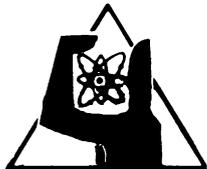


**НАУЧНЫЕ
ДОКЛАДЫ**



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

**МОДИФИКАЦИЯ
ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ
СЕМЯН РАСТЕНИЙ**

СВЕРДЛОВСК, 1983

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Институт экологии растений и животных

Препринт

МОДИФИКАЦИЯ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ
СЕМЯН РАСТЕНИЙ

Свердловск, 1983

УДК 577.391 : 634.94

Модификация лучевого поражения семян растений
[Препринт]. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983.

Рассматриваются данные о модифицирующем действии на проявление лучевого эффекта у растений таких факторов, как предварительное гамма-облучение покоящихся семян в малых дозах, длительное хранение семян разной влажности, эдафическое пространство растущих семянцев, световой режим. Излагаются также результаты отдаленных последствий облучения семян древесных растений.

Материалы представляют интерес для специалистов в области радиобиологии, экологии, биогеоценологии, физиологии растений, лесоведения.

Ответственный редактор Н.В.Куликов

©

УНЦ АН СССР, 1983

Л. К. АЛЬШИЦ, С. В. ТАРЧЕВСКАЯ

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ СЕМЯН
ГОРОХА СТИМУЛИРУЮЩИМИ ДОЗАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

К настоящему времени известен ряд факторов, модифицирующих лучевые реакции организмов. Установлено также изменение радиочувствительности высших растений в процессе онтогенеза (покоящиеся семена, набухание, прорастание). Ранее было показано, что радиочувствительность семян гороха и сосны на самых ранних этапах развития может быть существенно снижена, если покоящиеся семена облучить в дозе 1 Гр (1, 2).

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы, используя предварительное облучение покоящихся семян, выяснить, сохраняется ли влияние стимулирующих доз на лучевую реакцию семян гороха на более поздних этапах онтогенеза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Опыты проводили на семенах гороха сорта Чипминский мелкосемянный. Покоящиеся семена 12%-ной влажности облучали на установке "ИГУР-1" в дозе 1 Гр при мощности дозы $4,16 \cdot 10^{-4}$ а/кг. После облучения семена замачивали в водопроводной воде и помещали в темный термостат с температурой $24^{\circ}\text{C} \pm 1$. Через 24 часа набухания семена облучали повторно в дозах 5, 10, 15, 25, 35 и 50 Гр. После облучения семена выкладывали в чашки Петри на влажный песок для прорастания. Критерием радиобиологического эффекта служили количество анафаз, содержащих хромосомные аберрации, а также длина 7-дневных проростков. На каждую экспериментальную точку измеряли по 50 корешков. Для цитологического анализа корешки фиксировали в конце первого пострадиационного митоза в смеси ледяной уксусной кислоты и этилового спирта

(I:3). Окраску проводили ацетолакмидом, готовили временные давленные препараты. На экспериментальную точку просчитывали по 30 корешков.

С целью продолжения наблюдений на более поздних этапах развития растений семена гороха всех опытных вариантов и контроля высаживали в вегетационные сосуды, наполненные смесью дерново-луговой почвы с песком. В сосуд высаживали по 10 горошин, в каждом варианте имелось по 3 повторности. Опыт поставлен по следующей схеме:

0+0 - необлученный контроль,

I+0 - покоящиеся семена облучены в дозе I Гр, повторного облучения нет;

0+25 - семена облучены в состоянии 24-часового набухания в дозе 25 Гр,

I+25 - покоящиеся семена облучены в дозе I Гр, доза повторного облучения 25 Гр;

0+50 - семена облучены в состоянии 24-часового набухания в дозе 50 Гр,

I+50 - покоящиеся семена облучены в дозе I Гр, доза повторного облучения 50 Гр.

В течение вегетационного сезона проводили наблюдения за ростом и развитием растений, в конце лета произведена разборка опыта.

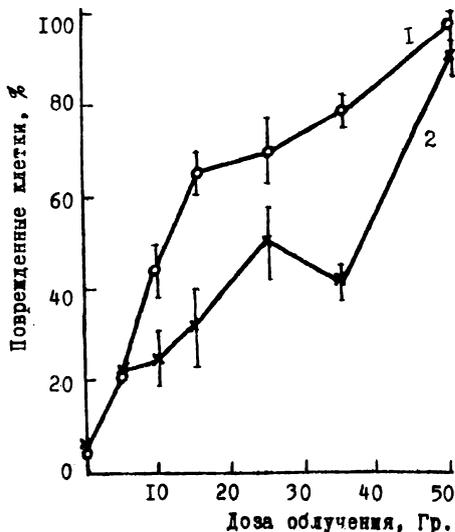
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. I приведена зависимость выхода клеток с хромосомными абберациями от дозы повторного облучения набухших семян гороха. Видно, что число поврежденных анафаз уменьшается в интервале доз от 10 до 35 Гр повторного облучения, если предварительно покоящиеся семена были облучены в дозе I Гр. Дис-

Рис.1. Зависимость количества поврежденных клеток от дозы повторного облучения.

Кривая 1 - вариант без предварительного облучения.

Кривая 2 - вариант с предварительным облучением.



персонный анализ подтверждает статистическую значимость полученных различий ($P=0,001$). Клетки с хромосомными aberrациями учитывали в первом пострадиационном митозе.

Таким образом, на самом раннем этапе развития растений, после первого клеточного деления, наблюдается существенное влияние предварительного облучения покоящихся семян, выражающееся в снижении почти вдвое числа поврежденных клеток.

У 7-дневных растений была измерена длина корешков и гипокотилей, полученные результаты приведены на рис.2. Кривые 1 и 1а отражают зависимость длины 7-дневных проростков от дозы повторного облучения в случае, когда покоящиеся семена были облучены в дозе 1 Гр; кривые 2 и 2а - зависимость длины 7-дневных корешков и гипокотилей от дозы без предварительного облучения покоящихся семян. Из рисунка видно, что длина корешков и гипокотилей без предварительного облучения в 2-3 раза меньше, чем

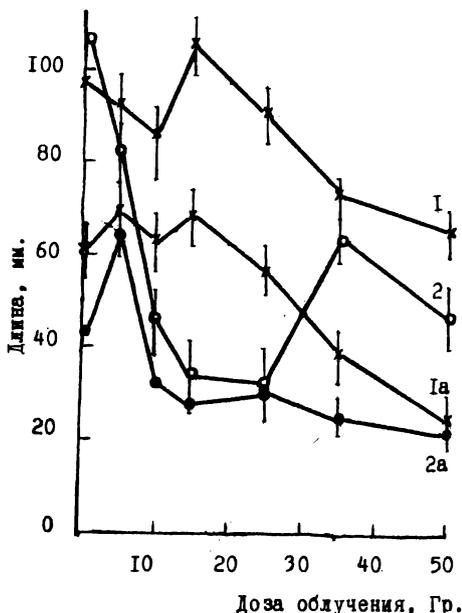


Рис.2. Зависимость длины 7-дневных проростков от дозы повторного облучения.

I, Ia - длина корешков и гипокотилей при облучении покоящихся семян в дозе I Гр.

2, 2a - длина корешков и гипокотилей без предварительного облучения покоящихся семян.

в варианте с предварительным облучением. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что влияние малой дозы, полученной семенами в покоящемся состоянии, сохраняется на ранних стадиях развития растений и проявляется как у клеток, так и у проростков.

Наблюдения за ростом и развитием растений в вегетационном опыте показали, что при облучении воздушно-сухих семян в дозе I Гр прорастание их началось на 2 дня раньше, чем в контроле. При облучении набухающих семян в дозах 25 и 50 Гр как в вариантах с предварительным облучением, так и без него семена прорастали с меньшей скоростью, а всхожесть семян и высота сеянцев к концу вегетационного периода в этих вариантах опыта

(0+50 и I+50) были почти в 2 раза меньше, чем в варианте без облучения семян (0+0). Характерна большая вариабельность растений по этому показателю, поэтому, хотя в вариантах с предварительным облучением (I+50) растения в среднем были на 25% выше, чем в варианте без предварительного облучения (0+50), разница статистически недостоверна. В дальнейшем растения в вариантах с облучением набухающих семян в дозе 50 Гр так и не достигли генеративной стадии развития.

В таблице приведены результаты, иллюстрирующие рост и развитие растений различных вариантов опыта в процессе вегетации. Сравнение данных в вариантах без повторного облучения семян (0+0 и I+0) показало, что предпосевное облучение воздушно-сухих семян в дозе I Гр стимулирует рост растений в высоту. Количество листьев и генеративных ярусов у 30-дневных растений, время вступления в фазу цветения и плодоношения, а также число цветков, бутонов, бобов, горошин в расчете на I растение к определенному сроку наблюдений в контрольном варианте и в варианте с предварительным облучением не имели статистически достоверных различий, хотя средне-арифметические значения количественных показателей всюду выше в опытном варианте.

Данные таблицы показывают, что в вариантах с облучением набухающих семян в дозе 25 Гр, вызывающей торможение ростовых процессов у проростков гороха (рис.2), темпы роста растений в высоту, при сравнении с вариантами 0+0 и I+0, медленнее, хотя к концу вегетационного сезона различия по этому показателю в сравниваемых вариантах отсутствуют. При этом высота растений в варианте с предварительным облучением (I+25) больше, чем в варианте без предварительного облучения (0+25). Нужно отметить что растения в варианте с предварительным облучением (I+25)

Таблица

Рост и развитие растений гороха в процессе вегетации в опыте с изучением влияния предварительного гамма-облучения покоящихся семян гороха на их радиочувствительность при последующем облучении набухающих семян в массивной дозе

Предварительное облучение + последействие, Гр	Возраст растений, см				Количество, шт./1 растение								
	Возраст растений, см				генерат. ярусы	листья	цветы	бутоны	бобы	горошины			
	7 дн.	15 дн.	30 дн.	60 дн.									
0+0	2,6± 0,15	16,3± 0,45	38,2± 0,95	69,6± 1,5	7,73± 0,05	9,9± 0,14	0,53± 0,05	0,37± 0,05	1,7± 0,09	45 дн. 45 дн.	45 дн.	45 дн.	60 дн.
I+0	3,06± 0,09	17,8± 0,6	41,9± 1,4	79,4± 1,8	8,34± 0,14	10,2± 0,14	0,55± 0,05	0,41± 0,05	1,86± 0,09	45 дн.	45 дн.	45 дн.	60 дн.
0+25	1,10± 0,08	13,8± 0,93	34,2± 1,7	71,9± 3,4	6,93± 0,29	8,93± 0,19	0,68± 0,09	0,71± 0,05	1,14± 0,14	45 дн.	45 дн.	45 дн.	60 дн.
I+25	0,86± 0,11	13,8± 0,81	34,3± 2,25	78,3± 4,1	7,36± 0,38	9,14± 0,33	1,15± 0,1	0,7± 0,15	1,3± 0,1	45 дн.	45 дн.	45 дн.	60 дн.
0+50	-	10,0± 5,3	12,7± 5,7	30,7± 14,7	2,8± 1,4	4,3± 1,6	-	-	-	-	-	-	-
I+50	-	-	10,0± 5,2	38,7± 18,8	2,5± 0,5	5,0± 0,3	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: X - возраст семян в днях.

заметно отличались от своего контроля (0+25) по внешнему виду: листья крупнее, с более четким жилкованием и темно-зеленого цвета, стебли мощнее. По числу листьев и генеративных ярусов 30-дневные растения в опытном варианте (1+25) и в соответствующем контроле (0+25) не отличались между собой. У 45-дневных растений количество цветков в варианте с предварительным облучением больше, чем в варианте без предварительного облучения, а количество бутонов одинаково, так что количество горошин, приходящееся на 1 растение в опытном варианте, в 1,5 раза больше, чем в варианте без предварительного облучения (0+25) и одинаково с растениями в необлученном контроле (0+0).

