

УДК 636.2.084.52:612.320:612.398:636.085.25

DOI:10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.2.80-91

**ВЛИЯНИЕ РАЗНОГО УРОВНЯ РАСПАДАЕМОГО ПРОТЕИНА
В РАЦИОНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ РУБЦОВОГО ПИЩЕВАРЕНИЯ И ОБЩЕГО
МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СТАТУСА У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ**

Василевский Н.В., Березин А.С.

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

Известно, что эффективность рубцового пищеварения зависит от химического состава, количества и соотношения углеводных и протеиновых компонентов корма. Цель исследования - изучить влияние сдвигов в соотношении легкопереваримых углеводов (ЛПУ) и распадаемого протеина (РП) в рационе на показатели рубцового пищеварения и общего метаболического статуса у лактирующих коров. Опыты проведены методом периодов (4 периода по 21 дней каждый) на 3-х коровах-первотёлках голштинской породы с канюлями рубца и 12-ти перстной кишки со средней живой массой 610 кг и среднесуточным удоём 18 л. В четырёх рационах обеспечивалось фиксированное содержание всех компонентов, кроме распадаемого протеина, а разные уровни соотношения РП/ЛПУ были сформированы путём комбинаций натуральных и «защищенных» мочевины и подсолнечного шрота, скармливаемых в виде добавки к основному рациону (ОР). Поступление химуса в дуоденум рассчитывали по содержанию оксида хрома в среднесуточном образце. Оценку синтеза микробного сырого протеина проводили по содержанию в дуоденальном химусе пуриновых оснований. Установлено, что сдвиги в изученном диапазоне соотношения РП/ЛПУ приводят к существенным изменениям микробиологических процессов в рубце, но мало влияют на количество и состав всасывающихся конечных продуктов переваривания. При умеренном повышении доли растворимой и распадаемой фракции протеина в рационах повышаются образование аммиака в рубце и уровень мочевины в крови, и при достижении соотношения РП/ЛПУ в рационе до 0,44 имеют место максимальная эффективность микробного синтеза и оптимальное обеспечение аминокислотами синтеза компонентов молока, о чём свидетельствует повышение концентрации аминокислот в крови и продукции молочного белка. Применение в рационах более высокого отношения РП/ЛПУ (выше 0,44) снижает эффективность использования кормового азота за счёт снижения эффективности синтеза микробного белка (как минимум, на 10%). Полученные данные могут быть использованы для совершенствования физиологических критериев адекватности питания высокопродуктивных коров.

Ключевые слова: лактирующие коровы, питание, распадаемый протеин, легкопереваримые углеводы, рубцовое пищеварение,

Проблемы биологии продуктивных животных. 2024. 2: 80-91.

Введение

Современное высокопродуктивное молочное животноводство основывается на использовании высококонцентратных рационов. Основным негативным моментом при этом является закисление среды рубца и, как следствие, изменение состава микробиоты и направленности рубцового метаболизма (Харитонов, 2018). Поддержание кормовыми факторами оптимального диапазона рН в рубце является ключевым фактором в обеспечении требуемой жирности молока (Харитонов, 2009, 2019; Макап, 2019).

Для совершенствования систем кормления жвачных животных, необходимо иметь экспериментальные данные по количественным параметрам ферментации в рубце. Важнейшим показателем, количественно определяющим поступление микробного белка из сложного желудка в кишечник, является эффективность микробного синтеза, т.е. количество микробного протеина, синтезированного в преджелудках на единицу ферментированного органического вещества корма. Уровень микробного синтеза повышается при переходе от расчёта по видимо переваримому СВ и ОВ к количеству образования гексоз, ЛЖК и АТФ (Nossek, 1988). Одной из важнейших особенностей преджелудочного пищеварения у жвачных является возможность повышения обеспеченности организма аминокислотами за счёт использования небелковых источников азота и улучшения качественного состава аминокислот корма. В зависимости от состава рациона, от 50 до 80% азота корма превращается в микробный азот (Пивняк, Тараканов, 1982; Хагеймстер, 1980).

