

Российская академия сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии,
биохимии и питания сельскохозяйственных животных

**Физиологические потребности
в энергетических и пластических субстратах
и нормирование питания молочных коров
с учетом доступности питательных веществ**

Боровск – 2007

Российская академия сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии,
биохимии и питания сельскохозяйственных животных

**Физиологические потребности
в энергетических и пластических субстратах
и нормирование питания молочных коров
с учетом доступности питательных веществ**

(справочное руководство)
(в рамках национального проекта «Развитие
агропромышленного комплекса России»)

ВНИИФБиП с.-х. животных

Боровск – 2007

Физиологические потребности в энергетических и пластических субстратах и нормирование питания молочных коров с учетом доступности питательных веществ. Справочное руководство. Боровск, 2007, – 130 с.

Основные положения справочного руководства обсуждены и одобрены на заседаниях Ученого совета ВНИИФБиП с.-х. животных (протокол №7 от 10 октября 2005 г) и секции общей биологии, физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных Отделения зоотехнии РАСХН (протокол №3 от 2 ноября 2005г).

Справочное руководство представляет собой научное развитие положений по современным подходам к нормированию питания молочного скота, изложенных в первом издании (2001г). Материал базируется на экспериментальных данных, полученных во ВНИИФБиП с.-х. животных в физиологических и научно-хозяйственных опытах на высокопродуктивных коровах, и на обобщенных данных отечественных и зарубежных исследователей. В материалах руководства отражено не только современное состояние разработок в области питания молочных коров, но и практические аспекты, направленные на повышение их продуктивности, продления сроков хозяйственного использования и на улучшение качества продукции. Представлены исходные данные для установления потребностей животных в основных субстратах в разные фазы репродуктивного цикла и для разного уровня молочной продуктивности, а также приведены характеристики доступности питательных веществ кормов и алгоритм расчета обеспечения этих потребностей.

Использование данного справочного материала позволяет объективно определять потребность коров в питательных веществах и энергии и, таким образом, снижать непроизводительные затраты отрасли.

Предлагаемый материал по нормированию питания молочных коров адресован зооветспециалистам, преподавателям ВУЗов и научным работникам сельскохозяйственного профиля участвующих в реализации национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса России».

Рецензенты: д.-с.н., профессор Фицев А.И., д.с.х. н. профессор Кирилов М.П., д.с.х.н. Первов Н.Г.

Составитель и научный редактор – д.б.н. Харитонов Е.Л.

Авторский коллектив: Агафонов В. И., Кальницкий Б.Д., Лысов А.В., Харитонов Е.Л., Харитонов Л.В.

© Коллектив авторов, 2007

© ВНИИФБиП с.-х. животных

Содержание

	Введение	5
1.1.	Необходимость совершенствования существующих систем питания	5
1.2.	Современное состояние и перспективы развития теории питания жвачных животных	9
1.3.	Развитие теории питания жвачных животных на принципах субстратной обеспеченности метаболизма	11
	Литература	19
2.	Расчет потребности использования субстратов на метаболические нужды организма	21
2.1.	Эффективность использования обменной энергии в зависимости от ее состава	23
2.1.1.	Определяющее влияние интенсивности липидного обмена в организме коров на эффективность использования обменной энергии	25
2.2.	Основные метаболические параметры для расчета потребности молочных коров в субстратах.	29
2.2.1.	Затраты энергетических субстратов в процессах основного обмена и поддержания	29
2.2.2.	Метаболизм субстратов в стенке пищеварительного тракта	32
2.2.3.	Метаболизм субстратов в печени	36
2.2.4.	Синтез компонентов молока в молочной железе	39
2.2.5.	Нормы потребности коров в энергетических субстратах	42
2.2.6.	Потребности молочных коров в субстратах и энергетических эквивалентах	48
2.2.7.	Экспериментальное физиологическое обоснование оптимальных потребностей молочных коров в энергетических и пластических субстратах	50
	Литература	56
3.	Нормирование аминокислотного питания молочного скота	63
3.1.	Потребности коров в незаменимых аминокислотах	63

	кислотах	
3.2.	Расчет обеспеченности организма коров незаменимыми аминокислотами	69
3.3.	Научно-хозяйственная проверка норм аминокислотного питания молочных коров	77
	Литература	79
4.	Физиологическое обоснование нормирования питания с учетом обеспеченности метаболизма субстратами	81
4.1	Разработка научных подходов для расчета обеспеченности организма коров в субстратах	82
4.2	Образование ЛЖК при ферментации углеводов в рубце и толстом кишечнике	85
4.3.	Физиологическое обоснование расчета обеспеченности обменным белком и аминокислотами	88
4.4	Переваривание крахмала и всасывание глюкозы	93
4.5.	Образование высших жирных кислот при переваривании липидов	94
4.6.	Экспериментальная проверка способа расчета образования субстратов при переваривании кормов рациона	97
	Литература	101
5.	Экспериментальная проверка эффективности нормирования питания коров с учетом субстратного обеспечения метаболизма	103
5.1.	Экспериментальная проверка эффективности применения новых норм в доступных питательных веществах в условиях вивария	103
5.2.	Практическое применение подходов к определению поступления конечных продуктов переваривания при всасывании для оптимизации питания молочного скота в научно-хозяйственных опытах	114
	Литература	119
6.	Заключение	120
7.	Приложения	123

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы появилась необходимость в определенном пересмотре научно-методических подходов к развитию и совершенствованию теории и практики нормированного питания разных видов животных. В особенности это относится к нормированию энергетического и протеинового питания крупного рогатого скота и прежде всего – лактирующих коров. Возникла идея разработки новой, основанной на современных достижениях науки системы нормированного питания и оценки кормов.

В странах с развитым животноводством также все большее внимание уделяется совершенствованию систем нормированного кормления животных (Chady, 2001; Cornel sys. 1990). Сложность создания новых систем связана с тем, что до настоящего времени очень мало количественных данных по трансформации питательных веществ корма в доступные для усвоения субстраты и их метаболизму в стенке желудочно-кишечного тракта, в печени, молочной железе, мышечной и жировой ткани. Первые попытки создания таких моделей и коммерческих компьютерных программ относятся к 1987-1990 гг (Sprondly, 1990).

1.1. Необходимость совершенствования существующих систем питания

Продолжающийся в мире рост продуктивности животных выдвигает новые требования к оценке питательности кормов и нормированию питания жвачных животных. Одним из путей повышения производства продукции животноводства является эффективное использование генетического потенциала животных, которое должно обеспечиваться применением современных научно-обоснованных систем питания животных.

Ключевым моментом систем питания животных является обоснование (определение) их потребностей в энергии и питательных веществах. Для этого используется или эмпирическое определение суммарной потребности в факторах питания, как правило, в сырых питательных веществах и энергии из расчета на целостный организм, или факториальная оценка затрат на комплексные физиологические функции (поддержание, молокообразование, рост, беременность и др.). Полученные в результате данные не отражают возможную другую реальную действительность, кроме той, в которой они установлены и, следовательно, не могут быть использованы в любых других ситуациях.

В существующих подходах, в том числе и факториальном, необоснованно допускается аддитивное использование питательных веществ из кормов рациона на различные функции, не учитываются взаимодействия между кормами рациона и физиологическими функ-

циями, не учитываются долговременные эффекты предыдущего питания на текущую продуктивность и данного питания на последующую продуктивность, не предусматривается возможность регулирования качественного состава получаемой продукции.

Разработка эффективной системы оценки питательности кормов предъявляет новые требования к химическому анализу кормов. Нормирование и определение потребностей в традиционных системах питания производится в сырых и переваримых питательных веществах органической части рациона - протеине, клетчатке, сахаре, крахмале и жире. В тоже время установлено, что этот круг показателей явно недостаточен и позволяет определить в грубых кормах только 60 % , а в концентрированных до 80 % фактического содержания органических веществ. Это обстоятельство приводит к тому, что и в существующих справочных пособиях по кормлению жвачных нормируется не более 60 % органического вещества рациона. Такое положение объясняется в основном тем, что широко используемые методы определения показателя "сырая клетчатка" далеко не полностью выявляет количество структурных полисахаридов -углеводно-лигнинового комплекса. Этими методами определяется лишь часть целлюлозы и лигнина, а более 50 % структурных углеводов в виде целлюлозы и гемицеллюлоз остаются не учтенными. Кроме того, существующие нормы сырой клетчатки являются завышенными, что очень затрудняет составление практических рационов, особенно для лактирующих коров. Вместе с тем, известны и сравнительно хорошо разработаны методы анализа кормов с применением нейтральных и кислых детергентов, позволяющих фракционировать и определять количество структурных полисахаридов корма. В принципе такое же положение относится и к жирам, и к протеину. Практика нормирования рационов крупного рогатого скота по липидам до последнего времени не находила отражения в существующих нормах кормления, термин липиды корма заменялся абстрактной формулировкой "сырой жир", совершенно не отражающей истинного содержания липидов, так как при его определении из корма извлекается не только липидная фракция, но и кампостерины, фитостерины, воска, часть жирорастворимых витаминов, а также пигменты, которые могут занимать от 20 до 30 %.

Для более полного раскрытия содержания сухого вещества в химических компонентах кормов и тем самым для более точного составления рационов и установления связи переваривания от содержания в кормах питательных необходимо проводить анализ кормов по следующим показателям: абсолютно сухое вещество, воздушно-сухое вещество, сырой, растворимый, распадаемый протеин, небелковый азот, лигнин, целлюлоза, гемицеллюлозы, крахмал, сахара, липиды, минералы, витамины.

Анализ по данным показателям позволяет учесть почти на 100% состав сухого вещества, что обеспечивает объективное нормирование.

В настоящее время разработаны ГОСТы на определение в кормах растворимости и распадаемости протеина (ГОСТ-23074-89 и 23075-89). Подробно опубликованы методы фракционирования структурных углеводов кормов (Биохимические методы исследования, Боровск, 1998).

Для оперативного контроля (не более 2-3 суток) химического состава кормов, входящих в рационы, целесообразно использовать анализатор NIR SCANNER 4250, калиброванный на исследование указанных показателей в кормах.

Известно, что жвачные животные имеют принципиальные отличия в физиологии пищеварения и обмена веществ, которые изменяют количественные и качественные характеристики почти всех компонентов корма. Микробиологические процессы в преджелудках модифицируют аминокислотный состав корма, а углеводы при этом превращаются в летучие жирные кислоты, из не липидных компонентов синтезируется жир и высшие жирные кислоты. Специфика имеет место в синтезе витаминов и усвоении минеральных веществ. К сожалению, особенности физиологии и биохимии жвачных животных не в полной мере нашли свое отражение и в принятой в России системе оценки корма и нормирования питания.

В оценке протеиновой питательности корма до сих пор используется понятие "переваримый протеин", хотя этот показатель не отражает ни качества протеина корма, ни процессов расщепления азотистых соединений в рубце, ни синтеза бактериального белка. Нормирование рационов только по содержанию в кормах сырого и переваримого протеина, без учета его качества и уровня ферментативных процессов в преджелудках, часто приводит к перерасходу кормового протеина, недополучению и удорожанию продукции, нарушениям обмена веществ.

Переваримый протеин есть только мера исчезновения общего азота из пищеварительного тракта и не дает оценки тому, в какой форме азот всасывается - аммонийной или аминокислотной. Аминокислоты поступают в кишечник жвачных животных с микробным протеином, синтезированным в рубце, недеградируемым (нерасщепляемым) кормовым протеином и эндогенным белком. Поэтому, потребность в них обеспечивается за счет протеина, который поступает из сложного желудка в кишечник и там переваривается и всасывается. Степень деградации протеина в рубце зависит от его физических и химических характеристик в отдельных кормах рациона. Следовательно, имеется возможность повысить усвоение и снизить расход кормового протеина для жвачных животных подбором кормов с соответствующей протеиновой деградируемостью или путем защиты от расщепления в рубце

бактериями. Низкопродуктивные животные покрывают свои потребности в протеине путем микробиального синтеза его в рубце. Напротив, высокопродуктивные, с их большими потребностями в белке (аминокислотах) нуждаются в дополнении к микробному протеину почти в таком же количестве недеградируемого в рубце (но переваримого в кишечнике) кормового протеина. На этих физиологических предпосылках нами совместно с другими НИИ разработана более прогрессивная система оценки и нормирования протеина в кормлении жвачных животных, в том числе лактирующих коров, позволяющая прогнозировать обеспеченность жвачных в обменном протеине и аминокислотах на различных кормовых рационах. Нормирование протеина по предлагаемым показателям обеспечивает повышение продуктивности животных и экономию кормового белка. Принципиальным моментом является также нормируемость нераспадаемого кормового протеина, доступного для переваривания в тонком кишечнике. В различных системах оценки и нормирования протеина колебания данного коэффициента составляют 0,6 – 0,8. По аминокислотному составу нераспавшегося кормового протеина и доступности отдельных аминокислот для всасывания в кишечнике данных вообще крайне мало, что не позволяет достаточно точно и обоснованно рассчитывать количество и состав аминокислот, всасывающихся из пищеварительного тракта жвачных животных.

К недостаткам традиционной оценки кормов относится и неточная (не адекватная) характеристика компонентов углеводов корма. Широко применяемый метод определения «сырой» клетчатки учитывает максимум 40 % фактического содержания в кормах целлюлозы и гемицеллюлозы. Более полную информацию о качестве корма и его переваривании можно получить при определении нейтрально-детергентной и кислотно-детергентной фракций структурных углеводов, включающих целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин. Для жвачных, однако, структурные углеводы не могут быть индикатором низкой их питательной доступности, поскольку в некоторых кормах они не хуже, а даже лучше усваиваются жвачными, чем безазотистые экстрактивные вещества, что подтверждается данными о высоком образовании летучих жирных кислот из структурных углеводов. Образование летучих жирных кислот из структурных углеводов на разных рационах кормления колеблется от 27 до 54 % от их общего количества.

Итак, существующие системы ограничены тем, что в них отсутствует интеграция обмена энергии и протеина, неадекватное представление состава ОЭ в отношении индивидуальных нутриентов, неспособность предсказать состав молока, неспособность разделить энергию затрачиваемую на синтез молока и тела, неспособность предсказать продуктивную реакцию на изменения в поступлении питательных веществ с кормом.

Необходим новый подход, учитывающий поступление, использование и самое главное взаимодействия индивидуальных субстратов. С учетом взаимодействия нутриентов на уровне рубца и тканей условия совершенствования классификации кормов и оценки состояния животного можно будет улучшить предсказание реакции молочных коров.

1.2. Современное состояние и перспективы развития теории питания жвачных животных

Мировой опыт развития животноводства показывает, что достигнутый за последние 20-25 лет прогресс в повышении продуктивности и снижении себестоимости животноводческой продукции примерно на 30-35 % определяется достижениями в генетике и селекции и на 50-60 % за счет научно обоснованного кормления. Поскольку затраты корма составляют главную статью расходов на получение животноводческой продукции, прогресс в области питания является главным фактором повышения эффективности животноводства. Приоритетность исследований по питанию связана с ростом генетического потенциала животных, внедрением новых технологий, перспективой и необходимостью повышения конверсии питательных веществ корма в продукцию и общей эффективности отрасли.

В условиях интенсивного животноводства резко возрастает нагрузка на эволюционно выработанные физиологические возможности организма животных и увеличивается вероятность различных физиологических и биохимических нарушений функций. Поэтому в задачах оптимизации технологий содержания и кормления животных возникает ряд вопросов, связанных с необходимостью учета природы и механизмов формирования высокой продуктивности, в том числе биологических взаимосвязей и ограничений, проявляющихся на уровне потребления корма, процессов пищеварения, обмена веществ и эффективности использования субстратов на биосинтез продукции животных.

Современные технологии высокопродуктивного животноводства требуют создания новых физиологически адекватных и экономически обоснованных систем нормирования питания сельскохозяйственных животных. Ключевым вопросом совершенствования теории и практики питания является обоснование физиологических потребностей организма в конкретных субстратах. Уровень имеющихся биологических знаний и появление новых технологических возможностей позволяют более полно оценивать химический состав корма, его переваримость в разных отделах пищеварительного тракта и на основании этого количественно определять образование субстратов из питательных веществ корма и прогнозировать их поступление в метаболический фонд организма. Развитие теории и практики питания, адекватного физиологическим потребностям животного, также предполагает получе-

ние новых данных, количественно характеризующих транспорт и использование субстратов на обеспечение основных физиологических функций организма животного. Эти знания позволяют обосновывать и разрабатывать критерии и способы оценки субстратной обеспеченности метаболизма и подойти к решению проблемы нормирования питания высокопродуктивных животных с учетом их потребности в субстратах.

По мере познания процессов метаболизма и механизмов, регулирующих распределение субстратов между органами и тканями для обеспечения различных физиологических функций, становится ясным, что физиологические потребности не являются постоянными величинами и для различных условий содержания и физиологического состояния самого организма и для отдельных метаболических подсистем и функций организма (*мышечная, жировая ткань, печень, функции желудочно-кишечного тракта, молочная железа*) могут быть свои критерии адекватности условий питания а также. Так, в первую половину лактации лактационная доминанта обеспечивает приоритет в распределении энергии и субстратов в организме коров для реализации процессов молокообразования.

Приводимые в современных рекомендациях потребности лактирующих коров в питательных веществах, как известно, устанавливаются в зависимости от удоя и концентрации жира в молоке. При этом продукция молочного белка прогнозируется по соотношению его с жиром и СОМО. Однако в реальности это соотношение не является постоянной величиной и зависит от породы, стадии лактации и условий питания. Этими фактами обосновывается необходимость разработки и учета потребностей в субстратах на продукцию отдельных компонентов молока, особенно если это касается разработки способов управления качеством продукции. Эмпирические исследования не обеспечивают в полной мере решения этой задачи, так как в эксперименте невозможно исследовать все сочетания факторов и учесть все генотипы. Поэтому прогноз распределения и использования субстратов для синтеза компонентов продукции должен основываться на учете фундаментальных биологических закономерностей, общих для разных генотипов, с возможностью последующей привязки системы для данных конкретных условий и типов животных.

Известно, что эффективность использования обменной энергии для обеспечения процессов молокообразования может быть разной в зависимости от количества и соотношения субстратов в обменном фонде организма. Наиболее важными факторами, лимитирующими реализацию продуктивного потенциала животного, является обеспеченность обменных процессов аминокислотами и глюкозой, получаемой за счет активизации процессов глюконеогенеза. Ключевым моментом в разработке систем питания является блок установления потребности организма в питательных веществах и энергии. Существующие системы

оценки и нормирования питания основаны, как известно, на показателях обменной (ОЭ) или чистой энергии, протеина и других питательных веществ корма. Еще в 60-70 годах (Блэкстер, Арстронг, Рук, Холтер) провели исследования по определению эффективности использования ОЭ при инфузии различных ЛЖК и их смесей в рубец лактирующих коров. Были получены неоднозначные результаты. Исходя только из состава питательных веществ в рационах, Ван Эс и Нийкамп (1969) не смогли обнаружить у коров влияния содержания сырого протеина и сырой клетчатки на использование обменной энергии для производства молока, если не был превышен нижний физиологический предел физиологической потребности. Моу и Тиррел (1971) скармливали молочным коровам рационы с содержанием 16 и 11% сырого протеина. С помощью регрессионного анализа они выявили лишь незначительную разницу в использовании энергии (59,4 и 60,0%). Обобщающая интерпретация 102 измерений энергетического обмена у коров в исследованиях Института им. Кельнера, при скармливании различных по составу питательных веществ рационов (сырой протеин-12-27%, сырая клетчатка-15-28%, БЭВ-44-64%), проведенная Гофманом и др. (1972), содержит оценку использования энергии питательных веществ для синтеза молока. Использование ОЭ корма для производства молока, равно как и для образования жира, зависит по этой оценке, от состава питательных веществ в рационе. Это значит, что ОЭ рационов с разным составом питательных веществ по-разному используется для синтеза молока. Однако в силу ряда причин, связанных в основном с проблемами «переваримого» протеина и показателем «сырая клетчатка» результаты этих опытов не нашли широкого практического воплощения. Лишь в некоторых системах были введены поправки на эффективность использования ОЭ в зависимости от структуры рациона, которые в среднем составляют лишь 5%.

1.3. Развитие теории питания жвачных животных на принципах субстратной обеспеченности метаболизма

Развитие науки, и науки о питании (трофология) в частности, происходит по мере накопления и уточнения данных, расширяющих наши представления о процессе питания. В то же время, если система не позволяет объяснить некоторые аспекты или не может описать новые данные, следует ее закономерно, но уже качественный пересмотр. В настоящий момент наука о питании стоит перед этим рубежом.

В чем же недостатки существующей системы? На наш взгляд они делятся на принципиальные и непринципиальные, т.е. на те, которые можно устранить в рамках существующей системы, и те которые в этих рамках принципиально не решаются. Непринципиальные недостатки в настоящее время всем известны и речь о них неоднократно поднималась и в центральной научной печати, и на различных науч-

ных форумах. Это факторы окружающей среды –(влажность, температура), фаза лактации, прирост, стадия стельности, завышенный уровень сырой клетчатки, учет качества протеина- которые в настоящее время в нормах не учитываются, хотя могут вносить значительное влияние на расчет потребностей в питательных веществах и энергии и удовлетворение этих потребностей. В последней версии изданных в России норм, часть этих показателей для высокопродуктивных коров уже введена (Нормы и рационы...2003, Физиологические потребности...2001).

Принципиальных недостатки, т.е. те, которые как бы не совершенствовалась система устранены и решены не будут. Суть этих недостатков состоит в следующем: система нормирования по обменной энергии не объясняет разное продуктивное действие изоэнергетических и изопротеиновых рационов в распределении усвоенной энергии на производство молока и привеса; не может прогнозировать химический состав молока; система статичная, не предусматривает целенаправленное, научно-обоснованное манипулирование составом рациона, не позволяет вести обоснованный подбор кормовых ингредиентов.

Как будет распределяться усвоенная энергия на привес и молоко, сколько молока, какого химического состава, какое качество жиров и их жирнокислотный состав, если что –то будет скормлено не по норме? На такие вопросы существующие системы ответов не дают. В то же время кормление по жестким нормам, в которых задана и концентрация ОЭ и уровень питательных веществ, часто на практике не выполняется. Например, не выращивают по экономическим соображениям в средней полосе России сейчас кормовую свеклу, а без нее норму сахара в рационе не выдержать, поскольку кормовой патоки можно вводить в рацион лишь ограниченное количество. Чем можно заменить ее, сколько и чего в этом случае будет потеряно, не будут ли потери больше, чем экономия от ее замены? Применяемый ныне подход заменять одно другим в эквивалентах ОЭ не отвечает на эти вопросы.

Для современного животноводства должен быть разработан инструмент, позволяющий выбирать оптимальные режимы кормления, быть ориентиром в планировании поголовья и его продуктивности, позволял бы делать экономически обоснованным выбор возделываемых культур. Поэтому вопрос о разработке системы, позволяющей вести гибкое планирование кормления, применять в сложившихся условиях наиболее экономичные подходы при выборе режимов кормления, уровня продуктивности, составлении рационов как раз в первую очередь актуален для российского животноводства. В других европейских странах и Америки набор возделываемых культур не определяет эффективность животноводства в связи с приемлемым климатом или как в США этот ассортимент культур уже исторически оптимально сложился (люцерна, соя, кукуруза), к тому же высока степень культуры

кормопроизводства. И таким образом доля кормов в конечной цене продукции менее высока.

Наука о питании должна ответить на следующие вопросы: какие вещества и в каких количествах необходимы организму для роста, сохранения жизнедеятельности и воспроизводства? Что происходит при невозможности удовлетворения этих потребностей и к каким последствиям приводит потребление питательных веществ в избыточном (по сравнению с потребностями организма) количестве? Какова биологическая функция каждого питательного вещества? Каким образом нарушение этих биологических функций приводит к явным признакам недостаточности? Какие пищевые продукты позволяют животному удовлетворять потребность в питательных веществах и в каких количествах требуются эти пищевые продукты?

В основе всех систем питания и человека, и домашних, и с.х. животных лежит принцип баланса энергии. Он заключается в создании равновесия между поступающей с пищей энергией, и энергией, расходуемой во время жизнедеятельности. Исходя из энергетических эквивалентов белков, жиров и углеводов и принимая во внимание незаменимость только белков и ненасыщенных жирных кислот, согласно этому принципу разницы в рационе, состоявшем только из белков и незаменимых жирных кислот и смешанного рациона не будет, если это не приводит к нарушениям пищеварения. Действительно домашние животные (кошка, собака) в эксперименте длительное время успешно содержались на высокобелковой диете. Однако если учесть напряжение организма по уровню глюконеогенеза и выведению аммонийных групп, становится ясно, что такая диета не отвечает условиям оптимального питания.

Приведенные выше факты свидетельствуют, что задача (проблема) обеспеченности валовой питательностью (энергией и протеином) неизбежно перерастает в установление потребностей животных в метаболитах-субстратах, в разработку способов оптимизации их образования и использования для более экономного расходования кормов и дальнейшего повышения продуктивной эффективности животных. Так как, животные метаболизируют энергию не как таковую, а субстраты-метаболиты, исходно образуемые в пищеварительном тракте, то природа и количество этих субстратов будут определять, с какой эффективностью они будут использованы на молоко и другие нужды организма. Животным для питания необходим не белок *per se*, а определенные аминокислоты, освобождающиеся при его гидролизе (Уайт А., 1983).

Таким образом, исходя из знания основных метаболических путей превращения метаболитов в организме животных, главный принцип рационального питания - баланс энергии, дополняется принципом балансирования основных метаболитов, исходя из биохимиче-

ской эффективности процессов и особенностями пищеварения животных.

В данном контексте имеется в виду разработка научных критериев и способов, позволяющих оценивать корма и рационы по образованию субстратов и метаболитов и их использованию организмом на органном, тканевом и клеточном уровнях, приводящих к высокому продуктивному эффекту, сопровождающемуся достаточной эффективностью, сохранением здоровья и воспроизводительной функции животных.

Проведено сравнительно немного исследований с целью установить условия «оптимального питания», однако не установлены даже критерии оптимального питания. В экспериментах на животных в качестве критерия обычно используют увеличение веса молодняка. Однако нет данных о том, что диета, дающая максимальный привес, оптимальна для взрослого организма, когда главным критерием выступает здоровая и продолжительная жизнь. Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что при потреблении диеты, обеспечивающей лишь минимальные потребности в необходимых питательных веществах - продолжительность жизни увеличивается. Если эти сведения окажутся справедливыми, то придется пересматривать все рекомендации по нормам питания взрослых особей.

В связи с этим главный принцип оптимального питания можно сформулировать следующим образом. *Оптимальное питание заключается в обеспечении поступления в организм после всасывания из пищеварительного тракта необходимого набора конечных продуктов переваривания, на переработку которого затрачивалось как можно меньше реакций и энергии.*

Какой же должна быть такая система, отвечающая современным требованиям? Или - как же правильно, научно-обоснованно кормить корову?

Для этого следует рассмотреть этапы образования и получения молока и какими принципами руководствуются разные технологические звенья участвующие в этом процессе.

1. Агрономическая служба - ее цель заключается в наибольшем выходе к.е. на единицу затрат или площади земли. С этих позиций правильно кормить животных сеном естественных угодий - само растет, скошил, само высохло, убрал, особо хранить тоже не надо, поэтому его задача состоит в производстве валовых кормовых единиц, а точнее просто веса. Хотя в принципе должна быть система, диктующая и набор возделываемых культур с учетом доступности составляющих их питательных веществ к перевариванию.

2. Зоотехническая служба будет исходить главным образом из цены 1к.е. и цены 1л молока - что дешевле. - тем и кормить. При этом в определенной мере учитываются особенности пищеварения жи-

вотных, но четкой системы расчета к.е. или обменной энергии кормов рациона при манипулировании набором кормов или уровнем кормления не существует. Поэтому успех такого подхода определяется опытом данного зоотехника, и не передается другим, которым чтобы наладить производство приходится учиться на своих ошибках. Причина такого подхода - отсутствие системы, позволяющей научно прогнозировать результаты вариаций с кормлением.

3. Организм коровы:

Пищеварительный тракт коровы, в связи с особенностями строения и функционирования предъявляет свои требования к кормам. Выход за рамки физиологических требований процесса пищеварения приводят к заболеваниям или снижению переваримости кормов. В какой-то мере отношение между требованиями физиологии пищеварения и практикой нормирования и составления рационов нашло свое отражение при разработке типовых рационов и в существующих нормах кормления, но только в общих чертах. А именно устанавливается минимальный уровень содержания сырой клетчатки, для нормального функционирования системы преджелудков или в нормах отражается максимальный уровень ее потребления, как самый дешевый компонент в рационах жвачных. Однако обоснованной системы просчетов экономической целесообразности применять разный уровень сырой клетчатки в рационах при различной продуктивности или условий кормления не разработано. Так, нельзя с достаточной определенностью установить, что выгоднее скармливать, из каких источников будет животное извлекать максимум полезных веществ и при этом не нагружать организм ненужными продуктами (аммиак, амины, кетоны). Для этого должна существовать физиологически обоснованная система расчетов преобразования химических веществ корма в процессе переваривания в продукты предназначенные для всасывания.

Печень. Можно скармливать дешевые корма, имеющие хорошую переваримость и усвояемость в пищеварительном тракте и в тоже время они могут быть неблагоприятны организму по конечным продуктам всасывания. Например, применение кормов с повышенным содержанием растворимых протеинов приводит к образованию большого количества аммиака, который после всасывания должен в печени и почках пройти процесс образования мочевины. Ферментация некоторых кормов сопровождается большим образованием масляной и уксусной кислоты, которые приводят к повышенному содержанию кетонных тел в крови. При этом во всех случаях будет наблюдаться высокая переваримость. Организм должен затрачивать энергетические ресурсы на их переработку, извлекать резервы для выравнивания гомеостаза и, тем самым, производить дополнительные потери. Поэтому, необходимо создавать условия, чтобы образовывались и всасывались те метаболиты, на переработку которых не требуется дополнительных затрат.

Молочная железа. В упрощенном виде это биосинтетический реактор, в котором из простых предшественников происходит формирование составных частей молока - лактозы, жиров и белка. В какой-то мере в железе происходит коррекция поглощенных субстратов (по аминокислотам), но в целом специфика органа в этом не заключается, предшественники должны поступать в достаточно сбалансированном виде. И эти требования должны быть обеспечены.

Система питания должна уметь обеспечивать компромисс между требованиями разных звеньев организма, определяемых на основе научных знаний процессов пищеварения и обмена веществ и особенностями содержания и кормления животных, кормовой базы, климата и плодородием почв. Чтобы возможно было проследить биохимический путь превращений питательных веществ, начиная с корма и до выхода продукции, необходимо оперировать химическими сущностями веществ. Установить биохимические связи между сырыми питательными веществами и химическими составляющими, например, молока, не представляется возможным, т.к. понятие сырые питательные вещества не имеют химической сущности и часто определяют сумму каких либо компонентов различной структуры, имеющих при переваривании разные конечные продукты. Решение проблемы путем введения понятия «энергия» в свое время дало значительный прогресс в разработке норм кормления, но при этом внутренний механизм превращений оставался не учтенным и поэтому устанавливались лишь наиболее выраженные взаимосвязи.

Длительное время существовала разобщенность исследований в области физиологии и биохимии питания от зоотехнической науки-кормления. В принципе работы велись в одном направлении - повышение продуктивности животных, но исследования в области физиологии и биохимии питания практически мало находили отражение и учитывались при разработке норм кормления. Какие бы стороны межзачаточного обмена мы не изучали, чтобы не устанавливали, это ни коим образом не связывалось с кормлением. Установление количественных фундаментальных закономерностей превращения бутирата при всасывании в β -оксибутират, окислении последнего в тканевом метаболизме и использовании его в молочной железе при синтезе жирных кислот ни как не могло отразиться на в нормах кормления. В лучшем случае что используется, так это учет показателей некоторых метаболитов в крови в качестве критериев полноценности кормления. Много выяснено о метаболизме: известна роль предшественников компонентов молока, есть представления о роли стенки ЖКТ и печени в превращениях всасывающихся веществ, о роли жировой ткани и т.д. Эти знания носят в основном описательный, качественный характер, поэтому их трудно использовать в практических нормах. Хотя в определенной мере эти факты учитываются. Снижение жира в молоке на рационах с преобладани-

ем концентрированных кормов связано с количеством образованного ацетата и поэтому пришли к заключению, что надо иметь в рационе минимум грубых кормов и на этом остановились. А нужно было количественно рассчитать необходимое количество ацетата, удовлетворяющее и синтез молочного жира, и его расход на генерацию АТФ, а отсюда - регламентировать количество всасывающегося ацетата. В этом случае норма компонентов кормов рациона будет исходить из снабжения количества необходимого для обеспечения этого процесса.

Что же вытекает из многолетних исследований института и предлагается? Учесть все данные, полученные в экспериментах на уровне пищеварительного тракта и межклеточного обмена, т.е. устранить разобщенность прикладной физиологии и биохимии, чем мы всегда занимались, и теорией и практикой кормления, которые совершенствуются только на основе эмпирического подхода сравнения входных характеристик рациона и выходом с продукцией, т.к. должен быть один конечный результат - повышение продуктивности животных.

По своей сути процессы питания у всех видов происходят по общим законам физиологии и биохимии и имеет лишь определенные черты специфичности и особенностей. Основное отличие заключается в принципах питания. Для продуктивных с.х животных одним из главных требований является кормление, обеспечивающее высокую продуктивность с наименьшими затратами. Для человека и домашних животных эти требования не главные или их нет вообще. Селекция, направленная на подбор животных с высокой продуктивностью, привела к появлению пород с высокой метаболической активностью, с повышенными требованиями к условиям питания. Поэтому наука о питании с.х. животных должна быть более развита, чем наука о питании человека. К тому же здесь больше возможностей изучения внутренних реакций организма.

