

УДК 636.2.084.523:612.396.398

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.82-91

ВЛИЯНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ РАСПАДА В РУБЦЕ УГЛЕВОДОВ И АЗОТИСТЫХ КОМПОНЕНТОВ КОРМА НА СОСТОЯНИЕ МЕТАБОЛИЗМА И ПРОДУКТИВНОСТЬ У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Харитонов Е.Л., Березин А.С., Лысова Е.А.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ им. Л.К. Эрнста,
Боровск, Калужской обл., Российская Федерация*

Цель исследования – изучить процессы рубцового пищеварения с учётом синхронизации ферментации протеина и углеводов, переваримость и усвоение питательных веществ у молочных коров в условиях стационарного содержания в зависимости от уровня в рационе растворимого протеина и сахара. Проведено три периода опыта на 3-х коровах холмогорской породы в середине лактации, получавшие рационы с разным соотношением суммы сахара и растворимого крахмала и растворимого протеина. Уровень растворимого протеина увеличивали за счёт дополнительного скармливания кормовой мочевины, легкодоступных углеводов – за счёт включения в рацион кормовой патоки. Установлено, что доведение до нормативных показателей уровня распадаемого протеина в рационе за счёт растворимого протеина приводит у коров к неэффективному использованию азота по причине повышенного выделения азота с мочой. Добавление в рацион легкодоступных углеводов (патока) позволяет значительно снизить выделение азота. При этом оптимальное соотношение растворимого протеина к сумме сахара и растворимого крахмала отмечается на уровне 0,41. Полученные данные предлагается использовать в качестве дополнительного физиологического критерия адекватности питания высокопродуктивного молочного скота с учётом качественного протеин-углеводного соотношения в новотельный период при высокой доле растворимого протеина в рационе.

Ключевые слова: лактирующие коровы, рубцовое пищеварение, нормы протеинового питания, растворимый протеин, легкодоступные углеводы.

Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. 3: 82-91.

Введение

Проблема повышения поступления аминокислот в организм животных может быть решена не только за счет увеличения поступления аминокислот корма в дуоденум, но также за счет микробного белка (Кальницкий, 2005; Харитонов, 2007). Совершенствование систем кормления жвачных животных предполагает использование знаний количественных параметров ферментации питательных веществ кормов в рубце для оптимизации микробного синтеза белка в рубце (Кальницкий, 2002).

В настоящее время установлены нормативы содержания распадаемого протеина в рационах, но без учета оптимального содержания растворимого протеина и скорости распада сырого протеина (СП) и углеводов (Кальницкий, 2008). По данным ранее проведенных исследований (Березин, 2006), увеличение в составе распадаемого СП доли растворимого СП часто сопровождается снижением эффективности микробного синтеза. Показано также значение синхронизации скорости распада протеина и углеводов в рубце для эффективного микробного синтеза (Henning, 1993; Davis, 1999). Определено соотношение сырой клетчатки и суммы легкопереваримых углеводов, обеспечивающее эффективный микробный синтез белка (Тараканов, 1984). Однако в связи с вводом нового нормируемого показателя, характеризующего содержание клетчатки в рационах нейтрально-детергентной клетчатки (НДК) и введением характеристик питательных веществ кормов по

доступности к перевариванию в преджелудках требуется уточнить оптимальное соотношение растворимого и распадаемого СП в рационах и оптимальное освобождение азотистых веществ на 1 г ферментируемых углеводов (НДК, сахаров и крахмала) (Харитонов, 2012).

В настоящее время для лактирующих коров используются нормы содержания в рационах крахмала и сахара и критерии оценки адекватности соотношения разных фракций углеводов и белков в рационах для обеспечения оптимальных микробиологических процессов в рубце и основными субстратами синтеза компонентов молока в молочной железе коров (Харитонов, 2001, 2003. Между тем различные источники неструктурных углеводов (сахар и крахмал) и распадаемый и растворимый протеин могут влиять на поступление аминокислот в кишечник за счёт изменение микробного синтеза (Харитонов, 2007, 2011).

