

**Обмен веществ и продуктивность**

УДК 636.2:591.05

doi: 10.15389/agrobio.2018.6.1169rus

**МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ, ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ВОСПРОИЗВОДСТВА У ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАЩИЩЕННОГО L-КАРНИТИНА****М.Г. ЧАБАЕВ, Р.В. НЕКРАСОВ, В.Н. РОМАНОВ**

Одна из важнейших составляющих биологически полноценного питания высокопродуктивного молочного скота — аминокислотно-витаминная обеспеченность организма. Установлена важная роль карнитина в углеводно-жировом и белковом обмене, участие в транспорте длинноцепочечных жирных кислот через мембрану митохондрий, в выведении из клеток потенциально токсичных метаболитов, в регуляции глюконеогенеза, а также в синтезе гормона роста. Однако отсутствуют рекомендации по дозам L-карнитина для новотельных коров с неодинаковой продуктивностью, а данные об эффекте скармливаемого карнитина часто противоречивы. В настоящей работе мы впервые сравнили действие разных доз защищенного L-карнитина (в виде препарата Carnipass™) и определили оптимальное количество защищенной формы L-карнитина — 45 мг/кг надоенного молока. Целью работы было изучение влияния L-карнитина в защищенной форме на молочную продуктивность, качество молока, интенсивность и направленность физиолого-биохимических процессов у новотельных коров (*Bos taurus taurus*) в период раздоя. Научно-хозяйственный опыт, включавший физиологический, проводили в 2014 году на ферме «Дубровицы» экспериментального хозяйства «Клёново-Чегодаево» (Московская обл.), производственную апробацию — в 2015-2016 годах в условиях ООО «Агрофирма Детчинское» (Малоярославецкий р-н, Калужская обл.). Научно-хозяйственный опыт проводили на четырех группах (по 8 гол.) голштигизированных черно-пестрых коров (I группа — контроль). Все животные получали основной рацион. Коровам во II, III и IV опытных группах за 21 сут до отела дополнительно скармливали 5,5; 8,3 и 11,1 г препарата Carnipass™ («Lohmann Animal Health GmbH & Co. KG», Германия), или 1,0; 1,5 и 2,0 г L-карнитина в перерасчете на активное вещество. После отела коровы в течение 120 сут получали 30; 45 и 60 мг защищенной формы карнитина на 1 кг надоенного молока. Среднесуточные удои у коров II, III и IV опытных групп составили соответственно 29,5, 31,6 и 31,4 кг, или на 0,9; 3,0 ( $p < 0,05$ ) и 2,8 кг ( $p < 0,05$ ) выше по сравнению с животными контрольной группы, а в перерасчете на молоко 4 % жирности — на 3,7; 10,7 ( $p < 0,01$ ) и 10,0 % ( $p < 0,01$ ). Количество соматических клеток в молоке от коров опытных групп составляло 217,5-242,0 тыс/см<sup>3</sup> и было на 50,0-74,5 тыс/см<sup>3</sup> ниже, чем в контроле. L-карнитин в разных дозах способствовал снижению затрат энергетических кормовых единиц на 3,8-10,8 %, переваримого протеина — на 3,6-10,5 %, концентрированных кормов — на 3,8-10,7 % при производстве 1 кг 4 % молока относительно контроля. При включении в рационы высокопродуктивных новотельных коров L-карнитина в количестве 45 и 60 мг/кг молока переваримость сухого вещества повысилась на 3,06-2,71 %, протеина — на 3,79 ( $p < 0,05$ ) и 3,90 % ( $p < 0,05$ ), жира — на 0,55-0,06 %, клетчатки — на 2,13-1,49 %, безазотистых экстрактивных веществ — на 3,41-2,66 % по сравнению с контролем. У коров, получавших L-карнитин, выявлено увеличение резервов белка в сыворотке крови за счет как альбуминов, так и глобулинов, при повышении белкового индекса на 5,4; 17,0 ( $p < 0,05$ ); 15,1 % ( $p < 0,05$ ), а также повышение активности ферментов переамирирования. В сыворотке крови у высокопродуктивных коров под действием препарата снижалась концентрация мочевины на 30,1-35,5 %, что тоже свидетельствует об улучшении азотистого обмена. Повышение содержания глюкозы на 4,7-9,8 %, а также снижение количества билирубина и холестерина соответственно на 1,4-4,9 и 3,9-8,8 % может указывать на улучшение функции печени. У коров, получавших карнитин в дозе 45 мг/кг молока, повышались показатели неспецифического иммунитета — фагоцитарный индекс, бактерицидная и лизоцимная активность соответственно на 0,85 ед. ( $p < 0,01$ ), 6,91 % ( $p < 0,001$ ) и 5,43 % ( $p < 0,001$ ). Во время производственной апробации при использовании защищенной формы L-карнитина в дозе 45 мг/кг молока установлено увеличение надоев на 11,6 % ( $p < 0,05$ ) в перерасчете на молоко 4 % жирности со снижением затрат кормов на единицу продукции, что согласуется с результатами научно-хозяйственного опыта. Выявлено также уменьшение индекса осеменения на 0,5 ед., сокращение сервис-периода на 24 сут. Прибыль от реализации молока, полученного от коров в период раздоя, при скармливании защищенного карнитина (45 мг/кг надоенного молока) составила 3808 руб/гол.

**Ключевые слова:** высокопродуктивные коровы, кормовые добавки, L-карнитин, пищеварение, переваримость, обмен веществ, иммунитет, молочная продуктивность, воспроизводство.

Наряду с оптимизацией кормления (1), при совершенствовании

нормирования рационов (2) целесообразно использовать методы, которые способствуют улучшению функций пищеварительного тракта, печени и других систем, обуславливающих повышение эффективности обменных процессов у высокопродуктивных коров (3) и использование потенциала их продуктивности (4).

Известно, что одна из важнейших составляющих биологически полноценного питания животных и человека — аминокисотно-витаминная обеспеченность организма (5, 6). Доказана важная роль реакций метилирования в реализации генетической информации (7), в иммунных процессах, при стрессах, физических нагрузках (8), детоксикации организма (9), установлено липотропно-гепатопротекторное действие метилсодержащих соединений (10, 11). Острый дефицит метилсодержащих метаболитов у высокопродуктивного молочного скота связан с их недостаточным содержанием в потребляемых кормах (12, 13). Даже при обогащении рационов высокопротеиновыми добавками (соевый, рапсовый, подсолнечный жмыхи) требуются дополнительные источники метилсодержащих соединений в виде метионина — первой лимитирующей аминокислоты для жвачных животных (14, 15), а также холина, бетаинов, витаминов и минеральных веществ, участвующих в синтезе жизненно важных соединений в процессах переметилирования (16).

