

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



УДК (599.323.43+599.363):591.05(470.22)

Содержание витаминов А и Е в тканях рыжей полевки (*Myodes (Clethrionomys) glareolus*) и обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*), обитающих в Карелии

Т.Н. Ильина , И.В. Баишникова* , А.Е. Якимова , И.А. Зайцева

Институт биологии, Карельский научный центр Российской академии наук,
Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

*e-mail: iravbai@mail.ru

Исследовали содержание витаминов А (ретинол) и Е (α-токоферол) в тканях рыжей полевки (*Myodes (Clethrionomys) glareolus*) и обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*), обитающих на северной границе ареала. Распределение витамина А в тканях обоих видов было схожим, наибольшее содержание обнаруживалось в печени, наименьшее — в сердце. У обоих видов выявлены возрастные различия по уровню ретинола в почках, а также у бурозубки в скелетной мышце. Во всех органах у молодых бурозубок, которым предстояла зимовка, установлено достоверно более низкое содержание витамина Е по сравнению с взрослыми зимовавшими животными, в то время как у рыжей полевки таких возрастных различий обнаружено не было. Выявлены межвидовые различия по уровню витаминов А и Е в печени зимовавших зверьков. Полученные результаты показывают, что содержание витаминов А и Е в тканях рыжей полевки и обыкновенной бурозубки обусловлено характером обменных процессов и экологическими особенностями видов. У обыкновенной бурозубки уровень витаминов в значительной степени зависит от возраста.

Ключевые слова: витамин А, витамин Е, метаболизм, возраст, сезон, млекопитающие

DOI: 10.55959/MSU0137-0952-16-79-1-8

Введение

Среда обитания млекопитающих в районах субарктики подвержена глубоким сезонным изменениям. Для успешного выживания в условиях холодного климата животные выработали разнообразные физиологические адаптации, направленные на сохранение энергии и повышение устойчивости к холоду. В то же время, не только зима может быть сложным периодом для мелких млекопитающих, которые весной и летом сталкиваются с чрезвычайно высокими энергетическими потребностями в течение репродуктивного сезона [1–2].

Различия между видами мелких млекопитающих особенно проявляются в местообитаниях с высокой сезонностью и обусловлены поведенческими, анатомическими и физиологическими характеристиками животных [3]. Рыжая лесная полевка (*Myodes (Clethrionomys) glareolus* Schreber, 1780) и обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) являются фоновыми видами в лесных сообществах Карелии. Общей экологической особенностью двух видов, принадлежащих к разным таксонам, является обитание в су-

женном годовом диапазоне внешних температур. Оба вида выработали приспособления для выживания зимой с низкими температурами окружающей среды — они не впадают в спячку и активны в течение холодного времени года. В то же время, грызуны и землеройки представляют собой два таксона с совершенно разной эволюционной историей. Мелкие насекомоядные и грызуны демонстрируют значительные различия в рационе питания, скорости метаболизма, репродуктивных стратегиях и др. Предполагается, что размножение, отложенное у землероек в условиях Карелии до второго календарного года жизни, является результатом отбора по признакам, обеспечивающим успешное выживание зимой — в период, который более сложен для землероек, чем для грызунов. У грызунов, напротив, оппортунистическое размножение является наиболее яркой характеристикой, которая помогает увеличивать репродуктивную отдачу и является основной стратегией в эволюции, возникшей в качестве реакции на повышенное истребление хищниками [1, 3–4]. В pessимальных условиях при увеличении общей смертности возрастает значение

ювенильного размножения для сохранения популяции [5–6].

Изучение механизмов стабильности популяций мелких млекопитающих включает исследование физиологических систем, прямо или косвенно реагирующих на изменения окружающей среды [7]. Одним из основных факторов, определяющих темпы индивидуального развития и продолжительность жизни, является скорость обмена веществ, которая у небольших короткоживущих видов очень высока. Мелкие млекопитающие используют набор морфологических и физиологических приспособлений, которые обеспечивают непрерывное снабжение тканей кислородом для поддержания окислительного метаболизма [8–9]. Высокий уровень аэробного обмена оказывает влияние на скорость накопления продуктов метаболизма, образующихся в реакциях свободнорадикального окисления и в других процессах, поэтому среди сезонных адаптаций незимоспящих мелких млекопитающих значительный интерес может представлять изменение состояния антиоксидантной системы.

Витамины А и Е играют важную роль в метаболизме, характеризуются разносторонними физиологическими эффектами и биохимическим действием и являются низкомолекулярными антиоксидантами. Витамин А имеет особое значение в процессе восприятия света, необходим для нормального развития плода, а также влияет на процесс увеличения белой и бурой жировых тканей, имеющих важное значение для благополучной зимовки млекопитающих [10, 11]. Витамин Е в организме выполняет роль основного биологического антиоксиданта, является регулятором энергетического метаболизма [12]. Витамин Е обладает выраженным синергизмом с витамином А и предохраняет его от окисления.

