

является сильное влияние плейстоценовой истории на современную структуру генетической изменчивости, часто обширные ареалы с плавной сменой условий, где признаки вида варьируют клинально вдоль градиентов климатических и прочих экологических переменных, но также нередко и мозаично, без каких-либо выраженных географических трендов. Экологические вызовы последних десятилетий, связанные с глобальными климатическими изменениями, антропогенным стрессом и их сочетанным воздействием делают актуальным дальнейшее изучение факторов динамики видовых и популяционных генофондов, в том числе выявление генетических основ локальной адаптации и пространственно-временной дифференциации с применением комплекса традиционных видов анализа фенотипа и генотипа, а также новейших полногеномных технологий.

DOI:10.5281/zenodo.17058948

МЕТОД МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЕЧЕНИ) КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

METHOD OF MORPHOPHYSIOLOGICAL INDICATORS (ON THE EXAMPLE OF THE LIVER) AS A TOOL FOR MONITORING THE STATE OF POPULATIONS

Д.В. Полуэктова, И.А. Кшнясев

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

Ключевые слова: грызуны, печень, энергетическое депо, сезонная адаптация, структура населения

Печень – центральный орган гомеостаза у млекопитающих. Относительную массу печени традиционно используют в качестве одного из ведущих морфофизиологических индикаторов, что связано с ее функцией как важного органа метаболизма, энергетического (углеводного и жирового) и белкового депо. Несмотря на множество данных о влиянии на массу и индекс печени различных факторов (Оленев, 1964; Европейская рыжая полевка, 1981; Демина и др., 2007; Нестеркова и др., 2012), многолетняя динамика этих показателей изучена недостаточно.

Цель нашей работы – оценить влияние популяционной динамики на изменчивость массы и индекса печени у рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780)) при контроле других факторов (пол, репродуктивный и возрастной статус). Для этого мы сопоставили валидность и мощность двух подходов: метода морфофизиологических индикаторов (ММФИ) (Шварц и др., 1968) и классического аппарата общих линейных моделей (ANCOVA – ковариационного анализа).

В работе использовали материалы многолетних учетов (1995–2023 гг.) мелких млекопитающих (ММ) на территории Висимского государственного природного биосферного заповедника (южная темнохвойная тайга, Средний Урал), собранные Ю.А. Давыдовой и И.А. Кшнясевым. Животных отлавливали ежесезонно (в зимний период с 2004 г.). Межгодовые различия численности ММ позволили выделить годы с низкой, средней и высокой численностью, что соответствует фазам «депрессии», «роста» и «пика». С 2006/2007 гг. до 2017 г. наблюдали «нециклический» режим с более выраженными сезонными изменениями численности животных (Кшнясев, Давыдова, 2021). У животных ($n = 1737$) определяли массу и размеры тела, массу печени, рассчитывали индекс печени (отношение массы органа (мг) к массе тела (г), %). По состоянию репродуктивной системы, наличию тимуса, возрастным изменениям зубов и дате отлова различали зимующих и перезимовавших особей, неполовозрелых и половозрелых сеголеток.

Данные (логарифмы абсолютной и относительной (индекс) массы печени) моделировали с помощью аппарата теории обобщенных линейных моделей GRM/GLM, позволяющих оценить частный эффект при контроле остальных. Предикторами служили бинарные признаки (пол, репродуктивная и возрастная группа, фаза цикла и режим динамики). Статистически оптимальной из набора конкурирующих моделей признавали модель с минимальным значением критерия Маллоуза (C_p). Редуцированная модель включала пол животных, нециклический режим и возрастной статус особей. Дополнительно анализировали остатки регрессии $\ln$ (масса печени) $\sim \ln$ (масса тела).

В результате выявлена четкая (и очевидная) зависимость массы печени от массы тела: увеличение массы тела в ≈ 2.72 раза сопровождалось увеличением средней массы печени в $\exp(1.07)$ раза. Наибольшие различия обнаружены между возрастными группами: масса печени у зимующих особей на 5% больше, а у перезимовавших – на 5% меньше, чем у сеголеток. Индекс печени изменялся аналогичным образом: у зимующих особей этот показатель на 2% выше, а у перезимовавших – на 2% ниже, по сравнению с молодыми особями. В нециклический период наблюдали увеличение как массы (на 3%), так и индекса печени (на 1%) относительно прочих фаз популяционного цикла. Хотя между самцами и самками значимых различий (на 5% уровне значимости) по исследуемым параметрам не установлено, анализ остатков регрессии выявил увеличенную массу печени у самцов (на 2%) по сравнению с самками (таблица).