В настоящее время значительное внимание уделяется карнитину, который синтезируется в животном организме при достаточной обеспеченности лизином, метионином, холином, витаминами С, В<sub>3</sub>, В<sub>9</sub>, В<sub>12</sub>, В<sub>15</sub>, кобальтом, железом (17, 18). Установлена важная роль карнитина в углеводно-жировом и белковом обмене (19, 20). Карнитин участвует в транспорте длинноцепочечных жирных кислот через мембрану митохондрий (21), в выведении из клеток потенциально токсичных метаболитов, в регуляции глюконеогенеза (22), а также в синтезе гормона роста (23, 24). L-Карнитин применяется в медицине для поддержания нормальной работы сердечно-сосудистой системы (25), укрепления сердечной мышцы, контроля содержания холестерина в крови, оказания нейрозащитного эффекта, повышения иммунитета, предупреждения атеросклероза и инфаркта миокарда, восстановления организма после нагрузок и стрессов (26), регенерации тканей органов, повышения интенсивности роста мышечной ткани (анаболическое действие) (27, 28). Он ингибирует накопление арахидоновой кислоты в фосфолипидах тромбоцитов (29), участвует в детоксикации организма (30), широко используется при болезнях почек и печени (31), острых инфекционных заболеваниях, во время беременности и лактации (32, 33), а также для улучшения спермопродукции у сельскохозяйственных животных (34, 35).

У высокопродуктивных коров период после отела связан со значительной перестройкой и усилением обменных процессов (36, 37). При этом для обеспечения синтеза молока расходуются липопротеиды тканей, что приводит к снижению живой массы новотельных коров, возникновению кетозов, гепатозов и других заболеваний (38), существенному недобору молока, уменьшению длительности продуктивного использования животных, ухудшению функции воспроизводства (7).

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют об эффективности применения защищенного L-карнитина в рационах крупного рогатого скота, однако отсутствуют рекомендации по дозам L-карнитина для новотельных коров с неодинаковой продуктивностью. Кроме того, данные о влиянии дополнительно скармливаемого карнитина на организм часто противоречивы (39), что требует дальнейшего детального изучения

физиологического и продуктивного действия разных доз защищенного L-карнитина при кормлении скота.

В настоящей работе мы впервые сравнили разные дозы защищенного L-карнитина (в виде препарата Carnipass™) в рационах новотельных высокопродуктивных коров по влиянию на переваримость и использование питательных веществ кормов, рубцовый метаболизм, морфологические, биохимические, иммунологические показатели крови, молочную продуктивность и показатели качества молока. В результате установлена и рекомендована оптимальная доза защищенной формы L-карнитина — 45 мг/кг надоенного молока.

Нашей целью было изучение влияния разных доз защищенного L-карнитина на молочную продуктивность, качественные показатели молока, интенсивность и направленность физиолого-биохимических процессов у новотельных высокопродуктивных коров в период раздоя.

*Методика.* Для научно-хозяйственного и физиологического опытов (ферма «Дубровицы», ЭХ «Клёново-Чегодаево», п. Дубровицы, Московская обл., 2014 год) сформировали четыре группы чистопородных голшти-низированных черно-пестрых коров (*Bos taurus taurus*) 2-й и 3-й лактаций (по 8 гол. в группе), подобранных по принципу аналогов с учетом количества отелов, живой массы, молочной продуктивности за предшествующую лактацию. Подопытные животные в I (контрольной) и II-IV (опытных) групп получали основной рацион, составленный в соответствии с нормами (40). Животные из II, III и IV групп за 21 сут до отела с комбикормом дополнительно получали соответственно 5,5; 8,3 и 11,1 г препарата Carnipass™ («Lohmann Animal Health GmbH & Co. KG», Германия) с содержанием активного вещества 18 %, или 1,0; 1,5 и 2,0 г защищенного L-карнитина в перерасчете на активное вещество. После отела коровы в течение 120 сут получали 30; 45 и 60 мг защищенной формы L-карнитина на 1 кг надоенного молока.

Потребление кормов учитывали по разности между розданным количеством и остатками. Пробы молока отбирали от каждой коровы ежесуточно. Каждая среднесуточная проба для анализа была пропорциональна удою (по ГОСТ 13928-84). Количественное содержание белка, жира, молочного сахара, Са, Р в образцах оценивали на анализаторе Bentley 150 («Bentley Instruments, Inc.», США) по ГОСТ 5867-90, ГОСТ 25179-90, ГОСТ 3626-73, ГОСТ 3625-84 и ГОСТ 3624-92. При оценке химического состава молока определяли жирность кислотным методом Гербера, белок — методом формольного титрования, сухое вещество — расчетным методом, количество соматических клеток — по ГОСТ 23453-90. Продуктивность каждой коровы за период опыта, а также в среднем по группе животных оценивали как по количеству молока натуральной жирности, так и в пересчете на молоко 4 % жирности. Затраты кормов (энергетических кормовых единиц, переваримого протеина и концентратов) определяли, исходя из фактического потребления в расчете на 1 кг молока 4 % жирности.

Физиологический балансовый опыт по изучению переваримости питательных веществ проводили на животных I, III и IV групп через 90 сут после отела (из каждой группы отбирали по 3 коровы со средними показателями продуктивности). В течение балансового опыта коровы находились в индивидуальных стойлах, оборудованных кормушками и приспособлениями для сбора кала и мочи. Период учета составлял 5 сут. Среднесуточные пробы кормов, их остатков, кала и мочи отбирали и анализировали по общепринятым зоотехническим методикам (41).

В конце научно-хозяйственного опыта в образцах крови, взятых у

животных из каждой группы ( $n = 3$ ) через 3 ч после кормления, определяли концентрацию общего белка и его фракций, содержание глюкозы, мочевины, аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспартатаминотрансферазы (АсАТ), билирубина, щелочной фосфатазы, холестерина, кальция, фосфора с использованием автоматического биохимического анализатора Chem Well («Awareness Technology, Inc.», США). Бактерицидную активность оценивали фотонейлометрически, лизоцимную активность — по В.И. Мутовину (42), фагоцитарную активность — по поглощающей и переваривающей способности клеток крови.