Синтез микробного СП из белкового корма не эффективен из-за частичных потерь с аммиаком и превращения азота аминокислот в пуриновые и пиримидиновые основания, азот которых достигает 15% от общего микробного азота (Hangate, 1966). В настоящее время для увеличения количества и улучшения состава аминокислот, поступающих в дуоденум, существует два основных пути: защита кормового высокоценного белка от распада в рубце и повышение эффективности микробного синтеза из распавшихся соединений в рубце. В связи с этим актуальной задачей является исследование факторов, влияющих на эффективность синтеза микробного белка в преджелудках. Проведенные ранее исследования показали, что решающим условием, определяющим уровень синтеза протеина микроорганизмами, является состав рациона. По данным разных авторов, вариации эффективности синтеза составляют от 10 до 45 г азота на кг переваримого ОВ (ARC, 1980). Некоторую долю вариабельности результатов относят за счёт использования разных методов определения микробиального белка.

В настоящее время установлены нормативы содержания распадаемого протеина в рационах, но без учёта оптимального содержания растворимого протеина и скорости распада сырого протеина (СП) и углеводов. По данным некоторых авторов (Хагеймстер, 1980), 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 повышения эффективности микробного синтеза. Определено соотношение сырой клетчатки и суммы легкопереваримых углеводов, обеспечивающее эффективный микробный синтез (Тараканов, 1987); но в связи с вводом нового нормируемого показателя, характеризующего содержание клетчатки в рационах - нейтрально-детергентной клетчатки (НДК) и с введением характеристики питательных веществ кормов по доступности к перевариванию в преджелудках, требуется уточнить оптимальное соотношение растворимого и распадаемого СП в рационах и оптимальное освобождение азотистых веществ в расчёте на единицу ферментируемых углеводов (НДК, сахаров и крахмала).

Для формирования оптимального биоценоза рубца необходима иметь данные о влиянии соотношения различных фракций легкодоступных углеводов в рационах на рубцовую микрофлору. Известно, что кормовые источники крахмала имеют разные скорости ферментации, поэтому нормирование требуется проводить не на общее его содержание, а на долю, подвергающуюся распаду в рубце и на скорость ферментации простых сахаров. При этом также следует учитывать тот факт, что энергия легкодоступных углеводов может быть использована для синтеза микробного белка, а лимитирующим фактором в этот период является наличие доступных форм азота.

Проблема обеспечения потребности животных в доступных аминокислотах может быть решена не только за счёт увеличения поступления кормовых аминокислот корма в дуоденум, но и за счёт микробного белка (Харитонов, 2007; Кальницкий, 2008). Проведенные ранее исследования показали, что сдвиги в ту или иную сторону в соотношении легкопереваримых углеводов (ЛПУ) и распадаемого протеина (РП) оказывают существенное влияние на процессы рубцовой ферментации, что проявляется не только на уровне синтеза микробного белка, но и в нарушениях рубцового пищеварения в целом. В этой связи, применение постоянной величины эффективности микробного синтеза не позволяет дифференцированно оценивать обеспеченность организма коровы в доступном белке и ЛЖК за счёт переваривания клетчатки.

Цель исследования - изучить влияние сдвигов в соотношении легкопереваримых углеводов и распадаемого протеина в рационе на показатели рубцового пищеварения и общего метаболического статуса у лактирующих коров.

Материал и методы

Опыты проведены методом периодов по 21 дней каждый (Voigt, 1985) в конце первой трети лактации на 3-х коровах-первотёлках голштинской породы с канюлями рубца и 12-ти перстной кишки со средней живой массой 610 кг и среднесуточным удоём 18 л. В исследованных рационах обеспечивалось фиксированное содержание всех компонентов, кроме распадаемого сырого протеина, а различные уровни соотношения легкопереваримых углеводов (ЛПУ) и распадаемого протеина (РП) были сформированы путём комбинаций натуральных и «защищенных» мочевины и подсолнечного шрота, скармливаемых в виде добавки к основному рациону (ОР) (табл. 1). Защищенные протеиновые добавки получали путем сплавления мочевины с цеолитом, а подсолнечный шрот подвергался тепловой обработке в микроволновой установке.

Объём поступления химуса в дуоденум рассчитывали по содержанию оксида хрома в среднесуточном образце (Методы исследований питания. ВНИИФБиП, 1998). На основании поступления питательных веществ в дуоденум оценивали их видимую переваримость в сложном желудке. Истинную переваримость сырого протеина корма рассчитывали с учетом синтеза микробного сырого протеина, оценку которого проводили по содержанию в дуоденальном химусе пуриновых оснований (Zinn, 1989)

В табл. 2 приведены данные по составу рационов и их характеристике. Некоторое различие между рационами по уровню обменной энергии обусловлено тем, что её расчёт проведен по данным о переваримости питательных веществ рациона на основании результатов балансового опыта. По остальным показателям рационы совпадали, за исключением: содержания растворимого протеина и отношения РП/ЛПУ.

