

**СОСТОЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА И АДАПТАЦИОННЫЕ СДВИГИ  
У КРОЛИКОВ ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА КЛЕТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

Хохлова Н.С., Семенютин В.В.

*Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина,  
пос. Майский Белгородской обл., Российская Федерация*

Целью работы было установление особенностей минерального обмена в процессе адаптации кроликов к технологии клеточного содержания с сетчатым полом, характеризующейся структурными изменениями на плантарной поверхности задних конечностей. Было проведено три серии опытов: на самцах-производителях, беременных и лактирующих самках. В каждой серии опытов животных разделили на три группы по стадиям развития адаптационного процесса: 1) кролики с минимальным напряжением регуляторных систем, без визуальных изменений на опорной части стопы; 2) кролики с десквамацией эпителия, гиперкератозе и оmozоленности; 3) с наличием геморрагических изменений на плантарной поверхности стоп. У самцо-производителей на первой стадии в сыворотке крови снижался уровень неорганического фосфора, магния, калия, цинка и меди, что свидетельствует об активном использовании данных микроэлементов при активизации местного иммунитета и усилении обменных процессов в тканях, имеющих повышенную физиологическую нагрузку. На второй стадии установлено снижение общего кальция и увеличение уровня магния, калия, меди и уменьшение неорганического фосфора и железа относительно первой стадии адаптации. У беременных самок в третьей стадии снижался уровень натрия, что стимулирует развитие геморрагических изменений на плантарной поверхности задних конечностей. У лактирующих самок на второй стадии адаптационного процесса увеличивалось содержание ионов натрия и железа, на третьей стадии наблюдалось повышение концентрации ионов калия, натрия и меди, что указывает на снижение репарационных возможностей организма. В целом, адаптационные сдвиги в минеральном обмене при переводе кроликов на содержание в клетках с сетчатым полом обусловлены как их половой принадлежностью, так и физиологическим состоянием; при этом наиболее значительные изменения установлены у самцов-производителей.

*Ключевые слова: кролики, клеточное содержание, минеральный обмен, беременность, лактация, микроэлементы.*

*Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. 3: 50-61.*

**Введение**

Каждый живой организм является открытой системой, постоянно находящейся под действием стрессирующих факторов внешней среды. В процессе эволюции в нём выработались приспособительные адаптивные механизмы к действию внешних стрессоров. Эти изменения отражаются на всех уровнях организации живого: биохимическом, цитологическом, органном, организменном и популяционном. При воздействии неблагоприятных факторов в организме возникают сдвиги, стремящиеся восстановить нарушенное равновесие. Если местные регуляторные системы не справляются, то управление передается на более высокий уровень.

Адаптационный процесс представляет собой ряд неспецифических реакций, в ходе которых происходит мобилизация энергетического и пластического обмена, активизация механизмов, направленных на поддержание гомеостаза (Свирид и др., 2016).

Начальные этапы адаптационных процессов обычно индуцируются стресс-реакцией, которая проявляется возбуждением симпатического отдела вегетативной нервной и гипоталамо-адреналиновой систем, а также щитовидной и паращитовидной желез (Држевецкая, 1994; Лысов и др., 2004; Spaggiari et al., 2020), что в свою очередь приводит к мобилизации и перераспределению пластических и энергетических ресурсов. В клетках происходит накопление определённых органелл и развивается структурный след, составляющий основу долгосрочной адаптации. Данный процесс приводит к гипертрофии нейронов и увеличению активности ферментов, ответственных за дыхание в центрах регуляции нервной системы, снижению возбудимости рецепторов и нейронов. В эндокринном звене наблюдается гипертрофия надпочечников. В органах-исполнителях также развиваются гипертрофические изменения, а в их клетках наблюдается рост числа митохондрий (Лысов и др., 2004).

Срочные адаптационные процессы реализуются в ходе функционирования двух разнонаправленных систем: стресс-реализующих и стресс-лимитирующих. К первым относятся активизация симпатической вегетативной нервной системы, возрастание уровня катехоламинов, адренокортикотропного гормона, кортизола, глюкагона, ангиотензина-II, эритропоэтина, глюкозы и общих липидов в сыворотке крови, липопротеидов низкой плотности, холестерина крови, продуктов перекисного окисления липидов, мочевой кислоты, иммуноглобулинов класса А, G, E, нейтрофилов и В-лимфоцитов, Т-хелперов-2, интерлейкинов-1; -4; -6 и -10; фактора некроза опухолей, кальция, натрия, железа, возможно, меди, С-реактивного белка и др.

Стресс-лимитирующая система сопряжена с активацией парасимпатической вегетативной нервной системы, увеличением значений показателей ацетилхолина, ГАМК-эргической системы, брадикинина, соматолиберина, соматотропина, тиреотропного гормона, минералокортикоидов, трийодтиронина, тироксина, инсулиноподобного фактора роста, инсулина, системы оксида азота, фибриногена, соотношения белковых фракций, кальцитонина, липопротеидов высокой плотности, окситоцина, эстрадиола, тестостерона, цинка, калия, селена, магния, иммуноглобулинов класса М, интерлейкинов-2, эозинофилов, лимфоцитов, простагландинов Е, билирубина и др. (Бяловский и др., 2017).

На фоне развития стрессовой реакции возможно снижение уровня адреналина при развитии метаболического синдрома, энергетического дисбаланса и иммунной дисфункции. При этом активность гормонов щитовидной железы варьирует в зависимости от вида стрессора: при адаптации к холодному стрессу установлена её активация, а при тепловом, наоборот, угнетение, вызванное снижением потребляемого корма, что объясняется попыткой организма снизить уровень метаболизма (Aleena et al., 2016; Weitzel et al., 2017; Pathak et al., 2018; Hooper et al., 2018; Han Li et al., 2021).

Следует отметить, что при создании теории об общем адаптационном синдроме Г. Селье говорил не только об увеличении концентрации вышеописанных гормонов, но также о соматотропине и минералглюкокортикоидах, что может приводить к изменению соотношения микроэлементов в организме и их метаболизма (Држевецкая, 1994).

