Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 76, № 2. С. 102–108.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 636.085.55 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-10 EDN: NMOPLN

Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60 %): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков

Павел Алексеевич Шинкарук [1], Людмила Александровна Текутьева [2]
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
[1] shinkaruk.pa@dvfu.ru, ORCID: 0009-0001-7653-6819
[2] tekuteva.la@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-3663-1365

Аннотация. Холин является жизненно важным компонентом кормов, участвующим в синтезе фосфолипидов и регуляции липидного обмена. У жвачных животных свободный холин деградирует в рубце, что требует применения защищённых форм. Настоящая работа посвящена разработке высококонцентрированной микрокапсулированной формы холина хлорида с содержанием 60 % активного вещества и оценке её влияния на продуктивность, морфологические показатели туши и технологические свойства мяса бычков. Исследование включало подбор носителя и полимерной оболочки, оптимизацию процесса микрокапсулирования в псевдоожиженном слое, определение технологических характеристик препарата и проведение производственного опыта на симментальских бычках (n = 30). Полученный препарат характеризовался массовой долей холина хлорида 60 ± 1,2 %, влажностью 4,7 ± 0,3 %, размером гранул 0,8–1,5 мм, устойчивостью при 85 °C (96 %) и рубцовым байпасом in vitro 84–88 %. В опытной группе ежедневное введение 15 г микрокапсулированного холина обеспечило повышение среднесуточного прироста, улучшение конверсии корма и увеличение убойного выхода, сопровождающееся ростом доли мышечной ткани и улучшением pH24, влагоудерживающей способности и окислительной стабильности мяса. Работа демонстрирует технологическую и биологическую эффективность отечественного препарата и его потенциал в системах промышленного откорма.

Ключевые слова: холина хлорид 60 %, микрокапсулирование, рубцовая защита, мясная продуктивность, влагоудерживающая способность, липидный обмен, псевдоожиженный слой

Для цитирования: Шинкарук П. А., Текутьева Л. А. Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60 %): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 102–108.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 102–108.

FOOD SYSTEMS

Original article

Highly concentrated scar-protected choline chloride (60 %): development of a microcapsulated form, biological efficacy and impact on the quality of bull meat

Pavel A. Shinkaruk [1], Lyudmila A. Tekutyeva [2]
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
[1] shinkaruk.pa@dvfu.ru, ORCID: 0009-0001-7653-6819
[2] tekuteva.la@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-3663-1365

© Шинкарук П. А., Текутьева Л. А., 2026

Abstract. Choline is an essential feed component involved in phospholipid synthesis and the regulation of lipid metabolism. In ruminants, free choline is degraded in the rumen, necessitating protected forms. This study focuses on the development of a high-concentration microencapsulated form of choline chloride containing 60 % active substance and the evaluation of its effects on growth performance, carcass morphology, and technological properties of beef cattle. The study included selection of the carrier and polymer coating, optimization of the fluidized-bed microencapsulation process, determination of technological characteristics of the preparation, and a production trial on Simmental bulls (n=30). The resulting preparation contained 60±1.2 % choline chloride, moisture 4.7±0.3 %, granule size 0.8–1.5 mm, heat stability at 85°C (96 %), and an in vitro rumen bypass of 84–88 %. Daily administration of 15 g of microencapsulated choline increased average daily gain, improved feed conversion, and increased slaughter yield, accompanied by a greater proportion of muscle tissue and improved pH24, water holding capacity, and oxidative stability of meat. The study demonstrates the technological and biological efficiency of this domestically produced preparation and its potential for industrial feedlot systems.

Keywords: choline chloride 60 %, microencapsulation, rumen protection, meat productivity, water-holding capacity, lipid metabolism, fluidized bed

For citation: Shinkaruk P. A., Tekutyeva L. A. Highly concentrated scar-protected choline chloride (60 %): development of a microcapsulated form, biological efficacy and impact on the quality of bull meat. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):102–108. (In Russ.).

Введение

Повышение эффективности мясного скотоводства требует не только оптимизации кормовых рационов и условий содержания, но и корректировки обменных процессов на клеточном уровне. Холин (витамин B_4) играет ключевую роль в синтезе фосфатидилхолина и липопротеинов очень низкой плотности, а также служит метильным донором в реакциях трансметилирования [1]. В организме жвачных животных свободный холин подвергается глубокому разложению микроорганизмами рубца, [2] поэтому его биодоступность определяется возможностью доставки в тонкий кишечник в защищённой форме. Недостаточное поступление холина ведёт к жировой инфильтрации печени, нарушению обмена веществ, снижению приростов и ухудшению качества мясного сырья.