Таблица 1. Схема проведения исследования

Компоненты добавки	Периоды опыта			
	1	2	3	4
Незащищенный шрот подсолнечниковый	+	+		
Защищенный шрот подсолнечниковый			+	+
Незащищенная мочеви́на	+		+	
Защищенная мочеви́на		+		+

Таблица 2. Состав и характеристика рационов.

Показатели	Рационы			
	1	2	3	4
Силос кукурузный, кг	25,0	25,0	25,0	25,0
Сено разнотравное, кг	1,0	1,0	1,0	1,0
Пшеница*, кг	2,73	2,73	2,73	2,73
Ячмень*, кг	3,0	3,0	3,0	3,0
Подсолнечный жмых*, кг	1,5	1,5	0	0
Подсолнечный жмых защищённый**, кг	0	0	1,5	1,5
Мочевина кормовая, кг	0,05	0	0,05	0
Мочевина кормовая защищённая***	0	0,09	0	0,09
Премикс, г	230	230	230	230
Дикальцийофат, г	345	345	345	345
Обменная энергия, МДж	138,1	137,4	139,7	138,8
Сухое вещество, кг	15,0	15,0	15,0	15,0
Сырой протеин, г	2209	2209	2209	2209
Распадаемый протеин, г	1660	1551	1376	1303
Растворимый протеин (РП), г	896	780	736	619
Обменный белок, г	1079	1096	1276	1269
Сырой жир, г	795	795	795	795
НДК, г	4340	4340	4340	4340
Сырая клетчатка, г	2304	2304	2304	2304
Крахмал, г	3576	3576	3576	3576
Распадаемый крахмал+, г	3157	3157	3157	3157
Сахар, г	379	379	379	379
Баланс азота в рубце	0,69	0,73	0,8	0,84
Сумма легкопереваримых углеводов (ЛПУ), г	3536	3536	3536	3536
ЛПУ, %	23,5	23,5	23,5	23,5
Растворимый протеин, %	5,9	5,2	4,9	4,1
Распадаемый протеин (РП), %	11,1	10,3	9,1	8,7
РП/ ЛПУ	0,47	0,438	0,39	0,37

Примечания: * в составе комбикорма, ** термически обработанный в микроволновой установке, *** сплавленная с цеолитом.

Для оценки параметров функционирования пищеварительной системы и образования субстратов определяли уровень рН, аммиак, ЛЖК и их состав в рубцовом содержимом, взятом у коров через рубцовую канюлю до кормления, через 1, 3 и 5 ч после утреннего кормления. Количество бактерий и инфузорий, амилитическую и целлюлозолитическую активность микрофлоры определяли в содержимом, полученном через 3 ч.

Для оценки уровня углеводно-липидного питания в крови хвостовой определяли концентрацию глюкозы, ЛЖК, триглицеридов, НЭЖК, кетоновых тел. Для оценки состояния белкового обмена определяли содержание мочевины и свободных аминокислот. Общее физиологическое состояние оценивали по показателям биохимического и клеточного состава крови. В молоке определяли уровень липидов, белка, лактозы, мочевины.

В исследованиях использовали аппарат Кьельтек для определения азота, калориметр АБК-1 для определения калорийности проб кормов и молока, анализатор молока Milko-Star (Италия), анализ ЛЖК рубцовой жидкости, анализы крови - на биохимическом полуавтоматическом анализаторе Screen Master LHD113 (Италия).

Результаты и обсуждение

Среднесуточные показатели рубцового пищеварения в целом соответствовали характеристике рациона и были на уровне физиологических норм (табл. 3). Снижение содержания РП в рационах приводило к снижению уровня аммиака; при этом остальные показатели существенно не менялись, что свидетельствует о нормальном протекании микробиологических процессов в рубце. При этом на рационе 2 наблюдалась самая низкая концентрация аммонийного азота и пропионата, а также самое высокое содержание ЛЖК и целлюлозолитическая активность, что свидетельствует о наилучших условиях для включения аммонийного азота в микробный сырой протеин за счёт энергии от переваривания клетчатки.

