

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 156-168.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 4. P. 156-168.

Научная статья
УДК 636.2.087.73
doi:10.33284/2658-3135-107-4-156

Сравнительная оценка влияния холина хлорида и жидкого бетаина на интенсивность роста, биохимические и экономические показатели у телят молочного периода

Константин Сергеевич Остренко¹, Михаил Михайлович Луговой², Роман Владимирович Некрасов³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Калужская область, Боровск, Россия

²Группа Компаний «РУСАГРО», Москва, Россия

³Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Московская область, п. Дубровицы, Россия

¹ostrenkoks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

³nek_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Аннотация. Организация нормированного, сбалансированного, полноценного и рационального кормления является основным фактором, характеризующим эффективную экономическую модель в животноводстве. Одно из особых мест отводится биологическим регуляторам обменных процессов – витаминам и их производным (витаминоподобным веществам, метаболитов витаминов). Данные соединения оказывают на организм профилактическое, лечебное и ростоингибирующее действие. Скармливание телятам молочникам холина хлорида и жидкого бетаина позволяет повысить валовой прирост у телят в опытной группе на 22,0 %, среднесуточный прирост на 22,0 %, живую массу телят на 2,0 %. Снизить конверсию корма и затраты ОЭ на 18,0 % и 18,1 % соответственно, по сравнению с контрольными животными.

Ключевые слова: телята, молочный период, кормление, холина хлорид, жидкий бетаин, валовой прирост, биохимические показатели, гематологические показатели

Для цитирования: Остренко К.С., Луговой М.М., Некрасов Р.В. Сравнительная оценка влияния холина хлорида и жидкого бетаина на интенсивность роста, биохимические и экономические показатели у телят молочного периода // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 156-168. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-156>

Original article

Comparative assessment of the effect of choline chloride and liquid betaine on growth intensity, biochemical and economic indicators in calves in milking period

Konstantin S Ostrenko¹, Mikhail M Lugovoy², Roman V Nekrasov³

¹All-Russia Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry, and Nutrition (VNIIFBiP), Branch of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Kaluga region, Boroovsk, Russia

²RUSAGRO Group of Companies, Moscow, Russia

³Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Moscow region, Dubrovitsy, Russia

¹ostrenkoks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

³nek_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Abstract. Organization of standardized, balanced, complete and rational feeding is the main factor characterizing an effective economic model in animal husbandry. One of the special places is given to

biological regulators of metabolic processes - vitamins and their derivatives (vitamin-like substances, vitamin metabolites). These compounds have a preventive, therapeutic and growth-stimulating effect on the body. Feeding dairy calves with choline chloride and liquid betaine allows increasing the gross gain in calves in the experimental group by 22.0%, average daily gain by 22.0%, live weight of calves by 2.0% and reducing feed conversion and OE costs by 18.0% and 18.1%, respectively, compared to the control animals.

Keywords: calves, milk period, feeding, choline chloride, liquid betaine, gross growth, biochemical parameters, hematological parameters

For citation: Ostrenko KS, Lugovoy MM, Nekrasov RV. Comparative assessment of the effect of choline chloride and liquid betaine on growth intensity, biochemical and economic indicators in calves in milking period. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):156-168. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-156>

Введение.

Применение интенсивной технологии при откорме крупного рогатого скота обосновывает необходимость коррекции их здоровья и продуктивности в раннем онтогенезе (Хабибуллин Р.М., 2023). Ключевым фактором здесь является разработка рационов, ориентированных на сбалансированное питание. В конечном итоге требуется поиск и внедрения в основной рацион альтернативных источников витаминов и их метаболитов, которые отличаются достаточно специфической активностью, но имеют низкую себестоимость. При этом специалистам по кормлению необходимо пересмотреть уровни включения подобных веществ, используемых в рационах сельскохозяйственных животных и птиц (Кван О.В., 2023, Курилкина М.Я., и др. 2023).

Холин хлорид является одним из ключевых витаминов в организме крупного рогатого скота. В частности, холин необходим для биосинтеза фосфолипидов, таких как фосфатидилхолины, фосфатидилэ-таноламины, различные сфингомиелины. В клетках различных тканей и органов животных в среднем 40-50 % от общего содержания фосфолипидов в их мембранах составляют именно эфиры фосфатидилхолина с различными жирными кислотами. В организме животных биполярный ион бетаина образуется в результате окисления холина или витамина В4 (Al-Qaisi M et al., 2022; Coleman DN et al., 2021).

Бетаин (триметилглицин) обладает многочисленными важными биологическими функциями, которые влияют на повышение продуктивности крупного рогатого скота, особенно в раннем онтогенезе (González LA et al., 2023; Jacometo CB et al., 2017). Бетаин действует как донор метила и органический осмолит, который играет важную роль в росте, лактации, синтезе белка и жировом обмене у животных, способствует удержанию молекул воды внутри жизненно важных клеток, чтобы избежать обезвоживания в стрессовых ситуациях, и контролирует осмотическое давление внутри эпителиальных клеток кишечника (Finkelstein JD et al., 1971; Batistel F et al., 2019; Hu L et al., 2020).

Как донор метильной группы бетаин играет роль в синтезе креатина, карнитина, фосфатидилхолина, адреналина, пурина метильной группы и метилированных аминокислот. Бетаин, холин и метионин являются основными источниками доноров метила у животных, и теоретическая способность этих соединений быть донором метила находится в соотношении 3,7:1; 6:1. Кроме того, изотопные исследования показывают, что эффективность бетаина как донора метила в 12-15 раз выше, чем у холина (Alharthi AS et al., 2019; Lopreiato V et al., 2020).