У высокопродуктивных коров для изучения рубцового метаболизма отбирали рубцовое содержимое зондом спустя 3 ч после кормления с дальнейшим определением рН, содержания летучих жирных кислот (ЛЖК), азота аммиака, массовой доли простейших и бактерий. Кислотность определяли рН-метром Аквилон-410 («НПК Аквилон», Россия), общее количество летучих жирных кислот — методом паровой дистилляции в аппарате Маркгама, аммиачный азот — микродиффузным методом по Конвею, общий азот — по Кьельдалю после осаждения трихлоруксусной кислотой (43). Биомассу простейших и бактерий оценивали методом дифференцированного центрифугирования.

Для производственной апробации (ООО «Агрофирма Детчинское», Малоярославецкий р-н, Калужская обл., 2015-2016 годы) из коров краснопестрой породы сформировали две группы по 25 гол. в каждой. Коровам опытной группы скармливали карнитин в защищенной форме за 21 сут до отела (доза  $8,3 \text{ г} \cdot \text{гол.}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$ ) и на 120-е сут после отела (доза 45 мг/кг надоенного молока) с комбикормом в дополнение к основному сбалансированному солохозийственному рациону. Животные контрольной группы карнитин не получали.

Оценивали молочную продуктивность, качественные характеристики молока, затраты кормов по вышеописанным методикам. Животных взвешивали в утренние часы до раздачи кормов в разные физиологические периоды: перед запуском, за 3-5 сут до отела, через 5 сут, 1, 2, 3, 4 мес после отела. Определяли индекс осеменения и сервис-период. По результатам зоотехнического учета в течение апробации рассчитывали экономическую целесообразность скармливания защищенного L-карнитина в питании высокопродуктивного молочного скота.

Данные обрабатывали биометрически с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Вычисляли среднеарифметические величины ( $M$ ), стандартные ошибки средних ( $\pm \text{SEM}$ ), уровень значимости ( $p$ ). При  $p < 0,001$  результаты исследований считали высокодостоверными, при  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$  — достоверными (44).

*Результаты.* В научно-хозяйственном опыте потребление питательных веществ и энергии коровами опытных групп, получавших разные дозы защищенного L-карнитина, было сравнительно одинаковым и обеспечило высокую молочную продуктивность (табл. 1).

При скармливании в составе рациона защищенного L-карнитина в количестве 30; 45 и 60 мг/кг надоенного молока среднесуточные удои у коров II, III и IV опытных групп составляли 29,5; 31,6 и 31,4 кг, то есть были на 0,9; 3,0 ( $p < 0,05$ ) и 2,8 кг ( $p < 0,05$ ) больше по сравнению с контролем. При пересчете на молоко 4 % жирности разница составляла соответственно 3,7; 10,7 ( $p < 0,01$ ) и 10,0 % ( $p < 0,01$ ). Содержание молочного жира, белка и лактозы в суточном молоке у коров опытных групп было больше соответственно на 3,6-10,7; 3,4-11,0 и 4,0-10,7 % по сравнению с контролем. Количество соматических клеток в молоке коров опытных

групп в среднем составило 217,5-242,0 тыс/см<sup>3</sup> и было ниже, чем в контроле, на 50,0-74,5 тыс/см<sup>3</sup>, не превышая нормативов для высшего сорта. Содержание сухого вещества, жира, белка, лактозы, кальция и фосфора в молоке у коров из контрольной и опытных групп оказалось сравнительно одинаковым. Использование разных доз защищенного L-карнитина способствовало снижению затрат: энергетических кормовых единиц — на 3,8-10,8 %, переваримого протеина — на 3,6-10,5 %, концентратов — на 3,8-10,7 % при производстве 1 кг 4 % молока относительно контроля.

**1. Молочная продуктивность и показатели качества молока у коров голштинизированной черно-пестрой породы в первые 4 мес лактации при включении в рацион препарата Carnipass™ (M±SEM, ферма «Дубровицы», ЭХ «Клёново-Чегодаево», 2014 год)**

Показатель	Группа			
	I (контроль) (n = 8)	II (n = 8)	III (n = 8)	IV (n = 8)
Количественные показатели				
Количество натурального молока, кг	28,60±0,63	29,50±0,81	31,60±0,72*	31,40±0,73*
Количество жира в молоке, %	4,20±0,19	4,22±0,21	4,21±0,17	4,21±0,17
Количество 4 % молока, кг	30±0,47	31,1±0,53	33,2±0,65**	33,0±0,64**
Общее количество натурального молока, кг	3432	3540	3792	3768
Общее количество 4 % молока, кг	3600	3732	3984	3960
Показатели качества молока				
Сухое вещество, %	14,12±0,21	14,16±0,24	14,19±0,27	14,20±0,31
Белок, %	3,30±0,36	3,31±0,27	3,32±0,19	3,31±0,34
Лактоза, %	4,82±0,03	4,82±0,02	4,82±0,03	4,82±0,02
Соматические клетки, тыс/см <sup>3</sup>	292,0±70,5	242,0±67,7	217,5±65,4	225,0±64,6
Кальций, %	0,163±0,01	0,162±0,01	0,163±0,01	0,163±0,01
Фосфор, %	0,950±0,004	0,960±0,005	0,950±0,004	0,950±0,004

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». Продолжительность опыта 120 сут.  
\*, \*\* Различия с контролем статистически значимы соответственно при  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$ .

При скармливании высокопродуктивным новотельным коровам в составе кормовых рационов с защищенным L-карнитином в дозах 45 и 60 мг/кг молока переваримость сухого вещества повысилась на 3,06-2,71 %, протеина — на 3,90-3,79 %, жира — на 0,55-0,06 %, клетчатки — на 2,13-1,49 %, безазотистых экстрактивных веществ — на 3,41-2,66 % по сравнению с контролем (табл. 2). Карнитин способствовал улучшению отложения азота на 3,1-3,3 г относительно контроля и обеспечивал достоверные различия в переваримости протеина ( $p < 0,05$ ).

