в качестве средства для ранней диагностики патологических состояний, в особенности, для диагностики онкологических заболеваний.

The novel field of molecular epidemiology of human cancer risk has added a new branch to classical epidemiology by providing a direct link between human cancer and carcinogen exposure. It was estimated that about 80% of cancers are due to environmental factors. The blood proteins are almost certainly targets for modification in human cancer, and their identification and characterization will be of primary importance in the development of the new and rapidly evolving field of molecular epidemiology. Among blood proteins that are altered in human cancer, TBG occupies a special place because the level of human blood TBG is the most sensitive to intensification of biosynthesis and proliferation processes in organisms in different types of cancer. The increase of TBG concentration in cancer can be result from both activation of TBG biosynthesis in liver or altering of posstranslation glycosylation that prolongs protein survival time. The molecular basis for the change in the properties of TBG in cancer is unknown. These distinctive changes could have important consequences for the function of TBG in cancer and may help to develop more precise markers for monitoring pathological progression in this disease. Considerable variability and subtlety can occur in the carbohydrate composition and structure of serum glycoproteins in disease. This can be either as a major change, such as an increase in the number of oligosacharide branches at a particular glycosylation site [1] or as a minor change such as the addition of an extra fucose [2] or sialic acid residue. Increased fucosylation has also been reported for transferrin [3] and alfha-fetoprotein [4] in liver cancer; thyroglobulin [5] in thyroid cancer, IgG [6] in myeloma, haptoglobin [7] in ovarian cancer.

The last own studies have shown that in clinically healthy teenagers born in Khoiniki (137 Cs 185-555 kBk/m), we have found an unusual thyroid profile exhibiting increased levels of total triiodthyronine (T3), total thyroxine (T4), and thyroxine-binding globulin (TBG) by 50-60%, but no elevation in free T4, as compared with similar control groups of from Minsk. One of the reasons for the euthyroid syndrome in teenagers from the contaminated region was shown to be the blood isoforms in TBG. These isoforms differed in the structure of the carbohydrate components and as a rule are characterized by a prolonged circulation time. Using specific affinity chromatography, with subsequent immunological assay we shown that a certain amount of serum TBG-molecules in persons from Khoiniki contains a high level of TBG (about 30% higher than the control group) containing fucosyalated biantennary sugar chains with more prolonged survival time. Previous findings showed that increased levels of fucosylation are observed for some serum glycoproteins in the blood of tumour patients. We provide evidence for variations in the TBGfuc which are

contained in the serum TBG pool of patients suffering from cancer with various localisation. Thus, analysis of TBGfuc may be regarded as a prognostic marker in the determination of risk groups. The molecular mechanism of increased activity of fucosyltransferases will be discussed.

We propose to measure the level of TBG fucosylated to assess the human cancer risk and habitants of contaminated region of Belarus.

Литература

1. Ермоленко М. Н., Свирид О. В. // Медицинская радиология / Радиоиммунологическое определение молекулярной разновидности тироксинсвязывающего глобулина человека. - 1986. - №6. - С. 50-53.

2. Лапко А.Г., Головатый А.С. Ермоленко М.Н., Милютин А.А. Тироксинсвязывающий глобулин как маркер воздействия на организм неблагоприятных факторов внешней среды // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. - 2000. -. Т. 129. - № 2. – С. 163 167.

3. Yamashita, K., Korde, N.. Iwaki, Y. And Kobata, A. (1989) Altered glycosylation of semm transferin of patients with hepatocellular carcinoma. J. Biol. Chem., 264, 2415-2423.

4. Aoyagi, Y., Isemura, M., Yosizawa, Z., Suzuki, Y., Sekine, C., Ono, T and Ichida, F (1985) Fucosylation of serum alfha-fetoprotein in proteins with primary hepatocellular carcinoma. Biochim. Boiphis. Acta, 830, 217-223.

5. Yamamoto, K., Tsujii, T., Tarutani, 0. And Osawa, T (1984) Structural changes of carbohydrate chains of human thyroglobulin accompanying tranformations in thyroid glands. Eur. J. Biochem., 143, 133-144.

6. Kinoshita, N., Ohno, M., Nishiura, T., Fujii, S., Nishikawa, A., Kawakami, Y., Uozumi, I[s] and Tanigush, N. (1991) Glycosylation at the Fab portion ofmyelor immunoglobulin G and increased fucosylated biantennan sugar chaii structural analysis by high performance liquid chromatography and antibody-lectin enzyme immunoassay using Lens culinaris agglutinii Cancer Res. 51, 5888-5892.

7. Tompson, S., Dargan, E. And Turner G.A. (1992) Increased fucosylation and othel carbohydrate changes in haptoglobin in ovarian cancer. Cancer Lette 66, 43-48.

К оценке радоновой экспозиции в жилище и ее влияния на риск развития рака легкого у жителей Свердловской области, Россия

В.Л. Лежнин, Е.В. Ползик, Б.И. Никонов, В.С. Казанцев, М.В. Жуковский

Областной центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Свердловской области, г. Екатеринбург, Россия.

Assessment of indoor radon exposure and risk of lung cancer in the population of the Sverdlovsk region, Russia. Adverse radioecological situation in the Sverdlovsk Region of Russia forms elevated radiation load on the population. To adequately assess the influence of exposure to radon on the development of lung cancer, a cohort study employing a multivariate analysis was conducted in the city of Pervouralsk, Russia. According to the chosen method, 200 lung cancer cases were randomly matched with 237 controls. Each of the 437 cohort members was characterized by a complex of 26 parameters reflecting known risk factors of lung cancer. Analytical tasks were solved based on methods of discriminant analysis. None of the three parameters directly characterizing the indoor level of radiation pollution by radon and toron was found to be one of the most informative cancer risk factors. Thus, as compared to other analyzed

risk factors of lung cancer, the contribution of radon and toron exposure of population inhabiting multistory residential buildings in the city of Pervouralsk could not be considered as the most important cause of lung cancer.

Неблагоприятная радиоэкологическая обстановка в Свердловской области формирует повышенную дозовую радиационную нагрузку на население, проживающее на ее территории. В области сосредоточено более 1000 локальных скоплений естественной радиоактивной минерализации урановой, ториевой и уран-ториевой природы, расположено около 350 водоисточников, имеющих экологически значимые концентрации естественных радионуклидов (ЕРН), приближающиеся к предельно-допустимым нормативам Всемирной Организации Здравоохранения [1,8].

В результате исследований, проведенных в 1994 году в рамках программы «Радиоэкология Свердловской области», было установлено, что большая часть территории области расположена в пределах радоноопасных зон, что подтверждает существование «радоновой» проблемы для населения Свердловской области. Спецификой формирования доз облучения населения Свердловской области от ЕРН является высокий вклад торона. В целом, доза облучения населения Свердловской области от природного и техногенного радиационного фона по оценкам Областного Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора составляет 70% суммарной дозы от всех источников ионизирующего излучения [4].

В 1987 году радон и продукты его распада были оценены Международным Агентством по изучению рака как, безусловно, канцерогенные для человека и повышающие риск развития злокачественных новообразований (ЗН) легких [13]. В этой связи, важно проведение специальных клинико-эпидемиологических исследований с целью получения ответа на вопрос: существует ли, а если существует, то насколько велико, влияние радона и торона на возникновение ЗН легких среди населения одного из городов Свердловской области?

Как известно, рак легких - мультифакторное заболевание, поэтому для адекватной оценки влияния радоновой экспозиции на развитие ЗН легких необходимо было изучить вклад достаточно большого числа факторов онкологического риска: экологических, профессиональных, социально-бытовых, медико-биологических и др. [2]. Для решения данной задачи было проведено когортное исследование с использованием техники многофакторного анализа в г.Первоуральске Свердловской области, Россия. Методология таких исследований была ранее успешно апробирована нами во многих, в том числе и в онкоэпидемиологических, исследованиях [7,9,10].

Согласно избранной методике, из числа жителей г.Первоуральска было подобрано 200 больных раком легких, диагноз которых был тщательно верифицирован с помощью инструментальных методов обследования и подтвержден морфологически. Контрольная группа из 237 человек подбиралась также среди жителей г.Первоуральска с максимально возможным приведением ее в соответствие со структурой населения города.

Каждый из 437 человек, включенных в настоящее исследование, характеризовался комплексом из 26 показателей, отражающих известные факторы риска ЗН легких. В ходе исследования собиралась персонифицированная информация о следующих факторах риска: пол, возраст, национальность, место работы и общий стаж работы, наличие профессионального контакта с канцерогенными веществами и длительность работы с ними, наследственный анамнез, наличие хронических заболеваний легких, вредные привычки (курение и злоупотребление алкоголем), источник питьевого водоснабжения, материально-бытовые условия (этаж проживания, наличие газовой плиты на кухне, тип строительного материала жилища, наличие пластикового покрытия полов в нем и т.п.), степень экологического загрязнения в районе проживания, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона и торона в жилище и др.

Один из важнейших разделов данного исследования заключался в определении

активности радона и торона в квартирах жителей г. Первоуральска. В настоящее время основными методами определения объемной активности радона, торона и их дочерних продуктов распада являются аспирационные методы и использование интегральных твердотельных трековых радиометров радона (ИТРР). При проведении эпидемиологического исследования в г.Первоуральске объемная активность радона определялась путем экспонирования ИТРР в течение 1,5 месяцев, а ЭРОА торона - путем однократного аспирационного измерения методом Маркова-Терентьева. Измерения проводились в жилых помещениях наиболее частого пребывания людей, а именно спальных и жилых комнатах. Измерения проводились в период с ноября 1997 года по апрель 1998 года [5,11,12].

Для необходимого в данном эпидемиологическом исследовании многофакторного анализа требовался эффективный метод математического анализа. Исходя из большого опыта решения нами подобных задач, наиболее подходящими представлялись методы, основанные на теории распознавания образов [3].

Решение аналитических задач осуществлялось на основе методов дискриминантного анализа. Для оценки информативности каждого признака использовался метод, основанный на определении разностей между средними значениями признаков в выделенных классах. Для определения направленности влияния каждого фактора использовалась процедура анализа частот встречаемости значений признаков в выделенных классах. Решение всех задач проводилось с помощью пакета прикладных программ «КВАЗАР» [6].

По результатам проведенного нами многофакторного анализа ни один из трех признаков, прямо характеризующих уровень радиационного загрязнения жилища радоном и тороном, не вошел в разряд наиболее информативных факторов онкологического риска. В целом, полученные результаты практически полностью соответствуют взглядам, сложившимися среди онкоэпидемиологов в отношении факторов риска ЗН легких. Наиболее высокие ранговые места занимают признаки, характеризующие стаж и интенсивность курения, возраст, наличие в анамнезе хронических заболеваний легких, профессиональный контакт с канцерогенами и др.

Центральным вопросом данного исследования была оценка радона и торона как потенциальных факторов риска развития ЗН легких среди населения г.Первоуральска. На фоне других причин вклад радона и торона в развитие этого заболевания у жителей г.Первоуральска невелик. При анализе направленности их влияния также не было установлено сколько-нибудь однозначной зависимости. Таким образом, наши данные не дают оснований отнести экспозицию к радону и торону в многоэтажном благоустроенном жилье к разряду важных причин, повышающих частоту заболеваний ЗН легких у жителей г.Первоуральска.

Однако, в малых городах и поселках северной части Свердловской области, где частные одноэтажные дома составляют значительную часть жилого фонда, а отопительный период более продолжительный, необходимо дополнительное исследование данного вопроса, поскольку уровень объемной активности радона и торона в этих строениях может быть гораздо выше, чем обнаруженный нами в многоэтажных домах крупных городов Свердловской области, расположенных южнее.

Литература

1. *Гурвич В.Б., Заболотских В.А., Кружалов А.В. и др.* Радиационная обстановка в Свердловской области.- В сб.; Радиационная безопасность человека и окружающей среды.- Екатеринбург, 1997.-С.6-11

2. *Долл Р.,Пито Р.* Причины рака. – Киев: Наукова думка, 1984, - 251 с.

3. *Duda R., Hart P.* Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976.

4. *Жуковский М.В., Ярмошенко И.В.* Радон: Измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург. УрО РАН, 1997.

5. Защита от радона - 222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ: Пер. с англ.: Энергоатомиздат, 1995. 68 с.

6. *Казанцев В.С.* Задачи классификации и их программное обеспечение (пакет КВАЗАР). М.: Наука,1990.- 136 с.

7. *Лежнин В.Л.* Прогнозирование индивидуальной предрасположенности к развитию злокачественных новообразований легких, желудка и молочной железы у жителей промышленного города. Автореф. дис. канд.-С-Петербург, 1995.

8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96. Госсанэпиднадзор России. М. 1996.

9. *Ползик Е.В., Кацнельсон Б.А., Кузьмин С.В. и др.* Оценка роли радиоактивного фактора в заболевании раком легких и раком молочной железы у лицпроживающих в зоне ВУРСа.-Тез.докл.; Хроническое радиационное воздействие: риск отдаленных эффектов.-Челябинск,1995.-С.40-42

10. *Ползик Е.В., Кацнельсон Б.А., Якушева М.Ю. и др.* Оценка хронической радиационной экспозиции как одного из факторов риска развития рака у жителей промышленного города, подвергшегося радиоактивному загрязнению.-Радиационная биология.Радиоэкология, 1998.-т.38, вып.1.- С.86-94

11. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года. Ч.1; Публикация МКРЗ 61. М.: Энергоатомиздат, 1994.

12. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60 МКРЗ. М.: Энерго-атомиздат, 1994. Ч.2.

13. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Man - made mineral fibres and radon. - Lyon: IARC, Monograph Vol. 43, 1988. - 300 p.

Характеристика популяционной структуры клеточных культур высоко- и нозкодифференцированных опухолей щитовидной железы человека

В.В. Пасюков[1], И.П. Меркулова[1], Р.Ю. Кочетков[2], И.А. Мельников[2], С.В. Глушен[3]

[1]Международный экологический университет им. А.Д.Сахарова,
[2]Минский государственный медицинский институт,
[3]Белорусский государственный университет Минск, Беларусь

Population structure changes of low and high differntiated thyroid cancer cell lines. Computer analysis of cell images offers quantitative detection of subvisual information and applies for development of differential diagnosis criteria in oncomorphology and to estimate radiation injury. The nuclear parameters describing the chromatin pattern are informative for characterization of malignancy degree in various human cancers and its population structure changes.

The nuclear features of 3 malignant thyroid gland tumors cell lines were quantified through morphodensitometric (nuclear area, IOD, MOD) and 6 topological parameters. It was observed the difference in size, IOD, MOD and chromatin pattern between low and high differentiated malignant tumors. Anaplastic carcinoma had the lowest nuclear size and was more homogenous through densitometric parameters.

Клеточные культуры опухолей щитовидной железы человека (ОЩЖ) являются сравнительно новым и малоизученным объектом исследования для радиобиологии и экспериментальной онкологии. Вместе с тем опухолевые клетки, адаптированные к росту in vitro, могут быть адекватной моделью для изучения закономерностей спонтанного и радиационно-индуцированного канцерогенеза опухолей щитовидной железы, его молекулярно-генетических особенностей, механизмов опухолевой прогрессии, формирования радиорезистентности. Важную роль в этих процессах играет гетерогенность популяции опухолевых клеток и изменения ее структуры как при адаптации к росту in vitro, так и при различных экспериментальных воздействиях.

Оценка морфо-функциональных свойств клеток с помощью систем анализа изображений микрообъектов позволяет дать количественную характеристику степени морфологической атипии опухолевых популяций и выявить ее структуру [1]. Для опухолей различного гистогенеза показано, что параметры клеточных ядер, отражающие изменение содержания ДНК и нарушения структуры хроматина, коррелируют со степенью злокачественности и способностью к метастазированию [4, 5].

Ранее на модели аденомы и папиллярного рака щитовидной железы человека in vivo нами было показано, что топологические параметры клеточных ядер, характеризующие связность компонентов эу- и гетерохроматитна, могут быть использованы для оценки структурных перестроек хроматина при малигнизации. В доступной литературе мы не нашли сведений о количественной морфологии и содержании ДНК в культурах опухолей щитовидной железы человека.

Цель проведенного исследования – охарактеризовать особенности структуры популяции и организации хроматина высоко- и низкодифференцированных опухолей щитовидной железы, растущих in vitro.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использованы препараты клеточной культуры анапластического, высоко- и низкодифференцированного рака щитовидной железы, которые были любезно предоставлены ассистентом кафедры патфизиологии МГМИ Кочетковым Р.И. Препараты фиксированы метанолом на третьи сутки культивирования в экспоненциальной фазе роста и окрашены по Паппенгейму и Фельгену [5]. В качестве контроля диплоидности использованы лимфоциты периферической крови здорового донора.

Цифровые фотографии окрашенных по Фельгену интерфазных ядер анапластического, папиллярного и низкодифференцированного рака щитовидной железы человека получены на экспериментальной системе анализа изображений «Морфолог». Обработка изображений проведена с помощью программы "Nucleus" (автор И.А. Мельников), позволяющей регистрировать морфоденситометрические (площадь, интегральная (ИОП) и средняя (СОП) оптические плотности ядер) и 6 топологических параметров (относительные фрактальные площади (ОФП)) хроматина [1, 4, 6]. Расчет топологических параметров, отражающих степень связности компонентов гетеро- и эухроматина, проведен по методике С. В. Глушена и И. А. Мельникова [2]. Статистическая обработка данных выполнена программой "Stadia 6.0".