Бетаин является наиболее эффективным из трёх доноров метильных групп *in vivo*. Во время каталитической реакции, опосредованной бетаин-гомоцистеин-метилтрансферазой (БГМТ), бетаин отдаёт метильную группу гомоцистеину, что приводит к образованию метионина, а затем превращается в диметилглицин (Liang Y et al., 2019b; Mann S et al., 2018; Zhou Z et al., 2016). Далее он расщепляется на множество вторичных метаболитов, таких как монометил глицин, глицин и серин (Zhou Z et al., 2018; Swartz TH et al., 2022; Monteiro APA et al., 2017). Образование метионина из гомоцистеина опосредовано метильной группой, обеспечивается бетаином. В основном именно в печени абсорбированный экзогенный бетаин действует как донор метильной группы, которая ре-

гулируется БГМТ и цистатионин- β -синтеазой (Ц β С). В присутствии доноров метильных групп активность Ц β С повышается за счёт ускорения пути переноса серы, что позволяет избежать повреждения клеток, вызванного остаточным гомоцистеином.

Бетаин обладает высокой осмолитической активностью, что обеспечивает поддержание водного баланса и увеличивает пролиферацию клеток кишечника, что непосредственно влияет на усвояемость питательных веществ и общую продуктивность животных, особенно в раннем онтогенезе (Liang Y et al., 2019a; Roche J et al., 2013). Добавление бетаина снижает концентрацию незетирифицированных жирных кислот (НЭЖК) и β -гидроксибутирата (БГБ) в плазме крови (Zenobi MG et al., 2018).

Бетаин улучшает показатели роста за счёт снижения потребности животных в энергии для поддержания жизнедеятельности. Кроме того, анаэробный гликолиз после убоя будет продолжаться до тех пор, пока не будет инактивирован фермент гликолиза или пока не истощится мышечный гликоген. Бетаин играет важную роль в индукции секреции гормона роста, усилении передачи сигналов рецепторов между инсулином (INS) и IGF-1, стимулировании синтеза белка, что влияет на скорость роста (Al-Qaisi M et al., 2022).

Цель исследования.

Установить эффективность замены кристаллического холин хлорида на жидкий бетаин (бетаиновую мелассу) в кормлении телят молочного периода выращивания.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Телята чёрно-пёстрой породы голштинизированные (уровень голштинизации не менее 70 %) 30-дневного возраста.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Схема эксперимента. Для реализации поставленных задач в 2024 году на виварии и в лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП – филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста проведены исследования, включающие научно-физиологический опыт. Продолжительность проведения эксперимента составила 30 дней. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Схема исследования
Table 1. Experimental design

Группа / Group	Голов в группе / Goals in the group	Характеристика кормления / Feeding characteristic
Продолжительность исследования – 30 суток / The duration of the study is 30 days		
1 контрольная / 1 control	5	Заменитель цельного молока (ЗЦМ) и комбикорм престартер / Whole milk replacer (WMR) and feed pre-starter
2 опытная / 2 experimental	5	ЗЦМ и комбикорм (престартер+0,04 % кристаллического холин хлорида в составе 1 кг комбикорма) / WMR and feed (pre-starter+0.04 % crystalline choline chloride in 1 kg of feed)
3 опытная / 3 experimental	5	ЗЦМ и комбикорм (престартер+0,0528 % (0,04 %*1,32) бетаиновой мелассы в составе 1 кг комбикорма) / WMR and mixed fodder (pre-starter+0.0528 % (0.04 %*1.32) of betaine molasses in 1 kg of mixed fodder)

Возраст телят (n=15) от 30 до 60 суток также относится к периоду их раннего развития. В это время критически важно обеспечить телятам правильное питание с необходимым количеством белков, углеводов, жиров, витаминов и минералов для поддержания здоровья и интенсивности роста. В связи с этим и было принято решение по замене холина хлорида в рационе телят на жидкий бетаин. Обоснование дозировок приведено в таблице 2.

Таблица 2. Соотношение метильных групп холина, бетаина и их производных
Table 2. Ratio of methyl groups of choline, betaine and their derivatives

Отношение / <i>Ratio</i>	Коэффициент / <i>Coefficient</i>	Примечание / <i>Note</i>
Холин (100 %): Бетаин (100 %) / <i>Choline (100 %): Betaine (100 %)</i>	1:1,12	Рассчитано как соотношение молярных масс холина 104,2 г/моль к бетаину 117,1 г/моль / <i>Calculated as the ratio of molar masses of choline 104.2 g/mol to betaine 117.1 g/mol</i>
Холин (100 %): Холин хлорид (100 %) / <i>Choline (100%): Choline chloride (100%)</i>	1:1,34	Рассчитано как соотношение молярных масс холин хлорида 139,6 г/моль к холину 104,2 г/моль / <i>Calculated as the ratio of the molar masses of choline chloride 139.6 g/mol to choline 104.2 g/mol</i>
Холин хлорид (100 %): Бетаин (100 %) / <i>Choline Chloride (100%): Betaine (100%)</i>	1:0,84	Рассчитано как соотношение коэффициентов замены холина на бетаин и холина на холин хлорид / <i>Calculated as the ratio of choline to betaine and choline to choline chloride replacement ratios</i>
Холин Хлорид (60 %): Жидкий бетаин (38 %) / <i>Choline Chloride (60%): Liquid Betaine (38%)</i>	1:1,32	Рассчитано как соотношение коэффициентов замены холина на бетаин и холина на холин хлорид с учётом содержания активного вещества / <i>Calculated as the ratio of choline to betaine and choline to choline chloride replacement ratios taking into account the active ingredient content</i>

Опыт проводился по схеме, представленной в таблице 1: 1 контрольная группа получала рацион без применения бетаина и холин хлорида, животным 2 опытной группы скармливался рацион, содержащий 60 % холин хлорида в количестве 400 г/т корма (престартера), в 3 опытной группе применялся рацион, содержащий жидкий бетаин в количестве 528г/т корма (стартера). В соответствии с «Основами опытного дела в животноводстве» (Овсянников А.И., 1976), для проведения опыта на КРС в группах было по 5 голов.