**2. Коэффициенты переваримости питательных веществ кормов (%) у коров голштинизированной черно-пестрой породы при включении в рацион препарата Carnipass™ (M±SEM, ферма «Дубровицы» ферма «Дубровицы», ЭХ «Клёново-Чегодаево», 2014 год)**

Показатель	Группа		
	I (контроль, n = 3)	III (n = 3)	IV (n = 3)
Сухое вещество	72,20±1,24	75,30±1,18	75,00±1,19
Органическое вещество	74,60±1,16	77,60±1,19	77,20±1,23
Протеин	70,10±1,06	74,10±0,12*	73,90±1,14*
Жир	70,30±1,09	70,90±1,27	70,40±1,23
Клетчатка	61,80±1,21	64,90±1,21	63,30±1,35
БЭВ	74,50±1,14	77,90±1,34	77,10±1,37

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». БЭВ — безазотистые экстрактивные вещества.

\* Различия с контролем статистически значимы при  $p < 0,05$ .

Значения рН рубцового содержимого в целом находились в пределах 6,65-6,79. Концентрация аммиака у особей из II, III и IV групп составляла соответственно 17,56; 18,92 и 18,98 мг%, что было на 0,37; 1,36 и 1,79 мг% выше контроля; образование ЛЖК — 9,34; 11,22 и 11,27 ммоль/100 мл, или на 0,21; 2,09 и 2,14 % выше контроля. Увеличение содержания рубцовых

метаболизмов было обусловлено усилением микробиальных процессов в желудочно-кишечном тракте и повышением количества простейших в рубце на 6,7-36,6 %, бактерий — на 9,1-31,8 % по сравнению с соответствующими показателями в контроле. Столь значительные изменения в направленности микробиальных процессов в пищеварительном тракте, способствующие лучшему перевариванию кормов, вероятно, были следствием частичной доступности активного вещества L-карнитина при его неполной защите в такой форме.

Повышение перевариваемости питательных веществ кормов под влиянием карнитина способствовало увеличению обменного фонда веществ организма и оказало положительное влияние на белковый, углеводно-жировой и минеральный обмен (табл. 3). Об улучшении азотистого обмена у животных, получавших L-карнитин, свидетельствовало увеличение содержания общего белка в сыворотке крови (на 1,5-4,6 % по сравнению с контролем) и белкового индекса (на 9,4-17,0 %), кроме того, повышалась активность ферментов переаминирования (АлАТ — на 8,1-11,5 %, АсАТ — на 4,9-7,6 %). Содержание мочевины снижалось на 30,1-35,5 %, наименьший показатель отмечали в сыворотке крови у коров III опытной группы, получавших 45 мг L-карнитина/кг молока.

### 3. Биохимические показатели крови и неспецифического иммунитета у коров голштинизированной черно-пестрой породы при включении в рацион препарата Carnipass™ (M±SEM, ферма «Дубровицы», ЭХ «Клёново-Чегодаево», 2014 год)

Показатель	Группа			
	I (контроль) (n = 3)	II (n = 3)	III (n = 3)	IV (n = 3)
Общий белок, г/л	82,70±5,86	83,80±4,92	86,10±6,17	85,90±5,98
Альбумины, г/л	28,60±1,47	30,70±1,54	32,80±1,76	32,60±1,81
Глобулины, г/л	54,10±3,24	53,10±4,23	53,30±4,89	53,30±5,14
Коэффициент А/Г	0,53±0,08	0,57±0,10	0,62±0,09*	0,61±0,11*
Мочевина, ммоль/л	4,80±0,98	3,70±0,65	3,60±0,72	3,60±0,76
АлАТ, МЕ/л	20,10±3,16	21,70±2,87	22,40±3,47	22,20±3,54
АсАТ, МЕ/л	85,10±5,43	89,30±6,07	91,60±6,75	91,30±6,72
Глюкоза, ммоль/л	3,20±0,23	3,30±0,18	3,50±0,12	3,40±0,15
Билирубин, ммоль/л	4,70±0,19	4,60±0,15	4,50±0,12	4,50±0,09
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	98,40±18,34	96,50±16,67	83,70±17,92	84,01±19,17
Холестерин, ммоль/л	4,80±0,21	4,60±0,32	4,30±0,16	4,40±0,18
Кальций, ммоль/л	2,40±0,13	2,50±0,28	2,80±0,31	2,70±0,26
Фосфор, ммоль/л	1,50±0,15	1,50±0,19	1,60±0,18	1,60±0,18
Бактерицидная активность, %	78,40±1,12	79,10±0,11	85,30±0,64***	85,20±0,78***
Лизоцимная активность, %	35,20±2,34	35,90±2,65**	40,60±2,86**	40,50±2,92**
Фагоцитарный индекс	3,70±0,12	3,90±0,16**	4,60±0,11**	4,50±0,15**
Фагоцитарное число	2,90±0,11	3,20±0,19	3,50±0,17	3,50±0,13
Фагоцитарная активность, %	66,20±4,24	66,90±4,87	68,30±4,52	68,40±4,63

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика». А/Г — соотношение количества альбуминов и глобулинов, АлАТ — аланинаминотрансфераза, АсАТ — аспаратаминотрансфераза.

\*, \*\*, \*\*\* Различия с контролем статистически значимы соответственно при  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$ .

Повышение количества глюкозы на 4,7; 9,8 и 8,2 % по сравнению с контролем в сыворотке крови у животных II, III и IV групп могло свидетельствовать об улучшении энергетической обеспеченности организма коров, получавших карнитин. Концентрация щелочной фосфатазы уменьшалась соответственно на 2,5; 8,6 и 8,3 %. Содержание общего билирубина в сыворотке крови было ниже на 1,4; 4,7 и 4,9 %, холестерина — на 3,9; 8,8 и 8,2 %, что может свидетельствовать об усилении липидного обмена и функций печени. У коров, получавших карнитин в дозе 45 мг/кг молока, повышались показатели неспецифического иммунитета — фагоцитарная, бактерицидная и лизоцимная активность (на 2,08; 6,91 и 5,43 %).