Увеличение в рационе доли ЛПУ (легко переваримых углеводов) увеличивало использование азота аммиака для синтеза микробного протеина (Nocsek, 1988a; Hoover, 1991, 1991). Снижение отношения ЛПУ к РП также увеличивало поступление микробной массы в кишечник (Hoover, 1991). Синхронизация распадаемости РП и ЛПУ должна обеспечивать максимальный микробный синтез для поддержания роста и молочной продуктивности. Для лактирующих коров был проведен ряд работ по оценке молочной продуктивности и поступлению микробного белка в кишечник при различных соотношениях ЛПУ и РП (Nocsek 1988b, 1991; Hoover, 1991; Clark, 1992). Поскольку кукуруза и ячмень являются основными источниками ЛПУ в составе зерновых в рационах высокопродуктивных молочных коров, главное их различие состоит в скорости распада крахмала, которая выше у зерна ячменя. Проведены сравнительные исследования на коровах по замене ячменя на другие источники распадаемого крахмала (Sniffen, 1987; Bilodeau 1988; Herrera-Saldana, 1989; McCarthy, 1989; Casper, 1990; Grings, 1992; Casper, 1994), которые показали как увеличение, так и снижение молочной продуктивности. Небольшой эффект был получен, когда ячмень комбинировали с различным количеством растворимого и распадаемого протеина (Casper 1989; Casper, 1990).

Различия по продуктивному эффекту, выявленные в этих экспериментах, связаны, по-видимому, с разным соотношением ЛПУ и РП, поскольку разные источники ЛПУ имеют разную скорость ферментации (кукуруза-ячмень), и разную долю растворимой фракции (сахара). Такая же ситуация с распадаемым протеином. Различные источники имеют разную долю растворимого протеина и разную скорость распада фракции распадаемого протеина (Casper, 1990). В тех работах, в которых замена источников крахмала и распадаемого протеина проводилось под контролем фиксации соотношения РП к ЛПУ (David, 1999), наблюдалось снижение молочной продуктивности при изменении этого соотношения с 0,30 до 0,42 за счёт замены зерна кукурузы на зерно ячменя. При этом изменений в микробном синтезе обнаружено не было. В работе (Henning et al., 1993) не обнаружено влияния синхронизации ферментации энергетических источников и протеина на синтез микробного белка. Поэтому необходимы дальнейшие исследования по поиску оптимальных соотношений между компонентами неструктурных углеводов и фракций распадаемого протеина для оптимизации рубцовой ферментации, микробного синтеза и поддержания высокой продуктивности.

При приведении к оптимальному соотношению скорости ферментации белков и углеводов, для обеспечения максимального микробного синтеза, вероятно, будет иметь эффект синхронизация распада в рубце растворимого протеина и сахара, фактически распадаемого протеина, крахмала и структурных углеводов. Такой подход позволит увеличить микробный синтез и сгладить динамику образования и всасывания из рубца ЛЖК и аммиака. Результат можно оценить в балансовых опытах по снижению выделения азота с мочой, снижению концентрации аммиака в рубце, мочевины в крови. Кроме этого, скорость ферментации крахмала и сахаров корма определяет объемы и ритмику образования ЛЖК, всасывания их в кровь и окисления в органах и тканях. Неравномерное образование и всасывание ЛЖК из преджелудков может создавать в отдельные периоды суток пиковые нагрузки на системы поддержания гомеостаза в организме коровы и снижать эффективность использования корма. С этими факторами эффективность использования ЛЖК и глюкозы и на энергетические цели. Нами было установлено, что при высокой скорости

ферментации углеводов эффективность использования энергии рациона для образования продукции снижается, а пиковая нагрузка на гомеостатические системы возрастает. Было обнаружено, что повышенное поступление ацетата в кровь воротной вены может вызывать снижение в ней объёмного кровотока, что уменьшает количество всасываемого ацетата. Кроме того, в исследованиях на растущих бычках, было показано, что при поддержании достаточной концентрации глюкозы в крови не происходит резкого роста теплопродукции в тканях при поступлении в кровь больших количеств ЛЖК. В связи с этим предполагалось, что определение концентрации важнейших энергетических субстратов в рубце и крови и динамики окислительных процессов в организме при разных условиях кормления может дать полезную информацию для оптимизации состава рациона с целью повышения эффективности использования питательных веществ и энергии рациона. Степень сглаживания динамики образования ЛЖК в рубце может быть оценена по величине теплопродукции и дыхательному коэффициенту.