На базе проведенных в институте интенсивных исследований количественных параметров образования, транспорта, метаболизма и использования субстратов (нутриентов) на синтез составных частей молока у коров разного потенциала продуктивности и в зависимости от их физического состояния, фазы лактации, структуры рациона и уровня кормления разработан первый вариант новой системы оценки питательности кормов и нормирования питания животных, основанной на прогнозе обеспеченности субстратами (питательными веществами) их жизнедеятельности и продуктивности.

Для этого использованы методы системного моделирования, которые в настоящее время являются наиболее перспективным и эффективным способом прогнозирования переваримости и питательной ценности кормовых составляющих рациона для жвачных. Системное моделирование процессов пищеварения и всасывания субстратов позволяет в комплексе учитывать влияние на

трансформацию корма в преджелудках как симбионтной микрофлоры, так и собственных систем и функций организма-хозяина (ферментативных, секреторных, эвакуаторных и т.д.). Такой комплексный подход позволяет учесть ассоциативные эффекты в переваримости составляющих кормов и спрогнозировать потоки всасывающихся субстратов по данным химического анализа состава рациона. Исследования в этом направлении проводятся в США, Великобритании, Дании, Германии, Австралии и других развитых странах. В нашей стране эта разработка осуществлена впервые. На основе имеющейся в литературе информации создано собственное программное обеспечение экосистемного моделирования биоценоза преджелудков. На основе решения обратной коэффициентной задачи произведена адаптация системы к конкретным условиям, введены уточнения и модификации с использованием большого количества фактического экспериментального материала. Практическое значение разработки состоит в том, что она дает основу для более эффективной оценки питательной ценности рациона и прогноза потоков всасывающихся субстратов, необходимого для нормирования питания высокопродуктивного скота, а также для обоснования способов направленной регуляции соотношения всасывающихся субстратов, оказывающего влияние на качество получаемой продукции и на клинико-физиологическое состояние животного.

Была проведена проверка точности предлагаемого метода оценки энергетической питательности рационов по энергии всасывающихся субстратов по указанной выше модели. В работе использовали данные 25-ти балансовых опытов на лактирующих коровах. Результаты проведенной оценки свидетельствуют о том, что предложенный способ с использованием модели биоценоза рубца характеризуется более высокой точностью, по сравнению с двумя другими способами – расчету по формуле Аксельсона и по табличным данным, приведенным в справочнике «Нормы и рационы кормления с.-х. животных 1985 г.» На данном этапе использование определения содержания ОЭ в рационах по разработанной модели, в связи с хорошей прогностической способностью, можно рекомендовать для применения при составлении рационов для КРС. В настоящее время имеются данные о содержании и скорости ферментации протеина основных кормов, крахмала, целлюлозы, гемицеллюлоз. Получены данные об аминокислотном составе основных фракций протеина ряда кормов и скорости распада каждой аминокислоты.

Разработанная система оценки рационов в настоящее время может использоваться на практике для более точной оценки содержания обменной энергии в кормах в рамках существующей детализированной системы питания. Одновременно она является первым элементом новой разрабатываемой системы питания, адекватного физиологи-

ческим потребностям разных генотипов животных на основе субстратной обеспеченности метаболизма.

Было экспериментально доказана возможность количественного определения образования субстратов из кормов рациона и их перераспределение в процессах обмена и поглощения молочной железой. Установленные закономерности в образовании и поглощении субстратов заложены в алгоритм расчетов и реализован в виде компьютерной программы. Для определения наработки субстратов в процессах пищеварения и межклеточного обмена использовали данные расчета образования субстратов по разработанной нами модели и учитывали особенности метаболизма в стенке ЖКТ и печени, мобилизацию и отложение веществ в мышечной и жировой ткани. Балансирование рационов производили по совпадению образованных субстратов и потребностью в них. Решение задачи составления рациона по новым принципам заключается в поэтапном приближении базового рациона (рассчитанного по схеме детализированного питания) к реальному, полноценно обеспечивающему параметры субстратной потребности животного в данных условиях кормления и содержания.

Разработанные теоретические положения доведены до уровня возможного использования в практике животноводства. В настоящее время разработаны основные подходы к установлению потребностей лактирующих коров в отдельных субстратах при сложившемся уровне молочной продуктивности, с учетом химического состава молока и изменения массы тела при стандартном уровне эффективности использования. С этой целью создан первый рабочий вариант компьютерной программы для системы оценки и нормирования с учетом субстратного обеспечения метаболизма. В то же время предстоит разработать потребности в субстратах для обеспечения планируемого уровня молочной продуктивности с определенным составом молока и при контроле динамики массы тела.

Литература к главе 1

ГОСТ-23074-89 и 23075-89. Метод определения растворимости и расщепляемости сырого протеина кормов. М., Изд. Стандартов, 1989, 11 с.

Методы биохимического анализа (Справочное пособие). Под ред. Кальницкого Б.Д., Боровск, 1997., 356 с.

Нормы и рационы кормления с.-х. животных: Справочное пособие. 3-е издание./А.П. Калашников и др. –М.:, 2003.-456 с.

Нормы и рационы кормления с.-х. животных: Справочное пособие/А.П. Калашников и др. –М.: Агропромиздат, 1985.-352с.

Основы биохимии. Уайт А., и др.Т.3. Пер. с англ., М.: Мир, 1981.-726 с.

Физиологические потребности в питательных веществах и нормирование питания молочных коров., (справочное пособие), Боровск., 2001.,120с.

Armstrong D.G.,Blaxter K.L. In:"Energy metabolism" Hrsg. EAAP-Publ.Nutr.11.London. New York, Academic Press,1965.S.59-72.

Es A.J.H. van, Nijkamp H.J. In:" Energy metabolism in farm animals" EAAP-Publ. Nr.12, Newcastle, Oriel Press Ltd., 1969,S.209-212.

Hoffmann L., Jentsch W., et.al. Arch.Tierernar.22.1972.S.721-742.

Holter J.B., Jones L.A. et.al. J.Dairy Sci. 55, 1972.S.1757-1762.

Мое P.W., Tyrrel H.F. J. Dairy Sci.,55.1972.p.480-483.

Rook J.A., Balch C.C., Jonson V.W. Brit. J. Nutr. 19,1965,S.93-99.

2. Расчет потребности использования субстратов на метаболические нужды организма

Основой любой системы питания является блок расчета потребности животных. Разработанная во ВНИИФБиП система питания предполагает оценивать потребность и проводить нормирование питания с учетом образования субстратов в пищеварительном тракте в процессах переваривания корма и межклеточного обмена в организме после всасывания. Такой подход позволяет установить и учесть многочисленные взаимосвязи в метаболизме между различными группами метаболитов. Так, например, известна, взаимосвязь эффективности использования аминокислот на продуктивные цели от обеспечения организма другими глюкогенными предшественниками. Начало лактации у коров характеризуется интенсивным использованием жирных кислот в энергетическом обмене, что требует дополнительного обеспечения организма глюкозой. Такие метаболические аспекты, не могут быть учтены при организации эффективного кормления без учета потребности в отдельных субстратах-метаболитах в разные фазы лактации и при разном уровне молочной продуктивности.

2.1. Эффективность использования обменной энергии в зависимости от ее состава

Наиболее важным ключевым показателем, применяемым во всех существующих системах питания служит эффективность использования обменной энергии на различные физиологические нужды организма. Согласно системе AFRC, (1984) потребность на поддержание у лактирующих коров выше, чем у нелактирующих и составляет 420-530 КДж/ кг 0,75, а эффективность использования ОЭ на образование молока почти константа и не зависит от уровня продуктивности (0,6-0,65). Эта система хорошо работает при тех кормовых ситуациях, когда используются типы рационов и стадии лактации, которые применялись для выявления эмпирических взаимосвязей. К сожалению, имеются другие ситуации, когда система не работает. Это требует метаболического рассмотрения, что невозможно в рамках схемы ОЭ (Kristensen, 1991). Животные не метаболизируют энергию саму по себе, а используют субстраты-метаболиты, поступающие из пищеварительного тракта. Природа и количество этих субстратов определяют пути их использования и долю энергии направляемой на образование компонентов молока.

Эффективность использования энергии, наблюдаемая у лактирующей коровы, является результирующей взаимодействия таких факторов, как окружающая среда, условия содержания, физиологическое состояние, гормональный статус, состав рациона и применяемая программа кормления. Изменение любого из этих

факторов приводят к вариабельности в эффективности использования питательных веществ. В качестве примера приводим данные по влиянию уровня молочной продуктивности на эффективность использования энергии (табл.1). Рассчитанные в данном случае значения эффективности использования нутриентов для производства молока основаны на допущениях постоянства затрат на поддержание, рост тканей и вклада мобилизации. В действительности расчеты показателей эффективности еще более осложняются, поскольку использование и обмен разных нутриентов в альтернативных метаболических процессах взаимосвязаны.

Таблица 1

Влияние молочной продуктивности на эффективность использования энергии у коров (ж.м. 650 кг, 3,5 жира)

Удой кг	Энергия молока, МДж	Обменная энергия, МДж	Энергия молока/ОЭ эффективность
0	0	71,6	0
15	44	144,4	30,5
30	87,9	217,1	40,5
45	131,9	289,9	45,5
60	175,8	362,6	48,5
75	219,8	435,4	50,5

(рассчитано по NRC, 1978)

Валовая эффективность использования энергии недостаточно информативна в отношении учета промежуточного обмена и характера использования нутриентов. Более информативна оценка чистой эффективности использования энергии, определяемая как отношение энергии молока к энергии, использованной для синтеза компонентов молока (сверх поддержания с коррекцией на отложение или мобилизацию) (табл.2)

Таблица 2

Теоретическая эффективность синтеза компонентов молока (Baldwin, 1980)

Предшественник	Продукт	Эффективность, %
Аминокислоты	белок	75-87
Глюкоза	лактоза	95-96
Пропионат	лактоза	75-80
Ацетат	молочный жир	65-71
Рацион/жир тела	молочный жир	94-98

Исходя из оценок эффективности использования отдельных предшественник, чистая эффективность молокообразования составляет 76-79 % для субстратов, поставляемых из рациона с высоким

содержанием углеводов и без добавок жира, и 85-87% – по субстратам, мобилизуемым из тканей. Это верхние границы эффективности молокообразования рассчитанные по биохимическим реакциям и в предположении оптимального использования нутриентов. В опытах с непрямой колориметрией была оценена эффективность синтеза молока из резервов тела -84% (множественная регрессия). Оценка эффективности синтеза молока из ОЭ рациона в опытах была значительно ниже и составляла -63-66%. Эта разница (по сравнению с 76-79%) связана с вариабельностью и трудностью оценки парциальной эффективности использования энергии на различные функции (поддержание, синтез молока, прирост или мобилизацию), происходящие одновременно.

Углеводы, как известно, играют центральную роль в обмене энергии у лактирующих коров, поскольку они дают основную часть переваримой энергии. Характер распределения субстратов между тканями и молоком в значительной степени зависит от распределения конечных продуктов ферментации углеводов. Основными факторами в данном случае являются уровень и источник грубого корма и концентратов. Грубые корма сильно варьируют по качеству и могут оказывать влияние на потребление корма и состав конечных продуктов переваривания, тем самым изменяя эффективность использования энергии.

При синдроме снижения жирности молока имеют значение такие факторы как рН рубца, уровень ферментации клетчатки, скорость деградации и эвакуации кормовых частиц из рубца. Согласно данным, приведенным в табл. 3, не наблюдалось большой разницы в потреблении ОЭ при разном соотношении грубых и концентрированных кормов в рационе, однако выход энергии с молоком был значительно ниже при соотношении 20:80.

Таблица 3

Использование обменной энергии при разной структуре рациона

Показатели	Структура рациона - грубые:концентраты		
	60:40	40:60	20:80
Отношение ацетата к пропионату в рубце	3,32	2,57	2,0
Жир молока, г/кг	35	30	27
ОЭ, МДж	151	152	146
Баланс энергии, МДж	-8,4	-2,3	7,3
Энергия молока	58,3	55,1	43,6
Эффективность, ОЭмол/ОЭ рациона	38,6	36,2	29,9

Исследователи обычно выделяют два фактора, потенциально пригодных для манипулирования с целью изменения эффективности

использования энергии: 1) - содержание протеина в рационе; 2) доступность белков-аминокислот для тканей

Имеется большое число работ, указывающих, что молочная продуктивность повышается при увеличении уровня СП в рационе. По-видимому, большая часть эффекта обусловлена влиянием на переваримость (ОЭ/ВЭ) и повышение потребления корма (ОЭ).

Таблица 4

Использование энергии рационов при разной концентрации сырого протеина в рационе (по Tyrrell, Moe (1980)).

Показатели	Рационы					
	1	2	3	4	5	6
гСП/кг СВ	137	161	194	110	140	170
Обменность, ОЭ/ВЭ	0,56	0,59	0,59	0,51	0,55	0,65
ОЭ, МДж	165,3	156,7	182,7	151,1	189,3	209,1
Поддержание, МДж	55,9	58,4	60,2	51,7	56,5	59,1
Баланс энергии, МДж	6,6	11,7	8,8	1,0	2,8	2,3
Энергия молока, МДж	69,6	46,2	63,4	58,4	77,7	83,2
Чистая эффективность молокообразования, (Эмол/ОЭ- поддержание)	58	53	56	58	57	56

Однако, как показывают данные табл. 4, не выявлено значительного влияния уровня СП в рационе на показатели чистой эффективности использования продуктивной энергии на образование молока.

Попытки изменить соотношение распадаемый - нераспадаемый протеин в рационе также не были успешными, как это можно было ожидать на основании опытов с инфузией казеина в сычуг. В ряде опытов была показана возможность повышения удоя при снижении распадаемости СП, однако во многих работах такого повышения не было. Возможно положительный эффект связан с улучшением функции рубца.

Из таблицы 5 видно, что использование энергии в организме может сильно варьировать на фоне постоянной величины переваримой энергии, но разного состава. Так, снижение доли ацетата и бутирата в составе ПЭ приводит к падению выхода жира с молоком, а увеличение доли глюкозы с 2 до 4% к увеличению молочной продуктивности.

Таблица 5

Состав молока у коров при разном составе переваримой энергии (ПЭ)

Показатели	Структура рациона грубые:концентраты			
	Вид зерна			
	ячмень		кукуруза	
	40:60	10:90	40:60	10:90
ПЭ, МДж	157	164	158	158
	Потоки всасывания Мдж/сут и МДж/100МджПЭ			
Ацетат+бутират	66(42)	54(33)	63 (40)	55 (35)
ВЖК	9 (5)	10 (6)	9 (6)	14 (9)
Аминокислоты	28 (18)	31 (19)	27 (17)	27 (17)
Пропионат	24 (5)	10 (6)	9 (6)	14 (9)
Глюкоза	3 (2)	7 (4)	6 (4)	14 (9)
Удой, кг/сут	16,1	20,6	18,9	15,6
	Состав молока, МДж/сут			
Жир	29	17	30	18
Белок	12	15	13	13
Лактоза	12	15	14	11

Таким образом, как свидетельствуют результаты приведенных исследований, эффективность использования, распределение обменной энергии на молокообразование и отложение, состав молока значительно варьируют в зависимости от субстратного состава обменной энергии. В связи с этим не представляется возможным точно устанавливать потребность молочных коров в обменной энергии без учета ее состава.

2.1.1. Определяющее влияние интенсивности липидного обмена в организме коров на эффективность использования обменной энергии

В связи с самой высокой энергоемкостью жировых компонентов их обмен в организме – использование в энергетическом обмене (генерация макроэргов) и отложение в жировых депо или синтез *de novo*, может оказывать самое выраженное влияние на эффективность использования обменной энергии.

Непосредственное поступление длинноцепочных жирных кислот (ДЦЖК) рациона в молоко является более эффективным путем изменения его состава, чем синтез *de novo* из углеводов или ЛЖК в организме животного (Baldwin, 1980). Однако такой путь ограничен, поскольку очень немногие ДЦЖК- Cis молочного жира синтезируются *de novo*. Увеличение доли ДЦЖК в молочном жире происходит в основном за счет синтеза жирных кислот с короткими цепями и/или повышения общей секреции молочного жира (Christie, 1981). В любом случае в жирнокислотном составе молока доля жирных кислот с короткими и средними цепями уменьшается, а доля ДЦЖК увеличива-

ется. Поскольку молочный жир имеет относительно постоянное содержание жирных кислот с короткими цепями, что обуславливает поддержание постоянной точки плавления жира при температуре тела, общая секреция молочного жира может зависеть от содержания в рационе жирных кислот с короткими цепями (Moore, 1981). Наиболее значительная прибавка молочного жира наблюдалась при скармливании полиненасыщенных жирных кислот, хотя сообщалось и об умеренном его повышении при использовании стабилизированного жира (Vipes, 1978). Возможно высокое содержание линолевой кислоты в молоке улучшает его физические характеристики, которые обычно обусловлены наличием в рационе жирных кислот с короткими цепями, необходимыми для нормальной секреции молока.

Транспорт ДЦЖК рациона в молочный жир во многом зависит от таких факторов, как количество потребляемого жира, уровень продукции молочного жира и обменный статус жировой ткани (Christie, 1981). Хотя кормовой жир увеличивает концентрацию липидов в крови, эти изменения трудно связать с продукцией молока. Показано, что поглощение триацилглицерола тканью молочной железы представляет собой криволинейную функцию артериальной концентрации, которую лучше всего описать по кинетике Михаэлиса—Ментена (Baldwin, 1980). Показатели поступления и выхода для полиненасыщенных жиров варьируют в пределах от 14 до 42 % (Yang, 1978). Кроме указанных факторов, на эффективность использования стабилизированных полиненасыщенных жиров влияет недостаточная или чрезмерная устойчивость к биогидрогенизации в рубце, что как в первом, так и во втором случае снижает всасывание. Отмечено, что только около половины поступившей линолевой кислоты находится в форме триацилглицерола липопротеина, доступного для поглощения молочной железой. В других исследованиях по показателям потребления корма и выхода продукции было установлено, что до 50 % кормовых жирных кислот *Cis* переносится в молоко, тогда как прежде считали, что такие кислоты используются в пределах 30—40 % (Banks, 1976). Однако использование в опытах рационов с высоким содержанием жира обеспечивало всасывание только около 550 г кормового жира/гол/сут. Это довольно низкий уровень, чтобы получить относительно высокий показатель транспорта, согласно криволинейной зависимости (Baldwin, 1980). При использовании метода повторной инъекции хиломикронов, меченных по ^{14}C , было обнаружено, что 76 % липопротеиновых триглицеридов, синтезированных в желудочно-кишечном тракте, поглощалось молочной железой коров при содержании в рационе 400—500 г ДЦЖК. Кроме того, доля вклада ДЦЖК в молочный жир увеличивается экспоненциально с увеличением общей продукции молочного жира. При использовании кормовых жиров предполагается некоторое ограничение синтеза *de novo*.

Максимальное увеличение продукции молока, по-видимому, можно достигнуть при использовании рациона, обеспечивающего 16% ОЭ за счет ДЦЖК, что подтвердилось в ряде опытов (Bramby, 1978). На основе анализа регрессии исследователи заключили, что максимальная эффективность использования энергии достигается при включении в рацион жирных кислот в форме стабилизированного жира на уровне 12—16% ПЭ (Bramby, 1978). Наиболее низкий показатель содержания жира в рационе (12%) отмечен в период между второй и шестой неделями лактации, тогда как более высокий показатель был оптимальным между седьмой и тринадцатой неделями лактации. Это предполагает, что мобилизуемые жирные кислоты жировой ткани вносят свой вклад в обменную энергию в начальный период лактации. Сообщалось о достоверном повышении эффективности использования валовой (10,1%) и обменной энергии (4,75%) при добавлении в концентратный рацион 7% говяжьего жира (7,9% сырого жира в СВ корма; около 16—20% ОЭ в форме ДЦЖК).

На распределение жира между молоком и жировой тканью влияет эндокринный статус, обусловленный стадией лактации и уровнем питания (Vines, 1982). Рационы с высоким содержанием концентратов способствуют поступлению энергии не в молоко, а в жировую ткань. Это, по-видимому, происходит с участием инсулина в «глюкогенной реакции» (Vines, 1982). Замещение крахмала кормовым жиром реверсирует снижение продукции молочного жира и сокращает прирост массы тела преимущественно путем нормализации процессов ферментации в рубце и снижения до минимума глюкогенной реакции (Palmquist 1978). Возможно также влияние ДЦЖК на инсулин и гормон роста, поскольку кормовой жир снижает концентрацию и резистентность инсулина в плазме крови, повышает соотношение его с гормоном роста в начальный период лактации (Palmquist, 1981). Чувствительность жировой ткани к липолитическим стимулам сильно возрастает, и в начале лактации реэтерификация минимальна или вовсе отсутствует (Metz, 1977). Поскольку полностью подтверждено, что гормон роста мобилизует ДЦЖК жировой ткани, направляя их в молочный жир, кормовой жир может непосредственно включаться в молочный жир, по крайней мере, в начале лактации (Bauman, 1982; Vines, 1982). Во второй половине лактации соотношение гормона роста и инсулина снижается под действием кормового жира (Palmquist, 1981).

Можно предположить, что добавление жира в начале лактации уменьшает потери массы тела (MacLeod, 1977). Сообщалось, что коровы, получавшие стабилизированные липиды в начале лактации имели более низкие уровни кетоновых тел в крови (Vines, 1978). Это объясняли замещением мобилизованного жира жировой ткани (неэтерифицированные жирные кислоты плазмы крови) кормовым жиром (триацилглицеролы липопротеинов плазмы крови). Обнаружено, что энергия

добавленного жира расходовалась на синтез молока, не снижая при этом потерь массы тела (Ostergaard, 1981).

В исследованиях на 185 коровах при добавлении 3-4% жира в концентратные рационы влияние жира на молочную продуктивность оказалось высокодостоверным. Обобщенные результаты многих опытов по изучению молочной продуктивности, в которых коровы получали липидную подкормку, ясно показали криволинейную реакцию на добавленный жир (Ostergaard, 1981), причем более значительная реакция наблюдалась у высокопродуктивных коров. В опытах Mattias (1982) на коровах голштинской породы в период первой или второй лактации в первые 100 дней лактации этих животных кормили концентратами с добавкой 5 % говяжьего жира. Коровы как первой, так и второй лактации при потреблении липидной подкормки увеличили продукцию молока базисной жирности, причем у первотелок повысилась только жирность молока, тогда как у коров старших возрастных групп при равной жирности молока повысилась и его продукция. В данном случае наглядно показана взаимосвязь генетического потенциала животных с уровнем энергии, в данном случае обеспечиваемой за счет кормового жира.

Увеличение уровня ДЦЖК в рационе повышает их секрецию в молоке и ингибирует синтез жирных кислот с короткими и средними цепями *de novo* (за исключением масляной кислоты) в тканях молочной железы. Обычно повышается содержание олеиновой кислоты вследствие воздействия десатуразы молочной железы на стеариновую кислоту, образовавшуюся в процессе биогидрогенизации в рубце. Этот принцип был использован при производстве сливочного масла размягченной консистенции при низкой температуре, то есть для получения молочного жира с высоким соотношением олеиновой и пальмитиновой кислот (Banks, 1980). Жирные кислоты корма, не подвергающиеся изменению в рубце, такие как лауриновая кислота, переносятся непосредственно в молочный жир (Rindsing, 1974). Общая продукция молочного жира зависит от баланса между поступлением ДЦЖК корма в молочный жир и их синтезом в молочной железе *de novo* (Storry, 1973). Не достаточно известно, оказывают ли специфические жирные кислоты влияние на секрецию общего жира молока. Например, полиненасыщенные ДЦЖК рыбьего жира могут снизить поглощение таких кислот молочной железой из липопротеинов плазмы крови путем ингибирования липопротеиновой липазы, хотя эта точка зрения не бесспорна (Bramby, 1972; Chrisie, 1980). Высказано предположение о существовании еще не изученного механизма ингибирования синтеза молочного жира транс-ненасыщенными кислотами (Selner, 1980). В настоящее время уже появились коммерческие препараты (Лутрелл) для специфического воздействия на синтез жира в молочной железе.

Производство молочного жира наиболее значительно повышается при скармливании стабилизированных жиров, в частности насыщенных, которые повышают концентрацию триацилглицеролов в плазме крови и усиливают поглощение их молочной железой (Gooden, 1973).

Кормовой жир снижает содержание белка в молоке, хотя и не всегда (Palmquist, 1978, 1980). По-видимому, это влияние специфично для синтеза казеина, и оно действует на обмен в молочной железе. Некоторые ученые утверждают о наличии опосредующего действия инсулина, поскольку при скармливании стабилизированного соевого масла наблюдалась резистентность к инсулину (Palmquist, 1981).

2.2. Основные метаболические параметры для расчета потребности молочных коров в субстратах.

Состав конечных продуктов переваривания, всасывающихся из пищеварительного тракта у жвачных животных, существенно отличается от моногастричных. Главное отличие - это низкие значения в составе обменной энергии глюкозы (не выше 10%) и жирных кислот (5-10%). Аминокислоты обычно составляют от 15 до 25%, остальная энергия представлена ЛЖК (ацетат 25-35%, пропионат 15-30%, бутират 8-15%).

Баланс этих главных метаболитов оказывает значительное влияние на их распределение между молочной железой и тканями (Coppock et al., 1964; Ørskov et al., 1969; 1977; MacRae et al., 1988) и определяет содержание жира, белка и лактозы в молоке (Tyrrell, 1980; Thomas and Chamberlain, 1984). Относительная пропорция ацетата, пропионата и бутирата, по-видимому, самый важный аспект в распределении субстратов (Sutton, 1986). В системе факториального расчета потребности организма в энергии и протеина лежит учет затрат на основные функции организма (основной обмен и поддержание, переработка субстратов в стенке пищеварительного тракта и печени (глюконеогенез, мочевинообразование, ресинтез белков), молокообразование).

2.2.1. Затраты энергетических субстратов в процессах основного обмена и поддержания.

Непродуктивные потребности организма складываются из энергетического обеспечения терморегуляторных процессов, поддержания мышечного тонуса (включая функцию сердца) и могут быть определены через продукцию АТФ из окисления основных неспецифических нутриентов. Основной обмен вообще определяется как выделение тепла полностью бессимптомного животного в пост-прандиальном состоянии, внутри термонейтральной зоны. Однако, хотя это состояние может быть достигнуто у людей, чрезвычайно трудно достичь этого с животными. Следовательно, термин «основной обмен» специально был принят для людей. Чтобы измерить основной обмен, животные обычно по-

мещается в респирационную камеру, где их активность минимальна. Однако проблема применительно к жвачным животным состоит в том, что требуется длительное время, чтобы достичь состояния голодания или пост-абсорбционного состояния. Обычно в течение 5 дней животных выдерживают без корма, прежде чем делают измерения, но даже в конце такого периода, ферментация в рубце или толстом кишечнике может все еще продолжаться.

Во многих системах оценки кормов величина основного обмена служит начальной, против которой определяется использование различных кормов, особенно использование энергии для поддержания. Однако, в свое время эта практика была оспорена (Webster и др., 1974), главным образом на том основании, что полученные значения во время голодания во многом зависят от пищевого состояния до голодания. Это связано с тем, что размеры метаболически активных органов (печени, почек и т.д.) значительно зависят от уровня питания (Koong и др., 1985). Поскольку 5 дней голодания могут лишь незначительно изменить размеры органов, то основной обмен, измеренный у хорошо питающихся животных будет больше, чем измеренный у животных, которые были до этого на уровне поддержания или недокармливались. Доля органов в основном обмене составляет: печень-20-30%, нервная система 12, сердце -10, мышцы-23, пищеварительный тракт -10-12% (Ørskov, E.R. 1992).

Другой аргумент против использования показателя основного обмена определяемого данной методикой, является окисление жира, которое происходит у голодающих животных и связано со значительно увеличенными уровнями β -гидроксибутирата в крови. Кроме того, некоторые из аминокислот крови, возможно образующиеся во время оборота белка, окисляются, чтобы обеспечить источники предшественников глюкозы, в то время как связанный азот выделяется.

Потребности в глюкозе для обеспечения основного обмена оценены в 2г на кг обменной массы тела (ОМТ) и они связаны в основном с обеспечением функции нервной системы. Эндогенные потери также определяют специфическую потребность организма в отдельных субстратах, в частности в аминокислотах.

Показатель оценки потребности в энергии для поддержания обозначает уровень обменной энергии (ОЭ), потребляемой за сутки, при котором животное находится в нулевом энергетическом балансе и выражает уровень экзогенного снабжения питательными веществами. Из обобщенных данных литературы ARC (1980), приводит среднее значение между 420 и 460 кДж/кгЖМ^{0,75} для овец и рогатого скота. Ørskov и McDonald (1970), используя сравнительные данные убойных опытов, получили величину 420 кДж/кгЖМ^{0,75} для ягнят.

Энергия, затрачиваемая на поддержания в виде АТФ необходима для таких процессов как циркуляция крови, поддержание мышеч-

ного тонуса и концентрации ионов, оборот протеина, синтез ферментов, физическая активность. Согласно нашим знаниям о биохимических процессах в организме на образование одного моля АТФ из АДФ требуется 96, 94, 89, 85, 100 и 81 кДж (включая 10% на теплоту ферментации) соответственно из ацетата, пропионата, бутирата, жира, протеина и глюкозы, т.е. в среднем 95 кДж. Лучшими субстратами для синтеза АТФ являются глюкоза и жир но глюкоза обычно составляет малую часть от ОЭ.

Балансовые эксперименты по определению потребности на поддержание показывают довольно значительный разброс получаемых значений, что в основном зависит от уровня белка и жира в рационе, т.к. именно эти два компонента могут вносить значительный вклад в обеспечение потребности организма в необходимом количестве АТФ. 189 опытов с коровами (Van Es, A.J.H. 1994) показали негативное влияние увеличения уровня протеина в рационе на эффективность использования энергии на поддержание. Эффективность может снижаться при преобладании в рационах грубых кормов, когда для обеспечения достаточного уровня энергии требуется потребление большего количества СВ. В этом случае возрастают энергетические затраты на его потребление и передвижение химуса по пищеварительному тракту.

На большинстве рационов потребности на поддержание взрослых нелактующих коров, установленные в респирационных камерах, варьируют от 420-460кДж/кг ОМТ с коэффициентами вариации между животными от 5 до 10% (Van Es, 1978). Значения энергии поддержания вообще выражаются относительно живого веса, и имеет значение только влияние предыдущего кормления на вес органов, а размеры жира и белка в теле ни, в частности, вес содержимого пищеварительного тракта не является важными. Имеется относительно немного доказательств, указывающих, что запасы жира и белка влияют на потребность в питательных веществах для поддержания жизни, или полного +или метаболического веса тела. Blaxter (1962), на основе результатов Schieman (1958), заключил, что нет вероятно никаких различий между упитанными и тощими животными в их потребности в питательных веществах для поддержания жизни на единицу веса тела.

Относительно объема и веса пищеварительного тракта, маловероятно, что энергия на килограмм ткани, требуемая для поддержания пищеварительного тракта и для работы, связанной с содержимым тракта, равняется таковой, требующейся для поддержания тканей тела. Mould и др. (1982) показали, что вес пищеварительного тракта с содержимым некоторых особей бангладешского скота составлял 33% живого веса, принимая во внимание, что у Европейского рогатого скота это только 20%. По-видимому, потребность в питательных веществах для поддержания тканей пищеварительного тракта, относительно веса тела, разная для обоих видов скота.

Таким, образом, для правильной оценки потребности молочного скота в энергии на поддержание требуется знание веса пищеварительного тракта, характерного для данной группы или породы животных. Это различие в первую очередь касается расчета потребности на поддержание для высокопродуктивных молочных коров, отобраных на повышенную способность к потреблению кормов за счет большего относительного веса тканей пищеварительного тракта от обменной массы тела.

2.2.2. Метаболизм субстратов в стенке пищеварительного тракта

Конечные продукты переваривания питательных веществ корма, которые всасываются из просвета пищеварительного тракта, участвуют в метаболизме в его стенке, печени, периферических тканях и молочной железе. Собственно метаболизм всосавшихся питательных веществ начинается в слизистой пищеварительного тракта, о чем свидетельствует интенсивное использование кислорода. Ткани пищеварительного аппарата используют 18-28% кислорода от всего его объема употребляемого организмом коровы (Reynolds, 1995), и поэтому количество и соотношение субстратов, достигающих печени, отличается от всосавшихся из пищеварительного тракта. Это в основном касается глюкозы и аминокислот (особенно глутамина и глутамата) (Bergman, 1986; Reynolds et al., 1994). В то же время средне и длинноцепочные жирные кислоты (C₁₀-C₁₂) не участвуют в метаболизме в стенке ЖКТ, но попадают в артериальную циркуляцию через троакальный проток, избегая метаболизма в печени.

Оценки потребления кислорода спланхиальными тканями (пищеварительный тракт, поджелудочная железа и брыжейка) варьируют от 35 до 60% и составляют 15% от ОЭ (Lindsay, 1993; Seal, Reynolds, 1993), при этом на сам ЖКТ приходится 20% общего расхода кислорода организмом (Cant, 1996), в то время как масса ткани составляет всего 10-13% от общей массы животного. Расход кислорода на работу натрий-калиевого -АТФ насоса составляет 30-60%. Оборота белка требует также значительных энергетических затрат (20-24% на синтез и 4% на распад белка). На метаболическую активность влияет физиологический статус животного (например, беременность и лактация увеличивают массу ткани)

В портальную кровь поступает 40-69% ацетата, 30-78 пропионата и 8-66 бутирата от образованных в рубце, что демонстрирует разную степень участия различных ЛЖК в энергетическом обмене в стенке пищеварительного тракта (Seal, Reynolds, 1993). Изменение питания может оказывать существенное влияние на соотношение ЛЖК в рубце и портальной вене, но интенсивность метаболизма отдельных ЛЖК остаются постоянными.