Несмотря на то, что при анализе данных таблицы и попарном сравнении опытных и контрольного вариантов по ряду критериев у растений не обнаружено статистически достоверных различий, тенденция к ослаблению лучевого эффекта при воздействии на семена предпосевного облучения в дозе 1 Гр очевидна. Данные по накоплению воздушно-сухого вещества в надземной биомассе растений гороха, полученные в эксперименте и приведенные на рис.3, убедительно подтверждают этот феномен. Сравнение воздушно-сухого веса листьев, стеблей и в целом надземной биомассы в необлученном контроле и в варианте 1-0 с большой достоверностью подтверждает наличие стимуляционного эффекта, вызванного предпосевным облучением семян в дозе 1 Гр. Этот эффект сохраняется и в том случае, когда предварительно облученные в дозе 1 Гр воздушно-сухие семена в дальнейшем подвергаются облучению в состоянии пониженной радиоустойчивости (1-суточного набухания) в дозе 25 Гр. В варианте 1+25 воздушно-сухой вес различных органов в среднем на 25% выше, чем в варианте 0+25 ($t=3,9 > 3,17$; $P=0,01$). В вариантах 0+50 и 1+50 видно снижение лучевого эффек-

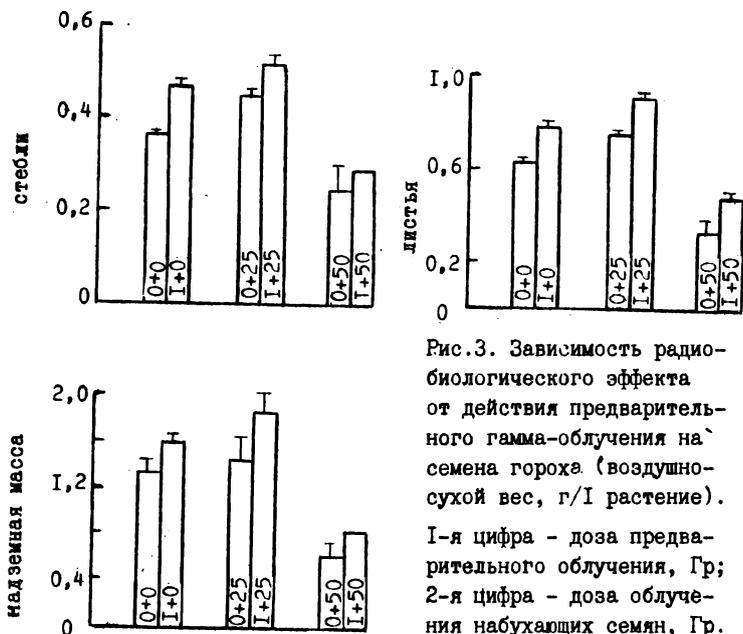


Рис.3. Зависимость радиобиологического эффекта от действия предварительного гамма-облучения на семена гороха (воздушно-сухой вес, г/1 растение). I-я цифра - доза предварительного облучения, Гр; 2-я цифра - доза облучения набухающих семян, Гр.

та в том случае, когда семена облучены перед посевом в стимулирующей дозе I Гр.

Таким образом, воздействие на сухие семена гороха в дозе I Гр оказывает влияние как на самом раннем этапе развития (снижение в первом постлучевом митозе в клетках зародышевой меристемы корня числа поврежденных клеток в 1,5-2 раза), так и на более поздних этапах развития (увеличение воздушно-сухого веса растений на 15-20% к концу вегетации). Эффект сохраняется и в том случае, если после предварительного облучения семена подвергаются воздействию в массивной дозе через 24

часа после начала намачивания; в этом случае наблюдается снижение лучевого эффекта - "защитный" эффект.

Стимулирование роста клеток и тканей разных видов организмов под влиянием определенных по величине малых доз облучения сопровождается увеличением скорости деления клеток (4), усилением работы восстановительных систем (5). Именно с позиций стимуляции процессов пострadiационного восстановления под действием предварительного облучения семян в малых дозах объясняется их радиозащитное действие (2,3). В процессе онтогенеза радиобиологический эффект формируется еще более сложным путем.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что отрицательные последствия массивного гамма-облучения набухающих семян гороха уменьшались под влиянием предварительного облучения их в воздушно-сухом состоянии в дозе 1 Гр. Это проявилось: а) в снижении в 1,5-2 раза количества поврежденных анафаз в клетках меристемы корня в первом пострadiационном митозе, б) в увеличении длины корешков и гипокотилей у 7-дневных проростков (в 2-3 раза по сравнению с вариантом без предварительного облучения), в) в увеличении на 15-20% высоты и воздушно-сухого веса растений к концу вегетации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшиц Л.К., Бернер Н.Г., Позолотин А.А. О возможности стимуляции системы восстановления малыми дозами ионизирующего излучения.- В сб. "Радиозкологические исследования почв и растений". Свердловск, 1975, УНЦ АН СССР, с. 100-105.
2. Куликов Н.В., Альшиц Л.К., Позолотин А.А., Тарчевская С.В.

Изменение радиочувствительности растений в результате предварительного лучевого воздействия.- Радиобиология, 1971, т. II, вып. 4, с. 630-632.

3. Куликов Н.В., Альшиц Л.К., Шевченко В.А., Ошков П.И.

Изменение радиочувствительности семян гороха под влиянием малых доз радиации. - Радиобиология, 1981, т. 21, с. 459.

4. Лучник Н.В. Влияние слабых доз излучателей на митоз у гороха.- Бюлл. Уральского отделения МОИП, Свердловск, 1958, вып. I, с. 37-49.

5. Митрофанов Д.А., Олимпиенко*Г.С. Индуцированный мутационный процесс эукариот (механизмы мутагенеза). М., "Наука", 1980, 264 с.

В.Н.ПОЗОЛОТИНА
ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН
НА МОРФОГЕНЕЗ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО
ЭДАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Исследование радиационного эффекта у основных лесобразующих пород и модификация его различными экологическими факторами представляются актуальными с точки зрения прогнозирования действия радиации в природных популяциях. В процессе онтогенеза последствие ионизирующих излучений может существенно меняться в зависимости от условий произрастания растений. В ряде работ на некоторых видах травянистых растений (6), на хлопчатнике (10), на березе (4) был описан эффект "псевдоррадиостимуляции". Он заключается в том, что растения, облученные в достаточно больших дозах и испытывающие угнетение на ранних этапах развития, к концу вегетационного периода или спустя несколько лет, как у берез, превосходят в несколько раз контрольные растения по некоторым морфологическим параметрам. Наряду с "гигантами" в этих же вариантах встречаются и карликовые растения. Этот феномен может быть обусловлен с одной стороны, расширением эдафического пространства за счет отпада части сеянцев при облучении в больших дозах, с другой стороны, нарушением ростовых процессов и увеличением диапазона изменчивости под влиянием радиации. Каков вклад каждого из этих процессов в формирование результирующего эффекта - неясно.

Цель настоящей работы: выяснить взаимодействие факторов облучения и различной площади питания, оценить влияние каждого из них на морфогенез сеянцев березы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использовали семена с одного дерева березы бородав-

чатой (*Betula verrucosa* Ehrh.). В воздушно-сухом состоянии семена облучали гамма-квантами ^{137}Cs от источника "ИГУР" в дозах 150 и 175 Гр, при мощности дозы $4,16 \cdot 10^{-4}$ а/кг. Облученные и необлученные (контроль) семена проращивали в чашках Петри, а на 5-6 день проростки пересаживали в отдельные сосуды, наполненные смесью почвы и песка. Сосуды изготовляли из полиэтиленовой пленки трех размеров: диаметром 2,5 см, 5 см, 10 см, высота всех сосудов одинакова - 10 см. На каждый вариант опыта было высажено по 100 проростков. В конце сезона и через год измеряли некоторые морфологические параметры у каждого растения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течение первого вегетационного сезона происходил отпад сеянцев во всех вариантах опыта. Данные по выживаемости свидетельствуют, что в больших по объему сосудах сохранилось большее количество жизнеспособных растений (рис.1). В средних и малых сосудах выживаемость проростков практически одинакова, но она значительно ниже, чем в больших сосудах. Обработка результатов методом дисперсионного анализа показала достоверность снижения выживаемости растений с уменьшением площади питания ($F=25,6$ при $F_{0,05}=6,94$). Какой-либо зависимости выживаемости от дозы облучения не выявлено, за исключением средних сосудов, где критическая доза-эффект имеет некоторый наклон. Но статистический анализ материала в целом свидетельствует о том, что избранные дозы облучения не понизили существенно выживаемости сеянцев ($F=2,34$ при $F_{0,05}=6,94$). Этот факт объясняется тем, что во время пересадки произведен отбор, исключивший слабые и сильно поврежденные проростки из опыта для обеспечения достаточно высокой выживаемости. Дозовая зависимость всхожести семян и динамика отмирания сеянцев березы на протяжении трех лет установ-

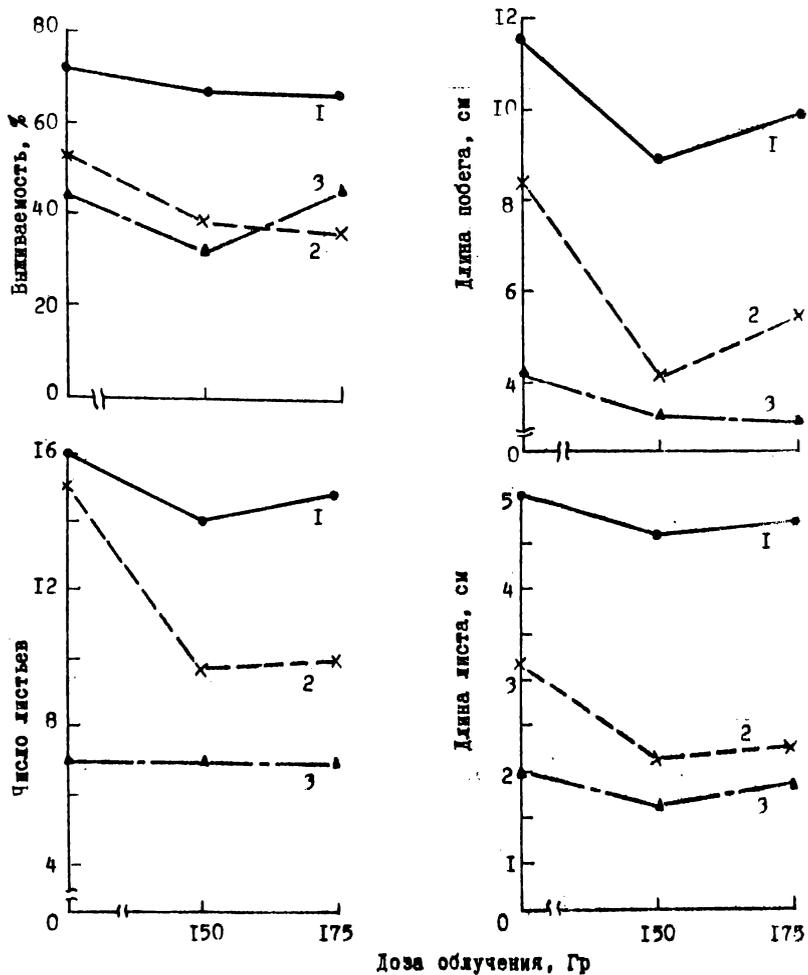


Рис. 1. Влияние облучения семян на выживаемость и морфогенез сеянцев березы в условиях различного эдафического пространства

I - большие сосуды, 2 - средние, 3 - малые сосуды

лены нами ранее (3,4).

Для характеристики влияния изучаемых факторов на морфогенез растений использовали следующие показатели: длина побега, число листьев на одном растении, их максимальная величина. Показано, что чем меньше площадь питания, тем ниже сеянцы ($F=43,8$ при $F_{0,05}=6,94$). Те же различия отмечены по числу листьев на растении и по длине наибольшего листа, критерии Фишера соответственно 16,0 и 37,1.

