СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2018, том 53, № 6, с. 1190-1201

УДК 636.934.571:591.05 doi: 10.15389/agrobiology.2018.6.1190rus

ПОСТНАТАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА У НОРОК (*Mustela vision*), ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ПО СОДЕРЖАНИЮ МИКРО- И МАКРОЭЛЕМНТОВ В КРОВИ И ВОЛОСЯНОМ ПОКРОВЕ

И.Н. СТАРОВЕРОВА, В.И. МАКСИМОВ, Н.А. БАЛАКИРЕВ, С.Ю. ЗАЙЦЕВ

Проблема своевременного выявления минерального дефицита у пушных зверей в зверохозяйствах России, установление причин его возникновения, применение новых и надежных методик для его обнаружения до сих пор актуальна. Удобным объектом для анализа считается волосяной покров (в отличие от крови, состав которой зависит от многих факторов). Экспериментально нами была установлена связь между минеральным составом волоса и крови, что служит показателем обеспеченности организма минеральными веществами, которые поступили в составе кормосмеси. Исследования проводили на стандартных норках (самцы) в племзаводе «Салтыковский» (Московская обл.). Были взяты только самцы, поскольку они в силу полового диморфизма приблизительно в 2 раза крупнее самок, и все изменения в их организме в ответ на воздействия различных факторов выявляются быстрее и достовернее. Из подопытных зверей (от 30-суточных до годовалых) сформировали разные возрастные группы. Кровь и биоматериал (волосы) для анализа отбирали у 30-суточных зверей (в жизненный период перехода молодняка к естественному корму после молочного вскармливания, обозначаемая нами как переходная фаза), у 90-суточных зверей в фазу становления естественного питания, а также у 7- и 12-месячных особей, дополнительно пробы волосяного покрова отбирали у животных в возрасте 60 сут. Содержание макро- и микроэлементов устанавливали атомной эмиссионной спектрометрией на приборе Optima 2000™ DV и масс-спектрометрией на приборе ELAN 9000 ICP-MS («PerkinElmer, Inc.», США). Для контроля состояния кожного покрова готовили гистологические препараты. Состояние волосяного покрова оценивали с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi-S-520 («Hitachi AIC, lnc.», Япония). Было установлено, что в каждую фазу постнатального онтогенеза (от переходной до завершения полового созревания) в крови и волосяном покрове стандартных норок устанавливается определенное референтное содержание макро- и микроэлементов. В крови средние концентрации элементов (ммоль/л) изменялись в следующих пределах: железо — 5,9-11,3; йод — (1,5-6,3)×10^{-3}; калий — 29-44, кальций — 1,6-4,2; кобальт — (2,7-9,9)×10^{-5}, магний — 0,64-1,23, марганец — (0,35-2,70)×10^{-2}, медь — (0,53-2,10)×10^{-2}, натрий — 82-103; селен — (1,8-6,3)×10^{-3}; фосфор — 4,8-21,0; хром — (0,23-1,00)×10^{-3}, цинк — 0,24-0,89. Концентрации элементов в крови были наибольшими в конце лактации и период интенсивного роста и наименьшими в осенние и зимние периоды. Для волосяного покрова получили следующие значения по элементам (ммоль/кг): железо — (1,02-4,10)×10^{-1}, йод — (1,58-7,20)×10^{-3}, калий — 0,44-1,70; кальций — 4,5-8,5, кобальт — (0,92-2,70)×10^{-4} магний — 0,70-1,92; марганец — (0,38-1,70)×10^{-2}, медь — (0,20-0,73)×10^{-1}; натрий — 9,10-39,00; селен — (2,0-4,6)×10^{-3}, фосфор — 0,97-2,40; хром — (2,3-7,9)×10^{-3}, цинк — 0,28-0,46. При этом аккумуляция наиболее важных элементов в волосяном покрове норок оказалась наибольшей в 30-суточном и наименьшей — в 7-месячном возрасте. Минеральные составы крови и волосяного покрова у стандартных норок были взаимосвязаны и зависели от возраста животных. Корреляционный анализ выявил положительные и отрицательные тесные и средние корреляции по восьми элементам: натрию, фосфору, кальцию, магнию, йоду, хрому, селену и кобальту. По всем 13 изучаемым в работе химическим элементам минеральные составы рациона и волос оказались взаимосвязаны между собой. По-видимому, данные по минеральному составу волос могут служить критериальными показателями на наличие их в составе кормосмеси.

Ключевые слова: *Mustela vision*, норка, постнатальный онтогенез, минеральный обмен, минеральный состав крови, минеральный состав волосяного покрова.

Минеральные вещества поступают в организм животных в основном с кормом и вовлекаются в многочисленные метаболические процессы на разных уровнях (1-5). Мы рассмотрим только некоторые из основных минеральных элементов (натрий, фосфор, кальций, магний, йод, калий, хром, медь, железо, кобальт, цинк, селен, марганец), необходимых для формирования и поддержания структуры и функции кожно-волосяного покрова у пушных зверей, что важно как для углубления фундаментальных представлений об их минеральном обмене, так для решения прикладных задач.

При балансе минеральных веществ в корме или же при нарушении их обмена в организме животных возникают разнообразные патологические процессы. Мы проанализируем только те из них, которые сопровождаются изменениями в кожно-волосяном покрове. Интересно, что даже многие вредные факторы окружающей среды могут не оказывать существенного влияния на процессы жизнедеятельности, поскольку в организме животного существуют физиолого-биохимические механизмы, обеспечивающие его устойчивость при наличии всех необходимых биологически активных и минеральных веществ (6-10). В то же время рост, развитие, размеры, качество шкурок, безусловно, напрямую связаны с точным соблюдением соответствующих условий кормления и содержания (11, 12), от которых зависят обменные процессы, гомеостаз и функции системы антиоксидантной защиты (13-16). Жизненно необходимые минеральные вещества обеспечивают характер обменных процессов и состояние кожно-волосяного покрова, соответствующие возрасту животного и сезону и требуются в строго определенном количестве. Сравнение содержание концентраций минеральных элементов в крови, различных органах и тканях и в кормовых смесях позволяет судить об обеспеченности животных минеральными веществами (6, 7, 15, 17). К сожалению, подобных данных для пушных зверей опубликовано немного, хотя в мировой практике звероводства вопрос о причинах возникновения минеральной недостаточности и надежных методах ее обнаружения стоит остро (6, 11, 18-20). Можно было бы полагать, что содержание минеральных веществ в крови животных наиболее информативно характеризует состояние минерального обмена, однако этот показатель весьма лабилен, зависит от многих факторов и меняется даже в течение суток. Поэтому необходимы иные, объективные и более удобные, методы тестирования минеральной обеспеченности, что позволит детальнее изучить характер и взаимосвязь обменных процессов в разных органах и тканях. Такой контроль важен для благополучия животных и повышения их продуктивности (19, 21, 22).