Такие данные планировалось получить при исследовании процессов пищеварения и образования субстратов в пищеварительном тракте, продукции компонентов молока, общей тканевой теплопродукции и окисленных субстратов в организме коров при разной степени сбалансированности растворимого протеина и сахара в рационах.

Цель исследования – изучение процессов ферментации в преджелудках, переваримости и усвоения питательных веществ у коров молочного направления продуктивности при различных соотношениях фракций протеина и углеводов в рационах, оценка параметров функционирования пищеварительной системы и продукции основных предшественников молока.

Материал и методы

Исследование проведено в условиях вивария института на коровах холмогорской породы в первый период лактации. начале лактации. На основании оценки кормов рационов по данным зоотехнического анализа и с учётом определенной нами доступности питательных веществ кормов рационов к перевариванию проведена оценка обеспеченности организма коров основными питательными веществами и субстратами и рассчитан уровень распадаемого и не распадаемого крахмала, сахара НДК и КДК, растворимого и распадаемого протеина в рационах. В предварительных исследованиях, проведенных в условиях вивария института на коровах с канюлями рубца, определены содержание и распадаемость ЛПУ и фракций протеина основных кормов рациона. На основании полученной информации проведена корректировка текущего рациона коров.

Эксперимент проведен на трёх лактирующих коровах, подобранных с учётом живой массы, возраста и продуктивности за предыдущую лактацию, методом периодов (три периода продолжительностью 30 дней каждый); в каждом из периодов скармливали рационы с разным соотношением сахара и растворимого крахмала (С+РК) и растворимого протеина (РсП) для достижения заданного уровня молочной продуктивности по схеме:

Показатели рациона	Периоды опыта		
	1 (ОР))	2(ОР+моч)	3 (ОР+моч -+пат)
Раств. СП/(С+РК)	0,33	0,45	0,39
РсП/С	1,31	1,75	0,51
РсП/(РК+С)	0,32	0,43	0,29

Примечания: ОР – основной рацион, моч – мочевина, пат – патока.

На протяжении опыта проводился учёт потребления кормов рациона, его химический состав. С целью контроля за продуктивностью, один раз в месяц проводились контрольные дойки и отбирались пробы молока и определялся его состав. Путём взвешивания и визуальной бальной оценки проведен анализ упитанности коров.

Для определения параметров функционирования пищеварительной системы и образования субстратов в пищеварительном тракте, у коров в рубцовом содержимом, взятом через рубцовую канюлю через 3 часа после утреннего кормления, определены уровень рН, аммиака, ЛЖК и их состав, число бактерий и инфузорий, амилалитическая и целлюлозолитическая активность микрофлоры (Изучение пищеварения у жвачных животных. Боровск: ВНИИФБиП, 1987).

Таблица 1. Рационы для лактирующих коров на 15 л молока для трёх периодов опыта

	Периоды		
	1	2	3
Силос кукурузный (2-й класс)	20	20	20
Сено разнотравное (2-й класс)	2	2	2
Зерносмесь	6	6	6
Мочевина (Оптиген)		0,15	0,15
Патока			1,5

Распадаемость протеина и углеводов, а также растворимость протеина кормов проводили по методам, описанным в сборнике (Материкин, 1998).

Для оценки уровня энергетического питания и состава окисленных субстратов в организме коров в конце каждого периода проведен газоанализ масочным методом, на основании которого рассчитан уровень теплопродукции и использование субстратов в энергетическом обмене (Кальницкий, 1998).

Для оценки уровня углеводно-липидного питания в крови хвостовой и молочной вен для определения концентрации глюкозы, ЛЖК, триацилглицеролов, НЭЖК, свободных аминокислот, мочевины, аммиака. В молоке определен уровень липидов и их жирнокислотный состав, белка, лактозы, мочевины, глюкозы.