Различия по морфологическим параметрам в зависимости от дозы предпосевого облучения семян отмечены лишь у растений, произраставших в средних по объему сосудах. В этом случае необлученные сеянцы достоверно превышают облученные по длине побега и по количеству листьев на растении (рис.1). Результаты дисперсионного анализа подтверждают эту зависимость ($F=6,46$ и $F=6,99$ при $F_{0,01}=4,79$). В больших и малых сосудах облученные и необлученные сеянцы не различаются существенно по длине побега и количеству листьев. По-видимому, избыточное эдафическое пространство помогает преодолеть неблагоприятное действие ионизирующих излучений. В малых же сосудах площадь питания настолько мала, что действие этого фактора сильно превышает влияние облучения. Сеянцы, независимо от того, облучались семена или нет, развиты очень слабо. Следовательно, величина эдафического пространства является очень эффективным фактором, который помимо прямого влияния на развитие сеянцев, способен модифицировать радиационный эффект.

Большой интерес представляет анализ индивидуальной изменчивости признаков у растений разных вариантов опыта. Поскольку по всем морфологическим показателям выявлены одни и те же за-

кономерности, рассмотреть этот вопрос можно на примере одного признака "длина побега". У сеянцев, выращенных в больших сосудах, вариационная кривая распределения признака в необлученном варианте наиболее близка к кривой нормального распределения Гауса (рис.2). Она симметрична, охватывает диапазон значений от 2 до 20 см. Мода, т.е. класс, который наиболее часто встречается, составляет 13-14 см. В вариантах с облучением семян кривые распределения отличаются от нормальных. Диапазон изменчивости несколько уже и мода смещена в сторону более низких значений, доля низкорослых сеянцев выше, чем в контроле.

По длине побега необлученных сеянцев в средних сосудах можно построить симметричную вариационную кривую. По сравнению с аналогичной кривой для сеянцев из больших сосудов диапазон ее охватывает значения от 1 до 14 см, мода составляет 8-10 см. Своеобразное действие на этом фоне оказало предпосевное облучение. При дозе 150 Гр в распределении наблюдается левосторонняя асимметрия, амплитуда изменчивости 1-10 см. Наиболее часто встречаются 2-4 сантиметровые сеянцы. Доза облучения в 175 Гр обусловила появление двухвершинной кривой распределения, выборка разделилась на две части с модами 2-4 и 8-10 см. Поскольку сеянцы являются полусибсами, такой ход вариационной кривой не свидетельствуют о смещении разных выборок, а представляет собой результат сильного давления факторов ограниченного жизненного пространства и предпосевого облучения.

В малых по объему сосудах диапазон изменчивости признака очень узок: в необлученном варианте - 8-10 см, а после предпосевого облучения - 5-6 см. Проведенный анализ вариацион-

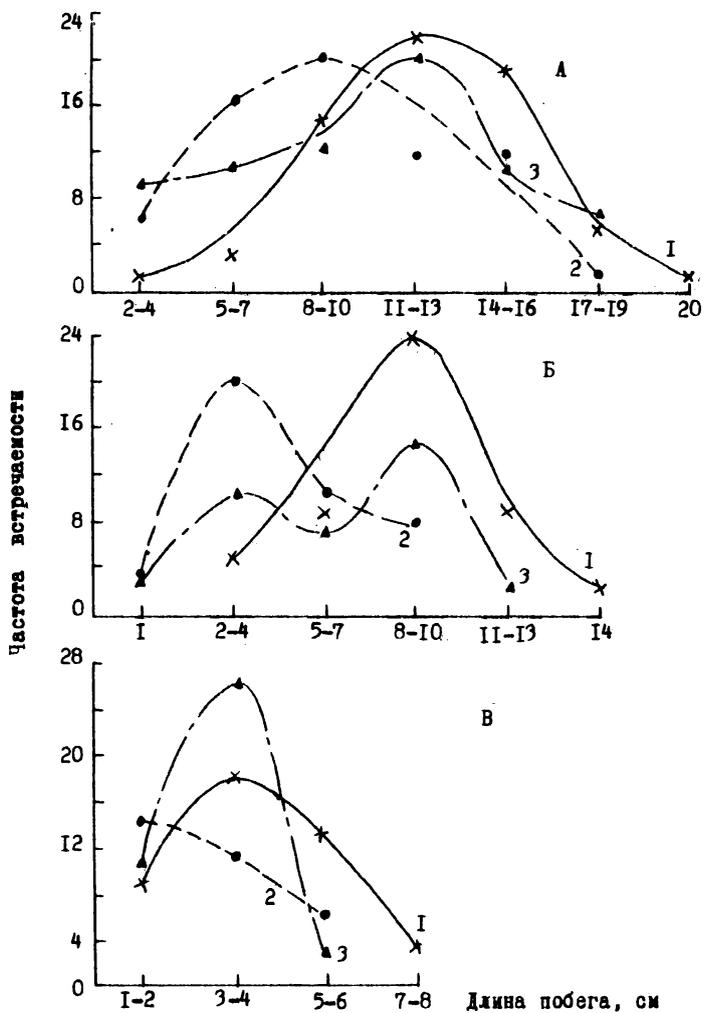


Рис. 2. Вариационные кривые распределения признака "длина побега"

А - большие сосуды, Б - средние, В - малые сосуды;

1 - контроль, 2 - облучение в дозе 150 Гр,

3 - в дозе 175 Гр.

ных кривых распределения морфологических признаков подтверждает выводы, вытекающие из сравнения средних величин, поясняет их биологический смысл. Характерные нарушения в ходе вариационных кривых показывают направление действия факторов. Таким образом, влияние предпосевного облучения на выживаемость и морфогенез семян березы проявляется по-разному в зависимости от величины эдафического пространства. При достаточно больших объемах почвы количество выживших семян в вариантах с облучением одинаково с контролем, и по морфологическим показателям они не уступают необлученным. Малое эдафическое пространство оказывает столь сильное давление на развитие семян березы, что перекрывает влияние предпосевного облучения. Только в средних по объему сосудах четко проявился радиационный эффект, семена в вариантах с предпосевным облучением развиты слабее, чем необлученные. Эти результаты согласуются с данными других авторов (I, 2, 7), показавших, что на обогащенном агрофоне облегчаются регенерационные процессы в облученных растениях, усиливается деление непораженных или слабо пораженных клеток.

В первый вегетационный сезон какого-либо проявления эффекта "псевдоррадиостимуляции" нами не отмечено. На следующий год преимущества в росте у семян, произрастающих в больших сосудах, проявилось еще ярче, по сравнению с сеянцами из средних и малых сосудов. По длине побега, количеству и величине листьев они в 3-6 раз превосходят последние. Поскольку в течение сезона семена значительно повреждались грибами, по указанным критериям оценить радиационное последствие невозможно. Поэтому был произведен выборочный анализ семян из больших сосудов (20 штук на каждый вариант) по воздушно-сухому весу корней. Средние значения веса корней составили: в контроле - 0,277 г, при облуче-

нии в дозе 150 Гр - 0,211 г, а в дозе 175 Гр - 0,395 г. Вариационные кривые распределения этого признака (рис.3) показывают, что в контроле диапазон изменчивости охватывает значения от 0,10 до 0,60 г, и большинство сеянцев имеет вес корней 0,20 - 0,30 г. При облучении в дозе 150 Гр диапазон изменчивости тот же, но мода составляет 0,10-0,20 г. Предпосевное облучение в дозе 175 Гр обусловило появление двухвершинной вариационной кривой с модами 0,10-0,20 г и 0,50-0,60 г. Диапазон изменчивости от 0,10 до 0,80 г. т.е. число сеянцев типа "гигант" с весом корней свыше 0,50 г в этом варианте достоверно ближе, чем в контроле. Поскольку размер сосудов и количество почвы в сравниваемых вариантах опыта одинаковы, увеличение биомассы корней у облученных в дозе 175 Гр растений можно объяснить последствием предпосевого облучения.

Стимулирующее действие малых доз ионизирующих излучений установлено на многих растительных объектах (9,11). Показано, что облучение в малых дозах может ускорять течение основных биохимических реакций и активировать восстановительные системы клеток (5). Во многих случаях этот эффект проявляется только на ранних стадиях развития, после чего растения не отлича-

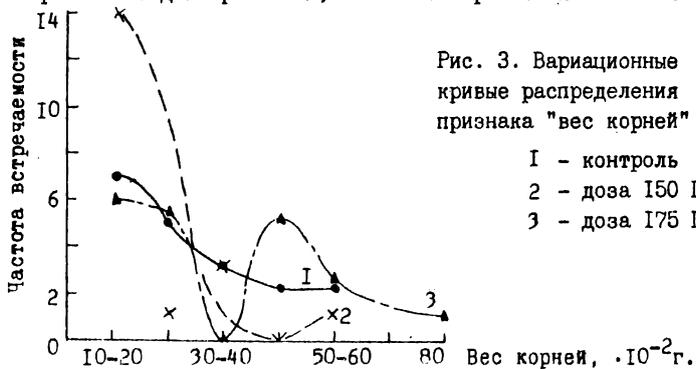


Рис. 3. Вариационные кривые распределения признака "вес корней"

- I - контроль
- 2 - доза 150 Гр
- 3 - доза 175 Гр

ются от контрольных. Интересно, что и большие дозы, вызывающие в начале онтогенеза небольшое угнетение роста, в дальнейшем могут стимулировать развитие настолько, что облученные растения превосходят контроль.

Многими исследователями отмечается, что поражающее действие больших доз радиации со временем может уменьшаться и даже совсем исчезает (8,12). Рост растений в определенный момент не только полностью нормализуется, но может и превышать контроль (7,10). Возможно, что механизмы, лежащие в основе этих явлений стимуляции под действием малых и больших доз радиации, одинаковы. Проблема отдаленного последствия ионизирующих излучений сложна и неоднозначна. Учитывая ее теоретическое и практическое значение, необходимо проводить дальнейшие исследования в этом направлении.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что площадь эдафического пространства является важным лимитирующим фактором для роста и развития растений.

2. Показано, что радиационный эффект в условиях разного эдафического пространства проявился неодинаково: а) большая площадь питания позволила растениям успешно преодолеть неблагоприятные последствия облучения, б) в средних по объему сосудах необлученные сеянцы превосходят в росте облученные, в) малая площадь питания ограничивает рост как облученных так и необлученных сеянцев в одинаково сильной степени.

3. Отмечено, что растения в варианте с предпосевным облучением в дозе 175 Гр спустя год превосходили контрольные по весу корней, что можно рассматривать как проявление последствий радиации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батыгин Н.Ф., Савин В.Н. Использование минизирующих излучений в растениеводстве. Л., Колос, 1966, 124 с.
2. Гродзинский Д.М., Гудков И.Н. Пути защиты и восстановления растений при лучевом поражении.- В кн. "Противолучевая защита и пострадиационное восстановление растений". Киев, Наукова думка, 1972, с.122.
3. Киселева В.Н., Пшков П.И. О сравнительной радиочувствительности семян березы пушистой и березы бородавчатой. - Радиобиология, 1977, т.17, вып.1, с.133-136.
4. Киселева В.Н., Пшков П.И. Устойчивость двух видов березы с различной плоидностью к γ -облучению.- В кн. "Генетические последствия загрязнения окружающей среды. М., 1980, с.189-191.
5. Кузин А.М. Стимулирующее действие излучения на биологические процессы. К проблеме биологического действия малых доз. М., Атомиздат, 1977, с.133.
6. Куликов Н.В. Влияние замачивания семян в смеси β -излучателей на биомассу и структуру экспериментального фитоценоза.- В сб. работ Лаборатории биофизики, Свердловск, 1957, вып.1, с.252-291.
7. Савин В.Н. Действие ионизирующего излучения на целостный растительный организм. М., Энергоиздат, 1981, 120 с.
8. Серегина М.Т. Радиоустойчивость растений в онтогенезе в зависимости от жизненного цикла. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук, Киев, 1978, 24 с.
9. Тимофеев-Ресовский Н.В., Порядкова Н.А. О радиостимуляции растений.- Бот. журнал, 1956, т.41, № II, с.1620.
10. Усманов П.Д., Багсиян Г.Р. Опыты по радиационной генети-

- ке и селекции *Gossypium hirsutum* L. - В кн. Генетические основы фотосинтеза, Душанбе, Донит, 1971, с. 215.
11. Sax K. The stimulation of plant growth by ionizing radiation. -Rad. Botany, 1963, v.3, N3, pp. 179-186.
12. Stein O.L., Sparrow A.H. The effect of chronic irradiation on the growth of *Kalanchoe* cv. "Brilliant star". -Rad. Botany, 1963, v.3, N3, p.207.