Изменения минерального состава в процессе роста пушного зверя и формирования его волосяного покрова отражают длительные изменения в минеральном обмене организма, поэтому волос удобно использовать в качестве биоматериала для анализа, к тому же его изъятие не вызывает у животного стрессов (19-22).

В представляемой работе мы проанализировали возрастную динамику количественных изменений 13 наиболее важных микро- и макроэлементов и оценили, насколько объективно минеральный состав крови и волосяного покрова отражает обеспеченность животного минеральными веществами. В результате выявлено, что у стандартных норок эти показатели достоверно взаимосвязаны по восьми элементам: натрию, фосфору, кальцию, магнию, йоду, хрому, селену и кобальту из 13 изученных и зависят от возраста животных, а минеральный состав волосяного покрова и рациона коррелирует по всем 13 элементам. Следовательно, для каждой физиологически половозрелой группы норок минеральный состав волоса можно оценивать как показатель, косвенно характеризующий количество минеральных веществ в кормосмесях.

Цель нашего исследования заключалась в сравнении возрастной динамики морфологических и биохимических показателей, отражающих состояние минерального обмена, при анализе образцов крови, волосяного покрова и кожи у физиологически здоровых норок в разные периоды постнатального онтогенеза.

Методика. Наблюдения проводили в 2006-2014 годах на физиоло-

гически здоровых самцах стандартной норки, из которых по принципу пар-аналогов для каждого возраста формировали группы по 5 гол. (племзавод «Салтыковский», Балашихинский р-н, Московская обл.). Подопытных зверей содержали в шедах в соответствии с нормами. Кормили зверей по нормам в зависимости от возраста, размера и времени года (15, 16). Тип кормления — мясо-рыбный в соответствии с рекомендациями Всероссийского НИИ пушного звероводства и кролиководства, минеральный состав рационов анализировали согласно рекомендациям (16). Физиологическое состояние зверей в зависимости от возраста оценивали общепринятыми в клинической практике методами по массе тела, качеству шкурок и показателям крови (морфологическому и биохимическому: гемоглобину, общему белку, белкам плазмы крови и их отдельных фракций) (23).

Цельную кровь и волосы анализировали в переходную фазу (возраст 30 сут), в фазу естественного питания (90 сут), в 7 и 12 мес, дополнительно пробы волосяного покрова отбирали у зверей в возрасте 60 сут; образцы кожи анализировали в те же возрасты. Кровь брали натощак из кончика хвоста или пальца одноразовыми шприцами, переносили в стерильные пробирки и хранили при 0-4 °С не более 3-5 сут или при –18 °С в одноразовых полипропиленовых пробирках с герметичными крышками. После убоя для гистологических исследований с огузка (со стороны мездры) снятой шкурки просечкой (площадью 2 см^2) брали биоматериал кожно-волосяного покрова, с которого выщипывали волосы (пробы волос у 1-месячных норок брали со всей шкурки). При подготовке волос к минеральному и гистологическому анализу их тщательно очищали от загрязнений (промывали в мыльном растворе, трижды ополаскивали в дистиллированной воде и высушивали на фильтровальной бумаге). Далее делали проводку через растворы этилового спирта в возрастающих концентрациях (50, 75 и 96 %), обезжиривали ацетоном («Химмед», Россия) и сушили при 60 °С после ополаскивания в дистиллированной (деионизированной) воде. До выполнения анализов образцы волос хранили в бумажных пакетах.

При изучении минерального состава крови, волос и рационов (16) минерализацию образцов и разложение подготовленного биоматериала выполняли согласно методикам (6, 16). В экспериментах использовался только материал от зверей с нормальным образованием меха. Пробы крови, волос и рационов анализировали по 13 элементам (Fe, I, K, Ca, Co, Mg, Mn, Cu, Na, Se, P, Cr, Zn) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в качестве источника возбуждения на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 ICP-MS («PerkinElmer, Inc.», США), а также атомно-эмиссионную спектрометрии на приборе Optima 2000^{TM} DV («PerkinEImer, Inc.», США). Для полной автоматизация работы систем (ввод проб, измерения и статистическая обработка результатов) использовали программное обеспечение WinLab32 («PerkinElmer, Inc»,США) в операционной системе Windows 2000.

При гистологическом контроле за состоянием волосяного покрова исследовали кутикулу направляющих волос (основания и граны) с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi-S-520 («Hitachi, AIC, Inc.», Япония). После обезжиривания высушенные на фильтровальной бумаге волосы наклеивали на медную пластину полистиролом, в течение 10 мин образцы вакуумировали (при давлении 4 мПа), после чего проводили напыление золотом, используя прибор Eiko lB-3 Ion Coater («Eiko Engineering, Мито», Япония). Морфоструктуру кутикул волос изучали с помощью сканирующего микроскопа Hitachi-S-520 («Hitachi, AIC, Inc.», Япония; увеличение ×15-3000, разрешение 4 нм), результаты доку-

ментировали (24).

Образцы кожи сразу после изъятия помещали на 1 сут в 10 % раствор формалина, затем обезвоживали и обезжиривали по Г.А. Меркулову (25). Готовили продольные и поперечные срезы (микротом с замораживающей камерой ТОС-1, Россия), окрашивание препаратов гематоксилином с эозином и заливку целлоидином выполняли общепринятыми методами. Препараты просматривали под микроскопом (BIOLAM, «ЛОМО», Россия) при увеличении 10×10 без фильтра, для документирования использовали фотоаппарат SONY (Япония; выдержка 20 с, диафрагма 0,2).

При анализе каждого элемента выполняли по 5 повторных измерений образца (5 аналитических повторностей). В таблицах 1 и 2 приведены средние значения (*M*) и стандартные ошибки средних (±SEM) (определение согласно ГОСТ 8.207). Выполняли корреляционный анализ с применением критерия Стьюдента. Для коэффициентов корреляции $r < 0,3$ и $r > -0,3$ связь считали слабой, при $0,3 < r < 0,69$ и $-0,69 < r < -0,3$ — средней, в случае $r > 0,69$ и $r < -0,69$ — сильной. Для средних и сильных корреляций коэффициенты были статистически значимы при $p < 0,001$; $p < 0,01$ и $p < 0,05$.