Результаты исследования

Популяция ядер анапластической карциномы по сравнению с низкодифференцированным и папиллярным раком является более однородной по площади ядер, содержанию ДНК, средней оптической плотности и топологическим параметрам хроматина.

Клеточные культуры рака щитовидной железы человека отличаются степенью и характером анеуплоидии, которые более выражены у низкодифференцированного рака (гипертетраплоидный) по сравнению с папиллярным (гипертриплоидный) и анапластической карциномой (околотриплоидный вариант).

Для трех субпопуляций ядер анапластической карциномы с различным распределением хроматина (мелкогранулярное диффузное, мелкоглыбчатое с тяжами, крупноглыбчатое с тяжами) установлены следующие различия по морфоденситометрическим и топологическим параметрам. По мере огрубления структуры хроматина (появление глыбок и тяжей) уменьшается размер ядер, ОФП всего гетерохроматина и оптически плотных компонентов как гетеро-, так и эухроматина.

Значения средней оптической плотности и ОФП оптически светлых участков эухроматина возрастают, что отражает большую связность компонентов хроматина при гетерохроматизации и резкие перепады оптической плотности ядер.

Нами также изучены изменения в структуре популяции культуры анапластической карциномы щитовидной железы под влиянием нового противоопухолевого препарата MDL в концентрации, ингибирующей синтез ДНК на 50% [3]. Показано, что культивирование клеток анапластической карциномы щитовидной железы в присутствии MDL не сопровождалось изменением размера ядер опухолевых клеток, достоверные различия обнаружены по ИОП и СОП. Под воздействием MDL в популяции анапластической карциномы возрастало число клеток с содержанием ДНК >3С и >6С, одновременно уменьшалась доля клеток с содержанием ДНК <3С и 6С. В исходной опухолевой популяции преобладали клетки с мелкогранулярным распределение хроматина (63,5%), в то время как под влиянием MDL увеличилось количество клеток с плотноконденсированными глыбками хроматина (71%).

Таким образом, высоко- и низкодифференцированные опухоли щитовидной железы, растущие in vitro, отличаются по содержанию ДНК и субпопуляционному составу ядер с различным распределением хроматина. В низкодифференцированных клеточных линиях щитовидной железы происходит гетерохроматизация ядер и огрубление структуры хроматина.

Подход, основанный на оценке нарушений структуры хроматина интерфазных клеток по топологическим параметрам, отражающим связность компонентов хроматина, может быть использован для разработки методов компьютерной цитологической диагностики новообразований, изучения механизмов формирования гетерогенности популяций опухолевых клеток в ходе прогрессии, под влиянием противоопухолевых препаратов, оценки радиобиологических эффектов.

Литература

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. М.: Медицина, 1990. – 350 с.

2. Глушен С. В. // В сб. достижения современной биологии и биологическое образование. – Минск: БГУ, 1997. – С. 158–163.

3. Кочетков Р. Ю., Кривчик А. А. Здравохранение. – № 5. – 1999. – С. 12 – 15.

4. Doudkine A. et al. // Patologica - 1995 - Vol. 87 - pp. 286 – 299.

5. Kiss R., Salmon I., Cambi I. etc. // The Journal of Histoch. and Cytoch. – 1980. Vol. 41. – № 6. – pp. 935 – 945.

6. Salmon I., Kiss R., Franc B. // Anal. Quant. Cytol. Histol. – 1992. Vol. 14, № 1. – pp. 47 - 54.

Изменение агрегационных свойств тромбоцитов при воздействии S-нитрозоглутатиона, полученного в ультразвуковом поле

И.И. Степуро, Р.И. Адамчук, Т.И. Хомич, Л.И. Нечипоренко

Институт биохимии НАН Беларуси, г. Гродно, Беларусь

Changes of platelet aggregation under the action of S-nitrosoglutathione, formed in ultrasound field. S-nitrosocompounds are formed when the aqueous solutions of glutathione are exposed to ultrasound (880 kHz) in air. S-nitrosocompounds were not formed when exposing low-molecular-weight thiols to ultrasound in N_2 or CO atmosphere. S-nitrosoglutathione prevents aggregation of platelets in linear dependence on concentration.

Ультразвук (УЗ) широко используется для диагностики в клинической медицине, в физиотерапии, а также в лабораторной практике для получения липосом, разрушения клеточных мембран. Действие ультразвука на организм обусловлено целым рядом факторов. Это в первую очередь механическое действие, тепловой эффект, а также химические реакции. Химические эффекты УЗ-ка связаны с образованием кавитационных пузырьков, в которых происходит диссоциация паров воды на ОН и Н радикалы [1].

Образовавшиеся первичные свободные радикалы взаимодействуют как между собой, так и с растворенными газами и образуют наряду с пероксидами водорода значительное количество оксидов азота, а также нитритов, нитратов. Сравнительно давно установлен факт усиления кровотока, вызванный местным расширением сосудов после воздействия УЗ-ка [2].

Это явление обусловлено не прогреванием мышечной ткани, так как при импульсном облучении, когда тепловые эффекты невелики, также изменяется кровоток. Причем изменения кровотока сохраняются около получаса после воздействия УЗ-ка на данный участок ткани или орган [2]. Также показано ускорение заживления хронических варикозных язв на ногах после воздействия УЗ-ка. Измеренное увеличение температуры было незначительным, что, вероятно, свидетельствует о нетепловом характере механизма воздействия [3]. Мы предполагаем, что в крови или отдельных органах могут образовываться S-нитрозосоединения при продолжительном воздействии УЗ-ка медицинского назначения. Принципиальная возможность возникновения кавитации в биологических тканях связана с неоднородностью среды, состоящей из клеток, внутритканевых жидкостей с различной насыщенностью кислородом и т. д. Глутатион основной внутриклеточный низкомолекулярный тиол, концентрация которого в клетках высока, например, в эритроцитах достигает 0.5-1.0 мМ.

В данной работе мы исследовали образование S-нитрозоглутатиона при воздействии ультразвука и изменение агрегационных свойств тромбоцитов в присутствии S-нитрозоглутатиона.

Методы исследования

Водные растворы в атмосфере воздуха облучали ультразвуком с частотой 880 кГц и интенсивностью от 0.2 до 2 Вт/см^2.

Образование S-нитрозоглутатиона после воздействия ультразвука на водные растворы соответственно глутатиона регистрировали спектрофотометрически [4]. Пероксиды водорода

и пероксиды глутатиона измеряли йодометрическим методом с использованием каталазы [5]. Выделение NO, наблюдаемое при распаде S-нитрозосоединений контролировали по образованию нитрозоНb спектрофотометрическим [6], а также флуоресцентным методом по тушению пирена.

В исследованиях использовали донорскую кровь с 3.8 % трехзамещенным цитратом натрия в качестве антикоагулянта в соотношении с кровью 1:9. После центрифугирования (450 g, 10 мин), доводили уровень тромбоцитов $2.5 \cdot 10^8$ /мл. Все подготовительные этапы проводили при 4°С. Степень агрегации оценивали на агрегометре производства ЗАО "СОЛАР" (Беларусь). В качестве индуктора агрегации применяли АДФ (Реанал) в концентрации 2.5 мкМ, что соответствовало 52 %-ной агрегации. Изучение влияния S-нитрозоглутатиона на тромбоцитарную гуанилатциклазу проводили в диапазоне конечных концентраций - $5 \cdot 10^{-7}$ - $5 \cdot 10^{-4}$ М. S-нитрозоглутатион добавляли к тромбоцитам за 3 мин (при 37°С) до внесения АДФ.

Синтез S-нитрозотиолов в ультразвуковом поле

После воздействия УЗ-ка на водные растворы глутатиона в атмосфере воздуха наблюдали возникновение новой полосы в спектре поглощения с максимумом при 340 нм и более слабой полосы при 540 нм. Длинноволновая полоса поглощения ответственна за розовую окраску озвученных растворов глутатиона. Такой спектр поглощения характерен для S-нитрозотиолов [7].

Выход S-нитрозоглутатиона достигал максимального значения при концентрации GSH в растворе 8 мМ (табл. 1).

Наряду с образованием S-нитрозосоединений в УЗ-ом поле эффективно протекало окисление глутатиона в дисульфиды. После образования значительных количеств окисленного глутатиона (70% и более) наблюдали появление в растворе пероксидных соединений, титруемых йодометрическим методом. При дальнейшем воздействии УЗ-ка параллельно с возрастанием концентрации пероксидных соединений снижалось образование S-нитрозосоединений.

Таблица 1.

Образование S-нитрозоглутатиона под действием УЗ-ка на водные растворы глутатиона различной концентрации. Время воздействия УЗ-ка 30 мин.

Исходная концентрация глутатиона (мМ)	Значение оптической плотности (340 нм)	Концентрация S-нитрозоглутатиона (мМ)	Доля глутатиона превратившегося в S-нитрозоглутатион (%)
2, 0	0, 165	0, 20	10
4, 0	0, 345	0, 40	10
6, 0	0, 485	0, 60	10
8, 0	0, 520	0, 65	8, 1
10, 0	0, 510	0, 64	6, 4

Изменение агрегационных свойств тромбоцитов в присутствии S-нитрозоглутатиона

Регуляция процессов агрегации и дезагрегации тромбоцитов млекопитающих осуществляется системой циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ) через изменение активности гуанилатциклазы (ГЦ). Активаторы ГЦ, повышающие уровень цГМФ в тромбоцитах, проявляют антиагрегационное действие. Активирующее влияние некоторых лекарственных препаратов на основе органических нитратов, таких как, например, нитроглицерин обусловлено неферментативным освобождением из них оксида азота

Из полученных результатов следует, что S-нитрозоглутатион предотвращает агрегацию тромбоцитов в прямой зависимости от концентрации. Степень агрегации составила: $5 \cdot 10^{-6}$ М – 13.8%, $1 \cdot 10^{-6}$ М – 17.4%, $1 \cdot 10^{-7}$ М – 20.9%, в контроле - 52%. Кроме того, при добавлении препарата на пике агрегации, наблюдалось увеличение скорости дезагрегационного

процесса. Можно предположить, что эндогенный S-нитрозоглутатион, наряду с другими нитрозотиолами, может участвовать в регуляции агрегации тромбоцитов путем переноса NO на гем гуанилатциклазы и активации фермента

Известно, что суспензия тромбоцитов весьма чувствительна к действию как низкочастотного, так и высокочастотного УЗ-ка. Показано, что УЗ in vitro инициирует агрегацию клеток и вызывает их повреждение. Однако in vivo в опытах на лабораторных животных не удалось обнаружить повреждения компонентов крови при облучении УЗ-ом. Напротив, при воздействии УЗ-ка усиливался кровоток и разрушались тромбы [2]. Мы предполагаем что благоприятный терапевтический эффект УЗ-ка на организм связан с образованием S-нитрозосоединений как низкомолекулярной природы так и S-нитрозобелков. S-нитрозосоединения являются донорами NO, который вызывает релаксацию сосудов и препятствует агрегации тромбоцитов.

Литература

1. Riesz, P., and Kondo, T. (1992) *Free Radical Biol. Med.*, 13, 247-270.
2. Haar G., (1989) Physical Principles of Medical Ultrasonics (ed. K. Hill), Mir, Moscow
3. Dyson, M., Franks, C., and Suckling, J. (1976) *Ultrasonics*, 14, 232-236
4. Stepuro, I., Chaikovskaya, N., Piletskaya, T., and Solodunov, A. (1994) *Pol. J. Pharmacol.*, 46, 601-607.
5. Gebicki, S., and Gebicki, J. (1993) *Biochem. J.*, 289, 743-749.
6. Степуро И. И., Чайковская Н. А., Солодунов А. А., Арцукевич А. Н. (1997) *Биохимия*, 62, 1122-1129.
7. Степуро И. И., Солодунов А. А., Соколовская С. Н. (1995) *Биофизика*, 40, 1158-1164

Наукометрический анализ радиационной кардиологии

А.И. Вернер

Гомельский государственный медицинский институт, г. Гомель, Беларусь

Scientometric analysis of radiation cardiology. The main bibliometric results in specific field of radiobiology – radiation cardiology – were discussed. This results indicate that cardiac morphogenesis and diseases in pollutant environment (radionuclides, smoking, hypokinetic syndrom, etc.) is needed in additional investigations.

Характер развития радиобиологии привел к появлению многих новых направлений, которые развиваются на стыке дисциплин. Однако по меткому выражению Н.Ф. Овчинникова (1978), работающего в русле философии науки, эти новые направления лишь множат число дисциплин. "Стыковые дисциплины" отстаивают право на концептуальную самостоятельность, но этим проблемы не решаются. Такая участь постигла и радиационную кардиологию, которая в настоящее время использует готовые сведения из смежных отраслей дисциплины.

Цель работы - оценка современного состояния радиационной кардиологии за время, прошедшее после аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы исследования

Статьи в научной периодической печати, тезисы конференций, БД Medline были оценены с использованием наукометрического анализа в модификации В.В. Налимова (1969)

[1].

Результаты и их обсуждение

Основные технологические и информационные ресурсы в области радиационной кардиологии сосредоточены на БД Medline, создаваемой Национальной библиотекой США (книжный вариант - Cumulated Index Medicus), Index de cardiologia de Argentina (Буэнос-Айрес) и Index der Nuklearmedizin (Берлин). Журналы, в которых освещаются различные проблемы экологической кардиологии, и в т.ч. ее радиационной ветви, также имеют электронные версии, что облегчает исследователям пользование ими. Это такие журналы, как «The American Journal of Cardiology», «The molecular and cellular cardiology», «The Journal of Electrocardiology» и ряд других; из издающихся на русском языке - «Бюллетень экспериментальной биологии и медицины», «Радиационная биология. Радиоэкология», «Физиологический журнал им. И.М.Сеченова», «Кардиология», «Медицинская радиология и радиационная безопасность».

Ключевые слова определяют уровень сегодняшнего понимания проблем, связанных с изменением сердечно-сосудистой системы под воздействием ионизирующей радиации: свободные радикалы; программируемая клеточная гибель (апоптоз); ионные каналы; детерминированный хаос и факторы внешней среды, включая радионуклиды; фосфоинозитол-и фосфоинозитидрецепторы; митохондрии; энергетическая гибель клетки; белки теплового шока и протекция сердца и т.д.

Вопросы сердечно-сосудистой патологии в районах, загрязненных после аварии на ЧАЭС, были рассмотрены в программной статье директора института кардиологии МЗ РБ проф. Н.А. Манака и соавт. «Не только радиация «съедает» сердце» (газета «Медицинский вестник» от 23.03.2000), которые подчеркнули невозможность вычленения только радиационного фактора. В то же время возможное преформирование факторов при их сочетанном действии (симбиоз) в плане воздействия ионизирующей радиации – как при внешнем облучении, так и при инкорпорации – изучены крайне недостаточно (Петин В.Г., 1999).

Одной из первых работ по освещаемой проблеме была диссертация на степень доктора медицины N 25, защищенная в Императорской Военно- Медицинской Академии С.С. Боткиным (1888). Эта работа "Вліяніе солей рубідія и цезія на сердце и кровеобращение въ связи съ законностью физіологическаго дѣйствія щелочныхъ металловъ" впервые привлекла внимание к сродству калия и цезия, а последующие исследования показали дискриминацию калия и, по всей вероятности, включение цезия в калий- зависимые процессы.

По результатам массивных исследований в радиобиологии (60-70-ые годы) было опубликовано несколько монографий чл.-корр. АМН Е.И. Воробьевым «Радиационная кардиология» (1971), в соавторстве с Н.Н. Бессоновым и Р.П. Степановым «Очерки радиационной кардиологии» (1978); в соавторстве со Р.П. Степановым «Ионизирующее излучение и сосуды» (1978); С.Б. Данияровым «Лучевая болезнь и сердечно-сосудистая система» (1974); К.Ш. Надарейшвили «Вопросы влияния ионизирующей радиации на сердечно-сосудистую системы» (1966) судя по пристатейным спискам литературы, цитируются очень мало. Вопросы токсического воздействия радионуклидов на сердечную мышцу рассматривались Ю.И. Москалевым (1988), В.Ф. Журавлевым (1990) и Ю.И. Бандажевским (1999).

Большинство сообщений доложено на конференциях различного уровня, и лишь минимальное количество работ было опубликовано в журналах, что не позволило провести нам кластерный анализ публикаций [2]. Такая ситуация красноречиво свидетельствует о слабом освещении этой проблемы в рецензируемой периодике и указывает на неизвестность работ отдельных институтов Беларуси в зарубежных базах данных.

Состояние сердечно-сосудистой системы у пострадавших при аварии на ЧАЭС рассматривалось в 56 научных трудах, из них на конференциях доложено 46, последующие 10 были опубликованы в журналах.

Эпидемиологические аспекты распространения болезней сердечно-сосудистой системы были рассмотрены в 20 работах. Ряд представленных сообщений касался патологии сердца у участников ликвидации аварий на ЧАЭС. В одной работе была оценена динамика скоропостижной смерти в Киеве в первые годы после аварии. Вопросы патофизиологии стали предметом рассмотрения в 13 статьях, но только две из них были опубликованы в журналах (адренергическая регуляция сердца в работах чл.- корр. НАНБ Лобанка Л.М. и соавт. (1997- 1998)).

Течение ИБС после радиационного воздействия освещалось за указанный период в 32 научных работах, которые распределились следующим образом: 29 сообщений было сделано на конференциях, и только три работы были опубликованы в журналах РБ, Украины и России.