О. А. ПОРОЗОВА

РАЗВИТИЕ ЛУЧЕВОГО ЭФФЕКТА В СЕМЕНАХ СОСНЫ
РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ

Известно, что действие ионизирующей радиации на растения зависит от целого ряда экологических факторов, под воздействием которых находится организм как до, так и после облучения. В частности, большое влияние на чувствительность растений к облучению оказывает влажность семян. Исследованию влияния этого фактора на радиочувствительность семян различных видов растений посвящен ряд работ (7, 10, 12, 13). Большинство из них выполнено с использованием узкого интервала доз, приближающихся по своему действию к полудетальным дозам. С нашей точки зрения, наряду с этим, большой интерес представляет изучение действия средних и так называемых "малых" доз ионизирующего излучения на семена различного уровня влажности при их длительном хранении. С этой целью и была выполнена данная работа, которая проводилась в течение 12 месяцев.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использовали семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) трех уровней влажности: 3-4% - подсушенные, 6-7% - воздушно-сухие и 9-10% - влажные. Такие значения уровней влажности были выбраны по двум причинам: во-первых, можно было ожидать, что семена этих уровней влажности будут отличаться по радиочувствительности; во-вторых, такую влажность семена могут иметь в реальных природных условиях семенного возобновления сосны и при их хранении.

Заданная в опыте влажность семян достигалась путем выдерживания их в эксикаторах над раствором серной кислоты соот-

ветствующих концентраций при температуре 20°C. После того, как семена достигли определенной влажности, они были изъяты из эксикаторов и запааны в двойные полиэтиленовые пакеты, в которых затем проводилось их облучение и дальнейшее хранение.

Семена каждого уровня влажности облучали в достаточно широком диапазоне доз: 0,5, 1, 2, 5, 10, 20 и 30 Гр от гамма-источника ^{137}Cs установки типа "ИГУР-1" при мощности дозы $4,16 \cdot 10^{-4}$ а/кг.

После облучения часть семян всех вариантов сразу же высевали, остальные хранили в течение 12 месяцев при тех же влажностях и температуре около 20°. Каждый последующий месяц после облучения семена всех вариантов высевали для проверки энергии прорастания и всхожести. Энергия прорастания семян определялась на 7 день, а всхожесть – на 15 день после посева. Проращивание семян производили в термостате при температуре 22° в чашках Петри с влажным песком. В каждую чашку помещали по 50 штук семян. Повторность опыта 4-кратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Часть полученных в опыте данных по изменению всхожести семян сосны разной влажности в зависимости от дозы облучения и сроков хранения при комнатной температуре приведена в табл. 1, 2, 3. Математическая обработка результатов проводилась путем попарного сравнения всхожести в каждом варианте с всхожестью семян необлученного контроля. Достоверность различий определялась по критерию Стьюдента (2).

Прежде всего, рассмотрим, как изменялась всхожесть необлученных семян (необлученный контроль) в процессе их хранения. Видно, что всхожесть семян с различным содержанием воды не-

сколько варьировала в различные сроки посева, но эти различия в большинстве случаев оказались статистически недостоверными. Незначительные сезонные колебания всхожести семян сосны отмечали и другие авторы (4). В отдельных случаях сухие семена показывали более низкую всхожесть по сравнению с влажными семенами.

При дозах облучения 0,5 и 1 Гр всхожесть влажных (табл.1) и воздушно-сухих (табл.2) семян не отличалась от всхожести своего необлученного контроля в течение всего периода хранения. Подсушенные семена (табл.3) после 12 месяцев хранения понизили свою всхожесть на 15% при дозе облучения 0,5 Гр ($t_d = 3,8$ при $t_{ст} = 2,4$) и на 19% при дозе 1 Гр ($t_d = 2,4$).

При дозе облучения 2 Гр влажные и воздушно-сухие семена по своим посевным качествам не отличались от своих необлученных контролей. У подсушенных семян облучение в этой дозе вызвало достоверное снижение всхожести на 21% ($t_d = 3,1$) через 3 месяца хранения, через 7 месяцев хранения эта доза оказалась полудетальной ($t_d = 2,9$). Следует отметить, что величина LD_{50} для семян, посеянных сразу после облучения, находилась в интервале 10-15 Гр (табл.3). Следовательно, хранение подсушенных семян с влажностью 3-4% в течение 7 месяцев при комнатной температуре вызвало снижение величины полудетальной дозы более, чем в 5 раз. При дальнейшем хранении всхожесть этих семян продолжала снижаться и составила к концу опыта 30% от всхожести необлученного контроля.

При дозе облучения 5 Гр различия в радиочувствительности семян разной влажности обнаружили в еще большей степени. В то время как влажные семена, облученные в этой дозе, не показывали статистически достоверных различий по сравнению с необлу-

Таблица I
 Выходность влажных (влажность 9-10%) семян сосны в зависимости
 от дозы облучения и сроков хранения

Доза, Гр	Срок хранения после облучения, мес.											
	0	1	2	3	5	7	8	12				
0	74 \pm 5,1	73 \pm 4,5	65 \pm 6,7	61 \pm 4,5	67 \pm 1,7	83 \pm 1,1	74 \pm 2,3	77 \pm 2,8				
0,5	72 \pm 5,5	70 \pm 7,3	61 \pm 3,9	59 \pm 10,1	67 \pm 9,5	77 \pm 1,7	71 \pm 2,8	82 \pm 3,4				
1	73 \pm 2,2	70 \pm 5,7	62 \pm 6,7	73 \pm 7,9	67 \pm 7,3	78 \pm 3,9	72 \pm 6,2	76 \pm 4,5				
2	70 \pm 8,9	69 \pm 3,4	58 \pm 6,2	63 \pm 4,5	68 \pm 6,2	72 \pm 2,2	69 \pm 8,9	77 \pm 2,2				
5	73 \pm 5,6	70 \pm 5,6	58 \pm 5,6	63 \pm 6,2	67 \pm 6,2	67 \pm 7,3	67 \pm 5,1	70 \pm 6,2				
10	64 \pm 4,5	73 \pm 8,9	60 \pm 5,1	63 \pm 2,8	63 \pm 2,2	73 \pm 7,3	66 \pm 5,6	77 \pm 1,9				
20	58 \pm 6,2	59 \pm 4,5	48 \pm 4,5	59 \pm 4,5	62 \pm 4,5	65 \pm 3,4	62 \pm 3,9	74 \pm 3,9				
30	50 \pm 6,4	54 \pm 6,2	50 \pm 7,3	52 \pm 1,7	60 \pm 6,7	58 \pm 6,2	54 \pm 7,9	68 \pm 2,2				

Таблица 2

Всхожесть воздушно-сухих семян сосны (влажность 6-7%)
в зависимости от дозы облучения и сроков хранения

Доза, Гр	Срок хранения после облучения, мес.											
	0	1	2	3	5	7	8	12				
0	63±3,4	61±4,5	42±3,9	55±8,9	76±1,1	74±4,5	61±6,7	77±5,6				
0,5	68±2,8	47±3,9	41±4,5	58±3,9	67±5,1	67±7,3	65±9,5	79±1,7				
1	62±8,4	47±8,9	43±5,1	39±7,3	68±5,6	68±3,4	60±7,3	76±5,6				
2	55±3,4	48±4,5	40±3,4	37±1,7	51±4,5	58±4,5	57±6,7	65±2,8				
5	44±2,2	29±2,8	23±2,2	20±3,9	28±2,2	29±3,4	25±5,6	22±6,2				
10	38±6,2	12±2,2	8±1,1	0	0	0	0	0				
20	16±2,8	0	0	0	0	0	0	0				
30	7±1,7	0	0	0	0	0	0	0				

Таблица 3

Всхожесть подсушенных семян сосны (влажность 3-4%)
в зависимости от дозы облучения и сроков хранения

Доза, Гр	Срок хранения после облучения, мес.											
	0	I	2	3	5	7	8	I2				
0	56±3,4	61±8,9	44±6,7	50±5,1	65±8,9	67±8,9	58±3,4	74±2,8				
С,5	58±3,9	48±12,9	44±5,1	41±4,5	63±4,5	55±8,4	48±2,8	59±2,8				
1	60±2,8	50±11,2	35±6,2	39±12,4	66±5,6	54±8,4	50±3,9	55±7,3				
2	53±6,2	41±11,8	27±8,9	29±4,5	36±6,2	33±7,3	27±2,3	22±3,4				
3	46±1,1	20±6,7	9±1,7	6±1,7	0	0	0	0				
10	32±2,2	4±0,6	0	0	0	0	0	0				
20	7 ±1,7	0	0	0	0	0	0	0				
30	0	0	0	0	0	0	0	0				

ченными семенами, воздушно-сухие и подсушенные семена довольно значительно снизили свою всхожесть. После месячного хранения доза 5 Гр оказалась полублетальной для воздушно-сухих семян ($t_d = 6,0$ при $t_{st} = 2,4$), тогда как у семян, высеянных сразу после облучения, величина LD_{50} была равна приблизительно 15 Гр. У семян с влажностью 3-4% доза 5 Гр через месяц после облучения вызвала снижение всхожести до 30% от всхожести необлученного контроля ($t_d = 3,6$), а через 5 месяцев хранения эти семена почти полностью утратили жизнеспособность.

Всхожесть воздушно-сухих (табл.2) и подсушенных (табл.3) семян, облученных в дозе 10 Гр и высеянных сразу после облучения, оказалась довольно близкой по величине и равнялась соответственно 60% и 57% от всхожести необлученных контролей. Однако, воздушно-сухие семена утратили способность прорасти через 3 месяца после облучения, а подсушенные - через месяц, что свидетельствует о более интенсивном развитии лучевого поражения в семенах с низким содержанием воды. Что касается всхожести влажных (табл.1) семян, облученных в дозе 10 Гр, то она практически не отличалась от таковой у необлученных семян в течение всего периода хранения.

При дозах облучения 20 и 30 Гр даже влажные семена обнаружили в ряде случаев некоторое снижение всхожести. Так, при дозе 20 Гр семена с высоким содержанием воды снизили свою всхожесть, по сравнению с контролем, на 18% ($t_d = 5,1$ при $t_{st} = 2,4$) через 7 месяцев и на 12% ($t_d = 2,7$) - через 8 месяцев хранения. При дозе облучения 30 Гр влажные семена обнаружили статистически достоверное снижение всхожести сразу после облучения на 24% ($t_d = 2,4$ при $t_{st} = 2,4$) и соответственно на 25%, 20% и 9% через 7, 8 и 12 месяцев хранения ($t_d = 4,0$; $t_d = 2,4$; $t_d = 2,5$). Таким

образом, в семенах, имеющих влажность 9-10%, радиационное поражение даже при относительно высоких дозах облучения развивается очень медленно и проявляется не всегда, а имеет волнообразный характер.

Такие же закономерности в развитии лучевого поражения в семенах сосны разной влажности при их длительном хранении выявлены по критерию "энергия прорастания".