Результаты. В эксперимент включили только самцов норок, так как в силу полового диморфизма они в 2 раза крупнее самок и все изменения в их организме можно определить раньше и достовернее. Отбор образцов волоса в возрасте 30 сут, 60 сут, 90 сут, 7 и 12 мес был обусловлен тем, что эти сроки соответствуют основным морфофизиологическим этапам формирования органов, тканей и систем организма, волосяного покрова (26).

Возрастные закономерности изменения минерального состава крови у самцов стандартной норки. Необходимые для роста и жизнедеятельности минеральные вещества организм извлекает из крови. Оптимальный для метаболизма количественный состав минеральных веществ в крови поддерживается благодаря механизмам регуляции водно-солевого обмена на основе ответа, формируемого в нервном центре гипоталамуса при поступлении сигналов от рецепторов сосудов и тканей (3, 27). Гомеостаз химических элементов поддерживается благодаря процессам освобождения минерального вещества из связанной подвижной формы и его отложения в органах-депо (костной ткани, печени, мышцах, селезенке, коже, подкожной клетчатке и т.д.) либо посредством регуляции всасывания при пищеварении и выделения из организма.

В незрелом организме норок в раннюю постнатальную и переходную фазу нейрогуморальные механизмы регуляции водно-солевого обмена несовершенны. В этом возрасте животные быстро накапливают и теряют воду с содержащимися в ней минеральными веществами (7, 28, 29). Наши исследования показали (табл. 1), что в период наиболее интенсивного роста стандартных норок (переходная фаза, возраст 1 мес) в крови у животных значительны концентрации Na (97±7 ммоль/л) и K (34±2 ммоль/л), участвующих во внутриклеточном обмене, поддержании осмотического давления и синтезе белков (3, 28, 30). Кроме того, в крови у 1-месячных норок (по сравнению с другими возрастами) максимальна концентрация важнейшего внутриклеточного макроэлемента магния (1,23±0,07 ммоль/л, см. табл. 1) — кофактора ферментов окислительного фосфорилирования, который также вовлечен в белковый биосинтез, обмен углеводов и нуклеиновых кислот (3, 30). По-видимому, такое содержание магния у зверей в возрасте 1 мес необходимо для интенсивного метаболизма в процессе интенсивного роста. В дальнейшем формирование и созревание органов и

тканей сопровождалось уменьшением концентрации магния в крови, а содержание калия и натрия сохранялось высоким (см. табл. 1) и с возрастом изменялось мало.

1. Содержание (ммоль/л) **макро- и микроэлементов в цельной крови у самцов стандартной норки разного возраста** (*M*±SEM, племзавод «Салтыковский», Балашихинский р-н, Московская обл.)

Элемент	Возраст, мес			
	1 (*n* = 25)	3 (*n* = 25)[а]	7 (*n* = 25)[б]	12 (*n* = 25)[в]
Ca	3,5±0,4	4,2±0,5[#]	1,6±0,2***,***	2,0±0,3[#],***,**
Co	(9,9±0,5)×10^{-5}	(4,5±0,2)×10^{-5}***	(2,7±0,2)×10^{-5} ***,***	(8,6±0,4)×10^{-5}***,***,[#]
Cr	(3,9±0,4)×10^{-4}	(10,0±1,0)×10^{-4}***	(2,3±0,2)×10^{-4}***,**	(3,7±0,3)×10^{-4}***,***,[#]
Cu	(12,3±0,7)×10^{-3}	(21,0±1,0)×10^{-3}***	(8,3±0,6)×10^{-3}*,[#]	(5,3±0,3)×10^{-3}***,***,***
Fe	7,9±0,5	11,3±0,7***	7,8±0,5***, [#]	5,9±0,4**,***,**
I	(3,9±0,4)×10^{-3}	(6,3±0,5)×10^{-3}**	(2,1±0,2)×10^{-3}***,***	(1,5±0,2)×10^{-3}*,***,***
K	34±2	36±2[#]	44±3*,*	29±2***,*,[#]
Mg	1,23±0,07	0,64±0,04***	0,67±0,04[#],***	0,70±0,03[#],[#],***
Mn	(11,4±0,7)×10^{-3}	(9,3±0,6)×10^{-3}*	(3,5±0,2)×10^{-3}***,***	(27,0±2,0)×10^{-3}***,***,***
Na	91±7	82±7[#]	103±7*,[#]	94±7[#],[#],[#]
P	21±2	11±1***	18±2**,[#]	4,8±0,5***,***,***
Se	(4,8±0,5)×10^{-3}	(6,3±0,6)×10^{-3}*	(2,8±0,3)×10^{-3}***,**	(1,8±0,2)×10^{-3}*,***,***
Zn	0,24±0,02	0,89±0,06***	0,58±0,04***,***	0,44±0,03*,***,***

Примечание. [а] — различия между показателями в возрасте 3 мес и 1 мес; [б] — 7 мес и 1 мес, 7 мес и 3 мес; [в] — 12 мес и 1 мес, 12 мес и 3 мес, 12 мес и 7 мес.
*, **, *** Различия статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$; [#] — различия недостоверны.

У норок с линейным ростом увеличивается живая масса. При этом минеральные вещества служат строительным материалом (29, 31), необходимы для интенсивного развития скелетно-мышечного аппарата и зубов (20), которое завершается к переходу на дефинитивный тип питания (32). Наши исследования показали, что в крови норок концентрация Ca в возрасте 3 мес, а P и Mg — в 1 мес были максимальными. Более высокие показатели по Ca (3,5-4,2 ммоль/л), P (11-21 ммоль/л) и Mg (0,64-1,23 ммоль/л) в возрасте до 3 мес, по-видимому, объясняются также тем, что перечисленные элементы входят в состав мышечной ткани и необходимы для наиболее интенсивного развития молодняка в этот период. Тот факт, что у норок содержание в крови Mg, Ca, Na и K, обеспечивающих функционирование мышечной и нервной тканей, в переходную фазу и к началу естественного питания было повышенным, вероятно, связан с наиболее интенсивным формирование и развитием этих функциональных систем в раннем онтогенезе (33). К 3 мес в крови норок также возрастали концентрации цинка (с 0,24 до 0,89 ммоль/л), стимулирующего в этом возрасте (наряду с макроэлементами) образование костей (21, 34), и меди (с 0,0123 до 0,021 ммоль/л), необходимой для остеогенеза и активности остеобластов. В период интенсивного роста потребность в этих элементах очень велика (21, 29, 34).

Скоординированность обменных процессов достигается благодаря участию центральной нервной системы (27) через изменение продукции и поступления в кровь гормонов, в состав которых входят макро- и микроэлементы. В нашем опыте при активном росте (до 3 мес) в цельной крови норок отмечали повышенное содержание всех минеральных элементов (за исключением марганца) (см. табл. 1) по сравнению с таковым у остальных возрастных групп. Полученные нами результаты согласуются с тем фактом, что для указанных сроков характерен интенсивный белковый обмен (прежде всего его анаболическая фаза), при этом положительный баланс азота обеспечивается благодаря ферментам, функционирующим в организме, в состав которых входят Na и K.