По окончании опыта была отобрана кровь с соблюдением правил асептики и антисептики в две стерильные пробирки. В одной из пробирок – кровь с ЭДТА, а в другой – для получения сыворотки.

Были определены зоотехнические показатели (валовой и среднесуточный прирост, поедаемость корма), проведены биохимические исследования сыворотки крови.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП – филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста: автоматический биохимический анализатор ERBAXL-100 (ERBA Lachema, Чехия), реагенты ERBA SysPack (ERBA, Чехия), автоматический гематологический анали-

затор DF50 Vet (Dymind, Китай), набор реактивов для гематологического анализа Dymind SysPack (Китай), весы для взвешивания животных ЭЛЬТОН (Ск) 300 кг (Волгоградский завод ВТ, Россия).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (\pm SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на уровне $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

В ходе проведённых исследований было установлено, что применение холина хлорида и жидкого бетаина способствовало интенсивности роста животных опытных групп. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Зоотехнические показатели телят молочного периода (M \pm m)

Table 3. Zootechnical indicators of calves of the dairy period (M \pm m)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	1 контрольная / 1 control	2 опытная / 2 experimental	3 опытная / 3 experimental
Количество животных, гол. / Number of animals, head	5	5	5
Средняя живая масса телят в начале опыта, кг / Average live weight of calves at the beginning of the experiment, kg	57,8 \pm 1,9	57,5 \pm 1,9	57,0 \pm 1,6
Средняя живая масса телят в 2 месяца, кг / Average live weight of calves at 2 months, kg	70,9 \pm 1,6	72,8 \pm 1,1	73,0 \pm 1,7
Валовой прирост, кг / Gross gain, kg	13,1 \pm 2,8	15,3 \pm 2,8	16,0 \pm 2,2
Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g	437,0 \pm 52	510,0 \pm 25	533,3 \pm 34*
% к контролю по приросту живой массы / % to control in terms of live weight gain	100	116,8	122,1
Количество потребленного корма (сухой корм), кг / Amount of feed consumed (dry fodder), kg	39	39	39
Коэффициент конверсии корма / Feed conversion ratio	2,98	2,55	2,43
Затраты ОЭ на 1 кг прироста, МДж** / ME expenditure per 1 kg of gain, MJ**	36,5	31,21	29,74

Примечание: здесь и далее * – $P \leq 0,05$; ** – оценка ОЭ по переваримым питательным веществам
Note: here and further * – $P \leq 0,05$; ** – assessment of ME by digestible nutrients

Применение жидкого бетаина позволяет повысить валовой прирост у телят в опытной группе на 22,0 %, среднесуточный прирост – на 22 %, живую массу телят – на 2 %. Снизить конверсию

корма и затраты ОЭ на 18 % и 18,1 % соответственно. Известно, что бетаин обладает многочисленными важными биологическими функциями, которые повышают продуктивность скота. Он помогает поддерживать водный баланс и увеличивать пролиферацию клеток кишечника, что улучшает усвояемость питательных веществ и общую продуктивность животных. Сохранность во всех группах была 100 %.

С целью изучения влияния холина хлорида и жидкого бетаина на обменные процессы в организме опытных животных были проанализированы данные, полученные в ходе биохимических и морфологических исследований крови. Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Биохимические и гематологические показатели крови подопытных животных (M±m)

Table 4. Biochemical and hematological blood parameters of experimental animals (M±m)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>			
	1 кон- трольная/ <i>1 control</i>	2 опытная/ <i>2 experimental</i>	3 опытная/ <i>3 experimental</i>	референсные значения ¹ / <i>Reference values¹</i>
Белок общий, г/л / <i>Total protein, g/l</i>	69,67±1,34	74,89±4,13	75,24±3,24*	72-86
Альбумины, г/л / <i>Albumins, g/l</i>	26,95±0,74	26,50±1,38	28,12±2,14	28-39
Глобулины, г/л / <i>Globulins, g/l</i>	42,72±1,18	48,39±2,82	47,12±0,95	34-49
Мочевина, ммоль/л / <i>Urea, mmol/l</i>	3,00±0,69	2,92±0,33	2,91±0,64	2,3-5,8
Креатинин, ммоль/л / <i>Creatinine, mmol/l</i>	59,52±7,36	75,89±2,10*	76,84±2,10*	55-180
Билирубин общий, мкмоль/л / <i>Total bilirubin, μmol/L</i>	4,98±2,05	4,73±0,70	4,82±1,25	0,7-14
АЛТ, МЕ/л / <i>ALT, IU/L</i>	17,25±1,81	19,64±1,52	20,01±2,26	11,7-100
АСТ, МЕ/л / <i>AST, IU/L</i>	25,87±0,26	28,49±5,63	27,40±3,51	18,8-98,3
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / <i>Alkaline phosphatase, ME/L</i>	46,87±3,30	56,27±8,09	52,03±6,89	40,0-273
Холестерин общий, ммоль/л / <i>Total cholesterol, mmol/L</i>	2,51±0,18	2,82±0,12*	2,87±0,06*	1,56-3,64
Глюкоза, ммоль/л / <i>Glucose, mmol/l</i>	3,19±0,06	3,21±0,13	3,29±0,34	2,2-5,3 ²
Кальций, ммоль/л / <i>Calcium, mmol/l</i>	2,51±0,06	2,54±0,12	2,56±0,19	2,1-2,8 ²
Фосфор, ммоль/л / <i>Phosphorus, mmol/l</i>	2,94±0,11	3,00±0,03	2,97±0,12	1,4-3,2 ²
Магний, ммоль/л / <i>Magnesium, mmol/l</i>	0,59±0,01	0,62±0,05	0,60±0,02	0,7-1,2 ²
Железо, мкмоль/л / <i>Iron, μmol/L</i>	2,36±0,16	2,51±0,12	2,39±0,09	1,8-2,9 ²
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / <i>Leukocytes, 10⁹/L</i>	11,61±3,10	10,13±1,89	11,12±2,51	4-15
Эритроциты, 10 ¹² /л / <i>Erythrocytes, 10¹²/L</i>	9,34±0,11	13,32±1,71*	13,48±0,99*	5-15
Гемоглобин, г/л / <i>Hemoglobin, g/l</i>	98,53±3,34	113,07±5,90*	114,07±6,74*	80-150
Гематокрит, % / <i>Hematocrit, %</i>	42,67±1,22	44,53±3,08	44,92±6,54	24-46