На основании сравнительного анализа биохимических и иммунологических показателей, свидетельствующих об улучшении метаболических процессов в организме, следует считать оптимальным обогащение рационов

L-карнитином в защищенной форме в дозе 45 мг/кг надоенного молока. В научно-производственном опыте было показано, что применение L-карнитина в указанной дозе способствовало повышению среднесуточного удоя натурального и 4 % молока соответственно на 10,6 и 11,6 % по сравнению с показателями у животных контрольной группы ( $p < 0,05$ ) (табл. 4). Высокая молочная продуктивность у лактирующих коров, установленная при производственной апробации с использованием указанной дозы защищенного L-карнитина, согласуется с результатами, полученными в научно-хозяйственном опыте. При этом мы не выявили значительных различий в содержании жира, белка, лактозы в молоке у подопытных животных.

**4. Продуктивность и состав молока у коров голштинизированной черно-пестрой породы при производственной апробации с включением в рацион препарата Carnipass™ ( $M \pm SEM$ , ООО «Агрофирма Детчинское», Малоярославецкий р-н, Калужская обл., 2015-2016 годы)**

Показатель	Группа	
	I (контроль) ( $n = 25$ )	II ( $n = 25$ )
Среднесуточный удой, кг	30,30±0,58	33,50±0,69*
Среднесуточный удой, % к контролю	100,0	110,6
Содержание жира в молоке, %	4,08±0,19	4,12±0,21
Содержание жира в молоке, % к контролю	100,0	101,0
Среднесуточный удой молока 4 % жирности, кг	30,90±0,53	34,50±0,65*
Среднесуточный удой молока 4 % жирности, % к контролю	100,0	111,6
Общий удой молока 4 % жирности, кг	3708	4140
Общий удой молока 4 % жирности, % к контролю	100,0	111,6
Белок, %	3,24±0,23	3,30±0,31
Белок, % к контролю	100,0	101,9
Лактоза, %	4,74±0,02	4,76±0,02
Лактоза, % к контролю	100,0	100,4

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика».

\* Различия с контролем статистически значимы при  $p < 0,05$ .

Затраты энергетических кормовых единиц, переваримого протеина и концентратов при производственной апробации у животных, получавших карнитин, были ниже контроля соответственно на 12,2, 11,8 и 11,4 %.

**5. Живая масса и ее изменение после отела у коров голштинизированной черно-пестрой породы при производственной апробации и включении в рацион препарата Carnipass™ ( $M \pm SEM$ , ООО «Агрофирма Детчинское», Малоярославецкий р-н, Калужская обл., 2015-2016 годы)**

Показатель	Группа	
	I (контроль) ( $n = 25$ )	II ( $n = 25$ )
Живая масса, кг:		
до запуска	596,0±24,7	601,0±24,8
до отела	676,0±25,9	683,0±26,1
после отела		
через 5 сут	575,0±22,6	581,0±23,9
через 1 мес	558,1±22,8	569,4±23,1
через 2 мес	546,4±22,5	561,1±22,6
через 3 мес	545,1±21,9	563,0±23,5
через 4 мес	548,5±22,5	574,2±23,4
Изменение массы после отела, кг:		
за 1 мес	-16,9±1,5	-11,6±1,2
за 2 мес	-11,7±1,3	-8,3±1,2
за 3 мес	-1,3±0,7	+1,9±0,8
за 4 мес	+3,4±0,8	+11,2±1,1

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика».

В 1-й мес после отела в контрольной и опытной группах отмечали максимальную потерю живой массы (16,9 и 11,6 кг) (табл. 5). За 2-й мес лактации потеря живой массы у коров, получавших карнитин, снизилась в меньшей степени, чем у их аналогов из контрольной группы ( $p < 0,05$ ). За период раздоя живая масса у коров в контрольной группе понизилась на

29,9 кг от первоначальной, в опытной группе этот показатель был меньше, составив 19,9 кг, при разнице 2,9 % ( $p < 0,05$ ). На 3-й мес лактации отмечали среднесуточный прирост живой массы на 63 г у коров из опытной группы по сравнению с контролем, что в целом свидетельствует об улучшении использования питательных веществ и энергии кормов при включении L-карнитина в рацион.

При добавлении к рациону защищенного L-карнитина в количестве 45 мг/кг молока за два половых цикла стельных коров стало на 16 % больше, что выразилось также в улучшении индекса осеменения (он уменьшился на 0,5 ед.) и сокращении сервис-периода на 24 сут. За время производственной апробации дополнительная прибыль от реализации молока составила 3808 руб/гол. при использовании кормовой добавки Carnipass™ в количестве 8,3 г (доза L-карнитина — 45 мг/кг надоенного молока в перерасчете на активное вещество).

Это согласуется с данными других авторов. Так, при добавлении в рационы коров голштинизированной красно-пестрой породы препарата Carnipass™ (15 г · гол.<sup>-1</sup> · сут.<sup>-1</sup>, ЗАО «Русь», Тимашевский р-н, Краснодарский край) получены аналогичные результаты по молочной продуктивности (45, 46). D.W. LaCount с соавт. (31) установили, что при добавке карнитина (около 6 г · гол.<sup>-1</sup> · сут.<sup>-1</sup>) к рациону, содержащему 3 % сырого жира, увеличивалась его концентрация в плазме крови и содержание в тканях печени коров, а также улучшалась усвояемость липидов. В.Н. Романовым с соавт. (47) доказано положительное физиологическое и продуктивное действие карнитина на молодняк крупного рогатого скота (15 г · гол.<sup>-1</sup> · сут.<sup>-1</sup>), в том числе улучшение метаболических процессов в преджелудках, повышение переваримости питательных веществ, увеличение ретенции азота, что в целом обуславливало большую интенсивность роста животных. В исследованиях Ю.П. Фомичева с соавт. (48) скармливание комплекса биологически активных веществ — L-карнитина (Carnipass™), холинхлорида и дигидрокверцетина (Экостимул-2) в период сухостоя и в начале лактации не только позволяло профилактировать кетоз у высокопродуктивных коров, но и оказало положительное влияние на их молочную продуктивность и сохранность. Известно, что карнитин играет важную роль в энергетическом обмене. При изучении эффекта от дополнительно скармливаемых препаратов карнитина показано, что он доступен для жвачных животных даже в незащищенной форме. Карнитин также обеспечивает защиту от токсического действия аммиака, которое наблюдается при потреблении небелкового азота или кормов с высоким содержанием растворимого азота (6).