При формировании органов, тканей и функциональных систем в

интенсивном обмене участвуют соединения эссенциального элемента — кобальта, катализирующего реакции трансаминирования и образования аминокислот, нужных для синтеза белков (структурных, транспортных, рецепторных, гормонов, ферментов и др.), наиболее необходимых для растущего организма норок в период от 1- до 3-месячного возраста (14, 18, 37). У норок наибольшая активность трансаминаз аспартатаминотрансферазы (АсАТ) и аланинаминотрансферазы (АлАТ) наблюдается именно в период роста и развития (36). Мы полагаем, что повышение количества общего белка в сыворотке крови при усиленном росте и развитии зверей происходит благодаря достаточно высокой концентрации не только Co, достигающей $(0{,}045\text{-}0{,}099)\times10^{-3}$ ммоль/л, но и Cu (0,0123-0,021 ммоль/л), поскольку процессы гемопоэза и метаболизма многих белков протекают с их участием (18, 37).

В постнатальном развитии потребность в обменной энергии изменяется. На это прежде всего влияет возраст животного, его соматометрические показатели (масса и размер тела), сезонность и особенности биологического состояния (гон, беременность, роды и т.д.). Раннее развитие норок (от рождения до 3 мес) сопровождается большими энергетическими затратами и, вероятно, потребностью в Cu, Fe, Mn и Zn, которые связаны с ферментами, отвечающими за окислительный обмен (29). По-видимому, этим объясняется значительное содержание в крови норок меди, марганца и железа, входящих в состав ферментов, осуществляющих тканевое дыхание и окислительно-восстановительные реакции, а также стимулирующих кроветворение (29). Проведенные нами исследования показали, что содержание необходимых микроэлементов таких, как цинк, хром, йод и селен в крови у 3-месячных стандартных норок значительно превышает показатели у 1-месячных животных и максимально по сравнению с таковым в других возрастных группах. Это мы объясняем совершенствованием пищеварительной, иммунной, эндокринной и центральной нервной систем. К возрасту 3 мес молодняк стандартных норок почти достигает размеров взрослого животного, в связи с чем возрастает потребность в йоде — микроэлементе, отвечающем за основные виды обмена веществ и гомеостаз, а также в селене, который в составе селенопротеинов повышает иммунобиологическую реактивность организма (26, 27, 29). Ферменты, в состав которых входят цинк и хром, важны для обмена жирных кислот и утилизации жира (22, 29). Отметим, что потребность в жире у норок в ранние фазы постнатального онтогенеза особенно велика, поскольку он служит источником линолевой кислоты, необходимой для формирования структуры и функций органов и тканей (22). Кроме того, в углеводный и жировой обмены, тесно взаимосвязанные с белковым, вовлечены оксидоредуктазы, в составе которых присутствуют Fe, Cu и Zn. Эти же элементы играют важную роль в образовании гликопротеидов и мукополисахаридов, необходимых для формирования соединительной ткани. Всем перечисленным объясняется наибольшая концентрация Fe, Cu и Zn в крови молодняка 3-месячных норок.

В фазу полового созревания самцов (7-8 мес) значительно усиливается гормональная функция семенников, что сопровождается ростом концентрации половых гормонов (прогестерона, эстрадиола и тестостерона) в крови (38). Проведенные нами исследования показали, что содержание марганца, йода и цинка в крови 7-месячных норок снижено по сравнению с таковым у 1- и 3-месячных. К этому возрасту замедляется рост, стабилизируются основные виды обмена веществ, полностью сформированы все органы и ткани, полностью созревает зимний волосяной покров и, по-ви-

димому, снижается потребность в этих элементах. В то же время с интенсивным становлением репродуктивной системы связана потребность в йоде (гормоны щитовидной железы обеспечивают своевременное половое созревание молодняка), марганце (как активаторе многих ферментов, от которых зависит функционирование половых органов), а также цинке (вовлечен в выработку мужского полового гормона тестостерона и поддержание репродуктивной функции) (16, 19, 38).

В осенние и зимние периоды обмен веществ у норок снижается (16, 18), так как у пушных зверей он носит сезонный характер и зависит от продолжительности светового дня (35).

В возрасте 7-12 мес у норок уменьшается интенсивность пищеварения, метаболизма и энергетического обмена, нагрузка на системы кровообращения, дыхания, кровь и почки, что обусловлено окончанием структурно-функционального формирования органов и механизмов регуляции (18, 19). В этот период в крови зверей сохранялось достаточно высокое содержание меди $(8{,}3\pm0{,}6)\times10^{-3}$ ммоль/л) и цинка (0,58±0,04 ммоль/л), необходимых для функционирования кожно-волосяного покрова (образование пигментов кожи и волоса, синтез кератина и коллагена) (16), однако количества остальных элементов были значительно снижены или становились минимальными, как в случае Ca, Co, Cr (см. табл. 1). В фазу наступления зрелости (12 мес) протекает весенняя линька. Организму норок, по-видимому, уже не требуется такого количества минеральных элементов, как в периоды интенсивного роста и развития, поэтому содержание всех микро- и макроэлементов (кроме Zn, Co и Mg) становилось минимальным или мало отличалось от такового по сравнению с показателями в период наступления половой зрелости (7 мес) (см. табл. 1).

Таким образом, у стандартной норки в каждом возрасте в крови стабилизируется референтный состав минеральных элементов. Выполненный в настоящей работе корреляционный анализ показал, что минеральный состав крови и рационов, принятых в хозяйствах для каждого возраста стандартных норок (16, 39), взаимосвязаны. Мы получили следующие коэффициенты корреляции (r): K — 0,19[а], Na — 0,78[в], I — –0,48[б], Ca — 0,59[б], Mg — 0,83[в], Cu — –0,26[а], Zn — 0,65[б], Co — 0,21[а], Mn — –0,17[а], Fe — –0,62[б], Cr — –0,55[б], Se — 0,82[в], P — 0,56[б]; при $r < 0{,}3$ и $r > -0{,}3$ — слабая корреляция (а), $0{,}3 < r < 0{,}69$ и $-0{,}69 < r < -0{,}3$ — средняя (б), $r > 0{,}69$ и $r < -0{,}69$ — сильная (в); коэффициенты корреляции, помеченные буквами б и в, статистически значимы ($p < 0{,}05$; $p < 0{,}01$ или $p < 0{,}001$). Хотя в целом средние и сильные корреляционные связи отмечали по девяти элементам (P, Mg, Na, Ca, Fe, Cr, Zn, I и Se), тесные положительные и отрицательные корреляции наблюдались только по некоторым элементам (Mg, Na и Se). Поэтому минеральный состав крови, по нашему мнению, не позволяет объективно судить о минеральной обеспеченности рационов.