На процесс переваривания и всасывания питательных веществ в пищеварительном тракте затрачивается приблизительно 20% всей доступной энергии. Это связано с быстрым оборотом клеточного белка (Cant, 1996). Разница в потребности на основной обмен (33кДж/кг ОМТ) и на поддержание (0,45кДж/кг ОМТ), когда дополнительно включается функция пищеварительного тракта и метаболические процессы на переработку всасывающихся нутриентов (печень, почки), составляет 0,12кДж или 26,6 % от всей доступной энергии.

Проведенные нами опыты по изучению поступления в кровь воротной вены конечных продуктов переваривания и метаболитов показали, что у коров при продуктивности 5-10кг молока затраты на поддержание функции пищеварительного тракта составляют 31% от ОЭ, а у коров при продуктивности 20кг молока-27,6%. Анализ этих данных показывает, что потери энергии при всасывании подчиняются линейным отношениям и рассчитываются: $ОЭ \times 0,24 - 0,135$, при $R^2 = 0,95$. Т.о. при всасывании 1 МДЖ ОЭ окисляется ее около 24%.

Исходя из современных представлений динамической биохимии, включающих понятие пул и метаболический поток, в субстратное обеспечение метаболизма необходимо включать параметры поступления субстратов из желудочно-кишечного тракта, так как их превращение в процессе всасывания является неотъемлемой частью обмена веществ в целом. При расчете удовлетворения потребностей в субстратах мы учитывали изменение их количеств при прохождении через стенку желудочно-кишечного тракта и печень. При изучении роли стенки ЖКТ в формировании субстратной смеси для организма сравнивали соотношение субстратов, образованных в пищеварительном тракте и поступающих в кровь воротной вены. Установили, что в процессе всасывания часть субстратов метаболизируется в стенке желудочно-кишечного тракта, вследствие чего количество и качество отдельных субстратов, поступивших в кровеносную систему организма отличается от их поступления из желудочно-кишечного тракта. Например, значительная доля бутирата в стенке пищеварительного тракта превращается в кетоновые тела, а часть глюкозы используется клетками стенки пищеварительного тракта.

На основании экспериментальных данных, характеризующих интенсивность и направленность процессов рубцового метаболизма у коров нами было рассчитано количество образовавшихся субстратов для всасывания из пищеварительного тракта (табл. 6).

Таблица 6

Образование и поступление в кровь субстратов при разной доле крахмала в рационе

Субстраты	1 серия (18% крах- мала в рационе)			2 серия (12% крахмала в рационе) 10-й день			3 серия (12% крахмала в в рационе) 21-й день		
	г	МДж	%	г	МДж	%	г	МДж	%
Образовалось в пищеварительном тракте для всасывания									
Ацетат	2016	28,6	19,7	1950	27,7	22,7	2338	33,3	25,5
Пропионат	721	14,5	10,0	706	14,2	11,6	754	15,2	11,7
Бутират	623	15,0	10,3	549	13,3	10,8	611	14,8	11,3
Глюкоза	1466	23,4	16,1	200	3,2	2,6	200	3,2	2,4
Аминокислоты	1400	33,6	23,1	1400	33,6	27,5	1400	33,6	25,8
Жирные кисло- ты	750	30,0	26,0	750	30,0	24,5	750	30,0	23,0
Поступило в кровь									
Ацетат	1848	26,3	24,3	1305	18,5	30,4	1853	26,3	28,1
Пропионат	277	5,6	5,1	416	8,4	15,5	739	14,9	16,0
Бутират	239	5,7	5,3	204	4,9	6,5	244	5,9	6,3
Кетоновые тела	160	3,1	2,8	0	0	0	214	4,1	4,4
Глюкоза	766	12,2	11,2	-481	-7,6	-	-306	-4,8	-
Аминокислоты	946	22,7	20,9	743	17,8	24,0	602	14,4	25,4
Жирные кислоты	750	30,0	27,7	750	30	40,2	750	30,0	32,0

Анализ потоков метаболитов, поступающих в систему воротной вены, показал, что в энергетическом выражении в основном сохраняется соотношение между образованными субстратами и поступившими из желудочно-кишечного тракта. При изменении условий питания приводящих к снижению образования глюкозы, происходило возрастание относительной доли ацетата и пропионата во всосавшейся смеси за счет прекращения поступления глюкозы и уменьшения поступления в кровь аминокислот (табл.6). Отмечено, что поступление некоторых субстратов в кровь зависело не от их концентрации в притекающей крови, что характерно для других органов (молочная железа), а в большей мере от образования и усвоения других метаболитов, например, поглощение пропионата и ацетата от уровня образования глюкозы и аминокислот.

Изучение состава окисляющихся метаболитов показало, что в среднем метаболизируемая энергия в стенке пищеварительного тракта состоит на 17% из ацетата, 20 - пропионата, 20 - бутирата, 25 - аминокислот и 18% из глюкозы (табл.7).

Таблица 7

Доля использования субстратов в энергетическом обмене желудочно-кишечного тракта, %

Показатели	Серии эксперимента		
	1	2	3
Ацетат	6,5	20,2	20,5
Пропионат	24,5	13,0	3,8
Бутират	17,2	18,0	14,2
Глюкоза	30,0	24,0	23,7
Аминокислоты	21,1	24,8	40,5

На других по составу питательных веществ рационах, это соотношение может изменяться. Как показали наши исследования, при увеличении в составе ОЭ энергетической доли отдельных метаболитов, процент их окисления в стенке ЖКТ увеличивается, а наиболее дефицитного компонента - снижается. Наиболее часто наблюдается низкое образование глюкозы для всасывания, и даже при достаточном образовании и всасывании других метаболитов (пропионата) сохраняется потребность именно в глюкозе и она извлекается из артериальной крови. Так, на рационе, обеспечивающем образование 1400г глюкозы, наблюдается положительная венозно-артериальная разница этого метаболита в системе воротной вены и около 700 г ее поступает в кровь, а 670 г окисляется в стенке ЖКТ. На рационе, обеспечивающем образование только 200г глюкозы, она извлекается из крови в количестве около 480г, а общее ее окисление составляет почти те же 700г (680). При этом происходит снижение доли участия пропионата в энергетическом обмене, как становящегося первым лимитирующим субстратом, и возрастает доля окисляющихся аминокислот.

Аналогичные закономерности зафиксированы в опытах по изучению поступления метаболитов в кровь у коров в конце лактации при продуктивности 10кг молока. Изменение спектра всасывающихся субстратов достигали дополнительной инфузией отдельных чистых питательных веществ в ЖКТ. Так, при увеличении количества образовавшихся аминокислот уменьшалось использование стеной пищеварительного тракта глюкозы и пропионата, за счет более высокого участия в энергетическом обмене аминокислот и кетонных тел. При увеличении образования ацетата, увеличивалась его доля и доля аминокислот в окислении в стенке, при снижении доли глюкозы, пропионата и кетонных тел. Увеличение образования глюкозы приводило к возрастанию

окисления пропионата, ацетата и аминокислот, при снижении доли кетонных тел и глюкозы в этом процессе. Субстратные смеси, образовавшиеся в процессе переваривания, со значительной долей глюкозы (12%) и аминокислот (25%) требуют для всасывания больше энергетических затрат, т.к. их транспорт осуществляется активным путем (затраты на перенос 1 молекулы глюкозы составляют 0,46кДж), в отличие от пассивного механизма транспорта для ЛЖК. Таким образом, можно заключить, что метаболизм субстратов и перераспределение их доли в энергетическом обмене начинается с момента их всасывания в стенке желудочно-кишечного тракта и, судя по полученным данным, имеет переменный характер.

Показано, что на спектр всасываемых субстратов оказывает влияние не только их количество, но и в каких соотношениях они поступают относительно их потребности. Превышение потребностей в том или ином метаболите (в нашем случае глюкозы и аминокислот в первой и аминокислот во второй и третьей серии исследований) приводит к повышению их использования в энергетическом обмене уже на первом этапе метаболического контроля - в стенке пищеварительного тракта. Проведенные исследования показали, что при расчете потребностей в отдельных метаболитах и их практическом обеспечении необходимо учитывать как потребности самой стенки ЖКТ, так и ее непосредственное активное участие в образовании питательной субстратной смеси для физиологически активных и продуктивных органов. Избирательное использование отдельных метаболитов в стенке ЖКТ может служить определенным критерием общей обеспеченности в отдельных субстратах.

По нашим данным, полученных в опытах на сбалансированных рационах, окисляющиеся субстраты в стенке пищеварительного тракта в энергетическом выражении составляют: **ацетат 17%, пропионат 17, бутират -20, глюкоза 22 и аминокислоты 24%.**

2.2.3. Метаболизм субстратов в печени

Дальнейшие превращения метаболитов после всасывания в кровь происходят в основном в печени. Орган получает кровь из двух источников - из портальной вены, транспортирующей всосавшиеся метаболиты, и из печеночной артерии. Метаболиты из печени распространяются кровью через печеночные вены и лимфатическую систему. В печени происходят наиболее важные метаболические процессы- глюконеогенез, глюкогенез, обмен протеина, синтез мочевины, синтез липидов, эндогенного ацетата и кетонных тел. Высокая метаболическая активность этого органа требует высокого уровня окисления субстратов для обеспечения энергией синтетических процессов и соответственно вносит значительный вклад в общую теплопродукцию. Следовательно, печени принадлежит ведущая роль в переработке субстратов и

она во многом определяет общие потребности организма в энергетических и пластических субстратах.

У жвачных печень поглощает из портальной крови ЛЖК, ВЖК с длиной цепи менее 10 атомов углерода (C_{10}), аминокислоты, аммиак и аммоний, нуклеотиды и небольшое количество глюкозы. ВЖК больше C_{10} абсорбируются, как и триглицериды в хиломикронах через лимфатическую систему. Из артериальной крови печень поглощает аминокислоты, НЭЖК, глицерол и лактат. Энергия требуется для обеспечения процессов глюконеогенеза, мочевинообразования, переаминирования аминокислот, ресинтеза белковых молекул, теряемых при обороте белка печени, синтеза триацилглицеролов. Для энергетического обеспечения этих процессов в печени происходит генерация молекул АТФ в реакциях окисления ацетата, глюкозы и аминокислот. Печень использует 15-17% доступной энергии, молочная железа 12% (Baldwin and Kim, 1993).

За счет аминокислот обеспечивается 15-25% глюкозы, образующейся в процессе глюконеогенеза у дойных коров (Kelly et al., 1993; Lindsay, 1993).

Исходя из стехиометрии реакций глюконеогенеза можно рассчитать затраты энергии и потребность в АТФ для их обеспечения (табл.8).

Таблица 8
Энергетическая затратность глюконеогенеза (Holmes, 1987)

Предшественник	Энергия для синтеза за МДж/кг (из метаболизма ацетата)	Энергозатратность синтеза МДж/МДж	Потребность в моль АТФ на моль глюкозы
Пропионат	19	1,21	7
Глицерин	20,4	1,3	7,5
Глутамат	20,1	1,28	18+a
Серин	24	1,53	18
Глутамин (40-60%)			18+a
Аспаргат			16
Аспарагин			16

Аналогично вычисляется энергетическая затратность синтеза АТФ из различных субстратов (табл.9, 10).

Таблица 9

Энергетическая затратность АТФ-синтеза из различных субстратов (Holmes, 1987)

Субстрат	Энергоемкость субстрата, МДж/кг	Моль АТФ на кг субстрата	Энергозатратность АТФ образования (кДж/моль АТФ)	Моль АТФ /моль субстрата
Ацетат	14,6	167	87,6	10
Пропионат	20,7	229	90,4	18
Бутират	14,9	284	87,8	26
Глюкоза	15,6	211	74,1	36
Триглицеролы	39,2	505	77,5	146
Белок	24,2	226	107,8	23

Таблица 10

Образование тепла, АТФ и потребность в энергии для их формирования (Blaxter, 1989).

Субстрат	Теплопродукция, МДж	Энергетическое содержание, МДж/кг	Моль АТФ/кг	г/АТФ
Углеводы	2,0	17,7	219	81
Протеин	4,4	23,7	227	104
Липиды	11,5	39,3	505	70
Ацетат	2	14,6	16	87
Пропионат	3	20,6	243	85
Бутират	4	24,8	307	81

Пример расчета энергетических затрат на обеспечение анаболических процессов приведен в табл. 11. Были сделаны попытки разработать целиком систему питания, основанную на обеспечении энергетических затрат метаболизма в показателях необходимых и генерируемых величинах АТФ (Chady, 2000). Однако практическое воплощение данная система не получила из-за недоработки алгоритма расчета образования и всасывания отдельных метаболитов из пищеварительного тракта животных.

Таблица 11

Теоретическая энергетическая затратность анаболических процессов (Holmes, 1987)

Продукт	Предшественник	Потребность в энергии для синтеза, МДж/кг продукта	Содержание энергии в продукте, МДж/кг	Энергозатратность, МДж/Мдж
Лактоза	Пропионат, серин	20,5; 25,7	16,5	1,24; 1,56
Липиды:				
Глицерол	Пропионат	22,4	18	1,24
Пальмит к-та	Ацетат, пропионат	51,2	39,1	1,31
Трипальмитат	Ацетат, пропионат, ВЖК	52 40,5	39,2	1,33; 1,03
Белок	Аминокислоты	48	24,4	1,97
Лактоза	Глюкоза	16,79 (глю)+0,4486 (ТП)	16,84	1,023
Белок	Аминокислоты	27,4 (24,4+3ТП)	24,4	1,1229
Пальмитат	Ацетат		39,1	1,225
Белок	Аминокислоты	22,2+5,64	23,94	1,162

ТП-теплопродукция

На мочевинообразование требуется дополнительно окислить 9 КДж ОЭ для каждого грамма видимо переваримого СП. Таким образом, избыток легко распадаемого протеина снижает эффективность использования ОЭ.

Таким образом, исходя из знаний количественных превращений метаболитов в процессах межклеточного обмена (глюконеогенез, мочевинообразование, генерация АТФ) на основе представленных в таблицах 8, 9, 10 и 11 нормативных показателей можно рассчитывать затраты энергии на осуществление этих процессов, их эффективность, расход и образование субстратов для расчета общих потребностей организма в пластических энергетических субстратах.

2.2.4. Синтез компонентов молока в молочной железе

Энергия, образующаяся сверх уровня поддержания направляется для продукции молока, отложения жира и белка в тканях, иначе говоря на синтез жира и белка, а также лактозы. Для осуществления этих процессов требуются пластические субстраты и энергия АТФ. Имеющиеся знания позволяют вычислить потребность в субстратах и АТФ для обеспечения синтеза жира, белка и лактозы. Они составляют приблизительно 40,24 и 17кДж на грамм вещества. Конечно, каждый процесс превращения ОЭ в элемент продукции будет зависеть от вида используемого субстрата.

Синтез молочного жира в значительной степени зависит от исходных его предшественников. Например, затраты энергии ниже, когда

длинноцепочные жирные кислоты используются напрямую для синтеза жиров, и повышаются когда жир и жирные кислоты сначала распадаются на низшие жирные кислоты. Этот распад сопровождается образованием АТФ, но ресинтез требует АТФ и НАДФН, и энергозатратность синтеза в полтора раза превышает реализацию АТФ при распаде. Часть жирных кислот синтезируется из ЛЖК, и этот процесс требует АТФ для начальной активации и АТФ и НАДФН для элонгации цепи. Процесс синтеза НАДФН через пентозофосфатный путь имеет теоретическую эффективность около 70%.

Синтез белка требует участия аминокислот и 5 молей АТФ на моль образованных пептидов, при условии равномерной скорости оборота белка. Один моль аминокислот имеет вес около 100г и содержит 4200 кДж энергии. Т.о. $1,1 \times 2400$ кДж необходимо для получения 2400 кДж аминокислотных строительных блоков. Продукция 1 моля АТФ у жвачных требует 95 кДж ОЭ. Суммарная эффективность белкового синтеза будет составлять $24 / (1,1 \times 24 + 5 \times 95) = 77\%$. У молодых быстро растущих животных отложение белка сопровождается увеличенной скоростью оборота, что требует дополнительного количества АТФ и снижает эффективность синтеза до 50% (Van Es, 1978.).

Эффективность синтеза лактозы из глюкозы составляет – 97%. Обычно у жвачных в составе ОЭ очень мало глюкозы и ее основная часть синтезируется из пропионата и аминокислот. Синтез лактозы из пропионата имеет теоретическую эффективность 73%. Синтез лактозы из белка возможен только из половины аминокислот (глюкогенные).

Синтез НАДФН необходим для синтеза жирных кислот из ЛЖК – 2 моля НАДФН для элонгации 1 ацетатной единицы требует глюкозы как предшественника. С учетом синтеза глюкозы из пропионата производство 1 моля НАДФН требует затрат 315 кДж ОЭ. В случае использования аминокислот стоимость синтеза увеличивается еще на 10-20%. Так как синтез жирных кислот происходит не в митохондриях и т.к. перимидиновые нуклеотиды не могут пойти через митохондриальную мембрану – НАДФН для синтеза жира должен генерироваться в цитоплазме. Существует три системы для производства НАДФН, их относительный вклад зависит от вида. Важнейшая система представляет генерацию НАДФН прямо при окислении глюкозо-6-фосфата в пентозофосфатном цикле. Полное окисление глюкозы обеспечивает генерацию 12 молей НАДФН и затрату 1 моля АТФ. Секреторные ткани молочной железы требуют АТФ для обеспечения биосинтетических процессов, для переноса ионов и для поддержания жизнедеятельности самой ткани. Оценку минимальных потребностей можно сделать с учетом знаний использования АТФ в биосинтезе, информации о количестве секретируемых компонентах молока, соотношений синтезированных и прямо включенных компонентов молока. Например, 3 моля АТФ требуется для синтеза 1 моля лактозы (Kuhn, 1977), отсюда можно

вычислить, что для синтеза 1 г лактозы требуется гидролиз 8,3 ммоль АТФ. Синтез протеина требует 3 молей АТФ для образования 1 моля пептидных связей и 1 моль на перенос белка. Оценки потребности в АТФ для синтеза молочного жира более сложны. Часть молочного жира синтезируется в железе при использовании предшественников. Типичный молочный жир требует 10,5 ммоль АТФ для производства 1 г. Больше АТФ необходимо, если жирные кислоты синтезируются из ацетата или β -окси-бутирата. У жвачных приблизительно 40% жира синтезируется в молочной железе именно из этих предшественников, при этом затраты АТФ составляют 27 ммоль на 1 г жира. Синтез 100 г молока у коз (38 г лактозы, 30 г протеина и 33 г жира) может оцениваться потребностью в 2,45 молей АТФ. Эти потребности можно представить в виде количества глюкозы, которое требуется окислить для получения такого количества АТФ (11,5 г).

Используя изолированное перфузируемое вымя Wood (1965) вычислил, что 60% поглощенной глюкозы использовалось для синтеза лактозы, 30 в пентозофосфатном цикле и 8 в процессах гликолиза. Однако другие авторы (Smith, 1977) обнаруживали до 15% окисленной глюкозы в цикле Кребса.

Согласно данным Bickenstaffe (1974) и данным Linzell (1974) 29 и 44% поглощенного ацетата молочной железой окисляется. Поэтому у жвачных ацетат является основным энергетическим источником для молочной железы. Оксibuтират составил 1,4% CO_2 (Linzell 1967) и 7% (Annison, 1971). В случае голодания его вклад в CO_2 может составлять 24%.

У нормально питающихся жвачных и нежвачных животных не обнаруживается существенного окисления жирных кислот в молочной железе. Вклад в образование CO_2 при обычных условиях составляет 1,3% (Annison, 1967), а при недокорме до 9% (Taylor, 1979). Потребление молочной железой коров оценено 150, 227 и 235 мг/мин для оксibuтирата, ацетата, и триглицеридов (Bickenstaffe, 1974).

Жир из аминокислот в молочной железе не образуется, т.к. ацетил-Ко-А, произведенный в митохондриях из аминокислот не доступен для его синтеза. Если 30-60% (Taylor, 1979) или 56-76% (Annison, 1964) CO_2 образуется из ацетата и глюкозы, то отсюда остальное – окисление аминокислот.

Согласно указанным эффективностям образования основных компонентов молока, производство молока содержащего 4% жира по энергии 50% -жир, 25-белок, 25-лактозы будет осуществляться с суммарной эффективностью $0,5 \times 70 + 0,25 \times 73 + 25 \times 77 = 72,5\%$.

Многочисленные данные балансовых опытов определяют эффективность синтеза молока на уровне 60%, что значительно ниже теоретической расчетной величины – 72%. Такой же результат получается при сравнении эффективности жиросложения у нелактующих коров

-50% в опытах и 70% теоретически. У нежвачных наблюдают такую же картину. Используя 50%-ную эффективность синтеза жира против 70% теоретической суммарная эффективность составит 62,5%. Причина переоценки теоретической эффективности в том, что обычно берут в расчет только прямые потери на синтез и не учитывают дополнительные затраты на потребление, переваривание, транспорт химуса, крови, лимфы, работу печени, почек и других органов, что требует энергии сверх поддержания.

Исходя из стехиометрии биохимических реакций образования основных компонентов молока (белка, жира и лактозы) в табл.12 нами обобщены литературные данные по расходу предшественников – субстратов и энергетических эквивалентах (АТФ и НАДФН) для их формирования.

Таблица 12

Потребность молочной железы в пластических и энергетических субстратах (на основе биохимических реакций)

Вид продукта	Пластический предшественник (на 100г продукта)				Энергетические потребности	
	глюкоза	ацетат	амино-кислоты	ВЖК	АТФ, моль (г ацетата)	НАДФН, моль (глю, г)
Лактоза	105,3	0	0	0	0,83 (3,5)	0
Белок	0		100	0	7,2 (43,2)	0
Липиды:						
Пальмитат	0	187,5	0	0	9,43 (59,2)	5,46 (81,5)
Глицерин	90	0	0	0	4 (24)	0
Триглицеролы	0	0	0	89,3	0,7 (4,2)	0

Согласно этим данным, можно производить расчет энергетических потребностей и пластических предшественников для образования любого количества произведенного молока с разным компонентным составом. Например, на производство 20 кг молока стандартного состава (846г лактозы, 680г белка, 800г жира) требуется: 1244г глюкозы (на синтез лактозы и НАДФН); 99 моль АТФ (593г ацетата); 675 г ацетата (на синтез 50% ВЖК); 360г ВЖК; 675г аминокислот.

2.2.5. Нормы потребности коров в энергетических субстратах

Сложившиеся методы оптимизации рационов являются недостаточно точными, прежде всего по причинам, связанным с отсутствием учета параметров обмена как в процессах пищеварения, так и в специфических процессах использования метаболитов на биосинтез компо-

нентов продукции и обеспечение энергетического обмена (Агафонов В.И., 1991).

В течение ряда лет нами применяется новый подход к оценке питательности рационов и их оптимизации, заключающейся в учете количественных показателей образования в желудочно-кишечном тракте субстратов, доступных для усвоения: ацетата, пропионата, бутирата, высших жирных кислот, аминокислот и глюкозы и их использования на физиологические функции и биосинтез. Таким образом, принцип оценки питательности кормов и нормирования кормления животных на основе обменной энергии дополнен концепцией субстратной обеспеченности метаболизма. Разработаны прямые и расчетные способы определения количества субстратов в пищеварительном тракте (Агафонов В.И., 1990, 1991, 1995). Усовершенствована методика расчета количества и соотношения субстратов, использованных в энергетическом обмене. В сочетании с химическим анализом продукции у коров (молоко, отложения в теле), можно представить потребность животных не только в энергии и сырых питательных веществах, но и в конкретных субстратах, необходимых на различные физиологические функции и биосинтез компонентов продукции.

Концепция субстратного обеспечения метаболизма не выходит за рамки принципа оценки корма и определения потребности животных в обменной энергии, но имеет решающее преимущество в характеристике структуры обменной энергии по количеству и соотношению доступных для усвоения субстратов, необходимых для обеспечения энергетического обмена и биосинтеза. Однако новая концепция выявляет и некоторые различия с принципом обменной энергии, в частности, в рационах нужно определять не «сырые» питательные вещества, а доступные для усвоения субстраты и одновременно необходимо рассчитывать величину «суммарной энергии субстратов, доступных для усвоения», на основании известных энергетических эквивалентов каждого субстрата с целью сопоставления этих данных с балансом энергии.

Универсальность энергетических процессов обусловлена тем, что все органические вещества являются источниками энергии. При поддерживающем уровне кормления можно добиться количественной эквивалентности усвоенных и окисленных субстратов у животных. Исключение составляют NH_2 - радикалы, которые не окисляются в тканях, а выводятся с мочой в составе мочевины, образующейся в печени (Овчаренко Э.В., 1991; Агафонов В.И. 1998).

При продуктивном обмене энергетические затраты связаны с обеспечением функции поддержания и необходимых затрат на синтез компонентов продукции (молоко, прирост массы и т.д.) На величину и эффективность энергозатрат влияют множество факторов, главными из которых являются уровень кормления и физиологическое состояние животных, определяющие продуктивность, возможность потребления

корма. У лактирующих коров в период раздоя и при высоком уровне молочной продуктивности установлены сложные закономерности в использовании ЛЖК и высших жирных кислот в качестве источников энергии. Так, крайне низкое использование ацетата в энергетическом обмене у новотельных коров указывает на рост потребности в нем на синтез молочного жира. Предпочтительное использование высших жирных кислот в энергетическом обмене в начале лактации означает существенное повышение эффективности энергетического обмена, но за счет ранее накопленных в организме резервов.

У лактирующих коров, по сравнению с нелактирующими, использование ЛЖК не ограничивается только энергетическим обменом. Не менее важным, в количественном отношении, является использование на синтез жира молока ацетата, лактозы - глюкозы, которая, в свою очередь образуется из пропионата. Альтернативное использование ацетата приводит к резкому снижению его прямого включения в энергетические процессы. В этих условиях основным источником энергии у коров становятся высшие жирные кислоты, которые поступают из жировых депо организма. Следует лишь подчеркнуть, что неэстерифицированные жирные кислоты плазмы крови являются предшественниками липидов молока. Поэтому мобилизация энергетических источников у новотельных коров, по существу, обеспечивает потребности на биосинтез липидов молока (около 50 % молочного жира) и энергетический обмен (до 60 % потребности в энергии). Вероятно, этими условиями определяется количество мобилизованных жирных кислот у новотельных коров.

У новотельных коров затраты субстратов на синтез компонентов молока превосходят необходимый уровень использования энергии на поддерживающий обмен, а энергия суточного удоя сопоставима с общей теплопродукцией тканевого обмена. В этот период потребность коров в субстратах существенно отличается от фонда субстратов, образующихся в желудочно-кишечном тракте. Например, энергетический обмен у коров в начале лактации на 60 % обеспечивается за счет использования высших жирных кислот, тогда как из рациона их усваивалось лишь 200-400 г. Если учесть, что около 50 % жира молока синтезируется за счет высших жирных кислот, то потребность в них возрастает до 2000-2200 г/сут. Является ли такое соотношение поступления высших жирных кислот с кормом и их мобилизации из жировых депо физиологически обоснованным и можно ли с этих позиций определить потребность новотельной коровы в высших жирных кислотах? Ясно лишь, что использование ранее резервированных в организме источников энергии является высокоэффективным механизмом адаптации в условиях стресса (Иванов, 1989).

Методика оценки трансформации питательных веществ корма в желудочно-кишечном тракте в субстраты, доступные для усвоения

При разработке концепции субстратной обеспеченности метаболизма ставилась задача создания математического аппарата с целью количественного расчета субстратов, образующихся в ЖКТ из питательных веществ кормов рациона, субстратов, доступных для усвоения и их использования на биосинтез компонентов молока, прироста и в энергетическом обмене, с учетом их превращения в органах и тканях.

Непосредственно при проведении обменных опытов в качестве основы для расчетов были использованы показатели баланса энергии, азота, данные по соотношению ЛЖК в рубцовой жидкости. При анализе использования субстратов в энергетическом обмене брали величины суточной теплопродукции тканевого метаболизма с учетом дыхательного коэффициента, который характеризует соотношение субстратов, использованных в окислительных процессах.

Существенным преимуществом данного подхода к расчету количества образующихся в желудочно-кишечном тракте субстратов является возможность точного определения их суммарного энергетического эквивалента путем вычитания из энергии переваримых питательных веществ потерь энергии с метаном и теплотой ферментации ($24,72 \pm 0,72$ % от энергии питательных веществ, переваренных в преджелудках и толстом кишечнике).

В зависимости от структуры рациона, физической формы кормов, соотношения в нем основных групп питательных веществ, качества протеина и углеводов корма, существенно изменяется соотношение преджелудочного и кишечного пищеварения, что необходимо учитывать при расчете количества образующихся субстратов в преджелудках, тонком и толстом кишечнике.

Предложенная методика предусматривает предварительное разделение энергии переваримых питательных веществ на две части:

- энергия питательных веществ, переваренных в преджелудках и толстом кишечнике, из которой вычитаются потери энергии с метаном и теплотой ферментации, а оставшаяся часть используется для расчета ЛЖК;

- энергия питательных веществ, переваренных в тонком кишечнике, величина которой используется для расчетов без поправок, через энергетические эквиваленты абсорбированных из тонкого кишечника субстратов: аминокислот, высших жирных кислот и глюкозы, образованных за счет питательных веществ корма.

Для расчета количества ЛЖК необходимо их молярное соотношение в рубцовой жидкости перевести в весовое с использованием коэффициентов: для ацетата – 60; для пропионата – 74; для бутирата – 88. Затем энергия переваримых питательных веществ в преджелудках и

толстом кишечнике, исправленная с учетом потерь энергии с метаном и теплотой ферментации, распределяется пропорционально весовому количеству каждой ЛЖК и в дальнейшем находится количество образовавшихся ЛДЖ в граммах, исходя из их калорических коэффициентов: в 1 г ацетата содержится 14,65 кДж; в 1 г пропионата – 20,76 кДж; в 1 г бутирата – 24,93 кДж (табл. 2).

Количественный выход аминокислот рассчитывали по данным новой системы протеинового питания коров. Для этого учитывали качественные показатели сырого протеина в каждом из кормов рациона, а именно его распадаемость в рубце. Доступный для микроорганизмов (распадаемый) сырой протеин корма используется в преджелудках с эффективностью 80 %, а в дальнейшем протеин микроорганизмов при поступлении в тонкую кишку переваривается с коэффициентом 70 %. Таким образом, конечная эффективность образования аминокислот из распадаемого протеина достигает 56 %. Нерасщепляемый в рубце протеин корма поступает в тонкий кишечник, где выход аминокислот достигает 70 %.

Количество высших жирных кислот определяли из содержания переваримого сырого жира в рационе с использованием коэффициента 1,2. Это связано с микробным синтезом липидов в переджелудках.

Калорическую стоимость аминокислот и высших жирных кислот определяли с использованием коэффициентов 23,94 и 39,77 кДж/г соответственно, и вычитали из общей величины энергии переваримых в тонком кишечнике питательных веществ. Разницу относили на возможное образование в тонком кишечнике глюкозы, количество которой рассчитывали с использованием калорического коэффициента глюкозы – 16,12 кДж/г.

С силосом в преджелудки может поступать некоторое количество молочной кислоты. Ее количество определяли непосредственно в силосе методами химического анализа и учитывали наряду с образованием ЛЖК

Анализ теплопродукции тканевого метаболизма

Обменную энергию в животном организме можно рассматривать как сумму двух слагаемых: теплопродукции тканевого метаболизма и энергии продукции:

$$ОЭ = ТП + Эпр.$$

Энергией теплопродукции при поддерживающем уровне кормления животных представлена вся обменная энергия. При продуктивном обмене часть обменной энергии будет использована на отложение продукции, однако величина теплопродукции всегда превышает уровень энергии, содержащейся в продукции.

Во всех существующих схемах большое значение придается анализу химического состава и содержанию нетто-энергии в продук-

ции (молоко, прирост). В молоке содержание энергии определяли прямой калориметрией, а также на основе анализа химического состава. Прижизненное определение химического состава прироста определяли по балансам энергии, углерода и азота. Химический состав молока в комплексных исследованиях определяли более подробно, в том числе аминокислотный состав, что характеризует потребности в субстратах на синтез компонентов продукции.

Однако до последнего времени не уделялось внимания анализу теплопродукции с точки зрения использования в энергетическом обмене субстратов, их количества и соотношения, от чего в значительной степени зависит эффективность использования энергии для поддержания основных функций и затрат энергии на реакции, связанные с использованием АТФ на биосинтез компонентов продукции.

Анализ теплопродукции тканевого метаболизма проводили по методике, усовершенствованной Демченко.

Методика основана на учете величины суточной теплопродукции и дыхательного коэффициента. Дыхательный коэффициент (ДК) – это отношение выделенного при дыхании углекислого газа к потребленному за тот же отрезок времени количеству кислорода. Еще в конце 19 века Цунтцем установлены величины дыхательных коэффициентов при окислении углеводов, жира и белка. Применительно к жвачным животным установлен дыхательный коэффициент, равный единице при окислении в тканях глюкозы и ацетата. Окисление высших жирных кислот осуществляется с самым низким дыхательным коэффициентом, равным 0,7, так как в молекулах ВЖК кислорода очень мало (только в карбоксильной группе). При окислении многих аминокислот дыхательный коэффициент равен средней величине 0,85.

Поэтому при любом значении дыхательного коэффициента можно рассчитать количество окисленных ацетата и глюкозы – с одной стороны и высших жирных кислот – с другой. Предварительно из теплопродукции тканевого метаболизма необходимо вычесть энергию, полученную в результате окисления белка, используя для этих целей величину суточного выделения азота с мочой и энергетический эквивалент 1г азотсодержащих веществ, приравненный к 18 кДж. Далее, имея величину дыхательного коэффициента, зависящую только от соотношения двух крайних величин, легко представить, что при ДК =1,0 в энергетическом обмене используется преимущественно углеводы и ацетат, при ДК = 0,9 – 67 % ацетат и углеводы и 33 % ВЖК, при ДК = 0,8 – 33 % ацетата и углеводов и 67 % ВЖК и при ДК = 0,7 – в основном используется ВЖК.