Полученные результаты в целом хорошо согласуются с результатами других авторов, изучавших действие фактора влажности на радиочувствительность семян. Так, Охба (14), исследуя влияние гамма-излучения на семена красной японской сосны (*Pinus densiflora*) с содержанием воды от 2 до 16% установил, что максимальную устойчивость к действию гамма-излучения имеют семена с содержанием воды 13%. Изменение содержания воды в ту или в другую сторону от этого уровня вызывает снижение их радиочувствительности. Такая же закономерность в изменении реакции семян на воздействие гамма-излучения установлена и для семян сосны обыкновенной (5).

Хотя исследованию механизма влияния влажности на радиочувствительность семян были посвящены специальные работы, в настоящее время он еще недостаточно ясен. Некоторые авторы считают, что вода в покоящемся семени определяет судьбу и характер развития физико-химических процессов, вызванных облучением. Большое место в этих процессах они отводят поведению свободных радикалов, образующихся в семенах при их облучении (1, 9). Экспериментально установлено (11), что количество свободных радикалов, возникающих в семенах, определяется только величиной доз и не зависит от влажности семян. Однако, в семенах с высоким содержанием воды, где подвижность свободных радикалов велика,

они очень быстро рекомбинируют между собой, и обстановка в клетке нормализуется. В сухих семенах свободные радикалы сохраняются более или менее длительное время и реагируют с важными в биологическом отношении молекулами клеток, вызывая их повреждение. Реагируя с кислородом среды, свободные радикалы образуют высокоактивные перекисные соединения, которые способствуют усилению поражения (II).

Другие исследователи, пользуясь цитогенетическим критерием, объясняют защитную роль воды с точки зрения гипотезы восстановления (6,8). Согласно этой гипотезе, облучение вызывает образование в хромосомах потенциальных повреждений, способных с определенной вероятностью реализоваться в истинные повреждения. Число первичных повреждений обусловлено величиной дозы и не зависит от влажности семян (3). Однако, в семенах с малым содержанием воды большинство первичных повреждений реализуется, в то время как в более влажном материале вероятность восстановления клеток в значительной степени увеличивается.

Можно считать, что два эти подхода в объяснении механизма влияния фактора влажности на радиочувствительность, использующие физико-химический и клеточный уровни организации, не противоречат, а взаимно дополняют друг друга.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян сосны обыкновенной в контрольном варианте (без облучения) не зависят от влажности этих семян в процессе их хранения в течение 12 месяцев при комнатной температуре ($\approx 20^{\circ}\text{C}$).

2. Увеличение влажности семян сосны существенно снижает их чувствительность к гамма-излучению. Первые признаки лучевого поражения подсушенных семян (влажность 3-4%) по критериям

"энергия прорастания" и "лабораторная всхожесть" проявляются при дозах облучения 0,5 - 1 Гр, тогда как у влажных семян (влажность 9-10%) они отмечаются лишь при дозе 20 Гр.

3. Лучевое поражение подсушенных и воздушно-сухих семян усиливается с увеличением сроков их хранения после облучения, у влажных семян этот эффект отсутствует.

4. Для объяснения механизма влияния влажности и хранения семян на их радиочувствительность привлекается физико-химическая гипотеза свободных радикалов и цитогенетическая гипотеза восстановления потенциальных повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конгер А.Д. Биологическое последствие в облученных семенах и долгоживущие радикалы. - В кн.: "Восстановление клеток от повреждений", М., "Атомиздат", 1963, с.46-55.
2. Плохинский Н.А. Биометрия, Изд-во "МГУ", 1970, с.34-36.
3. Порядкова Н.А. Кривые время-эффект при облучении покоящихся семян разной влажности. - Радиобиология, 1964, т.4, вып.1, с.67-71.
4. Ростовцев С.А., Любич Е.С., Соломонова А.А. К вопросу о сезонности прорастания семян сосны обыкновенной. - Лесное хозяйство, 1975, № 4, с.57-60.
5. Тарчевская С.В., Юшков П.И., Каширо Ю.П. Зависимость всхожести семян сосны от условий пострадиационного хранения. - В кн.: "Радиостойчивость семян растений и ее изменчивость", Свердловск, 1980, с. 19-34.
6. Фесенко Э.В., Порядкова Н.А. Пострадиационное восстановление при облучении семян разной влажности. - Радиобиология, 1966, т.6, вып.5, с.734.

7. Фесенко Э.В. Влияние влажности на процессы пострадиационного восстановления при облучении покоящихся семян гороха. Авт. канд. дисс., 1967.
8. Царапкин Л.С. Зависимость защитного действия цистеина от влажности покоящихся семян гороха. - Радиобиология, 1970, т.10, вып.5, с.706-709.
9. Эйбус Л.Х., Ганасси Е.Э. Анализ действия основных физических факторов, изменяющих радиочувствительность. - Биофизика, 1960, т.5, вып.5, с. 523-531.
10. Caldecott R.S. Effects of hydration on X-ray sensitivity in *Hordeum*. -Rad. Res., 1955, 3, p.316-330.
11. Conger A.D. and Randolph M.L. Magnetic centers (free radicals) produced in cereal embryos by ionizing radiation. -Rad. Res., 1959, II, p.54-56.
12. Conger B.V. and Carabia I.V. Modification of fission neutrons versus $^{60}\text{Co}\gamma$ -radiation in barley seeds by oxygen and seed water content. -Rad.Bot., 1972, 12, p.411-420.
13. Curtis H.I., Delihias N., Caldecott R.S. and Konzak C.T. Modification of radiation damage in dormant seeds by storage. -Rad. Res., 1958, p.526-534.
14. Ohba K. Radiation sensitivity of pine seeds of different water content. -Hereditas, 1961, 47:2, p. 283-294.

С.В. ТАРЧЕВСКАЯ
ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА
МОРФОГЕНЕЗ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ

Последствия предпосевного облучения семян хвойных растений на рост и развитие сеянцев изучены не столь полно, как на многих видах культурных растений. В работах ряда авторов отмечены вызываемые предпосевным облучением семян разных видов древесных растений морфологические изменения, эффекты стимуляции, сдвиги в обмене веществ и иные отклонения от нормы (I, 9, 16, 17, 18, 19). Выводы, сделанные в этих работах в отношении величины доз, вызывающих те или иные эффекты, а также о наличии самих эффектов зачастую противоречивы.

Настоящая работа посвящена изучению влияния острого предпосевного гамма-облучения семян на последующее развитие сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.). Изучение ответных реакций на облучение у сосны в раннем возрастном периоде обусловлено тем, что именно начальные этапы роста древесных растений имеют решающее значение для дальнейшего успешного их произрастания (II, 14).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использовали семена сосны обыкновенной, собранные на территории Ново-Лялинского лесхоза Свердловской области, относящиеся к I классу. Всхожесть семян - 95%, энергия прорастания - 85%, влажность - 7,8%. Повторность опытов 3-кратная, по 100 штук семян в каждой.

Воздушно-сухие семена сосны облучали в дозах 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 25,0; 50,0 Гр при мощности гамма-источника ^{60}Co 22 Гр/час. Затем необлученные (контроль) и облученные семена, предвари-

тельно протравленные 0,15%-ным раствором формалина, высевали в деревянные ящики, заполненные просеянной дерново-луговой почвой, смешанной с песком в отношении 2:1. Для предупреждения ожогов корневых шеек сеянцев и перегрева почвы ящики покрывали деревянными рамками, обтянутыми одним слоем марли. В летние месяцы в ящиках производили регулярный полив растений.

В дальнейшем регистрировали время появления всходов, количество сеянцев и их выживаемость. В качестве количественного критерия для изучения степени поражения сеянцев в пострадиационный период использовали их ростовые реакции, к которым относятся линейное увеличение растения в высоту и его масса, образование боковых корней и столовых побегов, количество листьев (хвои); к ростовым реакциям относятся и те, которые с трудом поддаются количественной оценке - изменение формы органов, морщинистость листьев, повышенная опушенность и т.д. (13).

Ниже приведены данные, характеризующие на протяжении 3-х лет рост и развитие сеянцев сосны, выросших из облученных в разных дозах семян. Частично результаты опыта были опубликованы нами ранее (13).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В вариантах с облучением семян в дозах от 1 до 10 Гр время появления всходов, скорость прорастания, число взошедших растений и их формирование не отличались от контроля. В варианте с облучением семян в дозе 25 Гр период появления всходов был почти в 3 раза продолжительнее, а всхожесть семян в 2 раза меньше, чем в контроле. Облучение семян в дозе 50 Гр привело к гибели появившихся из них проростков.

Результаты измерений длины верхушечного побега сеянцев в

конце каждого вегетационного периода приведены в табл. I. Как показывают данные, на первом году жизни сеянцев в варианте с облучением семян в дозе 5,0 Гр прирост растений был почти в 2 раза больше, чем в контроле; на втором году различия отмечены в вариантах с облучением семян в дозах 10,0 и 25,0 Гр (снижение прироста на 25-40% по сравнению с контролем). К концу 3-го вегетационного периода различия в приросте у сеянцев всех вариантов опыта отсутствуют.

Те же закономерности прослеживаются в формировании ассимиляционного аппарата сеянцев - различного вида хвои (табл. 2). У однолетних сеянцев зависимость числа хвоинок от дозы облучения отсутствовала; исключение составил вариант с облучением семян в дозе 5,0 Гр, сеянцы которого достоверно превышали контроль по этому показателю. У двухлетних сеянцев ассимиляционный аппарат представлен парной хвоей; сеянцы в вариантах с облучением семян в дозах 1,0-5,0 Гр не отличались от контроля, а при дозе облучения 10,0-25,0 Гр по числу сформировавшейся

Таблица I

Зависимость прироста у сеянцев разного
возраста от дозы предпосевого облучения семян сосны

Доза облучения семян, Гр	Длина верхушечного побега, мм		
	1-й год	2-й год	3-й год
0,0	11±0,4	73±1,2	140±16,0
1,0	14±0,5	69±2,0	110±10,1
2,5	13±0,5	75±2,6	130±11,2
5,0	20±0,7	69±1,6	90±21,3
10,0	14±0,4	58±3,4	130±12,0
25,0	9±1,4	49±3,2	100±21,2

Таблица 2

Влияние предпосевного гамма-облучения
семян сосны на развитие ассимиляционного аппарата
сеянцев разного возраста

Доза об- лучения семян, Гр	Количество хвои, шт./1 растение			
	первичная хвоя 1-лет- них сеянцев	парная хвоя 2- летних сеянцев	3-летние сеянцы	
			хвоя боко- вых побегов	хвоя верху- шечного побе- га
0	48±1,5	30±1,0	33±0,5	84±7,1
1,0	53±1,6	25,7±0,8	25±0,7	72±7,1
2,5	49±1,0	32,0±0,8	24±0,7	92±6,3
5,0	58±2,5	28,1±0,7	28±0,7	88±9,4
10,0	51±1,0	23,2±0,7	26±0,3	105±9,5
25,0	42±2,5	21,8±1,1	25±0,4	92±20,0

парной хвоя отставали на 25-30%. У трехлетних сеянцев при всех дозах облучения семян число хвоинок на боковых побегах не имело различий в опытных вариантах и было достоверно меньшим, чем в варианте без облучения семян; по количеству хвои на верхушечных побегах растения в разных вариантах опыта не отличались друг от друга. Нужно отметить, что у 3-летних сеянцев в опытных вариантах наблюдалось пожелтение и массовый опад парной хвои.

Фиг.1 иллюстрирует зависимость ветвления у 2-летних сеянцев сосны от дозы предпосевного облучения семян.