Примечание: здесь и далее * – P≤0,05; ¹Зеленевский и др., 2005; ⁴Гусев и др., 2019.

Note: here and further * – P≤0.05; ¹Zelenevsky et al., 2005; ⁴Gusev et al., 2019.

Изучаемые показатели крови в целом находились в пределах референсных значений. В 1 и 2 опытных группах было зафиксировано повышение концентрации общего белка на 7,5 и 8 % соответственно. Также в данных группах зафиксировано достоверное повышение концентрации кре-

атинина в крови на 27,5 ($P \leq 0,05$) и 29,1 ($P \leq 0,05$) % и холестерина – на 12,3 ($P \leq 0,05$) и 14,2 ($P \leq 0,05$) % соответственно (табл. 4).

Холина хлорид и жидкий бетаин оказывают положительный эффект на морфологический профиль крови. Так, в опытных группах достоверно зафиксировано повышение уровня гемоглобина на 18,7 ($P \leq 0,05$) и 15,8 ($P \leq 0,05$) % и концентрации эритроцитов – на 42,6 ($P \leq 0,05$) и 44,3 ($P \leq 0,05$) %.

В ходе исследований был проведён экономический анализ по определению эффективности использования холина хлорида и жидкого бетаина в кормлении телят в расчёте на 1 голову. Данные представлены в таблице 5.

Таблица 5. Показатели экономической эффективности применения холина хлорида и жидкого бетаина телятам в молочном периоде выращивания
Table 5. Indicators of economic efficiency of application of choline chloride and liquid betaine to calves in the dairy period of rearing

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>		
	1 контрольная / <i>1 control</i>	2 опытная / <i>2 experimental</i>	3 опытная / <i>3 experimental</i>
Получено валового прироста по группе, кг / <i>Received gross gain by group, kg / kg</i>	13,1	15,3	16,0
Количество потребленного комбикорма, кг / <i>Quantity of consumed mixed fodder, kg</i>	39,00	39,00	39,00
Потреблено кормовой добавки, г / <i>Consumed feed additive, g</i>	-	1560,00	2060,00
Стоимость кормовой добавки за кг / <i>Cost of feed additive per kg</i>	-	1170,00	669,50
Стоимость потребленного комбикорма, руб. / <i>Cost of consumed mixed fodder, rub.</i>	1404,00	3229,00	2783,00
Стоимость эл. энергии, руб. / <i>Cost of electric energy, rub.</i>	1320,00	1320,00	1320,00
Заработная плата + прочие расходы, руб. / <i>Wages + other expenses, rub.</i>	1360,00	1360,00	1360,00
Производств. затраты, всего, руб. / <i>Production costs, total, rub.</i>	4084,00	4318,00	4218,00
Себестоимость 1 кг прироста массы, руб. / <i>Cost of 1 kg of weight gain, rub.</i>	311,75	282,20	263,62
В % контролю / <i>In % of control</i>	100,0	89,83	83,82
Прибыль, руб. / <i>Profit, rub.</i>	501,00	1037,00	1382,20
Получено дополнительного дохода, руб. / <i>Additional income received, rub.</i>	-	536,00	881,20
Уровень рентабельности, % / <i>Profitability level, %</i>	12,27	24,02	32,77

Так, применение жидкого бетаина при введении в рацион телят молочного периода выращивания было эффективнее на 20,50 % по сравнению со стандартным рационом и на 11,75 % – по сравнению с холином хлоридом, а в денежном выражении – на 881,20 и на 345,20 рубля.

Обсуждение полученных результатов.