Таблица 3. Среднесуточные показатели ферментативно-микробиологических процессов в рубце (M±m, n=3)

Показатели	Рационы			
	1	2	3	4
рН	6,52±0,27	6,5±0,2	6,39±0,50	6,59±0,25
Азот аммиака, мг/100 мл	18,9±5,2	14,4±1,4	15,5±3,2	15,8±3,9
ЛЖК, ммоль/100 мл	15,1±1,3	20,1±2,1 ¹	13,3±4,7	13,5±4,2
Ацетат, %	67,5±3,3	67,9±0,3	65,9±2,4	68,7±0,2
Пропионат, %	20,6±2,4	18,7±0,4	19,0±1,2	19,5±0,7
Бутират, %	11,8±0,9	13,3±0,6	15,1±1,2	11,8±0,5
Бактерии, 10 ⁹ /мл	5,9±0,9	5,75±0,45	6,1±0,5	6,5±0,5
Инфузории, 10 ³ /мл	257±10	240±55	312±17	165±45
Амилолитическая активность, Ед/мл	22,7±2,6	21,7±2,6	18,2±3,9	24,1±2,4
Целлюлозолитическая активность, %	4,8±3,0	5,9±2,7	3,7±4,0	4,8±0,6

Примечания: здесь и далее в табл.: верхние индексы при P<... обозначают номера сравниваемых рационов: *P<0.05 по t – критерию.

При анализе динамики показателей ферментации в рубце коров за первые 5 часов после утреннего кормления появляются противоположно направленные сдвиги в концентрации аммиака и ЛЖК. В течение первого часа после кормления концентрация аммиака снижается, а ЛЖК повышается; в последующие периоды времени проявляется обратный тренд (табл. 4). При этом состав ЛЖК также синхронизирован по времени: доля ацетата в первые часы после кормления снижается, а пропионата и бутирата возрастает.

Таблица 4. Динамика показателей ферментации в рубце коров (M±m, n=3)

Время после утреннего кормления, час	Рационы			
	1	2	3	4
	pH			
0	6,9±0,2	6,5±0,1	6,2±0,5	6,4±0,6
1	6,6±0,1	6,6±0,4	6,3±0,3	6,6±0,2
3	6,8±0,1	6,4±0,2	5,7±0,2 ^{1,2,4}	6,6±0,1
5	6,9±0,1	6,6±0,3	6,4±0,1	6,3±0,5
	Аммиак, мг/100 мл			
0	14,7±1,2	21,8±1,4 ^{1,3,4}	15,4±2,1	13,8±0,6
1	13,8±1,2	15,5±0,5	12,7±4,1	15,4±0,7
3	13,3±1,3	20,3±3,7	14,6±1,3	14,0±2,1
5	13,3±2,1	21,4±1,7 ^{1,3,4}	12,8±4,6	15,7±2,4
	ЛЖК, ммоль/100 мл			
0	13,7±5,2	16,3±1,1	16,1±1,9	14,2±4,7
1	23,0±1,4	20,0±0,5	18,4±0,1	18,8±0,4
3	9,0±1,6	10,3±3,8	19,5±2,2 ^{1,2}	14,2±0,2
5	7,5±1,1	16,5±3,0 ¹	13,8±4,4	16,1±3,1 ¹
	Ацетат, %			
0	71,4±2,1	70,7±1,3	69,6±2,1	71,3±1,3
1	66,9±3,7	65,9±0,8	64,9±2,8	66,2±0,3
3	66,3±5,2	67,7±0,8	64,3±1,9	68,6±0,5
5	65,5±6,5	67,3±0,4	64,6±2,8	66,3±1,6
	Пропионат, %			
0	18,1±0,1	18,2±0,6	17,8±2,2	17,9±1,4
1	21,3±3,1	21,0±0,9	22,2±1,7	21,9±0,7
3	21,7±3,3	17,8±0,2	18,7±0,2	18,4±0,1
5	21,3±3,3	17,8±0,6	17,2±0,8	19,6±1,8
	Бутират, %			
0	10,5±1,9	11,0±1,2	12,5±0,1	10,8±1,2
1	11,6±0,6	13,0±1,8	12,8±1,1	11,8±1,0
3	11,9±1,9	14,3±0,6	16,9±1,7	12,9±0,7
5	13,2±3,2	14,7±0,2	18,0±1,9 ^{2,4}	14,0±0,3

Наблюдаемое в течение первого часа снижение концентрации аммиака не может быть следствием разбавления содержимого рубца потребленным кормом, поскольку в таком случае эффект проявлялся бы и для других метаболитов рубцовой жидкости. Одно из возможных объяснений наблюдаемой динамики может состоять в том, что в первый час после кормления происходит интенсивная ферментация легко доступных углеводов концентрированных кормов и активное вовлечение в микробный синтез аммонийного азота, что может способствовать некоторому снижению его уровня в рубцовой жидкости. В пользу версии интенсивной ферментации легко доступных углеводов свидетельствует наблюдаемое изменение в соотношении ЛЖК в этот период - увеличение доли пропионата и снижение ацетата.