На основе систематических измерений легочного газообмена и анализа особенностей теплопродукции у новотельных коров была установлена закономерность, связанная с низким использованием ацетата в энергетическом обмене на фоне мобилизации энергетических резервов

организма. Дыхательный коэффициент, очень низкий в самом начале лактации, постепенно возрастает по мере уменьшения мобилизации тканевых энергетических резервов.

Нормы потребности в энергетических субстратах

В проведенных нами исследованиях установлена динамика потребности в энергетических субстратах у коров по месяцам лактации. После отела в результате мобилизации резервного жира происходит максимальное его использование в энергетическом обмене с высокой эффективностью. В дальнейшем, на втором и третьем месяцах, использование высших жирных кислот в энергетическом обмене постепенно снижается, что контролируется по величине дыхательного коэффициента. Одновременно возрастает включение ацетата в энергетический обмен. Таким образом, происходит переход на использование субстратов, которые первично образуются из питательных веществ корма в пищеварительном тракте. На основе выше приведенных данных, учитывающих динамику изменения использования субстратов в энергетическом обмене нами разработаны нормы потребности коров в энергетических субстратах для разной продуктивности по месяцам лактации (приложение 4,5)

2.2.6. Потребности молочных коров в субстратах и энергетических эквивалентах

Определив потребности молочной железы на продукцию молока определенного состава, потребности организма на поддержание, дополнительные затраты на переваривание и всасывание, а также затраты на переработку всасывающихся субстратов в стенке желудочно-кишечного тракта, печени и почках, основываясь на исходных данных, изложенных выше, мы смогли обосновать и определить общие потребности в пластических субстратах и энергетических эквивалентах для коров разной живой массы и продуктивности (табл.13).

Таблица 13

Потребности молочных коров в субстратах и энергетических эквивалентах рассчитанных на основе биохимических реакций в организме при нулевом балансе энергии (молоко лактоза-4,5, жир 4, белок 3,4%).

ЖМ кг	Удой, кг	Потребности									
		АТФ, моль						НАДФН моль	Субстраты,г		
		Синтез молока	Глюко- неогенез	Синтез мочевины	Синтез варение	Пище- варение	Основной обмен		Сумма	Амино- кислоты	Глюкоза
350	15	77	39	9,8	315	303	745	18,5	1049	1059	421
400		77	39,4	10,4	316	335	779	19,0	1076	1066	438
450		77	40,3	11,0	326	366	822	19,5	1103	1074	456
350	20	103	50,4	11,2	389	303	857	23,5	1314	1394	519
400		103	51,1	11,8	396	335	898	23,9	1341	1402	537
450		103	52,1	12,4	408	366	942	24,5	1367	1409	555
500		103	52,8	12,9	416	396	982	25,0	1392	1417	573
450	25	129	62,9	13,8	484	366	1057	29,5	1631	1744	654
500		129	63,5	14,3	489	396	1093	29,9	1657	1752	672
550		129	63,6	14,8	489	426	1123	30,5	1682	1760	689
450	30	154	72,9	15,3	548	366	1158	34,4	1896	2080	753
500		154	73,8	15,8	560	396	1201	34,9	1921	2087	770
550		154	74,7	16,4	570	426	1242	35,4	1946	2095	788
600		154	75,6	16,9	580	455	1282	35,9	1970	2103	806
500	35	180	84,4	17,3	630	396	1309	39,9	2186	2423	869
550		180	85,1	17,8	638	426	1348	40,4	2211	2430	887
600		180	86,0	18,3	651	455	1391	40,9	2235	2438	905
600	40	206	97,7	19,7	719	455	1498	45,9	2499	2773	1004
650		206	98,9	20,3	733	483	1542	46,4	2523	2781	1021
700		206	99,6	20,8	741	510	1579	46,9	2546	2788	1039

Потребности в пластических субстратах и энергетических эквивалентах представленные в таблице рассчитаны для сбалансированных рационах для коров в нулевом балансе энергии. В случае использования несбалансированных рационов энергетические и пластические затраты на осуществление отдельных функций организма будут увеличены и мы можем оценить снижение общей эффективности использования ОЭ и обменного протеина, а также предвидеть нарушение обменных процессов.

2.2.7. Экспериментальное физиологическое подтверждение оптимальных потребностей молочных коров в энергетических и пластических субстратах

Установленные расчетным путем потребности лактирующих коров в пластических субстратах и энергетических макроэргах были проверены в опытах на оперированных животных путем дополнительной или заместительной инфузии отдельных субстратов и их смесей в пищеварительный тракт. При этом достигали разного соотношения всасывающихся конечных продуктов переваривания – первичных субстратов в составе переваримой и обменной энергии.

Главной целью этих работ являлось установление потребности животных в метаболитах, образующихся при переваривании корма и в процессах межклеточного обмена для адекватной обеспеченности животных в них. Задачи исследований включали: разработку практических способов оценки потребностей животных в энергетических и пластических субстратах; совершенствование и разработку новых способов оценки кормов и рационов по критериям образования из них субстратов, обеспечивающих высокую биоконверсию питательных веществ корма в компоненты молока и мяса.

Исследования выполнены на лактирующих коровах с канюлями рубца, двенадцатиперстной кишки, канюлями на воротной вене, выведенной под кожу сонной артерией и датчиками кровотока на воротной вене и срамной артерии с целью изучения основных этапов превращения питательных веществ корма в различных участках пищеварительного тракта, поступления субстратов в кровь и использования в синтезе компонентов молока. Эффективность использования обменной энергии на синтез молока оценивали по отношению суммарной энергии субстратов, поглощенных молочной железой, к энергии выделенной с молоком, а также по отношению энергии, выделенной с молоком, к продуктивной обменной энергии (обменная энергия – затраты на поддержание). Эффективность использования протеина корма оценивали по отношению выделенного белка с молоком к потребленному, или переваренному, или усвоенному протеину. Обменную энергию, переваримый и усвоенный протеин определяли в балансовых опытах. Затраты на поддержание принимали из расчета 0,45МДж на кг метаболической массы тела (живая масса в степени 0,75). Суммарную энергию субстратов, поглощенных молочной железой, определяли по артерио-венозной разнице отдельных метаболитов и скорости кровотока через молочную железу.

Об удовлетворении оптимальных потребностей лактирующих коров в основных субстратах-метаболитах судили по четырем основным критериям: 1) по эффективности использования обменной энергии (ОЭ); 2) эффективности использования обменного протеина; 3) по наименьшей разнице в действительных затратах субстратов на энергетиче-

ские и пластические цели и возможностью их обеспечения за счет кормов рациона; 4) по состоянию гормонального статуса организма коров в разные фазы лактации.

Изучение эффективности синтеза компонентов молока в зависимости от энергетического соотношения субстратов в обменной энергии показало, что наименьшее теплоприращение происходит при увеличении в составе обменной энергии готовых предшественников компонентов молока. Так, увеличение в составе обменной энергии высокомолекулярных жирных кислот (ВЖК) всегда приводило к снижению общей теплопродукции на килограмм выделенного молока и, соответственно, к повышению эффективности молокообразования (табл.14). Наиболее эффективный синтез молока происходил при содержании в составе ОЭ 12-13% ВЖК. Это было связано с тем, что наиболее энергозатратен синтез молочного жира из низкомолекулярных предшественников – ацетата и кетоновых тел. Поставка в молочную железу готовых высших жирных кислот приводила к снижению потребности в энергии на 10–15%, в результате чего эффективность синтеза повышалась. При этом эффективность использования обменного протеина на синтез молочного белка не изменялась у коров до 90-го дня лактации (табл.14), но заметно снижалась с увеличением стадии лактации, что связано с ингибированием секреции соматотропного гормона, за счет повышенного поступления жиров, роль которого как раз начинает возрастать с 90-го дня лактации (Casper, 1989).

Таблица 14

Эффективность использования обменной энергии и протеина на образование молока у коров в середине лактации (удой 15-25кг молока в сут) при разном уровне ВЖК

Уровень ВЖК в составе ОЭ	Эффективность использования ОЭ	Азот молока/принятый азот
7,5	61,0±0,3	22,3±0,62
7,0	62,5±1,1	23,0±1,0
7,5	59,0±0,96	22,0±1,0
8,1	62,0±1,6	25,0±0,8
9,7	64,4±0,8	22,0±0,2
12,0	63,3±1,2	25,0±1,0
12,5	66,8±2,1	25,9±1,7
13,0	72,0±2,6	22,3±0,69

В то же время до 90-го дня лактации у коров в связи с особенностями метаболизма в этот период значительны потребности в высших жирных кислотах (ВЖК), которые удовлетворяются за счет жировых депо. Так, у коров в начале лактации повышение в составе ОЭ доли ВЖК не приводило к изменению эффективности использования энергии и протеина на молоко (табл.15), но снижало темпы и размеры мобилизации жировых депо.

Таблица 15

Эффективность использования обменной энергии и протеина на образование молока у коров в начале лактации

Уровень ВЖК в составе ОЭ, %	Эпр/Эпр+ТП-Эпод	Азот молока/принятый азот
6,5	72,5±3,5	27,2
8,4	72,7±2,79	26,5
10,6	73,0±1,99	26,8

В результате опытов установили, что повышение жирности молока и, соответственно, выхода молочного жира (от 6,6 до 16%) в основном происходит за счет увеличения поглощения секреторными клетками молочной железы пальмитиновой кислоты и короткоцепочных жирных кислот. При этом за счет сокращения затрат на синтез жирных кислот, эффективность использования ОЭ на молокообразование увеличивается в среднем с 62 до 65 % (табл.16).

Таблица 16

Эффективность использования обменной энергии на образование молока у коров в разгаре лактации при разном составе ВЖК

Уровень ВЖК в составе ОЭ	Преобладание вида ВЖК в составе смеси	Эпр/Эпр+ТП-Эпод	Азот молока/принятый азот
12	C16	68	27,5
12	C10	68	29,9
12	C18:1	64	29,0
12	смесь	67,0	26,0

Анализ данных по поглощению метаболитов углеводного обмена показал, что происходит снижение потребности в глюкозе на синтез молочного жира на 12-17%. Потребность в глюкозе на образование 100г молочного жира составляет на рационах с энергетической долей жира в ОЭ 6% - 32,5 г, а при повышении доли ВЖК до 10% - 28г.

В целях практической реализации установленных закономерностей для повышения использования ОЭ на синтез молочного жира и определения потребности молочных коров в начале лактации в липидных компонентах проведен опыт на коровах с 40-го по 70-й день лактации с удоем 22 кг и жирностью молока 4.1% при разном уровне ввода в рацион жира (3,2; 3,9 и 4.5% общего жира от СВ рациона), на изокалорийных и изопротеионовых рационах. В качестве источника ВЖК был выбран говяжий жир, имеющий наивысшее содержание пальмитиновой кислоты и пониженное содержание олеиновой кислоты. Нами установлено, что при включении в рационы коров говяжьего жира по сравнению со свиным меньше ВЖК используется в энергетическом обмене на теплопродукцию, но больше их участвует в обеспечении процессов биосинтеза молочного жира и в результате этого с молоком выводится их на 150г больше при том же удое. Эффективность использования ОЭ

на молокообразование составляет при применении говяжьего жира 68%, а свиного - 64.6% .

Результаты исследований показали, что повышение уровня липидов в рационе коров от 3.2 до 4.5% от сухого вещества рациона, или энергетической доли липидов от 6.6 до 10.3 % от обменной энергии, при одинаковом уровне энергетического и протеинового питания в начале лактации приводит к снижению темпов мобилизации субстратов из жировой и мышечной тканей.

Увеличение доли других компонентов ОЭ – ацетата, глюкозы, пропионата, аминокислот – не приводило к достоверному изменению ни эффективности энергетического синтеза молока, ни к повышению эффективности использования обменного белка на продуктивные цели (табл.17, 18, 19). В то же время с 90-го дня лактации у коров значительно начинает возрастать ответ инсулярного аппарата на поступление в организм глюкозы.

Таблица 17

Эффективность использования обменной энергии и протеина на образование молока у коров в середине лактации (удой 15-25кг молока в сут) при разном уровне ацетата

Уровень ацетата в составе ОЭ, %	Эпр/Эпр+ТП-Эподдерж.	Азот молока/принятый азот
30,0	61,0±0,3	26,4±2,9
33,9	60,0±1,7	27,7±0,3
30,4	61,7±1,5	25,5±1,5
33,4	62,3±0,8	27,0±2,0
28,8	62,4±0,8	23,0±1,1
31,0	62,0±1,2	25,0±1,0
30,7	59,0±2,1	22,0±1,7
30,0	62,0±2,6	25,7±0,7
31,9	62,0±0,9	25,2±1,2

Таблица 18

Эффективность использования обменной энергии и протеина на образование молока у коров в середине лактации (удой 15-25кг молока в сут) при разном уровне глюкозы

Уровень глюкозы в составе ОЭ,%	Эпр/Эпр+ТП-Эподдерж.	Азот молока/принятый азот
9,0	61,0±0,3	26,4±2,9
13,12	61,0±1,7	27,5±0,7
9,2	61,7±1,5	25,5±1,5
12,9	62,3±0,8	23,0±2,0
8,3	62,4±0,8	23,0±1,1
8,5	62,0±1,2	25,0±1,0
7,9	59,0±2,1	22,0±1,7
7,6	62,0±2,6	25,7±0,7
8,7	62,0±0,9	25,2±1,2

Таблица 19

Эффективность использования обменной энергии и протеина на образование молока у коров в середине лактации (удой 15-25кг молока в сут) при разном уровне аминокислот

Уровень аминокислот в составе ОЭ, %	Эпр/Эпр+ТП-Эподдерж.	Азот молока/ принятый азот
22,2	60,0±1,5	22,6±0,6
26,4	64,0±2,7	20,5±0,2
21,6	61,7±1,5	25,5±1,5
24,5	60,3±0,9	23,5±1,5
23,5	62,4±0,8	23,0±1,1
24,1	63,0±1,2	23,0±2,0
22,2	59,0±2,1	22,0±1,7
21,9	62,0±2,6	25,7±0,7
21,0	62,0±0,9	25,2±1,2

Примерно 50-60% жира молока происходит из липидов хиломикронов и липопротеидов низкой плотности, остальные синтезируются из ацетата и оксibuтирата. При скармливании концентратов усиливается секреция инсулина и большая часть глюкозы, глицеридов и ацетата направляется в жировое депо. Недостатком нормирования по системе ОЭ является то, что не учитываются индивидуальные предшественники молока и возможные взаимодействия между ними и эндокринной системой, регулирующей потоки в организме.

Системы оценки питательности кормов и нормирования питания должны быть применимы к широкому кругу ситуаций, для чего необходимо учитывать динамические взаимодействия между снабжением субстратами и резервами тела. Поскольку общая цель удовлетворения потребностей заключается в предсказании того, как корова будет реагировать на изменения в снабжении субстратами, и в предсказании выхода составных частей молока, то очевидна необходимость совершенствования систем. Потребность в радикально другом подходе заключается в том, чтобы установить взаимодействие субстратов- нутриентов в основных органах и тканях, которые наиболее сильно влияют на количество и состав молока.

Будущие разработки более совершенных систем дадут возможность более точного предсказания в широкой области условий, в особенности, если анализ чувствительности проведен на разработанных моделях выявит ключевые области дальнейших экспериментальных исследований. До сих пор мало известно, как метаболические пути модифицируются под влиянием дисбаланса нутриентов в рационе, стадии лактации и породы животного.

Традиционные системы ограничены и в том, что отсутствует интеграция обмена энергии и протеина, дают неадекватное

представление о составе ОЭ в отношении индивидуальных нутриентов, неспособны предсказать состав молока, разграничить энергию, затрачиваемую на синтез молока и тела, неспособны предсказать продуктивную реакцию на изменения в поступлении питательных веществ с кормом.

Необходим новый подход, учитывающий поступление, использование и самое главное – взаимодействие индивидуальных субстратов. С учетом познания объективных физиологических потребностей, взаимодействия нутриентов на уровне рубца и тканей и условия совершенствования классификации кормов и оценки состояния животного возможно предсказание продуктивной реакции молочных коров.

Таким образом, исходя из особенностей пищеварения жвачных, гормонального статуса коров в разные фазы лактации и уровня молочного синтеза нами разработаны нормы потребности лактирующих коров в основных питательных веществах, представленных в энергетических эквивалентах (табл. 20, 21).

Таблица 20

Нормы обменной энергии и оптимальные соотношения основных питательных веществ (% в энергетических эквивалентах) для половозрелых молочных коров в первую фазу лактации (содержание жира в молоке – 4%, белка – 3,4%)

Удой, кг	Живая масса, кг	Обменная энергия, МДж	% от ОЭ					
			ВЖК	Аминокислоты	Глюкоза	Бутират	Пропионат	Ацетат
15	350	103,2	13,5	23	9	8,7	18	27,8
	400	107,6	13,5	23	9,2	8,8	17,3	28,2
	450	108,0	12	23	9,5	10	16	29,5
20	400	137,3	14	22	8,2	9	17,2	29,6
	450	140,2	13,7	21,9	8,4	9,5	16,5	30
	500	144,5	13	21,7	8,8	10	16,2	30,3
	550	148,0	11	21,5	9	10	16	32,5
25	450	155,0	14,1	23,5	8	9,2	17	28,2
	500	160,5	13,6	23,1	8,2	9,5	16,8	28,8
	550	164,4	13,2	23	8,4	10	16,6	28,8
30	550	189,5	14	22,4	7	8,8	18,8	29
	600	195,8	13,5	22	7,2	9	18,6	29,7
	650	203,9	12	21,9	7,5	9,3	18	31,3
	700	200,7	11,5	21,5	7,8	10	17,6	31,6
35	550	211,8	14,4	23,3	6,4	9,2	18,5	28,2
	600	218,8	13,9	22,8	6,5	9,4	17,5	29,9
	650	226,1	13	22,6	6,8	9,8	17,2	30,6
	700	226,1	12	22,3	6,9	10	17	31,8

Применение указанных норм потребностей позволяет получать молочную продукцию с максимально возможной эффективностью, полностью использовать генетический потенциал животных и поддерживать лактационную кривую на более высоком уровне во все фазы лактации.

Таблица. 21.

Нормы обменной энергии и оптимальные соотношения основных питательных веществ (% в энергетических эквивалентах) для половозрелых молочных коров во вторую фазу лактации (содержание жира в молоке – 4%, белка – 3,4%)

Удой, кг	Живая масса, кг	Обменная энергия, МДж	% от ОЭ					Ацетат
			ВЖК	Аминокислоты	Глюкоза	Бутират	Пропионат	
15	350	112,7	11	21	9	10	17,5	31,5
	400	116,5	10,5	21	9	10,3	17	32,2
	450	120,2	9,6	20,7	9	11	16,5	33,2
20	400	148,6	11	20,2	7	10	19	32,8
	450	155,8	10,5	20,1	7,1	10	18,9	33,4
	500	159,5	9,3	20	7,3	11	17,1	35,3
	550	163,0	8,2	20	7,5	12	16	36,3
25	450	171,1	11,5	21,3	7	10	18,4	31,8
	500	174,7	11,2	21,2	7,2	10	18	32,4
	550	178,2	10,1	21,1	7,5	11	17	33,3
30	550	203,7	11,5	21,3	7	10	20	30,2
	600	207,1	11	21,3	7	10	19	31,7
	650	210,5	10,5	21,2	7,2	10	19	32,1
	700	213,8	10	21,1	7,3	11	17	33,6
35	550	229,1	11,5	21,5	6	9,6	19,7	31,7
	600	232,5	11	21,4	6,2	9,7	19,6	32,1
	650	235,9	10,5	21,4	6,4	9,8	19,1	32,8
	700	239,2	10	21,3	6,5	10	17,9	34,3

Литература к главе 2

Агафонов В.И. Нормирование энергии у жвачных животных по принципу субстратной обеспеченности метаболизма // Актуальные проблемы биологии в животноводстве. Доклады на Второй международной конференции 5-8 сентября 1995 г. – Боровск, 1995.

Агафонов В.И. Нормирование энергии у жвачных животных по принципу субстратной обеспеченности метаболизма. В сб. “ Актуальные

- проблемы биологии в животноводстве“. Материалы 2-й международной конференции. - Боровск, 1995. – С. 97-105.
- Агафонов В.И. Решетов В.Б., Волобуев В.П. и др. Обеспеченность субстратами энергетических процессов при различных условиях кормления и продуктивности // Тр. ВНИИФБиП. – Т. 38. – Боровск, 1999.– С. 375-384.
- Агафонов В.И., Волобуев В.П. Методика расчета количества субстратов, образующихся в желудочно-кишечном тракте у коров. В сб. "Проблемы физиологии, биохимии, биотехнологии и питания сельскохозяйственных животных". Отчет ВНИИФБиП за 1991-1992 г. – Боровск. – С. 147-148 с.
- Агафонов В.И., Надальяк Е.А. Основные достижения в разработке принципов энергетического питания сельскохозяйственных животных материалы международной конференции 3-7 сентября 1990. – Боровск, 1991. – С. 12-24.
- Агафонов В.И., Решетов В.Б. Структура фондов субстратов в желудочно-кишечном тракте у лактирующих коров. В сб. "Проблемы физиологии, биохимии, биотехнологии и питания сельскохозяйственных животных". Отчет ВНИИФБиП за 1990-1991 г. – Боровск. – С. 103-104 с.
- Агафонов В.И., Решетов В.Б., Волобуев В.П. и др. Совершенствование системы энергетического питания молочного скота. // Тр.ВНИИФБиП, т.40, Боровск, 2001, с.55-68.
- Агафонов В.И., Решетов В.Б., Волобуев В.П. и др. Обеспеченность субстратами энергетических процессов у коров при различных уровнях кормления и продуктивности. . В сб. "Современные проблемы биотехнологии и биологии продуктивных животных". Тр. ВНИИФБиП, т. 39. – Боровск. – С. 375-384.
- Агафонов В.И., Решетов В.Б., Волобуев В.П. и др. Особенности использования энергии корма у коров в начальный период лактации. // Тр.ВНИИФБиП, т.39, Боровск, 2000, с.123-134.
- Агафонов В.И., Решетов В.Б., Лазаренко В.П. и др. Обоснование норм потребности коров в энергетических субстратах. // Тр. ВНИИФБиП, т. 43, Боровск, 2003, с.197-205.
- Ерсков Э.Р. Протеиновое питание жвачных животных. Пер. с англ. – М. - 183 с.
- Иванов К.П. Основы энергетики организма. – Т. 1. – Л.: Наука. – 1990. 308 с.
- Agricultural Research Council (1980) The Nutrient Requirements of Farm Livestock No. 2. Ruminants 2nd Edition Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough
- Anderson M.J., et.al. (1979). Feeding whole cottonseed to lactating dairy cows. J. of Dairy Sci. 62, 1098—1103

- Annison E.F. 1971. The mammary metabolism of glucose, acetate and ketone bodies. In: I.R. Falconer (Ed) Lactation. Butterworths, London, 281-295.
- Annison E.F. and Linzell J.L. 1964. The oxidation and utilization of glucose and acetate by the mammary gland of the goat in relation to their overall metabolism and to milk formation. *J. Physiol. Lond.* 175:372-385.
- Annison E.F. et. al. 1967. The oxidation and utilization of palmitate, stearate, oleate and acetate by mammary gland of the fed goat in relation to their overall metabolism, and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis. *Biochem. J.* 102:637-647.
- Baldwin et.al. (1980). Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *Journal of Animal Science* 51, 1416—1428
- Baldwin, R.L. and Kim, W.Y. (1993) Lactation. In: Forbes, J.M. and France, J. (eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 433-452.
- Banks S.W., et.al. (1976). Effect of feeding fat to dairy cows receiving a fat-deficient basal diet. II. Fatty acid composition of the milk fat. *J. of Dairy Research* 43, 219—227
- Banks W., et.al. (1976). Effect of feeding fat to dairy cows receiving a fat-deficient basal diet. I. Milk yield and composition. *J. of Dairy Research* 43, 213—218
- Banks W., et.al. (1980). The yield, fatty acid composition and physical properties of milk fat obtained by feeding soya oil dairy cows. *J. of the Science of Food and Agriculture* 31, 368—374
- Bauman D. E., et.al. (1982). Hormonal effects on partitioning of nutrients for tissue growth: role of growth hormone and prolactin. *Federation Proceedings* 41, 2538—2544
- Bauman, D. E. and Currie, W. B. (1981). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. of Dairy Sci.* 63, 1514—1529
- Bergman E.N. In: *Dynamic Biochemistry of animal production*. World Anim. Sci., A3. Elsevier, Amsterdam, pp173-196.
- Bergman, E.N. (1986) Splanchnic and peripheral uptake of amino acids in relation to the gut. *Federation Proceedings (FASEB Journal)* 45, 2277-2282
- Bickenstaffe R. et. Al. 1974. The metabolism of glucose, acetate, lipids and amino acids in lactating dairy cows. *J. agric. Sci.* 82:71-85.
- Bickerstaffe, R. and Johnson A. R. (1972). The effect of intravenous infusions of sterculic acid on milk fat synthesis. *Brit. J. of Nutrition* 27, 561—570.
- Bines J. A., et.al. (1978). The effect of protected lipids on nutrient intakes, blood and rumen metabolites and milk secretion in dairy cows during early lactation. *J. of Agric. Sci.* 91, 135—150
- Bines, J. A. and Hart, I. C. (1982). Metabolic limits to milk production, especially roles of growth hormone and insulin. *Journal of Dairy*

- Science 65, 1375—1389.
- Blaxter, K.L. (1962) *The Energy Metabolism of Ruminants* Hutchinson Scientific & Technical, London
- Blaxter, K.L. (1989) *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brown W. H., et.al. (1962). Fatty acid composition of milk. I. Effect of roughage and dietary fat. *J. of Dairy Sci.* 45, 191—196.
- Brumby P. E., et.al. (1972). Metabolism of codliver oil in relation to milk fat secretion. *J. of Dairy Research* 39, 167—183.
- Brumby, P. E., et.al.(1978).Utilization of energy for maintenance and production in dairy cows given protected tallow during early lactation. *J. of Agric. Sci.* 91,151—159.
- Cant JP, McBride BW, Croom WJ Jr. The regulation of intestinal metabolism and its impact on whole animal energetics. *J Anim Sci* 1996 Oct;74(10):2541-53)
- Casper D.P., Schingoethe D.J. Model to describe and alleviate milk protein depression in early lactation dairy cows fed a high fat diet. *J. Dairy Sci.*, 1989, 71:3327-3335.
- Chady A. Model for the interpretation of energy metabolism in farm animals. In: *Modelling nutrient utilization in farm animals*. Cab.. Intern. 2000,329-345.
- Christensen D. A., et.al. (1978). Utilization of protected and unprotected rapeseed by lactating dairy cows. In *Proceedings, 5th International Rapeseed Conference*, Malmo, Vol. 2, pp. 217—219. Malmo, Conference Organizing Committee
- Christie, W. W., Ed. (1981). *Lipid Metabolism in Ruminant Animals*. NewYork, Pergamon Press
- Clapperton J. L. and Steele W. (1982). Different forms of fat in the diet of dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society* 41, 136A.
- Cook L. J, et.al. (1976). Effects of protected cyclopropene fatty acids on the composition of ruminant milk fat. *Lipids* 11, 705—711.
- Coppock, C.E., Flatt, W.P., Moore, L.A. and Stewart, W.E. (1964) Relationship between end products of rumen fermentation and utilisation of metabolisable energy for milk production. *J. of Dairy Sci.* 47 (12), 1359-1364.
- DanfaerA. (1981). The effect of dietary fat on milk production. In *Fats in Feeds and Feeding* (R. Marcuse, Ed.), pp. 84—91. Gothenburg, Scandinavian Forum for Lipid Research and Technology
- Davis, C L. and Brown, R. E. (1970). Low milk fat syndrome. In *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant* (A. T. Phillipson, Ed.), pp. 545—565. Newcastle upon Tyne, Oriol Press 28
- Holmes C.W., G.F. Wilson Milk production from pasture *Agr. Books* 1987, 1v., 313p.

- Kelly, J.M. et al. (1993) Interactions between protein and energy metabolism. In: Forbes, J.M. and France, J. (eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 341-362
- Koong, L.J., Ferrell, C.L. & Nienaber, J.A. (1985) Assessment of interrelationships among levels of intake and production, organ size and fasting heat production in growing animals *J. Nutr.* 115, 1383-1390
- Kristensen V.F. Weisberg M.R. A new approach to feed evaluation in ruminant *Norv J Agr Sci* 1991, Suppl 5p67-81
- Kuhn N.J. 1977. Lactogenesis: the search for trigger mechanisms in different species. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 41, 165-192.
- Lindsay, D.B. (1993) Metabolism of the portal drained viscera. In: Forbes, J.M. and France, J. (eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 267-290.
- Linzell J.L. 1967. The effect of very frequent milking and oxytocin on the yield and composition of milk in fed and fasted goats. *J. Physiol. (Lond.)* 190.333-346.
- Linzell J.L. 1974 Mammary blood flow and methods of indentifying and measuring precursors of milk. In: B.L. Larson and V.R. Smith (Eds) *Lactation*, V.1. Academic Press, New York, 143-225.
- Lobley G.E. et al. 1980. Whole body and tissue protein synthesis in cattle. *Br. J. Nutr.* 43, 491-502.
- Macleod G.K. et al. 1977. Feeding value of protected animal tallow for high yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 60.726-738.
- MacRae, J.C., Buttery, P.J. and Beever, D.E. (1988) Nutrient interactions in the dairy cow. In: Garnsworthy, P.C. (ed.), *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow*. Butterworths, London, pp. 55—75.
- Mould, F.L., et al. (1982) Investigation of some of the physiological factors influencing intake and digestion of rice straw by native cattle in Bangladesh *Trop. Anim. Prod.* 7, 174-181
- NRC (1989) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 6th edn. National Academy Press, Washington, DC.
- Ørskov, E.R., et al. (1969) The influence of ruminal infusion of volatile fatty acids on milk yield and composition and on energy utilization by lactating cows. *British J. of Nutrition* 23, 443-453.
- Ørskov, E.R. & McDonald, I. (1970) The utilization of dietary energy for maintenance and for protein and fat deposition in young growing sheep In Schiirch, A. & Wenk, G. (Eds) *Energy Metabolism in Farm Animals* pp 121-125 E.A.A.P. Publication No. 13 Juris Druck & Verlag, Zurich
- Ørskov, E.R., Duncan, W.R.H. & Carnie, C.A. (1975) Cereal processing and food utilization in sheep. 3. The effect of replacing whole barley by whole oats on food utilization and firmness of subcutaneous fat in sheep *Anim. Prod.* 21, 51-58
- Ørskov, E.R., Grubb, D.A. and Kay, R.N.B. (1977) Effect of post-ruminal glucose or protein supplementation on milk yield and composition in Frie-

- sian cows in early lactation and negative energy balance. *Brit. J. of Nutrition* 38, 397-405.
- Ørskov, E.R., Ryle M. (1992) Energy nutrition in ruminants. Elsevier., Lond., New York.
- Reynolds, C.K. (1994) Quantitative aspects of liver metabolism in ruminants. In: Engelhardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves, G. and Giesecke, D. (eds), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction: Proceedings of the Eighth International Symposium on Ruminant Physiology*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany
- Reynolds, C.K. (1995) Quantitative aspects of liver metabolism in ruminants. In: Engelhardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves, G. and Giesecke, D. (eds) *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction, Proceedings 8th International Symposium on Ruminant Physiology*. Delmar Publishers, Albany, Germany, pp. 351-371.
- Riis P.M. 1983 The pools of tissue constituents and products: Proteins. In: *Dynamic Biochemistry of animal production*. World Anim. Sci., A3. Elsevier, Amsterdam, pp75-108.
- Schiemann, R. (1958) Kritische Betrachtungen über den Entwicklung der starke-wertlehre Oscar Kellner Dtsch. Akad. Landwirt. Wiss. Ab. No. 31
- Seal, C.J. and Reynolds, C.K. (1993) Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutrition Research Reviews* 6, 185-208.
- Smith G.H. and Taylor D.S. 1977. Mammary energy metabolism. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 41.95-111.
- Sporndly R. Aspects on ration formulation based on substrate system || Norveg. Y.
- Sutton, J.D. (1986) Milk composition. In: Broster, W.H., Phipps, R.H. and Johnson, C.L. (eds) *Principles and Practice of Feeding Dairy Cows*. Technical Bulletin No. 8, National Institute for Research in Dairying, Reading, pp. 203-218.
- Chudy Y.A. Energieumsatz: Einflussfaktoren. Modellierung und energetisch Futterbewertung. *Lohmann information*, 1, 2001. – S. 13-22.
- Taylor D.J. 1979. Interspecies differences in milk fat synthesis in lactating mammary glands. Ph. D. Thesis, Univ. of Leeds.
- Thomas, P.C. and Chamberlain, D.G. (1984) Manipulation of milk composition to meet market needs. In: Haresign, W. and Cole, D.J.A. (eds) *Recent Advances in Animal Nutrition - 1984*. Butterworths, London, pp. 219-243.
- The Cornell Net. Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets || *Wssh.*, 1990. №34.-121 p.
- Tyrrell, H. (1980) Limits to milk production efficiency. *J. of Animal Sci.* 51 (6), 1441-1447.
- Van Es, A.J.H. (1978) Feed evaluation for ruminants. I. The system in use from May, 1977 onwards in The Netherlands. *Livestock Production Science* 5, 331-345.