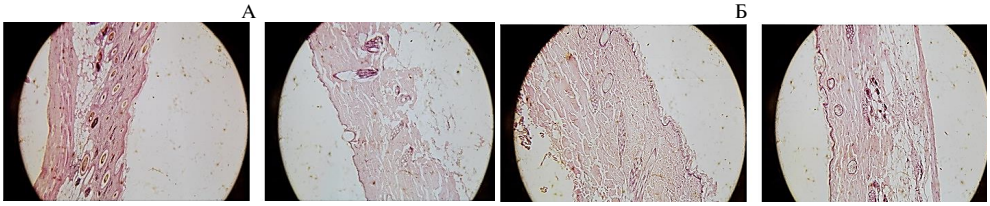

Рис. 1. Состояние кожи у самца стандартной норки (*Mustela vison*): А — продольные срезы, возраст 1 и 3 мес (соответственно слева и справа); Б — поперечные срезы, возраст 7 и 12 мес (соответственно слева и справа). Окрашивание гематоксилином и эозином, увеличение ×100.

Возрастные закономерности изменения минерального

состава волосяного покрова у стандартных норок. Изучение морфоструктуры кожи и ее производных показало (рис. 1-3), что при используемых условиях кормления и содержания кожно-волосяной покров формировался в постнатальном онтогенезе без патологий.

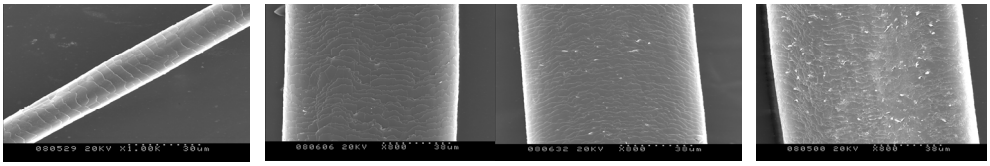

Рис. 2. Гистологическое строение граны направляющих волос у самца стандартной норки (*Mustela vison*) в возрасте 1 мес, 3 мес, 7 мес и 12 мес (слева направо). Сканирующая электронная микроскопия (Hitachi-S-520, «Hitachi, AIC, Inc.», Япония; увеличение ×800.

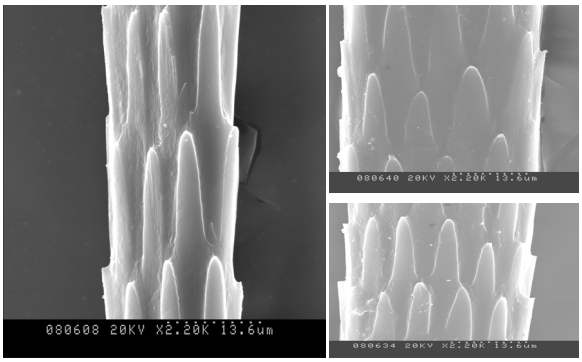

Рис. 3. Гистологическое строение основания направляющих волос у самца стандартной норки (*Mustela vison*) в возрасте 3 мес (слева), **7 и 12 мес** (соответственно справа вверху и внизу). Сканирующая электронная микроскопия (Hitachi-S-520, «Hitachi, AIC, Inc.», Япония; увеличение ×2200).

Мы установили минеральный состав волосяного покрова для каждой возрастной группы стандартных норок (табл. 2)

2. Содержание (ммоль/л) **макро- и микроэлементов в волосяном покрове у самцов стандартной норки разного возраста** (M±SEM, племзавод «Салтыковский», Балашихинский р-н, Московская обл.)

Элемент	Возраст, мес				
	1 (n = 25)	2 (n = 25[а])	3 (n = 25)[б]	7 (n = 25)[в]	12 (n = 25)[г]
Ca	8,5±0,8	7,8±0,8[#]	7,0±0,5[#],[#]	7,0±1,0[#],[#],[#]	4,5±0,5[#],*,**,**
Co	(2,7±0,4)×10^{-4}	(2,4±0,2)×10^{-4}[#]	(1,01±0,12)×10^{-4}***,***	(1,19±0,12)×10^{-4}[#],*,**	(0,92±0,05)×10^{-4}*,***,***,[#]
Cr	(7,9±0,6)×10^{-3}	(5,0±0,4)×10^{-3}***	(2,3±0,2)×10^{-3}***,***	(3,8±0,4)×10^{-3}**,***,*	(2,5±0,2)×10^{-3}**,[#],***,***
Cu	0,073±0,05	0,042±0,03***	0,023±0,002***,***	0,031±0,004*,***,***	0,020±0,002**,[#],***,***
Fe	0,41±0,04	0,30±0,02***	0,102±0,008***,***	0,104±0,008[#],***,***	0,148±0,009**,***,***,***
I	(7,2±0,5)×10^{-3}	(2,7±0,2)×10^{-3}***	(1,6±0,1)×10^{-3}***,***	(25,2±0,2)×10^{-3}**,[#],***	(7,1±0,6)×10^{-3}***,***,***,[#]
K	1,7±0,3	1,03±0,18*	0,87±0,05[#],**	0,74±0,13[#],**,[#]	0,44±0,08*,***,**,***
Mg	1,92±0,17	1,46±0,08*	0,77±0,03***,***	0,70±0,03[#],***,***	0,88±0,08*,[#],***,***
Mn	(17,0±1,0)×10^{-3}	(10,4±0,7)×10^{-3}***	(6,9±0,5)×10^{-3}***,***	(3,8±0,4)×10^{-3}***,***,***	(5,3±0,5)×10^{-3}*,***,***,*
Na	39±3	32±2*	28±3[#],**	9,1±0,4***,***,***	12±2[#],*,***,***
P	2,4±0,4	2,4±0,4[#]	2,3±0,4[#],[#]	0,97±0,17**,**,**	1,1±0,2[#],*,*,*
Se	(22,2±1,3)×10^{-4}	(46,0±5,0)×10^{-4}***	(24,0±3,0)×10^{-4}***,[#]	(20,0±3,0)×10^{-4}[#],[#],***	(20,1±1,3)×10^{-4}[#],***,[#]
Zn	0,369±0,015	0,35±0,03[#]	0,369±0,015[#],[#]	0,46±0,03*,*,*	0,277±0,015***,***,**,**

Примечание. [а] — различия между показателями в возрасте 2 мес и 1 мес; [б] — 3 мес и 2 мес, 3 мес и 1 мес; [в] — 7 мес и 3 мес, 7 мес и 2 мес, 7 мес и 1 мес; [г] — 12 мес и 7 мес, 12 мес и 3, 12 мес и 2, 12 мес и 1 мес.