Спектр тем указал на следующее - эпидемиологические аспекты были разобраны в 17 работах; одна работа была посвящена динамике ИБС у ликвидаторов и две работы характеризовали особенности ИБС населения; порочные круги при ишемической болезни сердца разбирались в 12 работах.

По проблеме развития атеросклероза при воздействии радиации опубликовано 10 работ, из них - 8 было доложено на конференциях, и одна работа была помещена в журнале "Медицинская радиология и радиационная безопасность", разбирающая патогенез радиационноиндуцированных склерозов. В 1997 году Л.П.Титовым и соавт. была оценена экспрессия фрагментов вируса Epstein-Barr в АС бляшках методом ПЦР.

Особенности протекания гипертонической болезни при воздействии радиации рассматривались в 19 сообщениях на конференциях и лишь только в двух статьях ("Здравоохранение Беларуси" и "Врачебное дело" (Украина)). 12 работ оценивали различные эпидемиологические аспекты, в 5 сообщениях говорилось о патофизиологической сущности процессов, выявленных авторами.

Проблема сосудистой патологии отражена в 19 работах, из них 9 было доложено на конференциях, три статьи были напечатаны в журнале "Здравоохранение Беларуси", по две - в журналах «Чернобыль. Экология и здоровье» (Гомель) и «Медицинские новости», по одной статье - в «Физиологии человека» (РАН), "Врачебное дело" (Украина) и "Журнале неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова" (РФ).

Сердечно-сосудистые расстройства у детей были оценены в 42 научных трудах, но только 7 из них были опубликованы в журналах России и РБ.

Выводы

1. В настоящее время закономерности исторического развития экологической кардиологии и, в частности, ее радиационной ветви проследить не представляется возможным.

2. Сложившаяся ситуация негативно сказывается на понимании сущности радиационного повреждения сердца, что не дает возможности патогенетически обосновать профилактику и лечение сердечно- сосудистой патологии у лиц, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Литература

1. Налимов В.В., Мульченко З.М. Наукометрия. Изучение науки как информационного процесса. – М.: Наука, 1969. – 192 с.

2. Маршакова И.В. Система цитирования научной литературы как средство слежения за развитием науки. - М.: Наука, 1988. - 287 с.

Влияние функционального состояния щитовидной железы на соотношение между интегральной дозой и объемом облученной радиойодом тиреоидной ткани

А.Ф. Маленченко, Н.М. Швед, Н.В. Канаш

Институт радиоэкологических проблем Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Influence of a functional condition of thyroid gland on a ratio between an integrated doze and volume of thyroid tissue irradiated by radioiodine. Because of high functional heterogeneity of thyroid tissue an average thyroid doze of irradiation from radioiodine and the dozes in its microsites can differ on the order and more.

Поглощенная доза в органе или ткани, по определению МКРЗ, предполагает равномерное облучение объекта, что не всегда соответствует реальной ситуации. Примером неравномерного облучения клеточных структур может быть щитовидная железа, которая характеризуется высокой функциональной гетерогенностью. В этих условиях интегральная доза на железу, которая является основной величиной, используемой при оценке и прогнозировании радиобиологических последствий, может значительно отличаться от реальных уровней облучения клеточных структур тиреоидной паренхимы. Это вносит неопределенности в прогнозирование величины радиационного риска. Для оценки возможного вклада этого эффекта было изучено влияние функционального состояния щитовидной железы на соотношение между интегральной дозой и объемом облученной радиойодом тиреоидной ткани.

Опыт выполнен на крысах линии Вистар, содержащихся на стандартной диете из брикетированных комбикормов. Экспериментальное моделирование функционального состояния щитовидной железы реализовывалось добавлением в воду для питья мерказолила с массовой долей 0,005% на протяжении пяти дней до введения радиойода. Животным вводили йод-131 в дозе – 900 кБк на крысу. Забой животных осуществлялся под эфирным наркозом. У крыс определяли содержание радиоактивности в теле, щитовидной железе и плазме крови на γ-радиометре со сцинтилляционным детектором.

Из щитовидных желез по стандартной методике готовились парафиновые срезы для морфологического и гисторадиографического исследования. Из депарафинизированных срезов были изготовлены гистоавтографы с помощью жидкой ядерной эмульсии типа Р. Для контактно-контрастных автографов парафин не удалялся. Контактные контрастные автографы готовились путем экспонирования срезов с радиойодом на ядерных пластинках типа МК. Экспозиция автографов в обоих случаях была 20 дней.

Поглощенные дозы были рассчитаны по накоплению радиойода щитовидной железой через 1, 3, 24, 120 часов и составляли: у контрольных животных 40 Гр, у экспериментальных – 20 Гр.

Интерпретация контактных контрастных и гистоавтографов осуществлялась на установке для анализа изображений, состоящей из микроскопа, телекамеры и компьютера. С помощью компьютерных программ снимок радиоавтографа преобразовывался в растровое изображение и проводилась его математическая обработка. По гистоавтографам оценивали соотношение между

площадью фолликулов, содержащих радиойод и свободных от него. Это соотношение экстраполировали на всю массу щитовидной железы, предполагая аналогичное его распределение в остальной тиреоидной ткани.

Установлено, что энергия излучения ^{131}I поглощается 30 % объема ткани щитовидных желез контрольных животных и 10 % объема ткани щитовидных желез, получавших мерказолил. Таким образом, дозы в микроучастках щитовидной железы контрольных животных в 3, а у экспериментальных в 10 раз выше значения интегральных доз, которые фактически используются в прогнозировании радиобиологических последствий облучения щитовидной железы радиойодом.

Биоэнергетика мышечной ткани с позиции "теории попадания" в радиобиологии

А.И. Грицук, А.Н. Коваль, С.М. Сергеенко, А.И. Вернер

Гомельский государственный медицинский институт, г. Гомель, Беларусь

Muscle tissue bioenergetic as "hit principle" in modern radiobiology. The "hit principles" are founded by N.V.Timofeeff-Ressovsky propagate in energy biochemical processes in laboratory investigation of incorporate radionuclides of cesium.

Одной из наиболее актуальных медико-биологических проблем последствий аварии на ЧАЭС является адекватная оценка эффектов инкорпорированных радионуклидов цезия.

Есть все основания полагать, что при инкорпорации ^{137}Cs, который является аналогом калия, будет иметь преимущественно внутриклеточную локализацию [1] и градиент концентрации в митохондриях, содержащих максимальную клеточную концентрацию кислорода.

Успехи в изучении молекулярных механизмов радиационного поражения организма, достигнутые в последние годы, позволяют сегодня в должной мере осмыслить глубину и фундаментальность важнейшего методологического принципа, сформулированного в классических работах Н.В. ТИМОФЕЕВа-Ресовского [5] - "принципа попадания", который может быть распространен также и на отдельные молекулы - молекулы кислорода.

Внутримитохондриальное накопление радионуклида может провоцировать образование активных форм кислорода, вызывая, тем самым, нарушение тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования. Изменения в системе митохондриального окисления тканей, вызванные этими причинами, могут лимитировать процесс формирования адекватной ответной реакции организма на внешние воздействия, ограничивать его функциональные резервы, создавая предпосылки для возникновения патологических процессов.

Анализ литературы свидетельствует о том, что данный вопрос остается малоисследованным, хотя представляет исключительный научно-практический интерес.

Целью настоящей работы явилось изучение показателей тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования миокарда и скелетных мышц животных, подвергнутых действию инкорпорированных радионуклидов ^{137}Cs в количествах, реально возможных у населения, проживающего на загрязненных территориях.

В работе использовались белые беспородные крысы-самцы массой 180 - 200 г. Путем скармливания сушеных белых грибов с активностью по ^{137}Cs 43,54 кБк/кг были

сформированы 5 подопытных групп с накоплением соответственно - 60, 170, 230, 420 и 600 Бк/кг, что соответствует, как показали расчеты, дозам облучения в 1.5, 4, 6, 10 и 15 мкГр. Дозиметрический контроль проводился на сцинтилляционном гамма-спектрометре LP 4900 B (Гомельский филиал НИКИ РМиЭ).

Животных забивали путем декапитации, извлеченные ткани отмывали физраствором от крови, очищали от соединительнотканных элементов, охлаждали в растворе Хэнкса и продавливали через плунжер с диаметром отверстий 0.5 мм. В полученных таким образом тканевых препаратах изучали показатели тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования на полярографе ПЛС-1 (РБ), в ячейке объемом 2 мл с помощью закрытого платинового электрода Кларка при температуре 30° С в растворе Хэнкса. Скорость поглощения кислорода тканевым препаратом выражали в нМ O_2 /мин * мг белка. Количество белка определяли биуретовым методом.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием непараметрического критерия U (Вилкоксона-Манна-Уитни).

Полученные данные свидетельствуют о том, что система митохондриального окисления миокарда и скелетной мускулатуры весьма чувствительна к инкорпорации ^{137}Cs, а изменения ее параметров характеризуется однонаправленностью. Последняя проявляется в виде стимуляции скорости дыхания препаратов на эндогенных субстратах при уровне инкорпорации 60 - 420 Бк/кг в миокарде и скелетной мускулатуре всех подопытных групп животных. В то же самое время возрастает Vглу в обеих тканях вышеозначенных групп. Пробы с разобщителем - 2,4-динитрофенолом свидетельствуют о лабильности системы окислительного фосфорилирования в миокарде и наличии разобщения окислительного фосфорилирования в скелетной мускулатуре.

Таким образом, система митохондриального окисления мышечной ткани реагирует на инкорпорацию небольших количеств радиоцезия в виде стимуляции дыхательной активности на эндогенных субстратах и экзогенном глутамате. Последнее находится в хорошем соответствии с обнаруженным рядом авторов [2, 3, 6] фактом стимуляции дыхательной активности при внешнем облучении других биологических объектов.

В системе сопряжения окислительного фосфорилирования миокарда наблюдается лабилизация, тогда как в скелетной мускулатуре - разобщение. Последнее обстоятельство представляет исключительный интерес, поскольку способствует снижению эффективности энергообразования за счет расточительного использования субстратов энергетического обмена и истощения их эндогенного пула.

Указанные процессы энергетического дисбаланса могут служить одним из факторов риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний в зонах периодического радиационного контроля, что подтверждается соответствующими эпидемиологическими исследованиями.

Нарушение сопряжения в системе окислительного фосфорилирования митохондрий мышечной ткани имеет, на наш взгляд, двойственный характер. С одной стороны оно носит адаптивное значение, поскольку является одним из инструментов "избавления" от избытка активных форм кислорода, с другой - может служить биохимическим маркером апоптоза отдельных субпопуляций миоцитов [4].

Литература

1. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. -М.: Энергоатомиздат, 1990. - 212 с.

2. Любашевский Н.М., Добринский Л.Н. Тканевое дыхание и обмен радиоактивных изотопов в костной ткани при воздействии проникающей радиации / Биоэнергетика при лучевом поражении живых организмов: Тез. докл. симп., 23 - 25 октября 1973, г. Ленинград. - Л., 1973. - С.186-187.

3. Мосин А.Ф., Миронюк Г.В. О природе усиления дыхания под влиянием γ-

облучения у дрожжевых клеток / Биоэнергетика при лучевом поражении живых организмов: Тез. докл. симп., 23 - 25 октября 1973, г. Ленинград. - Л., 1973. - С.188-189.

4. Скулачев В.П. В своем межмембранном пространстве митохондрия таит "белок самоубийства", который, выйдя в цитозоль, вызывает апоптоз // Биохимия. - 1996. - Т.61, вып. 11. - С.2060-2063.

5. Тимофеев-Ресовский Н.В. Избранные труды / Под ред. акад. О.Г.Газенко и акад. РАМН В.И.Иванова. - М.: Медицина, 1996. – 480 с.

6. Хансон К.П. Влияние ионизирующей радиации, ингибиторов дыхания и окислительного фосфорилирования на синтез ДНК в митохондриях / Биоэнергетика при лучевом поражении живых организмов: Тез. докл. симп., 23 - 25 октября 1973, г. Ленинград. - Л., 1973. - С. 200-201.

Действие хронического облучения в малой дозе на содержание нуклеиновых кислот в тканях крыс с различной радиочувствительностью

Г.Г. Верещако, А.М. Ходосовская, И.В. Буловацкая, Е.Ф. Конопля

Институт радиобиологии Национальной академии наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Action of chronic low intensive radiation in low dose at nucleic acids content in tissues with different radiosensitivity. The level of nucleic acids (DNA and RNA) in spleen and liver tissues and some hematologic indices of immature rats exposed to chronic low intensive irradiation in 1,0 Gy dose were studied. The difference in reaction of the investigated radiosensitive and radioresistant tissues is contained in more pronounced effects in changes of nucleic acids content in spleen tissue in earlier period. The liver tissue is caracterised by prolonged reservation of radiation-induced disturbance in nucleic acids level. Significant deviation in leucocytes system of rat blood was registered since 1, 30 and 90 days of observation.

Длительное низкоинтенсивное радиационное воздействие в настоящее время является одним из факторов окружающей среды на загрязненных долгоживущими радионуклидами территориях в Республике Беларусь. В связи с этим значительный интерес представляет реакция радиочувствительных и радиорезистентных тканей организма на хроническое облучение с низкой мощностью дозы. В частности, мало изучено влияние длительного низкоинтенсивного радиационного воздействия на содержание нуклеиновых кислот в тканях селезенки и печени, обладающих определенными различиями в чувствительности к облучению [1].

Цель настоящей работы - изучение содержания РНК и ДНК в ткани селезенки и печени крыс в различные сроки после хронического внешнего облучения в суммарной дозе 1,0 Гр (мощность дозы 3,03 сГр/сут). Одновременно проводился анализ некоторых гематологических показателей организма животных (количество лейкоцитов и соотношение основных лейкоцитарных элементов крови), которые позволяют оценить степень радиационного поражения организма.

В работе были использованы белые крысы-самцы стадного разведения (исходный возраст 1 мес, масса животных 48,5±5,7 г). Хроническое низкоинтенсивное облучение

животных проводили на установке Гаммарид 120/192, источник гамма-лучей ^{137}Cs, мощность дозы 3,03 сГр/сут. Крысы находились в зоне облучения круглосуточно, с перерывами на кормление и уборку помещения до достижения суммарной дозы 1,0 Гр. Контрольные животные аналогичного возраста находились в условиях вивария. Исследования животных проводили на 1, 30 и 90 сут после прекращения радиационного воздействия.

Анализировали количество лейкоцитов и процентное соотношение основных лейкоцитарных элементов (нейтрофилов и лимфоцитов) в крови общепринятыми клиническими методами. В 10% гомогенатах тканей селезенки и печени определяли содержание РНК и ДНК [2, 3]. Полученные данные обрабатывались статистически, с использованием t-критерия Стьюдента.

Установлено, что в начальном периоде (1 сут) после внешнего хронического облучения в суммарной дозе 1,0 Гр выявляется выраженная лейкопения (количество лейкоцитов падает до 40,4% от интактного контроля), обусловленная лимфопенией и нейтропенией, что подтверждается абсолютным количеством изучаемых клеток (табл. 1). Содержание нуклеиновых кислот в ткани селезенки крыс достоверно снижается (РНК на 28,4%, а ДНК на 18,6% соответственно). В это же время в ткани печени отмечен умеренный рост концентрации ДНК (до 108,3%) (табл. 2).

Спустя 30 сут после облучения количество лейкоцитов в крови продолжает оставаться на сниженном уровне, процентное соотношение нейтрофилов существенно увеличивается. Содержание нуклеиновых кислот (как РНК, так и ДНК) и их соотношение в ткани селезенки остается на сниженном уровне. В этот же период отмечено достоверное падение концентрации ДНК в печени крыс, а соотношение РНК/ДНК повышено.

В отдаленном периоде (90 сут) после хронического облучения в дозе 1,0 Гр полной нормализации показателей лейкоцитарной системы крови не происходит. Содержание РНК в ткани селезенки через 3 мес несколько снижено, а уровень ДНК близок к значению контроля, в то время как в ткани печени выявляется достоверное уменьшение концентрации РНК и ДНК.

Таким образом, анализ содержания РНК и ДНК в тканях селезенки и печени крыс после хронического облучения в суммарной дозе 1,0 Гр выявил определенные различия в реакции радиочувствительных и радиорезистентных тканей крыс на действие ионизирующего излучения. Они заключаются в более выраженных изменениях концентрации нуклеиновых кислот в ткани селезенки в начальном периоде после облучения по сравнению с печенью. Ткань печени характеризуется длительным сохранением радиационных нарушений, которые не нормализуются к 90 сут после воздействия. Состояние лейкоцитарной системы крови крыс (количество лейкоцитов и процентное соотношение нейтрофилов и лимфоцитов) свидетельствует о значительных отклонениях в функционировании кроветворной системы после длительного радиационного воздействия на протяжении наблюдаемого пострадиационного периода, что, вероятно, связано с высокой радиочувствительностью животных неполовозрелого возраста.