Перечень используемого оборудования. В исследованиях использован аппарат Кьельтек для определения азота, калориметр АБК-1 для определения калорийности проб кормов и молока, газоанализатор-хроматограф АХТ-ТИ и аппарат Холдена (ПАГ-4) для анализа газов выдыхаемого воздуха, анализатор молока Milko-Star (Италия), газожидкостной хроматограф Цвет-800 для анализа ЛЖК крови и рубцовой жидкости, жирнокислотного состава молока и кормов, биохимический полуавтоматический анализатор Screen Master LHD1 13 (Италия) для анализа крови. а также стандартное аналитическое оборудование.

Материалом для исследования служили:

– корма рационов (сено, силос, ячмень, пшеница, подсолнечный шрот, кормовая мочевина, патока);

– рубцовое содержимое, полученное через пищеводный зонд через 3 часа после утреннего кормления (рН, аммиак, ЛЖК и их состав, число бактерий и инфузорий, амилалитическая и целлюлозолитическая активность микрофлоры);

– средние пробы молока во время контрольных доек (калорийность, жир, жирнокислотный состав, белок, лактоза, мочевина);

– средние пробы выдыхаемого воздуха (кислород, углекислый газ);

– пробы крови из подхвостовой и молочной вен, полученные пункцией через 3 часа после утреннего кормления (концентрация глюкозы, ЛЖК, триглицеролов, НЭЖК, кетоновых тел, свободных аминокислот, мочевины).

Анализ крови проведен с использованием тест-систем фирмы «ЮНИМЕД» и фирмы «Randox».

Результаты и обсуждение

Показатели рубцового пищеварения в контрольной группе в целом соответствовали характеристикам рациона (табл. 2). Исследование ферментативной и микробиологической активности в рубце опытных коров не выявило существенных сдвигов в изучаемых показателях и не было выявлено признаков ацидоза и иных нарушений рубцового пищеварения. Введение мочевины не приводило к значительному повышению содержания в рубце аммиака, что свидетельствует о медленном её гидролизе, т.к. она находилась в «защищенной» форме. Дополнительное введение патоки также не оказало влияния на уровень аммиака в рубце.

Таблица 2. Показатели рубцовой ферментации в рубце коров через 30 дней после отёла (M±m; n=3)

Показатели	Периоды опыта		
	1	2	3
pH	6,7±0,1	6,8±0,1	6,8±0,2
Аммиак, мг/100 мл	16,7±0,5	17,2±0,8	18,5±0,2
ЛЖК, ммоль/100 мл	10,8±0,2	11,1±0,1	11,8±0,2
Ацетат, %	67,7±0,8	68,7±0,7	67,2±0,4
Пропионат, %	18,1±0,9	19,1±1,1	18,2±0,8
Бутират, %	14,2±0,8	12,1±0,6	14,6±0,6
Число бактерий, млрд/мл	8,8±0,75	8,7±0,9	9,2±0,7
Число инфузорий, тыс/мл	311±15	338±17	348±13
Амилолитическая активность, Ед/мл	29,2±3,5	29,5±5,5	31,8±4,5
Целлюлозолитическая активность, %	13,3±1,7	11,8±1,4	13,4±1,6

Полученные данные свидетельствуют о том, что обеспечение микрофлоры преджелудков углеводными компонентами, доступными формами аминокислот и аммонийным азотом было на оптимальном уровне и не оказывало воздействия на развитие и эффективность действия микрофлоры.

Изучение процессов переваривания питательных веществ в желудочно-кишечном тракте показало увеличение переваримости протеина и жира при введении в рацион мочевины. Дополнительное введение патоки увеличивало переваримость сухого, органического вещества, золы и БЭВ по сравнению с другими периодами.

Исследование показателей крови коров на 30-й день после применения добавки, проведенное для контроля состояния гомеостаза у животных, показало, что испытуемый препарат не имеет выраженного негативного влияния на метаболические процессы. Практически все исследуемые биохимические показатели крови существенно не различались между группами и соответствовали физиологической норме (табл. 4). Отмечено значительное увеличение уровня мочевины в крови коров при включении в рацион мочевины во все периоды опыта; при этом не наблюдали усиления мобилизации жировых депо, что следует из показателей липидных компонентов и кетоновых тел в крови при незначительном повышении уровня триацилглицеролов.