Цель работы состояла в изучении содержания жирорастворимых витаминов А и Е в органах и тканях у рыжей полевки и обыкновенной бурозубки разного возраста. Содержание витаминов А и Е в тканях этих видов ранее практически не оценивалось.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили рыжая полевка (*Myodes (Clethrionomys) glareolus* Schreber, 1780) ($n = 62$) и обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) ($n = 38$), которые были добыты в природных условиях в Республике Карелия (61–63° с. ш., 30–36° в. д.). Работу по отлову животных проводили на экспедиционной базе Института биологии КарНЦ РАН (Республика Карелия, Пряжинский район, деревня Каскеснаволоок) с 2016 по 2022 гг. Весной отлов животных проводился с конца апреля и в мае, в летне-осенний период — с конца июля по ноябрь. Разрешения для отлова выданы Управлением охотничьего хозяйства Министерства

сельского, рыбного и охотничьего хозяйства Республики Карелия. Животных отлавливали стандартными методами [13] в основных типах биотопов, используя стандартные ловушки (давилки) фабричного производства и ловчие канавки. Ловушки устанавливали линиями по 25 шт. с интервалом 5 м. Каждая линия работала 3 сут, с ежедневной однократной проверкой. Ловчие канавки длиной 30 м с тремя ловчими цилиндрами, на 1/3 заполненными водой, проверялись однократно в течение суток. Каждая канавка работала 5 сут. После отлова животных взвешивали, определяли возраст, пол и отбирали образцы тканей, которые замораживали до проведения анализа. Для определения возраста рыжих полевок использовался метод, разработанный Н.В. Тупиковой с соавт. [14], позволяющий по степени развития зубов устанавливать возраст зверька с точностью до двух месяцев. При отнесении зверька к той или иной возрастной группе дополнительно учитывались другие признаки — развитие тимуса, строение черепа, состояние репродуктивной системы и т. д. При делении прибылых зверьков на генерации использовался функционально-онтогенетический подход, который применялся и описан Э.В. Ивантером [6, 15] и Г.В. Оленевым [16, 17]. У землероек в качестве основных возрастных критериев использовали форму (конфигурация, состояние швов) черепа и степень стертости зубов, а в качестве вспомогательных — особенности снашивания волосяного покрова на хвосте, лапах и ушных раковинах [15]. В сомнительных случаях использовались также другие показатели, в частности, размер тимуса, который полностью involuiрует к осени первого года жизни и у перезимовавших зверьков практически не выражен.

Содержание витаминов А (ретинол) и Е (α -токоферол) определяли в печени, почках, сердце и скелетной мышце методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [18]. Образцы тканей (100 мг) гомогенизировали в 0,9 мл 0,25 М раствора сахарозы (рН 7,4) в качестве суспендирующей среды. К гомогенату добавляли 0,025%-ный раствор бутилгидрокситолуола в этиловом спирте и тщательно смешивали для осаждения белков. Приливали 0,0125%-ный раствор бутилгидрокситолуола в n -гексане, смесь встряхивали в течение 5 мин, затем центрифугировали при 3000g в течение 10 мин и выдерживали в течение 40 мин при 4°C. Пробу для хроматографического анализа отбирали из верхнего гексанового слоя, элюентом служила смесь гексана с изопропанолом в соотношении 98,5:1,5. Детектирование проводили при 292 нм для α -токоферола и 324 нм для ретинола. При построении калибровочных кривых использовали стандартные растворы ретинола и α -токоферола (Sigma-Aldrich, США).

Полученные данные обрабатывались с использованием пакетов программ MS Excel 2007 и Statgraphics 5.0. Для статистического анализа

применяли критерий Краскела-Уоллиса с последующим попарным сравнением с помощью критерия Манна-Уитни, использовали поправку на множественность сравнений. Данные на графиках представлены в виде медианы и межквартильного интервала. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Достоверных половых различий по исследуемым показателям не обнаружено, в связи с чем данные по самцам и самкам анализировали в совокупности.

Исследования выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Результаты

Наиболее высокое содержание витамина А обнаружено в печени животных обоих видов (рис. 1). Уровень ретинола в почках рыжих полевков поздних генераций был значимо ниже по

сравнению со зверьками ранних генераций и зимовавшими особями. У зимовавших бурозубок в почках и скелетной мышце установлено более высокое содержание витамина, чем у молодых животных. В печени зимовавших рыжих полевков содержание витамина А было значимо выше, чем у взрослых зимовавших бурозубок.

У рыжей полевки не было обнаружено достоверных возрастных различий в содержании витамина Е в тканях (рис. 2). У молодых особей бурозубки во всех тканях уровень витамина Е был значимо ниже, чем у взрослых животных. При этом в сердце, энергетический метаболизм которого очень высок, уровень витамина Е у сеголеток бурозубки был значимо ниже по сравнению как с взрослыми особями, так и с сеголетками рыжей полевки. В печени зимовавших особей бурозубки содержание витамина Е было значительно выше, чем у полевки.