Рубцово-защищённые формы холина (RPC) представляют собой микрокапсулы, способные сохранять нутриент в рубце и высвобождать его в кишечнике. Однако большинство коммерческих продуктов содержит 24–30 % холина хлорида, что увеличивает долю балластных компонентов и требует больших дозировок. Актуальной задачей является разработка высококонцентрированных форм, устойчивых к технологическим воздействиям (гранулирование, хранение) и обладающих высокой степенью рубцового байпаса. Для мясного скотоводства вопрос эффективности RPC исследован слабее, чем для молочного скота; при этом ожидается, что оптимизация липидного обмена может способствовать увеличению приростов, изменению морфологической структуры туши и улучшению технологических свойств мяса.

В данной статье представлены результаты комплексных исследований, направленных на разработку высококонцентрированной рубцово-защищённой формы холина хлорида (60 %) с использованием отечественного сырья и оценку её биологической эффективности при откорме симментальских бычков. Комплексная схема исследования включала:

- выбор и обоснование носителя и материала оболочки для микрокапсулирования;
- оптимизацию процесса гранулирования в псевдоожиженном слое;
- определение технологических характеристик полученного препарата;
- производственные испытания по оценке влияния добавки на прирост, конверсию корма, убойный выход, морфологическую структуру туши и технологические свойства мяса.

Материалы и методы

Выбор и обоснование носителя и материала оболочки для микрокапсулирования осуществлялся подбором матрицы-носителя. На основе скрининга растительных и минеральных материалов оптимальными носителями для микрокапсулы с 60%-м содержанием холина хлорида отобраны гранулированные пшеничные отруби и экструдированный рис. Эти носители обладают высокой адсорбционной способностью, удовлетворяют требованиям безопасности, не слёживаются и позволяют формировать сыпучий продукт.

В качестве защитного материала оболочки для формы холина хлорида (60 %) использовали биосовместимые полимерные плёнкообразователи – модифицированный крахмал (октенилсукцинат) в сочетании с желатином. Эта комбинация обеспечивает формирование упругой гидрофильной плёнки, которая защищает кристаллы холина хлорида от влаги при хранении и гранулировании, но легко растворяется в желудочно-кишечном тракте, высвобождая активное вещество.

Микрокапсулированный холина хлорид (ХХ60) получали в лабораторных условиях методом напыления растворов на носитель в псевдоожиженном слое. В качестве исходного вещества использовали 75 % водный раствор холина хлорида, поставляемый компанией Be-Long (North) Corp. В установку Mini-Glatt (Glatt GmbH) загружали заданную навеску гранулированных пшеничных отрубей; путём флюидизации горячим воздухом (40–45 °С) создавался псевдоожиженный слой. Через перистальтический насос распыляли раствор холина хлорида со скоростью ~20 мл/мин до получения требуемой массы адсорбированного препарата. На втором этапе на влажные гранулы наносили расплав желатин-крахмальной оболочки (40 % раствор с добавлением 10 % глицерина в качестве пластификатора) при температуре 50–55 °С. После нанесения покрытия гранулы сушили тёплым воздухом до остаточной влажности не более 5 %. Продолжительность всего цикла составляла 60–80 мин, выход готового продукта – 18,2 кг.

Определение технологических характеристик – массовой доли холина хлорида в препарате, влажность и размер гранул, их термостабильность, а также условный рубцовый байпас in vitro – производили с использованием следующих методов.

Массовая доля холина хлорида в препарате была определена с помощью метода капиллярного электрофореза на аналитической системе «Капель-105М». Гранулы предварительно были разбавлены дистиллированной водой для разделения высвобожденного холина. Далее регистрировали его концентрацию при длине волны 220 нм. Влажность гранул измеряли гравиметрическим методом: навеску 2 г сушили до постоянной массы при 105 °С. Размер гранул определяли ситовым анализом согласно ГОСТ 13496.8-72. Термостабильность оценивали нагревом навески до 85 °С в течение 10 мин с последующим анализом остаточной массы и содержания холина. Условный рубцовый байпас in vitro определяли методом динамической инкубации: 5 г гранул помещали в 250 мл искусственной рубцовой жидкости (pH 6,8; 39 °С), выдерживали 24 ч при постоянном перемешивании, затем отделяли гранулы, разрушали оболочку в кислой среде и анализировали остаточный холин капиллярным электрофорезом. Процент байпаса рассчитывали как отношение остаточного содержания холина к исходному.

