

УДК: 636.2.033:636.2.087.7:636.2.087.71:636.2.085.15.

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2026.2.86 -98

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ КИШЕЧНИКА КОРОВ К ПЕРЕВАРИВАНИЮ ПОВЫШЕННЫХ ДОЗ КРАХМАЛА

Харитонов Е.Л., Василевский Н.В., Березин А.С.

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

Проведены исследования на лактирующих коровах с дуоденальными и рубцовыми канюлями по инфузии в двенадцатиперстную кишку градиентных доз крахмала на фоне разного уровня кормления. Установлено, что переваримость крахмала в кишечнике ограничена 1100г в сутки. Поскольку данный эффект ранее обнаруживался при инфузии крахмала в сычуг, а исчезал при одновременной инфузии казеина или аминокислот, сделано предположение о регуляции переваримости крахмала в кишечнике на основе вкусовых рецепторов. Выдвинутое предположение подтверждается отсутствием эффекта снижения переваримости крахмала под влиянием его инфузии в дуоденум за S-образным изгибом после впадения протоков поджелудочной железы и желчного пузыря.

Ключевые слова: коровы, крахмал, переваримость, кишечник

Проблемы биологии продуктивных животных. 2026. 2:86-98

Введение

Особенностью переваривания крахмала является различие в конечных продуктах всасывания в зависимости от места его переваривания. В преджелудках и толстом кишечнике крахмал переваривается в процессе анаэробного сбраживания с образованием летучих жирных кислот при повышенной доли пропионовой. В тонком кишечнике под действием панкреатической амилазы, мальтазы конечным продуктом переваривания является глюкоза. Причем ферментация сопровождается некоторой потерей энергии в виде углекислоты и метана. В то же время переваривающая способность кишечника в отношении крахмала ограничена (Matthe and Lebzein, 2000), хотя и более выгодна по сравнению с ферментацией в преджелудках (Moharrery at al., 2014; Flachowsky G., 2000). Оптимальным компромиссом в этой ситуации является положение, что до 70% крахмала должно перевариваться в преджелудках, а 30% в кишечнике и служить прямым источником глюкозы для нужд организма (Owens at al., 2016). В то же время общее содержание крахмала в рационе не должно ингибировать переваривание клетчатки в рубце по причине снижения рН, так как это приводит к снижению жира в молоке за счет интенсивного образования пропионовой кислоты и снижения доли уксусной.

Сравнение систем нормированного кормления показывают, что формулирование рационов с учетом количества неструктурных углеводов и в том числе крахмала, приводит к увеличению молочной продуктивности (Matthe at al., 2000; Matthe and Lebzein, 2000) и отложению в теле при откорме (Simon at al., 2023). Крахмал в рационах молочных коров содержится в значительных количествах и служит важным источником энергии как в виде летучих жирных кислот, которые являются конечными продуктами микробной ферментации, так и глюкозы в результате переваривания собственными ферментативными комплексами. Значение данных о переваривании крахмала складывается из возможности оптимизировать рационы по синхронизации ферментации углеводов и протеина для достижения эффективного микробного синтеза и различий в продуктивном действии конечных продуктов его анаэробного сбраживания

–ЛЖК или глюкозы, причем, последняя служит важным источником в обеспечении высокопродуктивных животных глюкогенными предшественниками. Поэтому необходимо иметь данные о скорости и размерах переваривания крахмала как в рубце, так и в кишечнике.

Переваривание крахмала в тонком кишечнике может обеспечить больше энергии из пищевого крахмала по сравнению с рубцовой ферментацией, что может повысить продуктивность и улучшить эффективность кормления у крупного рогатого скота, получающего рационы на основе крахмала; однако переваривание крахмала в тонком кишечнике у крупного рогатого скота ограничено по сравнению с нежвачными животными или рубцовой ферментацией крахмала (Acharya at al., 2023; Rocha at al., 2022). Сравнительно мало известно о факторах, влияющих на переваривание крахмала у молочных коров, особенно о значении на молочную продуктивность и состав молока (Shipandeni at al., 2023; Yang at al., 2023). Кроме того, переход в кормлении жвачных на потребление и переваривание больших количеств крахмалосодержащих кормов сопровождается рядом трудностей (Li at al., 2024).

Проведенные исследования показывают, что переваримость крахмала в желудочно-кишечном тракте из рационов с различными источниками крахмала мало различается, за исключением рационов с кукурузой или сорго (Mills at al., 2017). Однако, поскольку крахмал при переваривании может всасываться в виде глюкозы или летучих жирных кислот и это соотношение для разных видов крахмала и на разных рационах будет непостоянным. Как показали наши исследования при одинаковой общей переваримости крахмала разных видов зерновых, доля переваривания в преджелудках и кишечнике может значительно отличаться. Так, если крахмал пшеницы только на 6% от переваренного, может служить источником глюкозы, то кукурузный крахмал может от своей переваренной части давать 25% глюкозы. Крахмал ячменя при этом занимает промежуточное положение. Таким образом, разные виды крахмала при переваривании дают неодинаковое соотношение конечных продуктов для всасывания (Харитонов Е., 2019).