Для контроля физиологического состояния определяли массу тела животных. У рыжей по-

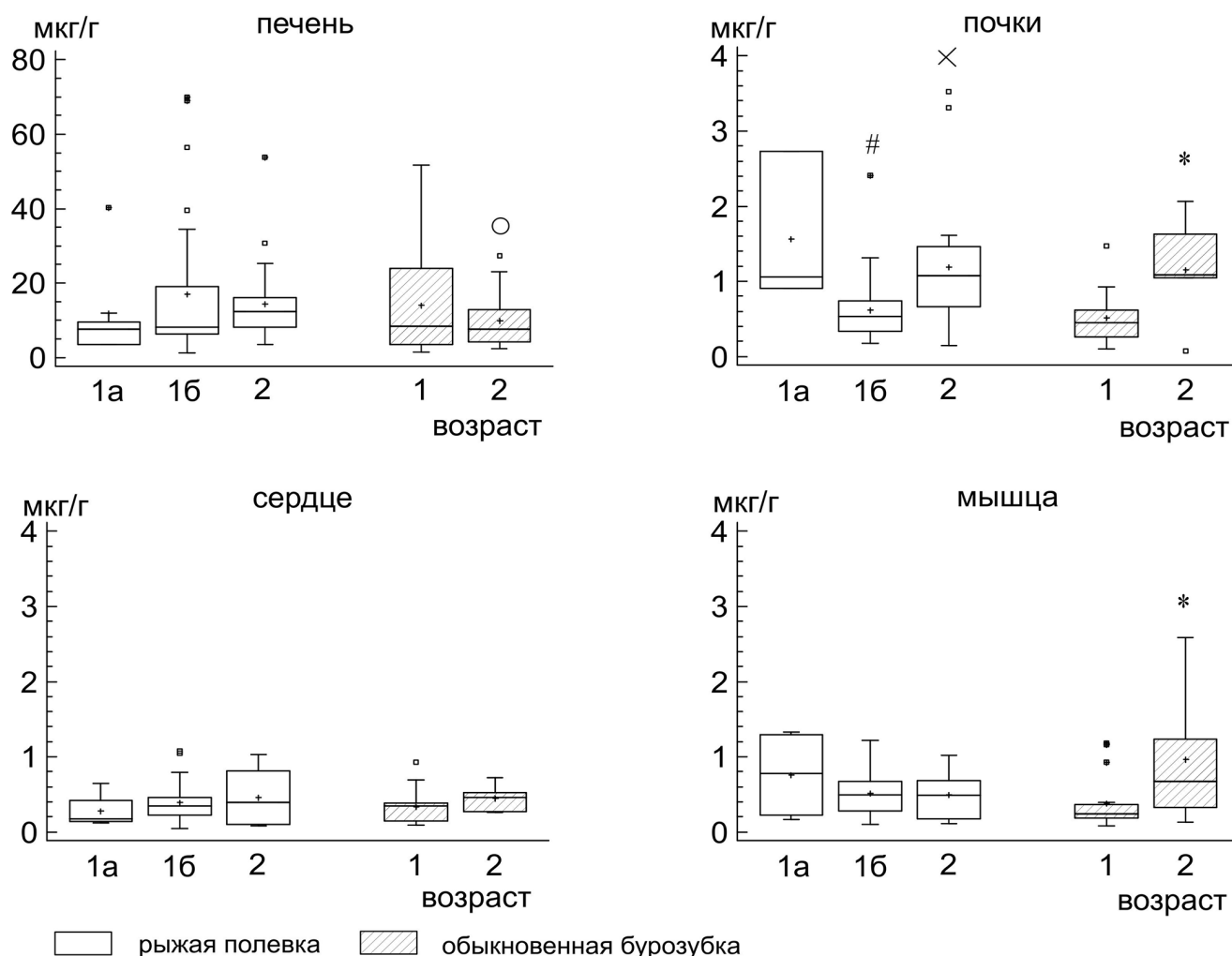


Рис. 1. Содержание витамина А в органах рыжей полевки и обыкновенной бурозубки.

Обозначения: (+) – среднее, (–) – медиана, $\square$ – 25–75 %, I – статистический диапазон, ° – выпадающие варианты; 1 – сеголетки, 1a – сеголетки ранних генераций, 16 – сеголетки поздних генераций, 2 – зимовавшие животные. Различия достоверны по сравнению с: * – сеголетками, ° – зимовавшими полевками, # – сеголетками ранних генераций, × – сеголетками поздних генераций ($p < 0,05$, критерий Краскела-Уоллиса с post-hoc тестом по Манну-Уитни).