Таким образом, использование защищенной формы карнитина в рационе высокопродуктивных коров в наиболее важные периоды их физиологического цикла — сухостойный и новотельный способствует интенсификации обмена веществ за счет улучшения микробиальных процессов в преджелудках и повышения переваримости кормов. Скармливание карнитина усиливает защитные функции организма коров, улучшает азотистый обмен, положительно сказывается на белковом, углеводно-жировом и минеральном обмене, способствует росту молочной продуктивности и показателей воспроизводства. Оптимальная доза защищенной формы L-карнитина в рационах новотельных коров — 45 мг активного вещества в расчете на 1 кг полученного молока.



## EFFECTS OF DIFFERENT LEVELS OF PROTECTED L-CARNITINE ON MILK PRODUCTION, METABOLISM, AND REPRODUCTIVE PARAMETERS OF HIGH-PERFORMANCE DAIRY COWS

*M.G. Chabaev, R.V. Nekrasov, V.N. Romanov*

*Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry*, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail nek\_roman@mail.ru (✉ corresponding author), chabaev.m.g-1@mail.ru, romanowiktor@mail.ru  
ORCID:

Chabaev M.G. orcid.org/0000-0003-1889-6063

Nekrasov R.V. orcid.org/0000-0003-4242-2239

Romanov V.N. orcid.org/0000-0001-6626-6619

The authors declare no conflict of interests

Received March 23, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.6.1169eng

### Abstract

Amino acid and vitamin provision is known to be crucially vital in the nutrition of highly productive dairy cattle. Currently, important role of carnitine in carbohydrate, fat and protein metabolism has been established, including the transport of long-chain fatty acids through the mitochondrial membrane, excretion of potentially toxic metabolites from cells, regulation of gluconeogenesis, and synthesis of growth hormone. However, there are no recommendations on dietary L-carnitine dosage for newly calved cows with different milk yields. Moreover, data on the effect of dietary carnitine are often contradictory. In this paper, we for the first time compare effective postpartum doses of Carnipass™ and determine optimal amount of protected of L-carnitine (45 mg per 1 kg of produced milk). The aim of our research was to study the effect of different doses of dietary L-carnitine in a protected form on milk productivity, quality, intensity and peculiarities of physiological and biochemical processes in cows during early post calving period. Experiments, including physiological ones, were carried out on four groups of Holstein black-motley cows (8 cows per each, Dubrovitsy unit of Klenovo-Chegodaevo experimental farm, Moscow Province, 2014). Farm tests (Agrofirma Detchinskaya, Maloyaroslavetsky Redion, Kaluga Province) was conducted in 2015-2016. All animals ate a basic ration. The cows of experimental groups II, III and IV additionally received dietary Carnipass™ (Lohmann Animal Health GmbH & Co. KG, Germany), 5.5, 8.3 and 11.1 g equal to 1.0, 1.5 and 2.0 g of L-carnitine, respectively, 21 days before calving and 30, 45 and 60 mg of L-carnitine per 1 kg of produced milk for 120 days after calving. The average daily milk yield in cows of groups II, III and IV was 29.5, 31.6 and 31.4 kg, or by 0.9, 3.0 ( $p < 0.05$ ) and 2.8 kg ( $p < 0.05$ ) higher compared to the control group. When recalculated for milk with 4 % fat content, this index was 3.7, 10.7 ( $p < 0.01$ ) and 10.0 % higher ( $p < 0.01$ ). The somatic cell counts in the milk of experimental cows were from  $217.5 \times 10^3$  to  $42.0 \times 10^3$  per  $1 \text{ cm}^3$ , which is  $50.0-74.5 \times 10^3/\text{cm}^3$  lower than in the control group. The use of L-carnitine at different doses allows reduction of costs per 1 kg of 4 %-fat milk by 3.8-10.8 % feed energy units, 3.6-10.5 % digestible protein, and 3.8-10.7 % concentrated feed. Dietary L-carnitine (45 and 60 mg/kg of milk) increases digestibility of dry matter by 3.06-2.71 %, of proteins by 3.79 ( $p < 0.05$ ) and 3.90 % ( $p < 0.05$ ), respectively, of fat by 0.55-0.06 %, of cellulose by 2.13-1.49 %, and of nitrogen-free extractive substances by 3.41-2.66 %. In cows fed with L-carnitine, blood protein reserves increase due both to albumins and globulins, and protein index is 5.4, 17.0 ( $p < 0.05$ ) and 15.1 % ( $p < 0.05$ ) higher. Activity of transamination enzymes, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase, also rises. The blood concentration of urea decreases by 30.1-35.5 %, which also indicates better nitrogen metabolism. Increase in glucose content by 4.7-9.8 %, and decrease in the amount of bilirubin and cholesterol by 1.4-4.9 and 3.9-8.8 %, respectively, may indicate better function of the liver. At a dosage of 45 mg/kg L-carnitine improves parameters of non-specific immunity. Phagocytic index, bactericidal and lysozyme activity increase by 0.85 units ( $p < 0.01$ ), 6.91 % ( $p < 0.001$ ) and 5.43 % ( $p < 0.001$ ), respectively. In commercial farm tests (Detchinskaya Agro-Firm, Maloyaroslavetskii Region, Kaluga Province, 2015-2016) L-carnitine in a dose of 45 mg/kg has increased milk yield by 11.6 % ( $p < 0.05$ ), as recalculated for 4 %-fat milk, with a decrease in costs per unit of milk production. This is in line with our experimental data. Insemination index is also 0.5 units less, and the service period is 24 days shorter. The profit due to use of protected dietary L-carnitine (45 mg/kg) was 3808 rubles per cow.

Keywords: high producing dairy cows, feed additives, L-carnitine, digestion, digestibility, metabolism, immunity, milk production, reproduction.