Параметры азотистого обмена показывают, что основные показатели не изменялись. В то же время отмечено значительное ($P<0,05$) снижение концентрации аммиака в плазме крови у коров в 3-й период (табл. 5).

Введение добавки приводило к увеличению молочной продуктивности у животных опытной группы по сравнению с исходным уровнем на 36,8%. Анализ молочной продуктивности и состава молока выявил увеличение молочной продуктивности, выхода липидов и белка с молоком у коров опытных групп. В то же время у коров контрольной группы все эти показатели (кроме удоя и выхода белка) снижались. Отмечено снижение суточного выделения мочевины с молоком у коров опытных групп. При этом существенных различий по составу молока и его качеству между группами не выявлено за всё время опыта.

Таблица 3. *Переваривание питательных веществ в желудочно-кишечном тракте коров*

Показатели	Периоды опыта					
	1		2		3	
	переварено, г	переваримость, %	переварено, г	переваримость, %	переварено, г	переваримость, %
СВ, кг	7,5±0,28	62,1±2,3	7,4±0,08	62,8±0,9	7,8±0,33	66,6±0,13
ОВ, кг	7,38±0,26	63,8±2,3	7,3±0,08	64,7±0,9	7,7±0,3	68,2±0,14
СП, г	924±58	57,3±3,6	1342±2	70,9±0,1	1307±25	66,1±0,3
СК, г	977±176	43,6±7,8	711±11	33,5±0,3	909±8	43,4±7,2
СЖ, г	177±33	49,1±9,3	257±6	74,1±1,9	243±24	69,9±4,4
Зола, г	169±14	28,9±2,4	142±2	25,3±0,3	191±6	33,8±0,2
БЭВ, г	5308±67	72,1±0,9	4974±85	72,1±1,5	5215±429	76,5±2,3

Таблица 4. *Биохимические показатели крови (M±m; n=3)*

Показатели	Периоды опыта		
	1	2	3
Аминный азот, мг/100 мл	4,1±0,2	3, 2±0,1	3,57±0,22
Триацилглицеролы, мг/100 мл	6,28±0,57	5,63±0,14	6,23±0,72
Глюкоза, мМ	2,49±0,09	3,3±0,1	2,74±0,16
β-оксибутират, мМ	2,16±0,15	2,1±0,12	2,02±0,24
Мочевина, мМ	1,69±0,32	4,32±0,08	4,96±0,26

Таблица 5. *Биохимические показатели плазмы крови (M±m; n=3)*

Периоды	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Аммиак, мкМ
1	70,4±5,2	37,6±2,3	497±54
2	65,2±0,1	41,2±1,7	443±54
3	70,4±7,8	35,3±0,1	294±73

Изучение баланса азота в организме коров показало (табл. 6), что введение мочевины в рацион значительно увеличивало выделение азота с мочой. Добавление в рацион легкодоступных углеводов (патока) позволяет значительно снизить выделение азота. Происходило резкое снижение выделение азота с мочой коровами в 3-й период опыта.

Таблица 6. *Использование азота в организме коров*

Показатели	Периоды опыта		
	1	2	3
Принято, г	258±0,1	303±1	321,0±0,21
Выделено: с калом, г	109,9±9,2	88,1±0,6	107,2±0,6
С мочой, г	78,9±1,4	140,5±1,6	111,9±0,3
С молоком, г	51,7±0,6	64,7±4,4	69,3±3,6
Отложено, г	17,1±10,0	9,6±5,6	32,4±3,3
Выделено с мочой: от принятого, %	30,6±0,5	46,3±0,4	34,8±0,1

Примечание: здесь и в табл. 7: *P<0.05, ** P<0.001 по *t* - критерию при сравнении с контрольным периодом

Изучение лёгочного газообмена показало, что изменение соотношения в рационе растворимого протеина и ЛПУ не приводило к существенным изменениям поглощения кислорода и выделения углекислого газа (табл. 7).