*, **, *** Различия статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$; [#] — различия недостоверны.

Так, в волосах содержание большинства макро- и микроэлементов было наибольшим в возрасте 1, 2 и 3 мес, когда созревает первичный и формируется вторичный волосяной покров (см. рис. 1). Проведенные нами гистологические исследования кожного покрова показали наличие в дерме сильно развитой жировой ткани (см. рис. 1, светлое поле), которая в силу морфологической незрелости кожного покрова выполняет роль депо необходимых элементов, в том числе минеральных. Волосяные фолликулы луковичной частью погружены в жировую ткань. Структура кутикулы основания и граны направляющих волос у зверей в возрасте 1 мес,

сформированная еще в эмбриональном онтогенезе, по строению отличалась от таковой у других возрастных групп (см. рис. 2, 3) и была без нарушений чешуйчатого слоя. Начиная с 3 мес, структура кутикулы мало изменялись с возрастом, нарушений чешуйчатого слоя при этом тоже не наблюдали (см. рис. 2, 3). Как показали морфологические и гистологические исследования кожно-волосяного покрова (см. рис. 1), к 3 мес кожно-волосяной покров претерпевает большие изменения. В связи с интенсивным ростом и созреванием вторичного волосяного покрова, сменой (линькой) первичного и началом формирования зимнего волосяного покрова дерма утолщалась, изменялась глубина закладки фолликулов вторичного и зимнего волосяных покровов (см. рис. 1). Сетчатые структуры составляли основную часть дермы, где активно идут процессы образования волосяного покрова. При этом в коже уменьшалось количество жировой ткани, в ней наблюдали густую сеть кровеносных сосудов, осуществляющих транспорт необходимых для питания клеток кожного покрова веществ, в том числе минеральных, клеточные элементы дермы становились многочисленными. Эти морфофизиологические изменения сопровождались снижением количества всех элементов (кроме цинка) в волосяном покрове (по натрию и фосфору для 2- и 3-месячных зверей различия статистически не значимы).

В 7 мес у норок созревал зимний волосяной покров, кожный покров переходил в состояние покоя. Толщина эпидермиса, дермы, размеры волосяных фолликулов и глубина их залегания в период окончания роста волос и созревания зимнего волосяного покрова у норок уменьшились, а число волос в пучке возросло, достигая максимума при полной зрелости зимнего волосяного покрова. При этом толщина дермы становилась минимальной, в ней был хорошо развит сосочковый слой (см. рис. 1).

Морфофизиологическое становление волосяного покрова у стандартных норок сопровождалось изменением его минерального состава. При этом в волосяном покрове увеличивалось содержание хрома, меди, йода и цинка, уменьшалось — марганца, натрия и фосфора, по остальным элементам изменения были невелики. В возрасте 12 мес завершается физиологическое созревание организма норок, которое совпадает с наступлением весенней линьки. При этом увеличивалось число волосяных фолликулов в пучке и ширина вторичных и первичных волосяных фолликулов, разрыхлялась и утолщалась дерма (см. рис. 1). Изменение функционального состояния дермы при наступлении весенней линьки сопровождалось изменением минерального состава волос: количество Mg, I, Fe и Mn росло, Zn, Ca, Cr, Co, K и Cu — значительно снижалось, остальных элементов — изменялось незначительно (см. табл. 2). Корреляционный анализ выявил положительные и отрицательные тесные и средние корреляции по восьми элементам (Na, P, Ca, Mg, I, Cr, Se и Co) между минеральным составом крови и волосяного покрова (r_1). В то же время минеральный состав используемых рационов и волос норки в разные возрастные периоды были взаимосвязаны. При этом наблюдаются положительные и отрицательные тесные и средние корреляции (r_2) по всем 13 изученным микро- и макроэлементам:

	K	Na	I	Ca	Mg	Cu	Zn	Co	Mn	Fe	Cr	Se	P
r_1	0,19[а]	–0,88[в]	–0,55[б]	0,67[б]	0,93[в]	0,21[а]	0,20[а]	0,92[в]	–0,11[а]	–0,17[а]	–0,58[б]	0,78[в]	0,67[б]
r_2	0,83[в]	0,85[в]	0,74[в]	0,97[в]	0,98[в]	0,77[в]	0,83[в]	0,83[в]	0,72[в]	0,92[в]	0,72[в]	0,62[б]	0,76[в]

Примечание. Приведены коэффициенты корреляции (r) между содержанием элемента в крови и волосяном покрове (r_1) и в волосяном покрове и рационе (r_2). При $r < 0,3$ и $r > –0,3$ — слабая корреляция (а), $0,3 < r < 0,69$ и $–0,69 < r < –0,3$ — средняя (б), $r > 0,69$ и $r < –0,69$ — сильная (в). Коэффициенты корреляции, помеченные буквами б и в, статистически значимы ($p < 0,05$; $p < 0,01$ или $p < 0,001$).

Известно, что распределение минеральных элементов в органах и тканях животных строго определено и зависит от их возраста и вида, а отклонение этих показателей от нормы свидетельствует о нарушении минерального обмена (7, 16, 39). Как правило, дефекты волосяного покрова (тусклость, изменение пигментации, ломкость, сеченность, свалянность, выпадение волос), кератоз, дерматит, подмокание и т.д. свидетельствуют о нарушениях минерального обмена (6, 16-18). Наши исследования показали важность контроля за минеральной сбалансированностью рационов норок и составом их волосяного покрова.

Таким образом, у стандартных норок в волосяном покрове и цельной крови для каждого возраста устанавливается определенный элементный состав по K, Ca, Mg, Na, P, Co, Cu, Cr, Fe, I, Mn, Se, Zn. Содержание всех макро- и микроэлементов в цельной крови максимально у 1- и 3-месячных особей, минимально — у 7- и 12-месячных зверей, в волосяном покрове — соответственно у 1- и 7-месячных животных. Установлены корреляции между минеральным составом крови и волоса по Na, I, Ca, Mg, Co, Cr, Se и P. Минеральный состав волос норки и рациона взаимосвязаны по всем 13 изученным элементам, следовательно, этот показатель, как мы полагаем, можно использовать для оценки полноценности и сбалансированности минерального состава кормосмесей для обеспечения физиологических потребностей зверей в разные возрастные периоды.