Таблица 1

Изменение количества лейкоцитов и процентного соотношения нейтрофилов и лимфоцитов крови крыс в различные сроки после внешнего хронического облучения в суммарной дозе 1,0 Гр

Изучаемые показатели	Контроль	1,0 Гр	
	x ± Sx	x ± Sx	% к контролю
1 сутки			
Лейкоциты, тыс. в 1 мм^3	6,44 ± 0,53	2,60 ± 0,30*	40,4
Нейтрофилы, %	7,80 ± 1,40	8,40 ± 2,60	107,7
Лимфоциты, %	85,60 ± 2,20	79,00 ± 4,80	92,3
30 суток			
Лейкоциты, тыс. в 1 мм^3	5,88 ± 0,36	3,68 ± 0,24*	62,6
Нейтрофилы, %	12,20 ± 1,80	17,20 ± 2,60	141,0
Лимфоциты, %	77,00 ± 1,70	74,80 ± 4,90	97,4
90 суток			
Лейкоциты, тыс. в 1 мм^3	5,10 ± 0,40	3,85 ± 0,56	75,5
Нейтрофилы, %	13,50 ± 0,96	21,25 ± 1,31*	157,4
Лимфоциты, %	77,75 ± 0,85	70,75 ± 1,93*	91,0

• - достоверные изменения при $p < 0,05$

Таблица 2

Влияние внешнего хронического облучения в дозе 1,0 Гр на содержание нуклеиновых кислот, соотношение РНК/ДНК в селезенке и печени крыс

Сроки после облучения	РНК, мг/г		ДНК, мг/г		РНК/ДНК	
	x ± Sx	%	x ± Sx	%	x ± Sx	%
селезенка						
Контроль	5,36±0,05	100,0	11,03±0,67	100,0	0,49±0,03	100,0
1 сут	3,84±0,06*	71,6	8,98±0,27*	81,4	0,43±0,02	88,1
Контроль	4,36±0,18	100,0	13,11±1,06	100,0	0,33±0,01	100,0
30 сут	3,38±0,29*	77,5	11,30±1,01	81,2	0,30±0,03	89,8
Контроль	3,80±0,21	100,0	11,63±0,53	100,0	0,33±0,03	100,0
90 сут	3,33±0,05	87,6	11,53±0,42	99,1	0,29±0,02	88,4
печень						
Контроль	4,73±0,18	100,0	3,13±0,06	100,0	1,51±0,04	100,0
1 сут	4,08±0,15	83,6	3,63±0,13*	108,3	1,21±0,03*	80,1
Контроль	4,04±0,06	100,0	3,61±0,04	100,0	1,12±0,06	100,0
30 сут	4,25±0,19	105,2	3,12±0,06*	86,4	1,36±0,05*	121,4
Контроль	4,56±0,10	100,0	3,31±0,18	100,0	1,38±0,07	100,0
90 сут	4,00±0,11*	87,7	2,69±0,09*	81,3	1,49±0,04	108,0

Литература

1. Верещако Г.Г., Ходосовская А.М., Конопля Е.Ф. // Докл. НАН Беларуси. 1997. Т. 41, N 1. С. 79-83.

2. Blobel G., Potter V.R. // Biochim. Biophys. Acta. 1968. Vol. 166. N 1. P. 48-57.

3. Трудолюбова М.Г. // Современные методы в биохимии. М.: Медицина, 1977. С. 313-316.

Пострадиационные нарушения в иммунной системе и их коррекция магнитным полем и лазерным излучением

*Е.А. Кравченко, *Д.Р. Петренев, **Е.Е. Тарасова, *Е.Ф. Конопля, **С.Р. Довбан, *Н.В. Пильченко

*Институт радиобиологии Национальной Академии Наук Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

**Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства, г. Минск, Беларусь

Post-radiation disturbances in immune system and their correction with magnetic field and laser radiation. The functioning of mononuclears and syntesis of immunoglobulins in white non-linear rats were studies under the action of ionising radiation in low doses. It was found that the single acute r-irradiation in 1 Gr dose activated in them the macrophagal transformation of mononuclears and the syntesis of immunoglobulins. That effect was obstrved during quite long term 1.5 months. The alternating magnetic fields with low freguency and the laser irradiation with low intensity exert an expressed radioprotective effect both in the form of monotherapy and at the combined application.

Катастрофа на ЧАЭС привела к загрязнению территории Беларуси радионуклидами и увеличению естественного фона радиоактивности. Поэтому в настоящее время актуальными являются радиационная защита и восстановление высших организмов и человека [2,3]. Одним из факторов, изменяющих радиочувствительность клеток и целостного организма, по мнению многих авторов [3,4], являются электроманитные поля различной интенсивности и частоты и низкоинтенсивное лазерное излучение, которые могут действовать как протекторы в предотвращении повреждающего действия ионизирующего излучения на функционирование системы мононуклеарных фагоцитов и гуморальный ответ, в частности, на иммуноглобулинопродукцию. Существует прямая корреляция между функциональной активностью мононуклеаров, в частности, трансформацией их в макрофаги и антителообразованием. Эти показатели обоюдно связаны и отражают степень кооперативных взаимодействий между клеточными и гуморальными звеньями иммуногенеза, а также напряженность аутоиммунных процессов в организме[1]. В этой связи, представляет интерес определить особенности функционирования мононуклеаров и антителопродукции при радиационной нагрузке и выявить возможность коррекции пострадиационных нарушений с применением магнитного поля низкой частоты (МПНЧ) и низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ).

Материалы и методы. Экспериментальная работа выполена на белых нелинейных крысах, подвегнутых первоначально острому внешнему гамма-облучению в дозе 1 Гр с мощностью дозы 5,0 сГр/мин на установке «Игур-1». Магнито- и лазеротерапию начинали через месяц после гамма-облучения. Сеансы магнитотерапии проводили на установке, изготовленной в Белорусской государственной политехнической академии, продолжительность их составила 20 минут при частоте модуляции 8 Гц. Лазеротерапию осуществляли с помощью полупроводникового лазера с длиной волны 822 нм и мощностью 20 мВт в проекции двух точек на животе в течение 4 минут. Для постановки данных опытов животных сформировали в следующие группы, по 6 особей в каждой (см. данные таблицы).

По окончании экспериментов у животных были определены макрофагальная трансформация мононуклеаров и содержание иммуноглобулинов в крови [1].

Результаты и их обсуждение. Результаты наших исследований приведены в таблице 1.

Установлено, что однократное острое гамма-облучение экспериментальных животных в дозе 1 Гр значительно активизирует у них макрофагальную трансформацию мононуклеаров и повышает содержание иммуноглобулинов в крови. Это прослеживается на протяжении довольно длительного срока в 1,5 мес. Спустя этот временной промежуток наблюдали резкое понижение показателя макрофагальной трансформации мононуклеаров значительно ниже нормы – в 2,5 раза ($P < 0,01$). Это говорит о наличии в организме аутоиммунного процесса и об истощении системы защиты и репарации. Применение в качестве терапевтического воздействия МПНЧ и НИЛИ способствует нормализации данных показателей, как в форме монотерапии, так и в сочетанном варианте. Наиболее выраженным лечебным эффектом обладает лазеротерапия, особенно при увеличении количества сеансов ее до 10. Магнитотерапия и сочетанная магнито-лазеротерапия действуют не так интенсивно, но, по-видимому более мягко, что может быть благоприятным при значительном напряжении и истощении вос-становительных процессов в облученном организме.

Таблица 1

Влияние внешнего гамма-облучения, МПНЧ и НИЛИ на макрофагальную трансформацию мононуклеаров и содержание иммуноглобулинов в периферической крови

Группы животных	Показатель макрофагальной трансформации мононуклеаров,%	Содержание иммуноглобулинов, ед.
1-я – гамма-облученные и нелеченные животные, происследованные через 1 месяц после облучения	42,7±1,6*	32,4±1,1*
2-я – интактные животные	15,3±0,6	16,7±0,67
3-я – облученные животные, получившие 5 сеансов магнитотерапии и происследованные сразу же после ее окончания	28±1,1**	25,0±0,8**
4-я – ... 5 сеансов лазеротерапии	24,8±0,8*	20,2±1,6*
5-я – ... 5 сеансов сочетанной терапии	25,7±0,8*	22,5±0,8*
6-я – нелеченные животные, происследованные в тот же срок, что и пролеченные	35,6±1,5*	32,2±0,11*
7-я – животные, получившие 10 сеансов магнитотерапии и происследованные сразу же после ее окончания	20,3±0,8*	21,7±1,3*
8-я – ... 10 сеансов лазеротерапии	16,8±0,97*	18,2±1,3*
9-я – ... 10 сеансов сочетанной терапии	22,6±0,64*	18,2±1,1*
10-я – нелеченные животные, происследованные в тот же срок	27,7±0,64*	34,3±0,8*
11-я – животные, получившие 10 сеансов магнитотерапии и происследованные через 7 дней после ее окончания	19,0±0,7*	17,0±0,45*
12-я - ...10 сеансов лазеротерапии	17,7±0,9*	18,3±0,67*
13-я - ... 10 сеансов сочетанной терапии	17,0±0,7**	16,7±0,33*
14-я – нелеченные животные, происследованные в тот же срок	6,7±0,33**	29,3±0,78*

Примечание : * - данные достоверны, $P < 0,001$;
** - ... $P < 0,01$.

Литература

1. Определение феномена макрофагальной трансформации мононуклеарных клеток в культуре лейкоцитов крови для оценки иммунологического состояния организма. Метод. Рекоменд.- Л.: 1980.
2. Перковская А.Ф., Симонин И.П., Сагалович Е.Е., Кильчевская Е.В. // Современные проблемы инфекционной патологии человека : Ст. и тез.докл. I-й итоговой науч.-практ. конф.- Мн., 1998.- С.408-414.
3. Сагалович Е.Е., Зубович В.К., Чубаров С.И. // Там же.- С.369-374.
4. Blackmann C.F., Benane S.G., Elliot O.J. e.a. // Bioelectromagnetics. – 1998.- V.9, №3.- P.215-227.

Распространенность носительства аутоиммунных клонов лимфоцитов среди детского населения Республики Беларусь, проживающего в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения

О.А. Азарёнок, Л.Г. Борткевич

Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, Белорусский зелёный крест, г. Минск, Республика Беларусь

Spreading of carrying of autoreactive lymphocytes among belorussian children which live under conditions of chronic irradiation. Existence of autoreactive lymphocytes is a critical event during the initiation of atherosclerosis. The aim of the present study was to investigate performance of the autoclone of lymphocytes depending on children's age and on level of including radionuclides. Our data give the base for the further researches in pathogenesis of early atherosclerosis.

На территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, наблюдается увеличение числа лиц молодого возраста с нестабильным артериальным давлением, сосудистыми заболеваниями головного мозга и конечностей, инфарктом миокарда, которые зачастую являются манифесиацией атеросклероза кровеносных сосудов. Атеросклероз как педиатрическая проблема впервые стал привлекать внимание специалистов примерно 20 лет тому назад. Сосудистая стенка подвергается повреждающему воздействию на протяжении всей жизни. Уже у детей обнаруживаются повреждения сосудистой стенки в виде жировых пятен или штрихов, увеличение которых прогрессирует с возрастом.

Важнейшая роль в процессе атерогенеза принадлежит так называемым модифицированным (окисленным) липопротеинам низкой плотности (мЛПНП), которые не распознаются apoB/E-рецепторами, накапливаются в сосудистой стенке и стимулируют клеточную реакцию со стороны эндотелиальных и гладкомышечных клеток, макрофагов, лейкоцитов.

В исследованиях, выполненных за последнее время, получены данные, позволившие предположить, что атеросклероз является следствием хронического иммунного воспаления, подобно реакции гиперчувствительности замедленного типа. В пользу этого утверждения свидетельствуют обнаруживаемые в атеросклеротических артериях Т- и В-лимфоциты,

находящиеся в активном состоянии. Перекисная модификация липопротеинов, происходящая в крови и сосудистой стенке, приводит к образованию у мЛПНП свойства аутоантигенов, к которым вырабатываются антитела. Таким образом, модифицированные ЛПНП запускают оба звена иммунитета: клеточный и гуморальный.

В нашей работе предпринята попытка оценить степень иммунореактивности лимфоцитов на мЛПНП у детей с различным накоплением радионуклидов.

В работе исследовали образцы крови, взятые у 86 детей (в возрасте 2-18 лет). Для достижения поставленной цели применяли ряд методов: для выделения липопротеинов низкой плотности из пула сывороток доноров использовали метод осаждения 4% раствором гепарина и метод ультрацентрифугирования в градиенте плотности. Для получения мЛПНП был разработан метод окисления ЛПНП максимально приближенный к условиям модификации его in vivo. Для оценки функционального состояния лимфоцитов использовали реакцию бластной трансформации лимфоцитов.

Были выделены следующие группы детей по возрасту:

Группа 1 – дети в возрасте от 2 до 6 лет (26 чел)

Группа 2 – дети в возрасте от 7 до 12 лет (32 чел)

Группа 3 – дети в возрасте от 13 до 18 лет (28 чел)

и в зависимости от накопления радионуклидов:

А – индивидуальная доза от 0 до 20 Бк

В – индивидуальная доза от 21 до 400 Бк

С – индивидуальная доза свыше 400 Бк

Таблица 1

Пролиферативный ответ лимфоцитов крови детей на мЛПНП и на поквид-митоген в зависимости от возраста детей и от степени накопления радионуклидов

Митоген	1А	1В	1С	2А	2В	2С	3А	3В	3С
мЛПНП	2,7	3,55	3,25	2,2	3,36	5,03	3,2	3,97	4,71
поквид-митоген	7,75	6,07	4,75	6,42	5,95	3,45	6,21	4,23	3,38

Как видно из таблицы 1 дети 2С- и 3С-групп имеют пролиферативный ответ на мЛПНП более высокий, чем на поквид-митоген. Дети группы 3В имеют практически одинаковые пролиферативные ответы (ПО) на эти два митогена. Это говорит о наличии аутореактивного клона лимфоцитов у детей этих групп.

Аутореактивность лимфоцитов детей на мЛПНП было интересно сравнить с аутореактивностью на какой-нибудь другой аутоантиген, чтобы понять, является эта аутореактивность специфической или же системной. Из выборки отбирались те, кто наряду с повышенным ПО на тиреоглобулин имел повышенный ПО на мЛПНП. Для детей 2-12 лет процент тех, кто наряду с повышенной аутореактивностью на тиреоглобулин имел высокий уровень активации лимфоцитов на мЛПНП, значительно выше, чем для группы 3. Это может говорить о том, что иммунореактивность лимфоцитов на мЛПНП в раннем возрасте связана с системной аутоактивацией лимфоцитов, а в более старшем возрасте – со специфическим клоном лимфоцитов.

Литература

1. McGill H.: The pathogenesis of atherosclerosis. Clin. Chem. 34(8B): B33-B39 (1998)

2. Климов А. Н., Никульчева Н. Г. Липиды, липопротеиды и атеросклероз. С-Пб: Питер, 1995

3. Титов В. Н. Патогенез атеросклероза для XXI века (обзор литературы) // Клиническая лабораторная диагностика. 1998. №1. с. 3-10.

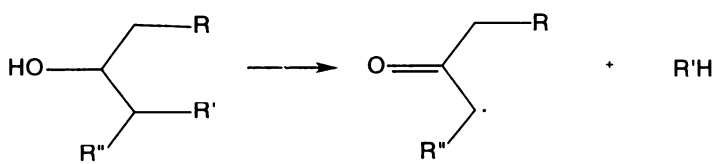
Свободнорадикальные перекисное окисление и фрагментация липидов в модельных мембранах

И.Л. Юркова, *М.А. Кисель, О.И. Шадыро

Лаборатория химии свободнорадикальных процессов,
Институт физико-химических проблем Белгосуниверситета,
**Институт биоорганической химии АН, Минск, Беларусь*

Free-radical peroxidation and fragmentation of lipids in model membranes. In this repot data are presented permitting to estimate the interrelation of fragmentation and lipid peroxidation processes in model membranes are presented. These data were obtained in the course of radiation-induced lipid peroxidation studies in two-component liposomes, containing the easily oxidized rat liver phosphatidyl choline. As the second component peroxidation-stable saturated phospholipids, which can undergo fragmentation, were used. It is shown that intermediates and products of free-radical fragmentation of lipids can model the course of the peroxidation reaction of glycerophospholipids.

Известно [1], что ПОЛ протекает по свободнорадикальному механизму, и в этот процесс вовлекаются липиды, содержащие остатки ненасыщенных жирных кислот. В наших работах [2-4] было показано, что при взаимодействии липидов с инициаторами свободнорадикальных реакций помимо перекисного окисления липидов имеет место реакция фрагментации, которая реализуется в полярной части липидов при наличии в их молекуле гидроксильной группы в β-положении к сложноэфирной (фосфорноэфирной) или амидной связи.



Фосфатидилглицерин: R=OH, R»=H
R'=$(C_{15}H_{31}COO)CH_2$ $(C_{15}H_{31}COO)CHCH_2OPO_3$

Сфингомиелин: R=$CH=CH(CH_2)_{13}CH_3$, R'=$NHCOC_{17}H_{35}$,
R»=$OPO_3^-CH_2CH_2N^+(CH_3)_3$

Лизофосфатидилхолин: R=$C_{15}H_{31}COO$, R =$OPO_3^-CH_2CH_2N^+(CH_3)_3$, R"=H

С целью выяснения возможного влияния свободнорадикальной фрагментации липидов на процесс ПОЛ мы изучили особенности образования продуктов перекисного окисления фосфатидилхолина (ФХ) в липосомах, содержащих фосфолипиды, способные к реакции

свободнорадикальной фрагментации. В качестве инициатора свободнорадикальных процессов использовалось γ-излучение.