Таблица 7. Лёгочный газообмен ($M \pm m$, $n=3$)

Показатели	Рационы		
	ОР (основной рацион)	ОР + мочевины	ОР + мочевины + патока
Вентиляция лёгких, л/мин	83±13	79±6	78±3
Потребление O ₂ , л/мин	2,50±0,02	2,60±0,07	2,69±0,06
Выделение CO ₂ , л/мин	2,20±0,02	2,16±0,02	2,34±0,05
Дыхательный коэффициент (VCO ₂ /VO ₂)	0,880±0,016	0,853±0,026	0,872±0,036
Калорический эквивалент кислорода, ккал	4,90±0,02	4,86±0,03	4,88±0,03
Суточная теплопродукция, МДж	73,8±0,4	76,1±1,5	79,0±1,0*

Здесь и в табл. 8: *P<0.05, ** P<0.001 по *t* - критерию при сравнении с основным рационом.

При изучении баланса энергии отмечено увеличение потерь энергии с мочой при введении в рацион мочевины и существенное снижение его при дополнительной даче карбомил-глутамата и патоки (табл. 8).

Таблица 8. Баланс энергии, МДж/сут ($M \pm m$, $n = 3$)

Показатели	Рационы		
	ОР (основной рацион)	ОР + мочевина	ОР + мочевины + патока
Валовая энергия корма	218,6±0	228,1±0	242,8±0
Валовая энергия кала	77,8±1,6	80,95±2	87,2±2,3
Энергия переваримых питательных веществ	140,8±1,6	147,2±2,0	155,7±2,3*
Потери энергии с метаном и теплотой ферментации	22,9±0,3	23,9±0,3	25,3±0,4*
Энергия мочи	8,7±1,6	10,3±0,3*	6,1±0,1
Обменная энергия	109,2±3	113,0±1,4	124,3±1,9
Энергия удоя	29,7±3,6	29,1±2,3	30,1±2,0
Теплопродукция	73,8±0,4	76,1±1,5	79,0±1,0*
Баланс энергии +-	+5,8±0,9	+7,9±2,3	+15,3±1,1*

При этом из-за снижения переваримости жира при даче КГ отмечалось увеличение потерь энергии с калом, в результате 2-й и 3-й периоды не различались по обменной энергии. Наибольшие изменения наблюдали у коров в 4-й период. Самые высокие значения обменной энергии, энергии молока и отложения энергии в теле отмечены в 4-й период, в основном из-за наибольшего потребления энергии с кормом.

Заключение

Доведение до нормативных показателей уровня распадаемого протеина в рационе за счёт растворимого протеина приводит к неэффективному использованию азота организмом коров по причине повышенного выделения азота с мочой. Добавление в рацион легкодоступных углеводов (патока) позволяет значительно снизить выделение азота. При этом оптимальным соотношением растворимого протеина к сумме сахара и растворимого крахмала отмечается на уровне 0,41. Увеличивает эффективность использования азота и введение в рацион N-карбомил-глутамата за счёт более эффективной переработки аммиака в мочевины на уровне организма.

Полученные данные предполагается использовать для разработки дополнительного физиологического критерия адекватности питания высокопродуктивного молочного скота с учётом протеин-углеводного соотношения в новотельный период при высокой доле растворимого протеина в рационе.