левки средний вес зимовавших животных и сеголеток не имел достоверных различий (рис. 3). В то же время, сеголетки поздних генераций полевки имели более низкую массу тела по сравнению с ранними генерациями и взрослыми зимовавшими зверьками. У неполовозрелых особей бурозубки, отловленных в осенние месяцы, масса тела была ниже, чем у взрослых зимовавших животных.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показали, что содержание витаминов А и Е в тканях рыжей полевки и обыкновенной бурозубки имеет высокую вариабельность, обусловленную значительными различиями в физиологическом состоянии обитающих в дикой природе животных, а также целым рядом факторов — биологической функцией органов, таксономической принадлежностью животных, уровнем и типом питания, возрастом, участием в размножении и т.д. Уровень ретинола и токоферола у исследованных видов в целом не высок по сравнению с более крупными представителями отрядов Rodentia и Eulipotyphla [19].

Содержание витаминов А и Е зависит от вида ткани, и у большинства млекопитающих наиболее высокий уровень витаминов обнаруживается в печени, откуда они транспортируются в другие органы. В нашем исследовании большее содержание витамина А у рыжей полевки и обыкновенной бурозубки также обнаружено в печени — в почках, сердечной и скелетной мышцах уровень ретинола был существенно ниже. У рыжих полевок поздних генераций в почках содержание ретинола было меньше, чем у весенне-летнего поколения зверьков. Грызунов разных сезонных генераций отличает целый комплекс морфофизиологических признаков: животные летне-осеннего рождения имеют низкий темп роста и развития, меньшую массу тела и упитанность по сравнению с полемками ранних генераций [20]. Выявленные различия, вероятно, не связаны с изменением общего уровня витамина А в организме, поскольку в печени, которая депонирует и регулирует его обмен, отличий между животными разных генераций обнаружено не было. Почки являются местом образования и удаления конечных продуктов обмена витамина А, избыток которого токсичен для организма. Более