В контроле и варианте с облучением семян в дозе 1,0 Гр боковые почки у сеянцев не образовались. При дозе облучения семян 2,5 Гр боковые почки заложились у единичных растений. При увеличении дозы облучения семян сосны от 2,5 до 25,0 Гр число

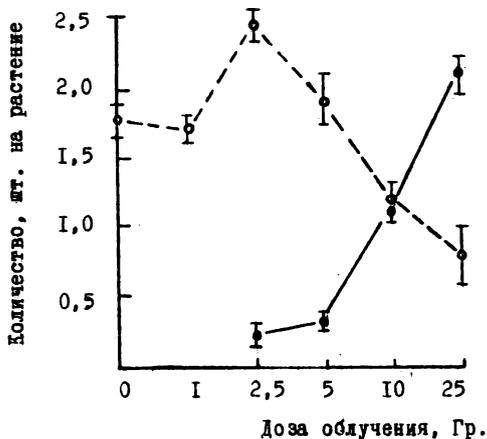


Рис.1. Влияние предпосевого облучения семян сосны обыкновенной на развитие боковых пазушных почек (1) и боковых побегов (2) у 2-летних сеянцев

боковых почек, в расчете на 1 растение, возросло почти в 6 раз. Количество боковых ветвей у этих сеянцев, напротив, с увеличением дозы предпосевого облучения семян уменьшилось. К концу 3-го вегетационного периода количественное соотношение сеянцев, имеющих боковое ветвление, в контроле и в опытных вариантах изменилось (рис.2). В каждом из вариантов опыта лишь некоторые растения имели боковые побеги, при этом в контроле и в варианте с предпосевным облучением семян в дозе 1,0 Гр максимальное число боковых побегов, приходящееся на 1 растение, не превышало 2-х. В вариантах с облучением семян в дозах 2,5; 5,0; 10,0 и 25,0 Гр у 35% сеянцев, из числа имеющих боковые побеги, было

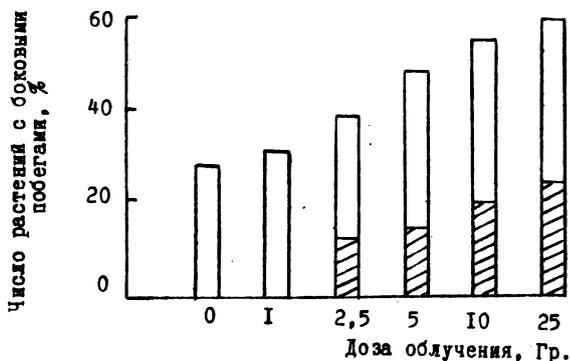


Рис.2. Действие предпосевого гамма-облучения семян сосны на побегообразование у 3-летних сеянцев (число растений, имеющих побеги, приведено в % к общему числу растений в варианте)

- - растения с 2 боковыми побегами,
- ▨ - растения с 3 боковыми побегами.

по 3 боковых побега. Интересно отметить, что в вариантах с облучением семян в дозах 1,0; 2,5; 5,0 и 10,0 Гр всхожесть их и выживаемость сеянцев не отличались от контроля; доля же растений, имеющих повышенное число боковых побегов, возрастает с увеличением дозы облучения, что, по-видимому, можно объяснить усилением роста боковых побегов у облученных растений при нарушении ростовых корреляций (2,10).

Таким образом, боковое побегообразование у сеянцев сосны на ранних этапах их развития зависит от величины дозы предпосевого гамма-облучения семян, при этом направленность этого процесса неодинакова у сеянцев разного возраста.

Анализ такого интегрального показателя, как сухой вес сеянцев показал (рис.3), что на первом году их жизни во всех вариан-

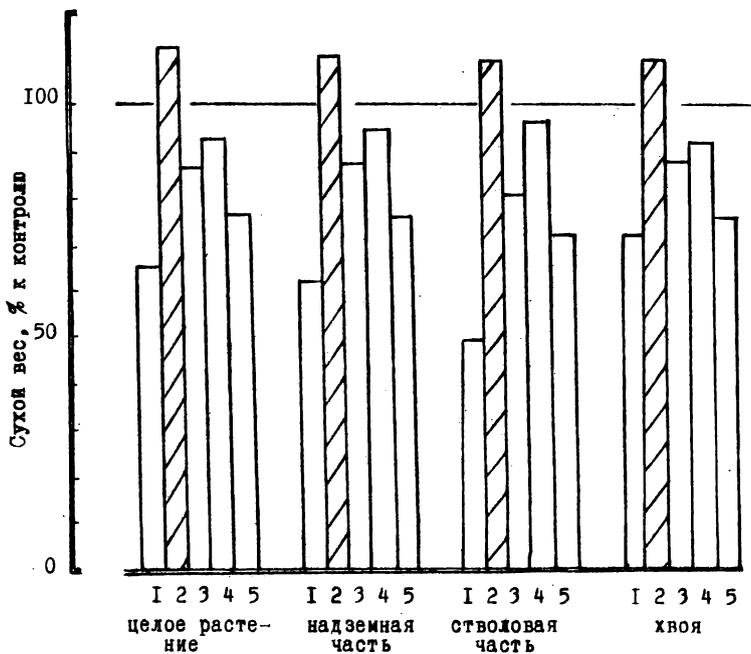


Рис.3. Зависимость накопления сухого вещества в 3-летних сеянцах сосны от дозы предпосевного гамма-облучения семян

1, 2, 3, 4, 5 - облучение семян в дозах
1, 2,5; 5, 10 и 25 Гр
соответственно.

тах, кроме облучения семян в дозе 25 Гр, величина этого показателя достоверно больше, чем в контроле ($P < 0,01$); на втором году жизни отчетливо проявляется превышение (на 25%) воздушно-сухого веса сеянцев в варианте с облучением семян в дозе 2,5 Гр ($P < 0,01$). Превышение веса целого растения и отдельных органов сеянцев в этом варианте опыта над контролем (в среднем на 10%) сохраняется и у 3-летних сеянцев.

В исследованиях других авторов также отмечены явления стимуляции ростовых процессов у растений, развивающихся из семян, облученных в определенных дозах. Так, при облучении семян сосны крымской, сосны обыкновенной, туи восточной, дерена красного и ряда других древесных растений при определенных дозах облучения наблюдали увеличение всхожести семян и более раннее появление всходов (5,6). В опытах с предпосевным облучением семян сосны обыкновенной, проведенных М.Н.Егоровым и Е.А.Пугачем (4), при дозах облучения 150 и 300 р отмечено появление сеянцев-мутантов, имевших "чашкообразное" крепление хвоинок и по росту стволиков превосходящих контроль, а также стимулирование роста хвоинок. Другими авторами (7), изучавшими действие гамма-излучения на семена хвойных растений, отмечена стимуляция роста и развития сеянцев сосны в первые 2 года их жизни при дозе облучения 300 р (сеянцы опытного варианта в 1,5-2 раза выше контрольных). В наших опытах, как уже было отмечено выше, стимулирующий эффект проявляется в увеличении воздушно-сухого веса сеянцев на 2-м и 3-м году жизни.

Полученные разными авторами данные позволяют предположить, что стимуляция ростовых процессов у сеянцев сосны обыкновенной на ранних стадиях развития происходит при облучении воздушно-

сухих семян в интервале доз 1,5-5,0 Гр. На начальных этапах развития сеянцев в условиях конкурентной борьбы с другими видами биоценоза за свет, пищу, влагу, за выход за пределы травянистого яруса и древесного подроста преимущества стимулированных растений могут привести к определенным экологическим последствиям.

Нужно отметить, что к концу 3-го вегетационного периода сеянцы в опытных вариантах по внешнему виду не отличались от контроля, за исключением варианта с предпосевным облучением семян сосны в дозе 25 Гр, в котором сеянцы отличались большим разнообразием по величине и форме. Среди этих сеянцев зарегистрированы растения-уроды нескольких типов. У одних из них отсутствовали верхушечные побеги 3-го года жизни, а на ствольной части и на развитых боковых побегах находилась редкая, сильно утолщенная парная хвоя. У других растений-уродов вместо парной хвои на верхней части стебля развивалась длинная, спиралевидно-изогнутая одиночная хвоя. Наконец, встречались отдельные сеянцы с двумя стволиками или с хвоей, загнутой концами внутрь и образовавшей беспорядочное сплетение типа "ведьминых метел". Число уродливых растений в этом варианте опыта составляло около 14%. По-видимому, доза облучения 25 Гр в нашем опыте является для семян сосны критической дозой (9), вызывающей у сеянцев радиоморфозы и снижающей вдвое всхожесть семян и выживаемость сеянцев. Кстати, нужно отметить, что рядом авторов получены следующие величины полудетальных, "критических" доз острого гамма-облучения для семян сосны обыкновенной: 1,0 кр (15); 1,5-1,7 кр (5); 2,5 кр (12); 3,0-5,0 кр (9). Как видно, значения критических доз облучения довольно различны, хотя и лежат в пределах одного порядка величин. Отмеченные различия могут быть связаны с тем, что в исследованиях авторов использованы семена сосны,

хранившиеся при разных условиях, либо полученные с деревьев из различных эколого-географических мест обитания, что может существенно повлиять на их радиочувствительность (8).

Проведенные нами исследования показали, что облучение семян сосны в дозах от 1,0 до 50,0 Гр оказало различное, в зависимости от величины дозы облучения, последствие на морфогенез сеянцев в первые годы их жизни. Это и стимуляция ростовых процессов у сеянцев (I-й год, доза 5,0 Гр), числа первичных хвоек (I-й год, доза 5,0 Гр), воздушно-сухого веса разных органов и целого растения. Это и угнетение роста и развития сеянцев на разных этапах развития при более высоких дозах облучения: подавление всхожести семян, снижение прироста, воздушно-сухого веса сеянцев, образование уродливых форм (доза 25 Гр). Это влияние проявляется и в изменении ветвления у сеянцев в опытных вариантах, и в массовом опадении хвои, и в ряде других отклонений от нормы. По-видимому, от того, насколько значительны эти отклонения, будут зависеть в дальнейшем отношения между организмами и определяться место их в биогеоценозе.

ВЫВОДЫ

1. Изучено влияние предпосевого гамма-облучения семян сосны обыкновенной в дозах 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 25,0 и 50,0 Гр на последующие рост и развитие сеянцев на протяжении 3-лет их жизни.

2. Установлено влияние дозы предпосевого гамма-облучения семян сосны на боковое побегообразование у сеянцев: у 2-летних сеянцев с увеличением дозы облучения семян число боковых почек возрастает, а число боковых побегов уменьшается; у 3-летних сеянцев с увеличением дозы облучения семян возрастает число растений, имеющих боковые побеги.

3. Отмечено повышение воздушно-сухого веса 2- и 3-летних сеянцев сосны, развившихся из семян, облученных в дозе 2,5 Гр.

4. При облучении воздушно-сухих семян сосны в дозе 25 Гр установлено снижение скорости их прорастания и выживаемости сеянцев, а также угнетение ростовых процессов и появление уродливых форм среди 3-летних сеянцев.

5. Облучение семян сосны в дозах 1,0; 5,0 и 10,0 Гр не оказало существенного влияния на морфогенез сеянцев за исследованный отрезок времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайлис Я.Я. Влияние ионизирующих излучений на всхожесть семян и выход сеянцев сосны и ели. - В сб. "Ионизирующие излучения в биологии", Рига, изд. "Зинатне", 1965, с.123-130.
2. Гродзинский Д.М., Гудков И.Н. Апикальное доминирование и регенерация у вегетирующих растений после облучения γ -радиацией. - Радиобиология, 1969, т. IX, с.249-256.
3. Гродзинский Д.М., Гудков И.Н. Защита растений от лучевого поражения. М., Атомиздат, 1973, с.232.
4. Егоров М.Н., Пугач Е.А. Влияние предпосевого облучения семян на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной. - В сб. "Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород", Воронеж, 1977.
5. Карабань Р.Т. Влияние гамма-облучения на рост и развитие сеянцев. - Лесное хозяйство, 1966, № 7, с.36-37.
6. Кудинов М.А. Радиочувствительность некоторых видов древесных растений в условиях Белоруссии. - Радиобиология, 1968, т. VIII, вып. 2, с. 313-315.
7. Молчанов А.А., Нарышкин М.А., Алексахин Р.М. О действии гамма-излучения на семена хвойных растений. - Материалы I Всес.