Способность рациона поддерживать необходимый уровень доступного азота для синтеза микробного сырого протеина может быть выражена соотношением концентраций аммиака и ЛЖК в рубцовой жидкости (табл. 5). Наиболее высокие значения этого показателя наблюдались

во втором рационе во всех изученных промежутках времени после утреннего кормления. Это может свидетельствовать о том, что соотношение РП/ЛПУ в рационе этих животных было близко к оптимальному с точки зрения эффективности вовлечения аммонийного азота в микробный синтез. В то же время обеспеченность микрофлоры рубца энергией для синтеза белка из аммонийного азота в продолжительном периоде между кормлениями зависит от доступности клетчатки для микробной ферментации, что отражается на динамике содержания в рубцовой жидкости ацетата. Среднее содержание ацетата в ЛЖК было наибольшим во второй группе – 67,9%.

Таблица 5. Соотношение концентраций аммиака и ЛЖК в рубце (M±m, n=3)

Период после утреннего кормления, час	Рационы			
	1	2	3	4
0-1	0,83	1,05	0,82	0,89
1-3	1,04	1,37	0,72	0,90
3-5	1,63	1,63	0,84	0,98
Среднее	1,17	1,35	0,79	0,92

Изучение поступления фракций азота в 12-ти перстную кишку коров показало (табл. 5), что снижение уровня РП при одном и том же уровне ЛПУ в рационах по периодам опыта приводило к повышению поступления кормового и микробного азота в кишечник и эффективности микробного синтеза только до уровня 3-го рациона. Дальнейшее снижение распадаемости сопровождалось повышением поступления в кишечник кормового азота и резким снижением микробного азота. В результате сумма микробного и кормового азота приближалась к уровням первого рациона. Это указывает на недостаточное обеспечение микробного синтеза доступными формами азота за счёт меньшей скорости генерации АТФ при ферментации аминокислот в сравнении с гексозами, образующихся из углеводов. Поэтому превышение норм РП в рационах не только приводит к перерасходу протеина кормов, но и снижает синтез микробного протеина. В таких случаях эффективность микробного синтеза при расчётах следует снижать на 10%.

Аммиак может служить основным источником азота для синтеза бактериального белка, и это даёт возможность использовать небелковые источники азота, такие как мочевина – недорогой дополнительный источник азота в рационах крупного рогатого скота. Однако бактерии, которые ферментируют простые сахара (основная популяция бактерий в рационах крупного рогатого скота), получают азот преимущественно из пептидов и аминокислот, а не из аммиака (Russell et al., 1992). Рост бактерий, ферментирующих крахмал, усиливается при наличии пептидов и аминокислот (Cruz Soto et al., 1994). Поэтому источник распадаемого протеина в виде мочевины для микробного синтеза по эффективности включения в микробный протеин уступал в наших опытах нативному подсолнечному шроту. Аналогичные закономерности были отмечены при изучении эффективности микробного синтеза в опытах и других исследователей. Так, изонитрогенная замена азота мочевины на рапсовый шрот приводила к увеличению эффективности синтеза с 25,8 до 29,4 г/кг переваримого органического вещества (Koenig et al., 2004).

Таблица 5. Показатели эвакуации фракций азота из преджелудков и эффективности синтеза микробного белка ($M \pm m$, $n=3$)

Показатели	Рационы			
	1	2	3	4
Принято азота с кормом, г	353±22	352±58	352±44	353±26
Поступило азота в кишечник, г	337±9	347±6	384±3 ^{1,2,4}	336±5
В том числе:				
азот аммиака, г	7,2±1,8	5,1±1,8	4,1±0,2	3,0±1,3
неаммонийный азот, г	330±7	342±3 ^{1,3}	380±2	333±5
эндогенный азот, г	49,4	51,3	57,0	49,9
микробный азот, г	177±11	182±8	201±3,3 ^{1,2,4}	123±2 ^{1,2,3}
По сумме переваримого ОВ (ПОВ in sacco) и 25 г азота протеина при микробном синтезе:				
всего, г	256	259	249	256
кормовой азот, г	104±17	109±26	123±6	160±1 ^{1,2,3}
микробальный + кормовой, г	280	291	323	283
Эффективность синтеза: г азота/кг ПОВ	27,2±1,5	29,5±3,8	30,8±2,6	26,3±2,4
Распадаемость СП рациона:				
по балансу азота, %	71,3±4,6	71,2±1,6	66,1±1,7 ^{1,2,3}	57,8±0,6 ^{1,2,3}
по инкубации и эвакуации, %	73,5	70,2	63,4	58,9