В качестве модели мембраны в наших исследованиях использовались липосомы из легко окисляемого ФХ печени крыс. Для оценки влияния других фосфолипидов на реакции ПОЛ были выбраны дипальмитоилфосфатидилглицерин (ДПФГ), лизофосфатидилхолин (ЛФХ), сфингомиелин (СМ из бычьего мозга содержит только насыщенные и моноеновые жирнокислотные остатки), дипальмитоилфосфатидилэтанол (ДПФЭТ) и дипальмитоилфосфатидилхолин (ДПФХ). Все они устойчивы к ПОЛ, но первые три при взаимодействии со свободными радикалами подвергаются фрагментации.

При введении в ФХ-липосомы ДПФГ концентрация образующихся диеновых коньюгатов (ДК) и ТБК-активных продуктов увеличилась более, чем в 5,5 раз по сравнению с липосомами из одного ФХ.Далее была изучена зависимость накопления продуктов ПОЛ в липосомах, содержащих ДПФЭТ. Последний, как и ДПФГ, является отрицательно заряженным фосфолипидом и имеет практически одинаковую с ним температуру перехода гель-жидкий кристалл – 41,6 °С (у ДПФГ – 41 °С). Однако, в отличие от ДПФГ, ДПФЭТ не может участвовать в реакции свободнорадикальной фрагментации. Введение ДПФЭТ в состав ФХ-липосом также сопровождается увеличением образования ДК и ТБК-активных продуктов, однако накопление продуктов ПОЛ в этом случае почти в 2 раза меньше, чем в случае с ДПФГ. Доказательством того, что дипальмитоилглицериновый остаток ДПФГ и ДПФЭТ не вносит какого-либо вклада в активацию ПОЛ служат данные о пероксидации ФХ в липосомах, включающих ДПФХ. ДПФХ и ФХ имеют одинаковую полярную часть, но введение ДПФХ в ФХ-липосомы не только не ускоряет процесс окисления ФХ, а даже ингибирует его в некоторой степени.

Липидами, близкими по химическому строению полярной составляющей с ФХ, являются СМ и ЛФХ. И как указывалось выше (см. схему), данные липиды являются субстратами реакции свободнорадикальной фрагментации. Присутствие СМ в липосомах из ФХ приводит к заметному ингибированию реакций ПОЛ. Возможно образующиеся в результате фрагментации СМ продукты, среди которых нами идентифицированы амиды жирных кислот [3], могут оказывать ингибирующее действие на реакции ПОЛ. Полученные данные по исследованию влияния амидов стеариновой и олеиновой кислот на образование ТБК-активных альдегидов в липосомах из ФХ указывают на то, что амиды жирных кислот замедляют процесс ПОЛ.

При исследовании влияния ЛФХ на процесс окисления в ФХ-липосомах было принято во внимание свойство лизофосфатидилхолина в определенных концентрациях вызывать лизис мембран. Известно [5,6], что в подобных системах разрушение липидной мембраны происходит только при 35-40 mol.% ЛФХ. Нами была изучена зависимость накопления первичных продуктов ПОЛ в зависимости от концентрации ЛФХ, не превышающей 25 mol.%. Установлено, что включение в ФХ-липосомы до 10 % ЛФХ практически не влияет на концентрацию образующихся в результате радиационно-инициированной реакции ПОЛ диеновых конъюгатов. Однако при включении в липосомы более 10 % ЛФХ наблюдается резкое увеличение концентрации ДК. По-видимому, такое изменение скорости образования ДК обусловлено везикуляцией мультиламеллярных липосом, содержащих более 10 % лизофосфолипида [7]. Далее были изучены дозные зависимости накопления продуктов ПОЛ в липосомах из одного ФХ и содержащих 15 mol.% ЛФХ. Количество образующихся ДК и МДА в липосомах, содержащих 15 % ЛФХ, значительно превышает таковое в ФХ-липосомах. Такое влияние ЛФХ на ПОЛ можно объяснить либо его способностью участвовать в свободнорадикальной фрагментации, либо его влиянием на проницаемость липидного бислоя. Чтобы ответить на этот вопрос мы добавили холестерин к липосомам, содержащим 15 % ЛФХ, что привело к повышению устойчивости ФХ к атаке свободными радикалами. В то же время радиационно-инициированное перекисное окисление в ФХ-липосомах, содержащих $1 \cdot 10^{-4}$ М пальмитоксиацетона - продукта фрагментации ЛФХ -

практически не отличалось от контрольного эксперимента в области дозы 0-4 кГр.

Таким образом, отрицательно заряженные фосфолипиды с насыщенными жирнокислотными остатками ДПФГ, ДПФЭТ активируют процесс ПОЛ в липосомах из ФХ печени крыс, а нейтральные липиды, такие как СМ и ДПФХ, ингибируют его. Как активирующее, так и ингибирующее действие более ярко проявляется в результате прибавления в систему фосфолипидов, способных подвергаться процессу свободнорадикальной фрагментации. Активирующее действие ЛФХ на ПОЛ, по всей видимости, определяется и его способностью влиять на проницаемость липидного слоя, и склонностью к свободнорадикальной фрагментации.

Литература

1. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. 1989. Free Radicals in Biology and Medicine, 2d edn. Oxoford: Clarendon Press, 188-276.
2. Kisel M.A., Shadyro O.I., Yurkova I.L.// High Energy Chemistry. 1997, v. 31, N 2, P. 99-103.
3. Edimicheva I.P., Kisel M.A., Shadyro O.I., Vlasov A.P., Yurkova I.L.// Int.J.Radit. Biol. 1997.V. 71.N 5. P. 555-560.
4. Muller S.N., Batra R., Senn M., Giese B., Kisel M.A.,Shadyro O.I.// J/Amer.Chem. Soc.1997.V.119. N 12. P. 2795-2803
5. Morris D.A., McNeil R., Castellino F.J., Thomas J.K.// Biochim. Biophys. Acta. 1980. V. 599. N 2. P. 380-390
6. Van Echteld C.L., de Kruijff B., Mandersloot J.G., de Gier J.// Biochim. Biophys. Acta. 1981. V. 649. N 2. P. 211-220
7. Hauser H.// Chem. Phys. Lipids. 1987.V. 43. N 4.P. 283-299

Образование и деструкция сигнальных липидных молекул при радиационном облучении мембран

М.А. Кисель, О.И. Шадыро*

Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси,г.Минск, Беларусь
**Белорусский государственный университет, г.Минск, Беларусь*

Production and destruction of lipid signaling molecules on irradiation of membranes. Biological consequences of producing and "burning-out" of signaling lipids in the coarse of radiation-induced free radical lipid peroxidation and fragmentation will be discussed.

В последние годы получен ряд данных, свидетельствующих о том, что некоторые липиды при действии на клетки выполняют функции сигнальных молекул, вызывая агрегацию (тромбоциты), клеточную пролиферацию и апоптоз. Эти липиды синтезируются и инактивируются при действии липаз, фосфолипаз, липооксигеназ и других ферментов, трансформирующих липиды. В настоящем докладе на основании собственных результатов исследования и данных литературы выдвигается и обосновывается гипотеза, состоящая в том, что синтез и деструкция липидных сигнальных молекул имеют место при радиационной инициации свободнорадикальных реакций.

При действии ионизирующего облучения на биомембраны составляющие их ненасыщенные фосфолипиды подвергаются перекисному окислению с образованием гидроперекисей, перекисей и эндоперекисей. Последние при дальнейшей химической и ферментативной трансформации превращаются в соединения меньшей молекулярной массы, многие из которых обладают свойствами сигнальных молекул. Реакции, приводящие к образованию таких соединений, схематически показаны на схеме 1.

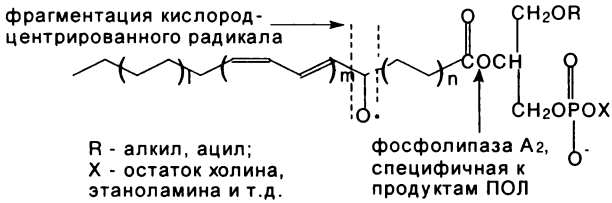


Схема 1

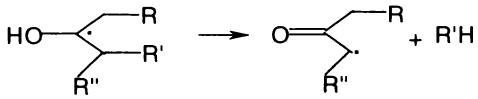
Мы показали, что кроме цепных реакций перекисного окисления липидов, существует иной тип свободнорадикальной трансформации липидов под действием ионизирующего излучения [1-6]. Была впервые описана реакция фрагментации, которая реализуется в полярной части липидов при наличии в молекуле последних гидроксильной группы в β-положении к сложноэфирной (фосфоэфирной) или амидной связи. К таким липидам относятся фосфатидилглицерин, кардиолипин, фосфатидилинозит, лизофосфолипиды, сфингомиелин, цереброзиды, алкил- и ацилглицерины и др. Так, в процессе свободнорадикальной фрагментации водной дисперсии фосфатидилглицерина образуются фосфатидная кислота и оксиацетон, а сфингомиелин и 1-пальмитоил-2-лизофосфатидилхолин в этих условиях распадаются с образованием амидов жирных кислот и пальмитоилоксиацетона соответственно. Ключевой стадией процесса является фрагментация углеродцентрированных радикалов исходных липидов, в которых неспаренный электрон локализован на атоме углерода, несущем гидроксильную группу (схема 2).

Косвенным доказательством наличия реакций свободнорадикальныцх реакций фрагментации в биологических системах являются полученные нами следующие экспериментальные данные:

1.фрагментация фосфатидилглицерина, содержащего ненасыщенные жирнокислотные остатки, протекает со скоростью одного и того же порядка, что и реакция ПОЛ;

2.в липидном экстракте γ-облучённого гомогената мозга, богатого сфинголипидами, обнаружены продукты, времена удерживания которых при газо-хроматографическом разделении совпадают с временами удерживания амидов жирных кислот.

На основании собственных данных и данных литературы в докладе будут рассмотрены возможные последствия реакций перекисного окисления и свободнорадикальной фрагментации, обусловленные "выгоранием" сигнальных липидов и образованием новых активных фрагментов.



Фосфатидилглицерин: R = OH; R'' = H;
$R' = C_{15}H_{31}COOCH_2CH(C_{15}H_{31}COO)CH_2OPO_3^-$

Сфингомиелин: $R = CH{=}CH(CH_2)_{13}CH_3$;
$R' = NHCOC_{17}H_{35}$; $R'' = O\bar{P}O_3CH_2CH_2\dot{N}(CH_3)_3$

Лизофосфатидилхолин: $R = C_{15}H_{31}COO$;
$R' = O\bar{P}O_3CH_2CH_2\dot{N}(CH_3)_3$; R'' = H

Схема 2

Литература

1. Ахрем А.А., Едимичева И.П., Зайцев А.А., Кисель М.А., Тимощук В.А., Шадыро О.И. Элиминирование ациламидов при радиационно-инициированной свободнорадикальной фрагментации сфингомиелина. // Докл. АН СССР. - 1991. - Т. 316, N 4. - С. 919-921

2. Ахрем А.А., Кисель М.А., Шадыро О.И., Юркова И.Л. Радиационно-инициированная свободнорадикальная фрагментация биологически активных глицеридов // Докл. Академии наук (Россия). - 1993. - Т. 330, N 6. - С. 716-718

3. Edimicheva I.P., Kisel M.A., Shadyro O.I., Vlasov A.P., Yurkova I.L. The damage to phospholipids caused by free radical attack on glycerol and sphingosine backbone. // Int. J. Radiat. Biol. - 1997. - Vol. 71, N 5. - P. 555-560

4. Muller S.N., Batra R., Senn M., Giese B., Kisel M., Shadyro O.I. Chemistry of C-2 glyceryl radicals: indications for a new mechanism of lipid damage. // J. Amer. Chem. Soc. - 1997. - Vol. 119, N 12. - P. 2795-2803

5. Давыдов В.Ю., Кисель М.А., Шадыро О.И., Юркова И.Л. Особенности радиационно-инициированного перекисного окисления фосфатидилхолина в составе липосом, содержащих склонные к свободнорадикальной фрагментации фосфолипиды. // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2000. - Т. 40, №4. - С.391-395

6. Кисель М.А., Шадыро О.И., Юркова И.Л. Влияние ионов Ca^{2+} на радиационно-инициированную свободнорадикальную фрагментацию димиристоилфосфатидилглицерина в составе модельных мембран. // Химия высоких энергий. - 2000. - Т.34, №2. - С.120-123

Особенности вегетативной регуляции центральной гемодинамики у детей, проживающих в условиях хронического низкодозового радиационно-химического воздействия

О.М. Жерко

Кафедра радиационной медицины и экологии МГМИ, г. Минск, Беларусь

The particularities of vegetative regulation of central haemodynamic at children living in condition of chronical radiation and chemical influence in low doses. 398 children 7-16 years old living in condition of enviromental threats have been examined. The most essential changes of the vegetative regulation of central haemodynamic have been found at children 7-13 years old. The distortion of vegetative regulation of the central haemodynamic have been revealed: sympatcotonia in case of aterial hypotensia and deficiency of sympatetic regulation of aterial hypertensia. Level of hormons of the sympatoadrenality system was fall.

В отделении педиатрии клиники НИКИ РМ и Э было проведено комплексное экологическое и медицинское (клиническое, инструментальное, гормональное) обследование 398 детей в возрасте 7-16 лет из загрязненных радионуклидами районов Брестской области (Столинского и Лунинецкого). В качестве контроля обследовано 245 детей из Браславского района Витебской области.

Радиационное воздействие на организм ребенка оценивали исходя из величины годовой суммарной эквивалентной дозы облучения (ГСЭД), рассчитываемой в соответствии с методическими рекомендациями НИКИ РМ и Э [3]. Среднегрупповые величины ГСЭД в мЗв у детей контрольной и основной групп составили 0.165 мЗв (0.01-0.21 мЗв) и 0.9 мЗв (0.16-3.25 мЗв) соответственно, различия были достоверны ($p<0.001$). Среднегрупповые величины концентрации свинца в крови у детей контрольной и основной групп (с величинами свинца в крови < 0.1 мг/л и ≥0.1 мг/л) составили 0.08 мг/л (0-2.03), 0.049 мг/л (0-0.099) и 0.17 мг/л (0.1-1.5) ($p<0.001$) соответственно.

Изучение клинико-функционального состояния ВНС проводилось на основании сбора жалоб, анамнеза, клинического осмотра и кардиоинтервалографии с исследованием клиноортостатической пробы, определением типа вегетативной реактивности (ВР) и разделением детей в зависимости от величины индекса напряжения в клиноположении и ортостазе на имевших ваготонический, эйтонический, симпатикотонический типы исходного вегетативного тонуса (ИВТ) и вегетативного обеспечения ортостаза (ВОО) [2]. Изучение состояния центральной гемодинамики проводилось методом тетраполярной грудной реографии. Артериальное давление (АД) измеряли аускультативным методом Короткова. Уровень АД оценивали по отношению фактического среднего АД к индивидуальному должному значению, выраженному в виде коэффициента давления (К). Дети, имевшие $K<0.95$, были отнесены к группе с артериальной гипотензией, $0.95 \le K \le 1.05$ - с артериальной нормотензией, $K>1.05$ - с артериальной гипертензией [1]. Активность симпато-адреналовой системы оценивали по уровню экскреции катехоламинов с мочой. Содержание адреналина, норадреналина, дофамина в утренней порции мочи определяли флуориметрическим методом на спектрофотометре MPF-4 фирмы «Hitachi» (Япония). Для определения содержания свинца

в крови применен рентгеноспектральный метод анализа с использованием рентгенофлуоресцентного спектрофлуориметра (Спектрейс - 5000) производства фирмы "Тракор-иксрей" - Нидерланды.

В основной группе преобладали жалобы ваготонического характера, астеноневротический синдром (16%, в контроле - 8.9%, $p<0.05$), метаболическая форма кардиального синдрома вегетативной дисфункции (19% против 9% в контроле, $p<0.05$), вегетативная дисфункция с преобладанием ваготонии (39.7%, в контроле - 15.3%, $p<0.05$) и смешанного характера (19.8%, в контроле - 10.2%, $p<0.05$).

Общей тенденцией у детей основной группы при различных уровнях свинца в крови было возрастание частоты асимпатикотонического типа ВР ($p<0.05$ у детей 7-10 лет при концентрации свинца в крови ≥0.1 мг/л) и снижение - гиперсимпатикотонического ($p<0.05$ у детей 7-13 лет при концентрации свинца в крови ≥0.1 мг/л); структура распределения типов ИВТ отмечалась полиморфизмом. Кроме того, установлено преобладание синдрома артериальной гипотензии-гипотонии ($p<0.05$ у детей 7-13 лет при всех уровнях свинца в крови) и снижение уровня среднего фактического АД ($p<0.05$ у детей 7-16 лет при всех уровнях свинца в крови в клиноположении и ортостазе).