Настоящее исследование было направлено на сравнение применения холина хлорида и жидкого бетаина у телят в молочном периоде. В ходе проведённых исследований было установлено, что включение в состав стартерных комбикормов жидкого бетаина позволяет повысить валовой

прирост у телят в опытной группе на 22,0 %, среднесуточный прирост – на 22 %, живую массу – на 2 %. Наши данные согласуются с данными ряда авторов (Monteiro APA et al., 2017; Holdorf NT et al., 2023), когда при введении в рацион жидкого бетаина и холина хлорида было зафиксировано увеличение живой массы новорождённых телят. Добавление экзогенного холина в цельное молоко улучшало рост молодняка, несмотря на проблемы, связанные с низкой живой массой при рождении. Поддержание и улучшение темпов роста в периоды высокого риска служат профилактической мерой для благополучного дальнейшего отъема, и может иметь долгосрочные эффекты. Уровень питания и темпы роста в раннем возрасте являются важными детерминантами роста мышечной ткани (Soberon F and Van Amburgh ME, 2017), что потенциально объясняет связь между интенсивностью набора массы в раннем возрасте и формированием системы пищеварения как базиса получения в дальнейшем высокой продуктивности. Данные нашего исследования по применению жидкого бетаина показывают также на возможность снижения конверсии корма и затрат ОЭ на 18 % и 18,1 % соответственно, по сравнению с контрольными животными. Результаты использования жидкой кормовой добавки, содержащей бетаин, в рационах для крупного рогатого скота, особенно лактирующих коров, также показывают снижение конверсии корма и увеличение удоев. Так, в работах Monteiro APA (2017) бетаин применялся в стадию лактации до отёла. Также в ранней лактации применение бетаина способствовало увеличению надоев на 7,7 % и содержания жира в молоке – на 10,1 % в период первых 8 недель лактации, снижению конверсии корма на 0,7 % по сравнению со стандартным рационом. Таким образом, скармливание бетаина позволяет добиться улучшения молочной продуктивности.

При анализе гематологических показателей было зафиксировано повышение уровня гемоглобина на 18,7 ($P \leq 0,05$) и 15,8 % ($P \leq 0,05$) и концентрации эритроцитов на 42,6 ($P \leq 0,05$) и 44,3 % ($P \leq 0,05$) в крови животных опытных групп. Подобные результаты также отмечаются в работе Hassan Yousef M с коллегами (2022), в которой было подтверждено влияние бетаина на существенное увеличение общего количества гемоглобина и эритропоэз в целом. Также приводятся данные о высокой антиоксидантной активности бетаина. Он контролирует объём клеток, регулируя АТФазу мембран эритроцитов (красных кровяных телец) посредством конформационных изменений. Кроме того, антигемолитическая активность бетаина может быть связана с гидрофобностью трёх метильных групп. В работах Cai Y с соавторами (2021) были доказаны гепатопротекторное действие бетаина на овцах и активизация обменных процессов, особенно на белковый и липидный обмен, что коррелирует с данными, полученными в нашем исследовании. Применение холина хлорида и жидкого бетаина способствует повышению метаболических процессов, что согласуется с уровнем приростов животных. Следует отметить, что применение жидкого бетаина в рационе телят молочного периода выращивания было эффективнее в денежном выражении на 4406,00 рублей по сравнению со стандартным рационом и на 1726,00 рубля – по сравнению с холином хлоридом.

Заключение.

Применение жидкого бетаина целесообразно использовать в кормлении телят непосредственно после рождения и включать в состав престартерных и стартерных комбикормов, что способствует активизации роста, обмена веществ и интенсивному набору массы тела. Повышается рентабельность на 20,50 и 11,75 % по сравнению со стандартным рационом и по сравнению с холином хлоридом.

Список источников

1. Зеленецкий Н.В., Васильев А.П., Логинова Л.К. Анатомия и физиология животных: учеб. для студ. образ. учрежд. сред. проф. образования. М.: Академия, 2005. 464 с. [Zelenevskij NV, Vasil'ev AP, Loginova LK. Anatomija i fiziologija zhivotnyh: ucheb. dlja stud. obraz. uchrezhd. sred. prof. obrazovanija. Moscow: Akademija; 2005:464 p. (In Russ.)].