Анализ биохимических показателей крови показал, что уровень метаболитов крови - основных предшественников молока, соответствовал стадии лактации и продуктивности. Показатели биохимического и клеточного состава крови у опытных животных находились в пределах физиологической нормы.

Повышение соотношения ЛПУ/РП в рационах не приводило к нарушениям метаболизма в организме коров (табл. 6).

Таблица 6. Показатели биохимического и клеточного состава крови через 3 ч после кормления ($M \pm m$, $n=3$)

Показатели	Рационы			
	1	2	3	4
	Биохимические			
Общий белок, г/л	75,8±5,8	66,5±3,9	73,4±0,2	70,1±3,4
Альбумин, г/л	22,4±0,15	23,1±0,9	22,3±0,9	22,8±0,2
Креатинин, мМ	66,9±3,5	80,5±1,0	68,7±6,6	40,7±7,8
Мочевая кислота, мкМ	79,5±1,2	81,8±1,5	80,0±1,0	79,8±3,2

Продолжение таблицы 6. Показатели биохимического и клеточного состава крови через 3 ч после кормления (M±m, n=3)

Показатели	Рационы			
	1	2	2	2
Биохимические				
Мочевина, мМ	3,1±0,4	2,60±0,23	2,3±0,1	2,4±0,2
Лактатдегидрогеназа, МЕ/л	3,1±2,1	3,60±0,03	4,5±0,6	5,2±1,3
Глюкоза, мМ	3,6±0,2	3,34±0,39	3,5±0,2	3,7±0,1
Триглицерид мМ	0,16±0,01	0,18±0,02	0,10±0,01	0,17±0,04
Билирубин прямой, мкМ	0,84±0,01	0,99±0,02	1,0±0,03	0,98±0,01
Билирубин общий, мкМ	2,95±1,57	1,54±0,06	1,7±0,3	1,38±0,18
ЛПВП, мМ	0,51±0,04	0,55±0,09	0,60±0,01	0,64±0,03
Холестерин, мМ	2,0±0,3	2,8±0,3	2,5±0,1	3,3±0,4
ЛПНП, мМ	0,99±0,19	1,83±0,21	1,6±0,1	1,83±0,25
Аланинаминотрансфераза, МЕ/л	19,4±3,7	23,6±7,2	19,7±2,1	27,4±3,3
Аспартатаминотрансфераза, МЕ/л	50,1±4,4	54,7±3,2	50,7±2,6	52,0±3,4
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	98,5±5,1	85±5	55,5±0,5	55,5±1,8
глутамилтрансфераза, МЕ/л	27,8±1,1	21,1±1,1	28,2±1,0	21,5±1,3
Амилаза, МЕ/л	53±10	42±5	52±12	39,5±2,5
Креатинкиназа, МЕ/л	0,87±0,09	0,48±0,15	0,9±0,3	0,55±0,14
Хлориды, мкМ	104±1	104±2	101±2	102±3
Магний, мМ	1,16±0,18	1,16±0,21	0,9±0,1	1,0±0,1
Железо, мМ	40±25	51±26	29±2	44,10
Кальций, мМ	2,4±0,5	3,3±0,6	3,0±0,2	2,3±0,3
Клеточные				
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	7,3±0,8	6,4±0,2	7,4±1,3	9,9±0,5
Эритроциты, ×10 ¹² /л	6,2±0,2	5,6±0,1	5,85±0,07	5,52±0,06
Гемоглобин, г/л	106±1	91±3 ^{1,3}	101±2	91±1
Гематокрит, %	28,5±0,1	24,6±0,6	25,7±1,1	23,8±0,3
Тромбоциты, ×10 ³ /л	489±62	425±10	395±21	494±77
Лимфоциты, ×10 ³ /л	8,2±0,1	8,4±0,1	8,9±2,0	8,6±0,2

Результаты балансовых опытов показали, что уменьшение соотношения РП/ЛПУ приводит к существенному снижению выделению азота с мочой. Выделение азота с мочой от принятого по периодам опыта имело следующие значения: 21,7; 15,6; 16,2; 15,6%. Использование «защищенной» мочевины оказывало существенное влияние на переваримость протеина, которая снижалась на 7,4% во втором периоде и на 7,1% в четвертом.