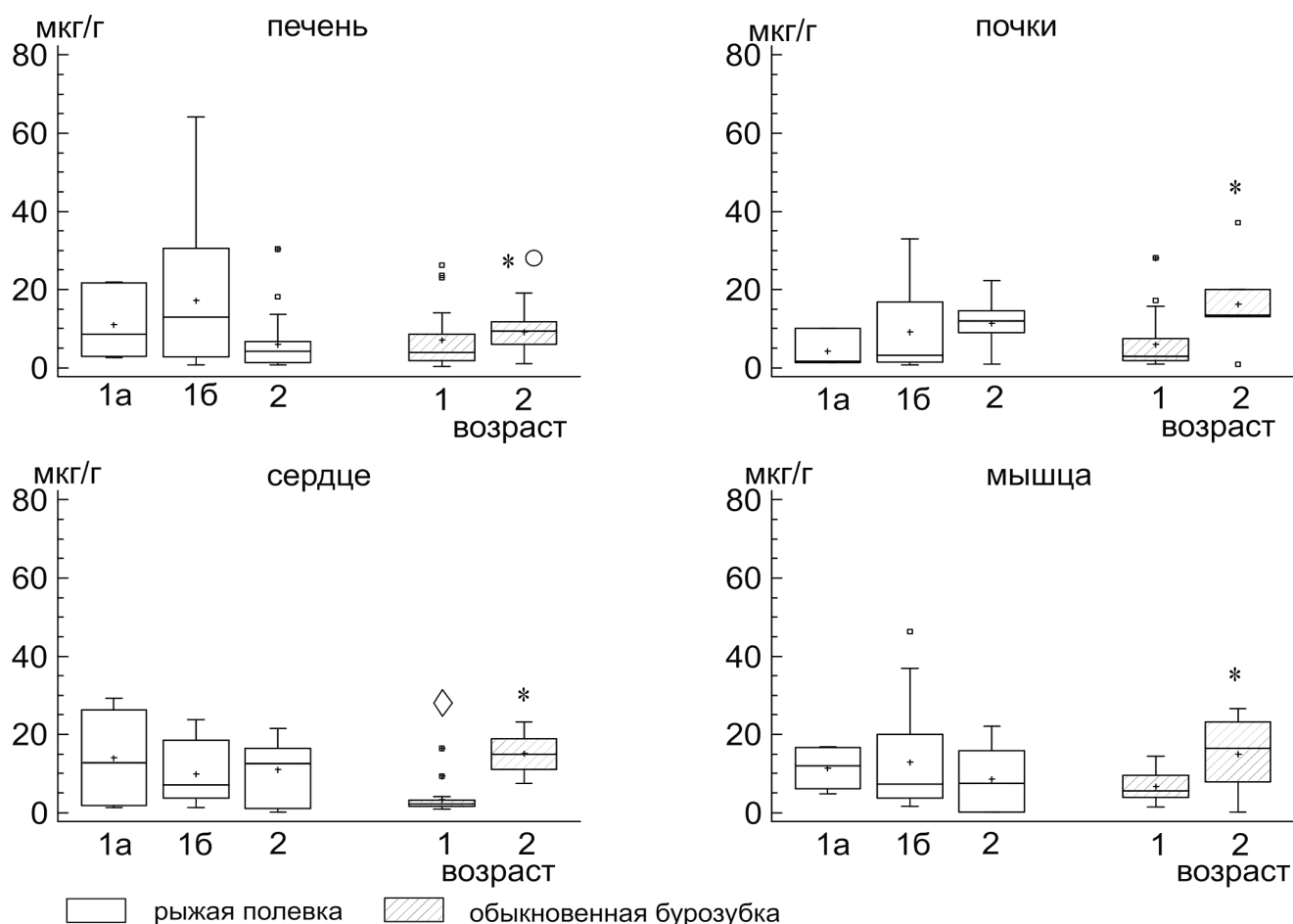


Рис. 2. Содержание витамина Е в органах рыжей полевки и обыкновенной бурозубки.

Обозначения: (+) — среднее, (—) — медиана, □ — 25–75 %, I — статистический диапазон, ° — выпадающие варианты; 1 — сеголетки, 1a — сеголетки ранних генераций, 16 — сеголетки поздних генераций, 2 — зимовавшие животные. Различия достоверны по сравнению с: * — сеголетками, ° — полемками сеголетками, o — зимовавшими полемками ($p < 0,05$, критерий Краскела-Уоллиса с post-hoc тестом по Манну-Уитни).

низкое содержание ретинола у животных летне-осеннего рождения связано, вероятно, со снижением у них выводящей функции органа в предзимний период. Следует отметить, что уровень витамина А в почках у сеголетков полевки поздних генераций также был ниже по сравнению с зимовавшими животными. Аналогичная разница наблюдалась в почках и скелетной мышце обыкновенной бурозубки. Известно, что для мелких млекопитающих характерно осеннее снижение массы тела и некоторых основных органов, что способствует успешной перезимовке [1–3, 6, 20, 21]. При этом у бурозубок эти изменения более выражены, чем у грызунов [2, 7, 20, 22, 23]. Весной происходит обратный процесс: увеличивается масса тела и внутренних органов, сопровождающееся накоплением питательных веществ, что направлено на подготовку к размножению, требующему больших энергетических затрат [2, 6]. Уровень ретинола в почках и скелетной мышце значительно ниже, чем в печени, однако эти ткани также являются местом хранения микронутриентов. У других видов мелких млекопитающих содержание витамина А исследовалось в основном в печени. Обнаружено, что у полевки-экономки его наиболее низкий уровень наблюдался у молодых особей зимой [24]. У красной и водяной полевки, ондатры и бурундука содержание витамина А у сеголетков было ниже по сравнению с взрослыми животными [25].

Общий уровень витамина А в печени пропорционален его количеству, поступающему с пищей, но эта зависимость не является линейной. При низком потреблении витамина А резервирование в печени низкое, так как большая часть поступающего в организм витамина используется для выполнения его биологических функций. В нашем исследовании у зимовавших животных более низкое содержание ретинола в печени выявлено у бурозубки по сравнению с рыжей полевкой. Обнаруженные различия могут быть связаны как с кормовой специализацией, так и с разным уровнем и особенностями обменных процессов у полевки и землероек. Установлено, что ретиноевая кислота, биологически активная форма витамина А, принимает участие в регуляции энергетического метаболизма, способствуя приобретению белыми адипоцитами свойств, характерных для бурой жировой ткани [26]. Финские исследователи считают, что обмен липидов более важен для землероек, чем для полевки. У зимующих бурозубок обнаружены значительные запасы жировой ткани, представленной преимущественно бурым жиром, который, как предполагают, играет роль белого жира у *Sorex araneus* [21, 27]. В зимний период у этого вида наблюдается самая высокая метаболическая активность бурой жировой ткани, направленная на поддержание термогенеза [28].

Печень является важным местом депонирования витамина Е, где происходит процесс его

включения в состав липопротеинов, в комплексе с которыми токоферол доставляется кровью к другим органам и тканям. У зимующих мышевидных грызунов отмечается снижение массы тела, которая затем увеличивается с началом весеннего роста для обеспечения размножения животных, нормального течения беременности и лактации. Однако происходящие у животных сезонные физиологические перестройки не привели к значительным изменениям уровня витамина Е в тканях рыжих полевки. В то же время зимовавшие особи обыкновенной бурозубки во всех тканях имели более высокий уровень α -токоферола по сравнению с сеголетками. Известно, что метаболизм витамина Е в организме тесно связан с обменом липидов. По сравнению с рыжей полевкой, у обыкновенной бурозубки сезонные изменения количества бурой жировой ткани более выражены [29]. У бурозубок скорость обмена жира отрицательно коррелирует с размером тела [28]. Вероятно, в весенний период у зимовавших особей, масса тела которых была выше, чем у сеголетков, замедление процессов жирового обмена способствует повышению уровня α -токоферола в организме, несмотря на то, что для этого фенотипа характерно наиболее высокое потребление энергии [2]. Обнаруженные в сердечной и скелетной мышцах различия в содержании α -токоферола между сеголетками и зимовавшими бурозубками могут отражать в том числе и возрастные изменения в мышцах землероек [30]. Увеличение общего количества витамина Е в процессе старения, возможно, представляет адаптивную реакцию, связанную с доступностью токоферола для предотвращения окислительного повреждения тканей, которое увеличивается с возрастом [31].