Поскольку крахмал является одним из основных источников энергообразующих питательных веществ, в частности глюкогенных предшественников, важным фактором в их доступности играет регуляция переваримости и усвоения крахмала и одновременно белка в кишечнике жвачных животных (Harmon and Swanson, 2020; Meenongyai at al., 2023). Ранее проведенные опыты по переваримости крахмала зерновых культур, особенно овцами, показали, что в рубце переваривается до 90% крахмала корма, а остальная часть - в кишечнике. Однако в последующих работах, выполненных на бычках, это поставлено под сомнение. Установлено, что в сычуг может поступать до 37% крахмала (Matthe A., 2000 a), причем эта величина может изменяться в зависимости от кормовых факторов и технологической подготовки кормов, особенно злаковых. Так, при скармливании животным рационов с ячменем или кукурузными хлопьями около 8% крахмала поступало в кишечник и там же переваривалось. В то же время, на рационах с молотой кукурузой около 32% крахмала проходило в кишечник, из которых 83% распадалось в тонком кишечнике, а остальное в толстом- слепой и ободочной кишках, причем в регуляции этого процесса участвует не только экзокринная система (Guo at al., 2021). Определено, что переваримость крахмала ячменя в рубце составляет $94 \pm 2,4\%$, крахмала кукурузы- $78 \pm 12,5\%$, сорго- $76 \pm 22,4\%$. Вместе с тем, общая переваримость крахмала во всем пищеварительном тракте для всех растений была примерно одинаковой ($99 \pm 1,2$), что обеспечивалось дополнительным перевариванием крахмала в толстом кишечнике (Ribeiro at al., 2026).

Под действием панкреатической амилазы и мальтазы крахмал в кишечнике гидролизуеться до глюкозы, где происходит практически полное ее всасывание. Повышенная концентрация глюкозы в крови воротной вены (Mwangi at al., 2023) дает основание для такого заключения.

Фактором, ограничивающим использование крахмала в кишечнике, может быть переваривание олигосахаридов мальтазой. Исследование фракций углеводов химуса из

конечного участка подвздошной кишки показало, что в тонком кишечнике исчезало из общего количества α -связанных полимеров глюкозы 58%, крахмала 92% и олигосахаридов 69%, а доступность энергии зависит от размеров частиц крахмала, скорости их прохождения через кишечник и сохраняется ли усвояемость крахмала в тонком кишечнике при увеличении его поступления (Trotta at al., 2021).

Поскольку жвачные животные в ходе эволюции не испытывали необходимости адаптироваться к большим количествам крахмала в тонком кишечнике, гидролиз крахмала и абсорбция глюкозы в тонком кишечнике у них, по-видимому, ограничены. У высокопродуктивных коров при 60-70% концентратов в рационе поступление крахмала в тонкий кишечник может составлять от 550 до 3160 г (Losse at al., 2000). Из них в результате действия собственных амилаз кишечника способны гидролизироваться и абсорбироваться до 2000г крахмала кукурузы (Reynolds at al., 1996), а максимально 4,6кг (McCarty at al., 1989). В других работах определена переваримость от 71,8 до 85,4% крахмала пшеницы, овса, ячменя, ржи (Kreikemeir at al., 1991; Serneau at al., 1991) и кукурузы-52% (Sudekum at al., 1989). При этом, обзор литературы обнаруживает очень большой разброс данных о переваривании и всасывании сахаров: от 10 до 96%.

При введении в сычуг коров разных видов крахмала в количестве 650, 1320, 1950 и 2666 г в сутки, видимая переваримость в кишечнике не изменялась (Van Vuuren at al., 1997). Авторы пришли к заключению, что при таких количествах не достигается максимальной величины переваривающей способности, за исключением муки тапиоки. Средняя переваримость была для маниоки, пшеничного, кукурузного крахмала, кукурузной муки и хлопьев кукурузы соответственно -42, 62, 70, 79, 92%. С помощью экспонентной кривой определяли максимальное количество, которое может быть переварено-2, 3,6; 3,9; 3,6; 5,2 кг соответственно. В современной практике кормления крупного рогатого скота, исследователи склоняются к мнению, что переваримость крахмала зависит большей частью от его физико-химических характеристик, а не от видоспецифических для животного факторов (Unnawong at al., 2023; Poolthajit at al., 2024).

Таким образом, данные литературы показывают, что при определенных условиях в кишечник жвачных животных может поступать достаточно большое количество крахмала, которое определяется: его количеством в рационе, источником и способом обработки кормов (Deckardt at al., 2013; Trotta at al., 2024; Metzler-Zebeli at al., 2014; Yang at al., 2018; Putra at al., 2023).

Секреция панкреатической амилазы не всегда может обеспечить высокую переваримость и усвояемость поступившего в дуоденум крахмала. Как показали современные исследования, важную роль при этом играет пониженная экспрессия гена, кодирующего сенсорный белок рецептора холецистокинина в ацинарных клетках жвачных (Trotta at al., 2024). Более того, низкая экспрессия гена сенсорного белка у взрослых коз в сочетании с низким распределением клеток, реагирующих на наполнение двенадцатиперстной кишки, может совместно приводить к замедленной реакции кишечно-панкреатического рефлекса и вызывать асинхронизацию процессов поступления пищи в тонкий кишечник и высвобождения пищеварительных ферментов, что в конечном итоге ограничивает усвояемость крахмала (Cheng at al., 2024).

Введение в рацион большого количества нераспадаемого в рубце крахмала может сопровождаться появлением крахмала в кале и приводить к нерациональному расходованию кормов. При этом, проблема повышения кислотности содержимого желудочно-кишечного тракта, в случае сбраживания α -сахаридов микрофлорой, сопряжена с серьезными нарушениями не только процессов пищеварения, но и метаболизма в тканях (Rocha at al., 2022; Matamura and Kondo 2025).

У молочного скота можно выделить несколько форм ацидоза, связанных с питанием. Рубцовый ацидоз подробно рассмотрен в литературе, в то время как роли ацидоза толстого кишечника и метаболического ацидоза до недавнего времени уделялось меньшее внимание.

Увеличение поступления непереваренного крахмала в толстый кишечник сопровождается повышенным риском возникновения ацидоза толстого кишечника (Krogstad et al., 2023). Ацидоз толстого кишечника потенциально может вызвать дисбиоз микробного сообщества и повреждение эпителия, что в свою очередь влияет на продуктивность и здоровье животных (Plaizier et al., 2018).