ФГБОУ ВО Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии— МВА им. К.И. Скрябина,
109472 Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23,
e-mail: irina_starovierova@mail.ru ✉, dr.maximov@gmail.com, sci@mgavm.ru, szaitsev@mail.ru

Поступила в редакцию 17 октября 2017 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2018, V. 53, № 6, pp. 1190-1201

POSTNATAL CHANGES IN MINK (*Mustela vision*) MINERAL METABOLISM ASSESSED BY MICRO- AND MACROELEMENTS IN BLOOD AND FUR

I.N. Staroverova, V.I. Maksimov, N.A. Balakirev, S.Yu. Zaitsev

Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, ul. Akademika K.I. Skryabina, Moscow, 109472 Russia, e-mail irina_starovierova@mail.ru (✉ corresponding author), dr.maximov@gmail.com, sci@mgavm.ru, szaitsev@mail.ru
ORCID:
Staroverova I.N. orcid.org/0000-0003-3762-9956 Zaitsev S.Yu. orcid.org/0000-0003-1533-8680
Maksimov V.I. orcid.org/0000-0002-5305-0218
The authors declare no conflict of interests
Received October 17, 2017 doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.1190eng

Abstract

Mineral deficiency remains relevant in fur farming. That is why researchers are still developing methods to test whether mineral supply of animals is sufficient. Fur, unlike blood which composition strongly depends on many factors, is convenient biomaterial to control mineral levels in animal body. In this paper, we revealed a relationship between the blood and hair mineral composition and studied for the first time whether these parameters reliably reflect mineral welfare of the standard male minks fed with commonly used diets. Standard male minks of Saltykovskii breeding farm (Moscow Province) were grouped by age. Male minks, due to sexual dimorphism, are twice as large as females and all changes in their body manifest more quickly and reliably. Blood and hair were sampled from healthy standard male minks during postnatal ontogenesis, i.e. in 30-day-old animals and in 90-day-old animals, additionally, hair samples were taken from male minks aged 2 months, 7 months and 12 months. Contents of macro- and microelements were measured by atomic emission and mass spectrometry using an optical emission spectrometer Optima 2000^{TM} DV and ELAN 9000 ICP-MS mass spectrometer (Hitachi, AIC, Inc, Japan). The skin development during

ontogenesis was controlled histologically. Hair condition was studied by electronic scanning microscopy (Hitachi-S-520, Hitachi, AIC, Inc, Japan). It was found that reference contents of macro- and microelements in blood and hairs of standard male minks are characteristic of each phase of postnatal ontogenesis. In blood, the concentrations (mmol/l) averaged 1.6-4.2 for calcium, $(2.7\text{-}9.9)\times10^{-5}$ for cobalt, $(0.23\text{-}1.00)\times10^{-3}$ for chromium, $(0.53\text{-}2.10)\times10^{-2}$ for copper, 5.9-11.3 for iron, $(1.5\text{-}6.3)\times10^{-3}$ for iodine, 29-44 for potassium, 0.64-1.23 for magnesium, $(0.35\text{-}2.70)\times10^{-2}$ for manganese, 82-103 for sodium, 4.8-21 for phosphorus, (1.8-6.3)×10–3 for selenium, and 0.24-0.89 for zinc. The blood levels of all these elements were maximal in one-month and three-month old minks and minimal at sexual maturity and body maturation of the animals. In hairs, the average contents (mmol/kg) were 4.5-8.5 for calcium, $(0.92\text{-}2.70)\times10^{-4}$ for cobalt, $(2.3\text{-}7.9)\times10^{-3}$ for chromium, $(0.20\text{-}0.73)\times10^{-1}$ for copper, $(1.02\text{-}4.10)\times10^{-1}$ for iron, $(1.58\text{-}7.20)\times10^{-3}$ for iodine, 0.44-1.70 for potassium, 0.70-1.92 for magnesium, $(0.38\text{-}1.70)\times10^{-2}$ for manganese, 9.1-39 for sodium, 0.97-2.40 for phosphorus, $(2.0\text{-}4.6)\times10^{-3}$ for selenium, and 0.28-0.46 for zinc. Accumulation of the most important elements in the mink hair was maximal during 30 days of life and minimal in 7-month old animals. Mineral compositions of blood and hair of standard male minks correlate and depend on the animals' age. The strong and moderate (positive and negative) correlations are found for 8 elements, Ca, Mg, Na, P, Co, Cr, Se and I. For all 13 elements studied, there are reliable correlations between their levels in animal hairs and in the diets. Apparently, the mineral composition of hairs can be used as a test of dietary balance of mineral elements for each age of the standard mink.

Keywords: *Mustela vision*, mink, postnatal ontogenesis, mineral metabolism, mineral composition of blood, mineral composition of hair.

REFERENCES

1. Suttle N.F. *Mineral nutrition of livestock*. CAB International, 2000.
2. Lopez-Alonso M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Vet. Sci.*, 2012, 2012: Article ID 704825 (doi: 10.5402/2012/704825).
3. Klopov M.I., Maksimov V.I. *Biologicheski aktivnye veshchestva v fiziologicheskikh i biokhimicheskikh protsessakh v organizme zhivotnogo* [Bioactive substabces in physiological and biochemical processes in nimals]. St. Petersburg, 2012 (in Russ.).
4. Dayyani N., Abadi M.B.B., Farhani A.A.A. Chelated minerals in animal nutrition. *Int. J. Adv. Bio. Biom. Res.*, 2013, 1(11): 1387-1391.
5. Olson R.A., Brink D.R., Carlson M., Hickook D.T., Shcneider N., Deutscher G.H., Colburn D.J. Effect of supplementing trace minerals (Cu, Co, Zn and Mn) after calving on productivity of two-year-old cows. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 1997, 1(1): 15-17.
6. Staroverova I.N., Maksimov V.I., Zaitsev S.Yu. *Doklady RASKHN*, 2010, 3: 41-43 (in Russ.).
7. Nikonova E.B., Maksimov V.I. *Veterinarnaya patologiya*, 2006, 3: 128-132 (in Russ.).
8. Maksimov V.I., Lysov V.F. *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2006, 2: 21-22 (in Russ.).
9. Zhao X.J., Li Z.P., Wang J.H., Xing X.M., Wang Z.Y., Wang L., Wang Z.H. Effects of chelated Zn/Cu/Mn on redox status, immune responses and hoof health in lactating Holstein cows. *J. Vet. Sci.*, 2015, 16(4): 439-446 (doi: 10.4142/jvs.2015.16.4.439).
10. Martins P.S., Kallas E.G., Neto M.S., Dalboni M.A., Bleche S., Salomao R. Upregulation of reactive oxygen species generation and phagocytosis, and increased apoptosis in human neutrophils during severe sepsis and septic shock. *Shock*, 2003, 20(3): 208-212 (doi: 10.1097/01.shk.0000079425.52617.db).
11. Brink A.-L., Jeppesen L.L. Behavior of mink kits and dams (*Mustela vison*) in the lactation period. *Canadian Journal of Animal Science*, 2005, 85(1): 7-12 (doi: 10.4141/A04-028).
12. *Canids — foxes, wolves, jackals and dogs: status survey and conservation action plan*. C. Sillero-Zubiri, M. Hoffmann, D.W. McDonald (eds.). N.Y., USA, 2004.
13. Allen R.G., Tresini M. Oxidative stress and gene regulation. *Free Radical Biology and Medicine*, 2000, 28(3): 463-499 (doi: 10.1016/S0891-5849(99)00242-7).
14. Barabasz V., Bagdonas I.I. Studies on the nutrition of young mink after melatonin implantation. *Annals of Animal Science (Krakow)*, 2000, 727(2): 117-128.
15. Plotnikov I.A., Bespyatyh O.Y., Gazizov V.Z., Domski I.A. Characteristics and optimization of husbandry conditions of herbivorous fur-bearing animals. *Scientifur*, 2000, 24 (4): 170-171.
16. Staroverova I.N., Balakirev A.N. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*, 2013, 214: 386-392 (in Russ.).
17. López Alonso M., Prieto Montaca F., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Benedito J.L. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. *BioMetals*, 2004, 17(4): 389-397.