Микро- и макроэлементы выполняют в организме животных многочисленные функции. Они входят в состав ферментов и тканей, участвуют в химических реакциях, транспорте различных веществ, передаче нервных импульсов, создают осмотическое давление в тканях.

Цель исследования - установление особенностей минерального обмена при хронической адаптации кроликов разного пола и физиологического состояния к клеточной технологии содержания (сетчатому полу), характеризующейся структурными изменениями на плантарной поверхности задних конечностей.

## **Материал и методы**

На базе учебно-научной лаборатории кролиководства УНИЦ «Агротехнопарк» Белгородского ГАУ были проведены три серии опытов:

- 1 – на половозрелых самцах-производителях в возрасте 5-8 месяцев;
- 2 – на беременных самках в возрасте 4-5 месяцев; срок сукрольности от 20 суток;

3 – на лактирующих самках в возрасте 6-7 месяцев. Продолжительность лактопоза от 30 суток.

В соответствии с классификацией адаптационного процесса по степени напряжения регуляторных систем организма (Баевский, 1979) и интенсивности проявления изменений на плантарной поверхности стоп задних конечностей, животных в каждой серии опытов разделили на три группы, по 5 голов в каждой:

I группа – животные в состоянии, граничащем с физиологической нормой при минимальном напряжении регуляторных механизмов (без видимых отклонений в состоянии плантарной поверхности стоп задних конечностей); II группа – животные в состоянии напряжения регуляторных механизмов (проявление аллопеции, паракератоза, белого кожного мозоля в области опорной части стоп задних конечностей); III группа – животные в состоянии перенапряжения регуляторных механизмов (выраженные геморрагические изменения в области кожного мозоля на плантарной поверхности стоп задних конечностей).

Кроликов содержали в индивидуальных клетках типа КСК-1. Рацион сбалансирован согласно физиологическому состоянию кроликов. Тип кормления сухой. Доступ к воде свободный.

Кровь отбирали из бедренной вены (*vena saphena*) от 5 голов из каждой группы перед утренним кормлением. Состояние минерального обмена оценивали по наличию в сыворотке крови макро- (общий кальций, неорганический фосфор, хлориды, магний, натрий, калий) и микроэлементов (цинк, медь, железо). Концентрацию макро- и микроэлементов в сыворотке крови определяли с использованием фотокалориметра КФК-2 и наборов реактивов, произведенных компанией ООО «Ольвекс Диагностикум».

### Результаты и обсуждение

Значения показателей, характеризующих минеральный обмен у самцов-производителей, изменялись (с разной степенью статистической значимости) в зависимости от стадии адаптации. Результаты проведенного анализа отражены в табл. 1.

Таблица 1. Концентрация макро- и микроэлементов в сыворотке крови у самцов-производителей (M±m, n=5)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Общий кальций, мМ	3,98±0,33	4,23±0,06	3,67±0,20*
Неорганический фосфор, мМ	2,43±0,07	1,88±0,16*	1,78±0,16**
Хлориды, мМ	93,56±6,55	80,42±13,37	97,94±6,71
Магний, мМ	1,83±0,11	1,18±0,13**	1,83±0,07**
Натрий, мМ	122,58±7,46	132,80±3,80	128,48±3,16
Калий, мМ /л	8,66±0,53	4,58±0,32***	7,74±0,31***
Цинк, мкМ	43,38±5,91	22,20±3,36*	29,32±3,44
Медь, мкМ	17,06±2,30	10,52±0,85*	21,14±3,28*
Железо, мкМ	31,97±4,25	26,86±3,43	18,58±2,60*

Примечание: здесь и далее в таблицах: \*P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 по *t* - критерию при сравнении с к I группой; \* P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 при сравнении со II группой.

Кальций является неотъемлемым компонентом в структуре костной ткани, участвует в передаче нервных импульсов, сокращении миофибрилл, пищеварении, свертывании крови, регуляции ферментативной и гормональной активности, снижении проницаемости мембран (Калугин и др., 2016; Назаренко и др., 2000). У самцов-производителей, не имеющих каких-либо изменений в области плантарной поверхности стоп (I группа), содержание общего кальция в сыворотке крови было на уровне 4,0 мМ. При развитии на опорной поверхности стоп аллопеций, белого кожного мозоля, гиперкератоза (II группа) выявлена тенденция к его увеличению, что указывает на поступление ионов кальция в кровеносное русло из костной ткани, что, возможно, является результатом развития адаптационного процесса (Бяловский, 2017). По литературным

данным, возрастание его концентрации от базального к периферическому слоям кожи стимулирует кератиноциты к делению и продукции липидов, которые, заполняя межклеточное пространство, формируют кожный барьер, в результате чего развивается кожный мозоль (Yonei et al., 2019).

У кроликов III группы появление в области стоп геморрагических изменений кожного мозоля сопровождалось снижением уровня кальция в кровеносном русле на 13,3% относительно II группы ( $P < 0,05$ ). Согласно литературным данным, эти сдвиги ведут к уменьшению градиента кальция в эпидермисе, при этом снижается активность ферментов, участвующих в поддержании кислотности, что приводит к повышению pH и, как следствие, кожные покровы теряют устойчивость к механическому стрессу, инфицированию, тормозятся регенеративные процессы (Rinnerthaler et al., 2018). Снижение концентрации ионов кальция приводит к снижению транскрипционной и пролиферативной активности  $\beta$ -катенина в клетках и замедлению эпидермального ответа на заживление, что приводит к геморрагическим изменениям на плантарной поверхности стоп (Oda et al., 2016).

Фосфор принимает участие в таких видах обмена веществ, как энергетический, жировой, белковый и углеводный. Он участвует в регуляции транскрипции генов и активности ферментов, оказывающих влияние на многие виды деятельности организма (Calvo et al., 2015; Berndt et al., 2007), и входит в состав гидроксиапатита – основного минерального вещества в матриксе костной ткани (Калугин и др., 2019).

В I группе животных среднее содержание неорганического фосфора в сыворотке крови было на уровне 2,43 мМ. При развитии состояния напряжения механизмов регуляции (II группа) отмечено его снижение на 22,7% ( $P < 0,05$ ). Это может указывать на перераспределение данного элемента вследствие развития адаптационного процесса, участие в активизации местного тканевого иммунитета и стимуляции фагоцитарной активности полиморфноядерных лейкоцитов (Kiersztejn et al., 1992; Eisenberg et al., 2019).