Ограниченность в обеспечении энергией потребности коровы в начале лактации компенсируется мобилизацией жировых запасов организма, в результате чего часть незатерифицированных жирных кислот переходит в кетоны. Введение кукурузного крахмала на этом фоне повышает в крови содержание пропионата, что совместно с ацетоацетатом и β -гидроксibuтиратом способно снизить буферную емкость крови до критических величин и способствовать возникновению метаболического ацидоза (van Gastelen et al., 2021a,b). Как ацидоз толстого кишечника, так и метаболический ацидоз снижают потребление корма, видимую переваримость и усвояемость питательных веществ, что негативно влияет на молочную продуктивность, состав молока, распределение азота и энергии в теле. Важно отметить, что метаболический ацидоз становится более тяжелым, когда у молочных коров также наблюдается ацидоз толстого кишечника, что предполагает наличие связи между ацидозом в толстом кишечнике и возникновением метаболического ацидоза. Не установлено существование связи между ацидозом толстого кишечника и метаболическим ацидозом в случае, когда метаболический ацидоз индуцируется накоплением кетоновых тел (т.е. другим механизмом, который может влиять на кислотно-щелочной баланс молочной коровы (van Gastelen et al., 2021a,b).

В настоящее время не обнаружено существенных колебаний в соотношении амилаз и протеаз в панкреатическом секрете на различных рационах, а модулирование пищеварительной активности осуществляется его объемом. Поскольку поступление питательных веществ в тонкий кишечник происходит только после предварительной ферментации в рубце, то по происхождению, крахмал тонкого кишечника состоит из непереваренного кормового и вновь синтезированного микробиального. При этом, соотношение крахмала и белка в продуктах как кормового, так и микробиального происхождения варьирует в небольших пределах. Исходя из этого, а также доступных в настоящее время данных о переваривании крахмала и всасывании образовавшейся глюкозы в тонком кишечнике, можно предположить следующую схему механизма регуляции данного процесса у жвачных.

Рецепторы наполнения кишечника совместно с рецепторами аминокислот через энтеральную нервную систему модулируют панкреатическую секреторную активность. Количество амилаз при этом увеличивается пропорционально протеазам. Регуляция активного транспорта глюкозы осуществляется через повышение их в дистальной части кишечника и посредством энтеральной нервной системы модулирует количество транспортного белка в мембране абсорбционных энтероцитов.

Увеличение поступления крахмала при его инфузии в сычуг не увеличивает образование панкреатического секрета, ввиду отсутствия сигнала от рецепторов аминокислот. Более того, из-за разбавления химуса может даже снижаться порог чувствительности рецепторов аминокислот и, следовательно, продуцирование панкреатического секрета.

Таким образом, проблема ограниченной способности переваривания больших количеств крахмала у жвачных, может быть преодолена путем тщательного изучения механизмов регуляции переваривания в кишечнике, транспорта конечных продуктов гидролиза и их метаболизации в теле.

Целью работы была экспериментальная проверка предложенной схемы регуляции переваривания крахмала у жвачных и выяснение максимальной способности кишечника продуктивных коров к эффективному перевариванию крахмала.

Материалы и методы

Исследования проведены в условиях вивария института на коровах голштинской породы в разные периоды лактации. Животным были установлены канюли рубца и 12-ти перстной кишки. Двенадцатиперстная канюля устанавливалась на правом боку животного в районе голодной ямки, за s-образным изгибом, после впадения протоков поджелудочной железы и желчного пузыря. Исследования проводились на двух рационах, состав и количество кормов в которых соответствовали потребностям животных. Кормление два раза в сутки равными долями, поение вволю через автопоилки.

Инфузия осуществлялась путем закачивания взвеси крахмала в составе физиологического раствора. Устройство для введения автоматически поддерживало температуру взвеси на уровне 39⁰С с точностью $\pm 0,5^0$ С и обеспечивало ее дозированную подачу через дуоденальную канюлю с регулируемой скоростью. Взвесь вводилась дозами различной концентрации по 30 – 50 мл с интервалами в 20 минут. Концентрация крахмала во взвеси и объем дозы обеспечивали введение крахмала 250г, 500г, 750г и 1000г за сутки. Такой режим инфузии в сочетании с местом наложения канюли исключал ответную реакцию вкусовых рецепторов проксимальной части дуоденума и частично средней его части. Для оценки переваримости крахмала в кишечнике в течении 7 суток проводился учет выделенного химуса и кала путем введения оксида хрома через рубцовую канюлю в качестве метчика твердой фракции. В отобранных образцах химуса и кала стандартными методами зоотехнического анализа определяли содержание основных групп питательных веществ.

Для оценки потенциальной возможности кишечника в переваривании крахмала проведено по четыре исследования влияния инфузии различных доз крахмала на двух рационах: без инфузии (0г), 250г, 500г и 750г на первом рационе (ОР1) и 0г, 500г, 750г и 1000г на втором (ОР2). Для создания возможно более контрастных условий с одновременной возможностью сопоставления результатов исследования проводили на животных в различные стадии лактации, а рационы составлялись из одинаковых кормов: Кукурузный силос, разнотравное сено и стандартный комбикорм для лактирующих коров. Итоговое потребление питательных веществ существенно различалось в соответствии с физиологическими потребностями животных. Общее потреблению сухого вещества при продуктивности 16 кг молока составляло 10,6кг в сутки на ОР1, а при продуктивности 32 кг молока - 15,0кг в сутки на ОР2. Изменилось так же соотношение концентрированных и фуражных кормов. В ОР1 – доля комбикорма составляла 32%, а в ОР2 – 54%. Питательная ценность потребленного животными корма в период проведения исследований по инфузии крахмала приведена в табл.1.