Заключение

В результате проведенных опытов установлено, что сдвиги в изученном диапазоне соотношения РП/ЛПУ приводят к существенным изменениям микробиологических процессов в рубце, но мало влияют на количество и состав всасывающихся конечных продуктов переваривания.

При умеренном повышении доли растворимой и распадаемой фракции протеина в рационах повышается образование аммиака в рубце и уровень мочевины в крови, и при достижении соотношения РП/ЛПУ в рационе до 0,44 имеет место максимальная эффективность микробного синтеза и оптимальное обеспечение аминокислотами синтеза компонентов молока, о чём свидетельствует повышение концентрации аминокислот в крови и продукции молочного белка.

Применение в рационах для лактирующих коров более высокого отношения РП/ЛПУ (выше 0,44) снижает эффективность использования кормового азота за счёт снижения эффективности синтеза микробного белка (как минимум, на 10%).

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для совершенствования физиологических критериев адекватности питания высокопродуктивного молочного скота.

Список литературы

1. 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.
2. Макар З.Н., Харитонов Е.Л., Черепанов Г.Г. Влияние разного уровня в рационе обменного протеина и нераспадаемого переваримого крахмала на молочную продуктивность и использование субстратов в молочной железе у коров. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 4. С. 81-93.
3. Пивняк И.Г., Тараканов Б.В. Микробиология пищеварения жвачных. М.: Колос, 1982. 247 с.
4. Тараканов Б.В. Микробиологические процессы в преджелудках жвачных животных и их регуляция: автореф. дис. д.б.н. –Боровск: ВНИИФБиП, 1984. 52 с.
5. Хагейместер Х., Кауфман У., Пфедфер Э. Факторы, влияющие на поступление азота и аминокислот в кишечник молочных коров. // Белковый обмен и питание. М., 1980.-С.301-312.
6. Харитонов Е.Л. Использование инертных индикаторов для изучения процессов пищеварения. В кн. // Методы исследования питания сельскохозяйственных животных. (Ред. Б.Д. Кальницкий). Боровск, ВНИИФБиП, 1998. С. 47-57.
7. Харитонов Е.Л., Хотмирова О.В. Процессы пищеварения у коров при разном уровне клетчатки в рационе. // Мат. междунар. научно-практ. конф., «Актуальные проблемы заготовки, хранения и рационального использования кормов». М.: ВНИИК, 2009.-С. 181-189.
8. Харитонов Е.Л., Панюшкин Д.Е. Кормовые и метаболические факторы формирования жирнокислотного состава молока у коров. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. № 2. С. 76-106.
9. Харитонов Е.Л. Научно-производственная проверка эффективности нормирования питания высокопродуктивных молочных коров с использованием новых принципов оценки питательности кормов и рационов. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2010. № 1. с. 55-60.
10. Cruz Soto R., Muhammed S.A., Newbold C.J., Stewart C.S., Wallace R.J. Influence of peptides, amino acids and urea on microbial activity in sheep receiving grass hay and on the growth of rumen bacteria in vitro. //Animal Feed Science and Technology. 1994. Vol. 49. P.151-161
11. Hangate R. The rumen and its microbes. N.Y., Acad. Press.. 1966. 708 pp.
12. Koenig K.M., Beauchemin K.A., Rode L.M. Effect of protein source on microbial protein synthesis and nutrient digestion in beef cattle fed barley grain-based diets. // Can J. Anim. Sci. 2004. Vol. 84: P. 481-490.
13. 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 Sei. 1988. P. 2070-2107.
14. Russell, J. B., O'Connor J.D, Fox D.G., Van Soest P.J., Sniffen C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. // J. Anim. Sci. 1992. Vol.70. P. 3551-3561
15. Voigt J., Piatkowsky B., Engelmann M. et.al. Measurement of the postruminal digestibility of crude protein

- by the bag technique in cows. // Arch. fur Tierernahr. 1985, Vol. 35. nr 8. P. 555-562.
16. Zinn R.A., Owens F.N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. // Can. J. Sci. 1986. Vol. 66. P. 152-166.