Наиболее выраженные изменения в регуляции уровней АД отмечались у детей 7-13 лет основной группы. В частности, у них определялся высокий процент симпатикотонической вегетативной регуляции артериальных гипотензий в клиноположении ($p<0.05$), что не является физиологически обусловленным, при отсутствии подобных состояний в контроле. Наибольшая частота регистрации синдрома артериальной гипотензии на фоне симпатикотонического ИВТ была отмечена у детей 7-10 лет с концентрацией свинца в крови ≥0.1 мг/л и составила 42.9 % случаев от всех гипотензивных состояний ($p<0.05$). В ортостазе у детей основной группы вегетативная регуляция артериальной гипотензии в значительном проценте случаев была представлена эйтоническим типом ВОО ($p<0.05$ у детей 7-10 лет), у 100 % детей 14-16 лет при концентрации свинца в крови ≥0.1 мг/л регистрировался симпатикотонический тип ВОО ($p<0.05$). При артериальной гипертензии как в клиноположении, так и ортостазе отмечалось извращение механизмов вегетативной регуляции, проявившееся недостатком симпатического варианта ИВТ во всех возрастных группах ($p<0.05$) и его отсутствием у детей 11-13 лет при концентрации свинца в крови ≥0.1 мг/л ($p<0.05$). В основной группе у детей старшего возраста в исходном положении и ортостазе общей тенденцией было снижение частоты симпатикотонического типа ИВТ и ВОО, особенно при артериальной гипертензии.

Таким образом, выявлено парадоксальность (извращение) механизмов вегетативной регуляции центральной гемодинамики как в клиноположении, так и в ортостазе у детей, проживающих в условиях экологического неблагополучия, преимущественно со стороны симпатического звена ВНС, в виде возрастания частоты артериальной гипотензии на фоне симпатикотонического типа ИВТ и ВОО и значительного снижения или отсутствия симпатикотонического типа ИВТ и ВОО при артериальной гипертензии.

Установлено достоверное снижение уровней экскреции с мочой катехоламинов у детей, проживающих в условиях хронического низкодозового радиационно-химического воздействия, по сравнению с контролем, особенно выраженное при уровне свинца в крови ≥ 0.1 мг/л, и доминирование активности гормонального звена симпато-адреналовой системы над медиаторным, что, вероятно, является ведущим патогенетическим механизмом развития синдрома гипотензии-гипотонии и нарушений нейро-гуморальной регуляции центральной гемодинамики.

Литература

1. Аринчин А.Н., Наливайко Г.В., Лаптенок С.А. Полиреографическое исследование состояния сердечно-сосудистой системы у детей: Метод. рекомендации. - Минск, 1993.

2. Белоконь Н. А., Кубергер М. Б. Болезни сердца и сосудов у детей: Руководство для

врачей: В 2 томах, Т. 1. - М.: Медицина, 1987. - 448 с.

3. Расчет поглащенной дозы внешнего и внутреннего гамма-излучения для лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС: Метод. указания / Сост. В.Ф. Миненко, А.Х. Мирхайдаров, Н.Ф. Махотина и др. - Минск, 1993.

Обоснование схемы диспансерного наблюдения за пренатально облученными детьми, продолжающими проживать в условиях действия радиации

С.И. Сычик

Кафедра радиационной медицины и экологии МГМИ, г. Минск, Беларусь

The Results of Health Screening of the Children Exposure in utero and Who Continuous residing at the Contamination Territories. 240 children 10 years old exposure in utero have been examined. It's show that among exposed in utero children are more high level morbidity. We found considerable disturbances weight and growth after exposure in utero. Our date has shown that the exposed in utero children have more bad anthropometric indexes than children-control group.

В 1986-1987 г.г было проведено скрининговое обследование когорты детей, облученных внутриутробно после катастрофы на ЧАЭС (240 человек) с целью разработки методических подходов к комплексной оценке состояния их здоровья. Результаты комплексного клинико-лабораторного обследования детей сравнивали с группой контроля из 260 детей, родившихся на указанной территории в 1987-1988 годах, что исключает йодную нагрузку после Чернобыльского выброса.

Показано, что через 10 лет после аварии у пренатально облученных детей наблюдается статистически достоверное снижение показателей физического развития по сравнению с детьми из контрольной группы: на 17% снижен процент лиц с показателями физического развития, соответствующими возрастно-половым нормам; на 11% увеличено число лиц с дисгармоничным физическим развитием, имеющих показатели в области очень низких величин; на 13% увеличено число случаев избытка массы тела I степени; на 15% уменьшено количество лиц со среднегармоничным физическим развитием и на 6% увеличен процент лиц с выше среднего гармоничным физическим развитием; на 6,4% чаще встречаются лица с низкими показателями окружности головы.

Анализ заболеваемости за период с 1987 по 1995 годы показал, что среди пренатально облученных детей отмечены достоверно более высокие показатели общей и первичной заболеваемости по основным классам болезней с выраженный подъем с 7-летнего возраста. Высокую ранговую значимость имеют болезни органов дыхания, эндокринной и кроветворной систем, органов кровообращения и пищеварения. Об ухудшении состояния здоровья внутриутробно облученных детей так же свидетельствует достоверное увеличение количества детей, отнесенных к третьей группе здоровья. Так, в 1996 году показал, что к I группе здоровья можно отнести только 13 % внутриутробно облученных детей и 17 % детей из контрольной группы. Среди пренатально облученных оказалось в 2 раза больше детей III группы здоровья - больные лица, имеющие хронические заболевания и нуждающиеся в лечении (18 % и 9 % соответственно).

Анализ уровня гормонов в сыворотке крови показал, что у пренатально облученных детей обнаружены выраженные изменения функции щитовидной железы, проявляющиеся достоверным снижением тироксинсвязывающего глобулина (ТСГ) и тироксина (Т4) в сыворотке и увеличением уровня трийодтиронина (Т3). Поэтому, среди пренатально облученных детей следует ожидать увеличения патологии щитовидной железы по сравнению с детьми, которые не подверглись облучению радиойодом после аварии.

Кроме того, у внутриутробно облученных детей наблюдается достоверное увеличение в сыворотке крови уровня щелочной фосфотазы (ЩФ) и непрямого билирубина, снижение неорганического фосфата (НФ), прямого и общего билирубина, АлАТ и железа. Выраженность данных изменений зависила от пола, поглощенной дозы на щитовидную железу и сроков внутриутробного развития. В первую очередь обращает внимание нарушение обмена желчных пигментов у внутриутробно облученных детей, с относительным увеличением в сыворотке крови свободной фракции билирубина.

Изменение концентрации и соотношения связанной и несвязанной форм билирубина в сыворотке у детей первой группы может быть обусловлено нарушением белоксинтезирующей функции печени или нормальной работы любого из звеньев обмена хромопротеидов.

Таким образом, поведенные нами исследования показали нарушения состояния здоровья внутриутробно облученных детей, как на организменном, так и на биохимическом уровне, что обосновывает необходимость динамического наблюдения за этим контингентом. Результаты нашей работы позволяют рекомендовать следующую схему диспансерного наблюдения за состоянием здоровья пренатально облученных детей на региональном уровне.

1. Ежегодный медицинский осмотр, включающий:

- доврачебный осмотр, с проведением антропометрических исследований (измерения окружности грудной клетки и головы, роста и веса) и СИЧ-дозиметрии;
- осмотр участковым педиатром, эндокринологом и офтальмологом;
- общий анализ крови с формулой.

2. Выделение группы риска по основным классам заболеваний с проведением в дальнейшем более углубленного обследования:

- биохимический анализ крови (общий билирубин, АсАТ, АлАТ, ЩФ, железо);
- ультразвуковое исследование ЩЖ.

Проведение анализа уровня тиреоидных гормонов в лаборатории на областном или республиканском уровне по медицинским показаниям. Это позволит выделить группу риска для последующего углубленного обследования с целью ранней диагностики заболеваний и своевременной коррекции здоровья детей.

Литература

1. Бышевский А. Ш., Терсенонов О. А. Биохимия для врача. - Екатеринбург: ИПП «Уральский рабочий», 1994. - 384 с.

2. Дедов В. И., Дедов И. И., Степаненко В. Ф. Радиационная эндокринология. - М.: Медицина, 1993. – С. 14 - 124.

3. Жуковский М. А. Детская эндокринология. - М.: Медицина, 1995. - С. 121 - 261.

4. Касаткина Э. П. Йоддефицитные заболевания у детей и подростков (пленарная лекция) / / Пробл. эндокринологии. - 1997. - Т. 43, N 3. - С. 3 - 7.

5. Касаткина Э. П., Шилин Д. Е. Радиационная патология щитовидной железы у детей и подростков. Лекция 1. Эффект малых доз облучения и концепция риска отдаленных последствий Чернобыльской катастрофы / / Пробл. эндокринологии. - 1997. - Т. 43, N 4. - С. 24 - 30.

6. Касаткина Э. П., Шилин Д. Е. Радиационная патология щитовидной железы. Лекция 2. Йодная блокада при авариях на атомном производстве / / Пробл. эндокринологии. - 1997. - Т. 43, N 5. - С. 23 - 27.

7. Кобозева Н. В., Гуркин Ю. А. Перинатальная эндокринология: Руководство для врачей. - М.: Медицина, 1986. - С. 128 - 163.

8. Лягинская А. М. Радиоактивный йод и беременность / / Здравоохр. Беларуси. - 1987. - N 4. - С. 34 - 37.

9. Лягинская А. М., Василенко И. Я. Актуальные проблемы сочетанного действия на щитовидную железу радиации и эндемии // Мед. рад. и радиац. безопасность. - 1996. - Т. 41, N 6. - С. 57 - 64.

10. Мальковец М. В. Методика изучения заболеваемости населения: Метод. указания / МГМИ. – Мн., 1991. - 42 с.

11. Остроумова Е. В., Костенко М. М. Характеристика регистра антенатально облученных лиц из населенных пунктов на реке Теча на Южном Урале / / Мед. радиол. и радиац. безопасность. - 1997. - N 4. - С. 17 - 22.

12. Остроумова С. В., Костенко М. М. Оценка некоторых параметров физического и умственного развития у лиц, облучившихся начиная с периода внутриутробного развития в прибрежных селах реки Теча / / Мед. радиол. и радиац. безопасность. - 1998. - Т. 43, N 4. - С. 10 - 16.

13. Мазурин А. В., Воронцов И. М. Пропедевтика детских болезней. - М.: Медицина, 1985. - 432 с.

14. Воронцов И. М. Закономерности физического развития детей и методы его оценки: Учебно-методич. пособие. - Л.: Изд. ЛПМИ, 1986. - 56 с.

Анализ результатов скринингового обследования пренатально облученных детей, продолжающих проживать на загрязненных радионуклидами территориях

С.И. Сычик

Кафедра радиационной медицины и экологии МГМИ, г. Минск, Беларусь

The Results of Health Screening of the Children Exposure *in utero* and Who Continuous residing at the Contamination Territories 240 children 10 years old exposure *in utero* have been examined. It's show that among exposed *in utero* children are more high level morbidity in comparison with control group. The first places occupy diseases of the respiratory tract, for they follow endocrine diseases, diseases of the nerves system, of the cardiovascular system and blood, and the diseases of the alimentary tract. We found considerable disturbances weight and growth after exposure *in utero*. Our date has shown that the exposed *in utero* children have more bad anthropometric indexes than children control group.

Нами сформирована когорта внутриутробно облученных детей (240 человек) из 33 населенных пунктов Столинского района, облученных изотопами радиоактивного йода на различных стадиях внутриутробного развития в результате катастрофы на ЧАЭС и проживающих на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 15 Ки/км^2. Контрольная группа наблюдения состояла из 260 детей, родившихся на указанной территории в 1987-1988 годах, что исключает йодную нагрузку после Чернобыльского выброса в связи с коротким периодом полураспада изотопов радиоактивного йода.

Было проведено скрининговое обследование этих групп детей (1986-1987 г.г.) с целью

оценки статуса их здоровья и разработки методических подходов к комплексной оценке состояния здоровья внутриутробно облученных детей с учетом дозовых нагрузок на ЩЖ и сроков внутриутробного развития. При комплексном клинико-лабораторном обследовании детей проводили дозиметрию и радиометрию, анкетирование и антропометрию, врачебный осмотр рядом специалистов.

Показано, что через 10 лет после аварии среди пренатально облученных детей наблюдаются значительные нарушения физического развития по сравнению с детьми из группы контроля: на 17 % снижено количество детей с показателями физического развития соответствующими возрастно-половым нормам. При этом увеличено число лиц с низкими показателями физического развития. В основной группе на 15% уменьшено количество детей со среднегармоничным физическим развитием и на 6% увеличен процент лиц с выше среднего гармоничным физическим развитием. При распределении детей на группы первичного учета по уровню физического развития в зависимости от показателей его гармоничности среди пренатально облученных наблюдается на 17% меньше лиц входящих в условную норму и на 11% больше детей требующих дополнительного обследования. Кроме того, 44% мальчиков и 18 % девочек первой группы имеют очень низкие и низкие показатели окружности головы, что может явиться предпосылкой для развития умственной отсталости.

Нарушения или дисгармонизация физического развития могут отражать конституционные особенности, врожденную патологию или несовершенство нейро-эндокринной регуляции организма. Ребенок с такими особенностями не всегда может быть отнесен к категории больных с кокой-то очерченной нозологической формой, но при дисгармоничном развитии он, как правило, имеет и несовершенство механизмов адаптации и противоинфекционной защиты, и, следовательно, должен относится к группе повышенного риска. Поэтому, среди внутриутробно облученных детей следует ожидать более высоких уровней заболеваемости по сравнению с другими группами. Действительно, при анализе заболеваемости за девятилетний период обнаружено достоверное увеличение общей заболеваемости среди пренатально облученных детей, обусловленное ростом болезней органов дыхания, органов пищеварения, эндемического зоба, болезней органов пищеварения и железодефицитной анемией.

Выраженный подъем заболеваемости эндемическим зобом по сравнению с контролем у детей из основной группы наблюдается через 7 лет после аварии. При этом отмечается корреляция между частотой заболеваемости болезнями сердечно-сосудистой системы и эндемическим зобом. Возможно эндокринная дезинтеграция, вызванная внутриутробным облучением щитовидной железы, приводит к нарушению функции всего организма, что проявляется повышением уровня заболеваемости основными нозологическими формами, в том числе и сердечно- сосудистыми заболеваниями.

Так, с 1992 по 1995 год общая заболеваемость среди пренатально облученных детей возросла в 2,9 раза, а именно с этого времени наблюдается рост заболеваемости со стороны эндокринной системы (заболеваемость простым эндемическим зобом за этот период возросла в 3,3 раза).

Анализ заболеваемости по результатам медицинского осмотра в 1996 году показал, что к I группе здоровья можно отнести только 13 % внутриутробно облученных детей и 17 % детей из контрольной группы. Большинство обследуемых детей имеют различные функциональные отклонения в состоянии здоровья и относятся ко второй группе здоровья. Среди пренатально облученных оказалось в 2 раза больше детей III группы здоровья - больные лица, имеющие хронические заболевания и нуждающиеся в лечении (18 % и 9 % соответственно).

С целью выявления наиболее чувствительных органов и систем при внутриутробном облучении были изучены биохимические и гормональные показатели сыворотки крови. Результаты исследования показали, что среди внутриутробно облученных детей наблюдается

изменения гормонального гомеостаза: достоверное снижение тироксинсвязывающего глобулина (ТСГ) и тироксина (Т4) в сыворотке крови и увеличение уровня трийодтиронина (Т3) по сравнению с детьми из группы контроля. Возрастание уровня трийодтиронина (Т3) при тенденции к снижению тироксина (Т4) и нормальных значениях тиреотропного гормона (ТТГ) характерно для клинически эутиреоидных больных эндемичным зобом развивающемся при йодной недостаточности. Можно предположить, что снижение тироксинсвязывающей способности сыворотки крови приводит к уменьшению содержания общего и свободного тироксина в сыворотке, что в свою очередь вызывает усиление внутритиреоидного синтеза трийодтиронина (Т3) и периферического дейодирования Т4. Поэтому, в группе пренатально облученных детей следует ожидать более раннего истощения механизмов адаптации биосинтеза тиреоидных гормонов к йодной недостаточности.

Кроме того, у внутриутробно облученных детей наблюдается достоверное увеличение в сыворотке крови уровня щелочной фосфотазы (ЩФ) и непрямого билирубина, снижение неорганического фосфата (НФ), прямого и общего билирубина, АлАТ и железа. Выраженность данных изменений зависила от пола, поглощенной дозы на щитовидную железу и сроков внутриутробного развития. В первую очередь обращает внимание нарушение обмена желчных пигментов у внутриутробно облученных детей, с относительным увеличением в сыворотке крови свободной фракции билирубина.

Изменение концентрации и соотношения связанной и несвязанной форм билирубина в сыворотке у детей первой группы может быть обусловлено нарушением белоксинтезирующей функции печени или нормальной работы любого из звеньев обмена хромопротеидов (например, транспорта билирубина). При этом, по-видимому, не происходит деструктивных изменений в гепатоцитах: у облученных детей средние значения активности печеночных ферментов находятся в пределах возрастных норм.

С увеличением поглощенной дозы на ЩЖ плода наблюдается отчетливая тенденция к снижению уровня общего и непрямого билирубина в сыворотке крови пренатально облученных детей. Количество прямого билирубина остается фактически неизменным, что может подтвердить нашу точку зрения относительно интактности процесса конъюгации этого пигмента и нарушения связывания свободной фракции билирубина с альбумином и его транспорт. Динамика и выраженность показателей обмена желчных пигментов зависела от сроков внутриутробного развития на момент облучения. Наиболее выраженное дозозависимое увеличение свободной фракции билирубина отмечено у детей, облученных на 8-16 неделях внутриутробного развития.

Таким образом, поведенные нами исследования показали нарушения состояния здоровья внутриутробно облученных детей, как на организменном, так и на биохимическом уровне, что обосновывает необходимость динамического наблюдения за этим контингентом.