Таблица 1. Питательная ценность потребленного корма

Показатели	ОР1	ОР2
Обменная энергия, МДж	81,1	138,1
Сухое вещество, кг	8,22	12,2
Сырой протеин, г	973	1583
Распадаемый протеин, г	705	1134
Растворимый протеин, г	365	561
Обменный белок, г	612	929
Сырой жир, г	249	347
НДК, г	2688	5283
Сырая клетчатка, г	2002	2547
Крахмал, г	1990	3296

С целью контроля за продуктивностью, один раз перед проведением исследований проведена контрольная дойка и отбираются пробы молока для определения его состава. Для оценки параметров функционирования пищеварительной системы у коров в рубцовом содержимом, взятом через рубцовую канюлю спустя 3 часа после утреннего кормления, определены уровень рН, аммиака, ЛЖК, число бактерий и инфузорий, а также амилолитическая и целлюлозолитическая активность микрофлоры согласно общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение

Для определения исходного уровня пищеварительных процессов проводили исследования рубцового содержимого. Среднесуточные показатели рубцового пищеварения на обоих рационах в целом соответствовали их характеристикам (рис. 1). Повышение уровня питания во втором опыте за счет большего потребления корма, так и за счет повышения доли концентратов в рационе приводило к закономерному снижению рН и повышению уровня аммиака и ЛЖК. Одновременно наблюдалась тенденция к повышению доли пропионата и бутирата при достоверном снижении доли ацетата. Амилолитическая активность незначительно повышалась на фоне резкого достоверного снижения целлюлозолитической активности. При этом все показатели находились в пределах диапазона физиологической нормы, что свидетельствует о нормальном протекании микробиологических процессов в рубце.

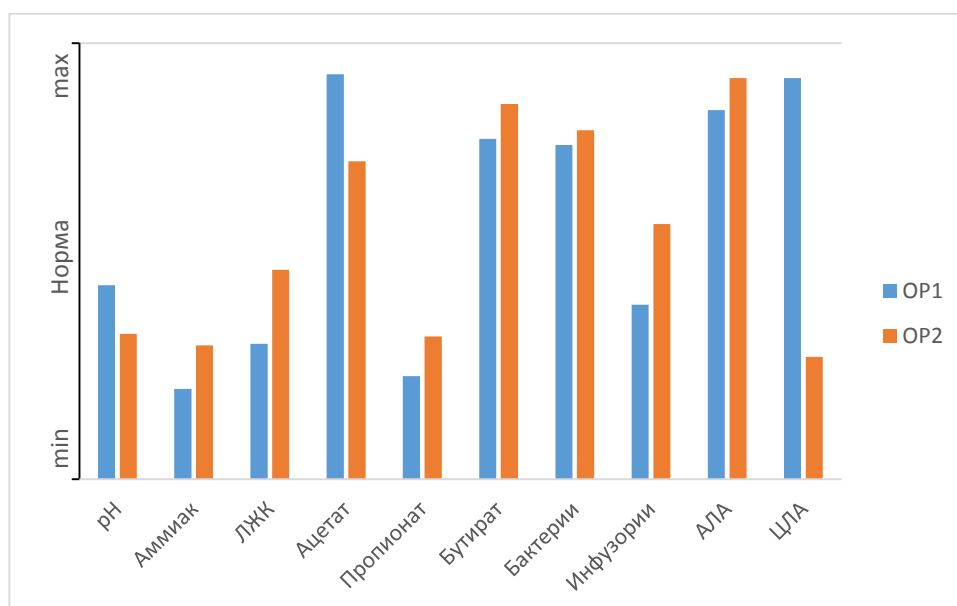


Рисунок 1. Среднесуточные показатели ферментативно-микробиологических процессов в рубце коров. АЛА – амилолитическая активность, ЦЛА – целлюлозолитическая активность. Все показатели приведены в относительных единицах от минимального до максимального значения нормы.

Проведение исследований на животных с различной продуктивностью и различным количеством потребления одинаковых кормов, в физиологически обусловленных количествах позволило анализировать полученные результаты в едином массиве. На основе количеств крахмала, принятого с кормом, поступившего в ДПК, инфузировавшегося в ДПК и выделенного с

калом были рассчитаны показатели переваримости в кишечнике как общего, так и дополнительно инфузировавшего в ДПК (табл.2).

Таблица 2. Транзит крахмала в ЖКТ коров

Параметр	ОР 1				ОР 2			
	Принято с кормом, г	1989 ±36	1989 ±36	1989 ±36	1989 ±36	3743 ±19	3743 ±19	3743 ±19
Поступило в ДПК, г	544 ±3,7	544 ±3,7	544 ±3,7	544 ±3,7	817 ±4,7	817 ±4,7	817 ±4,7	817 ±4,7
Инфузия в ДПК, г	0	250	500	750	0	500	750	1000
Сумма в ДПК, г	544	794	1044	1294	817	1317	1567	1817
Выделено с калом, г	329 ±3,3	314 ±7,5	391 ±4,8	433 ±6,5	295 ±5,3	352 ±8,6	466 ±4,3	874 ±5,6
Усвоено в кишечнике, г	215	480	653	861	522	966	1101	944
Усвоено в кишечнике инфузировавшего, г	0	265	439	646	0	443	579	421
Переваримость в кишечнике, %	39	60	63	67	64	73	70	52
Переваримость инфузировавшего, %		106	88	86		89	77	42

Изучение поступления крахмала в 12-ти перстную кишку коров показало, что на ОР1 без инфузии поступление крахмала в кишечник было зафиксировано на уровне 544г. При этом его переваримость в кишечнике отмечена на уровне 39%. Повышение поступления крахмала в кишечник при помощи инфузии растворов крахмала непосредственно в кишечник доводило его общее количество до 800-1300г. При этом переваримость крахмала в кишечнике повышалась до 60-67%. Усвоение крахмала в кишечнике достигало 861г, а это показывает, что критические уровни крахмала к перевариванию ОР1 не были достигнуты.