При возникновении у кроликов перенапряжения регуляторных механизмов (III группа) уровень неорганического фосфора в сыворотке крови продолжал снижаться до 1,78 мМ ( $P < 0,01$  против I группы). Такие сдвиги свидетельствуют о нарастании дефицита энергии и сокращении потенциала буферной системы, направленной на поддержание нормального pH (Калугин и др., 2019; Назаренко и др., 2000; Segna et al., 2020) и нарушении формирования клеточных мембран, что способствует появлению геморрагий в области опорной поверхности стоп (Young et al., 1997; Shaikh A et al., 2008).

Хлориды участвуют в контроле секреции трансэпителиальной жидкости, совместно с ионами бикарбоната ( $\text{HCO}_3^-$ ) поддерживают внутриклеточное осмотическое давление и баланс между катионами и анионами, активируют нейтрофильные  $\beta 2$ -интегрины и клеточные циклы. Ионы хлора регулируют объём клеток, обеспечивают мембранную возбудимость и работу синаптических связей (Shcheunikov et al., 2015; DiFranco et al., 2019).

Уровень хлора в сыворотке крови кроликов I группы в среднем составлял 93,6 мМ. Во II группе отмечена тенденция к его снижению (на 14%), а с последующим развитием адаптационного синдрома (III группа) – тенденция к увеличению (на 22%). Эти изменения, могут указывать на повышенное использование анионов хлора в клетках во вторую стадию адаптации с последующим замедлением в третьей (Lüscher et al., 2020).

Магний является одним из основных катионов и по распространенности занимает в организме четвертое место (после кальция, калия, натрия); он участвует в таких функциях, как развитие костей, нейромышечная активность, накопление и перенос энергии, пролиферация клеток, метаболизм глюкозы, липидов, белков, нуклеиновых кислот (Fiorentini et al., 2021).

В I группе самцов-производителей уровень магния в сыворотке крови в среднем составлял 1,8 мМ, а во II группе существенно снижался ( $P < 0,01$ ). Такие изменения, возможно, обусловлены вовлечением ионов магния в процессы, направленные на повышение устойчивости организма к стрессовым факторам. Это способствует замедлению развития воспалительного эффекта и снижению отрицательного эффекта катехоламинов, способных повреждать митохондрии и

вызывать гибель клеток, что в итоге повышает резистентность организма к стрессу (Жестяников, 2005; Акарачкова, 2007; Tardy et al., 2020; Чернова, 2020; Fiorentini et al., 2021).

В III группе уровень магния увеличивался ( $P < 0,01$ ) до его значения в I группе, что может свидетельствовать о снижении его использования в компенсаторных процессах.

Ионы натрия наряду с ионами хлора являются основными электролитами в межклеточном матриксе, участвующими в поддержании осмотического давления, внеклеточного объема, мембранного потенциала, активного транспорта молекул через мембраны, а также в формировании нервных импульсов и мышечной активности (Мансурова и др. 2011; Файзуллина и др., 2016; Strohm et al., 2018).

Уровень натрия в сыворотке крови во всех трёх группах находился в пределах 123-133 мМ. Это свидетельствует о том, что у самцов-производителей при адаптации к клеточной технологии метаболические эффекты натрия остаются стабильными и не подвержены серьезным колебаниям.

Ионы калия являются антагонистами натрия. Их уровень в межклеточной среде невысокий, но он существенно увеличивается в цитоплазме клетки. Этот катион участвует в формировании электрического потенциала мембраны клеток в покое и тем самым – в контроле нейромышечной возбудимости (Булгакова, 2019; Clase et al., 2020), внутриклеточного осмотического давления, кислотно-щелочного равновесия, он является кофактором многих ферментов (Turck et al., 2016).

Уровень данного катиона в крови животных I группы в среднем составил 8,7 мМ, во II наблюдалось его снижение ( $P < 0,001$ ). Это указывает на перераспределение ионов калия в цитоплазме клеток вследствие развития второй стадии адаптационного процесса. При этом происходит уплотнение эндотелиального слоя, снижается уровень оксида азота (Oberleithner et al., 2009).

В III группе относительно предыдущей содержание калия в сыворотке крови резко возрастает ( $P < 0,001$ ). Повышение концентрации ионов калия в стадии перенапряжения регуляторных механизмов снижает скорость синтеза супероксид-аниона и других активных форм кислорода моноцитами и макрофагами, что способствует ограничению окислительного стресса в тканях, имеющих повышенную механическую нагрузку (McCabe et al., 1994).

Цинк относится к эссенциальным микроэлементам. В настоящее время насчитывают более 300 металлопротеидов и 2000 факторов транскрипции, имеющих в своем составе данный катион. Ферменты, имеющие в своем составе ионы цинка, участвуют в различных метаболических процессах организма: в гидратации метаболического оксида углерода, пищеварении, энергетическом, водном, липидном, минеральном обменах, в репликации и репарации молекул ДНК (Хлебникова и др., 2013; Терентьева и др., 2019; Huskisson et al., 2007; Лобков и др., 2019). Они оказывает ингибирующее действие на такие ферменты, как каталаза, оксидазы, холинэстераза (Лобков и др. 2019). Цинк участвует в активизации половых гормонов и в метаболизме гормонов щитовидной железы ( Pathak et al., 2011; Корочкина, 2016; Лобков и др., 2019; Терентьева и др., 2019).

В I группе уровень цинка в среднем составлял 43 мкМ; при развитии в области стоп аллопедий и белого мозоля (II группа) он снижался ( $P < 0,05$ ), что указывает на усиленное использование данного микроэлемента на фоне нивелирования воздействия стресс-факторов на организм. Развитие геморрагических изменений в области опорной поверхности стоп в третьей стадию адаптационного процесса (III группа) сопровождалось тенденцией к увеличению концентрации ионов цинка в сыворотке крови по сравнению со II группой, что может указывать на перенапряжение регуляторных систем и угнетение процессов, протекающих с участием цинка.