- Van Es, A.J.H. (1994) The symposia on energy metabolism of farm animals of the EAAP. In: Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Publ. No. 76. CSIC Publishing Service, Madrid, Spain, pp. 409-418.
- Van Es, A.J.H., Nijkamp, H.J. and Vogt, J.E. (1970) Feed evaluation in dairy cows. In: Schurch, A. and Wenk, C. (eds) Proceedings of the 5th Energy Metabolism Symposium. EAAP Publication No.13, Juris Druck Verlag, Zurich, pp. 61-64.
- Webster, A.J.F., Brockway, J.M. & Smith, J.S. (1974) Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle 1. The irrelevance of fasting metabolism Anim. Prod. 19, 127-139
- Wood H.G. et. Al. 1965 Estimation of the pentose cycle in the perfused cows udder. Biochem. J. 96..607-615.

3. Нормирование аминокислотного питания молочного скота

Система питания высокопродуктивных коров на основе субстратного обеспечения метаболизма предусматривает установление потребности в отдельных субстратах, в том числе и аминокислотах на отдельные функции организма животных, т.к. для высокопродуктивных коров, наряду с белковым, особую значимость имеет и аминокислотное питание. При одинаковом содержании в рационе протеина и его фракций (распадаемый, нераспадаемый протеин), молочная продуктивность и эффективность использования доступного белка будет зависеть от сбалансированности смеси аминокислот, поступающей в кровь из пищеварительного тракта.

3.1. Потребности коров в незаменимых аминокислотах

Нормы потребности высокопродуктивных коров в отдельных незаменимых аминокислотах, а также порядок их лимитирования, имеют определенные колебания в системах питания для животных, принятых в разных странах, и продолжают уточняться. Это связано с различиями в подходах установления потребности, наборе и качестве кормов, сбалансированности рационов по основным питательным веществам, климатических условий и т.д.

Отсутствие разработок по оптимизации аминокислотного питания высокопродуктивных молочных коров в настоящий момент является сдерживающим фактором в повышении молочной продуктивности и снижении себестоимости продукции. Если в кормлении моногастричных животных (птица, свиньи) проблема аминокислотного питания успешно решается за счет использования в комбикормах синтетических аминокислот, то для жвачных животных питательную ценность имеют лишь аминокислоты, поступающие из преджелудков с микробной массой или нераспавшимся протеином корма, а «незащищенные» синтетические аминокислоты разрушаются рубцовыми микроорганизмами. Попытки перенести подход балансирования рационов по аминокислотам с моногастричных животных на жвачных не могут быть успешными из-за ряда превращений аминокислот в рубце (разная скорость распада и дезаминирования отдельных аминокислот). Так, например, скорость распада отдельных аминокислот из фракции нерастворимого распадаемого протеина подсолнечного шрота может различаться в 3 раза (например, аргинин-2,0%/час, а лизин 6,2%/час). В то же время при скорости распада метионина 2,5%/час, дезаминирование аргинина происходит примерно на 30% быстрее. Однако до настоящего времени у нас в стране при разработке норм аминокислотного питания молочных коров не учитывалось превращение их в желудочно-кишечном тракте и степень доступности для всасывания, хотя такие исследования проводятся. Поэтому существующие до настоящего времени нормы содержания отдельных незаменимых аминокислот в рационах не имеют достаточного физиологического обоснования и большого практического значения.

Потребность коров в доступных или обменных незаменимых аминокислотах (аминокислотах, поступающих в кровь из пищеварительного тракта) устанавливается факториальным способом с учетом молочной продуктивности, содержания белка в молоке, прироста в теле и стадии стельности на основании данных о распределении и эффективности использования каждой незаменимой аминокислоты на отложение в приросте, плоде, матке с околоплодными водами, на производство молока и теплопродукцию, поглощение стенкой пищеварительного тракта при всасывании, метаболизме в печени и использовании молочной железой. Более детально данный способ описан в ранее опубликованных работах (Новая протеиновая система, 1989; Харитонов, 2003).

Поскольку достаточной физиологической и научно-практической проверки не проводилось, нерешенным остается вопрос и о балансировании рационов жвачных по доступным незаменимым аминокислотам в практике кормления коров. Попытки создать такой подход были предприняты, но не получили должного развития (Аитова М.Д., 1989). Недостаточная проработка подходов и отсутствие расчетов удовлетворения потребностей в незаменимых аминокислотах кормами рациона часто приводили при попытках балансирования аминокислот к неоднозначным результатам. Появление на рынке кормов препаратов «защищенных» аминокислот, при недостаточно разработанных схемах расчета обеспеченности ими, не дало потребителям возможности оптимального их применения. В результате, основываясь лишь на рекламных проспектах, применение таких препаратов часто себя не окупает. Для правильного их использования необходимо знать потребности животного в данных аминокислотах и содержание аминокислот в кормах рациона и добавках с учетом их доступности и только на этой основе обеспечивать удовлетворение этих потребностей. Например, определение биодоступности «защищенного» метионина из 8 коммерческих препаратов показало, что в 6-ти из них его доступность колебалась от 0 до 75% и только для двух препаратов соответствовала регламенту производителей (Rulquin, 2000).

Целью наших исследований являлась экспериментальная проверка способа расчета потребности молочных коров в обменных аминокислотах и определения доступности аминокислот для всасывания.

Исследования выполнялись в ряде опытов на коровах с канюлями рубца, 12- перстной кишки, канюлями на воротной вене, выведенной под кожу сонной артерией и датчиками кровотока на воротной вене и срамной артерии. Коров содержали на различных типовых рационах. С целью оценки обеспеченности животных лимитирующими аминокислотами в последовательных опытах определяли основные этапы превращения аминокислот в их организме: всасывание, поступление в кровь с эритроцитарной массой и в свободном виде, межклеточ-

ный обмен и использование в синтезе белков молока. Распадаемость протеина отдельных кормов в рубце определяли методом *in sacco* (Voigt, 1985). Переваримость нераспавшегося протеина и освобождение отдельных аминокислот при гидролизе изучали методом мобильных мешочков (Bach, 2000). Аминокислотный состав фракций белка определяли на аминокислотном анализаторе после предварительного гидролиза.

Потребность в незаменимых аминокислотах на основные функции у коров

Комплексные исследования на молочных коровах, проведенные во ВНИИФБиП с.-х. животных в течение последних лет в условиях вывара на оперированных животных, а также на высокопродуктивных коровах в ряде хозяйств, позволили получить данные о потребности коров на разных стадиях лактации в отдельных субстратах для обеспечения процессов молокообразования. В дальнейшем была проведена проверка оптимального количества и соотношения основных потенциально лимитирующих субстратов и метаболитов в организме коров на разных стадиях лактации при оптимизации рационов по составу ОЭ.

Анализ аминокислотного состава молока, полученного от коров разной продуктивности и в разные фазы лактации (раздой, середина и конец лактации) и разных пород (холмогорская и черно-пестрая), показал, что различия в его составе носят недостоверный характер и что при расчете потребностей можно пользоваться средними данными аминокислотного состава (табл.22). Аминокислотный состав прироста также у коров в разные фазы лактации довольно постоянен.

Таблица 22

Аминокислотный состав белков тела и молока у коров, г/100г

Аминокислоты	прирост	поддержание	молоко
Лизин	10,8	0,21	2,6
Гистидин	3,7	0,08	1
Аргинин	9,6	0,15	1,3
Триптофан	1,5	0,02	0,5
Треонин	7,3	0,11	1,6
Цистин	1,9	0,03	0,5
Валин	7,6	0,12	2,2
Метионин	3,1	0,05	0,9
Изолейцин	6	0,09	2,5
Лейцин	10,6	0,16	3,5
Фенилаланин	5,8	0,09	2,2

Исследование аминокислотного состава плода и матки с оболочками и околоплодными водами у коров разных сроков стельности показало, что с возрастом плода его аминокислотный состав меняется

и в связи с этим, потребности животного в отдельных аминокислотах в зависимости от стадии стельности могут изменяться (табл.23).

В результате обобщения данных, полученных в ранее проведенных исследованиях, и данных мировой литературы определена закономерность отложения незаменимых аминокислот в плоде в связи со сроками стельности. С учетом приведенных данных при установлении потребности коров в незаменимых аминокислотах следует учитывать молочную продуктивность, содержание белка в молоке, прирост в теле и стадию их стельности.

Таблица 23

Отложение аминокислот в плоде, г/1000г

Аминокислоты	Сроки стельности, мес				
	2	3	6	7	8
Лизин	4,5	5,4	7	7,4	7,3
Гистидин	1,5	1,7	2,1	2,5	3
Аргинин	4,3	4,4	6,6	6,7	6,9
Треонин	3,4	3,2	3,7	4,9	5,1
Цистин	0,8	1,2	0,7	1,2	2,8
Валин	2,5	3	3,1	3,3	4,5
Метионин	0,6	1,2	0,7	1,6	3
Изолейцин	1,8	2	2,2	3,1	4,7
Лейцин	5	6,5	5,78	8,4	9,2
Фенилаланин	3	3,2	3,4	5	5
Масса плода, г	120	530	2550	7630	20000

Довольно просто установить чистую потребность в аминокислотах на молоко. Однако, значительно сложнее определить потребность в доступных аминокислотах. Анализ поглощения аминокислот молочной железой на основе данных скорости кровотока и артерио-венозной разницы показывает, что только часть аминокислот поглощается в соответствующих количествах к выделяемому с молоком. Если принять обычный прием расчета эффективности использования как отношение выделенного к поглощенному, то для ряда аминокислот такой показатель будет значительно превышать 100%. Так, аспарат, глутамат и серин всегда поглощаются в значительно меньших количествах, чем выделяются в составе молока. В то же время глицин и аргинин, при всех кормовых ситуациях, поглощаются молочной железой в 2-3 раза больше, чем выделяются. Для ряда аминокислот установлена значительная вариабельность поглощения (57-300%) в зависимости от состава метаболитов крови. Наименьшая вариабельность (80-120%) установлена для фенилаланина, метионина и тирозина. Изучение поглощения аминокислот молочной железой у коров разной продуктивности и при разном обеспечении субстратами (при изменении соотношения всасывающих-

ся субстратов за счет инфузии в ЖКТ чистых субстратов) показало, что при небольшом варьировании часть незаменимых аминокислот усваиваются в эквимолярных соотношениях, а часть в избыточном, т.е. с более низкой эффективностью и соответственно их требуется в 1.1 -1.3 раза больше, чем выводится с молоком (табл.24).

Таблица 24

Обеспеченность синтеза молочного белка свободными аминокислотами, %

Аминокислоты	Периоды опыта (инфузии субстратов в ЖКТ)					
	Контроль	ВЖК	Ацетат	Контроль	Лейцин	Глутамат
Аспаргат	23,25	126,2	39,1	56,7	40,9	69,5
Треонин	47,5	104,7	63,7	62,3	62,4	66,9
Серин	32,6	37,8	43,1	44,6	53,6	38,0
Глутамат	43,8	55,7	30,9	42,5	45,7	37,2
Глицин	328,9	446,4	227,1	188,1	234,3	682,8
Аланин	124,9	122,2	113,2	160,7	86,1	96,8
Валин	109,8	123,1	109,8	100,2	111,6	91,6
Цистин	84,7	55,0	42,4	58,5	77,6	41,2
Метионин	85,0	73,8	74,3	100,0	77,6	78,4
Изолейцин	97,7	75,2	26,9	64,3	70,3	59,5
Лейцин	60,4	44,1	63,0	47,6	83,1	59,5
Тирозин	64,6	49,3	100,8	41,3	53,3	52,9
Фенилаланин	79,1	55,5	64,1	71,6	48,2	59,4
Лизин	68,6	65,9	91,4	43,9	58,1	52,6
Гистидин	114,4	87,0	105,4	123,2	84,6	111,5
Аргинин	185,5	179,4	178,6	150,7	166,2	162,8

Ввиду того, что метаболизм аминокислот начинается в пищеварительном тракте и процессы распада протеина и микробного синтеза в рубце значительно изменяют количество и состав аминокислот, контроль за обеспеченностью ими следует начинать с учета их поступления из преджелудков или в кровь воротной вены и сопоставлять с выходом аминокислот с молоком.

Нами установлено, что основная часть свободных аминокислот поступает из кишечника с плазмой крови, а на долю эритроцитов и других клеток крови приходится от 3 до 6,1 г/час аминокислот или 8,3 и 21 % от суммы свободных аминокислот крови. По сравнению с аминокислотным составом химуса в крови воротной вены был более низкий процент аспарагиновой и глутаминовой аминокислот, которые активно участвуют в превращениях в стенке кишечника (табл.25).

Таблица 25

Метаболизм аминокислот в стенке желудочно-кишечного тракта

Аминокислоты	% от суммы во всасывающейся смеси	% от суммы в поступившей смеси	% от суммы в метаболизированной смеси	Метаболизировалось в стенке в % от всосавшегося
Аспаргат	9,17	7,8	20,7	23,5
Треонин	6,6	6,7	5,6	8,9
Серин	5,7	6,2	1,3	2,3
Глутамат	15,4	12,7	39	26,3
Пролин	6,1	6,4	3,9	6,57
Глицин	12,4	13,6	2,7	2,2
Аланин	4,5	4,9	1,2	2,8
Валин	4,5	4,8	1,5	3,4
Метионин	2,4	2,6	0,8	3,6
Изолейцин	2,9	3,1	1,3	4,6
Лейцин	5,6	5,8	3,2	6,1
Тирозин	3,6	3,6	3,5	10,3
Фенилаланин	4,8	5,1	1,7	3,7
Лизин	6,7	6,8	5,9	9,2
Гистидин	3,4	3,5	2,7	8,4
Аргинин	5,7	5,9	4,5	8,2

Из отдельных аминокислот наиболее активно задерживались стенкой аспаргат и глутамат, менее активно использовались аргинин, гистидин, лизин, тирозин, в результате чего в крови воротной вены отмечено снижение процентного их содержания. Для остальных аминокислот содержание во всасываемой смеси соответствовало концентрации в воротной вене.

Исходя из содержания и эффективности использования каждой незаменимой аминокислоты на отложение в приросте, плоде, матке с околплодными водами, на производство молока и теплопродукцию мы нами уточнены потребности в обменных аминокислотах для синтеза за 1 кг молока с содержанием 3,4 % белка (табл.26), и в % от обменного белка (приложение 1).

Таблица 26

Потребность лактирующих коров в доступных для обмена незаменимых аминокислотах на синтез 1 кг молока (3,4% белка) при сбалансированном составе обменного белка (г/кг)

Аминокислоты	Норма (Новая протеиновая система, 1989)	Уточненные данные
Метионин	1,04	0,93
Гистидин	1,07	1,19
Лизин	2,95	3,34
Лейцин	3,64	3,30

Для проверки рассчитанных факториальным способом потребностей в аминокислотах проводили физиологические опыты на коровах с продуктивностью 25кг молока, с целью оценки поступления аминокислот из пищеварительного тракта и потребления их молочной железой при изменении обеспеченности метаболических процессов отдельными аминокислотами (лизин, метионин, гистидин, лейцин, фенилаланин) путем инфузии различных доз в дуоденум в течение 5 суток. Обеспеченность синтеза молочного белка аминокислотами оценивали на основе комплекса данных о концентрации и поглощении ключевых метаболитов молочной железой, продукции молочного белка и эффективности его образования.

На основании проведенных опытов заключили, что факториальный способ расчета потребности коров в доступных аминокислотах довольно точно отражает истинную потребность животных и на его основе возможно вести практическое нормирование протеинового и аминокислотного питания высокопродуктивных молочных коров.

3.2. Расчет обеспеченности метаболизма животного доступными аминокислотами

Расчет обеспеченности аминокислотами при проведении исследований выполняется на основании данных о поступлении аминокислот в кровь из пищеварительного тракта, которые получают в опытах на оперированных животных по разнице поступившего количества аминокислот в кишечник и выделенных с калом. Однако, данным способом можно оценить лишь общее количество обменного протеина и аминокислот в рационе, а для практического балансирования рационов требуются данные о их содержании в отдельных кормах.

В настоящее время существуют два метода определения биодоступности аминокислот - по исчезновению аминокислоты из пищеварительного тракта (*in vivo*, *in sacco*) или по ее появлению в крови (Bach, 2000). Мы провели сравнение этих двух методов. В первом случае доступность определяли путем инкубации образцов препарата «Смартамин» (защищенный от распада в рубце метионин) в рубце в нейлоновых мешочках и определения в дальнейшем переваримости его в кишечнике методом мобильных мешочков. При этом доступность рассчитывали по формуле: $\text{доступность} = \frac{\text{послерубцовое переваривание} (\%) \times (100 - \text{рубцовое переваривание in sacco} (\%))}{100}$. Во втором случае применяли метод, основанный на изменении в крови концентрации изучаемой аминокислоты при скармливании препарата и расчете по калибровочной кривой концентрации аминокислоты в крови при инфузии различных ее доз в тонкий кишечник. Исследования проведены на лактирующих коровах во второй фазе лактации при суточном удое 15-17 кг молока, содержащихся на сено-силосно-концентратных рационах.

Калибровочная кривая была линейной в диапазоне доз от 0 до 30 г метионина и регрессионное уравнение для расчета всасывания метионина имело вид: поступившее количество метионина= $29,74(\pm 4,61) \times$ конц. метионина (мг%) - $7,35 (\pm 3,94)$; $R=0,988$.

Расчет доступности в первом варианте показал значение 79,2% (при 3% распадаемости в рубце и 81,7% переваримости в кишечнике), а во втором-79,7%. В опытах других исследователей получены более высокие показатели при применении методики *in sacco* по сравнению со вторым методом.

Определение биодоступности путем применения метода рубцовой и кишечной инкубации было применено нами и для препаратов витамина А. Исследование трех коммерческих препаратов различных фирм показало, что доступность для всасывания витамина А различалась в несколько раз.

Только зная биодоступность аминокислот из препаратов защищенных аминокислот и кормов, можно направленно их применять для нормирования аминокислотного и витаминного питания жвачных животных.

Используя метод инкубации кормов в рубце и кишечнике нами разработана схема вычисления поступления любой аминокислоты из данного корма на любом типичном рационе. При этом требуются данные о аминокислотном составе фракций белка отдельных кормов и скорости распада аминокислот из нерастворимой распадаемой фракции (табл.27). В кишечнике незаменимые и заменимые аминокислоты освобождаются при ферментативном гидролизе и усваиваются с одинаковой интенсивностью, но по мере возрастания степени их предварительного распада в рубце, доступность незаменимых аминокислот снижается более выражено (из-за высокого содержания незаменимых аминокислот в недоступной части протеина). Эти данные использованы для расчета всасывания отдельных аминокислот из кишечника. Данных о переваривании протеина и среднем их аминокислотном составе недостаточно для этого, так как спектр переваренных аминокислот может значительно варьировать. Для основных белковых кормов требуется знать аминокислотный состав его фракций, скорость распада отдельных аминокислот и зависимость степени их освобождения в кишечнике из белковых молекул от степени распада в преджелудках. Такие зависимости нами определены, представлены в виде функциональных уравнений и включены в компьютерную программу для оперативного расчета количества обменных аминокислот.

Таблица 27

Аминокислотный состав фракций белка подсолнечного шрота

Аминокислоты	Растворимый протеин			Нерастворимый распадаемый протеин				Недоступный протеин		
	% в СВ	% в СП	% от исходн. кол-ва	% в СВ	% в СП	% от исходн. кол-ва	Скорость расп. %/ч	% в СВ	% в СП	% от исходн. кол-ва
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Аспаргат	1,19	9,3	39,7	1,7	11,0	57,1	3,2	0,1	9,8	3,5
Треонин	0,57	4,4	41,3	0,7	4,8	53,6	3,1	0,07	3,9	5,6
Серин	0,85	6,6	47,2	0,9	5,7	50,0	2,5	0,05	5,5	3,1
Глутамат	3,26	25,5	50,1	3,1	9,9	47,7	2,4	0,15	14,7	2,3
Глицин	0,71	5,5	40,9	0,9	6,2	55,8	3,0	0,06	6,2	3,6
Аланин	0,96	7,5	48,8	0,9	6,2	49,0	2,4	0,05	4,9	2,6
Цистин	0,42	3,3	64,0	0,2	1,6	7,3	1,3	0,00	0,0	0,0
Валин	0,22	1,7	21,2	0,7	5,0	73,5	5,6	0,06	6,2	5,9
Метионин	0,21	1,6	33,4	0,3	2,1	54,3	3,5	0,07	7,6	12,4
Изолейцин	0,28	2,2	31,2	0,5	3,6	63,0	4,4	0,05	3,9	5,8
Лейцин	0,59	4,6	30,7	1,2	8,2	65,7	4,4	0,08	7,6	4,0
Тирозин	0,53	4,1	47,7	0,5	3,4	50,0	2,4	0,04	3,9	3,6
Фенил.ал.	0,32	2,5	26,5	0,8	5,5	70,0	4,9	0,05	4,9	4,3
Лизин	0,23	1,8	20,5	0,8	5,1	71,4	6,1	0,09	8,8	8,6
Гистидин	0,40	3,1	42,8	0,5	3,2	52,6	2,8	0,05	4,9	5,7
Аргинин	1,97	15,4	59,0	1,3	8,3	40,0	2,0	0,06	6,5	2,5
Зам. ам.	7,97	–	47,2	8,4	–	50,2	2,5	0,46	–	2,7
Нез. ам.	4,79	–	37,9	7,1	–	56,8	4,0	0,65	–	5,1
Сумма	12,8	–	43,3	15	–	53,0	3,0	1,11	–	3,8
амин. инд.	0,6			0,8				1,42		

В табл. 28 представлены расчетные данные о доступности протеина и аминокислот разных кормов. На рационах, обуславливающих более низкую распадаемость протеина в рубце, доступность протеина и аминокислот для всасывания в кишечнике увеличивается в 2 – 3 раза. В то же время видно, что семена гороха и рапса, даже при низкой распадаемости их протеина, не являются хорошим источником обеспечения протеином и аминокислотами организма жвачного животного, поскольку только 15% их протеина может всосаться в кишечнике, а из соевого шрота более 50%.

Таблица 28

Доступность протеина и аминокислот (в %) для всасывания в кишечнике на рационах, обеспечивающих низкую и высокую распадаемость

Доступность	Горох		Подс. шрот		Соевый шрот		Рапс	
	95	79	80	74	68	44	82	67
Незам. амин.	3,5	17,2	10,9	22,3	31,4	56,5	4,3	13,4
Замен. амин.	3,7	11,7	10,1	21,5	31,9	55,9	3,6	12,6
Сумма амин.	3,6	14,3	10,5	21,8	31,6	56,2	3,9	12,9
Протеин	3,1	16,2	13,1	17,7	29,6	51,4	3,1	15,0

Этим методом нами определена доступность для всасывания основных незаменимых аминокислот из различных белковых кормов (табл.29), что позволяет точнее балансировать рационы и повышать использование протеина кормов на образование молока.

Таблица 29

Содержание доступных аминокислот в белковых кормах (г/кг)

Корма	Аминокислоты			
	метионин	гистидин	лизин	лейцин
Соевый шрот, тостированный	3,2	6,3	16,5	12,3
Подсолнечный шрот	1,9	2,5	1,7	5,4
Подсолнечный шрот, защищенный	3,1	8,6	14	16
Кукурузный глютен	4,7	5,1	4,5	55,9
Кровяная мука	5,8	19,2	37,6	24,3

Для расчета обеспечения организма доступными аминокислотами наряду с оценкой доступности протеина и аминокислот для всасывания в кишечнике из отдельных кормов используются также данные по поступлению в кишечник и по степени освобождения каждой аминокислоты из бактериальной и протозойной фракции. Расчет количества кормовых аминокислот в кишечник, основан на данных аминокис-

кислотного состава фракций протеина кормов, скорости распада отдельных аминокислот из нерастворимой распадаемой фракции и скорости эвакуации кормовых частиц из преджелудков (Харитонов, 2000). Применение такого способа расчета продиктовано тем, что предлагавшиеся до этого способы (Аитова, 1989) исходили из данных о постоянстве состава нераспавшейся части протеина корма. Наши исследования показали, что состав этой фракции может иметь значительные вариации в зависимости от степени распада в рубце. При изменениях распадаемости протеина данного корма, связанных с влиянием рубцовой среды, наблюдаются вариации не только в валовом поступлении, но и в соотношении аминокислот.

Для расчета количества всасываемых кормовых аминокислот нами изучена зависимость их освобождения в тонком кишечнике от степени предварительного распада в преджелудках. Ранее нами была выявлена параболическая зависимость переваривания протеина в кишечнике от степени его распада в преджелудках (Харитонов, 1999), и такая зависимость оказалась справедливой и для отдельных аминокислот.

Установленные зависимости переваривания отдельных аминокислот в кишечнике от степени их распада в преджелудках, данные по аминокислотному составу фракций протеина кормов, скорости распада отдельных аминокислот из нерастворимой распадаемой фракции и скорости эвакуации кормовых частиц из преджелудков, представлены в виде функциональных уравнений и включены нами в компьютерную программу, которая позволяет быстро проводить вычисления доступности протеина и аминокислот из отдельных кормов и рационов в целом с учетом образования и переваримости микробного белка.

Проведена сравнительная оценка обеспеченности коров в аминокислотах на основе расчетных данных и полученных в прямых опытах на животных. Расчетный способ оценки обеспеченности аминокислотами организма лактирующих коров базируется на определении количества аминокислот, поступающих в кишечник, исходя из положения о постоянстве аминокислотного состава нераспавшейся части протеина (способ 1). В модифицированном нами способе учитывается также аминокислотный состав фракций протеина, скорость распада отдельных аминокислот и скорость оттока кормовых частиц (способ 2). Результаты исследований показали, что второй способ позволяет получить данные, более сопоставимые с результатами экспериментов на животных. Этот способ хорошо прогнозирует распадаемость аминокислот в преджелудках (табл.30) и их общее усвоение (табл.31) и может быть рекомендован к применению для практического использования.

Таблица 30

Поступление кормовых аминокислот в кишечник (г/сутки)

Аминокислоты	Расчетные данные		Экспериментальные данные
	Способ 1	Способ 2	
Метионин	13	15	15
Гистидин	31	22	20
Лизин	63	56	57
Лейцин	101	59	53
Фенилаланин	48	43	44

Таблица 31

Общее обеспечение организма коров доступными кормовыми и микробными аминокислотами (г/сутки)

Аминокислоты	Расчет	Фактически	Потребность
Метионин	29	32	28
Гистидин	29	27,5	32
Лизин	96	94	85
Лейцин	94	85	96
Фенилаланин	64	58	56

3.3. Научно-хозяйственная проверка норм аминокислотного питания молочных коров

Практическое использование предлагаемых нами способов определения потребности животных в аминокислотах и способов расчета обеспечения этих потребностей из кормов рациона нами было апробировано в научно-хозяйственном опыте в условиях молочной фермы. Было сформировано 2 группы животных по 10-15 голов в группе в начале лактации по принципу парных аналогов. Рацион кормления коров в группах был сено-силосно-концентратным. Продолжительность опыта 100 дней. На основе расчета потребности в метионине и его поступлении с кормами рациона и доступности из препарата Смартамин были рассчитаны нормы ввода препарата в рацион дойных коров.

За 100 дней лактации (с 40-го по 140-й) молочная продуктивность в опытной группе коров с удоем 8 тыс. кг молока возросла на 6,1%, содержание белка в молоке на 4,1, а выход молочного белка на 10,5% (табл.32).

Таблица 32

Молочная продуктивность коров за 100 дней лактации (стадо с продуктивностью 8 тыс. кг молока)

Показатели	Контроль	Опыт
Среднесуточный удой, кг	27,6±0,69	29,3±0,86*
Содержание жира, %	3,65±0,07	3,65±0,077
Содержание белка, %	3,13±0,05	3,26±0,042*
Суточная продукция молочного жира, г	1007±29,89	1071±60,59
Суточная продукция молочного белка, г	863,3±11,68	954,5±20,40*

Примечание: различия достоверны при значении $p < 0,05$ по методу парных сравнений

При этом концентрация свободного метионина в крови коров опытной группы возросла на 34,3% после 60 дней скармливания препарата (табл.33), что свидетельствовало о его эффективном всасывании из желудочно-кишечного тракта.

Таблица 33

Концентрация свободных аминокислот крови коров (мг%)

Аминокислоты	Контроль	Опыт
Таурин	0,931±0,103	0,792±0,051
Аспарат	1,111±0,027	1,197±0,031
Треонин	0,381±0,025	0,304±0,025
Серин	0,216±0,036	0,176±0,02
Глутам. к-та	0,451±0,055	0,392±0,046
Глутамин	0,407±0,114	0,47±0,084
Глицин	0,678±0,114	0,557±0,113
Аланин	0,626±0,033	0,730±0,005
Цетруллин	0,237±0,024	0,244±0,001
Валин	0,706±0,033	0,717±0,007
Цистин	0,078±0,007	0,058±0,003
Метионин	0,192±0,022	0,258±0,034
Изолейцин	0,552±0,027	0,517±0,03
Лейцин	0,480±0,049	0,447±0,027
Тирозин	0,486±0,035	0,422±0,044
Фенилаланин	0,542±0,065	0,521±0,053
Орнитин	0,362±0,033	0,351±0,037
Лизин	0,385±0,006	0,417±0,013
Гистидин	0,714±0,085	0,636±0,057
Аргинин	0,540±0,06	0,579±0,07

У коров с продуктивностью 6 тыс. кг молока продуктивность возросла в опытной группе на 5,2%, а содержание жира в молоке на 4,4% , при увеличении валового выхода жира на 9,8% (табл.34).

Таблица 34

Молочная продуктивность коров за 100 дней лактации (стадо с продуктивностью 6 тыс. кг молока)

Показатели	Контроль	Опыт
Исходный удой, кг	25,2±0,93	25,0±0,84
Среднесуточный удой, кг	21,2±0,72	22,3±0,55**
Содержание жира, %	3,4±0,04	3,55±0,05
Суточная продукция молочного жира, г	720,8±6,68	791,6±5,84*

** -P<0,1

На основе выполненных нами исследований проверены и уточнены нормы потребности молочных коров в ряде незаменимых аминокислот. Установлено, что наряду с обеспечением организма коров обменным протеином, не менее важным является обеспечение его рядом незаменимых аминокислот. Проверка предлагаемого способа оценки доступности аминокислот для всасывания, основанного на определении их распада в преджелудках и усвоения в кишечнике, показала хорошую сопоставимость с экспериментальными данными. Приведенные результаты исследований свидетельствуют, что определение доступности питательных веществ кормов к усвоению или перевариванию позволяет прогнозировать продуктивный эффект, обоснованно оптимизировать рационы и корректировать нормы с учетом этого показателя.

Полученные в опытах данные позволили нам разработать способ расчета потребности в незаменимых аминокислотах и обеспечения ими молочных коров кормами рациона. Показана практическая возможность оптимизации аминокислотного питания молочных коров на основе расчета потребности в обменных аминокислотах и балансирования их рационов с учетом доступности аминокислот кормов и добавок к всасыванию в пищеварительном тракте.

Литература к главе 3

Харитонов Е.Л., Харитонов Л.В. Нормирование аминокислотного питания молочного скота //Труды ВНИИФБиП с.-х. животных-Боровск 2003,Т.42., с.46-55.

Новая протеиновая система оценки и нормирования протеина. 1989г., Боровск.С.105

Аитова М.Д. Протеиновое питание и продуктивность жвачных животных. Сб.научн.тр.-Боровск 1989,Т.36.

Изучение пищеварения у жвачных животных. Методические указания. Боровск, 1987

Харитонов Е.Л., Материкин А.М., Мысник Н.Д. Количественные аспекты обмена азота и аминокислот в пищеварительном тракте жвачных и новые подходы к оценке обеспеченности аминокислотами их организма из кормов рациона. Сб.научн. тр.,Т.39,2000, Боровск,235-245.

Харитонов Е.Л., Материкин А.М., Мысник Н.Д. Переваривание протеина в кишечнике жвачных животных//Современные проблемы биотехнологии и биологии продуктивных животных. Сб.научн. тр.,Т.38,1999, Боровск,330-343.

Rulquin H., J. Kowalczyck / Joint annual meeting. Abstracts. July 24-28,,2000, Baltomore.

Voigt J., Piatkowsky B., Engelmann M., et. al. / Arch.fur Tierernahr., 1985, 35, 8:555-562.

Bach A., Marshall D., Stern N. / Animal Feed Sci. and Technology 84 (2000):23-32

Berthiaume R., Lapierre H. et.al. /J. Dairy Sci.2000.-V.83.-P.2049-2056.

4. Физиологическое обоснование нормирования питания с учетом обеспеченности метаболизма субстратами

В настоящее время во всем мире проводятся интенсивные исследования по совершенствованию нормирования питания молочного скота и оценки питательности кормов и рационов. Несмотря на различную терминологию и научные предпосылки, в принципе все они сводятся к более адекватной оценке питательности соответствующей наблюдаемым продуктивным эффектам. С этой целью проводят модификацию методов анализа кормов, вводят дополнительные показатели, не затрагивая имеющиеся нормы, или вводят новые нормируемые показатели. Все эти подходы способствуют развитию наших представлений о физиологически обоснованном питании животных.

В настоящее время в разных системах приняты разные варианты нормирования: а) по сырым питательным веществам (система Вальдо); б) химическим компонентам; в) переваримым питательным веществам; г) распадаемым в рубце питательным веществам; д) доступным для всасывания в ЖКТ питательным веществам; е) доступным для усвоения в организме (ОЭ, доступные минеральные вещества); ж) конечным продуктам переваривания; з) субстратам.

В основном при нормировании применяют показатели из разных вариантов нормирования. Наиболее важные компоненты рациона или находящиеся в нижней части «бочки Либиха» -нормируются по более сложной схеме (ОЭ, переваримый протеин, распадаемый протеин, биодоступные минералы).

Использование тех или иных показателей определяют следующие критерии:

1. Физиолого-биохимическая необходимость;
2. Установленная связь показателя с продуктивными и др. качествами;
3. Наличие проверенной системы анализа нового показателя;
4. Первичный банк данных кормов с необходимыми показателями;
5. Система адаптации табличных показателей к конкретным условиям;
6. Возможность практического использования (доходчивость и т. д.);
7. Стимул для повышения производства (связь поле –агроном, кормушка-зоотехник, продукция, прибыль, рентабельность);
8. Унификация всех показателей;
9. Восприимчивость показателя к новым данным (в блоке установления потребности и в блоке оценки рациона).