Исходный уровень крахмала ОР2 был повышен до 3743г, что обеспечивало поступление в кишечник на начальном уровне 817г крахмала, с переваримостью в кишечнике на уровне 64%. Дальнейшее повышение уровня крахмала в кишечнике за счет инфузии показало достоверное увеличение переваримости крахмала в кишечнике до 70%.

Более наглядно сопоставимость данных по транзиту крахмала в ЖКТ коров на различных рационах демонстрирует их графическое представление.

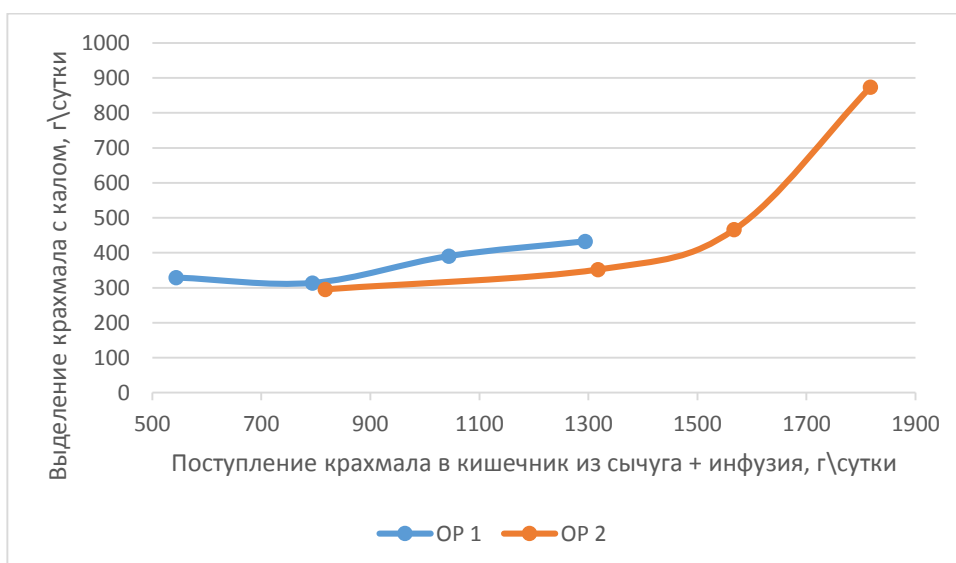


Рисунок 2. Среднесуточное выделение крахмала с калом в зависимости от его поступления в в 12-ти перстную кишку коров.



Рисунок 3. Усвоение в кишечнике инфузирванного крахмала.

На рис.2 представлен график выделения крахмала с калом в зависимости от его суммарного поступления в ДПК. По мере увеличения поступления крахмала в кишечник от 500 г до 1500г его выделение с калом постепенно возрастало с 300г до 450г. Дальнейшее повышение содержания крахмала в дуоденальном химусе приводило к резкому возрастанию его выделения с калом в два раза - до 900г, что свидетельствует об ограниченной возможности кишечника переваривать и усваивать избыточные количества крахмала сверх определенного лимита.

Момент «срыва пищеварения» хорошо виден на графике усвоения инфузирванного крахмала в зависимости от его инфузии (рис. 3).

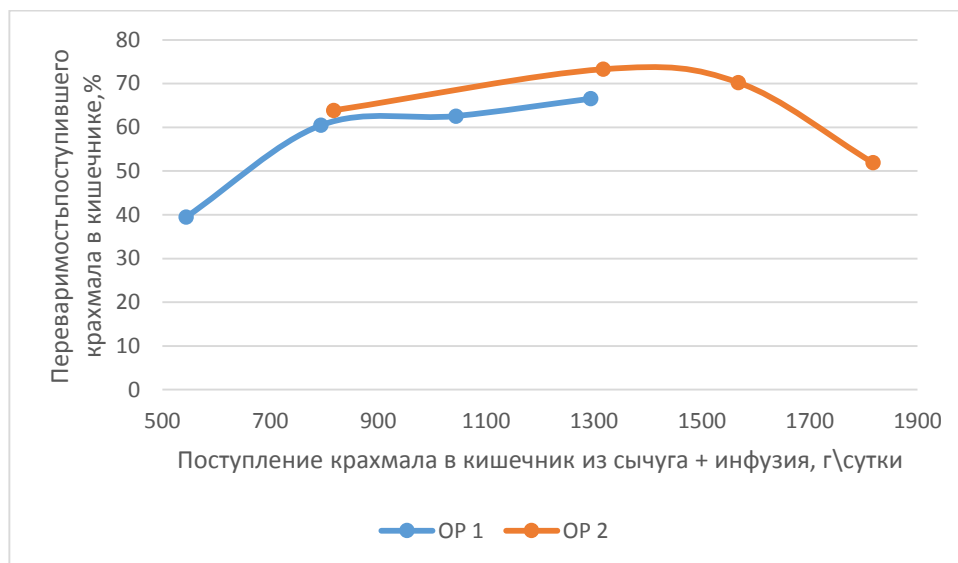


Рисунок 4. Переваримость поступившего в кишечник крахмала.