### REFERENCES

1. Agafonov V.N., Kal'nitskii B.D., Kharitonov E.L., Kharitonov L.V. *Fiziologicheskie potrebnosti v*

- energeticheskikh i plasticheskikh substratakh i normirovanie pitaniya molochnykh korov s uchetom dostupnosti pitatel'nykh veshchestv* [Physiological needs for energy and plastic substrates and the regulation of the nutrition of dairy cows with regard to the availability of nutrients]. Borovsk, 2007: 130 (in Russ.).
2. *Normy potrebnosti molochnogo skota v pitatel'nykh veshchestvakh v SSHA (perevod s angliiskogo)* [Nutrient requirements for dairy cattle in the USA (translated from English)]. Moscow, 2007 (in Russ.).
  3. Han van der Kolk J.H., Gross J.J., Gerber V., Bruckmaier R.M. Disturbed bovine mitochondrial lipid metabolism: a review. *Vet. Quart.*, 2017, 37(1): 262-273 (doi: 10.1080/01652176.2017.1354561).
  4. *Novoe v kormlenii zhivotnykh* /Pod redaktsiei V.I. Fisinina, V.V. Kalashnikova, I.F. Draganova, Kh.A. Amerkhanova [New in animal feeding. V.I. Fisinin, V.V. Kalashnikov, I.F. Draganov, Kh.A. Amerkhanov (eds.)]. Moscow, 2012 (in Russ.).
  5. Osorio J.H., Pourfarzam M. Plasma free and total carnitine measured in children by tandem mass spectrometry. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 2002, 35(11): 1265-1271 (doi: 10.1590/S0100-879X2002001100003).
  6. Ringseis R., Keller J., Eder K. Regulation of carnitine status in ruminants and efficacy of carnitine supplementation on performance and health aspects of ruminant livestock: a review. *Arch. Anim. Nutr.*, 2018, 72(1): 1-30 (doi: 10.1080/1745039X.2017.1421340).
  7. Keller J., Ringseis R., Koc A., Lukas I., Kluge H., Eder K. Supplementation with L-carnitine downregulates genes of the ubiquitin proteasome system in the skeletal muscle and liver of piglets. *Animal*, 2012, 6(1): 70-78 (doi: 10.1017/S1751731111001327).
  8. Volek J.S., Kraemer W.J., Rubin M.R., Gyzem A.L., Ratamess N.A., Gaynor P.L. Carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2002, 282(2): 474-482 (doi: 10.1152/ajpendo.00277.2001).
  9. Kraemer W.J., Volek J.S., Dunn-Lewis C. L-carnitine supplementation: influence upon physiological function. *Curr. Sport. Med. Rep.*, 2008, 7(4): 218-223 (doi: 10.1249/JSR.0b013e318180735c).
  10. Rizzo A., Pantaleo M., Mutinati M., Minoia G., Trisolini C., Ceci E., Sciorsci R.L. Blood and milk oxidative status after administration of different antioxidants during early postpartum in dairy cows. *Res. Vet. Sci.*, 2013, 95(3): 1171-1184 (doi: 10.1016/j.rvsc.2013.07.016).
  11. Romanov V.N., Bogolyubova N.V., Chabaev M.G., Nekrasov R.V. *Optimizatsiya pishchevaritel'nykh, obmennykh protsessov i funktsii pecheni u molochnogo skota* [Optimization of digestive and metabolic processes and liver function in dairy cattle]. Dubrovitsy, 2015 (in Russ.).
  12. Bremer J. Carnitine — metabolism and functions. *Physiol. Rev.*, 1983, 63(4): 1420-1470 (doi: 10.1152/physrev.1983.63.4.1420).
  13. Sato M., Kurosawa A., Watanabe N., Odo S., Ikeda S., Sukemori S. Seasonal variations in L-carnitine levels in colostrum and milk of Holstein cows. *Journal of Agriculture Science, Tokyo University of Agriculture*, 2009, 54(3): 214-217.
  14. Wang F., Shi H., Wang S., Wang Y., Cao Z., Li S. Amino acid metabolism in dairy cows and their regulation in milk synthesis. *Curr. Drug Metab.*, 2018, 19: 1 (doi: 10.2174/1389200219666180611084014).
  15. Ponomarenko V.I., Fisinin V.I., Egorov I.A. *Korma, biologicheski aktivnye veshchestva, bezopasnost'* [Safety of feed and biologically active substances]. Minsk-Moscow, 2014 (in Russ.).
  16. Chabaev M.G., Tjutjunik S.I., Nekrasov R.V., Anisova N.I., Pervov N.G., Romanov V.N., Gadjev A.M. The effect of protected choline on metabolism and productivity of highly productive cows. In: *Book of Abstracts of the 65 Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*. Copenhagen, 2014: 118.
  17. Chandler T.L., White H.M. Choline and methionine differentially alter methyl carbon metabolism in bovine neonatal hepatocytes. *PLoS ONE*, 2017, 12(2): e0171080 (doi: 10.1371/journal.pone.0171080).
  18. Pekala J., Patkowska-Sokota B., Bodkowski R., Jamroz D., Nowakowski P., Lochyński S., Librowski T. L-carnitine — metabolic functions and meaning in humans life. *Curr. Drug Metab.*, 2011, 12(7): 667-678.
  19. Evans A.M., Fornasini G. Pharmacokinetics of L-carnitine. *Clin. Pharmacokin.*, 2003, 42(11): 941-967 (doi: 10.2165/00003088-200342110-00002).
  20. Seim H., Eichler K., Kleber H.P. L(-)-Carnitine and its precursor,  $\gamma$ -butyrobetaine. In: *Nutraceuticals in health and disease*. K. Krämer, P.P. Hoppe, L. Packer (eds.). Marcel Dekker, Inc., NY, 2001: 217-256.
  21. Sharma S., Black S.M. Carnitine homeostasis, mitochondrial function, and cardiovascular disease. *Drug Discovery Today: Disease Mechanisms*, 2009; 6(1-4): e31-e39 (doi: 10.1016/j.ddmec.2009.02.001).
  22. El-Hattab A.W., Scaglia F. Disorders of carnitine biosynthesis and transport. *Mol. Genet. Metab.*, 2015, 116(3): 107-112 (doi: 10.1016/j.ymgme.2015.09.004).
  23. Efimova E.V., Gus'kova T.A., Kopelevich V.M., Gunar V.I. Acetyl-L-carnitine: biological properties and clinical application (a review). *Pharm. Chem. J.*, 36(3): 111-115 (doi: 10.1023/A:1019689508012).
  24. Steiber A., Kerner J., Hoppel C.L. Carnitine: a nutritional, biosynthetic, and functional perspective. *Mol. Aspects Med.*, 2004, 25(5-6): 455-473 (doi: 10.1016/j.mam.2004.06.006).
  25. Zaugg C.E., Spaniol M., Kaufmann P., Bellahcene M., Barbosa V., Tolnay M., Buser P.T.,