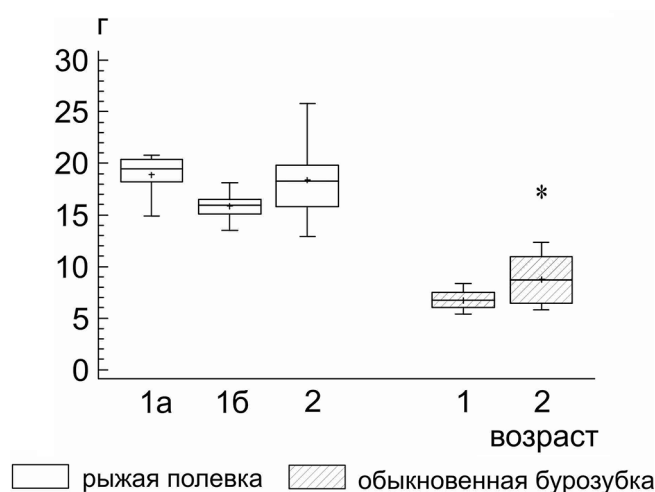


Рис. 3. Масса тела рыжей полевки и обыкновенной бурозубки. Обозначения: (+) – среднее, (–) – медиана, □ – 25–75 %, I – статистический диапазон, ° – выпадающие варианты; 1 – сеголетки, 1а – сеголетки ранних генераций, 16 – сеголетки поздних генераций, 2 – зимовавшие животные; * – различия достоверны по сравнению с сеголетками ($p < 0,05$, критерий Краскела-Уоллиса с post-hoc тестом по Манну-Уитни).

Содержание α -токоферола в печени зимовавших бурозубок было значительно выше, чем у зимовавших полевков. Исследования показывают, что метаболический потенциал разных тканей землеройки очень высок по сравнению с другими мелкими млекопитающими, в том числе грызунами [22, 32]. В то же время у отловленных осенью молодых бурозубок содержание α -токоферола в сердце, которое вместе с мозгом потребляет наибольшее количество энергии, было значительно ниже, чем у сеголетков рыжей полевки разных генераций. Причины сравнительно низкого уровня витамина Е в сердце бурозубок в осенний период требуют специальных исследований.

Таким образом, содержание витаминов А и Е в тканях рыжей полевки и обыкновенной бурозубки зависит от ряда факторов — видовых, физиологических, сезонных, трофических и др. У рыжей полевки дефинитивный уровень витаминов в органах и тканях формируется, вероятно, в раннем возрасте и в дальнейшем остается достаточно стабильным. Более выраженные возрастные изменения уровня витаминов в тканях обнаружены у бурозубки и связаны, очевидно, с сезонными изменениями метаболизма и экологическими особенностями вида. Присущие разным видам животных эколого-физиологические черты определяют адаптивный потенциал вида и влияют на возрастные особенности содержания витаминов в органах и тканях. Выявленный у рыжей полевки и обыкновенной бурозубки на разных этапах онтогенеза уровень витаминов А и Е можно считать фактором биохимического гомеостаза, обусловленным различием в уровне обменных процессов у разных видов мелких млекопитающих. Высокая устойчивость обитающих на севере млекопитающих к действию условий среды не ограничивается только морфологическими или физиологическими изменениями, но также поддерживается с помощью биохимических адаптаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов В.М. Адаптивные особенности терморегуляции и поддержания энергетического баланса у мышевидных грызунов. *Вестн. Том. гос. ун-та. Биология*. 2009;4(8):47–61.
2. Schaeffer P.J., O'Mara M.T., Breiholz J., Keicher L., Lázaro J., Muturi M., Dechmann D.K.N. Metabolic rate in common shrews is unaffected by temperature, leading to lower energetic costs through seasonal size reduction. *R. Soc. Open Sci.* 2020;7(4):191989.
3. Gliwicz J., Taylor J.R.E. Comparing life histories of shrews and rodents. *Acta Theriol.* 2002;47(1):185–208.
4. Rogovin K.A., Bushuev A.V., Khrusheva A.M., Vasilieva N.Y. Resting metabolic rate, stress, testosterone, and induced immune response in spring-and fall-born males of Campbell's dwarf hamsters: maintenance in long-day conditions. *Biol. Bull. Rev.* 2014;4(3):181–191.