Для выяснения максимальной способности кишечника к перевариванию крахмала нами были использованы данные по его переваримости в кишечнике в зависимости от его количества, поступающего в ДПК (рис.4). Низкая начальная переваримость крахмала в кишечнике на ОР1 (39%) обусловлена тем, что ввиду относительно небольшого потребления концентрированных кормов, основное количество доступного для переваривания кормового крахмала усваивалось симбиотической микрофлорой в рубце, а оставшийся кормовой, поступающий в кишечник содержался в крупных частицах зерна или имел иную защиту от переваривания. Для математического моделирования нами были использованы данные по переваримости крахмала на обеих рационах, за исключением значения 52% на ОР2 при инфузии 1000г крахмала, когда наблюдались явные признаки «срыва пищеварения». В качестве модели использовалось логарифмическое уравнение вида $y = a \cdot \ln(x) + b$. Моделирование проводилось в среде Excel путем построения логарифмического тренда для полученных в опыте значений переваримости крахмала. Поиск решения проводили в направлении минимизации значения свободного члена (b) путем смещения начала координат оси абсцисс. В результате моделирования получено уравнение прогноза переваримости крахмала в кишечнике:

$$y = 10,429 \cdot \ln(x - 463) \quad (1),$$

где x – поступление крахмала в дуоденум в граммах, y – его переваримость в %.

С другой стороны, максимальная переваримость крахмала в кишечнике достигается на обеих рационах при общем количестве поступления более 1000г и составляет от 63% до 73%. Дальнейшее повышение инфузии крахмала приводило вначале к небольшому снижению до 70%, а затем и к обвалу до 52%. Выбрав значения поступления более 1000г для обеих рационов и построив тренд полиномом второй степени было получено уравнение для прогноза переваримости крахмала в области экстремума, после которого наблюдается спад переваримости:

$$y = -9E-05x^2 + 0,2395x - 89,435 \quad (2),$$

где x – поступление крахмала в дуоденум в граммах, y – его переваримость в %.

Решение полученной системы уравнений дает точку пересечения - 1258г крахмала, поступающего в дпк, при котором средняя переваримость для обеих рационов принимает максимальное значение 69,5%.

Таким образом результаты максимальное количество крахмал, которое может переваривать кишечник с максимальной эффективностью составляет 1258г г. Эти данные согласуются в целом со многими исследованиями и в то же время превышают общепринятую норму в 1000г.

Заключение

Отсутствие эффекта снижения переваримости крахмала при его инфузии в дуоденум после впадения протоков поджелудочной железы и желчного пузыря, наблюдаемый при инфузии в сычуг или проксимальный отдел дпк, подтверждает выдвинутую гипотезу о косвенном механизме регуляции переваривания крахмала в кишечнике крупного рогатого скота. Так же в пользу выдвинутой гипотезы свидетельствуют данные о повышении переваримости крахмала при его инфузии в первом опыте во всех периодах и во втором периоде второго опыта. Начиная с уровня 1567 г наблюдается снижение переваримости крахмала в кишечнике, которое при уровне 1816 соответствует срыву пищеварения.

В результате выполненной работы установлено, что при увеличении поступления в кишечник крахмала происходит постепенное насыщение переваривающей его способности, которое ограничивается 1100 г. Полученные данные позволяют рекомендовать формулировать рационы по содержанию распадаемого и нераспадаемого крахмала с учетом переваримости нераспадаемого крахмала в кишечнике с не превышением этого количества.

Полученные новые знания о переваривающей способности кишечного переваривания крахмала будут использованы для обоснования норм их скармливания в рационах высокопродуктивного молочного скота в рамках разрабатываемой Усовершенствованной системы питания молочного скота и бычков на откорме.

Список использованной литературы

1. Харитонов Е., Березин А., Лысова Е. Легкодоступные углеводы в рационах лактирующих коров. Животноводство России. 2019. № 2. С. 35-37
2. Moharrery A., Larsen M., Weisbjerg M.R. Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows – A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*. V 192, 2014, P 1-14, doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.03.001.
3. Mills, J. A. N., France, J., Ellis, J. L., Crompton, L. A., Bannink, A., Hanigan, M. D., & Dijkstra, J. (2017). A mechanistic model of small intestinal starch digestion and glucose uptake in the cow. *Journal of dairy science*, 100(6), 2017, P4650–4670. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12122>
4. Shipandeni M.N.T, Paula E.M., Esposito G., Faciola A.P., Raffrenato E. Effects of starch sources varying in particle sizes on ruminal fermentation, nutrient flow, starch digestibility, and lactation performance of dairy cows. *J Anim Sci*. 2023 Jan 3;101:skad147. doi: 10.1093/jas/skad147.
5. Unnawong N., Suriyapha C., Khonkhaeng B., Chankaew S., Rakvong T., Polyorach S., Cherdthong A. Comparison of Cassava Chips and Winged Bean Tubers with Various Starch Modifications on Chemical Composition, the Kinetics of Gas, Ruminal Degradation, and Ruminal Fermentation Characteristics Using an In Situ Nylon Bag and an In Vitro Gas Production Technique. *Animals (Basel)*. 2023 May 15;13(10):1640. doi: 10.3390/ani13101640..
6. Deckardt K, Khol-Parisini A, Zebeli Q. Peculiarities of enhancing resistant starch in ruminants using chemical methods: opportunities and challenges. *Nutrients*. 2013 Jun 4;5(6):1970-88. doi: 10.3390/nu5061970.
7. Trotta R.J., Kreikemeier K.K., Harmon D.L. Influence of flake density and starch retrogradation on in vitro gas production kinetics, digestibility, and ruminal fermentation characteristics of steam-flaked corn. *J Anim Sci*. 2024 Jan 3;102:skae308. doi: 10.1093/jas/skae308.