2. Кван О.В. Эндогенные потери веществ: оптимизация микронутрентной обеспеченности рационов сельскохозяйственных животных // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 148-163. [Kvan OV. Endogenous losses of substances: optimization of micronutrient supply of farm animal diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):148-163. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
3. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство / подгот.: И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина. Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2019. 40 с. [Gusev IV, Bogoljubova NV, Rykov RA, Levina GN. Kontrol' biohimicheskogo statusa svinej i korov: rukovodstvo. Dubrovicy: FGBNU FNC VIZH im. L.K. Ernsta; 2019:40 p. (*In Russ.*).
4. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве: учеб. пособие. М.: Колос, 1976. 303 с. [Ovsjannikov AI. Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve: ucheb. posobie. Moscow: Kolos; 1976:303 p. (*In Russ.*).
5. Оценка безопасности использования фитохимических веществ в экспериментах *in vitro*, *in vivo* и в животноводстве / М.Я. Курилкина, Ш.Г. Рахматуллин, Т.А. Климова, Д.Г. Дерябин, Г.И. Левахин // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 92-109. [Kurilkina MYa, Rahmatullin ShG, Klimova TA, Deryabin DG, Levahin GI. Safety assessment of the use of phytochemicals during *in vitro*, *in vivo* experiments and animal husbandry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3): 92-109. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-92>
6. Хабибуллин Р.М. Влияние адаптогенов на рост и развитие бычков казахской белой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 75-84. [Khabibullin RM. The effect of adaptogens on growth and development of Kazakh White-Headed bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):75-84. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-75>
7. Alharthi AS, Coleman DN, Liang Y, Batistel F, Elolimy AA, Yambao RC, Abdel-Hamied E, Pan YX, Parys C, Alhidary IA, Abdelrahman MM, Loor JJ. Hepatic 1-carbon metabolism enzyme activity, intermediate metabolites, and growth in neonatal Holstein dairy calves are altered by maternal supply of methionine during late pregnancy. *J Dairy Sci*. 2019;102(11):10291-10303. doi: 10.3168/jds.2019-16562
8. Al-Qaisi M, Abedal-Majed MA, Abuajamieh M, Alnimer M, Al-Fataftah AA, Irshaid R, Titi H, Abdelqader A. Effects of dietary betaine on body temperature indices, performance, metabolism, and hematological variables of dairy heifer calves during hot summer conditions. *Vet World*. 2022;15(7):1657-1664. doi: 10.14202/vetworld.2022.1657-1664
9. Batistel F, Alharthi AS, Yambao RRC, Elolimy AA, Pan YX, Parys C, et al. Methionine supply during late-gestation triggers offspring sex-specific divergent changes in metabolic and epigenetic signatures in bovine placenta. *J Nutr*. 2019;149(1):6-17. doi: 10.1093/jn/nxy240
10. Cai Y, Deng M, Zhang Q, Liu Z, Wang L, Sheng W, Zhang Y, You P, Wang Z, Wang F. Effects of dietary betaine supplementation on biochemical parameters of blood and testicular oxidative stress in Hu sheep. *Theriogenology*. 2021;164:65-73. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.01.006
11. Coleman DN, Alharthi AS, Liang Y, Lopes MG, Lopreiato V, Vailati-Riboni M, Loor JJ. Multifaceted role of one-carbon metabolism on immunometabolic control and growth during pregnancy, lactation and the neonatal period in dairy cattle. *J Anim Sci Biotechnol*. 2021;12(1):27. doi: 10.1186/s40104-021-00547-5
12. Finkelstein JD, Kyle WE, Harris BJ. Methionine metabolism in mammals. Regulation of homocysteine methyltransferases in rat tissue. *Arch Biochem Biophys*. 1971;146(1):84-92. doi: 10.1016/s0003-9861(71)80044-9
13. González LA, Carvalho JGS, Kuinchtner BC, Dona AC, Baruselli PS, D'Occhio MJ. Plasma metabolomics reveals major changes in carbohydrate, lipid, and protein metabolism of abruptly weaned beef calves. *Sci Rep*. 2023;13(1):8176. doi: 10.1038/s41598-023-35383-2
14. Hassan Yousef M, Abdulmunem Abdulhameed R, Talib Yaseen Aldossary A. Effect of betaine on blood parameters related to the iron status in acrylamide-treated rats. *Arch Razi Inst*. 2022;77(3):1241-1247. doi: 10.22092/ARI.2022.357804.2101

15. Holdorf HT, Brown WE, Combs GJ, Henisz SJ, Kendall SJ, Caputo MJ, Ruh KE, White HM. Increasing the prepartum dose of rumen-protected choline: Effects of maternal choline supplementation on growth, feed efficiency, and metabolism in Holstein and Holstein × Angus calves. *J Dairy Sci.* 2023;106(9):6005-6027. doi: 10.3168/jds.2022-23068
16. Hu L, Chen Y, Cortes IM, Coleman DN, Dai H, Liang Y, et al. Supply of methionine and arginine alters phosphorylation of mechanistic target of rapamycin (mTOR), circadian clock proteins, and α -s1-casein abundance in bovine mammary epithelial cells. *Food Funct.* 2020;11(1):883-94.
17. Jacometo CB, Zhou Z, Luchini D, Corrêa MN, Loor JJ. Maternal supplementation with rumen-protected methionine increases prepartal plasma methionine concentration and alters hepatic mRNA abundance of 1-carbon, methionine, and transsulfuration pathways in neonatal Holstein calves. *J Dairy Sci.* 2017;100(4):3209-3219. doi: 10.3168/jds.2016-11656
18. Liang Y, Batistel F, Parys C, Loor JJ. Glutathione metabolism and nuclear factor erythroid 2-like 2 (NFE2L2)-related proteins in adipose tissue are altered by supply of ethyl-cellulose rumen-protected methionine in periparturient Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2019a;102(6):5530-5541. doi: 10.3168/jds.2018-15687
19. Liang Y, Batistel F, Parys C, Loor JJ. Methionine supply during the periparturient period enhances insulin signaling, amino acid transporters, and mechanistic target of rapamycin pathway proteins in adipose tissue of Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2019b;102(5):4403-4414. doi: 10.3168/jds.2018-15738
20. Lopreiato V, Vailati-Riboni M, Parys C, Fernandez C, Minuti A, Loor JJ. Methyl donor supply to heat stress-challenged polymorphonuclear leukocytes from lactating Holstein cows enhances 1-carbon metabolism, immune response, and cytoprotective gene network abundance. *J Dairy Sci.* 2020;103(11):10477-93.
21. Mann S, Sipka A, Leal Yepes FA, Nydam DV, Overton TR, Wakshlag JJ. Nutrient-sensing kinase signaling in bovine immune cells is altered during the postpartum nutrient deficit: a possible role in transition cow inflammatory response. *J Dairy Sci.* 2018;101(10):9360-9370. doi: 10.3168/jds.2018-14549
22. Monteiro APA, Bernard JK, Guo JR, Weng XS, Emanuele S, Davis R, Dahl GE, Tao S. Effects of feeding betaine-containing liquid supplement to transition dairy cows. *J Dairy Sci.* 2017;100(2):1063-1071. doi: 10.3168/jds.2016-11452
23. Roche J, Macdonald K, Schütz K, Matthews L, Verkerk G, Meier S, et al. Calving body condition score affects indicators of health in grazing dairy cows. *J Dairy Sci.* 2013;96(9):5811-5825. doi: 10.3168/jds.2013-6600
24. Soberon F, Van Amburgh ME. Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *J Dairy Sci.* 2017;100(6):4996-5004. doi: 10.3168/jds.2016-11826
25. Swartz TH, Bradford BJ, Malysheva O, Caudill MA, Mamedova LK, Estes KA. Effects of dietary rumen-protected choline supplementation on colostrum yields, quality, and choline metabolites from dairy cattle. *JDS Commun.* 2022;3(4):296-300. doi: 10.3168/jdsc.2021-0192
26. Zenobi MG, Scheffler TL, Zuniga JE, Poindexter MB, Campagna SR, Castro Gonzalez HF, et al. Feeding increasing amounts of ruminally protected choline decreased fatty liver in nonlactating, pregnant Holstein cows in negative energy status. *J Dairy Sci.* 2018;101(7):5902-5923. doi: 10.3168/jds.2017-13973
27. Zhou Z, Ferdous F, Montagner P, Luchini DN, Correa MN, Loor JJ. Methionine and choline supply during the periparturient period alter polymorphonuclear leukocyte immune response and immunometabolic gene expression in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2018;101(11):10374-10382. doi: 10.3168/jds.2018-14972
28. Zhou Z, Vailati-Riboni M, Trevisi E, Drackley JK, Luchini DN, Loor JJ. Better postpartal performance in dairy cows supplemented with rumen-protected methionine compared with choline during the periparturient period. *J Dairy Sci.* 2016;99(11):8716-32. doi: 10.3168/jds.2015-10525