Список литературы

1. Березин А. Синтез микробного белка в рубце коров при разном соотношении растворимой и распадаемой фракций протеина в рационе. // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2006. № 12. С. 32-33.
2. Кальницкий Б.Д. (Ред.). Методы исследований питания сельскохозяйственных животных. Боровск: ВНИИФБиП, 1998. 405 с.
3. Кальницкий Б.Д., Харитонов Е.Л. Процессы ферментации белка в преджелудках жвачных и возможности оптимального нормирования белкового (аминокислотного) питания молочных коров. // Материалы конференции «Аминокислотное питание животных и проблема белковых ресурсов». Краснодар: Кубанский ГАУ, 2005. С.131-156.
4. Кальницкий Б.Д., Харитонов Е.Л. Установление норм протеинового питания молочных коров для первой фазы лактации. // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 10. С. 18-22.
5. Кальницкий Б.Д., Харитонов Е.Л. Физиолого-биохимические подходы к оценке питательности кормов и нормированию кормления жвачных животных. // Сельскохозяйственная биология. 2002. Том 37. № 4. С. 3-11.
6. Материкин А.М., Харитонов Е.Л. Определение растворимости, распадаемости и переваримости протеина кормов. // В сб.: Методы исследований питания сельскохозяйственных животных. Боровск: ВНИИФБиП, 1998. С. 132-140.
7. Харитонов Е.Л. Анализ кормовых рационов для высокопродуктивного молочного скота различных регионов страны. // Молочное и мясное скотоводство. 2012. № 4. С. 11-15.
8. Харитонов Е.Л. Оптимизация питания высокопродуктивных молочных коров. // Материалы III научно-практической конференции: «Перспективные направления в производстве и использовании комбикормов и балансирующих добавок». Дубровицы: ВИЖ, 2003. С. 18-19.
9. Харитонов Е.Л. Современное состояние и перспективы развития теории питания жвачных животных на основе концепции субстратной обеспеченности метаболизма. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2007. № 2. С.76-106.
10. Харитонов Е.Л., Кальницкий Б.Д. Нормирование питания жвачных животных с учётом субстратной обеспеченности метаболизма и продуктивности. // Материалы международной конференции: «Актуальные проблемы биологии в животноводстве». Боровск: ВНИИФБиП, 2001. С. 10-19
11. Харитонов Е.Л., Мыслик Н.Д. Решение проблемы протеинового питания коров. // Молочная промышленность. 2011. № 6. С. 73-74.
12. Харитонов Е.Л., Пакош Е. Оптимизация белково-аминокислотного питания коров и качество молока // Молочное и мясное скотоводство. 2007. № 4. С. 24-25.
13. Casper D.P., Schingoethe D.J., Brouk M.J., Maiga H.A. Nonstructural carbohydrate and undegradable protein sources in the diet: growth responses of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 1994. 77: 2595-2604.
14. Casper D.P., Schingoethe D.J., Eisenbeisz W.A. Response of early lactation dairy cows fed diets varying in source of nonstructural carbohydrate and crude protein. *J. Dairy Sci.* 1990. 73: 1039-1050.
15. Clark J. H., Klusmeyer T.H., Cameron M.R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1992. 75: 2304-2323.
16. David P., Casper D., Harouna A., Maiga. T., Michael J., Brouk T., David J., Schingoethet N. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1999. 82: 1779-1790.
17. DePeters E.J., Taylor S.J. Effects of feeding corn or barley on composition of milk and diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 1985. 68: 2027-2032.
18. Grings E.E., Roffler R.E., Deitelhoff D.P. Evaluation of corn and barley as energy sources for cows in early lactation fed alfalfa-based diets. *J. Dairy Sci.* 1992. 75: 193-200.
19. Henning P.H., Steyn D.G., Meissner H.H. Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. *J. Anim. Sci.* 1993. 71: 2516-2528.
20. Herrera-Saldana R., Huber J.T. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 1989. 72: 1477-1483.
21. Hoover W.H., Stokes S.R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *J. Dairy Sci.* 1991. 74: 3630-3644.
22. McCarthy R.D., Klusmeyer T.H., Vicini J.L, Clark J.H., Nelson D.R. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 1989. 72: 2002-2016.

23. Nocek J.E., Russell J.B. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 1988. 71: 2070-2107.
24. Nocek J.E., Tamminga S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 1991. 74: 3598-3629.
25. Sniffen C.J., Robinson P.H. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations. *J. Dairy Sci.* 1987. 70: 425-441.

References (for publications in Russian)