По литературным данным, ионы цинка предотвращают развитие окислительного стресса и воспалительной реакции, ингибируют окисление белковых молекул и нуклеиновых кислот, а также стимулируют синтез металлопротеинов, инактивирующих активные формы кислорода (Tardy et al., 2020), тормозят выброс провоспалительных цитокинов, что замедляет развитие воспалительной реакции (Bonaventura et al., 2015; Elmadfa et al., 2019), способствуют угнетению функции тучных клеток и базофилов, снижающих выброс гистамина в ткани (Хлебникова и др., 2013; Elmadfa et al., 2019). Кроме того, активизируются металлопротеиназы, в результате чего происходит регенерация

и поддержание структуры дермы, стимулируется кератинизация и миграция кератиноцитов (Хлебникова и др., 2013).

Медь наряду с цинком относится к микроэлементам, необходимым для процессов роста и развития, формирования и функционирования нервной ткани (Корочкина, 2016; Чернова, 2020). Она является Ко-фактором ряда ферментов, участвующих в дыхательной цепи, метаболизме железа, катехоламинов, капиллярогенезе, кератинизации шерсти, синтезе меланина (Жестяников, 2005; Huskisson et al., 2007; Файзуллина, 2016).

В I группе средняя концентрация меди в сыворотке крови составляла в среднем 17 мкМ; во II группе) она снижалась ( $P < 0,05$ ), что может свидетельствовать об интенсивном вовлечении данного микроэлемента в процессы, обеспечивающие равновесие между свободнорадикальной и антиоксидантной системами (Чернова, 2020), блокирующими разрушение оксида азота продуктами перекисного окисления липидов (Жестяников, 2005).

В III группе содержание меди возрастает в 2 раза ( $P < 0,05$ ) относительно II группы, что может свидетельствовать о развитии процессов декомпенсации.

Железо также считается эссенциальным микроэлементом. Оно принимает участие в транспорте кислорода, клеточном дыхании, синтезе ДНК, поддержании электрофизиологических свойств нейронных цепей, поддержании стимуляции иммунитета и во многих метаболических процессах (Жестяников, 2005; Похилук, 2015; Winn et al., 2020; Tardy et al., 2020).

В I группе уровень железа в сыворотке крови составлял в среднем 32 мкМ, во II группе показана тенденция к его снижению, а в III группе он существенно увеличился ( $P < 0,05$ ). Согласно литературным данным, адаптационные изменения сопровождаются снижением уровня железа в плазме крови, что может свидетельствовать о его использовании в синтезе ферментов энергетического обмена (Elmadfa et al., 2019). При этом ионы железа активно вовлекаются в поддержание гомеостаза и восстановление кожи; с помощью макрофагов железо накапливается в тканях эпидермиса, что необходимо для пролиферации эпителиальных клеток, роста волосяных фолликулов, однако избыток данного катиона в тканях, напротив, вызывает нарушение заживления кожных покровов, что и наблюдается в третью стадию адаптационного процесса (Winn et al., 2020).

Данные о состоянии минерального обмена при разной интенсивности проявления изменений на плантарной поверхности стоп задних конечностей в организме беременных крольчих представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели минерального обмена у беременных самок  
( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Показатели	Группы		
	I	II	III
Общий кальций, мМ	3,55±0,46	3,81±0,04	4,04±0,16
Неорганический фосфор, мМ	1,46±0,15	1,44±0,17	1,72±0,21
Хлориды, мМ	72,4±17,0	104,4±2,1	106,2±2,3
Магний, мМ	1,18±0,22	1,49±0,17	1,58±0,08
Натрий, мМ	167±12	123±19	124±1**
Калий, мМ	3,38±0,48	3,69±0,31	4,03±0,20
Цинк, мкМ	26,63±2,27	20,53±1,40	23,88±2,49
Медь, мкМ	12,24±3,94	14,15±2,08	13,77±2,17
Железо, мкМ	23,70±4,66	12,30±3,05	16,86±3,39

Содержание общего кальция у беременных самок по мере развития деструктивных изменений на плантарной поверхности задних конечностей имеет тенденцию к увеличению от 3,55 до 4,04 мМ (I–II–III группы). Это может быть обусловлено постепенным возрастанием уровня паратгормона в период становления адаптации на фоне интенсивного роста плодов в последнюю треть беременности.

Концентрация фосфора в сыворотке крови крольчих III группы (при аналогичных показателях в I и II группах), для которой характерно перенапряжения регуляторных механизмов, была выше на 19%, что может свидетельствовать о снижении использования фосфора в

энергетических процессах организма сукрольных самок в условиях перенапряжения регуляторных систем в процессе адаптации к стресс-факторам (Calvo et al., 2015).

Уровень хлоридов в сыворотке крови животных I группы в среднем составлял 72,4 мМ. Во II и III группах - с гиперкератозом и аллопециями на опорной части стопы и геморрагическими изменениями - прослеживается тенденция его повышения, что может быть связано с развитием стресс-реакции у крольчих в состоянии беременности (Lüscher et al., 2020).

Изменения уровня ионов магния в сыворотке крови сукрольных крольчих носят характер тенденции к увеличению по мере развития напряжения в регуляторных системах организма, что указывает на снижение его использования в физиологических реакциях.

Концентрация основного внеклеточного катиона – натрия в I группе составляет в среднем 167 мМ. Во II группе он ниже чем в I на 26%, а в III - на 26 % ( $P < 0,05$ ). Согласно литературным данным, эти изменения могут свидетельствовать о перераспределении ионов натрия в организме для создания более высокого осмотического давления в эпидермисе и подлежащих тканях (Titze, 2014; Jantsch et al., 2015). Повышенный градиент концентрации данного иона стимулирует макрофаги и мононуклеарные фагоциты к хемотаксису в кожу. Под действием осмотического стресса макрофаги секретируют фактор роста эндотелия сосудов, вследствие чего развивается гиперплазия капилляров (Titze, 2014).

Под воздействием альдостерона ионы натрия при их концентрациях на уровне референтных значений стимулируют укрепление эндотелия сосудистой стенки и ограничивают выброс оксида азота, поэтому снижение концентрации данного катиона в сосудистом русле способствует возникновению геморрагических изменений в исследуемой области (Oberleithner et al., 2009).