References (for publications in Russian)

1. Kal'nitskii B.D., Kharitonov E.L. [Establishment of protein nutrition standards 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. C. 18-22.
2. Khageimester Kh., Kaufman U., Pfeffer E. [Factors influencing the supply of nitrogen and amino acids to the intestines of dairy cows]. In: *Protein metabolism and nutrition* (translated from English). Moscow, 1980.-P. 301-312.
3. Kharitonov E.L. [Use of inert indicators to study digestion processes]. In: *Metody issledovaniya pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh*. (Methods for studying the nutrition of farm animals. (Ed. B.D. Kalnitsky). Borovsk, VNIIFBiP: 1998. P. 47-57.
4. Kharitonov E.L., Khotmirova O.V. [Digestive processes in cows at different levels of fiber in the diet]. . In: *Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf., «Aktual'nye problemy zagotovki, khraneniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya kormov»* (Mat. international scientific-practical conf. "Current problems of procurement, storage and rational use of feed"). Moscow: VNIIC Publ., 2009.-P. 181-189.
5. Kharitonov E.L., Panyushkin D.E. [Feed and metabolic factors in the formation of the fatty acid composition of milk in cows]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of Productive Animal Biology). 2016. 2: 76-106.
6. Kharitonov E.L. [Scientific and production testing of the effectiveness of nutrition rationing for highly productive dairy cows using new principles for assessing the nutritional value of feed and diets]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of Productive Animal Biology). 2010. № 1. P. 55-60.
7. Makar Z.N., Kharitonov E.L., Cherepanov G.G. [The influence of different levels of metabolic protein and insoluble digestible starch in the diet on milk production and the use of substrates in the mammary gland of cows]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh* (Problems of Productive Animal Biology). 2019. 4. c. 81-93.
8. Pivnyak I.G., Tarakanov B.V. *Mikrobiologiya pishchevareniya zhvachnykh*. (Microbiology of ruminant digestion). Moscow:: Kolos Publ., 1982. 247 pp.
9. Tarakanov B.V, *Mikrobiologicheskie protsessy v predzheludkakh zhvachnykh zivotnykh i ikh regulyatsiya* (Microbiological processes in the forestomachs of ruminants and their regulation). Extended Abstract of Diss. Dr. Sci. Biol. Borovsk: VNIIFBiP, 1984. 52 pp.

UDC 636.2.084.52:612.320:612.398:636.085.25

**The effect of different level of degradable protein
in the diet on indicators of rumen digestion and
general-metabolic status in lactating cows**

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. It is known that the effectiveness of rumen digestion depends on the chemical composition, quantity and ratio of carbohydrate and protein components of feed. The aim of the study is to study the effect of shifts in the ratio of easily digestible carbohydrates (EDC) and degradable protein (DP) in the diet on indicators of rumen digestion and general metabolic status in lactating cows. The experiments were carried out using the method of periods (4 periods of 21 days each) at the end of the first third of lactation on 3 first-calf Holstein cows with rumen and duodenal cannulas. In four diets, a fixed content of all components was provided, except for degradable crude protein, and different levels of the DP/EDC ratio were formed by combinations of natural and “protected” urea and sunflower meal, fed as an additive to the main diet (MD). The volume of chyme entering the duodenum was calculated from the content of chromium oxide and true digestibility of crude protein in the feed was calculated taking into account the synthesis of microbial crude protein. Based on the results of the study, it has been established that shifts in the studied range of the DP/EDC ratio lead to significant changes in microbiological processes in the rumen, but have little effect on the quantity and composition of the absorbed end products of digestion. With a moderate increase in the proportion of soluble and degradable protein fractions in diets, the formation of ammonia in the rumen and the level of urea in the blood were increased, and when the DP/EDC ratio in the diet reaches 0.44, there is maximum efficiency of microbial synthesis and optimal provision of amino acids for the synthesis of milk components, as evidenced by an increase in the concentration of amino acids in the blood and milk protein production. The use of a higher DP/EDC ratio (above 0.44) in diets reduces the efficiency of feed nitrogen use by reducing the efficiency of microbial protein synthesis (by at least 10%). The data obtained can be used to improve physiological criteria for the adequacy of nutrition in highly productive cows.

Keywords: lactating cows, nutrition, degradable protein, easily digestible carbohydrates, rumen digestion, blood cells, blood biochemistry.

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology), 2024. 2: 80-91.

Поступило в редакцию: 18.04.2024

Получено после доработки: 19.06.2024

Сведения об авторах:

Василевский Николай Владимирович, к.б.н., с.н.с., vasilevskii.n@mail.ru;

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