8. Trotta R.J., Kreikemeier K.K., Royle R.F., Milton T., Harmon D.L. Flake density and starch retrogradation influence in situ ruminal degradability characteristics of steam-flaked corn and predicted starch digestibility and energetic efficiency. *J Anim Sci.* 2021 Nov 1;99(11):skab298. doi: 10.1093/jas/skab298.
9. Trotta R.J., Swanson K.C., Klotz J.L., Harmon D.L. Influence of postruminal casein infusion and exogenous glucagon-like peptide 2 administration on the jejunal mucosal transcriptome in cattle. *PLoS One.* 2024 Aug 15;19(8):e0308983. doi: 10.1371/journal.pone.0308983.
10. Metzler-Zebeli B.U., Deckardt K., Schollenberger M., Rodehutschord M., Zebeli Q. Lactic acid and thermal treatments trigger the hydrolysis of myo-inositol hexakisphosphate and modify the abundance of lower myo-inositol phosphates in barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One.* 2014 Jun 26;9(6):e101166. doi: 10.1371/journal.pone.0101166.
11. Yang Y., Dong G., Wang Z., Liu J., Chen J., Zhang Z. Treatment of corn with lactic acid or hydrochloric acid modulates the rumen and plasma metabolic profiles as well as inflammatory responses in beef steers. *BMC Vet Res.* 2018 Dec 18;14(1):408. doi: 10.1186/s12917-018-1734-3.
12. Putra L.O., Suharti S., Sarwono K.A., Sutikno S., Fitri A., Astuti W.D., Rohmatussolihat R., Widyastuti Y., Ridwan R., Fidriyanto R., Wiryawan K.G. The effects of heat-moisture treatment on resistant starch levels in cassava and on fermentation, methanogenesis, and microbial populations in ruminants. *Vet World.* 2023 Apr;16(4):811-819. doi: 10.14202/vetworld.2023.811-819.
13. Poolthajit S., Takaeh S., Hahor W., Nuntapong N., Ngampongsai W., Thongprajukaew K. Microwave Cooking of Some or All High Starch Ingredients of Cattle Feed Concentrate Improves Nutritional Value and In Vitro Bioavailability. *Animals (Basel).* 2024 Oct 19;14(20):3028. doi: 10.3390/ani14203028.
14. Acharya S., Petzel E.A., Hales K.E., Underwood K.R., Swanson K.C., Bailey E.A., Cammack K.M., Brake D.W. Effects of long-term postgastric infusion of casein or glutamic acid on small intestinal starch digestion and energy balance in cattle. *J Anim Sci.* 2023 Jan 3;101:skac329. doi: 10.1093/jas/skac329.
15. Yang Z., Zhang Y., Wu Y., Ouyang J. Factors influencing the starch digestibility of starchy foods: A review. *Food Chem.* 2023 Apr 16;406:135009. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135009.
16. Harmon D.L., Swanson K.C. Review: Nutritional regulation of intestinal starch and protein assimilation in ruminants. *Animal.* 2020 Mar;14(S1):s17-s28. doi: 10.1017/S1751731119003136. PMID: 32024574.
17. Meenongyai W., Wongpanit K., Phongkaew P., Kaewkunya C., Juntanam T., Islam M.Z., Khejornsart P. Nutrient digestibility, ruminal fermentation, and blood metabolites of growing cattle-fed fermented cassava pulp with added flavoring agents. *J Adv Vet Anim Res.* 2023 Sep 24;10(3):437-448. doi: 10.5455/javar.2023.j697.
18. Guo L., Yao J., Cao Y. Regulation of pancreatic exocrine in ruminants and the related mechanism: The signal transduction and more. *Anim Nutr.* 2021 Dec;7(4):1145-1151. doi: 10.1016/j.aninu.2021.09.004.
19. Ribeiro P.H.C., da Silva L.A.F., Casali D.M., de Toledo A.F., Millen D.D. Cecal acidosis: an emergent digestive disorder in ruminants, //Livestock Science, Volume 303, 2026, 105875, ISSN 1871-1413, <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105875>.
20. Rocha L.C., Assunção A.S.A, Martins R.A., de Carvalho V.V., Perdigão A., Buzalaf M.A.R., Adamec J., Braga C.P., Millen D.D., Vieira J.C.S., Padilha P.M. Feedlot diets containing different starch levels and additives change the cecal proteome involved in cattle's energy metabolism and inflammatory response. *Sci Rep.* 2022 Apr 5;12(1):5691. doi: 10.1038/s41598-022-09715-7.
21. Simon A.L., Copetti P.M., Lago R.V.P., Vitt M.G., Nascimento A.L., Silva L.E.L.E., Wagner R., Klein B., Martins C.S., Kozloski G.V., Da Silva A.S. Inclusion of exogenous enzymes in feedlot