У беременных самок без визуальных изменений эпидермиса на опорной части стопы (I группа) уровень ионов калия составлял 3,4 мМ, в следующих двух группах отмечена тенденция к его повышению, что может быть связано с увеличенной реабсорбцией ионов калия в нефронах у беременных крольчих по мере нарастания адаптационной нагрузки (Palmer et al., 2019).

Содержание цинка в сыворотке крови беременных самок I группы составляло 27 мкМ, у крольчих II группы (с появлением десквамации эпителия и признаками гиперкератоза на плантарной поверхности стоп задних конечностей) прослеживается его снижение на 23%, с последующим увеличением в III группе на 16%. Динамика изменений уровней цинка в данной серии опытов аналогична таковой у самцов-производителей, выявленной в первой серии.

Колебания уровня ионов меди в группах беременных самок были в пределах 12-14 мкМ вне зависимости от клинических проявлений на разных стадиях адаптации, что может свидетельствовать о стабильности метаболизма данного катиона.

Концентрация железа в сыворотке крови животных I группы составляла в среднем 24 мкМ; у сукрольных самок II группы (с оmozоленностью на плантарной поверхности стоп задних конечностей) она была ниже на 48%, а у аналогов III группы при появлении геморрагий повысилась на 37%. Выявленные тенденции изменений могут указывать на перераспределение ионов железа в организме беременных крольчих, а также на активное участие данного катиона при повышенной кератинизации исследуемой области во вторую стадию адаптации с последующим замедлением в третьей.

Параметры минерального обмена у лактирующих самок в зависимости от стадии адаптационного процесса приведены в табл. 3.

Содержание общего кальция в сыворотке крови лактирующих крольчих во всех исследуемых группах не имело существенных колебаний и составляло в среднем 4 мМ

Уровень неорганического фосфора в I группе лактирующих самок составляет в среднем 2,3 мМ. У животных, имевших структурные изменения на плантарной поверхности стоп, наблюдалась тенденция к снижению, что указывает на перераспределение данного микроэлемента в организме и, по-видимому, о стимуляции иммунных клеток (Kiersztejn et al., 1992; Calvo et al., 2015; Eisenberg et al., 2019).

Таблица 3. Показатели минерального обмена у лактирующих самок (M±m, n=5)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Общий кальций, мМ	4,24±0,10	4,22±0,16	4,01±0,37
Неорганический фосфор, мМ	2,26±0,39	1,60±0,23	1,67±0,01
Хлориды, мМ	104,2±3,2	105,4±1,6	108,7±1,1
Магний, мМ	1,69±0,09	1,91±0,13	1,74±0,24
Натрий, мМ	99,2±0,7	116,5±6,5*	106,6±2,2*
Калий, мМ	3,30±0,37	3,57±0,08	3,85±0,05*
Цинк, мкМ	26,45±3,55	29,45±4,47	21,95±3,55
Медь, мкМ	10,98±0,74	11,26±1,57	12,95±0,26*
Железо, мкМ	30,28±2,19	36,45±0,86*	34,85±4,75

По концентрации хлоридов и ионов магния не выявлено существенных межгрупповых различий.

Содержание натрия в крови у лактирующих крольчих I группы составляло в среднем 99 мМ, во II группе оно увеличилось на 17% ( $P<0,05$ ), а в III снизилось, но оставалось на 7,4% ( $P<0,05$ ) выше значений I группы. Известно, что при развитии напряжения регуляторных систем происходит накопление ионов натрия в межклеточном матриксе, что активизирует работу макрофагальной и мононуклеарной систем и способствует укреплению стенок капилляров (Titze et al., 2014; Neubert et al., 2019). Однако в стадию перенапряжения может развиваться недостаточность этих процессов.

Уровень калия в I группе составлял 3,3 мМ, в III группе отмечено его повышение на 7,7% ( $P<0,05$ ) относительно второй группы и на 16,5% в сравнении с I группой. Согласно литературным данным, увеличение содержания ионов калия в крови способствует снижению негативного действия окислительного стресса на ткани, испытывающие запредельную нагрузку (McCabe et al., 1994).

Уровень цинка в сыворотке крови у самок, не имеющих визуальных изменений на опорной части стоп, в период активного лактопоза в среднем составил 26 мкМ, при развитии аллопедий и кожного мозоля, наблюдалась тенденция к его повышению (на 11,3%), что может тормозить развитие окислительного стресса и воспалительной реакции (Tardy et al., 2020). В стадию геморрагических изменений в области стоп задних конечностей наблюдалась тенденция к снижению ионов цинка (на 25% относительно предыдущей группы).

Рост концентрации ионов меди в сыворотке крови у лактирующих самок был отмечен во II и особенно в III группе ( $P<0,05$ ). Увеличение концентрации ионов меди может свидетельствовать о их повышенной экскреции из печени и снижении использования в синтезе церулоплазмينا (Парахонский, 2015)

У самок с активным лактопозом, не имевших изменений на опорной поверхности стоп, уровень железа в сыворотке крови составлял в среднем 30 мкМ, в стадию напряжения регуляторных механизмов наблюдалось повышение его концентрации ( $P<0,05$ ), что может быть связано с активизацией механизмов гиперсенситизации за счёт возрастания количества и аффинности рецепторного аппарата в ретикулярных клетках, связывающих трансферрин (Матальгина, 2008). У животных с геморрагическими изменениями на плантарной поверхности стоп установлена тенденция к снижению уровня исследуемых катионов относительно предыдущей группы и к повышению относительно группы крольчих с минимальным напряжением регуляторных систем.