Только при выполнении всех этих условий делается масштабный переход к практическому воплощению новой систем питания.

Если рассмотреть все элементы питания, то можно прийти к выводу, что все нормирование всех элементов питания должно в будущем осуществляться по доступным веществам. Физиологически обоснованное балансирование потребности и обеспечения питательными веществами возможно при изучении количественных превращений метаболитов и субстратов на границе их образования в пищеварительном тракте и использования в процессах метаболизма. Зная доступность питательных веществ, возможно определить конечные продукты переваривания, а от них перейти к субстратам.

4.1. Разработка научных подходов для расчета обеспеченности организма коров в субстратах

Разработанная новая система питания коров предполагает оценивать потребность и нормировать питание с учетом образования субстратов в пищеварительном тракте в процессе переваривания корма и межклеточного обмена в организме после всасывания. Считается, что только на этой основе возможно приступить к прогнозированию химического состава молока и начать исследовать зависимость эффективности его образования от состава ОЭ (Newbold С.Ж., 1999). Известно, что основная часть субстратов, непосредственно участвующих в обмене, образуется и всасывается в пищеварительном тракте, тогда как меньшая генерируется в процессах межклеточного метаболизма в других органах и тканях. Поэтому основой новой системы служит блок пищеварения, в котором рассчитывается количественный состав всасывающихся отдельных питательных веществ, а не перевариваемых сырых питательных веществ. От того, как точно будет произведен расчет этих показателей, будет зависеть дальнейшая работоспособность всей системы. В связи с этим возникает необходимость исследований процессов пищеварения по вопросам, касающимся наработки конечных продуктов переваривания.

Конечной целью работ по разработке алгоритма расчета образования субстратов в пищеварительном тракте коров являлось получение количественных характеристик основных пищеварительных процессов в различных частях желудочно-кишечного тракта, уточнение ключевых коэффициентов (эффективность использования ОЭ и ОБ на молокообразование) и их перевод в зависимые переменные величины. Эти результаты необходимы для построения физиологически обоснованной теории процессов пищеварения, где основные этапы процессов пищеварения будут выражены в математической имитационной компьютерной модели, пользуясь которой можно будет предсказывать метаболические и продуктивные реакции пищеварительной системы на различный состав и качество питательных веществ рациона.

Необходимость перехода к нормированию по субстратам можно обосновать с различных позиций, как со стороны особенностей межклеточного и клеточного обмена, но также и пищеварительного тракта. Одним из теоретических подходов к обоснованию необходимости получения данных о количестве всасываемых субстратов могут послужить следующие рассуждения. В настоящее время энергетическую питательность кормов рациона наиболее точно устанавливают в балансовых опытах на животных по разности содержания энергии в кормах, кале, моче, рубцовых газах и теплоте ферментации (уравнение 1):

$$OЭ = ВЭ - (Э кала + Э мочи + Э газов + Э ферм.) \quad (1)$$

Такая схема, как правило, дает самые точные и надежные результаты, но она не объясняет часто наблюдающуюся вариабельность в продуктивном действии OЭ рациона (эффективности использования OЭ на продукцию). Часть разброса удается снять применением следующего уравнения (уравнение 2) для животных находящихся в нулевом или положительном балансе, которая учитывает различие в живой массе животных и вид продукции:

$$OЭ = Э продукции + Э теплоприращения + Э поддержания \quad (2)$$

Другой подход к оценке энергетической питательности кормов основан на принципах использования суммы переваримых сырых питательных веществ и широко распространен в мире в виде так называемой регрессии Неринга и Шимана (уравнение 3):

$$OЭ = 15,2 \text{ ПП} + 34,2 \text{ ПСЖ} + 12,3 \text{ ПСК} + 15,9 \text{ ПБЭВ}; \text{ где ПП-переваримый протеин, ПСЖ-переваримый сырой жир, ПСК-переваримая сырая клетчатка, ПБЭВ-переваримые БЭВ.} \quad (3)$$

Приведенные коэффициенты при переваримых веществах показывают энергетический эквивалент данного вещества и эффективность его использования. В настоящее время существует множество модификаций данного уравнения с точки зрения уточнения коэффициентов, делаются попытки перехода от оценки по переваримым к оценке по сырым питательным веществам, выводятся уравнения для определенных типов рационов. Все это косвенно свидетельствует о попытках снять вариабельность в показателях использования OЭ. Но эти попытки не могут решить данную проблему, так как не затрагивают принципиальные стороны вопроса.

Если рассмотреть, что же представляют собой переваримые сырые питательные вещества, то можно видеть, что они состоят из неопределенных сочетаний конечных продуктов переваривания. Так, переваримый протеин состоит из аминокислот и аммиака, но разные корма, переваримый протеин которых одинаков, дают разный продуктивный эффект, поскольку при переваривании образуют разные смеси конечных метаболитов. Применительно к протеину данная проблема была частично решена разработкой в нашей стране новой протеиновой системы («Новая протеиновая система оценки и нормирования протеина».

1989), основанной на нормировании с учетом показателя распадаемости протеина. Однако дальнейшего развития эта проблема не получила и до сих пор в системе используются средние обобщенные, без детальной экспериментальной поверки, данные эффективности синтеза и переваримости протеина микробной массы и нераспавшегося протеина кормов всего рациона. Однако из литературы известно, что во многих случаях наблюдаются значительные числовые вариации как в оценке переваривания микробного, так и кормового белка. В различных системах оценки и нормирования протеина колебания составляют 60 – 80%. По аминокислотному составу нераспавшегося кормового протеина и доступности отдельных аминокислот для всасывания в кишечнике данных вообще крайне мало, что не позволяет достаточно точно и обоснованно рассчитывать количество и состав аминокислот, всасывающихся из пищеварительного тракта жвачных животных. Одной из главных проблем оставалась разработка подходов к определению не только общего количества всасывающихся аминокислот из пищеварительного тракта жвачных, но и количественного анализа аминокислотного состава.

Такой же подход следует применять и к другим питательным веществам. Наиболее неопределенным составом, наряду с сырой клетчаткой, обладают БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества), которые состоят из сахара, крахмала, пектина и гемицеллюлоз. На разных типах рационов БЭВ будут представлены разным соотношением и отсюда следует неправомерность применения одного постоянного коэффициента ко всей смеси.

В 1998 году на международном симпозиуме в Германии (г. Росток), посвященном 100-летию Неринга (Beuer M., 1998), ученые Кельнеровского исследовательского центра предложили следующую схему расчета ОЭ кормов рациона (уравнение 4):

$ОЭ = 17,3 \text{ ПП} + 34 \text{ ПСЖ} + 15,9 \text{ Крах.} + 15,1 \text{ Сах.} + 15,4 \text{ ПЦелл.}$
 где ПП – переваримый протеин, ПСЖ – переваримый сырой жир, Крах. – крахмал рациона, ПЦелл. – Переваримая целлюлоза. (4)

Согласно этому уравнению неопределенность относительно БЭВ была снята. Однако крахмал при переваривании может всасываться в виде глюкозы и летучих жирных кислот (ЛЖК) и это соотношение для разных видов крахмала и на разных рационах будет не постоянным. Как показали наши исследования, при одинаковой общей переваримости крахмала разных видов зерновых, доля переваривания в преджелудках и кишечнике может значительно различаться.

Применив аналогичный подход для всех остальных переваримых питательных веществ, можно в конечном итоге ОЭ рассчитывать по энергии всасывающихся субстратов (уравнение 5):

$ОЭ = Э_{\text{Амин.}} + Э_{\text{Жк.}} + Э_{\text{Глюк.}} + Э_{\text{Ацет.}} + Э_{\text{Проп.}} + Э_{\text{Бут.}}$
 где Э_{Амин.} – энергия всасывающихся аминокислот; Жк – энергия жир-

ных кислот, Глюк. - энергия глюкозы, Проп. - энергия пропионата, Ацет. - энергия ацетата, Бут. - энергия бутирата. (5)

Каждое вещество имеет постоянные энергетические эквиваленты. Применяя данную схему, можно целенаправленно изучать эффективность использования ОЭ разного состава на продукцию и балансировать рационы. Принципиальную возможность применения такой схемы показывает сравнение расчета ОЭ разными способами. Обменная энергия, определенная в балансовых опытах, служила критерием сравнения.

Сравнение методов расчета ОЭ:

1. Сумма энергетической питательности кормов рациона

(по справочным таблицам – 140 МДж (107%))

2. Сумма переваримых питательных веществ

$ОЭ = 17,46 \text{ пП} + 31,23 \text{ пЖ} + 13,65 \text{ пК} + 14,78 \text{ пБЭв}$

(данные переваримости из опыта) -145МДж (111%)

3. Сумма всосавшихся субстратов (схема 5)

129 МДж (99,2%)

4. $ОЭ = ВЭ - (Э \text{ кала} + Э \text{ мочи} + Э \text{ газов} + Э \text{ ферм.})$

(данные прямых измерений)

130 МДж (100%)

Для расчета образования субстратов в пищеварительном тракте нами были внесены изменения в перечень показателей химического анализа кормов. К показателям, которые требуются согласно протеиновой системе, добавили анализ фракций клетчатки, усовершенствовали метод определения крахмала в кормах и позволило дать полную характеристику состава СВ. В настоящее время анализ включает в себя определение в кормах следующих показателей: сахар, органические кислоты, пектин, липиды, крахмал, гемицеллюлозы, целлюлоза, лигнин, растворимый протеин. Органические кислоты следует учитывать при использовании зеленых кормов, содержание в которых доходит до 10%, а ЛЖК при даче силосов и сенажа.

4.2. Образование ЛЖК при ферментации углеводов в рубце и толстом кишечнике

Для расчета количества образованных ЛЖК в преджелудках нужно вычислить количество ферментированных структурных и неструктурных углеводов из потенциально ферментируемых фракций на основе скорости их распада из отдельных кормов, скорости их эвакуации и стехиометрических коэффициентов образования основных видов ЛЖК предложенных Marphy, 1982.

Анализ переваривания структурных углеводов - НДК и КДК отдельных кормов (грубых, сочных, концентрированных) в различных отделах пищеварительного тракта показал, что основная их часть пере-

варивается в преджелудках, и лишь 10% в толстом кишечнике, которое учитывается при расчете общего всасывания ЛЖК.

Т.к. исходные характеристики динамики переваривания структурных углеводов (целлюлоза и гемицеллюлозы) получены нами на сбалансированных рационах, при использовании этих характеристик при других условиях кормления требуется определенная корректировка. Так нами определены критерии, при которых происходит изменение ферментации. Максимальное переваривание фракций клетчатки происходит при рН в рубце не ниже 6,2 и концентрации аммиака не ниже 10мг%. Увеличение содержания липидов в рационе выше 4% за счет применения растительных масел, свиного и кормового жира, снижают переваримость клетчатки в рубце на 15-30% (рис. 5). В то же время ввод в рацион говяжьего жира

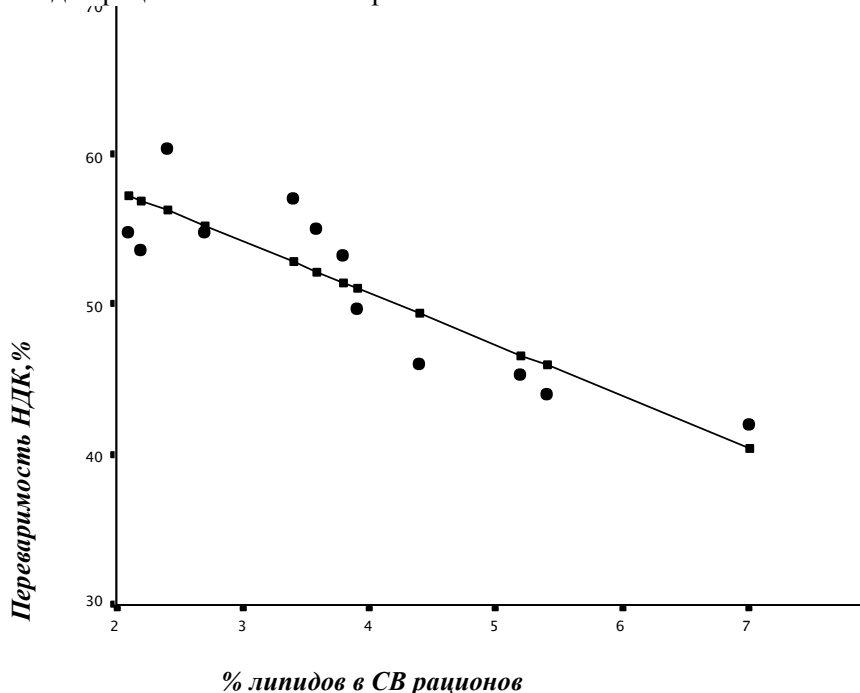


Рис. 1 Зависимость переваримости НДК от содержания липидов в рационе

до уровня 4,5% не оказывал негативного влияния на скорость ферментации фракций клетчатки. Факторы кормления, понижающие переваривание клетчатки, также негативно сказываются на процессе распада протеина отдельных кормов. При этом наибольшему влиянию подвержены корма, в состав которых входит большой процент НДК, большая доля нерастворимой распадаемой фракции со средней скоростью распада.

Нами проведено сравнение расчетных (на основе данных скорости распада НДК отдельных кормов и скорости оттока кормовых частиц из рубца) и прямых измерений показателя переваримости фракции НДК в преджелудках и получена хорошая сопоставимость данных (табл. 35).

Таблица 35

Сравнение прямых и расчетных данных переваримости НДК кормов рациона

Рацион	Переваримость, %	
	In vivo	расчет
1	47,3	45,2
2	48,7	50,1
3	43,6	44,8

Расчет количества крахмала ферментируемого в рубце ведется на основе данных о скорости переваривания крахмала отдельных кормов и скорости оттока частиц корма. Как показали результаты наших исследований, в зависимости от состава рациона, скорость распада крахмала всех изученных кормов данного качества - овса, пшеничных отрубей, пшеницы, ячменя и кукурузы, значительно не изменяется, и эти значения можно применять на любых сено-силосно-концентратных рационах для молочных коров с продуктивностью от 10 до 35 кг молока в сут. На ферментацию сахаров в рубце кормовые факторы также не оказывают выраженного влияния.

Для проверки разработанных подходов определения переваримости крахмала кормов рациона по характеристикам распада крахмала отдельных кормов, нами проведено сопоставление расчетных величин переваримости и полученных в опытах in vivo. Для этого были взяты данные о переваримости крахмала в преджелудках, полученные в опыте на оперированных животных с канюлями на 12-перстной кишке, которые получали рационы, различающиеся по составу комбикормов (разное соотношение кукурузы, ячменя и овса) и разным соотношением грубых кормов и свеклы. Для расчетов были использованы средние данные скорости распада крахмала кормов, входящих в рацион, и рассчитанная скорость оттока кормовых частиц по разработанному нами уравнению. Как показывают данные табл. 36, наряду с сохранением направленности изменений расчетный метод дает довольно сопоставимые результаты с прямым методом.

Таблица 36

Сравнение расчетного и прямого метода определения переваримости (%) крахмала в преджелудках

Периоды опыта	In vivo	Расчет
Контроль	83,3	80,0
Опыт	74,4	72,5

После определения количества ферментированных целлюлозы, гемицеллюлоз, сахаров и крахмала, воспользовавшись стехиометрическими соотношениями, приводимыми Марфи (Marphy M., 1982), можно довольно объективно рассчитать количество образованных основных ЛЖК в рубце (ацетата, пропионата и бутирата) (табл.37).

Расчеты показывают, что на типовых рационах количество ЛЖК, образовавшихся в рубце из крахмала, составило от 23 до 26%, от общей продукции. При этом крахмал наибольший вклад вносил в образование пропионата (более 30%), затем бутирата (от 25 до 28%), и ацетата от 19 до 22%.

Т.о. предлагаемый подход основанный на определении количества и соотношения ЛЖК, образовавшихся при ферментации крахмала, сахара, целлюлозы и гемицеллюлоз в рубце дает возможность формировать состав рационов с заданным уровнем их образования.

4.3. Физиологическое обоснование расчета обеспеченности обменным белком и аминокислотами

Для расчета эффективной распадаемости СП кормов в рубце следует знать фракционный состав протеина (растворимый протеин, нерастворимый распадаемый протеин и недоступный протеин), скорость распада нерастворимой распадаемой фракции и скорость оттока кормовых частиц. Как показало сравнение различных методов определения распадаемости, применение табличных данных дает наименее сопоставимые результаты и не отражает динамику освобождения азотистых веществ при распаде. Так, при одинаковой распадаемости протеина силоса (65%) и нетостированного соевого шрота (65%), динамика распада СП совершенно различна (растворимость СП силоса 50%, соевого шрота 15%, т.е основная часть протеина силоса будет гидролизována за 1-2 часа, а протеин шрота будет освобождаться равномерно в течение 10-12 часов).

Нами получены характеристики распада протеина основных кормов, которые необходимы для расчета эффективной распадаемости СП.

В настоящее время расчеты образования субстратов ведутся на основе знаний переваримости каждого компонента корма в преджелудках, тонком и толстом кишечнике.

Известно, что источником аминокислот и протеина для обеспечения потребностей жвачных животных служат только доступный микробный протеин и переваримый нераспавшийся в рубце протеин кормов рациона. Поступление нераспавшегося кормового протеина в кишечник следует рассчитывать исходя из характеристик распада и скорости эвакуации кормовых частиц. Для определения количества всасываемых аминокислот требуется знать фракционный состав СП,

эффективность образования и переваримость микробной фракции, аминокислотный состав азотистых фракций, поступающих в кишечник, эндогенные белковые и небелковые поступления в преджелудки.

Поступление микробной массы в кишечник рассчитывается на основе определения образования АТФ при ферментации в рубце. Этот показатель более точен по сравнению с переваримым ОВ, т.к. учитываются особенности ферментации, образования ЛЖК и всасывание высших жирных кислот (ВЖК) (ферментации ВЖК в рубце не происходит). Сравнение различных методов для определения величины образования АТФ в рубце представлено в табл. 37. Как следует из результатов такого сравнения все методы, в не зависимости от их сложности, дают сопоставимые результаты. Самым приемлемым для практических расчетов, не требующих ни каких дополнительных измерений показателей у животных, является метод основанный только на данных скорости ферментации углеводов и протеина отдельных кормов. Эти данные получают методом инкубации образцов кормов в рубце и характеристики распада вносят в банк кормов по доступности к перевариванию. Кроме знаний количества генерированных АТФ в рубце, требуется оценить эффективность синтеза микробного белка, т.к. при различных условиях в рубце на моль АТФ может синтезироваться неодинаковое количество микробных клеток. Так, например, для эффективного микробного синтеза в рубце должна поддерживаться среднесуточная концентрация аммиака на уровне 14мг%. При более низких концентрациях происходит снижение эффективности микробного синтеза, что нужно учитывать при расчете обеспеченности организма животного доступным белком.

Таблица 37

Образование ЛЖК (моль) и генерация АТФ (моль) в рубце коров при определении различными методами

Метод	ацетат	пропионат	бутират	АТФ
По распадаемости в рубце in sacco	54	15,98	10,8	145,58
По пулу ЛЖК и скорости всасывания	54,67	17,2	10,1	146,7
По ферментируемому ОВ и соотношению ЛЖК	53,6	15,86	10,72	144,5

Величина переваривания микробного протеина в кишечнике жвачных животных определена нами на уровне 70% и при обычных условиях кормления не изменяется. В то же время, часто применяемые в различных системах кормления постоянные коэффициенты переваримости нераспавшейся части протеина должны быть заменены на переменные величины. Так, по нашим данным, переваривание нераспавшегося протеина кормов в кишечнике жвачных животных зависит от

степени распада в преджелудках (рис.2, 3) и при расчетах поступления белка и аминокислот из пищеварительного тракта в организм эти зависимости учитываются. Данные о переваримости протеиновых фракций в кишечнике и степени освобождения отдельных аминокислот при гидролизе (рис.4) используются при расчете поступления протеина и аминокислот из пищеварительного тракта при нормировании протеинового и аминокислотного питания молочных коров.

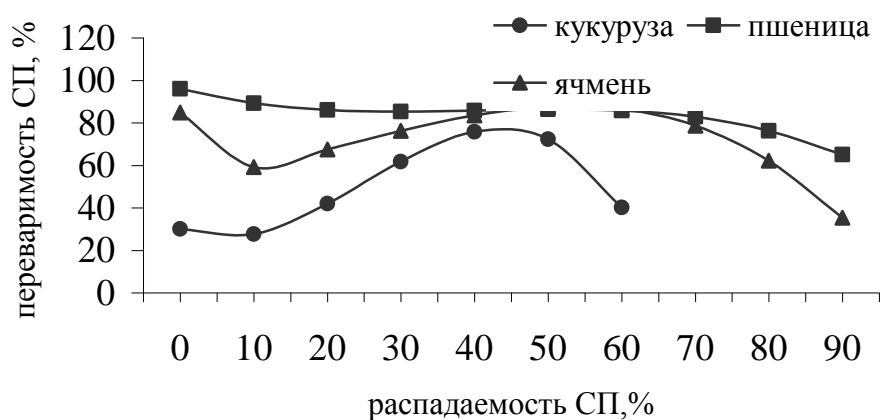


Рис.2 Зависимость переваривания зерновых кормов от степени их распада в преджелудках

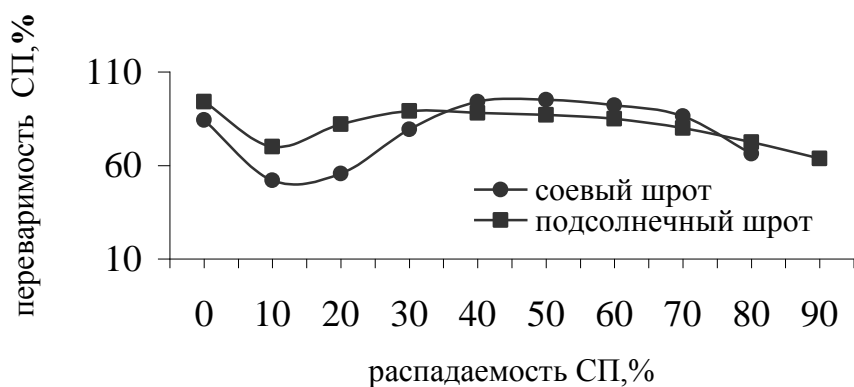


Рис.3 Зависимость переваривания белковых кормов от степени их распада в преджелудках

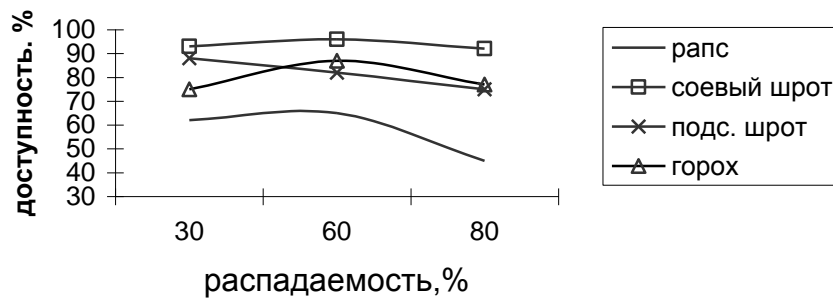


Рис. 4 Доступность валина для всасывания в кишечнике в зависимости от степени его распада в рубце.

Исходя из выявленной зависимости переваривания нераспавшихся растительных белков в кишечнике от степени их распада в преджелудках, можно проводить обоснованную оптимизацию набора кормов для каждого рациона с целью наиболее эффективного использования аминокислот корма. Для этого можно применять показатель эффективности использования СП, характеризующего степень общего извлечения СП из корма. Пример такого подхода показан на рис.5.

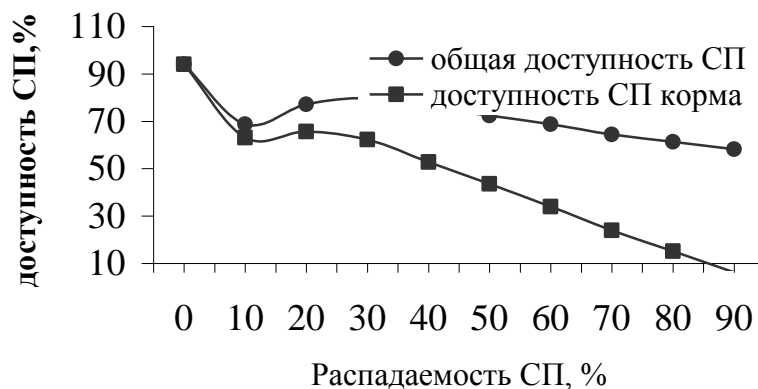


Рис.5 Общая доступность и доступность для всасывания СП подсолнечного шрота в зависимости от распадаемости СП.

По показателю эффективности использования СП кормов можно определить при разных значениях распадаемости величину используемого кормового СП для всасывания в кишечнике и установить наиболее эффективные диапазоны применения данного корма. Если условия не позволяют изменить структуру рациона и его состав, что и определяет степень распадаемости, следует подобрать другой протеиновый корм или изменить распадаемость этого корма (путем «защиты» протеина или повышая его доступность). Для практического применения и внедрения данного показателя следует расширить исследования протеиновых кормов и протеиновых добавок по определению зависимости переваривания нераспавшейся части СП кормов от уровня их распада в преджелудках. Таким образом, на основе выявленной зависимости переваримости СП кормов от их распадаемости в преджелудках возможно направленно оптимизировать рационы по эффективности использования их протеиновой части и обоснованно проводить «защиту» кормовых белков. При расчетах поступления протеина из пищеварительного тракта следует применять показатель "переваримый в кишечнике протеин", который состоит из микробного протеина, поступающего в дуоденум, и кормового нераспавшегося протеина. При этом надо принимать во внимание, что переваримость микробного СП составляет – 70%, и учитывать индивидуальную переваримость нераспавшейся части СП отдельных кормов. Для эффективного использования протеина, в рационе следует подбирать такие корма, которые будут обеспечивать максимальное поступление из пищеварительного тракта аминокислот. Знание аминокислотного состава фракций протеина позволит предсказывать количество аминокислот, поступающих в кишечник и доступных для обмена в органах и тканях жвачных.

Рассчитать поступление протеина и аминокислот из пищеварительного тракта можно по приведенному ниже алгоритму. По данным фракционного состава протеина и скорости эвакуации ведется расчет распадаемости, а на основе зависимости, отраженной на рис.2 и 3, вычисляется переваримость. Нами разработан также метод анализа переваримости *in vitro*, который позволяет характеризовать корма по степени их переваривания в кишечнике в зависимости от распадаемости. Аналогичным образом предлагается вести расчет всасывания отдельных кормовых аминокислот.

Алгоритм расчетов: 1) распадаемость (СП, аминокислот)
 $P=A+(BC)/(C+K)C$ – (поправки на состав рациона) К(скорость эвакуации)= $0,048ПСВ/ОМТ+0,0315(\%НДК)-1,87$

2) Переваримость в кишечнике нераспавшейся фракции = f (распадаемости) или метод *in vitro* микробной фракции (70% для СП)

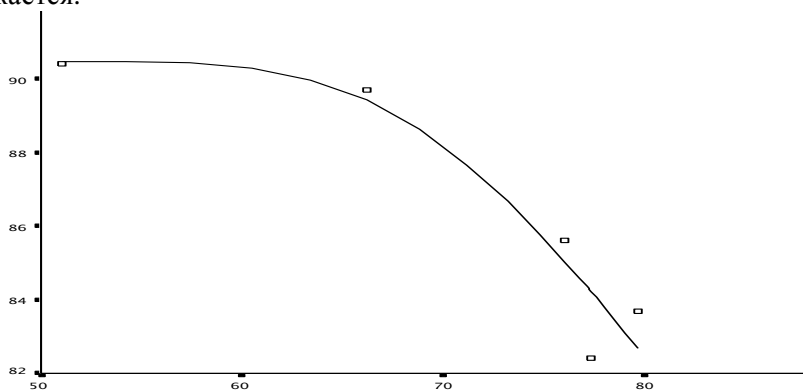
3) Всасывание = кормовые (аминокислоты) + микробные (аминокислоты)

Полученные нами данные позволяют рассчитать количество аминокислот, всасываемых из кишечника коров, что дает возможность регулировать состав аминокислот для удовлетворения потребностей животных.

4.4 Переваривание крахмала и всасывание глюкозы

Образование и всасывание глюкозы рассчитывается исходя из количества крахмала, поступающего в кишечник, переваримости крахмала в кишечнике на основе зависимости переваримости нераспавшегося крахмала отдельных кормов от степени их распада в преджелудках (рис. 6, 7). Установлена зависимость снижения переваримости крахмала от его количества в кишечнике. При поступлении более 1000г она снижается.

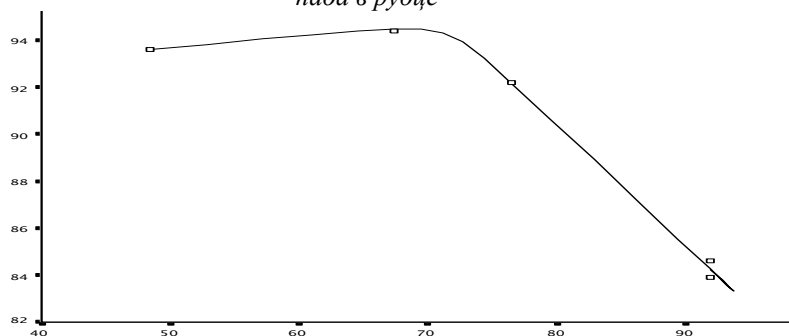
Переваримость крахмала в кишечнике,



Распадаемость крахмала в рубце, %

Рис. 6 Зависимость переваривания крахмала кукурузы от степени распада в рубце

Переваримость крахмала в кишечнике, %



Распадаемость крахмала в рубце, %

Рис. 7 Зависимость переваривания крахмала ячменя от степени распада в рубце

Таким образом, для расчета переваривания крахмала в кишечнике требуется определение распадаемости крахмала каждого компонента рациона, поступление микробного крахмала, суммы поступления крахмала. Из зависимости переваримости от распадаемости для данного корма определяется потенциальная переваримость и корректируется на поступление суммы крахмала в тонкий кишечник.

4.5. Образование высших жирных кислот при переваривании липидов

В рационах жвачных животных содержание липидов относительно невысокое: в концентратах оно колеблется в пределах 2-4%, в грубых кормах — 5-7%. Тем не менее жиры широко используются в качестве компонентов комбикормов, особенно для лактирующих коров.

Основная часть жиров, содержащихся в натуральных кормах и липидных подкормках, представлена триацилглицеролами, но имеются также и гликозил-липиды в разных соотношениях. Корма растительного происхождения содержат также липиды кутикулы (главным образом воска и другие сложные липиды), но доля их вклада в питание животных незначительна из-за низкой доступности к перевариванию в рубце и кишечнике.

Так как энергетическая ценность жиров более чем вдвое превышает таковую других кормовых источников и обычно они имеют высокую переваримость, то по объему в рационе их вклад в энергетический обмен животного значительно выше, чем других кормов. Однако очень трудно дифференцировать энергетическую ценность жиров вследствие взаимодействия между добавленным жиром и другими компонентами рациона (Clappertone, 1983). Так, добавка жира в рацион для овец снижала кажущуюся переваримость клетчатки, а у коров, наоборот, этот показатель повышался (Kowalczyk, 1977). Ожидаемый эффект зависит от типа добавленного жира. Жирные кислоты с короткой углеродной цепью оказывают большее депрессирующее влияние, чем длинноцепочечные (ДЦЖК); ненасыщенные жиры также оказывают более значительное влияние, чем насыщенные, и, наконец, НЭЖК сильнее ингибируют переваривание клетчатки, чем триацилглицеролы. Такие особенности действия жиров на рубцовый метаболизм должны учитываться при их включении в рацион.

Добавка различных жиров в рацион по-разному влияет и на потребление корма, что обусловлено также наличием других компонентов кормосмеси. Например, скармливание коровам молочных по-

род ячменя с добавкой говяжьего жира почти не оказывало отрицательного влияния на потребление корма, пока его количество в рационе не превысило 750 г/сут (Clappertone, 1983a). Включение в кормосмесь соевого масла и шрота значительно снижало потребление корма.

Добавление жира в рацион оказывало положительное влияние в трех случаях: 1) при недостатке углеводов в рационе; 2) при любом уровне потребления корма увеличение потребления жира до оптимального соотношения с другими питательными веществами может повысить эффективность использования энергии (Gramby, 1978); 3) при скармливании избыточных количеств зерна злаковых для максимального увеличения потребления переваримой энергии; жир можно заменить крахмалом, увеличивая соотношение грубого корма и концентратов в рационе, для нормализации рубцовой ферментации и повышения жирности молока (Palmquist, 1978).

Включать в рацион жир с целью повышения уровня потребления энергии необходимо с учетом потребления сухого вещества. В одних опытах было показано, что кормовой жир снижает потребление грубого корма, а в других никаких изменений не наблюдалось (Vines, 1978). Ингибирование переваримости клетчатки способствовало сокращению потребления грубого корма. Влияние добавок жира на обмен энергии лучше всего проверять при использовании стабилизированных липидов. В одном из опытов в рационы с высоким уровнем концентратов (75 % СВ корма) добавляли 600—1400 г/сут стабилизированного говяжьего жира (Vines, 1978). С увеличением потребления липидов снижалось потребление как сена, так и концентратов. Более умеренный эффект наблюдался у коров в период с первой по шестую неделю лактации. Но потребление сухого вещества заметно снизилось при самом высоком уровне потребления липидов в период с седьмой по тринадцатую неделю. По-видимому, при высоких уровнях добавления липидов общее потребление энергии сокращается. На основании этого сделано заключение, что снижение потребления было вызвано ингибированием НЭЖК переваримости в рубце, вследствие неполной стабилизации добавленного жира. Другие же исследователи считают, что скорее общее количество поглощенной энергии, а не наполнение кишечника, ограничивало потребление сухого вещества у коров, получавших стабилизированный жир на уровне около 12 % от СВ рациона, хотя потери массы тела не снижались в течение первого месяца лактации (Smith, 1978). В других опытах использование стабилизированных семян масличных или стабилизированного говяжьего жира не снижало потребления грубого корма (Yang, 1973). При скармливании стабилизированного говяжьего жира на уровне 8 или 13 % от содержания концентратов наблюдалось снижение потребления концентратов и грубого корма (MacLeod,

1977). В данных опытах коровы имели свободный доступ к концентратам 2 раза (по 1 ч) в сутки, а к грубому корму — в течение 22 ч.