References

1. Zelenevsky NV, Vasiliev AP, Loginova LK. Animal anatomy and physiology: textbook for students of secondary prof. education institutions. Moscow: Akademy; 2005:464 p.
2. Kvan OV. Endogenous losses of substances: optimization of micronutrient supply of farm animal diets. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):148-163. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
3. Monitoring the biochemical status of pigs and cows: guidelines. prepared by: Gusev IV, Bogolyubova NV, Rykov RA, Levina G.N. Dubrovitsy: FGBNU FNC VIZh named after L.K. Ernst; 2019:40 p.
4. Ovsyannikov AI. Fundamentals of experimental work in animal husbandry: textbook. Moscow: Kolos; 1976:303 p.
5. Kurilkina MYa, Rahmatullin ShG, Klimova TA, Deryabin DG, Levahin GI. Safety assessment of the use of phytochemicals during *in vitro*, *in vivo* experiments and animal husbandry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):92-109. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-92>
6. Khabibullin RM. The effect of adaptogens on growth and development of Kazakh White-Headed bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):75-84. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-75>
7. Alharthi AS, Coleman DN, Liang Y, Batistel F, Elolimy AA, Yambao RC, Abdel-Hamied E, Pan YX, Parys C, Alhidary IA, Abdelrahman MM, Loor JJ. Hepatic 1-carbon metabolism enzyme activity, intermediate metabolites, and growth in neonatal Holstein dairy calves are altered by maternal supply of methionine during late pregnancy. *J Dairy Sci*. 2019;102(11):10291-10303. doi: 10.3168/jds.2019-16562
8. Al-Qaisi M, Abedal-Majed MA, Abuajamieh M, Alnimer M, Al-Fataftah AA, Irshaid R, Titi H, Abdelqader A. Effects of dietary betaine on body temperature indices, performance, metabolism, and hematological variables of dairy heifer calves during hot summer conditions. *Vet World*. 2022;15(7):1657-1664. doi: 10.14202/vetworld.2022.1657-1664
9. Batistel F, Alharthi AS, Yambao RRC, Elolimy AA, Pan YX, Parys C, et al. Methionine supply during late-gestation triggers offspring sex-specific divergent changes in metabolic and epigenetic signatures in bovine placenta. *J Nutr*. 2019;149(1):6-17. doi: 10.1093/jn/nxy240
10. Cai Y, Deng M, Zhang Q, Liu Z, Wang L, Sheng W, Zhang Y, You P, Wang Z, Wang F. Effects of dietary betaine supplementation on biochemical parameters of blood and testicular oxidative stress in Hu sheep. *Theriogenology*. 2021;164:65-73. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.01.006
11. Coleman DN, Alharthi AS, Liang Y, Lopes MG, Lopreiato V, Vailati-Riboni M, Loor JJ. Multifaceted role of one-carbon metabolism on immunometabolic control and growth during pregnancy, lactation and the neonatal period in dairy cattle. *J Anim Sci Biotechnol*. 2021;12(1):27. doi: 10.1186/s40104-021-00547-5
12. Finkelstein JD, Kyle WE, Harris BJ. Methionine metabolism in mammals. Regulation of homocysteine methyltransferases in rat tissue. *Arch Biochem Biophys*. 1971;146(1):84-92. doi: 10.1016/s0003-9861(71)80044-9
13. González LA, Carvalho JGS, Kuinchtner BC, Dona AC, Baruselli PS, D'Occhio MJ. Plasma metabolomics reveals major changes in carbohydrate, lipid, and protein metabolism of abruptly weaned beef calves. *Sci Rep*. 2023;13(1):8176. doi: 10.1038/s41598-023-35383-2
14. Hassan Yousef M, Abdulmunem Abdulhameed R, Talib Yaseen Aldossary A. Effect of betaine on blood parameters related to the iron status in acrylamide-treated rats. *Arch Razi Inst*. 2022;77(3):1241-1247. doi: 10.22092/ARI.2022.357804.2101
15. Holdorf HT, Brown WE, Combs GJ, Henisz SJ, Kendall SJ, Caputo MJ, Ruh KE, White HM. Increasing the prepartum dose of rumen-protected choline: Effects of maternal choline supplementation on growth, feed efficiency, and metabolism in Holstein and Holstein × Angus calves. *J Dairy Sci*. 2023;106(9):6005-6027. doi: 10.3168/jds.2022-23068