- симп. по радиобиологии растительного организма. Киев, 1970, с.128.
8. Преображенская Е.И. Значение эколого-географического фактора для радиочувствительности растений. - В кн.: "Методы радиозокологических исследований". М., Атомиздат, 1971.
 9. Привалов Г.Ф. Экспериментальные мутации вегетативных органов древесных растений. - ДАН СССР, 1963, т.150, № 3, с.661-664.
 10. Савин В.Н., Степаненко О.Г. К вопросу о механизме усиления роста боковых побегов при облучении растений. - ДАН СССР, 1970, т.193, № 4, с.929-931.
 11. Санников С.Н. Биозокологические этапы индивидуального роста и развития сеянцев самосева сосны. - Тр.Ин-та биологии УРАН СССР, Свердловск, 1963, вып. 35, с.47-64.
 12. Тарчевская С.В. Влияние гамма-лучей кобальта-60 на семена некоторых видов хвойных растений. - В сб. "Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения". - Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1970, вып.74, с.33-39.
 13. Тарчевская С.В., Дшков П.И. Влияние предпосевного облучения семян на развитие сеянцев сосны обыкновенной. - В сб. "Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения". Тр.Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1970, вып. 74, с.40-45.
 14. Яблоков А.С. Селекция древесных пород. М., Изд-во сельхозлитературы, журналов, плакатов, 1962, 487 с.
 15. Bowen H., Smith S. Effect of gamma-radiation on weeds. - Nature, London, 1959, v.193, n.4665, 907.

16. La Croix I.D. Radiosensitivity of jack pine seed to cobalt-60. -Forest Science, Washington, 1964, v.10, n.3, pp.293-295.
17. Heaslip M.B. Radiosensitivity of deciduous tree seed to different ratios of fast neutron and gamma-radiations. -Rad. Bot., London, 1967, v.7, pp.415-428.
18. Mergen F., Gummings I. Germination of *Pinus rigida* seeds after gamma-radiation (Effects of post-irradiation treatments moisture content and individual trees). Rad. Bot., London, 1965, v.5, n.1, pp.39-51.
19. Sparrow A.H., Schwemmer S.S., Thompson K.H. Radiosensitivity studies with woody plants. 3. Predictions of limits of probable acute and chronic Ld_{50} values from lognormal distributions of interphase chromosome volumes in gymnosperms. -Rad. Res., New York, 1976, v.65, n.2, pp.315-326.

П. И. ЮШКОВ
МОДИФИКАЦИЯ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ
СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ВИДИМЫМ СВЕТОМ

Известно, что процесс прорастания семян у многих видов растений является светозависимым. В частности, красный свет стимулирует прорастание семян сосны (3, 8, 11). Показано, что действие света на прорастание семян осуществляется при участии фитохромной системы (3, 5, 13, 14).

Установлено, что белый и красный свет могут снижать тормозящее действие высоких доз рентгеновского и гамма-излучения на прорастание семян салата (1, 12, 15). Ослабление отрицательных последствий облучения семян достигалось с помощью светового воздействия на развивающиеся из них растения. (2, 7-10). Модификация реакции растений на гамма-облучение с помощью видимого света была получена в опытах с многоклеточной водорослью (6).

Однако объектами исследований были в основном высокорadioустойчивые культурные растения. Следует также учесть, что адаптивная реакция на свет при участии фитохрома у семян культурных растений может быть измененной или утраченной в ходе селекции (3). Поэтому представляется интересным оценить модифицирующее действие света на облученные семена радиочувствительных видов дикорастущих растений.

Настоящая работа посвящена изучению влияния видимого света на семена высокорadioчувствительного вида сосны обыкновенной, подвергшиеся воздействию гамма-квантов ^{60}Co .

МЕТОДИКА

С целью изучения влияния видимого света на проявление лучевого поражения у семян сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.)

были проведены два основных опыта.

В первом опыте использовали семена, первоначально хранившиеся в течение одного года при температуре 16–20°, а затем 3 месяца – при –10°C. Семена с влажностью 5,1% облучали гамма-квантами ⁶⁰Co в дозе 15 Гр при мощности дозы 9,9 сГр/мин и температуре 14°C. Доза 15 Гр была выбрана на основании результатов предварительных опытов. Эта доза облучения снижала всхожесть семян в темноте на 30–40%.

Сразу после облучения семена высевали в чашки Петри на влажный песок, накрытый бумажным фильтром. В каждую чашку высевали по 100 штук семян. Чашки с семенами были размещены в лабораторном помещении, при этом часть из них ставили в картонную светонепроницаемую камеру, а остальные чашки оставляли на рассеянном дневном свете. Длина дня составляла 17 часов, ночи – 7 часов. Температура воздуха в камере и вне ее днем достигала 22°, а ночью понижалась до 15°.

Так как в предварительных опытах было установлено, что прорастание в темноте у облученных и необлученных семян завершилось к концу второй недели, то по истечении 15 суток с начала намачивания семян с целью выявления жизнеспособных семян чашки с непроросшими семенами перенесли из темной камеры на свет. Через 28 суток после начала намачивания семян наблюдение за их прорастанием прекратили, так как к этому времени все непроросшие семена загнили.

Проросшие семена с длиной корешка 1 см и более высаживали в сосуды, вмещавшие по 6 кг дерново-луговой почвы. Полив проводили регулярно. Повторность в опытах трехкратная.

Критериями радиочувствительности служили энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян, а также выживаемость сеянцев.

Во втором опыте семена другой партии, хранившиеся в тех же условиях, что и семена, использованные в первом опыте, но с влажностью 10%, облучали на той же установке в дозе 30 Гр (мощность дозы 9,9 сГр/мин). Эта доза по данным предварительного опыта составила приблизительно LD_{70} при проращивании семян в темноте. Семена проращивали в чашках Петри, как и в предыдущем опыте.

Сразу после посева половину общего числа чашек оставляли для проращивания на рассеянном дневном свете с естественной длиной дня (17 часов), остальные чашки помещали в светонепроницаемую камеру. Через 24, 48 и 72 часа после начала намачивания по 3 чашки с облученными и необлученными семенами из этой камеры переносили на свет и по 3 чашки с освещения переставляли в темноту (в камеру). Указанные сроки воздействия светом были выбраны в связи с тем, что в этот отрезок времени еще не начиналось прорастание семян. По 3 чашки с необлученными и облученными семенами оставались в течение всего срока проращивания (20 суток) при естественном освещении или в полной темноте. Температура воздуха в камере и вне ее была такой же, что и в первом опыте.

Критерий радиочувствительности во втором опыте - лабораторная всхожесть.

В обоих опытах оценивали жизнеспособность семян, за которую была принята максимальная всхожесть облученных и необлученных семян на свете.

Результаты опытов подвергнуты математической обработке, в таблицах приведены среднеквадратические ошибки средних.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый опыт. Наблюдения за прорастанием семян показали, что появление проростков у необлученных семян прекратилось на све-

ту через 8 суток, в темноте - 10 суток, у облученных семян на свету и в темноте, соответственно, через 11 и 12 суток после начала намачивания. Перенос непроросших облученных и необлученных семян через 15 суток после начала намачивания из темноты на свет привел к возобновлению прорастания спустя 3-6 суток. Семена, не проросшие в темноте в течение первых 12 суток и не перенесенные на свет, в дальнейшем не прорастали, покрывались плесенью и погибали (рис.1).

Из табл.1 видно, что при проращивании в темноте у семян, облученных в дозе 15 Гр, энергия прорастания была в 2,8 раза ниже, чем у необлученных семян. Проращивание облученных и необлученных семян на свету вызвало повышение их энергии прорастания на 51 и 27%, соответственно. При этом энергия прорастания облу-

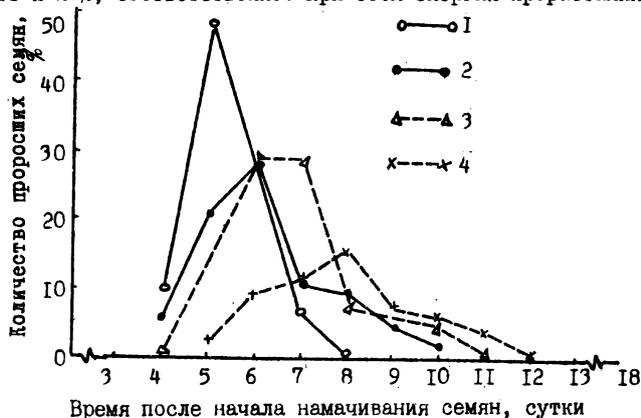


Рис.1. Динамика прорастания семян сосны на свету и в темноте в зависимости от освещения и гамма-облучения. На свету: 1 - без облучения; 2 - доза облучения 15 Гр; в темноте: 3 - без облучения; 4 - доза 15 Гр.

Таблица I

Влияние гамма-облучения и режима освещения на всхожесть и выживаемость семян сосны (%)

Доза облучения, Гр	Условия проращивания	Энергия проращивания	Всхожесть	Выживаемость	Суммарная всхожесть x
0	темнота	64±0,8	79±1,3	78±0,3	93±0,4
15	темнота	23±1,3	54±3,4	72±0,5	84±5,9
0	свет	91±1,3	93±1,3	87±0,2	-
15	свет	74±3,5	92±5,9	79±0,3	-

x Суммарная всхожесть включает в себя семена, проросшие в темноте и "допроросшие" на свету.

ценных семян оказалась лишь в 1,2 раза меньше, чем у необлученных семян. Дневной свет повышал также и всхожесть облученных и необлученных семян. Если всхожесть в темноте у облученных семян была на 25% ниже, чем у необлученных семян, то на свету всхожесть тех и других семян оказалась одинаковой (92-93%) и значительно превышала таковую в темноте, где всхожесть составляла 79 и 54%, соответственно, у необлученных и облученных семян.

После переноса на свет семян, не проросших в темноте, происходило "допроращивание" жизнеспособных необлученных и облученных семян. В результате этого всхожесть необлученных семян возросла на 14%, а облученных семян - на 30%. При этом суммарная всхожесть, включающая в себя всхожесть семян в темноте и всхожесть семян "допроросших" на свету, у необлученных семян была такой же, что и у необлученных семян, прораставших на свету с начала намычивания (93%). У облученных семян суммарная всхожесть была

на 8% ниже, чем всхожесть семян, находившихся с начала проращивания на свету. Однако эта разница статистически недостоверна.

Таким образом, опыт выявил физиологическую неоднородность семян, использованных в нем. Подопытная партия семян сосны включала в себя жизнеспособные (93%) и нежизнеспособные семена. Если все количество жизнеспособных семян принять за 100%, то окажется, что около 85% жизнеспособных необлученных семян могло прорасти в темноте, а около 15% - только на свету. Расчеты показали, что облучение в дозе 15 Гр увеличило долю семян, прорастание которых индуцировалось светом, до 35-45%.

Выживаемость 40-дневных сеянцев сосны, которые развивались из семян, находившихся на свету с начала намачивания, несколько больше, чем у растений, появившихся из семян, прораставших в темноте. Однако при всех режимах проращивания отпад сеянцев, развившихся из облученных семян был несколько выше, чем отпад сеянцев, которые появились из необлученных семян (табл. I).

Второй опыт. Облучение в дозе 30 Гр, использованное в данном опыте, задержало начало прорастания семян на 1-2 суток. Прорастание семян закончилось на 8-13 сутки после начала намачивания.

Из табл. 2 видно, что освещение в течение первых двух, трех и более суток после начала намачивания повышало на 20-30% всхожесть необлученных семян по сравнению с их всхожестью в темноте. При этом наибольшая всхожесть семян, подвергавшихся воздействию света, составила 92%, а не подвергавшихся - 63%. Освещение в первые 24 часа после начала намачивания не влияло на всхожесть необлученных семян, если их на следующие 19 суток помещали в темноту.