Добавление в рацион нестабилизированных липидов замедляло поедаемость корма, особенно это касалось объема и продолжительности потребления (Heinrichs, 1982). Однако компенсация достигалась за счет увеличения числа кормлений, так как общее потребление сухого вещества оставалось таким же, как и до включения в рацион жиров. Это влияние не всегда связано с функцией рубца, поскольку при добавлении полностью стабилизированного жира поедание корма замедляется. По-видимому, возможность увеличения уровня потребления энергии у лактирующих коров при скармливании жировой добавки ограничена в лучшем случае до 4—5% от общего потребления энергии.

Для расчета всасывания высших жирных кислот использовали наши данные о поступлении липидов в кишечник в зависимости от их содержания в кормах рациона (рис.8), распадаемости и переваримости нераспавшихся липидов отдельных кормов (табл.38).

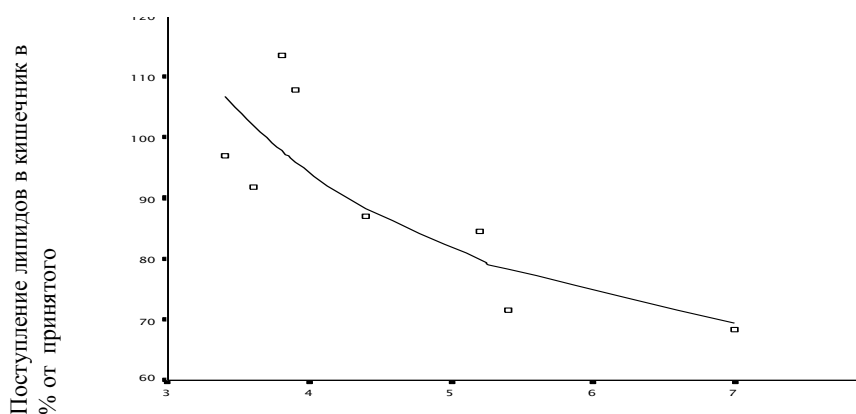


Рис.8 Поступление липидов в кишечник в зависимости от уровня их содержания в рационе (% от СВ)

Таблица 38

Переваримость и скорость гидролиза липидов отдельных кормов в желудочно-кишечном тракте коров

Корма	Переваримость в рубце, %	Скорость гидролиза, %/час	Переваримость в кишечнике, %	Общая переваримость, %
Сено разн.	71,4	5,2	28,2	78,4
Силос разн.	72,4	5,2	19,2	77,7
Трава зл.-бобовая	60,4	5,1	62,2	85,0
Кукуруза	81,4	14	80,9	96,7
Ячмень	80,7	13,7	75,9	95,3
Пшеница	86,3	18,2	62,4	97,4

Соевый шрот	80,5	13,6	67,8	93,7
-------------	------	------	------	------

4.6. Экспериментальная проверка способа расчета образования субстратов при переваривании кормов рациона

Для расчета образования субстратов при переваривании кормов в кишечнике, переваримость в этом отделе определяется на основании закономерностей переваривания от степени распада питательных веществ в преджелудках. Нами получены данные о скорости ферментации протеина основных кормов, крахмала, целлюлозы, гемицеллюлоз, липидов. Исследована зависимость скорости ферментации этих питательных веществ от состава рациона. Получены данные об аминокислотном составе основных фракций протеина ряда кормов и скорости распада каждой аминокислоты в рубце. Исследования показали, что состав рациона влияет на распадаемость СВ, СП, крахмала и фракций клетчатки в рубце.

Определение всего спектра образованных субстратов на этих же рационах позволяет рассчитывать энергию всосавшихся субстратов, величина которой хорошо совпадала с величинами обменной энергии, полученными в балансовых опытах (табл. 39).

Таблица 39

Образование субстратов и метаболитов в пищеварительном тракте коров при нормированном кормлении (Жалашиников А.П. и др., 1994) в зависимости от структуры рациона (г/сут на голову)

Субстраты	Тип рациона					
	Сено-конц.	силосно-сено-конц.	силосно-сено-конц.	зеленый корм с травами	сено-конц. с концен-трами	сено-конц. сухой
	50:50	65(конц.) 20(свек.) 15(груб.)	30(конц.) 5(свекла) 65(груб.)	50(конц.) 50(зел.)	30 (конц.): 70 (зел.)	35 (конц.): 65(сено)
Аминокислоты	1486	1135	1142	1243	1182	965
Глюкоза	800	771	687	761	658	518
Ацетат	3520	2820	2840	2760	2800	2076
Пропионат	1710	1440	1280	1320	1280	960
Бутират	811	666	619	624	613	462
Высшие жирные кислоты	153	193	208	251	253	104
Обменная энергия, МДж*	165	127,8	125	132	130	97
Энергия всасывающихся субстратов, МДж	160	133	128	133	130	96,5

* Фактические данные, полученные в балансовых опытах.

Сравнение переваренного сухого вещества во всем пищеварительном тракте с суммой образованных субстратов и метаболитов так же дает сопоставимые результаты (табл. 40,41).

К настоящему времени еще остается ряд вопросов, требующих дальнейших исследований. Необходимо уточнить стехиометрические коэффициенты образования основных ЛЖК при ферментации различных исходных компонентов. Требуется также проводить стандартизацию кормов, используемых в опытах как по сортам, так и по классам, для более точного применения полученных ранее закономерностей.

Таблица 40

Образование субстратов и метаболитов в пищеварительном тракте коров

Показатели, г	Рацион с низкой распадаемостью протеина и крахмала	Рацион с высокой распадаемостью протеина и крахмала
Ацетат	3265	3261
Пропионат	1470	1450
Бутират	896	913
Аммиак	108	127
Глюкоза	873	709
Аминокислоты	1215	1022
Жирные кислоты	405	482
СН ₄	304	314
СО ₂	1403	1450
Сумма образованных субстратов и метаболитов	10600	10300
Видимо переваренное сухое вещество	10480	9930

На основе представленных подходов и выявленных закономерностей произведен расчет образования субстратов или конечных продуктов переваривания питательных веществ кормов на рационах с различным уровнем концентрированных кормов по питательности от 30 до 60% или с изменением соотношения субстратов в пищеварительном тракте за счет непрерывной инфузии чистых питательных веществ в пищеварительный тракт в различных опытах (табл. 41, 42, 43). Соотношение субстратов, определенное нами, соответствует данным, имеющимся в литературе (Baldwin, 1987, 1995; Flachowsky, 1998). На основе анализа эффективности использования ОЭ и обменного белка на продуктивные цели будут выявляться оптимальный состав ОЭ и формулироваться рационы, обеспечивающие их образование.

Таблица 41

Образование субстратов в пищеварительном тракте коров по периодам опытов из кормов рациона и из инфузируемых веществ (% по энергии от суммы всосавшихся субстратов)

Периоды опыта		Образованные субстраты, г					
		ацетат	пропионат	бутират	глюкоза	амин. - ты	ВЖК
Сено-силосно-конц, 17кг, 44% концентр.	удой	30,4	20,6	11,1	8,2	22,2	7,2
+ инфузия ВЖК		28,5	19,3	10,3	7,6	21,1	13,2
+ инфузия казеин		28,8	19,4	10,4	8,4	26,4	7,5
+ инфузия каз+ацетат		31,0	19,0	10,2	7,4	25,1	7,3
Сено-силосно-конц., 21кг. 46% концентр.	удой	30,0	20,3	10,8	9,0	22,3	7,6
+ инфузия ацетата		33,9	19,5	10,4	7,8	21,3	7,1
+ инфузия глюкозы		28,7	19,4	10,3	13,1	20,9	7,5
+ инфузия каз+глюкозы		28,3	19,0	10,1	10,4	24,7	7,4
+ инфузия казеина+ВЖК		27,2	18,5	9,8	7,7	24,	12,1

Таблица 42

Образование субстратов в пищеварительном тракте коров по периодам опытов из кормов рациона и из инфузируемых веществ (% по энергии от суммы всосавшихся субстратов)

Периоды опыта		Образованные субстраты, г					
		ацетат	пропионат	бутират	глюкоза	аминокислоты	ВЖК
Сено-сил.-кон., конец лактации, удой 5кг, 40% концентратов		30,9	20,4	11	8,8	21,7	6,9
+ инфузия казеина		29,7	19,6	10,6	8,4	24,7	6,6
+ инфузия ацетата		33,9	19,5	10,6	8,4	20,8	6,6
+ инфузия глюкозы		29,6	19,5	10,6	12,6	20,8	6,6
Сено-сил.-кон.- нетели-30% конц.		31,7	20,2	11,2	8,7	21,1	6,8
+ инфузия казеина		30	19,1	10,6	8,2	25,2	6,5
+ инфузия ацетата		35,7	19	10,5	8,2	19,9	6,4
Сено-сил.-кон. нача- ло лактации, удой 15кг, 48% конц.		30,4	20,7	11,1	9,2	21,6	6,6
+ инфузия ацетата		33,4	19,8	10,7	8,8	20,7	6,4
+ инфузия пропионата		29,2	24	10,7	8,8	20,7	6,4
+ инфузия глюкозы		29,2	19,8	10,7	12,9	20,7	6,4
+ инфузия казеина		29,3	19,9	10,7	8,8	24,5	6,4
+ инфузия казеина + пропионата		28,5	22,1	10,4	8,6	23,8	6,2

Таким образом, на основании проведенных исследований конкретным законченным результатом работы можно считать создание алгоритма расчетов образования субстратов в пищеварительном тракте коров, как на основе прямых опытов, так и по установленным в многочисленных опытах закономерностям переваривания основных питательных веществ. На основе этого возникла реальная возможность проводить определение всего спектра образованных субстратов на типичных рационах со стандартным набором кормов. Правильность расчетов была проверена как по сумме всасывающихся субстратов, так и по СВ.

Таблица 43

Образование субстратов в пищеварительном тракте коров по периодам опытов из кормов рациона и из инфузируемых веществ (% по энергии от суммы всосавшихся субстратов)

Периоды опыта	Образованные субстраты, г					
	ацетат	пропионат	бутират	глюкоза	аминокислоты	ВЖК
Опыт с инфузией субстратов						
Сено-сил.-конц., начало лактации, удой 13кг, 60% концентратов	28,8	20,4	10,6	9,6	23,5	7,0
+ инфузия ВЖК	28,0	19,8	10,2	9,3	22,8	9,7
+ инфузия ацетата	31,0	19,8	10,2	9,3	22,8	6,8
+ инфузия глутамата	28,6	20,2	10,5	9,5	24,1	7,0
+ инфузия смеси аминокислот	28,8	20,4	10,6	9,6	23,5	7,0
Опыт с рационами						
Сено-сил.-конц. начало лактации, удой 15кг, основа- ячмень, 50% концентр.	30,7	20,4	10,8	8,3	22,2	7,5
Основа-кукуруза	30,0	20,1	10,7	8,5	21,9	8,6
Добавка кормового жира	29,2	19,4	10,3	7,9	21,1	12,0
30% концентратов	31,9	20,4	11,0	7,6	21,0	8,1
60% концентратов	29,3	20,5	10,6	8,7	23,5	7,3

Для точного расчета образования и всасывания конечных продуктов переваривания требуется расширенная характеристика кормов не только по химическому составу, но и по доступности их к перевариванию. Результаты этих исследований показали, что состав рациона

оказывает влияние на показатели распадаемости СВ, СП, крахмала и фракций клетчатки в рубце. Предлагается при составлении рационов применять значения показателей распадаемости, полученные на том же типе рациона, который планируется использовать, или вводить поправочные коэффициенты.

Наряду с определением количества и соотношения субстратов, необходимых животным, встают вопросы направленного регулирования их образования. Естественно, главным регулятором должен быть корм. По приведенным данным соотношение субстратов в основном зависит от соотношения грубых и концентрированных кормов в рационе, от переваримости входящих в них питательных веществ. На соотношение ЛЖК оказывает влияние технология кормления – кратность дачи кормов, непрерывное кормление. Существенным регулирующим моментом может быть физическая форма корма – измельчение, гранулирование, брикетирование. Качество протеина и углеводный состав оказывают прямое влияние на уровень и состав субстратов.

Регулирующего эффекта можно добиться и физико-химической предварительной обработкой кормов. Широко известны методы, предотвращающие распад протеина в преджелудках. Добавками, регулирующими процессы в преджелудках и оказывающими влияние на потребление и переваримость кормов, могут быть вещества и не кормовой природы. Сюда можно отнести буферные смеси различного состава, регулирующие рН рубцового содержимого в необходимых пределах.

Литература к главе 4

- Новая протеиновая система оценки и нормирования протеина. Боровск, 1989
- Рекомендации по использованию и нормированию жиров в кормлении сельскохозяйственных животных, М., 1987, 40с.
- Baldwin R.L. Modeling ruminant digestion and metabolism. Charinan & Hall, 1995, London
- Baldwin R.L., France J., Beever D.E., Gill M., Thornley J.H.M. Metabolism of the lactating cow. 3. Properties of mechanistic models suitable for evaluation of energetic relationships and factors involved in the partition of nutrients. J. Dairy Res. - 1987. - V. 54. - P. 133-150
- Clappertone J.L. Effect of concentrates with beef tallow on food intake and milk production of cows fed grass silage. J. Dairy Sci. 66.1032-1038.
- Clappertone J.L., Steele W. 1983. Fat supplementation in animal production-ruminants. Proc. Of Nutr. Soc. 42.343-350.
- Flachowsky G., Kirchgessner M. The energetic feed evaluation in Germany. Arch. Anim. Nutr. - 1998. - V. 51. - P. 111-125
- Gooden J.M. Lascelles A.K. 1973. Effect of dietary protected lipid on the uptake of precursors of milk fat by the bovine mammary gland. Austr. J. m Biolog. Sci. 26.1201-1210.

- Heinrichs A.J. et. al. 1982. Feed intake patterns of cows fed high fat grain mixtures. *J. Dairy Sci.* 65.1325-1328
- Kowalczyk J. Et. Al. 1977 Effect of fat supplementation on voluntary food intake and rumen metabolism in sheep. *Br. J. of Nutr.* 37.251-257.
- Macleod G.K. 1977. Feeding value of protected animal tallow for high yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 60.726-738.
- Mattias W.et. al. Effect of feeding animal fat to dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 65 (Suppl.1), 151.
- Metz S.H.M., Van Den Bergh S.G. 1977. Regulation of fat mobilization in adipose tissue of dairy cows in the period around parturition. *Nether. J. Agr. Sci.* 25.198-211.
- Moore J.H.,, Christie W.W. 1981. Lipid metabolism in the mammary gland of ruminant animals. In: *Lipid metabolism in ruminant animals.* (w.W. Christie, Ed.) pp.227-277. New. York, Pergamon Press.
- Murphy M.R., Baldwin R.L. and Koong LJ. (1982) Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *Journal of Animal Science* 55, 411—421
- Ostergaard V. et. Al. 1981. The effect of dietary lipids on milk production in dairy cows. Copenhagen, beretning fra stations Husdyrbrugs Forsog 508.
- Palmquist D.L. 1981. Metabolite, insulin and growth hormone concentration in blood plasma of cows fed high fat diets for entire lactations. *J. Dairy Sci.* 64 (Suppl),159.
- Palmquist D.L. et. Al. 1978. High fat rations for dairy cows. Effects on feed intake, milk and fat production, and plasma metabolites. *J. of Dairy Sci.* 61.890-901
- Palmquist D.L., Moser E.A. 1981. Dietary fat effect on blood insuline, glucose utilization and milk protein content of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64.1664.1670.
- Rindsing R.B., Schultz L.H. 1974. Effect of feeding lauric acid to lactating cows on milk composition, rumen fermentation, and blood lipids. *J. Dairy Sci.* 57.1414-1418.
- Selner D.R., Schultz L.H. 1980. Effects of feeding oleic acid or hydrogenated vegetable oils to lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 63.1235-1241.
- Smith N.E. et. al. 1978 Effects of feeding protected tallow to dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 61.747-756.
- Storry J.E. et. Al. 1973. The effects of incrising amounts of dietary tallow on milk-fat secretion in the cow. *J. Dairy Res.* 40.293-299.
- Yang Y.T. , Baldwin R.L. 1973 Lipolysis in isolated cow adipose cells. *J. Dairy Sci.* 56.366-374.
- Yang Y.T. et. Al. 1978 Effects of long supplementation with lipids on lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*61.180-188.

5. Экспериментальная проверка эффективности нормирования питания коров с учетом субстратного обеспечения метаболизма

Следующим этапом исследований являлась оценка эффективности нормирования питания лактирующих коров на основе оптимизации рационов по количеству и соотношению конечных продуктов переваривания.

5.1. Экспериментальная проверка эффективности применения новых норм в доступных питательных веществах в условиях вивария

На основании фундаментальных физиолого-биохимических исследований, проведенных во ВНИИФБиП в предыдущие годы, установлено, что для эффективного синтеза компонентов молока требуется определенное соотношение субстратов, поступающих из желудочно-кишечного тракта в метаболический фонд. Было показано, что увеличение доли высших жирных кислот (ВЖК) в составе обменной энергии (ОЭ) приводит к повышению эффективности молокообразования за счет увеличения поступления в секреторные клетки молочной железы готовых предшественников для синтеза молочного жира. В частности, для коров в начале лактации и при продуктивности около 20кг/сут молока оптимальный состав ОЭ с учетом энергетического вклада ацетата, пропионата, бутирата, глюкозы, аминокислот и ВЖК должен быть представлен следующим их соотношением: 30; 18; 10; 8,5; 23,5 и 10%. На основании полученных экспериментальных данных обоснованы оптимальные потребности в основных субстратах у коров для достижения высокой эффективности биоконверсии питательных веществ корма в молочную продукцию.

Главной задачей исследований было оценить в условиях вивария института эффективность нового способа нормирования питания лактирующих коров, заключающегося в оптимизации рационов по количеству и соотношению конечных продуктов переваривания.

Цель исследований: оптимизировать состав обменной энергии и обменного протеина рационов для коров в начале и середине лактации на основе ранее установленных параметров. В задачи исследований входило:- изучить особенности обмена энергии в организме лактирующих коров и определить эффективность использования обменной энергии на производство молока в разные периоды начала лактации при оптимизированном и неоптимизированном составе обменной энергии и обменного протеина; установить поглощение метаболитов углеводно-липидного обмена молочной железой коров в зависимости от сбалансированности рационов в разные фазы лактации (в начальный период, разгар и середине лактации); определить гормональный статус у коров в зависимости от сбалансированности рационов в разные фазы лакта-

ции (в начальный период, разгар и середине лактации) и изучить его связь с продуктивностью животных; определить количественные аспекты всасывания конечных продуктов переваривания кормов у коров в зависимости от сбалансированности рационов в разные фазы лактации (в начальный период, разгар и середине лактации); уточнить потребность коров в незаменимых аминокислотах в зависимости от сбалансированности рационов в разные фазы лактации.

Экспериментальная проработка поставленных задач осуществлялась методом групп-периодов в опытах на половозрелых высокопродуктивных коровах в первые месяцы лактации (30-130 день лактации). Коровы были хирургически подготовлены к опытам путем имплантации лодочки на сонную артерию и канюль на рубец и 12-ти перстную кишку. Во все периоды эксперимента коровы получали рацион с содержанием концентрированных кормов на уровне 55%. Кормление было трехразовым.

Проведено четыре периода опыта на 25-й, 55-й, 85-й и 120-й дни лактации. Образцы крови сонной артерии и молочной вены отбирали пункцией сосудов до кормления, через 3 часа и через 8 после утреннего кормления). Для определения всасывания субстратов из пищеварительного тракта на основном рационе проведен баланс на уровне ЖКТ и 12-ти перстной кишки. Определено поступление из преджелудков СВ, ОВ, микробного и кормового протеина, аммонийного азота, липидов, ВЖК, крахмала, фракций клетчатки и их переваривание в кишечнике.

После отела коровы получали одинаковые рационы (в состав комбикорма входили корма с высокой распадаемостью протеина и крахмала) до 25 дня. В это время был проведен респирационные исследования. В дальнейшем, на основании учета живой массы и суточного удоя коровы были разделены на две группы. Обе группы получали изоэнергетические рационы (табл.44, 45), различающиеся составом комбикормов (табл.46), что обеспечивало разный набор образования конечных продуктов переваривания. Заключительный период (90-120 день лактации) проведен на одинаковых рационах.

Таблица 44

Рационы кормления коров опытной группы

Корма, кг	1 период – 10-25-й-день лактации	2 период – 25-55-й день лактации	3 период – 55-85-й день лактации	4 период – 85-115-й день лактации
Сено	4,5	4,5	4,5	4,5
Силос разнотравный,	15	15	18	21
Патока кормовая	0	1,5	1,5	1,5
Комбикорм	8,4	9,0	9,0	8,4

Таблица 45

Рационы кормления коров контрольной группы

Корма, кг	1 период	2 период	3 период	4 период
	10-25-й день лактации	25-55-й день лактации	55-85-й день лактации	85-115-й день лактации
Сено	4,5	4,5	4,5	4,5
Сенаж разнотравный	15	15	18	21
Патока кормовая	0	1,5	1,5	1,5
Комбикорм	8,4	9,9	10,5	8,4

Таблица 46

Состав комбикормов по периодам опыта (%)

Корма	Периоды опыта							
	Опыт				контроль			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Кукуруза		8,3	18					
Ячмень	40	29	27	45,4	40	40,1	45,4	45,4
Пшеница	18	14,1	14	25,6	18	23,2	25,6	25,6
Отруби пшенич- ные	13,5	6,2	10		13,5			
Соевый шрот		15,3	12	15		10,7	15	15
Кукурузный жмых		17,8				13,4		
Кукурузный глютен		0,83	0,5	0			0	0
Кровяная мука		2,1	8	0			0	0
Рыбная мука			2,0					
Подсолнечный шрот	25	0		10	25	8,9	10	10
Жир		2,1	3	0				
Мочевина		0,83	1,5					
Премикс П-60-3	1	0,83	1	1	1	0,9	1	1
Соль поваренная	1	1,25	1	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5
Трикальций фосфат	1,5	1,25	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5

На 55-й и 8-й5 и 115 дне лактации проведены балансовые опыты, респираторные исследования, отбор проб крови, рубцового и дуоденального содержимого.

Каждая группа коров содержалась на рационах с оптимальным содержанием доступных питательных веществ в рационе (нераспадаемый протеин, фракции клетчатки, распадаемый и нераспадаемый крахмал, липиды) для данной фазы лактации и данного уровня молочной продуктивности (табл. 47, 48). В плазме артериальной крови лактирующих коров определена концентрация гормонов: инсулина, тироксина, трийодтиронина с целью выявления взаимосвязей этих гормонов с потоками метаболитов из желудочно-кишечного тракта при разном со-

отношении у коров. Определяли артерио-венозную разницу метаболитов по молочной железе и эффективность их поглощения (глюкоза, ЛЖК, кетоновые тела, НЭЖК, триацилглицеролы, ВЖК, свободные аминокислоты и мочевины (Методы биохимического анализа, Боровск, 1997).

Таблица 47

Состав рационов по фактической поедаемости (г)

№ ра- цио- нов	СВ (кг)	Зола	Сырая клетчат- ка	Жир	Лигнин	Геми- целлюл.	Целлю- лоза	СП	НДК
1-к	16,5	1253,9	3715,6	436,8	1222,1	3139,8	2973,2	2182,7	7335,2
1-о	16,4	1248,6	3690,6	435,5	1214,5	3125,0	2956,8	2178,8	7296,4
2к	18,9	1033,7	3883,3	614,3	1315,7	3105,5	3030,3	2527,5	7451,5
2о	18,3	1027,1	3878,2	699,9	1347,1	3006,4	2972,5	2477,0	7326,0
3к	19,8	1478,7	4272,9	479,7	1348,2	3486,0	3262,5	2698,7	8096,6
3о	19,1	1321,4	4359,6	780,9	1298,4	3541,7	3250,5	2919,9	8090,6
4к	19,4	1510,3	4539,6	485,1	1473,0	3620,7	3502,2	2555,9	8595,9
4о	19,1	1472,8	4401,2	477,2	1432,1	3554,1	3425,8	2535,9	8411,9

Таблица 48

Содержание питательных веществ по периодам опыта от СВ рационов (%)

№ ра- цио- нов	Зола	Сырая клетчатка	Жир	Лигнин	Гемицел- люл.	Целлюлоза	СП	НДК
1-к	7,6	22,5	2,6	7,4	19,0	18,0	13,2	44,5
1-о	7,6	22,5	2,7	7,4	19,1	18,0	13,3	44,5
2-к	5,5	20,5	3,2	6,9	16,4	16,0	13,4	39,3
2-о	5,6	21,2	3,8	7,4	16,5	16,3	13,5	40,1
3-к	7,5	21,6	2,4	6,8	17,6	16,5	13,6	40,9
3-о	6,9	22,8	4,1	6,8	18,5	17,0	15,3	42,4
4-к	7,8	23,4	2,5	7,6	18,7	18,1	13,2	44,3
4-о	7,7	23,0	2,5	7,5	18,6	17,9	13,3	44,0

Базовый рацион подопытных животных состоял из сена 20%, силоса –30% и концентратов-50% по питательности (табл.49).

Таблица 49

Структура рационов (% от СВ)

Корма	Периоды опыта							
	Опыт				Контроль			
	1	2	3	4	1	2	3	4
грубые корма	55,1	49,8	53,5	57,5	55,1	47,6	49,9	57,5
концентраты	44,9	45,5	42,1	38,2	44,9	47,8	45,9	38,2
патока	0	4,67	4,36	4,2	0	4,46	4,07	4,2

Рационы коров контрольной и опытной группы до 25-го дня лактации были идентичными, в состав комбикорма включали компоненты с высокой доступностью для переваривания в рубце. В результате на 25-й день лактации потребление сухого вещества составило 3,3кг на 100кг живой массы.

В дальнейшем коровы контрольной группы получали рацион согласно норм потребности, разработанных ВНИИФБиП (Физиологические потребности в питательных веществах и нормирование питания молочных коров., Боровск., 2001) . Рацион коров опытной группы был составлен с учетом субстратной характеристики обменной энергии и аминокислотного состава обменного протеина (приложение 1,2). Коровы обеих групп получали одинаковое количество обменного протеина, а в опытной группе валовой и обменной энергии было на 6% меньше. В составе ОЭ рационов опытной группы больше содержалось ВЖК (на 40%), аминокислот и глюкозы (на 3-5%) и меньше ЛЖК на 8%. Это обеспечивало поступление в организм коров, при меньшем содержании комбикорма в рационе (на 10%) одинаковое количество аминокислот и глюкозы (табл.50, 51).

Таблица 50

Образование субстратов в пищеварительном тракте коров по периодам опытов из кормов рациона (г)

Периоды опыта, день лактации	Образованные субстраты, г					
	ацетат	пропионат	бутират	глюкоза	аминокислоты	ВЖК
1 период, 25 –й день	3034,1	1523,0	688,4	601,1	1158,7	331,9
2 период, 55 –й контроль	3579,4	1718,2	820,8	756,3	1709,0	415,6
2 период, 55 –й опыт	3224,2	1550,5	778,4	763,8	1725,5	518,7
3 период, 85 –й контроль	3853,6	1939,3	926,6	872,0	1740,6	349,5
3 период, 85 –й опыт	3288,0	1621,6	774,2	797,6	1741,8	514,0
4 период, 115-й день	3755,2	1811,9	880,2	690,6	1573,4	337,7

Состав обменного протеина у коров опытной группы обеспечивал потребность коров в незаменимых аминокислотах, а в контрольной обеспеченность составляла 80-90%, за счет разного состава комбикормов. Ранее проведенные исследования показали, что увеличение в составе ОЭ энергетической доли ВЖК приводит к повышению эффективности молокообразования. Поэтому рацион коров опытной группы со-

держал на 4,8 МДж ОЭ меньше. На 55-й, 85-й и 115-й день лактации проводили балансовые опыты по изучению переваримости в преджелудках и кишечнике, обмена энергии, определяли поглощение метаболитов крови молочной железой и исследовали гормональный статус. С 85-го по 115-й день лактации коровы обеих групп получали идентичные рационы.

Таблица 51

Образование субстратов в пищеварительном тракте коров по периодам опытов из кормов рациона (% по энергии от суммы всосавшихся субстратов)

Периоды опыта	Образованные субстраты, %					ВЖК
	ацетат	пропионат	бутират	глюкоза	аминокислоты	
1 период, 25 –й день	30,61	21,86	11,85	6,80	19,71	9,17
2 период, 55 –й контроль	29,11	19,89	11,39	6,90	23,45	9,26
2 период, 55 –й опыт	26,99	18,47	11,12	7,17	24,36	11,90
3 период, 85 –й контроль	29,49	21,12	12,10	7,48	22,47	7,33
3 период, 85 –й опыт	27,05	18,98	10,87	7,35	24,17	11,59
4 период, 115	30,81	21,15	12,32	6,35	21,77	7,59

После того как группы коров стали получать различные рационы, молочная продуктивность в опытной группе стала возрастать по сравнению с опытной. На пике молочной продуктивности удой в опытной группе составил $28,9 \pm 0,87$ кг, а в контрольной $27,6 \pm 1,63$ кг (4,7%). На 55-й день разница в продуктивности составила 15,7%, на 85-й-12,5%, на 115-й день при идентичных рационах разница сохранилась (12,5%) и даже на 153-й день (19,6%) в пользу опытной группы (рис.9).

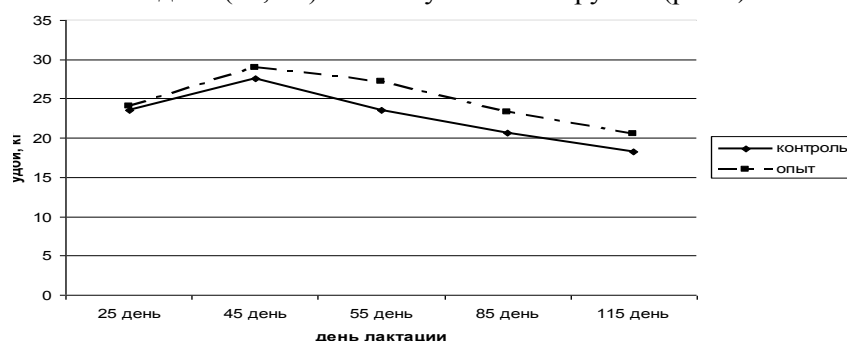


Рис.9. Молочная продуктивность коров в начале лактации.

Коровы контрольной группы в течение двух месяцев лактации теряли по 15 кг живой массы, а затем восстанавливали ее по 0,63кг в сут в течение третьего месяца и по 0,13кг в четвертый. Коровы опытной группы за второй месяц потеряли всего 5,5 кг, а восстанавливали массу по 0,4кг в сут за третий месяц и по 0,06кг за четвертый (рис.10). Таким образом, динамика изменения живой массы коров опытной группы была более сглаженной.

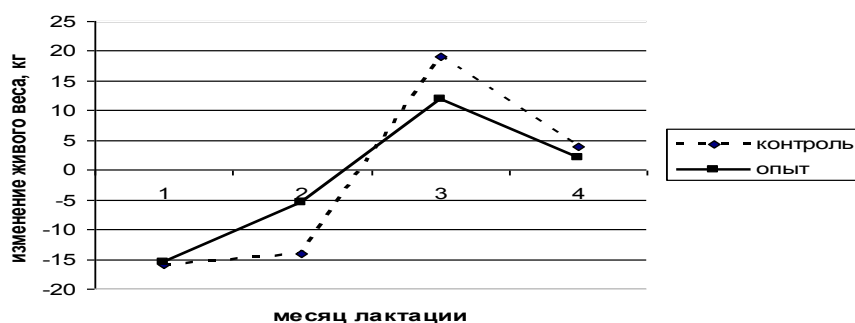


Рис.10 Динамика изменения живого веса коров в опыте

Установлено, что на 55-й день в крови коров обеих групп концентрация инсулина в сыворотке крови коров существенно возрастала, как после первого, так и после второго приема корма (рис.11). Это свидетельствует, что к концу второго месяца лактации наступила активация функциональной активности инсулярного аппарата поджелудочной железы, что оказало влияние на перераспределение потоков метаболитов в инсулинзависимые органы и ткани лактирующих коров. Отмечено также существенное снижение концентрации трийодтиронина в крови коров, что свидетельствует о торможении мобилизации жировых депо. В то же время если у контрольных животных выброс инсулина после приема корма превышал исходный уровень в 2,6 раз, то у опытных – только в 1,38 раза.