### Заключение

На основании полученных данных можно заключить, что адаптационные сдвиги в минеральном обмене при переводе кроликов на клеточное содержание с сетчатым полом обусловлены, как их половой принадлежностью, так и физиологическим состоянием. Наиболее значительные изменения в метаболизме микроэлементов установлены у самцов-производителей. У беременных самок на второй стадии адаптации (десквамация эпителия, гиперкератоз и оmozоленность) не наблюдалось существенных сдвигов по концентрации микро- и макроэлементов



в сыворотке крови, при развитии третьей стадии адаптации (геморрагические изменения в области кожного мозоля на плантарной поверхности стоп задних конечностей) снижалась концентрация ионов натрия относительно первой стадии, что может способствовать о стимуляции развития геморрагических изменений на опорной части стоп задних конечностей. У лактирующих самок во вторую стадию развития адаптации происходит повышение уровня натрия и железа, а в третью стадию возрастает содержание калия и снижается уровень ионов натрия и меди относительно животных в состоянии минимального напряжения регуляторных механизмов и без каких-либо видимых отклонений кожного покрова на плантарной поверхности стоп задних конечностей, что может свидетельствовать о снижении репарационных возможностей организма.

#### Список литературы

1. Акарачкова Е.С. Стрессоустойчивость и дефицит магния у женщин. // Проблемы женского здоровья. 2007. Том. 2. № 3. С. 68-73.
2. Баевский Р.М. Прогнозирование на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. 298 с.
3. Булгакова О.С. Анализ крови как показатель психофизиологического функционального состояния. // Вестник психофизиологии. 2019. № 1 (Приложение). С. 21-29.
4. Бяловский, Ю.Ю., Булатецкий, С.В., Глушкова, Е.П. Системная организация неспецифических механизмов адаптации в восстановительной медицине. Воронеж: изд. РИТМ, 2017. 406 с.
5. Жестяников А.Л. Дисбаланс некоторых макро- и микроэлементов как фактор риска заболеваний сердечно-сосудистой системы на севере // Экология человека. 2005. №9. С. 19-25.
6. Калугин Ю.А., Балакирев Н.А., Федорова О.И. Кальций и фосфор в организме кроликов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 96-102.
7. Корочкина Е.А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на продуктивные качества животных. // Генетика и разведение животных. 2016. № 3. С. 69-73.
8. Лобков В.Ю., Клетикова Л.В., Фролов А.И. Цинк в рационах телят. // Ветеринария и зоотехния. 2019. № 3. С. 53-60.
9. Лысов В.Ф., Максимов В.И. Основы физиологии и этологии животных. М.: КолосС, 2004. 248 с.
10. Мансурова Е.А., Ленченко Е.М. Динамика изменений гематологических показателей при желудочно-кишечных болезнях животных.// Аграрная наука. 2011. №6. С.30-32.
11. Маталыгина О. А. Питание беременных и кормящих женщин. Решенные и нерешенные проблемы. // Вопросы современной педиатрии. 2008. Том 7. № 5. С. 58-70.
12. Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. М.: Медицина, 2000. 544 с.
13. Парахонский А.П Роль меди в организме и значение её дисбаланса // Естественно-гуманитарные исследования. 2015. № 10. С. 73-84.
14. Похилюк Н.В. Содержание микроэлементов у жителей различных этнических групп Магаданской области. // Самарский научный вестник. 2015. № 4. С. 116-121.
15. Свирид В.Д., Батян А.Н. Функционирование гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы при акклимации к тепловому и холодному воздействию различной модальности. //Экологический вестник. 2016. № 1. С. 86-89.
16. Терентьева Н.Ю., Ермолаев В.А., Иванова С.Н. Параметры минерального обмена высокопродуктивных молочных коров. // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет, 2019. С. 203-207.
17. Файзуллина Р.А., Закирова А.М., Значение витаминно-минеральных комплексов в педиатрии. // Вестник современной клинической медицины. 2016. Том 9. вып. 2. С. 97-103.
18. Хлебникова А.Н., Петрунин Д.Д. Цинк, его биологическая роль и применение в дерматологии. // Вестник дерматологии и венерологии. 2013. № 6. С.100-116.
19. Чернова Л.Н. Эссенциальные макро- и микроэлементы в этиологии и патогенезе расстройства аутистического спектра у детей. // Микроэлементы в медицине. 2020. Том 21. № 4. С. 32-39.
20. Aleena J., Pragna P., Archana P.R., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Manimaran A., Beena V., Kurien E.K., Varma G., Bhatta R. Significance of metabolic response in livestock for adapting to heat stress challenges. // Asian J. Anim. Sci. 2016. Vol. 10. P. 224-234.
21. Berndt T., Kumar R. Phosphatonins and the regulation of phosphate homeostasis. // Ann. Rev. Physiol. 2007. Vol. 69. P. 341-359.