Литература

1. Бышевский А. Ш., Терсенонов О. А. Биохимия для врача. - Екатеринбург: ИПП «Уральский рабочий», 1994. - 384 с.

2. Дедов В. И., Дедов И. И., Степаненко В. Ф. Радиационная эндокринология. - М.: Медицина, 1993. – С. 14 - 124.

3. Жуковский М. А. Детская эндокринология. - М.: Медицина, 1995. - С. 121 - 261.

Показатели перекисного окисления липидов сотрудников ПГРЭЗ

А.Р. Аветисов

Минский Ордена Трудового Красного Знамени государственный медицинский институт, г. Минск, Республика Беларусь

Indexes of free radical oxidation of lipids among employees of radiation–ecological reserve. The results of our investigation show deviations in indexes of lipid peroxidation and antioxidative protection in a blood of the employees of state radiation–ecological reserve. These changes are compensated enough. Probably, at the given difference in irradiation dose and conditions of work the investigated indexes have no a direct connection with a condition of health.

Беспрецедентная по масштабам и сложности катастрофа на ЧАЭС явилась крупнейшей ядерной аварией мирного времени. Она обусловила глобальный характер радиоактивного загрязнения. В результате ее отмечено повышение радиоактивного фона не только в странах Европы и Скандинавии, но и Азии, что привело к повышению естественного радиационного фона и дополнительной дозовой нагрузке (1). Вместе с тем, имеются довольно большие группы людей, которые в силу профессиональных особенностей подвергаются довольно значительным лучевым нагрузкам. Это, в первую очередь, относится к персоналу Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), профессиональная деятельность которого связана с формированием значительных по величине доз за счет внешнего облучения.

Как известно, одной из наиболее радиочувствительных систем организма являются процессы свободнорадикального окисления, среди которых достаточно информативными представляются показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной защиты (АОЗ). Проведенные ранее исследования показывают, что у людей, проживающих на территориях, загрязненных радионуклидами, обнаруживаются признаки истощения антиоксидантной системы организма, предрасполагающие к активации ПОЛ и запуску проатерогенных механизмов транспорта липидов. Кроме того, продукты ПОЛ сами по себе способны вызывать лучевой эффект и создавать благоприятный фон для его проявления. Необходимо упомянуть и о том, что наряду с некоторыми другими факторами, повышенная потребность в биоантиоксидантах вызывается также необычными профессиональными условиями труда, при которых на организм воздействуют различные вредные факторы, к которым можно отнести психоэмоциональные перегрузки и другие стрессовые ситуации, ионизирующую радиацию, всевозможные токсические вещества, недостаток или избыток кислорода и др.. Однако наблюдают и временное снижение интенсивности ПОЛ при облучении, что объясняется адаптационным выбросом в кровь продуктов, обладающих антиоксидантной и антирадикальной активностью: катехоламинов и глюкокортикоидов. В этой связи надо отметить, что изменение окислительно-восстановительного равновесия в любую сторону можно расценивать как напряжение адаптационных возможностей организма.

Учитывая эти факты, нами были обследованы сотрудники ПГРЭЗ с целью изучения процессов ПОЛ у данной группы населения. Существенно также иметь в виду, что состояние антиоксидантной системы и процессы свободнорадикального окисления, протекающие у

данной группы населения ранее никем не изучались. Изучено содержание промежуточных и конечных продуктов ПОЛ (диеновых конъюгатов, малонового диальдегида), активность ферментов антиоксидантной системы: супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы, а также уровень водорастворимого антиоксиданта - глутатиона.

С точки зрения интерпретации тенденций в изменении биохимических показателей, приводящих, в конечном счете, к изменениям в состоянии здоровья, оценка показателей ПОЛ в различных группах диспансерного наблюдения крайне интересна. Исследование показателей ПОЛ и АОЗ в данных группах позволяет оценить состояние этих процессов у лиц, имеющих существенные отклонения в состоянии здоровья и в то же время испытывающих дополнительное воздействие таких факторов, как дозовая нагрузка за счет проживания и/или работы на загрязненной территории, а также повышенной психоэмоциональной нагрузки. При исследовании показателей ПОЛ в данных группах были выявлены достоверные отличия в группе наблюдения Д3 (лица с существенными отклонениями в состоянии здоровья) по уровню малонового диальдегида (МДА) и неполярной фракции диеновых конъюгатов (ДКн). Уровень МДА в группе наблюдения оказался выше на 10,8 %, а уровень неполярных диеновых конъюгатов – на 13,3 % в сравнении с группой Д2 (практически здоровые). Это свидетельствует об активации процессов ПОЛ у сотрудников ПГРЭЗ, имеющих существенные отклонения в состоянии здоровья. Отсутствие на данном фоне выраженных изменений в активности ферментов, утилизирующих продукты ПОЛ, и снижение уровня глутатиона могут свидетельствовать о некотором снижении АОЗ в группе Д3. Таким образом, перечисленные изменения мы можем расценивать как напряжение адаптационных возможностей организма и системы поддержания гомеостаза у лиц с существенными отклонениями в состоянии здоровья.

Далее мы проанализировали результаты, полученные при подробном изучении показателей процессов ПОЛ у лиц, относящихся к различным группам первичного учета Белорусского Государственного Регистра лиц, пострадавших от аварии на ЧАЭС. В ходе исследований было выявлено статистически значимое снижение уровня МДА у лиц, относящихся к третей группе первичного учета в сравнении с пятой группой, что может свидетельствовать о некотором снижении уровня липидного обмена в указанной группе. Вместе с тем, нами не выявлено различий по остальным изученным параметрам. Обнаруженное снижение уровня МДА, а также достаточно высокий уровень заболеваемости со стороны нервной системы у людей, относящихся к третей группе первичного учета, может свидетельствовать о повышенной психоэмоциональной нагрузке на их организм. Отсутствие существенных различий со стороны ПОЛ и АОЗ в крови сотрудников ПГРЭЗ, относящихся к различным группам первичного учета можно расценивать как благоприятный признак, указывающий на достаточные компенсаторные возможности организма.

Сравнительное сопоставление комплекса изученных биохимических показателей состояния ПОЛ и АОЗ среди лиц, получивших равнозначную дозовую нагрузку и работающих в 30-километровой зоне по сравнению с неработающими в зоне людьми, не выявило между ними статистически значимых различий. Вероятно, при данном различии в лучевой нагрузке процессы свободнорадикального окисления у лиц, работающих в 30-километровой зоне, находятся на достаточно постоянном уровне, компенсированы и не имеют прямой связи с изменением биохимических констант и заболеваемостью в этой группе.

При анализе изменений показателей ПОЛ и АОЗ среди сотрудников, получающих различную суммарную годовую эффективную дозу облучения была обнаружена тенденция к изменению уровня малонового диальдегида и полярных диеновых конъюгатов. Уровень МДА в группе наблюдения оказался ниже на 15,6 %, а уровень полярных диеновых конъюгатов – на 14,3 % выше в сравнении с группой сравнения. Известно, что полярные диеновые конъюгаты участвуют в синтезе биологически активных веществ в организме. Повышение уровня ДКп на фоне снижения уровня МДА может свидетельствовать об

активации синтетических процессов у сотрудников ПГРЭЗ, получающих суммарную ГЭЭД более 4 мЗв/год.

Таким образом, обнаруженные изменения со стороны ПОЛ и АОЗ в крови сотрудников ПГРЭЗ могут указывать на некоторое напряжение адаптационных возможностей организма и системы поддержания гомеостаза. Эти изменения достаточно компенсированы. Вероятно, при данном различии в лучевой нагрузке и условиях работы процессы ПОЛ и АОЗ у сотрудников ПГРЭЗ, относящихся к различным группам наблюдения, не имеют прямой связи с изменением биохимических констант и заболеваемостью в этой группе.

Литература

1. Конопля Е.Ф. Радиоэкологические и медико-биологические последствия чернобыльской катастрофы // Тез. докл. Международной науч. конф. «Европа – наш общий дом: Экологические аспекты», г. Минск, 1999 г., С. 43.

2. Гацко Г. Г., Волыхина В. Е., Мажуль Л. М. Состояние системы перекисного окисления липидов у лиц, проживающих на территории с повышенным уровнем радионуклидов // Научно-практические аспекты сохранения здоровья людей, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Тезисы докладов 4-й респ. конф. – Могилев, 1994. – Ч. 1. – С. 44 – 45.

3. Абрамова Ж.И., Оксенгендлер Г.И. Человек и противоокислительные вещества. – Ленинград, Наука, 1985. – 229 с.

4. Барабой В.А., Дзятковская Н.Н, Клименко Т.В. и др. Динамика показателей перекисного окисления липидов в крови и радиочувствительных органах крыс при тотальном и локальном рентгеновском воздействии // Радиобиология. – 1990. – Т.30, в.6. – С. 735 – 739 с.

Проблемы нормирования радиационной безопасности

В.С. Осмачкин

Институт Проблем Безопасного Использования Ядерной Энергии РНЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, Россия

Some Problems of Radiation Safety Standards. Some modern problems of Radiation Safety Standards connected with the Linear-Non-Threshold Concept are discussed. Many experts as conservative call such Standards. It needs to include in the Standards explicitly such factor as dose rate. Some model of effects of radiation exposure with taking into account the reparation of cell damage is presented. The practical approach for assessment of effects of duration of irradiation is proposed.

Роль радиационной безопасности в развитии ядерной энергетики

Современная ядерная энергетика переживает трудное время стагнации, порожденное общественным неприятием ядерно-радиационных технологий. Восстановление доверия общества к возможностям безопасного, экономически- эффективного, социально-приемлемого производства электроэнергии на ядерных электростанциях- важная задача современного научно-технического сообщества. Многое будет зависеть от того, насколько успешно будут решены проблемы радиационной безопасности, вопросы рационального нормирования и оценок последствий радиационных воздействий. Необходимо усовершенствовать нормативное обеспечение радиационной безопасности и смягчить

несовременные, излишне консервативные положения.

Современное нормирование радиационной безопасности

В прошлом году в России были опубликованы и введены в действие новые Нормы Радиационной Безопасности (НРБ-99)(1). В них установлены жесткие предельные значения допустимых дозовых нагрузок- за период трудовой деятельности для персонала 50 лет- 1 Зв и за период жизни для населения 70 лет- 70 мЗв. Такие пределы для населения находятся на уровне радиационных воздействий космического фона.

Нормы-99 основаны на давно оспариваемой гипотезе линейного беспорогового (ЛБГ) воздействия малых доз радиации на биологические структуры. Имеются как противники, так и сторонники этой гипотезы (2,3). Противники ЛБГ утверждают, что эта гипотеза излишне консервативна и не может использоваться для оценки радиационного ущерба.

Концепция радиогенных эффектов ионизирующей радиации развивалась в результате длительных исследований во многих странах мира. Значительный вклад в радиобиологию внесли работы Н.В. Тимофеева-Ресовского и его учеников по теории попаданий [4]. Чисто научные опыты на простейших организмах сочетались с опытом работы в радиационных условиях больших когорт работников промышленных предприятий, занятых переработкой радиоактивных материалов, созданием атомного оружия. В результате длительных дискуссий в компетентных международных организациях по радиационной защите (НКДАР ООН, МКРЗ и др.) был принята консервативная концепция линейной и беспороговой зависимости радиационных эффектов от дозы облучения. Сознавая спорность такого подхода, специалисты МКРЗ в 26-й Публикации МКРЗ [5] писали, что допущение о линейности и беспороговости радиационных воздействий « может привести к переоценке (т.е. к завышению) возможного радиационного риска» и что «при низкой дозе облучения реальный риск может быть ниже, чем риск оцениваемый при намеренно осторожном предположении о прямой пропорциональности между дозой и эффектом«.

Существенно, что для радиационного нормирования были использованы данные по жертвам атомных бомбардировок японских городов в 1945 году. Коэффициент линейной зависимости радиогенных эффектов был определен по результатам длительных исследований заболеваний людей, пострадавших от атомных бомбардировок в городах Хиросима и Нагасаки при больших дозах облучения. Очевидно, что в этих данных играет важную роль фактор одномоментности воздействия взрыва. Игнорирование различий эффектов острого и протяженного равнодозного облучения означает пренебрежение механизмом репарации радиационных повреждений клеточных структур.

Понятно, что живые организмы на Земле адаптированы к условиям существования в радиогенной среде, уровень излучений в которой варьируется в десятки раз И даже оказалось, что малые дозы радиации является естественным стимулятором жизненных процессов, способствуют повышению жизненной активности при облучении малыми дозами ионизирующего излучения (т.н. радиационный гормезис) Утверждают, что реакция организма на облучение малыми дозами или при малых интенсивностях доз соответствует общебиологическому закону Арндта- Шульце, когда воздействие малых количеств вредных веществ вызывает резкую реакцию противодействия этим воздействиям. Поэтому многие яды (мышьяк и др.) являются в малых дозах лекарствами. Очевидно, что вольное или невольное преувеличение последствий радиационных воздействий на людей приводит к серьезным экономическим последствиям, к значительным неэффективным расходам средств как при авариях, так и после них.

О воздействии радиации на клетки живого организма

За многие годы исследований биологических эффектов ионизирующих излучений были выявлены детерминированные эффекты, проявляющие себя в виде нарушений функций органов при значительных дозовых нагрузках. При малых дозах облучения вероятно возникновение онкологических и наследственных эффектов, частота которых растет с величиной дозы. Важно, что для этих стохастических эффектов имеет значение не только

величина полученной дозы, но и длительность процессов облучения, при которых могут в полной мере проявиться репарационные возможности живых организмов.

В схеме воздействий радиационных потоков на молекулярные структуры клеток важно отразить процессы генерации летальных и сублетальных, восстанавливаемых повреждений [2]. Можно условно считать, что летальные повреждения, происходящие в виде двойных разрывов молекул ДНК, приводят к гибели клеток, а при сублетальных повреждениях типа одиночных разрывов ДНК за счет репарационных процессов возможно полное восстановление жизнедеятельности и функций клеточных структур. Диаграмма взаимодействия клеток с радиационными потоками показана на Рис.1

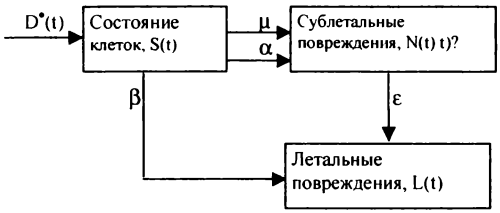


Рис. 1. Схема воздействий радиации на клетки и последующие изменения в них

На этой схеме $\dot{D}(t)$-интенсивность дозовой нагрузки, S(t)-функция состояния клеточных структур, называемая «выживаемостью », т.е. вероятность невозникновения до момента t значительных повреждений клеточных структур, грозящих гибелью организму, N(t)- вероятность сублетальных, восстанавливаемых повреждений, L(t)- вероятность летальных, невосстанавливаемых повреждений, приводящих к отказу, т.е потере функций клеточной структуры. Коэффициенты α,β- вероятности сублетальных и летальных повреждений, возникающих на единицу дозы, ε,μ -интенсивности потоков повреждений и восстановления при N(t)=1. Взаимодействие радиации с клеточными структурами опишем системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dS}{dt} = -(\alpha+\beta)\dot{D}\cdot S + \mu N \qquad \frac{dN}{dt} = -\mu N + \alpha \dot{D}\cdot S - \varepsilon N \qquad \frac{dL}{dt} = \beta \dot{D}\cdot S + \varepsilon N \qquad 1)$$

при начальном условии $S|_{t=0}=1$, $N|_{t=0}=0$, $L|_{t=0}=0$.

Систему уравнений можно записать в виде одного интегро-дифференциального уравнения

$$\frac{dS}{dt} = -k\dot{D}\cdot S + \mu\int_0^t \alpha \dot{D}(t')\cdot S(t')\exp(-\int_{t'}^{t}\lambda(t'')dt'')dt' \qquad 2)$$

где $k=\alpha+\beta$, $\lambda=\mu+\varepsilon$. Решение уравнения легко получить при постоянных коэффициентах методом преобразования Лапласа

$$\dot{S} = \int_0^{\infty} S(t)\exp(-pt)dt \qquad \dot{S} = \frac{1}{(p + k\dot{D} - \frac{\alpha\mu\dot{D}}{p+\lambda})}$$

$$\frac{\lambda^2}{4(\varepsilon\kappa+\mu\beta)} < \dot{D} < \frac{4(\varepsilon\kappa+\mu\beta)}{\kappa^2}$$

Можно показать, что в диапазоне мощностей доз зависимость эффекта от дозы имеет немонотонный характер.

При эмпирическом учете влияния мощности дозы на биологические эффекты можно учесть то, что зависимость доза-эффект при малой интенсивности дозовой нагрузки имеет обычно сигмообразную форму или, как иногда говорят, радиационный стохастический эффект имеет «практический» порог. Величина этого порога должна быть функцией длительности облучения T и характерных времен репарационных и элиминационных процессов τ. Отношение длительности облучения к характерному времени восстановления T/τ при фиксированной дозе будет характеризовать возможность ослабления влияния облучения на клеточные структуры. Зависимость доза-эффект при малых дозовых нагрузках можно представить формулой $E=B[D-D_o(1-exp(-\alpha D))]$, где E- пожизненный риск радиационно-обусловленных стохастических заболеваний, A и B коэффициенты, а D_o - эффективный порог. При обработке известных данных оказалось возможным представить величину D_0 формулой $D_0=0,8(T/\tau)^{0,301}$ Зв. Результат расчетов при τ=1 год показан на Рис.2

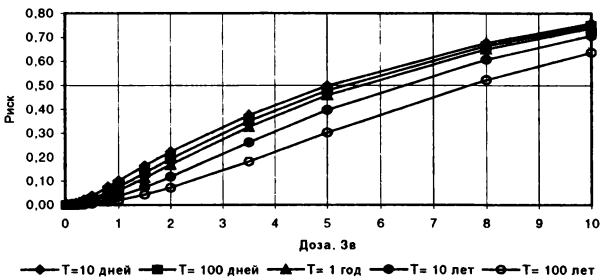


Рис. 3 Зависимость риска онкологических заболеваний у населения от дозы и длительности облучения

Литература

1. Радиационная безопасность населения. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1.758-99, Библиотечка Российской газеты, выпуск №10, 2000г.