- cattle diets: Impacts on physiology, rumen fermentation, digestibility and fatty acid profile in rumen and meat. *Biotechnol Rep (Amst)*. 2023 Dec 17;41:e00824. doi: 10.1016/j.btre.2023.e00824.
22. Mwangi F., Dallasheh A., Kalyesubula M., Reicher N., Sabastian C., Mabjeesh S.J. Diet Preference, Feed Efficiency and Expression of the Sodium-Dependent Glucose Transporter Isoform 1 and Sweet Taste Receptors in the Jejunum of Lambs Supplemented with Different Flavours. *Animals (Basel)*. 2023 Apr 20;13(8):1417. doi: 10.3390/ani13081417.
 23. Cheng Y., Zhang T., Yang C., Gebeyew K., Ye C., Zhou X., Zhang T., Feng G., Li R., He Z., Parnas O., Tan Z. Low expression of CCKBR in the acinar cells is associated with insufficient starch hydrolysis in ruminants. *Commun Biol*. 2024 Dec 20;7(1):1686. doi: 10.1038/s42003-024-07406-9.
 24. Cerneau P., Michalet-Doreau B. In situ starch degradation of different feeds in the rumen // *Reprod. Nutr. Dev.*-1991.-V.31.-P.65-72.
 25. Flachowsky G. Loose K. Lebzien zur bereitstellung von maisprodukten als starkequellen fur milchkuhe // *Ubers. Tierernahrg*. 28 (2000).-S. 71-85.
 26. Kreikemeir K.K. Harmon D.L. Brand R.T. et. Al. Small intestinal starch digestion in steers: Effect of various levels of abomasal glucose, corn starch and dextrin unfusion on small intestinal disappearance and net glucose absorption.// *J.Anim. Sci.*- 1991.-V.69.-P.328-338.
 27. Losse K. Ruminaler abbau verschiedener starkequellen und duodenale starkeanflutung. *Landbauforschung Volkenrode, Sonderheft.*-2000.-V.217.-P.14-24
 28. Matthe A., Lebxin P., Flachowsky G.. Zur bedeutung von bypass-starke fur die glucosersorgung von hochleisterden milchkuhen *Ubers. Tierernahrg*. 28 (2000) 1-64.
 29. Matthe A., Lebzein P. Effects of wheat or corn starch application into the proximal duodenum of bulls on starch digestibility in the small intestine . *Proc. Nutr. Physiol.*-2000.-V.9.-P. 132.
 30. McCarthy R.D., Klusmeyer T.H., Vicini J.L. et. al. Effect of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows.//*J.Dairy Sci.*-1989.-V.72.-P.2002.
 31. Reynolds C.K., Beever D. E., and Sutton J. D. Effects of incremental duodenal starch infusion on milk composition and yield in dairy cows./ *J. Dairy Sci*. 1996.-79(Suppl. 1):138.(Abstr.)
 32. Sudekum K.H. Untersuchungen an Milchkuhen zum Ausmaß und Ort der Verdauung von Zellwandkohlenhydraten.//*Kiel, Univ.*-1989.-Agrwiss. Fak., diss.
 33. Van Vuuren A.M. Gerritzen M.A. De Visser H. :Intestinal absorption of starch in dairy cows //*J.Dairy Sci.*-1997.-V.80.- (Suppl.1)
 34. Owens C.E., Richard A. Zinn R.A., Hassen A., Fredric N. Owens F.N. Mathematical linkage of total-tract digestion of starch and neutral detergent fiber to their fecal concentrations and the effect of site of starch digestion on extent of digestion and energetic efficiency of cattle. *The Professional Animal Scientist*. Volume 32, Issue 5, October 2016, Pages 531-549 <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01510>
 35. Rocha L.C., Assunção A.S.d.A., Martins R.A. et al. Feedlot diets containing different starch levels and additives change the cecal proteome involved in cattle's energy metabolism and inflammatory response. *Sci Rep* 12, 5691 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09715-7>
 36. Matamura M., Kondo M. Estimation of total-tract starch digestibility using fecal starch concentration in fattening Japanese Black cattle. *Sci Rep* 15, 35300 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19380-1>
 37. van Gastelen S., Dijkstra J., Nichols K., Bannink A. Abomasal infusion of ground corn and ammonium chloride in early-lactating Holstein-Friesian dairy cows to induce hindgut and metabolic acidosis. *J. Dairy Sci.*, 104 (2021), pp. 4174-4191 <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19300>

38. van Gastelen S., Dijkstra J., Alferink S.J.J., Binnendijk G., Nichols K., Zandstra T., Bannink A. Abomasal infusion of corn starch and β -hydroxybutyrate in early-lactation Holstein-Friesian dairy cows to induce hindgut and metabolic acidosis. *J. Dairy Sci.*, 104 (2021), pp. 12520-12539 <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20323>
39. Krogstad K.C., Bradford B.J. Does feeding starch contribute to the risk of systemic inflammation in dairy cattle? *JDS Communications* Volume 4, Issue 1, January 2023, Pages 14-18 <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0303>
40. Plaizier J.C., Danesh Mesgaran M., H. Derakhshani, H. Golder, E. Khafipour, J.L. Kleen, I. Lean, J. Loor, Penner G., Zebeli Q. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows//*Animal*. Volume 12, Supplement 2, 2018, <https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>

References (for publications in Russian)

1. Haritonov E., Berezin A., Lysova E. Legkodostupnye uglevody v racionah laktiruyushchih korov. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2019. № 2. S. 35-37

UDC 636.2.033:636.2.087.7:636.2.087.71:636.2.085.15

Assessment of the ability of the intestines of cows to digest increased doses of starch

Kharitonov E.L., Vasilevsky N.V., Berezin A.S.

*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition,
branch of the Federal Research Center of Animal Husbandry, Ernst VIZh,
Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. Studies have been conducted on lactating cows with duodenal and cicatricial cannulas by infusion of gradient doses of starch into the duodenum against a background of different feeding levels. It has been established that the digestibility of starch in the intestine is limited to 1100g per day. Since this effect was previously detected with starch infusion into rennet, but disappeared with simultaneous infusion of casein or amino acids, it was assumed that starch digestibility in the intestine is regulated based on taste buds. This assumption is confirmed by the absence of the effect of reducing the digestibility of starch under the influence of its infusion into the duodenum behind the S-shaped bend after the confluence of the pancreatic and gallbladder ducts.

Keywords: cows, starch, digestibility, intestines

Problemy biologii productivnykh zhivotnykh Problems of Productive Animal Biology), 2026.2: 86-98

Поступило в редакцию: 12.05.2026

Получено после доработки: 06.06.2026

Сведения об авторах:

Василевский Николай Владимирович, к.б.н., с.н.с., тел: 7(926)063-41-74,
e-mail: vasilevskii.n@mail.ru, orcid. 0000-0002-7437-2910;

Харитонов Евгений Леонидович, д.б.н., г.н.с., тел: (84838)43016,
e-mail: evgenijkharito@yandex.ru, orcid: 0000-0001-9654-7710;

Березин Александр Сергеевич, н.с.