22. Bonaventura P, Benedetti G, Albarède F, Miossec P. Zinc and its role in immunity and inflammation. // *Autoimmun. Rev.* 2015. Vol. 14. nr 4. P. 277-285.
23. Calvo M.S., Lamberg-Allardt C.J. Phosphorus. // *Advances in nutrition.* 2015. Vol. 6. nr 6. P. 860-862.
24. Clase C.M., Carrero J.-J., Ellison D.H. et al. Potassium homeostasis and management of dyskalemia in kidney diseases: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Controversies Conference // *Kidney Internat.* .2020. Vol. 97. P. 42-61.
25. Di Franco M., Quinonez M., Dziedzic R.M., Spokoiny A.M., Cannon S.C. A highly-selective chloride microelectrode based on a mercuracarborand anion carrier. // *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9. P.1-12.
26. Eisenberg S.W.F., Ravesloot L., Koets A.P., Grünberg W. Effect of dietary phosphorus deprivation on leukocyte function in transition cows. // *J. Dairy Sci.* 2019. Vol. 102. nr 2. P. 1559-1570.
27. Elmadfa I., Meyer A. L. The role of the status of selected micronutrients in shaping the immune function. // *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets.* 2019. Vol.19. P. 1100-1115.
28. Fiorentini D., Cappadone C., Farruggia G., Prata C. Magnesium: biochemistry, nutrition, detection, and social impact of diseases linked to its deficiency. // *Nutrients.* 2021. Vol. 13. nr.4. P. 1136- ...??.
29. Han Li , Yifeng Zhang, Rong Li, Yan Wu, Dingran Zhang, Hongrun Xu, Yangdong Zhang, Zhili Q. Effect of seasonal thermal stress on oxidative status, immune response and stress hormones of lactating dairy cows. // *Anim. Nutr.* 2021. Vol. 7. nr 1. P. 216-223.
30. Hooper H.B., dos Santos Silva, P., de Oliveira S.A. et al. Acute heat stress induces changes in physiological and cellular responses in Saanen goats. // *Intern. J. Biometeor.* 2018. Vol. 62. P. 2257-2265.
31. Huskisson E., Maggini S., Ruf M. The role of vitamins and minerals in energy metabolism and well-being. // *J. Intern. Med. Res.* 2007. Vol. 5. P. 277-289.
32. Jantsch J., Schatz V., Friedrich D. et al. Cutaneous Na<sup>+</sup> storage strengthens the antimicrobial barrier function of the skin and boosts macrophage-driven host defense. // *Cell metabolism.* 2015. Vol. 21. nr3. P.493-501. Kierszstejn M., Chervu I., Smogorzewski M., Fadda G.Z., Alexiewicz J.M., Massry S.G. On the mechanisms of impaired phagocytosis in phosphate depletion. // *J. Amer. Soc. Nephrol.* 1992. Vol. 2. nr 10. P. 1484-1489.
33. Lüscher B.P., Vachel L., Ohana E., Muallem S. Cl<sup>-</sup> as a bona fide signaling ion. // *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* 2020. Vol. 318. Nr 1. P. 125-136.
34. McCabe R.D., Bakarich M.A., Srivastava K., Young D.B. Potassium inhibits free radical formation. // *Hypertension.* 1994. Vol. 24. nr 1. P. 77-82.
35. Neubert P., Schröder A., Müller D.N., Jantsch J. Interplay of Na<sup>+</sup> balance and immunobiology of dendritic cells. // *Front. Immunol.* 2019. Vol. 10. P. 1-6.
36. Oberleithner H., Callies C., Kusche-Vihrog K. Schillers H., Shahin V., Riethmüller C., MacGregor G.A., de Wardener H.E. Potassium softens vascular endothelium and increases nitric oxide release. // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 2009. Vol. 24. nr 8. P. 2829-2834.
37. Oda Y., Tu C.-L., Menendez A., Nguyen T., Bikle D.D. Vitamin D and calcium regulation of epidermal wound healing. // *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 2016. Vol. 164. P. 379-385.
38. Palmer B.F., Clegg D.J. Physiology and pathophysiology of potassium homeostasis: core curriculum. // *Am. J. Kidney Dis.* 2019. Vol. 74. Nr 5. P. 682-695.
39. Pathak R., Dhawan D., Pathak A. Effect of zinc supplementation on the status of thyroid hormones and Na, K, and Ca levels in blood following ethanol feeding. // *Biol. Trace Elem. Res.* 2011. Vol. 140. P. 208-214.
40. Pathak, P.K., Roychoudhury, R., Saharia, J. et al. Impact of seasonal thermal stress on physiological and blood biochemical parameters in pigs under different dietary energy levels. // *Trop. Anim. Health Prod.* 2018. Vol. 50. P. 1025-1032.
41. Rinnerthaler M., Richter K. The influence of calcium on the skin pH and epidermal barrier during aging. // *Curr. Probl. Dermatol.* 2018. Vol. 54. P. 79-86.
42. Serna J., Bergwitz C. Importance of dietary phosphorus for bone metabolism and healthy aging. // *Nutrients.* 2020. Vol. 12. nr 10. P. P. 1-44.
43. Shaikh A., Berndt T., Kumar R. Regulation of phosphate homeostasis by the phosphatonins and other novel mediators. // *Pediat. Nephrol.* 2008. Vol. 23. nr 8. P. 1203-1210.
44. Shcheynikov N., Son A., Hong J. H., Yamazaki O., Ohana E., Kurtz I., Shin D. M., Muallem, S.. Intracellular Cl<sup>-</sup> as a signaling ion that potently regulates Na<sup>+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> transporters. // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 2015. Vol. 112. Nr 3. P. E329-E337.
45. Spaggiari G., Setti M., Tagliavini S., Roli L, De Santis M.C., Trenti T., Rochira V., Santi D. The hypothalamic-pituitary-adrenal and -thyroid axes activation lasting one year after an earthquake swarm: results from a big data analysis. // *J. Endocr. Invest.* 2020. Vol. 29. nr 7. P. 1501-1513.
46. Strohm D., Bechthold A., Ellinger S., Leschik-Bonnet E., Stehle P., Hesecker H. Revised reference values for the intake of sodium and chloride. // *Ann. Nutr. Metab.* 2018. Vol. 72. P. 12-17.

47. Tardy A.-L., Pouteau E., Marquez D., Yilmaz C., Scholey A. Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: a narrative review of the biochemical and clinical evidence. // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. nr 1. P. 1-35.
48. Titze J. Sodium balance is not just a renal affair. // *Curr. Opin. Nephrol. Hypertens*. 2014. Vol. 23. nr 2. P.101-105.
49. Turck D., Bresson J.-L., Burlingame B. et al. Dietary reference values for potassium. // *EFSA J*. 2016. Vol. 14. nr 10. P. 1-56.
50. Weitzel J.M., Viergutz T., Albrecht D., Bruckmaier R., Schmicke M., Tuchscherer A., Koch F., Kuhla B. Hepatic thyroid signaling of heat-stressed late pregnant and early lactating cows. // *J. Endocr.* 2017. Vol. 234. nr 2. P. 129-141.
51. Winn N.C., Volk K.M., Hasty A.H. Regulation of tissue iron homeostasis: the macrophage "ferrostat". // *JCI Insight*. 2020. Vol. 5. Nr 2. P. e132964.
52. Yonei Y.G., Hadzaevja B. Calcium and anti-aging medicine. // *Glycat. Stress Res*. 2019. Vol. 6. nr 2. P. 113-125.
53. Young V.R., Erdman J.W.JR., King J.C. et al. Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and Fluoride. Washington (DC): Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. National Academies Press (US), Institute of Medicine (US). 1997.