Облучение в дозе 30 Гр вызвало сильное снижение всхожести. Так, при проращивании в темноте в течение 20 суток всхожесть

Таблица 2

Зависимость всхожести облученных и необлученных семян
сосны от режима освещения во время их проращивания (%)

Доза облучения, Гр	Темнота				Свет			
	Длительность воздействия, сутки							
	1 ^x	2 ^x	3 ^x	20	1 ^{xx}	2 ^{xx}	3 ^{xx}	20
0	75±0,8	85±4,5	94±3,4	63±3,6	60±3,6	80±0,8	92±2,0	83±2,6
30	56±0,8	62±2,2	52±2,5	17±3,1	18±2,0	18±2,2	26±2,0	59±1,7

x Свет в остальные соответственно 19-17 суток (длина дня 17 час.)

xx Темнота в остальные соответственно 19-17 суток

облученных семян была в 3,7 раза ниже, чем у необлученных семян. Если набухшие облученные семена получали свет по 17 часов в сутки в течение всего опыта (20 суток) или в течение 17-19 суток после соответственно трех-однодневного пребывания в полной темноте, то их всхожесть приблизительно в 3-3,5 раза превышала всхожесть облученных семян, находившихся в темноте. Освещение только в первые двое суток после начала намачивания не влияло на всхожесть облученных семян. Повышение всхожести облученных семян, находившихся в первые трое суток проращивания на свету, а последующие 17 суток - в темноте, оказалось недостоверным.

Как и в первом опыте, свыше 90% необлученных семян оказались жизнеспособными. Проращивание на свету семян, облученных в дозе 30 Гр, показало, что приблизительно 60% из них жизнеспособны, однако, только около 28% общего количества жизнеспособных облученных семян могло прорасти в темноте.

ОБСУЖДЕНИЕ

Опыты показали, что дневной свет стимулирует прорастание необлученных и облученных семян сосны обыкновенной. Особенно эффективным было действие света на прорастание облученных семян, всхожесть которых на свету возрастала в 1,7-3,5 раза по сравнению со всхожестью в темноте. При проращивании в темноте всхожесть семян, облученных в дозе 15 Гр, составила 63% к всхожести необлученных семян. На свету необлученные и облученные в этой дозе семена не отличались друг от друга по всхожести. У семян другой партии (с влажностью вдвое большей, чем у семян первой партии) всхожесть после облучения в дозе 30 Гр в темноте равнялась 25% от всхожести необлученных семян, а на свету - 70%.

Сопоставление результатов двух опытов показывает, что с увеличением дозы гамма-облучения возрастала степень светозависимости прорастания семян сосны.

Стимулирующее действие на прорастание необлученных семян оказывает двух-трехдневное воздействие дневным светом, а у облученных - более продолжительное. Последнее возможно, связано с тем, что гамма-облучение задерживало начало прорастания на 1-2 суток и тем самым отодвигало время вступления семян в "светочувствительное" состояние, когда фоторецепторная система облученных семян сосны становится физиологически эффективной.

Известно, что стимулирующее действие света на прорастание семян осуществляется при участии фитохромной системы (3, 5, I3, I4). В сухих семенах в естественных условиях фитохром преимущественно находится в неактивной форме, которая способна поглощать красный свет и переходить при этом в активную форму. Активная форма фитохрома в темноте переходит в неактивную форму. Семена, перенесенные в темноту после обработки дневным или красным светом, могут утратить способность прорасти, обусловленную световым воздействием (I3, I4). Последним объясняется, по-видимому, отсутствие в одном из наших опытов, фотоиндукции прорастания необлученных семян, которые после 17-часового пребывания на свету в набухшем состоянии в последующие 19 суток находились в темноте.

Можно полагать, что в набухших семенах сосны обыкновенной дневной свет через фитохромную систему инициирует деление клеток или их растяжение (I2). У семян, облученных в дозах, которые вызывают сильное поражение инициальных клеток корешка или гибель их, свет, возможно, индуцирует деление клеток центра полярной меристемы, которые, по данным Гудкова И.Н. (4),

играют первенствующую роль в пострадиационных восстановительных процессах в растении на тканевом уровне. Однако было бы необоснованным считать, что положительное воздействие света отражается на одних и тех же клетках зародыша семян, утративших способность прорасти в темноте, как под влиянием гамма-облучения, так и в процессе естественного хранения. Вполне возможно, что у облученных семян сосны фотоиндукция прорастания связана с реакцией клеток центра покоя, а у необлученных семян - в основном с реакцией инициальных клеток. Для решения этого вопроса необходимо проведение специальных исследований.

Опыты показали, что отпад растений, которые развились из семян, проросших на свету, был меньше, чем у сеянцев, появившихся из семян, которые проращивали в темноте. При этом у сеянцев, развившихся из облученных семян, наблюдался более сильный отпад, чем у сеянцев, появившихся из необлученных семян. При сопоставлении данных о влиянии света на прорастание семян и выживаемость сеянцев сосны, видно, что свет, стимулируя прорастание семян, не устраняет в них всех повреждений, вызванных гамма-облучением, что обуславливает несколько более сильный отпад сеянцев, развившихся из облученных семян.

Следует отметить, что описанные выше эффекты положительного действия света на гамма-облученные семена сосны обыкновенной получены на семенном материале с невысокими посевными качествами. Возможно, что у семян с более высокими энергией прорастания и всхожестью эффект фотоиндукции прорастания окажется иным.

Обращает на себя внимание то, что у семян высокорезистентного салата эффект от воздействия светом получали более значительный, чем мы в опытах с семенами сосны. При обработке светом семян салата, облученных в дозах, которые являются для них ле-

тальными в случае проращивания в темноте, была достигнута 90-100%-я всхожесть (15).

Полученные данные о сильном положительном модифицирующем действии дневного света на прорастание семян сосны обыкновенной, подвергнутых гамма-облучению, а также о достаточно высокой выживаемости сеянцев, развившихся из облученных семян, прорастание которых было фотоиндуцировано, указывает на возможность использования светового воздействия в радиационно-селекционной работе. Применение фотоиндукции прорастания облученных семян позволит подбирать более высокие дозы облучения с целью получения повышенного выхода жизнеспособных мутантов. Последнее особенно важно в селекции древесных растений, в которой затраты времени и земельных площадей весьма велики.

Разумеется, применение фотоиндукции прорастания облученных семян в селекции древесных растений потребует предварительных экспериментальных исследований и знания радиобиологических свойств хозяйственно-ценных видов, их биологических особенностей и, в частности, отношение прорастающих семян к свету.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что облучение гамма-лучами ^{60}Co в дозах 15 и 30 Гр семян сосны обыкновенной снижало их лабораторную всхожесть в темноте при переменной суточной температуре соответственно на 30 и 73%. Проращивание на свету в тех же температурных условиях приводит к повышению энергии прорастания и всхожести облученных и необлученных семян сосны. Семена, облученные в дозе 15 Гр, на свету имели всхожесть одинаковую с необлученными семенами, а всхожесть семян, облученных в дозе 30 Гр, оказалась ниже, чем у необлученных, только на 29%.

2. Стимулирующее действие дневного света на прорастание у

необлученных семян сосны проявляется при двух-трехдневном воздействии им, у облученных семян - при более продолжительной световой обработке. .

3. Степень светозависимости прорастания семян сосны обыкновенной возрастала с увеличением дозы предпосевного облучения.

4. Воздействие светом на прорастающие семена сосны повышало выживаемость развившихся из них растений. При этом выживаемости сеянцев, появившихся из необлученных семян, выше, чем выживаемость сеянцев, выросших из необлученных семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булах А.А. Зависимость радиочувствительности растительного организма от функционального состояния генома. - В кн.: Механизмы радиостойчивости растений. Киев, "Наукова думка", 1976, 98-109.
2. Василев И.М. Действие ионизирующих излучений на растения М., изд. АН СССР, 1962, 224.
3. Видавер У. Свет и прорастание семян. - В кн.: Физиология и биохимия покоя и прорастания семян. Пер. с англ. М., "Колос", 1982, 211-225.
4. Гудков И.Н. Динамика меристем и ее устойчивость. - В кн.: Формы пострадиационного восстановления. Киев, "Наукова думка", 1980, 82-115.
5. Кан А.А. Покой семян: смена концепций и теорий. - В кн.: Физиология и биохимия покоя и прорастания семян. Пер. с англ. М., 1982, "Колос", 47-71.
6. Кутлахмедов Ю.А., Гродзинский Д.М. Модификация радиостойчивости многоклеточного растительного организма видимым светом. - В кн.: Механизмы радиостойчивости растений. Киев, 1976, "Наукова думка", 150-164.

7. Мошков Б.Н., Савин В.Н. Влияние условий выращивания на изменение последствия гамма-лучей. В сб. "Предпосевное облучение семян сельскохозяйственных культур". М., 1963, Изд.АН СССР, 54-56.
8. Овчаров К.Е. Физиологические основы всхожести семян. М., 1969, "Наука", 280.
9. Савин В.Н. Изменение последствия гамма-лучей в зависимости от условий выращивания растений. -Бюлл. научно-технической информации по агрономической физике, Л., 1962, №10, 12-14.
10. Савин В.Н. Действие ионизирующей радиации на растительный организм. М., 1981, "Энергоиздат", 120.
11. Asasawa S. Light-sensitivity in the germination of *Pinus thunbergii* and *Picea glehnii* seeds. *Huxon shumakkaou*. -J. Japan Forestry Society, 1961, v.43, n.10, 331-335. Цит. по К.Е. Овчарову "Физиологические основы всхожести семян", М., 1969, "Наука", 280.
12. Hsiao A.I., Vidaver N. Phytochromediated germination response in γ -irradiated lettuce seeds. -*Plant Physiology*, 1974, 54, n.1, 72-75.
13. Kendrick R.E., Russel I.H. Photomanipulation of phytochrome in lettuce seeds. -*Plant Physiology*, 1975, 56, n.2., 332-334.
14. Rollin P. Phytochrome control of seeds germination. "Phytochrome Proceedings of Symposium, Eretria, 1971". London-New York, 1972, 229-254.
15. Stein G., Richter R. The effect of X-ray irradiation in conjunction with red and far red light on lettuce seeds.

-Proceedings of Symposium "The effects ionizing radiation on seeds"
Kannerting, JAKA, Vienna, 1961, 197-199.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

1. Л.К. А л ь ш и ц , С.В. Т а р ч е в с к а я .
О возможности изменения лучевого поражения
семян гороха стимулирующими дозами ионизи-
рующей радиации. 3-12
2. В.Н. П о з о л о т и н а . Влияние предпосев-
ного облучения семян на морфогенез сеянцев
березы в условиях разного эдафического
пространства. 13-23
3. О.А. П о р о з о в а . Развитие лучевого эф-
фекта в семенах сосны разной влажности при
их длительном хранении. 24-34
4. С.В. Т а р ч е в с к а я . Влияние предпосев-
ного гамма-облучения на морфогенез сеянцев
сосны. 35-47
5. П.И. Б у ш к о в . Модификация лучевого пораже-
ния семян сосны обыкновенной видимым све-
том. 48-61

МОДИФИКАЦИЯ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ
СЕМЯН РАСТЕНИЙ

Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института экологии
растений и животных УНЦ АН СССР

Ответств. за выпуск С. В. ТАРЧЕВСКАЯ

РИСО УНЦ № I (83)	НС 19019	Подписано к печати 31.01.83
Формат 60x84 1/16	Усл. печ. л. 3,5	Уч.-изд. л. 3,0
Тираж 150	Цена 30 коп.	Заказ 197

Институт экологии растений и животных, Свердловск, 8 Марта, 202
Цех № 4 п/о "Полиграфист", Свердловск, Тургенева, 20