- Krähenbühl S. Myocardial function and energy metabolism in carnitine-deficient rats. *CMLS, Cell. Mol. Life Sci.*, 2003, 60(4): 767-775 (doi: 10.1007/s00018-003-3011-1).
26. Matera M., Bellinghieri G., Costantino G., Santoro D., Calvani M., Savica V. History of L-carnitine: implications for renal disease. *J. Renal. Nutr.*, 2003, 13(1): 2-14 (doi: 10.1053/jren.2003.50010).
  27. Bouitbir J., Haegler P., Singh F. Joerin L., Felser A., Duthaler U., Krähenbühl S. Impaired exercise performance and skeletal muscle mitochondrial function in rats with secondary carnitine deficiency. *Front. Physiol.*, 2016, 7: 345 (doi: 10.3389/fphys.2016.00345).
  28. Owen K.Q., Jit H., Maxwell C.V., Nelsens J.L., Goodband R.D., Tokach M.D., Tremblay G.C., Koo S.I. Dietary L-carnitine suppresses mitochondrial branched chain keto acid dehydrogenase activity and enhances protein accretion and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.*, 2001, 79(12): 3104-3112 (doi: 10.2527/2001.79123104x).
  29. Crociati M., Sylla L., Floridi C., Comin A., Fruganti G., Monaci M., Stradaoli G. Influence of lipoproteins at dry-off on metabolism of dairy cows during transition period and on postpartum reproductive outcomes. *Theriogenology*, 2017, 94: 31-36 (doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.02.007).
  30. Noland R.C., Koves T.R., Seiler S.E., Lum H., Lust R.M., Ilkayeva O., Stevens R.D., Heggardt F.G., Muoio D.M. Carnitine insufficiency caused by aging and overnutrition compromises mitochondrial performance and metabolic control. *J. Biol. Chem.*, 2009, 284(34): 22840-22852 (doi: 10.1074/jbc.M109.032888).
  31. Spaniol M., Kaufmann P., Beier K., Wüthrich J., Török M., Scharnagl H., März W., Krähenbühl S. Mechanisms of liver steatosis in rats with systemic carnitine deficiency due to treatment with trimethylhydraziniumpropionate. *J. Lipid. Res.*, 2003, 44: 144-153 (doi: 10.1194/jlr.M200200-JLR200).
  32. LaCount D.W., Drackley J.K., Weigel D.J. Responses of dairy cows during early lactation to ruminal or abomasal administration of L-carnitine. *J. Dairy Sci.*, 1995, 78(8): 1824-1836 (doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76807-2).
  33. Bloomer R.J., Smith W.A. Oxidative stress in response to aerobic and anaerobic power testing: influence of exercise training and carnitine supplementation. *Res. Sports Med.*, 2009, 17(1): 1-16 (doi: 10.1080/15438620802678289).
  34. Pignatelli P., Lenti L., Sanguigni V., Frati G., Simeoni I., Gazzaniga P.P., Pulcinelli F.M., Violi F. Carnitine inhibits arachidonic acid turnover, platelet function, and oxidative stress. *Am. J. Physiol.-Heart C*, 2003, 284(1): 41-48 (doi: 10.1152/ajpheart.00249.2002).
  35. Plemiyashov K.V., Anipchenko P.S. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii*, 2017, 2: 102-104 (in Russ.).
  36. Nekrasov R.V., Golovin A.V., Anikin A.S., Pervov N.G. *Molochnaya promyshlennost'*, 2014, 5: 16-18 (in Russ.).
  37. Ryadchikov V.G., Podvorok N.I., Potekhin S.A. *Pitanie vysokoproduktivnykh korov* [Feeding highly productive cows]. Krasnodar, 2003 (in Russ.).
  38. Abbasi I.H.R., Abbasi F., Soomro R.N., Abd El-Hack M.E., Abdel-Latif M.A., Li W., Hao R., Sun F., Bodinga B.M., Hayat K., Yao J., Cao Y. Considering choline as methionine precursor, lipoproteins transporter, hepatic promoter and antioxidant agent in dairy cows. *AMB Express*, 2017, 7(1): 214 (doi: 10.1186/s13568-017-0513-z).
  39. Ringseis R., Keller J., Eder K. Role of carnitine in the regulation of glucose homeostasis and insulin sensitivity: evidence from in vivo and in vitro studies with carnitine supplementation and carnitine deficiency. *Eur. J. Nutr.*, 2012, 51(1): 1-18 (doi: 10.1007/s00394-011-0284-2).
  40. Golovin A.V., Anikin A.S., Pervov N.G., Nekrasov R.V., Strekozov N.I., Duborezov V.M., Chabaev M.G., Fomichev Yu.P., Gusev I.V. *Rekomendatsii po detalizirovannomu kormleniyu molochnogo skota* [Detailed feeding of dairy cattle: recommendations]. Moscow, 2016 (in Russ.).
  41. Tomme M.F. *Metodika opredeleniya perevarimosti kormov i ratsionov* [Assessment of digestibility of feed and rations]. Moscow, 1969: 5-23 (in Russ.).
  42. Mutovin V.I. *Bor'ba s mastitami korov* [Fight against mastitis of cows]. Moscow, 1974 (in Russ.).
  43. *Izuchenie pishchevareniya u zhvachnykh* /Pod redaktsiei N.V. Kurilova [Digestion study in ruminants. N.V. Kurilov (ed.)]. Borovsk, 1987 (in Russ.).
  44. Lakin G.F. *Biometriya*. Moscow, 1990 (in Russ.).
  45. Bogomolova R.A. *Biologicheskoe deistvie karnitina na organizm sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i ptitsy. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [The biological effect of carnitine on farm animals and poultry. PhD Thesis]. Ioshkar-Ola, 2006 (in Russ.).
  46. Ivanova G.V., Romanov V.N., Bogolyubova N.V. *Glavnyi zootekhnik*, 2011, 8: 16-20 (in Russ.).
  47. Romanov V.N., Bogolyubova N.V., Devyatkin V.A., Grishin V.N., Il'ina L.A. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2015, 1: 35-42 (in Russ.).
  48. Fomichev Yu.P., Dovydenkov G.V. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 4(28): 244-248 (in Russ.).