16. Hu L, Chen Y, Cortes IM, Coleman DN, Dai H, Liang Y, et al. Supply of methionine and arginine alters phosphorylation of mechanistic target of rapamycin (mTOR), circadian clock proteins, and α -s1-casein abundance in bovine mammary epithelial cells. *Food Funct.* 2020;11(1):883-94.
17. Jacometo CB, Zhou Z, Luchini D, Corrêa MN, Loor JJ. Maternal supplementation with rumen-protected methionine increases prepartal plasma methionine concentration and alters hepatic mRNA abundance of 1-carbon, methionine, and transsulfuration pathways in neonatal Holstein calves. *J Dairy Sci.* 2017;100(4):3209-3219. doi: 10.3168/jds.2016-11656
18. Liang Y, Batistel F, Parys C, Loor JJ. Glutathione metabolism and nuclear factor erythroid 2-like 2 (NFE2L2)-related proteins in adipose tissue are altered by supply of ethyl-cellulose rumen-protected methionine in periparturient Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2019a;102(6):5530-5541. doi: 10.3168/jds.2018-15687
19. Liang Y, Batistel F, Parys C, Loor JJ. Methionine supply during the periparturient period enhances insulin signaling, amino acid transporters, and mechanistic target of rapamycin pathway proteins in adipose tissue of Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2019b;102(5):4403-4414. doi: 10.3168/jds.2018-15738
20. Lopreato V, Vailati-Riboni M, Parys C, Fernandez C, Minuti A, Loor JJ. Methyl donor supply to heat stress-challenged polymorphonuclear leukocytes from lactating Holstein cows enhances 1-carbon metabolism, immune response, and cytoprotective gene network abundance. *J Dairy Sci.* 2020;103(11):10477-93.
21. Mann S, Sipka A, Leal Yepes FA, Nydam DV, Overton TR, Wakshlag JJ. Nutrient-sensing kinase signaling in bovine immune cells is altered during the postpartum nutrient deficit: a possible role in transition cow inflammatory response. *J Dairy Sci.* 2018;101(10):9360-9370. doi: 10.3168/jds.2018-14549
22. Monteiro APA, Bernard JK, Guo JR, Weng XS, Emanuele S, Davis R, Dahl GE, Tao S. Effects of feeding betaine-containing liquid supplement to transition dairy cows. *J Dairy Sci.* 2017;100(2):1063-1071. doi: 10.3168/jds.2016-11452
23. Roche J, Macdonald K, Schütz K, Matthews L, Verkerk G, Meier S, et al. Calving body condition score affects indicators of health in grazing dairy cows. *J Dairy Sci.* 2013;96(9):5811-5825. doi: 10.3168/jds.2013-6600
24. Soberon F, Van Amburgh ME. Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *J DairySci.* 2017;100(6):4996-5004. doi: 10.3168/jds.2016-11826
25. Swartz TH, Bradford BJ, Malysheva O, Caudill MA, Mamedova LK, Estes KA. Effects of dietary rumen-protected choline supplementation on colostrum yields, quality, and choline metabolites from dairy cattle. *JDS Commun.* 2022;3(4):296-300. doi: 10.3168/jdsc.2021-0192
26. Zenobi MG, Scheffler TL, Zuniga JE, Poindexter MB, Campagna SR, Castro Gonzalez HF, et al. Feeding increasing amounts of ruminally protected choline decreased fatty liver in nonlactating, pregnant Holstein cows in negative energy status. *J Dairy Sci.* 2018;101(7):5902-5923. doi: 10.3168/jds.2017-13973
27. Zhou Z, Ferdous F, Montagner P, Luchini DN, Correa MN, Loor JJ. Methionine and choline supply during the periparturient period alter polymorphonuclear leukocyte immune response and immunometabolic gene expression in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2018;101(11):10374-10382. doi: 10.3168/jds.2018-14972
28. Zhou Z, Vailati-Riboni M, Trevisi E, Drackley JK, Luchini DN, Loor JJ. Better postpartal performance in dairy cows supplemented with rumen-protected methionine compared with choline during the periparturient period. *J Dairy Sci.* 2016;99(11):8716-32. doi: 10.3168/jds.2015-10525

Информация об авторах:

Константин Сергеевич Остренко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией иммунобиотехнологии и микробиологии, Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр жи-

вотноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», 249013, Калужская обл., г. Боровск, пос. Институт, тел.: +7(910)9166658.

Михаил Михайлович Луговой, кандидат биологических наук, руководитель инновационных проектов ГК «РУСАГРО». 115054, Москва, ул. Валовая, д. 35, тел.: +7 (999)5569601.

Роман Владимирович Некрасов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, Городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60, тел.: +7(905)7004427.

Information about the authors:

Konstantin S Ostrenko, Dr Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology, All-Russia Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry, and Nutrition, Branch of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Kaluga region, Borovsk, village Institute, 249013, tel.: +7(910)9166658.

Mikhail M Lugovoy, Cand. Sci. (Biology), Head of Innovative Projects of Group of Companies «RUSAGRO», 35 Valovaya Street, Moscow, 115054, tel.: +7 (999)5569601.

Roman V Nekrasov, Dr Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Head of the Department of Feeding Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, tel.: +7(905)7004427.

Статья поступила в редакцию 10.10.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 10.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024; accepted for publication 16.12.2024.