Заключение

В результате исследования установлено содержание витаминов А и Е в органах рыжей полевки и обыкновенной бурозубки. Несмотря на то, что исследуемые виды относятся к разным отрядам, распределение витамина А в тканях было схожим, при этом наибольшее содержание ретинола наблюдалось в печени, а наименьшее — в сердце. У обоих видов выявлены возрастные различия по уровню ретинола в почках. Бурозубки разного возраста различались по содержанию витамина А в скелетной мышце. Возрастные изменения содержания витамина Е в тканях рыжей полевки и обыкновенной бурозубки имели различный характер. У зимовавших особей бурозубки установлено более высокое содержание токоферола в тканях по сравнению с сеголетками накануне зимовки, в то время как у рыжей полевки возрастных различий не обнаружено. В целом проведенное сравнительное исследование показывает специфический профиль витаминов в органах исследованных видов. Выявленные межвидовые различия содержания витаминов А и Е в тканях рыжей полевки и обыкновенной бурозубки являются, вероятно, отражением эволюционно сложившихся взаимоотношений между организмом и средой обитания, при которых обеспечивается наиболее эффективное функционирование метаболических систем организма у мелких млекопитающих из разных экологических групп на северной периферии их ареала.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания — тема № FMEN-2022-0003. Работа выполнена в соответствии с этическими стандартами, утвержденным правовыми актами РФ, принципами Базельской декларации и рекомендациями этического комитета Института биологии КарНЦ РАН (протокол № 3 от 14 августа 2023 года). Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

5. Башенина Н.В. Пути адаптации мышевидных грызунов. М.: Наука; 1977. 355 с.
6. Ивантер Э.В. Очерки популяционной экологии мелких млекопитающих на северной периферии ареала. М.: Тов-во науч. изд. КМК; 2018. 770 с.
7. Tarakhtii E.A., Davydova Yu.A. Seasonal variation in hematological indices in bank vole (*Clethrionomys glareolus*) in different reproductive states. *Biol. Bull.* 2007; 34(1):9–19.
8. Новиков Е.А., Кондратюк Е.Ю., Петровский Д.В. Влияние типа онтогенеза на биоэнергетические показатели красной полевки (*Myodes rutilus* Pall) из горно-таежной популяции юга Западной Сибири. *Экология*. 2015;(5):387–391.
9. Campbell K.L., Signore A.V., Harada M., Weber R.E. Molecular and physicochemical characterization of

hemoglobin from the high-altitude Taiwanese brown-toothed shrew (*Episorculus fumidus*). *J. Comp. Physiol. B.* 2012;182(6):821–829.

10. Ribot J., Felipe F., Bonet M.L., Palou A. Changes of adiposity in response to vitamin A status correlate with changes of PPAR γ 2 expression. *Obes. Res.* 2001;9(8):500–509.

11. Sprenger R.J., Tanumihardjo S.A., Kurtz C.C. Developing a model of vitamin A deficiency in a hibernating mammal, the 13-lined ground squirrel (*Ictidomys tridecemlineatus*). *Compar. Med.* 2018;68(3):196–203.

12. Калабухов Н.И. *Спячка млекопитающих*. М.: Наука; 1985. 260 с.

13. Карасева Е.В., Телицына А.Ю., Жигальский О.А. *Методы изучения грызунов в полевых условиях*. М.: Изд-во ЛКИ; 2008. 416 с.

14. Тупикова Н.В., Сидорова Г.А., Коновалова Э.Ф. *Определение возраста лесных полевок. Фауна и экология грызунов*. М.: Изд-во МГУ; 1970:160–167.

15. Ивантер Э.В. *Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР*. Л.: Наука. 1975. 246 с.

16. Оленев Г.В. Альтернативные типы онтогенеза цикломорфных грызунов и их роль в популяционной динамике (экологический анализ). *Экология*. 2002;(5):341–350.

17. Оленев Г.В. Определение возраста цикломорфных грызунов, функционально-онтогенетическая детерминированность, экологические аспекты. *Экология*. 2009;(2):103–115.

18. Скурихин В.Н., Двинская Л.М. Определение α -токоферола и ретинола в плазме крови сельскохозяйственных животных методом микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии. *Сельскохозяйственная биология*. 1989;4:127–129.

19. Ильина Т.Н., Илюха В.А., Баишникова И.В., Белкин В.В., Сергина С.Н., Антонова Е.П. Система антиоксидантной защиты в тканях полуводных млекопитающих. *Ж. эволюц. биохим. физиол.* 2017;53(4):251–256.

20. Ивантер Э.В. Опыт экологического анализа морфофизиологических особенностей мелких млекопитающих. *Ученые записки Петрозаводского университета*. 2018;8(177):7–16.

21. Nieminen P., Hyvärinen H. Seasonality of leptin levels in the BAT of the common shrew (*Sorex araneus*). *Z. Naturforsch C. J. Biosci.* 2000;55(5–6):455–460.