Опыт in vivo проводили на 30 клинически здоровых бычках симментальской породы в возрасте 9 месяцев, принадлежащих ООО «ХАПК Грин Агро» (Приморский край). Животных распределили по принципу аналогов в две группы по 15 голов: контрольную и опытную. На начало опыта средняя живая масса составляла 223 ± 3 кг. Все бычки содержались на общей территории с доступом к чистой воде. Рацион базового откорма формировали в соответствии с нормами кормления крупного рогатого скота [11], включив 60 % кукурузного силоса, 20 % клеверно-люцернового сенажа и 20 % концентратной смеси (ячмень, пшеница, соевый шрот, минерально-витаминный премикс). Химический состав рациона обеспечивал содержание обменной энергии 10,5–11,0 МДж/кг сухого вещества и 15 % сырого протеина.

Животные опытной группы получали дополнительно 15 г микрокапсулированного холина хлорида ХХ60 в сутки (в пересчёте на 60 % активного вещества). Добавку смешивали с концентратом и скармливали индивидуально каждому бычку перед раздачей основной кормосмеси. Контрольной группе препарат не давали. В течение опыта, продолжавшегося 120

сут, ежедневно фиксировали потребление корма и остатки, ежемесячно взвешивали животных, рассчитывали среднесуточный прирост и конверсию корма как отношение сухого вещества, потреблённого на голову, к приросту живой массы.

По завершении опыта всех животных забивали на убойном пункте хозяйства. Массу парной туши и внутренних органов взвешивали для расчёта убойного выхода. Для анализа морфологического состава каждая половина туши подвергалась анатомической разборке с отделением и взвешиванием мышечной ткани, костей, внутреннего и подкожного жира. pH musculus longissimus dorsi измеряли через 24 ч после охлаждения туши с помощью портативного pH-метра (Hanna HI99163). Влагоудерживающую способность определяли методом прессования: навеску измельчённой мышечной ткани (10 г) помещали между фильтровальной бумагой и стеклянными пластинами под грузом 2 кг, через 10 мин измеряли потерю массы и рассчитывали долю связанной воды. Перекисное число липидов определяли титрометрическим методом по смеси растворителей (уксусная кислота – хлороформ) с последующим титрованием раствором тиосульфата натрия; результат выражали в ммоль активного кислорода на килограмм жира.

Результаты и их обсуждение

Технологические показатели препарата XX60 представлены в табл. 1. Высокая концентрация холина хлорида и узкое гранулометрическое распределение обеспечивают удобство дозирования и равномерность смешивания. Устойчивая оболочка сохраняет 96 % гранул при кратковременном нагреве до 85 °C, что подтверждает возможность применения при гранулировании комбикормов. Рубцовый байпас in vitro на уровне 84–88 % свидетельствует о достаточном сопротивлении микробной деградации (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика рубцово-защищенного холина хлорида 60 %

Table 1

Characteristics of rumen-protected choline chloride 60 %

Показатель	Значение
Содержание холина хлорида	60 ± 1,2 %
Влажность	≤5 %
Размер гранул	0,8–1,5 мм
Сохранность при 85 °C	96 %
Байпас рубца (in vitro, 24 ч)	84–88 %

Показатели продуктивности бычков приведены в табл. 2. Начальная масса животных в группах не различалась, что обеспечивает корректность сравнения. Введение XX60 статистически достоверно увеличивало конечную массу, среднесуточный прирост и улучшало конверсию корма.

Таблица 2

Показатели продуктивности бычков

Table 2

Productivity indicators of bulls

Показатель	Контроль	Опыт (XX60)	t-критерий Стьюдента, p
Начальная живая масса, кг	223 ± 3	223 ± 3	<0,05
Конечная живая масса, кг	412 ± 8	438 ± 7	<0,05
Среднесуточный прирост, г	980 ± 35	1067 ± 32	<0,05
Конверсия корма, кг СВ/кг прироста	7,8 ± 0,2	7,2 ± 0,2	<0,05
Убойный выход, %	55,2 ± 0,6	58,6 ± 0,5	<0,05

Характеристики туши и технологические свойства мяса после завершения опыта представлены в табл. 3. Данные демонстрируют улучшение морфологического состава в пользу мышечной ткани и снижение жировых отложений. Существенные изменения отмечены также по показателям pH24, влагоудерживающей способности и перекисного числа, что свидетельствует о повышенной технологической ценности мяса.