18. Bis-Wencel H., Saba L., Ondrasovicova O., Wnuk W., Pyzik-Moleda M. The level of some plasma oxidative state indices in farmed minks and the histopathological picture of their internal organs. *Folia Veterinaria* (Kosice), 2005, 49(3—suppl.): S45-S47.
19. Staroverova I.N., Maksimov V.I., Zaitsev S.YU., Egorov V.V., Kordonskaya M.A. *Veterinarnaya meditsina*, 2009, 3: 47-49 (in Russ.).
20. Combs D.K., Goodrich R.D., Meiske J.C. Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: a review. *J. Anim. Sci.*, 1982, 54(2): 391-398.
21. Poulsen H.D. Zn and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors. *J. Anim. Feed Sci.*, 1998, 7(suppl. 1): 135-142 (doi: 10.22358/jafs/69961/1998).
22. Balakirev N.A., Zaitsev S.Yu., Rizvanov A.A. Phenozan influence on the physiological-biochemical parameters of the young minks leading to their advanced properties. *International Journal of Zoology*, 2016, 2016: Article ID 2159509 (doi: 10.1155/2016/2159509).
23. Pushkina N.N. *Biokhimicheskie metody issledovaniya* [Biochemical analysis]. Moscow, 1963 (in Russ.).
24. Shimmel' G. Metodika elektronnoi mikroskopii [Methods of electrone microscopy]. Moscow, 1972 (in Russ.).
25. Mepkylov G.A. *Kurs patologo-gistologicheskoi tekhniki* [Pathohistological methods]. Leningrad, 1969 (in Russ.).
26. Maksimov V.I. Gormonal'nyi status organov molodnyaka krupnogo rogatogo skota i ovets. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* [*Agricultural Biology*], 2001, 2: 60-63.
27. Ugryumov M.B. *Neiroendokrinnaya regulyatsiya v ontogeneze* [Neuroendocrine regulation in ontogenys]. Moscow, 1989 (in Russ.).
28. Olesen C.R., Clausen T.N., Warnberg S. Compositional changes in mink (*Mustela vison*) milk during lactation. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 1992, 9(suppl.): 308-314.
29. Tumova E., Zita L., Siolc L. Carcass quality in restricted and ad libitum fed rabbits. *Czech Journal of Animal Science*, 2006, 51(5): 214-219 (doi: 10.17221/3931-CJAS).
30. Vorob'ev, V.I., Ul'ikhina P.I. *Mineral'nye veshchestva v zhizni krolikov* [The metabolic role of minerals in rabits]. Astrakhan', 2007 (in Russ.).
31. Damgaard B.M., Borsting C.F., lngvartsen K.L., Fink R. Effects of carbohydrate-free diets on the performance of lactating mink (*Mustela vison*) and the growth performance of suckling kits. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science,* 2003, 53(3): 127-135 (doi: 10.1080/09064700310012890).
32. Damgaard B.M., Borsting C.F.,Engberg N.M., Jensen S.K. Effects of high dietary levels of fresh or oxidised fish oil on performance and blood parameters in female mink (*Mustela vison*) during the winter, reproduction, lactation and early growth periods. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 2003, 53(3): 136-146 (doi: 10.1080/09064700310011198).
33. Tyutyunnik N.N., Kalinin Yu.K., Unzhakov A.R., Meldo Kh.I., Dolgopolova T.G., Uzenbaeva L.B., Svechkina E.B., Il'ina T.N., Baishnikova I.V., Melekhova G.V. V sbornike: *Problemy ekologicheskoi fiziologii pushnykh zverei* [In: Ecophysiology of fur bearing anumals. Iss. 3]. Petrozavodsk, 2004, vyp. 3: 91-104 (in Russ.).
34. Bailoni L., Cerchiaro l. The role of feeding in the maintenance of well-being and health of geriatric. *Vet. Res. Commun.*, 2005, 29(Suppl. 2): 751-55 (doi: 10.1007/s11259-005-0011-7).
35. Fuglesteg B.N., Haga Ø.E., Folkow L.P., Fuglei E. Seasonal variations in basal metabolic rate, lower critical temperature and responses to temporary starvation in the arctic fox (*Alopex lagopus*) from Svalbard. *Polar Biology*, 2006, 29(4): 308-319 (doi: 10.1007/s00300-005-0054-9).
36. Akhmetova F.I. O dykhatel'noi aktivnosti mitokhondrii pecheni i skeletnykh myshts norok i nutrii v postnatal'nom ontogeneze. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* [*Agricultural Biology*], 2001, 2: 48-51.
37. Fink R., Borsting C.F. Quantitative glucose metabolism in lactating mink (*Mustela vison*) - effects of dietary levels of protein, fat and carbohydrates. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 2002, 52(1): 71: 34-42 (doi: 10.1080/09064700252806407).
38. Demina T.M. *Vestnik VOGiS*, 2007, 11(1): 205-211 (in Russ.).
39. Balakirev A.N., Staroverova I.N., Maksimov V.I. *Vestnik OrelGAU: Teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal*, 2014, 1(46): 17-21 (in Russ.).