### References (for publications in Russian)

1. Akarachkova E.S. Stressoustoichivost' i defitsit magniya u zhenshchin. // *Problemy zhenskogo zdorov'ya - Women's health problems*. 2007. 2(3): 68-73.
2. Baevskii R.M. *Prognozirovanie na grani normy i patologii* (Forecasting on the verge of norm and pathology). Moscow: Meditsina Publ., 1979. 298 p.
3. Bulgakova O.S. [Blood test as an indicator of psychophysiological functional state]. *Vestnik psikhofiziologii - Bulletin of psychophysiology*. 2019. 1(Appendix): 21-29.
4. Byalovskii Yu.Yu., Bulatetskii S.V., Glushkova E.P. *Sistemnaya organizatsiya nespetsificheskikh mekhanizmov adaptatsii v vosstanovitel'noi meditsine*. (Systemic organization of nonspecific adaptation mechanisms in restorative medicine). Voronezh: RITM Publ., 2017. 406 p.
5. Chernova L.N. [Essential macro- and microelements in the etiology and pathogenesis of autism spectrum disorder in children]. *Mikroelementy v meditsine - Trace elements in medicine*. 2020. 4: 32-39.
6. Faizullina R.A., Zakirova A.M. [The value of vitamin and mineral complexes in pediatrics]. *Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny - Bulletin of modern clinical medicine*. 2016. 9(2): 97-103.
7. Kalugin Yu.A., Balakirev N.A., Fedorova O.I. [Calcium and phosphorus in the organism of rabbits]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta - Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2016. 2: 96-102.
8. Khlebnikova A.N., Petrunin D.D. [Zinc, its biological role and application in dermatology]. *Vestnik dermatologii i venerologii - Bulletin of Dermatology and Venereology*. 2013. 6: 100-116.
9. Korochkina E.A. [Effect of trace elements zinc, cobalt, iodine, selenium, manganese, copper on the productive traits of animals]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh - Genetics and animal breeding* 2016. 3: 69-73.
10. Lobkov V.Yu., Kletikova L.V., Frolov A.I. [Zinc in calf diets]. *zinc v ratsionakh telyat*. // *Veterinariya i zootekhniya - Veterinary and Animal Science*. 2019. 3: 53-60.
11. Lysov V.F., Maksimov V.I. *Osnovy fiziologii i etologii zhivotnykh* (Fundamentals of Animal Physiology and Ethol ). Moscow: KolosS Publ., 2004. 248 p.
12. Mansurova E.A., Lenchenko E.M. [Dynamics of changes in hematological parameters in gastrointestinal diseases of animals]. *Agrarnaya nauka - Agrarian science*. 2011. 6: 30-32.
13. Matalygina O. A. [Nutrition for pregnant and lactating women. Resolved and Unresolved Issues]. *Voprosy sovremennoi pediatrii - Questions of modern pediatrics*. 2008. 7(5): 58-70.
14. Nazarenko G.I., Kishkun A.A. *Klinicheskaya otsenka rezul'tatov laboratornykh issledovaniy* (Clinical evaluation of laboratory results). Moscow: Meditsina Publ., 2000. 544 p.
15. Parakhonskii A.P. [The role of copper in the body and the significance of its imbalance]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya - Natural and humanitarian research*. 2015. 4: 73-84.
16. Pokhilyuk N.V. [The content of trace elements in residents of various ethnic groups of the Magadan region]. / *Samarskii nauchnyi vestnik - Samara Scientific Bulletin*. 2015. 4: 116-121.
17. Svirid V.D., Batyan A.N. [Functioning of the hypothalamic-pituitary-adrenal system during acclimation to heat and cold effects of various modalities]. *Ekologicheskii vestnik - Ecological Bulletin*. 2016. 1: 86-89.
18. Terent'eva N.Yu., Ermolaev V.A., Ivanova S.N. In: *Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya* (Agricultural science and education at the present stage of

development: experience, problems and solutions). Ul'yanovsk: Ul'yanovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet (Ulyanovsk State Agrarian University Publ.) 2019. P. 203-207.

19. Zhestyanikov A.L. [Imbalance of some macro- and microelements as a risk factor for diseases of the cardiovascular system in the north]. *Ekologiya cheloveka - Human Ecology*. 2005. 9: 19-25.

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.50-61

**State of mineral metabolism and adaptive shifts  
in rabbits when transfer to cage keeping technology**

Khokhlova N.S, Semenyutin V.V.

*Gorin Belgorod State Agrarian University, Mayskiy, Belgorod oblast, Russian Federation*

**ABSTRACT.** The aim was to establish the features of mineral metabolism in the process of adaptation of rabbits to the technology of cage keeping with a mesh floor, characterized by structural changes on the plantar surface of the hind limbs. Three series of experiments were carried out: on breeding males, pregnant and lactating females. In each series of experiments, the animals were divided into three groups according to the stages of development of the adaptation process: 1) rabbits with minimal tension of regulatory systems, without visual changes on the supporting part of the foot; 2) rabbits with epithelial desquamation, hyperkeratosis and calcification; 3) with the presence of hemorrhagic changes on the plantar surface of the feet. At the first stage in male-producers, the level of inorganic phosphorus, magnesium, potassium, zinc and copper decreased in the blood serum, which indicates the active use of these microelements when activating local immunity and enhancing metabolic processes in tissues with an increased physiological load. At the second stage, a decrease in total calcium and an increase in the level of magnesium, potassium, copper and a decrease in inorganic phosphorus and iron were found relative to the first stage of adaptation. In pregnant females in the third stage, the sodium level decreased, which stimulates the development of hemorrhagic changes on the plantar surface of the hind limbs. In lactating females, at the second (?так) stage of the adaptation process, the content of sodium and iron ions increased; at the third stage, an increase in the concentration of potassium, sodium, and copper ions was observed, which indicates a decrease in the reparative capabilities of the organism. In general, adaptive shifts in mineral metabolism during the transfer of rabbits to keeping in cages with a mesh floor are due to both their sex and physiological state; the most significant changes were observed in the male producers.

*Keywords: rabbits, mineral metabolism, cage keeping, adaptation, pregnancy, lactation.*

**Problemy biologii productivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology**, 2021, 3: 50-61.

Поступило в редакцию: 06.09.2021

Получено после доработки: 13.09.2021

**Хохлова Наталья Сергеевна**, зав. лаб., соиск., 8(920)562-51-57; nsk17@list.ru;  
**Семенютин Владимир Владимирович**, проф., д.б.н, 8(920)202-04-44; bbc.50@mail.ru