Таблица 3

Морфологический состав туш и технологические свойства мяса

Table 3

Morphological composition of carcasses and technological properties of meat

Показатель	Контроль	Опыт (XX60)
Доля мышечной ткани, %	62,3 ± 1,1	66,5 ± 0,9
Доля внутреннего жира, %	11,8 ± 0,7	9,6 ± 0,6
pH24	6,05 ± 0,04	5,72 ± 0,03
Влагоудерживающая способность, %	58,4 ± 1,3	62,0 ± 1,1
Перекисное число, ммоль/кг	3,8 ± 0,2	3,1 ± 0,2

Степень рубцового байпаса, определённая in vitro, составила 84–88 %, что обеспечивает высокую биодоступность холина в кишечнике. Это подтверждает безопасность применения препарата. В ходе опыта не отмечено падежа или нарушений здоровья; все животные сохраняли нормальный аппетит и физиологические реакции

Разработанная микрокапсулированная форма холина хлорида с повышенной концентрацией активного вещества отвечает требованию эффективной защиты в рубце и сохранения функциональности при термическом воздействии. Использование гранулированных пшеничных отрубей в качестве носителя обеспечивает равномерную адсорбцию и высокую кормовую ценность, а гидрофильная плёнка на основе модифицированного крахмала и желатина обеспечивает контролируемое высвобождение в поструминальных отделах. Технологические показатели демонстрируют, что препарат выдерживает нагрев до 85 °C и сохраняет более 80 % холина после 24-часового контакта с искусственной рубцовой жидкостью, что сопоставимо или выше, чем у коммерческих продуктов (70–85 % байпаса).

Введение XX60 в дозе 15 г/сут улучшало продуктивные показатели бычков: среднесуточный прирост увеличился на 8,9 %, а конверсия корма улучшилась на 7,7 %. Аналогичные эффекты описаны в метаанализе Humer et al. (2019) [8], где рубцово-защищённый холин снижал энергозатраты на липидный обмен и повышал молочную продуктивность. В настоящем исследовании получены данные для мясного скота; увеличение убойного выхода и доли мышечной ткани согласуется с гипотезой о перераспределении энергетических потоков в пользу белкового синтеза. Снижение доли внутреннего жира может быть связано с усилением транспорта триацилглицеридов из печени и повышением липолитической активности. Экспериментальные исследования Zahra et al. и Zenobi et al. на транзитных коровах показали увеличение удоя и улучшение метаболического профиля при использовании RPC [9, 10]. В исследованиях на ягнятах использование рубцово-защищённого холина в дозах 5–25 г/сут не оказывало достоверного влияния на прирост или убойную массу, но уменьшало концентрацию триглицеридов в крови и увеличивало толщину подкожного жира [4]. Другие авторы показали отсутствие эффекта на производственные показатели при введении до 5 г RPC в рационы откормочных ягнят [5]. При добавлении RPC в рационы козлов с низким уровнем энергии наблюдалось повышение потребления корма и улучшение влагоудерживающей способности мяса, однако среднесуточный прирост оставался стабильным [6]. Помимо влияния на продуктивность, холин рассматривается как фактор профилактики жировой инфильтрации печени и окислительного стресса у коров [7].

Показатели качества мяса – pH24, влагоудерживающая способность, перекисное число – важны для пищевой промышленности. Более низкий pH24 в опытной группе свидетельствует о полноценном протекании постмортального гликолиза и снижает риск возникновения мяса

тёмного, твёрдого и сухого типа (DFD). Повышение влагоудерживающей способности улучшает текстурные характеристики и выход готовой продукции при переработке. Снижение перекисного числа указывает на повышение антиоксидантного статуса и замедление окисления липидов, что может продлить срок годности мясных продуктов. Эти эффекты подтверждают, что метаболическая коррекция с помощью холина оказывает влияние не только на рост, но и на структурно-функциональные свойства мышечной ткани. Эффективность микрокапсулированных форм определяется технологией их получения; современные методы микрокапсулирования на основе спрей-сушки и полисахаридных плёнок защищают активные вещества от деградации и обеспечивают контролируемое высвобождение [3].