22. Ивантер Э.В., Ивантер Т.В., Туманов И.Л. *Адаптивные особенности мелких млекопитающих: Эколо-*

го-морфологические и физиологические аспекты. Л.: Наука; 1985. 318 с.

23. Kiselev S.V. Interannual variability in the energy reserves of Laxmann's shrew (*Sorex caecutiens*) on the northern coast of the sea of Okhotsk. *Biol. Bull.* 2022;49(2):107–116.

24. Соломонов Н.Г., Попов М.В. Эколого-физиологические и морфологические адаптации якутских млекопитающих к зимним условиям. *Адаптация животных к зимним условиям*. Под ред. В.Е Соколова. М.: Наука; 1980:109–116.

25. Мордосов И.И., Прокопьев Н.П. *Популяционная экология грызунов Лено-Виллюйского междуречья*. Якутск: Изд. дом СВФУ; 2021. 264 с.

26. Mercader J., Ribot J., Murano I., Felipe F., Cinti S., Bonet M.L., Palou A. Remodeling of white adipose tissue after retinoic acid administration in mice. *Endocrinology*. 2006;147(11):5325–5332.

27. Hyvärinen H. Brown fat and the wintering of shrews. *Advances in the biology of shrews. Carnegie Mus. Nat. Hist. Spec., vol 18*. Eds. J.F. Merritt, G.L. Kirkland, Jr., and R.K. Rose. Pittsburgh: 1994:259–266.

28. Keicher L., O'Mara M.T., Voigt C.C., Dechmann D.K. Stable carbon isotopes in breath reveal fast metabolic incorporation rates and seasonally variable but rapid fat turnover in the common shrew (*Sorex araneus*). *J. Exp. Biol.* 2017;220(15):2834–2841.

29. Hissa R., Tarkkonen H. Seasonal variations in brown adipose tissue in two species of voles and the common shrew. *Ann. Zool. Fenn.* 1969;6:444–447.

30. Hindle A.G., Lawler J.M., Campbell K. L., Horning M. Muscle senescence in short-lived wild mammals, the soricine shrews *Blarina brevicauda* and *Sorex palustris*. *J. Exp. Zool. A Ecol. Genet. Physiol.* 2009;311(5):358–367.

31. Hollander D., Dadufalza V. Lymphatic and portal absorption of vitamin E in aging rats. *Dig. Dis. Sci.* 1989;34(5):768–772.

32. Stewart J.M., Woods A.K., Blakely J.A. Maximal enzyme activities, and myoglobin and glutathione concentrations in heart, liver and skeletal muscle of the Northern Short-tailed shrew (*Blarina brevicauda*; Insectivora: Soricidae). *Comp. Biochem. Physiol. B.* 2005;141(3):267–273.

Поступила в редакцию 05.09.2023

После доработки 12.04.2024

Принята в печать 17.04.2024

RESEARCH ARTICLE

Vitamins A and E content in the tissues of the bank vole (*Myodes (Clethrionomys) glareolus*) and common shrew (*Sorex araneus*) inhabiting in Karelia

T.N. Ilyina , I.V. Baishnikova* , A.E. Yakimova , I.A. Zaitseva 

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya str., 11, Petrozavodsk, 185910, Russia
*e-mail: iravbai@mail.ru

We studied the vitamins A (retinol) and E (α -tocopherol) content in the tissues of the bank vole (*Myodes (Clethrionomys) glareolus*) and common shrew (*Sorex araneus*) inhabiting the northern periphery of its range. The distribution of vitamin A in the common shrew and bank vole tissues

was similar, the highest content was found in the liver, and the lowest level was in the heart. Age-related differences in retinol content were detected in the kidneys of two species, as well as in the skeletal muscle of the shrew. Significantly lower vitamin E content was found in all organs of young shrews before wintering, compared to adult wintered animals, while in the bank vole no such age-related differences were found. Interspecies differences in the levels of vitamins A and E in the liver of overwintered animals were revealed. The results obtained show that vitamins A and E content in the tissues of the bank vole and the common shrew is determined by the metabolic processes and the ecological characteristics of the species. The vitamins level in the common shrew depends largely on age.

Keywords: *vitamin A, vitamin E, metabolism, age, season, mammals*

Funding: This study was carried out under state order (project № FMEN-2022-0003).

Сведения об авторах

Ильина Татьяна Николаевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН. Тел.: 8-8142-57-31-07; e-mail: ilyinatn59@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8708-7775>

Баишникова Ирина Валерьевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН. Тел.: 8-8142-57-31-07; e-mail: iravbai@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5064-3731>

Якимова Алина Евгеньевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории зоологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН. Тел.: 8-8142-57-31-40; e-mail: angelina73@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9196-1808>

Зайцева Ирина Алексеевна — ведущий биолог лаборатории экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН. Тел.: 8-8142-573107; e-mail: ira.irmita@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6277-009X>