2. Тимофеев-Ресовский Н.В., Иванов В.И., Корогодин В.И. Применение принципа попадания в радиобиологии. М.:Атомиздат, 1968, 228 с.

3. В.Г.Петин, В.П.Комаров, Количественное описание модификации радиочувствительности, Энергоатомиздат, Москва, 1989 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Н.В. Тимофеев-Ресовский: судьба ученого и человека
И.Б. Моссэ ---- 4

Н.В. Тимофеев-Ресовский и традиции "кружкового" образования
А.И. Вернер, И.В. Вуевская ---- 8

РАДИОЭКОЛОГИЯ ---- 11

Состав свободных аминокислот почв сосновых лесов в условиях радионуклидного загрязнения
А.Л. Ефремов ---- 11

Динамика радиоактивного загрязнения почвенной мезофауны
С.Л. Максимова ---- 13

Загрязнение территории Беларуси ураном чернобыльского происхождения
В.П. Кудряшов, В.П. Миронов, Ж.Л. Матусевич ---- 15

Республиканский пункт захоронения радиоактивных отходов: состояние и перспективы
М.Л. Жемжуров, В.В. Скурат ---- 18

Использование Polygonum sachalinense F. Schmilt для фиторемидиации почв, загрязненных радионуклидами стронция и цезия
А.В. Башарин, М.А. Другаченок, Д.А. Ицакова, В.В. Скурат, А.А. Баклай ---- 20

Определение параметров двойного электрического слоя для почв различного гранулометрического состава
Н.Г. Климова ---- 22

Оценка накопления радиоцезия у жителей некоторых районов Гродненской области
Е.Н.Орлова, Е.И.Макшанова, Р.Ш.Саляхов ---- 25

Методика определения параметров двойного электрического слоя почвенных коллоидных систем
Н.Г. Климова ---- 28

Влияние удельной поверхности на поглотительную способность некоторых почв дерново-подзолистого типа
Н.Г. Климова ---- 31

Изучение миграции ^{90}Sr в системе почва-растение
М.Н. Ненашева, С.Ф. Тимофеев*, О.М. Храмченкова ---- 34

The behaviour peculiarites ^{137}Cs and ^{90}Sr in the same reservoir ecosystem components of the far zone influence of the Chernobyl APS accident
O.D. Khvaley ---- 37

Специфика накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях живого напочвенного покрова лесных ценозов
О.О. Ермакова, О.Т. Кузьмич, А.П. Казей ---- 39

Радионуклиды Sr-90, Cs-137, Pu-238, Pu-239+240 и Am-241 в компонентах водных экосистем зоны отчуждения Чернобыльской АЭС
Д.И. Гудков, В.В. Деревец, М.И. Кузьменко, А.Б. Назаров ---- 41

Особенности накопления радиоцезия различными видами растений
Г.Г. Филипцова ---- 44

Радиочувствительность Arabidopsis thaliana L. при действии малых доз ионизирующей радиации
В.И. Шершунова ---- 46

Аккумуляция радионуклидов в подлеске и подросте в лесных природных комплексах
Г.И. Кабашникова ---- 48

Исследование распределения гелия в подземных водах юго-востока Беларуси
В.Н. Лукша ---- 50

Исследования планктона в водоеме-охладителе Белоярской АЭС
В.П. Гусева, М.Я. Чеботина, А.В. Трапезников ---- 52

Динамика активности поступления радиоактивных веществ в древесные растения
Б.С. Мартинович, М.М. Сак, Р.М. Голушко ---- 53

Опыт изучения десорбции ^{137}Cs различными видами мхов
В.А. Собченко, А.Н. Переволоцкий, О.М. Храмченкова ---- 55

Сорбция и десорбция радиоцезия и радиостронция растительной клеткой
А.П. Кудряшов, В.М. Юрин, Н.Н. Кудряшова, Г.Д. Матусов ---- 57

К вопросу о биологической доступности ^{90}Sr для растений луговых фитоценозов
С.Ф. Тимофеев, А.Г. Подоляк, А.С. Тимофеев ---- 60

Приемы изменения биологической доступности радионуклидов на пойменных лугах, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС
А.Г. Подоляк, С.Ф. Тимофеев, Т.Ф. Персикова ---- 62

Исследование аккумуляции ^{137}Cs клетками растений
Г.Д. Матусов, Н.Н. Кудряшова, А.П. Кудряшов* ---- 65

Видовая специфика поглощения ^{90}Sr растениями
Д.А. Федорович, А.И. Соколик, В.М. Юрин ---- 67

Распределение радиоцезия в организме волка
В.М. Королев, К.М. Киреенко, В.С. Пискунов ---- 70

Скрининговая оценка уровней мощности дозы на рыбу Белоярского водохранилища от искусственных радионуклидов
А.А. Екидин ---- 72

Радиоэкологическая оценка состояния животного мира в зоне аварии Чернобыльской АЭС
М.М. Пикулик, А.Е. Пленин, М.Д. Мороз ---- 75

Исследование «случай-контроль» в Свердловской области
И.А. Кирдин, А.А. Екидин, И.В. Ярмошенко ---- 78

ОБЩАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА ---- 80

«Chernobyl digest» – электронный вариант для Интернет
С.Е. Дромашко, А.А. Желудок, Т.В. Лисовская, А.В. Горбачев, Г.А. Мартысь, А.В. Телятникова ---- 80

Скрининг новых гибридных форм зерновых на устойчивость к алюминию
Л.Ф. Ходорцова, Л.В. Корень, С.Н. Матвеенко, О.А. Орловская ---- 82

Проявление количественных признаков у тритикале, полученных in vitro и in vivo
Л.Н. Каминская, С.Н. Матвеенко ---- 84

Генетическая специфичность белков тритикале и их родительских форм
В.И.Домаш, Т.Я. Пелагейчик, С.А. Забрейко, Н.Ф. Волохович, Л.Ф. Ходорцова, Л.В. Корень, С.Н. Матвеенко. ---- 87

Определение взаимосвязи между контролируемыми факторами среды и хозяйственно-ценными признаками томата
М.В. Шилина ---- 89

Делеции некоторых сегментов хлоропластного генома устойчивых к вирусам клонов картофеля
А.Н. Палилова, В.И. Пыко, А.Д. Ахраменко, Н.В. Павлючук ---- 91

Идентификация гомо- и гетерозигот по гену самонесовместимости в гибридной селекции капусты белокочанной
А.В. Якимович ---- 94

Влияние чужеродных цитоплазм на параметры продуктивности аллоплазматических линий пшеницы и их дигаплоидных форм
Н.В. Хотляник, П.А. Орлов ---- 97

Оценка параметров пыльцевого эмбриогенеза у дигаплоидов мягкой яровой пшеницы и их гибридов первого поколения
С.М. Ленивко, П.А. Орлов, Л.В. Хотылёва ---- 100

Гибберелловаая кислота, смещение максимумов накопления флавоноидов во времени, изменение стадий развития на конусе нарастания растений двурядного и шестирядного ячменя
Р.С. Поплавская, Н.А. Якимович, А.А. Спицын, Л.И. Яцко ---- 102

Экспериментальная эволюция тритикале
И.А. Гордей ---- 105

Межвидовое разнообразие ячменя по признакам, характеризующим способность к каллусообразованию и регенерации в культуре листовых эксплантов
Л.С. Сидор ---- 107

Противодействие генетическому и тератогенному риску от продолжающегося облучения в загрязненных местностях
В.В. Силуянов, П.Н. Овсянников ---- 110

Хирономус в исследованиях генетического действия радиации
А.Н. Тарасюк, Н.Ф. Ковалевич ---- 111

Роль генетической нестабильности в формировании отдаленных эффектов малых доз радиации
С.Б. Мельнов ---- 114

Феногенетическое исследование плодовитости Arabidopsis thaliana (L) Heynh
П.Д. Усманов, О.В. Усманова, Т.П. Усманов ---- 116

Зависимость экспрессии признака опухолевого роста - онкотолерогена (иммунные комплексы (ИК) + специфический для опухоли комплекс антигенов) от генотипа опухоли и состояния иммунореактивности организма
Г.В. Красковский, Т.И. Миголеня ---- 118

Генетические подходы к анализу базового аппарата транскрипции эукариот: структура и функции ядерных РНК-полимераз I–III
Г.В. Шпаковский, Г.М. Баранова, С.А. Прошкин, Е.Н. Лебеденко, Е.К. Шематорова -- 121

Принцип участия в генетике долговечности
О.В. Квитко, И.И. Конева, А.П. Тюриков, Я.И. Шейко ----------123

Влияние кровнородственных браков на частоту мертворожденных детей в популяции города Конакри (Гвинейская Республика)
М.С. Морозик, Б. Камано, П.М. Морозик, А. Талль ----------126

Влияние ионизирующей радиации и низкой температуры на генетическую структуру популяций дрозофилы по локусу Adh
С.И. Касинская, М.Е. Михайлова, Н.И. Тиханович ----------128

Сравнительные дозовые нагрузки у амфибий на загрязненных радионуклидами территориях и в условиях острого облучения
А.М. Войтович ----------130

Влияние витаминно-минерального комплекса на хромосомные структуры сперматогониев на фоне пролонгированного гамма-облучения в пре- и раннем постнатальном периоде развития животных
Е.Г. Гайдукевич, И.А. Краснова ----------133

Генетическая оценка качества ооцитов крупного рогатого скота
Л.В. Голубец, О.А. Шпаковская, В.П. Симоненко, Е.И. Карнач----------135

Откормочная и мясная продуктивность свиней при скрещивании и гибридизации
Н.А. Лобан, В.А. Дойлидов ----------137

Новые генотипы белорусской чёрно-пёстрой породы свиней
В.Л. Денисевич, И.Ф. Гридюшко ----------139

Иммунно-гормональный статус и энергетический обмен тканей крыс при действии малых доз радиации и ацетата свинца
Г.Ф. Цыхун, Т.Б. Бокуть, Н.К. Викентьева, Т.И. Житкевич ----------141

Генетические эффекты малых доз ионизирующей радиации и сравнение эффективности хронического и острого облучения
Р.И. Гончарова, Н.И. Рябоконь, И.И. Смолич ----------143

Динамика генетических процессов в хронически облучаемых популяциях мелких млекопитающих
Н.И. Рябоконь, Р.И. Гончарова, И.И. Смолич, Н.П. Капитанова, Н.В. Никитченко ---146

Анализ полиморфных повторов, фланкирующих ген FMR-1, в исследовании синдрома ломкой Х хромосомы
К.А. Моссэ Г.Л. Цукерман----------148

РАДИОБИОЛОГИЯ ---------- **152**

Муцинпродуцирующая функция и количество экзокриноцитов в двенадцатиперстной кишке при хроническом воздействии малых доз радиации

М.Н. Зезюльчик ---------- 152

Некоторые показатели иммунитета у клинически здоровых детей с повышенным титром антител к тироглобулину, проживающих в районах с низким уровнем радиактивного загрязнения

Н.С. Парамонова ---------- 154

Зависимость радиопротекторных способностей некоторых растений от уровня накопления радионуклидов

Т.А. Катулина, Л.В. Николайчук, И.В. Зубец ---------- 157

Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и солей тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат растений гороха

Н.В. Гончарова ---------- 159

Цитологическая характеристика альвеолярных макрофагов животных с дисбалансом щитовидной железы при воздействии малых доз радиации

Н.И. Тимохина ---------- 160

О механизме радиационноиндуцированного адаптивного ответа клеток млекопитающих

И.А. Боднарчук ---------- 163

Биохимические и биофизические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов

А.Г. Кудяшева, О.Г. Шевченко, Н.Г. Загорская ---------- 165

Изменения монооксигеназной системы печени крыс после многократного облучения в дозе 2 Гр

Л.Б. Заводник , Л.И. Сушко , А.Н. Арцукевич, Р.И. Кравчук , В.А. Овчинников , В.И. Кондаков , В.У. Буко ---------- 168

Влияние многократного гамма облучения в дозе 2 Гр на показатели перекисного окисления в печени крыс

И.Б. Заводник, Л.Б. Заводник, С.С. Чумаченко, В.А. Овчинников, В.И. Кондаков, В.У. Буко ---------- 170

Чувствительность потомков мышей к действию канцерогенов после хронической урановой интоксикации родителей

С.Н. Сушко ---------- 172

Комбинированное действие селена и α-токоферола на процессы развития постлучевых изменений в гемокапиллярах яичника белой крысы
О.Н. Аблековская ---------- 175

Апоптоз и клеточная дифференцировка в тканях диких животных на территориях, загрязненных радионуклидами
В.Ю. Афонин, К.М. Киреенко, А.М. Войтович ---------- 177

Возможность коррекции постлучевых изменений при помощи растительного препарата «ФИТОГОР»
Н.Э. Козловская ---------- 179

Нарушения регуляции липидного обмена после пренатального низкодозового облучения
Ю.И. Рогов, В.С. Данильчик, Л.В. Спивак., И.Н. Рубченя ---------- 181

Isoforms of thyroxine-binding globulin as a model for molecular epidemiology of human cancer risk
A.S. Golovaty, A.G. Lapko ---------- 183

К оценке радоновой экспозиции в жилище и ее влияния на риск развития рака легкого у жителей Свердловской области, Россия
В.Л. Лежнин, Е.В. Ползик, Б.И. Никонов, В.С. Казанцев, М.В. Жуковский ---------- 184

Характеристика популяционной структуры клеточных культур высоко- и нозкодифференцированных опухолей щитовидной железы человека
В.В. Пасюков, И.П. Меркулова, Р.Ю. Кочетков, И.А. Мельников, С.В. Глушен -------- 187

Изменение агрегационных свойств тромбоцитов при воздействии S-нитрозоглутатиона, полученного в ультразвуковом поле
И.И. Степуро, Р.И. Адамчук, Т.И. Хомич, Л.И. Нечипоренко ---------- 190

Наукометрический анализ радиационной кардиологии
А.И. Вернер ---------- 192

Влияние функционального состояния щитовидной железы на соотношение между интегральной дозой и объемом облученной радиойодом тиреоидной ткани
А.Ф. Маленченко, Н.М. Швед, Н.В. Канаш ---------- 195

Биоэнергетика мышечной ткани с позиции "теории попадания" в радиобиологии
А.И. Грицук, А.Н. Коваль, С.М. Сергеенко, А.И. Вернер ---------- 196

Действие хронического облучения в малой дозе на содержание нуклеиновых кислот в тканях крыс с различной радиочувствительностью
Г.Г. Верещако, А.М. Ходосовская, И.В. Буловацкая, Е.Ф. Конопля ---------- 198

Пострадиационные нарушения в иммунной системе и их коррекция магнитным полем и лазерным излучением

Е.А. Кравченко, Д.Р. Петренев, Е.Е. Тарасова, Е.Ф. Конопля, С.Р. Довбан, Н.В. Пильченко----------201

Распространенность носительства аутоиммунных клонов лимфоцитов среди детского населения Республики Беларусь, проживающего в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения

О.А. Азарёнок, Л.Г. Борткевич----------203

Свободнорадикальные перекисное окисление и фрагментация липидов в модельных мембранах

И.Л. Юркова, М.А. Кисель, О.И. Шадыро----------205

Образование и деструкция сигнальных липидных молекул при радиационном облучении мембран

М.А. Кисель, О.И. Шадыро ----------207

Особенности вегетативной регуляции центральной гемодинамики у детей, проживающих в условиях хронического низкодозового радиационно-химического воздействия

О.М. Жерко----------210

Обоснование схемы диспансерного наблюдения за пренатально облученными детьми, продолжающими проживать в условиях действия радиации

С.И. Сычик----------212

Анализ результатов скринингового обследования пренатально облученных детей, продолжающих проживать на загрязненных радионуклидами территориях

С.И. Сычик----------214

Показатели перекисного окисления липидов сотрудников ПГРЭЗ

А.Р. Аветисов----------217

Проблемы нормирования радиационной безопасности

В.С. Осмачкин ----------219

Научное издание

Материалы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н.В. Тимофеева-Ресовского

17-18 октября 2000 г.
Минск, Беларусь

На русском и английском языках

Публикуется в авторской редакции

Ответственный за выпуск М.Л. Юркова

Издательство ПК ООО «ТРИОЛЕТТА»

Лицензия № ЛВ 101 от 02.12.97

Формат 60x80/16, тир. 200 экз.

Усл. печ. листов 14,6. Бумага офсет №1.

Отпечатано в типографии ЗАО «ЮНИПАК».

Лицензия ЛП №132 от 29.12.97.

Заказ №134.

Минск, ул. Октябрьская, 19.

Тел./факс (017) 210-43-34, 227-13-37