1. Berezin A. [Synthesis of microbial protein in the rumen of cows with different ratios of soluble and degradable protein fractions in the diet]. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh - Feeding farm animals and fodder production.* 2006. 12: 32-33.
2. Kal'nitskii B.D. (Ed.). *Metody issledovaniya pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Research Methods for Nutrition of Farm Animals). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 1998. 405 p.
3. Kal'nitskii B.D., Kharitonov E.L. [Processes of protein fermentation in the proventriculus of ruminants and the possibility of optimal regulation of protein (amino acid) nutrition of dairy cows]. In: *Materialy konferentsii «Aminokislotnoe pitanie zhivotnykh i problema belkovykh resursov»* (Mat. Conf.: Amino acid nutrition of animals and the problem of protein resources). . Krasnodar: Kubanskii GAU Publ., 2005. P. 131-156.
4. Kal'nitskii B.D., Kharitonov E.L. [Establishing protein nutritional norms for dairy cows for the first phase of lactation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK - Achievements of science and technology of the agro-industrial complex.* 2008. 10: 18-22.
5. Kal'nitskii B.D., Kharitonov E.L. [Physiological and biochemical approaches to assessing the nutritional value of feed and nominating feeding for ruminants]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural biology.* 2002. 37(4): 3-11.
6. Kharitonov E.L. [Analysis of feed rations for highly productive dairy cattle in various regions of the country.]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and beef cattle breeding.* 2012. 4: 11-15.
7. Kharitonov E.L. [Optimizing the nutrition of high yielding dairy cows]. In: *Materialy III nauchno-prakticheskoi konferentsii: Perspektivnye napravleniya v proizvodstve i ispol'zovanii kombikormov i balansiruyushchikh dobavok»* (Mat. III Scientific-Practical Conf.: Promising directions in the production and use of feed and balancing additives). Dubrovitsy: VIZh Publ., 2003. C. 18-19.
8. Kharitonov E.L. [Current state and prospects for the development of the theory of nutrition of ruminants based on the concept of substrate availability of metabolism]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - . Problems of the biology of productive animals.* 2007. 2: 76-106/
9. Kharitonov E.L., Kal'nitskii B.D. [Rationing of the nutrition of ruminants, taking into account the substrate availability of metabolism and productivity]. In: *Materialy konferentsii: «Aktual'nye problemy biologii v zhivotnovodstve»* (Mat. Conf.: Actual problems of biology in animal husbandry). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 2001. C. 10-19
10. Kharitonov E.L., Mysnik N.D. [Solving the problem of protein nutrition for cows]. Reshenie problemy proteinovogo pitaniya korov. // *Molochnaya promyshlennost' - Dairy industry.* 2011. 6: 73-74.
11. Kharitonov E.L., Pakosh E. [Optimization of protein-amino acid nutrition of cows and milk quality]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and beef cattle breeding.* 2007. 4. 24-25.
12. Materikin A.M., Kharitonov E.L. [Analysis of solubility, disintegration and digestibility of feed protein]. In: *Metody issledovaniya pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Research methods of nutrition of farm animals.). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 1998. P. 132-140.

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.82-91

Effects of synchronized carbohydrates and nitrogen feed components decay in rumen on the state of metabolism and productivity in dairy cows

Kharitogov E.L., Berezin A.S., Lysova E.A.

Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition - Branch of Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation

ABSTRACT. The aim was to study the processes of rumenal digestion, taking into account the synchronization of protein and carbohydrate fermentation, the digestibility and assimilation of nutrients in dairy cows under stationary conditions, depending on the level of soluble protein and sugar in the diet. Three periods of the experiment were carried out on 3 cows of the Kholmogor breed in the middle of lactation, receiving rations with different ratios of the sum of sugar and soluble starch and soluble protein. The level of soluble protein was increased by the urea supplement, readily available carbohydrates by the inclusion of fodder molasses in the diet. It has been established that bringing the level of degradable protein in the diet to the normative values by the soluble protein leads to ineffective use of nitrogen in cows due to increased excretion of nitrogen in the urine. Adding readily available carbohydrates (molasses) to the diet can significantly reduce the excretion of nitrogen. At the same time, the optimal ratio of soluble protein to the sum of sugar and soluble starch was noted at the level of 0.41. The obtained data are proposed to be used as an additional physiological criterion for the adequacy of nutrition of highly productive dairy cows, taking into account the high-quality protein-carbohydrate ratio for cows early after calving with a high proportion of soluble protein in the diet.

Keywords: lactating cows, rumenal digestion, protein nutrition norms, soluble protein, readily available carbohydrates.

Problemy biologii productivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2021, 3: 82-91.

Поступило в редакцию: 03.08.2021

Получено после доработки: 13.09.2021

Харитонов Евгений Леонидович, д.б.н., директор, тел. 8(903)817-57-04; evgenijkharito@yandex.ru;

Березин Александр Сергеевич, н.с., learnedcat@yandex.ru;

Лысова Елена Андреевна, к.б.н., м.н.с.