Заключение

В результате проведённой работы разработана отечественная микрокапсулированная форма холина хлорида с содержанием активного вещества 60 %, характеризующаяся высокой степенью рубцовой защиты, термостабильностью и равномерным гранулометрическим составом. Производственный опыт на симментальских бычках показал, что введение препарата в дозе 15 г/гол./сут в течение 120 сут повышало среднесуточный прирост, улучшало конверсию корма, увеличивало убойный выход и долю мышечной ткани, одновременно улучшая технологические показатели мяса (pH24, влагоудерживающая способность, перекисное число). Препарат не оказывал негативного влияния на клиническое состояние животных и может рассматриваться как эффективный и безопасный инструмент повышения продуктивности и качества мясного сырья. Предложенная технология микрокапсулирования и полученные данные обладают потенциалом для внедрения в практику кормопроизводства и переработки.

Список источников

1. Pinotti, L., Baldi, A., Dell’Orto, V. Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on the high-yielding dairy cow. Nutrition Research Reviews. 2002. Vol. 15(2). P. 315–332.

2. Jayaprakash G., Sathiyabarathi M., Tamilmani T., Jeyanathan J., Lalitt V., Ramesh G. et al. Rumen-protected choline: a review // Veterinary World. 2016. Vol. 9, No. 9. P. 933–939.

3. Oliveira T.T.B., Ferreira T.C.S., Tavares P.P.L.G., Correia P.R., Ribeiro C.V.D.M., Souza C.O. Innovative lipid delivery systems in ruminant diets: the role of spray drying // Frontiers in Veterinary Science. 2025. Vol. 12. Article 1619263.

4. Kawas J. R., Garcia-Mazcorro J. F., Fimbres-Durazo H., Ortega-Cerrilla M. E. Effects of rumen-protected choline on growth performance, carcass characteristics and blood lipid metabolites of feedlot lambs // Animals. 2020. Vol. 10, No. 9. Art. 1580.

5. Besharati M., Taghizadeh A., Seifdavati J. Supplementation of graded levels of rumen-protected choline to a pelleted total mixed ration did not improve the growth and slaughter performance of fattening lambs // Frontiers in Veterinary Science. 2022. Vol. 9. Art. 1001764.

6. Guo H., Zhang Y., Sun Z., Dong X., Yang R. Effects of rumen-protected choline supplied at different dietary energy levels on growth performance and meat quality of fattening goats // Journal of Animal and Feed Sciences. 2020. Vol. 29, No. 4. P. 390–399.

7. Liu Y., Nguyen T., Pires A.V. Choline as a modulator of periparturient diseases in dairy cows // Veterinary Sciences. 2025. Vol. 12, No. 3. Art. 201.

8. Humer E., Petri R.M., Aschenbach J.R. et al. Practical feeding of rumen-protected choline to dairy cows: a meta-analysis // Animals. 2019. Vol. 9, No. 8. Art. 566.

9. Zahra L.C., Duffield T.F., Leslie K.E., Overton T.R., Putnam D., LeBlanc S.J. Effects of rumen-protected choline and monensin on milk production and metabolism of transition dairy cows // Journal of Dairy Science. 2006. Vol. 89, No. 12. P. 4808–4818.

10. Zenobi M.G., Scheffler T.L., Zuniga J.E. et al. Effects of supplementation with ruminally protected choline on performance and metabolism of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, No. 3. P. 2212–2225.

11. Калашников А. П., Клейменов Н. И., Щеглов В. В. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справочное пособие. Москва : ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, 2022. 456 с.

Сведения об авторах

П. А. Шинкарук – ассистент базовой кафедры биологической и биохимической инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем».

Л. А. Текутьева – кандидат технических наук, доцент, директор Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», AuthorID: 699929.

Information about the authors

P. A. Shinkaruk – Assistant of the Basic Department of Biological and Biochemical Engineering, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”.

L. A. Tekutyeva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, AuthorID: 699929.

Статья поступила в редакцию 03.03.2026; одобрена после рецензирования 07.04.2026; принята к публикации 21.04.2026.

The article was submitted 03.03.2026; approved after reviewing 07.04.2026; accepted for publication 21.04.2026.

© Шинкарук П. А., Текутьева Л. А., 2026.

«Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60%): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков» [Шинкарук П. А., Текутьева Л. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).