Таблица. Оценки параметров

Таблица. Оценки параметров						
Предикторы, X_i	b	$se(b)$	$t(df^*)$	$p \leq$	95% ДИ	
$\ln(\text{масса печени}) = b_0 + b_i X_i; F_{(5; 1732)} = 482.50, p < 0.001, R^2 = 0.58, \text{MSR} = 0.04$						
b_0	4.05	0.09	46.57	0.001	3.88	4.22
Ln (масса тела)	1.07	0.03	38.09	0.001	1.02	1.13
Пол (самцы)	-0.01	0.005	-1.82	0.07	-0.02	0.001
Нециклический режим	0.03	0.01	5.13	0.001	0.02	0.04
Зимующие особи	0.05	0.01	4.95	0.001	0.03	0.07
Перезимовавшие особи	-0.05	0.01	-5.14	0.001	-0.07	-0.03
$\text{Residuals} = \ln(\text{масса печени}) - \ln(\text{масса тела}) = b_i X_i; F_{(4; 1733)} = 12.55, p < 0.001, R^2 = 0.03, \text{MSR} = 0.04$						
Пол (самцы)	-0.02	0.01	-2.97	0.003	-0.04	-0.01
Нециклический режим	0.04	0.01	4.56	0.001	0.02	0.06
Зимующие особи	0.06	0.02	3.82	0.001	0.03	0.09
Перезимовавшие особи	-0.02	0.01	-2.19	0.029	-0.04	-0.002
$\ln(\text{индекс печени}) = b_0 + b_i X_i; F_{(4; 1733)} = 13.63, p < 0.001, R^2 = 0.03, \text{MSR} = 0.01$						
b_0	1.86	0.003	680.44	0.001	1.85	1.86
Пол (самцы)	-0.004	0.002	-1.84	0.07	-0.01	0.0002
Нециклический режим	0.01	0.002	4.63	0.001	0.01	0.01
Зимующие особи	0.02	0.005	4.61	0.001	0.01	0.03
Перезимовавшие особи	-0.02	0.004	-4.45	0.001	-0.02	-0.01

Примечание: b_0 (референтная группа) – самки в фазу «депрессии», «роста» или «пика»;

$p < 0.05$ – полужирный шрифт; степени свободы t -статистики соответствуют числу степеней свободы знаменателя F -критерия

Высокие значения абсолютной и относительной массы печени у зимующих животных могут отражать физиологическую адаптацию к сезонным изменениям (Шварц и др., 1968; Оленев, Григоркина, 2019). Переход на зимний рацион, богатый фенолами, в сочетании с нерегулярной доступностью кормов и необходимостью усиленной теплопродукции вызывает адаптивное увеличение относительной массы органа. Комплекс этих условий приводит к характерным метаболическим перестройкам: в зимний период значительно возрастает содержание резервного гликогена, превышая средний уровень, что сопровождается повышенной активностью ферментов углеводного, липидного и белкового обмена. Эти изменения отражают процесс метаболической «тренировки» органа по С.С. Шварцу, обеспечивающей поддержание гомеостаза в экстремальных условиях. С переходом на весенние корма снижается функциональная нагрузка на печень, что в совокупности со вторым скачком роста тела перед созреванием у зимовавших особей (Кшнясев, Давыдова, 2021) приводит к уменьшению относительной массы печени.

Таким образом, оба подхода, как стандартный ММФИ, так и ANCOVA обеспечивают вполне когерентный статистический вывод, и при анализе изменчивости массы печени необходимо учитывать «сезонный» статус

особей. Особый интерес представляет «неожиданная находка» – связь размеров печени и нециклического режима динамики, требующая дополнительного изучения и интерпретации.

Авторы выражают благодарность Ю.А. Давыдовой за обсуждение работы.

Список литературы

1. Демина Л.Л., Боков Д.А. Морфофункциональные изменения в организме мелких млекопитающих в условиях техногенного воздействия (на примере Оренбургского газоперерабатывающего завода) // Вестник ОГУ. 2007. № 2. С. 30–34.
2. Киняшев И.А., Давыдова Ю.А. Популяционные циклы и синдром Читти // Экология. 2021. № 1. С. 51–57.
3. Нестеркова Д.В., Давыдова Ю.А., Мухачева С.В. Морфофизиологические показатели трех видов мелких млекопитающих в окрестностях медеплавильного комбината // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Нижний Тагил: НТГСПА, 2012. С. 90–92.
4. Оленев В.Г. Сезонные изменения некоторых морфофизиологических признаков грызунов в связи с динамикой возрастной структуры популяций: автореферат дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1964. 34 с.
5. Оленев Г.В., Григоркина Е.Б. Метод морфофизиологических индикаторов и функционально-онтогенетический подход при решении экологических задач (на примере спленомагалии у грызунов) // Экология. 2019. № 2. С. 112–124.
6. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных. Свердловск, 1968. 387 с.

DOI:10.5281/zenodo.17058958

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ОБЛУЧЕННЫХ МЫШЕЙ DYNAMICS OF PROINFLAMMATORY CYTOKINE CONTENT IN PERIPHERAL BLOOD OF IRRADIATED MICE

Д.Б. Пономарев, А.В. Степанов, М.А. Метелица, Н.А. Соловьева,
Э.Р. Божедомова, А.А. Шубина

Государственный научно-исследовательский испытательный институт
военной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: ионизирующие излучения, воспалительная реакция, цитокины, мышцы

Воздействие ионизирующих излучений (ИИ) на организм наблюдается на различных уровнях от молекулярного до популяционного, что проявляется разнообразными формами радиационного поражения. При этом с начала облучения в организме активизируются и процессы репарации. Ключевым компонентом активации защитных реакций является распознавание ассоциированных с повреждением молекулярных паттернов (damage-associated molecular pattern / DAMP) и экспрессия генов, ответственных за