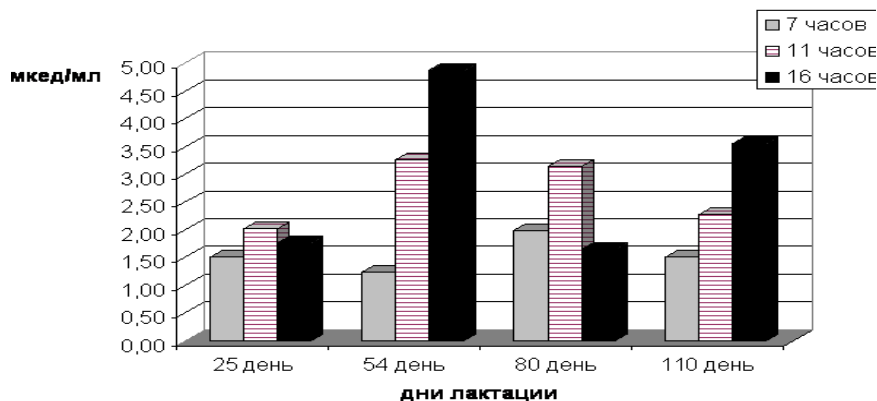


Рис. 11 Динамика концентрации инсулина в сыворотке крови коров

Указанные различия в темпах мобилизации у коров контрольной и опытной групп связаны с разным составом обменной энергии, в основном за счет большей долей ВЖК в опытной группе. В результате в артериальной крови у них всегда наблюдали повышенное содержание триацилглицеролов по сравнению с контрольными животными (рис.12).

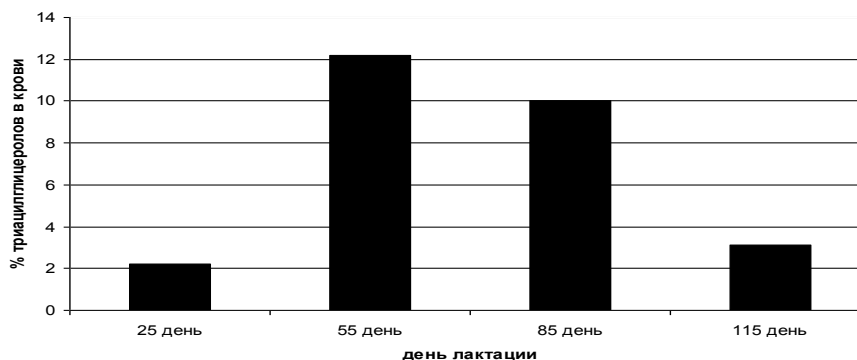


Рис. 12 Процентное отношение среднесуточной артериальной концентрации триацилглицеролов в опытной группе к контрольной.

В предыдущих исследованиях нами показано, что по ходу лактации у коров снижается использование ВЖК в энергетическом обмене и увеличивается доля использования ацетата. В текущих исследованиях отмечена аналогичная закономерность по использованию этих субстратов и молочной железой. По ходу лактации поглощение триацилглице-

ролов и НЭЖК снижается, а ацетата и бутирата увеличивается, в основном за счет изменения эффективности поглощения этих метаболитов.

За счет более равномерной мобилизации жировых депо из организма коров опытной группы, доля незэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) от суммы поглощенных молочной железой липидных компонентов во все периоды лактации была на уровне 25%, в то время как у коров контрольной группы достигала на 55-й день 35%, а к 115-му дню снижалась до 15% (рис.13).

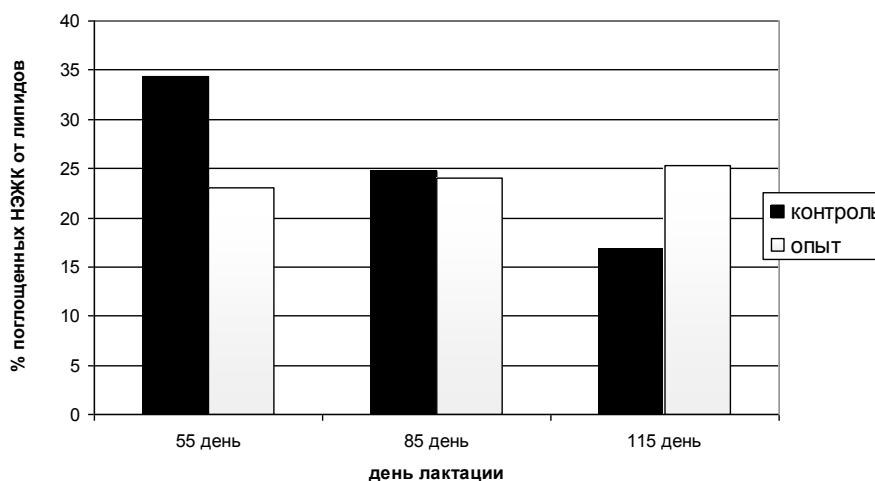


Рис.13 Относительное поглощение НЭЖК молочной железой от суммы поглощенных триацилглицеролов и НЭЖК

При этом жирнокислотный состав молока коров контрольной и опытной групп не различался, т.к. увеличенное поглощение триацилглицеролов молочной железой у коров опытной группы компенсировалось меньшим поступлением НЭЖК и большим выделением липидов с молоком.

Балансовые обменные опыты показали, что в период 85-го дня лактации наблюдалась уже отложение энергии в тканях ($11,6 \pm 0,55$ МДж/сут), при этом также избыток обменного белка шел на отложение в тканях ($63,9 \pm 12,7$). На торможение липолиза и активацию липогенеза указывает повышение дыхательного коэффициента у коров контрольной группы до 0,88 и сохранения у коров опытной группе на уровне первого месяца лактации -0,78.

За счет использования в рационах коров опытной группы белковых кормов с разным набором незаменимых аминокислот в нераспадаемом протеине, в химусе, поступающем в кишечник содержание метионина было выше на 42%, лейцина на 17%, фенилаланина на 17%,

лизина на 24,6%, гистидина на 76,3%, чем у коров контрольной группы (табл.52).

Таблица 52

Содержание незаменимых аминокислот в химусе двенадцатиперстной кишки, % от суммы кислот

Аминокислоты	Предварительный период -25-й день лактации	Контроль 25-85-й день лактации	Опыт 25-85-й день лактации	Заключительный период 85-115-й день лактации
Метионин	1,67	1,97	2,80	2,24
Лейцин	7,94	7,47	8,75	7,60
Фенилаланин	5,38	5,33	6,37	5,47
Лизин	6,60	6,00	7,48	6,13
Гистидин	1,98	1,44	2,54	1,56

В результате этого в составе обменного белка концентрация этих аминокислот была также увеличена – метионина на 32,6%, лейцина на 2,1%, фенилаланина на 13,4%, лизина на 21,4%, гистидина на 74,4% (табл.53).

Таблица 53

Содержание незаменимых аминокислот в составе обменного белка

Аминокислоты	Контроль	Опыт	Норма
Метионин	1,53	2,03	2-2,5
Лейцин	6,94	7,09	7-8
Фенилаланин	5,00	5,67	4,5-5
Лизин	6,21	7,54	6,8-7,5
Гистидин	1,41	2,46	2,2-2,7

При одинаковом поступлении обменного белка среднесуточная концентрация незаменимых аминокислот была выше в цельной крови коров опытной группы (метионина на 13,4; лейцина на 55,5; фенилаланина на 27,7; лизина на 1,3 и гистидина на 51,5%), что и приводило к повышению продукции молочного белка у коров опытной группы за 3 месяца опыта с 25-го по 115-й день лактации на 11,5%, удоя- на 13,4%, молочного жира- на 4,4%, белковомолочности - на -2,6%).

Общая эффективность использования обменной энергии на образование молока в этот период достигала в контрольной группе 46,2%; 41,1% и 36,2%, а в опытной группе 55,4%, 45,4 и 40,6% (рис.14). За счет оптимизации аминокислотного питания эффективность использования азота в опытной группе достоверно возрастала с 40,3 до 52,5% (протеин молока от переваренного протеина корма) на второй месяц лактации, с 38,5 до 41,2 – в третий и с 37,8 до 43,2 в четвертый (рис.15). Следовательно, за счет дополнительной оптимизации рационов, с учетом суб-

стратной обеспеченности энергетического обмена и синтеза компонентов молока, можно повысить эффективность использования обменной энергии и обменного протеина на образование молока, как основной продукции у лактирующих коров. Расход концентратов за время проведения опыта составил в контрольной группе 400г на литр молока, а в опытной 330г/литр. В опытной группе также отмечено большее потребление грубых кормов на 133 г по сухому веществу.

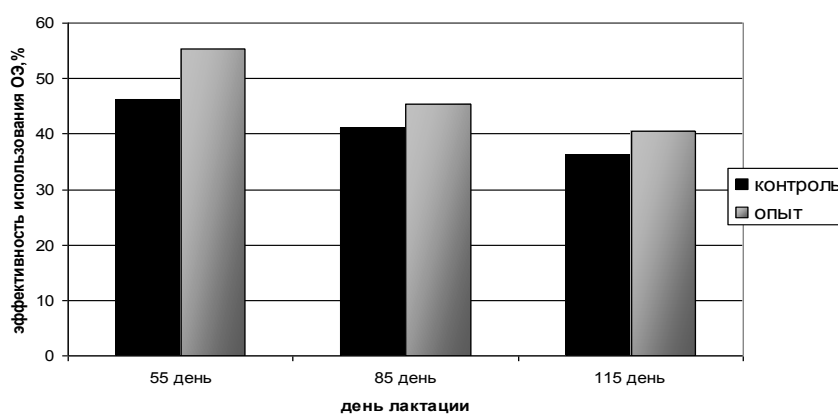


Рис.14 Общая эффективность использования обменной энергии на образование молока

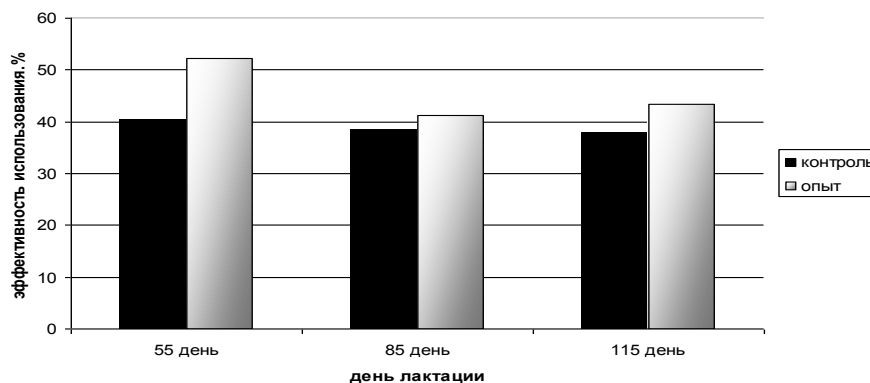


Рис. 15 Эффективность использования переваримого протеина на образование молочного белка.

Проведенная экспериментальная проверка эффективности нормирования питания высокопродуктивных коров с учетом субстратного обеспечения энергетических и продуктивных функций показала, что за счет дополнительной оптимизации рационов можно повысить эффективность использования обменной энергии и обменного протеина на образование молока на 5% и увеличить продуктивность на 10-15%.

5.2. Практическое применение подходов к определению поступления конечных продуктов переваривания при всасывании для оптимизации питания молочного скота в научно-хозяйственных опытах

Для проверки практического использования разработанных нами ряда критериев и подходов при нормировании кормления был проведен научно-хозяйственный опыт в ПХ «Пушкинское» Нижегородской области на двух группах коров черно-пестрой голштинизированной породы, по 10 голов. Коровы были подобраны в группы по принципу парных аналогов: по молочной продуктивности за предыдущую лактацию, по живой массе, по срокам отела. Учет молочной продуктивности коров проводили через каждые 10 дней. Опыт проводился с 30-го по 80-й день лактации.

На основе анализа кормов, рациона и молочной продуктивности и состава молока были определены параметры питания, нуждающиеся в оптимизации. Ставилась задача увеличить обеспеченность организма коров глюкозой, аминокислотами, высшими жирными кислотами и витамином А. С этой целью были введены комплексные кормовые добавки в состав комбикорма и премикса. Для коров опытной группы часть ячменя и подсолнечного жмыха в составе комбикорма была заменена на кукурузу, кукурузный глютен, кровяную муку и говяжий жир. В составе премикса витаминный препарат Микровит А 500 был заменен на препарат микровит-супра 1000 по активности. При этом кукурузное зерно вводили для обеспечения поступления в кишечник 1000-1200 г крахмала, липиды в составе рациона доводили до 4% для обеспечения за счет липидов корма вместо 60-70% синтеза молочного жира, белковые добавки (кровяную муку и кукурузный глютен) - для обеспечения дополнительного поступления 180г обменного протеина (табл. 54).

Таблица 54

Исходные данные для оптимизации рационов

Показатели	Контроль	Опыт
% липидов корма от молочного жира	60	70
Поступление крахмала в кишечник, г	700	1100
Поступление обменного белка, г	1730	1910

Во время опыта коровы всех групп получали изопротеиноновые рационы, согласно молочной продуктивности (табл. 55, 56). Однако в опытной группе был снижен уровень распадаемого протеина, за счет подбора компонентов комбикорма и был увеличено содержание нераспадаемого протеина. За счет включения более энергоемких добавок в комбикорм возросло и содержание обменной энергии в рационах опытной группы.

Таблица 55

Рационы кормления лактирующих коров в контрольной группе

Показатели	Ед. изм	Суточный удой, кг		
		30	35,0	40
Сено козлятник-овсяница	кг	2,0	2,0	2,0
Солома ячменная	кг	4	4	4
Силос кукурузный-	кг	20,0	20,0	20,0
Комбикорм	кг	11,5	13,25	15
Свекла кормовая.	кг	12,0	14,0	16,0
Патока свекольная	кг	1,5	2	2
Итого	кг	53,0	57,2	61,0
В рационе содержится				
ОЭ	МДж	205,3	228,0	245,8
СВ	кг	21,3	23,5	25,4
СП	г	2783	3159	3486
РП	г	2043	2308	2535
СК	г	3950	4079	4209
Крахмал	г	4448	5096	5745
Сахар	г	2022	2461	2661
Сырой жир	г	631	708	786
Витамин А	тыс МЕ	172	198	220

Таблица 56

Рационы кормления лактирующих коров в опытной группе

Показатели	Ед. изм	Суточный удой, кг		
		30	35,0	40
Сено козлятниково-овсяница	кг	2,0	2,0	2,0
Солома ячменная	кг	4	4	4
Силос кукурузный-	кг	20,0	20,0	20,0
Комбикорм	кг	11,5	13,25	15
Свекла кормовая.	кг	12,0	14,0	16,0
Патока свекольная	кг	1,5	2	2
Итого	кг	53,0	57,2	61,0
В рационе содержится				
ОЭ	МДж	210,3	233,8	252,5
СВ	кг	21,3	23,6	25,4
СП	г	2785	3162	3484
РП	г	1773	1993	2174
СК	г	3893	4012	4132
Крахмал	г	4646	5328	6009
Сахар	г	2023	2462	2661
Сырой жир	г	845	958	1071
Витамин А	тыс. МЕ	172	198	220

Грубые корма раздавались в виде кормосмеси два раза в сутки, свекла, патока и концентраты - 6 раз в сутки, с равными интервалами. В конце опыта у коров с помощью пищеводного зонда были отобраны пробы рубцового содержимого, и взята кровь из яремной вены.

Анализ рубцового содержимого показал, что частая раздача концентратов поддерживала уровень рН рубцового содержимого на оптимальном уровне для деятельности микрофлоры (табл. 57). При

этом наблюдалось и нормальное количество инфузорий. В то же время из-за относительно невысокого содержания СП в рационе -13%, уровень аммиака в рубце не был оптимальным для синтетической деятельности рубцовой микрофлоры. Но разницы между группами отмечено не было и можно предполагать, что в обеих группах у животных микробный синтез в рубце шел с одинаковой эффективностью.

Таблица 57

Показатели рубцовой ферментации в рубце у коров

Показатели	Контроль	Опыт
pH	6,6±0,05	6,6±0,11
Аммиак, мг%	7,3±0,61	6,5±1,33
ЛЖК, ммоль/100мл	12,2±0,37	12,1±0,5
C ₂	63,4±0,76	64,3±1,29
C ₃	24,2±0,89	25,3±1,51
C ₄	12,4±0,63	10,7±0,81
Общее кол-во бактерий, млрд/мл	8,9±0,88	9,9±0,58
Число инфузорий, тыс/мл	210±2,8	210±60,4
Амилолитическая активность, ед/мл	57,1±4,02	60,5±1,35
Целлюлозолитическая активность, %	10,46±1,5	9,7±1,10

В результате оптимизации рационов у коров опытной группы произошло увеличение молочной продуктивности (табл.58, рис.16) на 6,5% за весь период опыта. Более значительно возросла в опытной группе продукция молочного жира –на 15% и белка на 11%. Разница в продукции молочного белка между группами составила 105г вместо расчетных 130г. При этом также отмечалось увеличение выделения с молоком витамина А – на 15%.

Таблица 58

Показатели продуктивности и состава молока подопытных коров за 50 дней опыта

Показатели	Контроль	Опыт
День лактации на начало опыта	29,8±2,94	31,6±2,63
Удой на начало опыта, кг	31,2±1,22	30,15±1,24
Жир, %	3,49±0,14	3,68±0,15
Белок, %	3,07±0,053	3,1±0,68
Максимальный удой, кг	33,6±1,23	35,6±1,09
Удой в среднем за опыт, кг	30,5±1,13	32,48±1,20
Последняя дойка	27,8±1,29	31,1±1,21*
Жир, %	3,4±0,08	3,68±0,17
Продукция жира, г	1037±1,43	1195±1,58*
Белок молока, %	3,1±0,039	3,23±0,07
Продукция белка, г	945,5±1,12	1049±1,07*
Витамин А, мкг/мл	0,25±0,017	0,27±0,012
Продукция вит. А, мг	7,62±0,186	8,76±0,171*

*Достоверность различий между группами определена по методу парных сравнений.

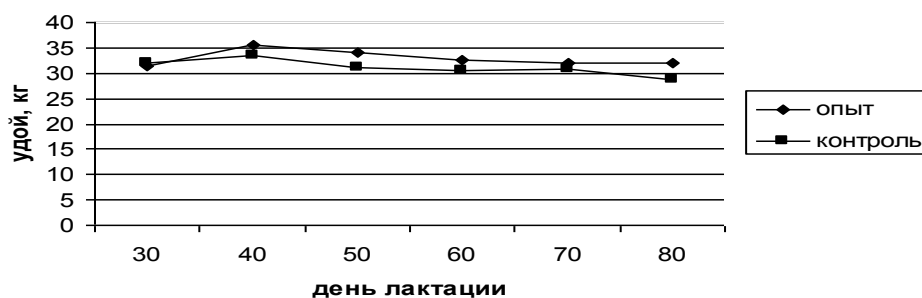


Рис.16 Динамика молочной продуктивности

По 4 парам учетных животных продукция витамина А выросла на 25%, удой -14%, производство молочного белка на 13,45%, энергия удоя – на 12,3%. В опытной группе величина отрицательного баланса составила -13,4МДж в контрольной группе -23 МДж. На конец опыта (80-й день лактации) в опытной группе было уже осеменено 7 коров, а в контрольной только 2.

При анализе метаболитов крови отмечено (табл.59) более низкая концентрация в крови коров опытной группы мочевины и неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК).

Таблица 59

Показатели крови коров во время опыта

Показатели	Контроль	Опыт
Триацилглицеролы, мг%	34,1±1,18	41,7±1,44*
НЭЖК, мг%	24,8±1,11	15,6±1,56*
Кетоновые тела, мг%	4,2±0,66	5,0±0,77
Глюкоза, мг%	42,1±0,63	38,9±1,98
α-токоферол, г/мл	5,4±0,31	5,4±0,47
Ретинол, мкг/мл	0,29±0,019	0,28±0,023
Мочевина, мг%	12,4±0,93	9,5±0,63*
Свободные аминокислоты, мг %	15,5±1,26	17,5±1,41

Оптимизация питания по критериям субстратной обеспеченности метаболизма в условиях колхоза им. Ленина Жуковского района Калужской области, в стаде с уровнем молочной продуктивности бтыс. кг молока в год, также показала высокую эффективность разработанных новых норм (рис.17).

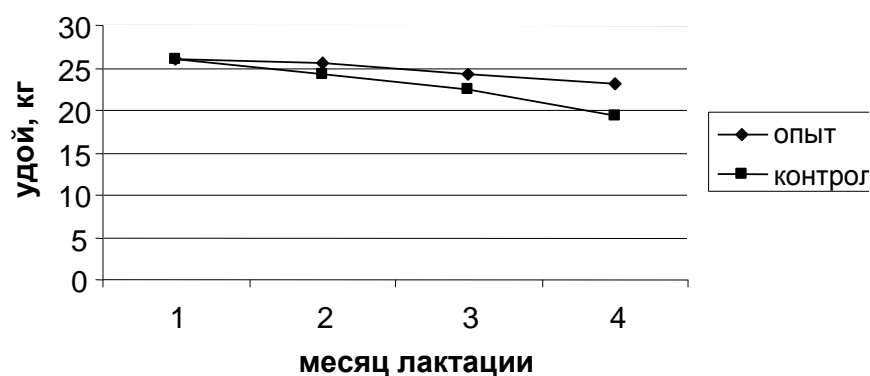


Рис. 17 Динамика суточных удоев

Опыт, проведенный в условиях ОПХ «Ермолино» Боровского района Калужской области на коровах с годовой продуктивностью 4 тыс. кг молока, показал, что оптимизация питания таких коров по дополнительным критериям субстратной обеспеченности метаболизма оказывается эффективным и для коров со средним уровнем продуктивности (рис.18).

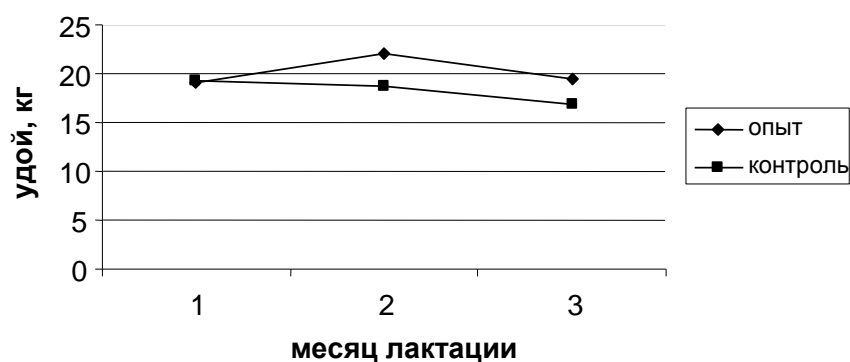


Рис. 18. Динамика суточных удоев

Таким образом, проведенные опыты показали, что определение доступности питательных веществ кормов к усвоению или перевариванию позволяет прогнозировать продуктивный эффект, вести обоснованную оптимизацию рационов и устанавливать нормы с учетом этого показателя.

Литература к главе 5

Методы биохимического анализа (Справочное пособие). Под ред. Кальницкого Б.Д., Боровск, 1997.,356 с.

Физиологические потребности в питательных веществах и нормирование питания молочных коров., (справочное пособие), Боровск., 2001., 120с.

6. Заключение

Развитие теории кормления жвачных в последние годы базировалось на новых данных, полученных в физиологических экспериментах по количественной оценке конверсии компонентов кормов в преджелудках, последующего поступления продуктов всасывания в метаболический фонд и использования субстратов на биосинтез компонентов молока и теплопродукцию.

Установлены фундаментальные закономерности превращения питательных веществ корма в преджелудках и кишечнике в конечные продукты переваривания и на их основе начаты исследования по системному моделированию биоценоза рубца. Разработанная первая версия модели позволяет вести прогнозирование образования конечных продуктов переваривания на всех типичных рационах для крупного рогатого скота. Практическое значение разработки состоит в том, что она дает основу для более эффективной оценки питательной ценности рациона и прогноза потоков всасывающихся субстратов, необходимого для оптимизации питания высокопродуктивного скота, в том числе для обоснования способов направленной регуляции образования и соотношения всасывающихся субстратов, оказывающего влияние на качество получаемой продукции и на клинико-физиологическое состояние животного. Разработанная система оценки рационов в настоящее время может использоваться на практике для более точной оценки содержания обменной энергии в кормах в рамках существующей детализированной системы нормированного питания жвачных.

Выявлены закономерности использования субстратов стенкой пищеварительного тракта, печенью и молочной железой, а также определены факторы, влияющие на соотношение окисляющихся субстратов. Проведенные исследования позволяют сделать заключение, что кормление животных, адекватное их физиологическим потребностям, возможно лишь на основе прогнозирования не только количества обменной энергии и азотистого эквивалента, но и поступления основных субстратов и незаменимых факторов питания, лимитирующих процессы биосинтеза в организме.

При установке потребности животных в пластических и энергетических субстратах применяли следующие принципы установления норм:

1. Учет минимальных потребностей в энергетических и пластических субстратах для синтеза компонентов молока на основе биохимических соотношений (стехиометрия б/х реакций).
2. Учет метаболических превращений субстратов в организме (глюконеогенез, кетогенез, липогенез и липолиз в жировой ткани, переаминирование, распад и синтез белка).

3. Учет использования субстратов в энергетическом обмене в зависимости от стадии лактации.

4. Учет гормонального статуса коров в зависимости от стадии лактации.

5. Учет особенностей преджелудочного и кишечного пищеварения (распад протеина, крахмала, фракций клетчатки, липидов, микробный синтез, переваривание белков, углеводов и липидов в кишечнике).

6. Учет зависимости парциальной эффективности молокообразования (ЭУ/ОЭ-ТП) от состава обменной энергии

7. Учет эффективности синтеза молочного белка

8. Учет породных особенностей

Для применения полученных результатов в практике кормления учитывали следующие критерии для выбора нормируемых показателей:

- Физиолого-биохимическая необходимость и важность нормируемого параметра;

- Установленная связь показателя с продуктивными и др. качествами;

- Наличие проверенной системы анализа нового показателя;

- Первичный банк данных кормов с необходимыми показателями;

- Система адаптации табличных показателей к конкретным условиям;

- Возможность практического использования (доходчивость и т. д.);

- Стимул для повышения производства (связь поле – агроном, кормушка-зоотехник, продукция, прибыль, рентабельность);

- Унификация всех показателей;

- Восприимчивость показателя к новым данным (в блоке установления потребности и в блоке оценки рациона);

При оптимизации рационов согласно установленным нормам решали следующие задачи:

1. Обеспечение потребности в основных питательных веществах (нутриентах, субстратов, конечных продуктов переваривания) с учетом стадии лактации, живой массы, упитанности, уровня молочной продуктивности и состава молока;

2. Снижение темпов мобилизации жировых депо;

3. Увеличение эффективности использования обменной энергии;

4. Увеличение эффективности использования обменного белка;

5. Снижение темпов падения кривой лактации;

6. Поддержание микробного синтеза в рубце, уровня потребления корма, переваривания клетчатки;

7. Поддержание или увеличение белкомолочности;

8. Поддержание нормального жирнокислотного состава молока.

Материалы по развитию теории и практики кормления, адекватного физиологическим потребностям разных генотипов животных опубликованы

ликованы в трудах ВНИИФБиП, материалах совещаний (ВНИИФБиП, Боровск, 1998; 1999), в журналах Зоотехния (№ 2, 6, 10, 1998 г.), Вестник РАСХН (№1, 2000 г.), в материалах международного симпозиума “Energetic Feed Evaluation and Regulation of the Nutrient and Energy Metabolism in Farm Animals (Rostock, Germany, 1998), в журнале Journal of Dairy Research (Cambridge, 2000, 67). По результатам исследований ВНИИФБиП, ВИЖ, ВИК и Северо-Кавказского НИИЖ подготовлены и изданы рекомендации по нормированию “Протеиновое питание молочных коров” (Боровск, 1998), которые являются составной частью новой системы питания жвачных животных.

Выполнены фундаментальные физиолого-биохимические эксперименты по изучению образования субстратов в пищеварительном тракте и их использования в энергетическом обмене и при синтезе компонентов молока в молочной железе. На их основе обоснованы и разработаны нормы оптимальных потребностей молочных коров в основных субстратах и ряде незаменимых аминокислот для достижения высокой эффективности биоконверсии питательных веществ корма в молочную продукцию.

Проведенная экспериментальная проверка эффективности нормирования питания высокопродуктивных коров с учетом субстратного обеспечения энергетических и продуктивных функций показала, что за счет дополнительной оптимизации рационов можно повысить эффективность использования обменной энергии и обменного протеина на образование молока на 5% и увеличить продуктивность на 10-15%.

Несмотря на обширный экспериментальный материал по вопросам физиологии и биохимии питания жвачных животных, для полной реализации субстратного принципа оптимизации рационов необходимы дальнейшие исследования по целому ряду вопросов. Необходимо углубить теорию в направлении моделирования баланса основных энергетических и пластических субстратов и метаболитов на уровне органов и тканей. Недостаточно исследований по изучению вопроса о возможности целенаправленной регуляции образования количества и соотношения отдельных субстратов в пищеварительном тракте и межклеточном обмене с тем, чтобы кормовыми, химическими и биологическими факторами изменить и корректировать направленность превращений и переваривание питательных веществ корма и соответственно - конверсию субстратов в продукцию животноводства нужного качества.

- Задачи дальнейших исследований
- 1. Расширение банка данных кормов с учетом доступности питательных веществ к перевариванию
- 2. Поиск регуляторных факторов управления наработкой конечных продуктов переваривания
- 3. Изучение особенностей метаболизма голштинизированного молочного скота.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Нормы потребности в обменных аминокислотах для высокопродуктивных лактирующих коров

Аминокислоты	% от обменного белка
Метионин	2,0
Лейцин	6,8
Фенилаланин	4,3
Лизин	7,6
Гистидин	2,6

Нормы кормления лактирующих коров, г

ЖМ, кг	Удой, кг/сут	Распа- даемый СП	Перев нерасп. СП	Метионин, доступный кормовой	Лизин, доступ- ный кормо- вой	Гисти- дин, доступ- ный кормо- вой	Перевари- мые гемицел- люло- зы+целлю- лоза	Распа- даемый крахмал	Перевари- мый крах- мал	Общий сахар	Пере- варимый жир корма
	20	1382,8	565,0	8,2	34,5	14,5	3538,9	1521,3	400,4	894,2	530,2
	25	1652,6	674,8	9,5	38,9	17,0	3885,6	2066,9	635,7	1091,2	611,1
500	30	1837,6	794,1	11,9	47,8	20,8	3945,3	2475,9	841,0	1523,3	717,3
600	20	1512,8	548,1	7,6	32,8	14,0	3827,8	1758,8	426,9	895,2	515,1
	25	1693,3	668,6	9,5	39,7	17,2	3980,8	2129,1	590,0	1348,2	578,3
	30	1956,6	793,9	11,0	45,3	20,0	4175,4	2542,6	787,1	1865,6	645,9
	35	2157,3	958,5	13,7	54,7	24,0	4250,4	3066,4	850,2	2030,5	709,0
	40	2356,1	1050,2	16,8	66,0	28,4	4094,9	3441,7	898,0	2090,6	875,2
700	20	1631,1	513,0	6,7	30,5	13,3	4099,3	1789,7	407,5	1244,7	534,9
	25	1815,9	695,4	10,0	42,2	17,8	3985,4	2252,3	600,7	1349,6	642,3
	30	1906,2	862,5	12,9	52,6	22,0	4179,2	2763,0	768,3	1786,7	785,0
	35	2256,1	938,7	13,6	55,1	24,0	4569,2	2851,6	816,1	2013,7	806,1
	40	2482,1	1074,3	15,4	61,5	27,1	4793,2	3404,4	897,8	2172,2	906,3
	45	2572,8	1252,0	17,9	66,1	31,6	4721,3	3974,0	953,2	2316,8	1037,3

Характеристика кормов по их доступности к перевариванию (г/кгСВ корма)

Корма	Распадаемый СП	Перевне-расп. СП	Метионин, доступный кормовой	Лизин, доступный кормовой	Гистидин, доступный кормовой	Переваримые гемицеллюлозы+целлюлозы	Распадаемый крахмал	Переваримый крахмал	Общий сахар	Переваримый жир корма
Соевый шрот	186,4	246,3	3,5	17,8	6,8	18,9	10,5	8,0	92,0	39,2
Подсолнечный шрот	315,3	70,2	1,3	5,8	3,6	16,4	15,8	12,0	76,0	40,5
Кукурузный глютен (64%СП)	84,3	401,8	5,2	4,7	5,7	0,8	0,0	0,0	20,0	45,0
Кровяная мука	315,0	420,3	6,4	41,8	21,3	0,0	0,0	0,0	40,0	60,0
Обработанный подс. шрот	70,8	219,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	30,0
Кукуруза	35,0	45,0	0,6	1,0	1,0	163,2	324,0	174,9	38,2	41,2
Ячмень	60,7	38,7	0,2	1,2	0,6	161,6	366,1	105,6	38,2	40,5
Пшеница	80,0	25,0	0,1	1,0	0,3	105,3	366,1	105,3	38,2	39,5
Отруби	96,8	44,1	0,3	1,5	0,5	57,0	169,8	48,1	55,0	39,7
Рыбная мука	221,0	386,1	9,8	32,2	-	0,0	0,0	0,0	5,0	80,0
Глютеиновый корм	146,8	82,6	2,0	7,1	-	0,0	0,0	0,0	32,0	42,0
Соевый шрот нетост	256,1	167,9	2,3	12,1	-	0,0	0,0	0,0	81,0	3,0
Свекловичный жом	77,4	12,6	-	-	-	1203,0	0,0	2,0	117,0	5,5
Овес	62,6	13,7	-	-	-	0,0	0,0	0,0	42,0	25,0
Силос-разнотр -1 класс	66,0	24,2	0,9	9,4	0,0	1707,3	15,7	3,0	2,5	16,7
Сено-разнотр. -1 класс	49,5	24,3	1,4	2,2	0,4	878,7	15,2	2,9	75,0	20,0
Патока кормовая	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	800,0	0,0
Жир	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	900,0
Мочевина	2916,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ячмень-экструд.	60,7	38,7	0,2	1,2	0,6	161,6	385,2	86,5	38,2	40,5
Пшеница-экструдированная	80,0	25,0	0,1	1,0	0,3	105,3	385,2	86,2	38,2	39,5
СмартаминМ			650							

**Нормы потребности коров в энергетических субстратах
(живая масса коров 500-550 кг; суточный удой до 25 кг; жир – 3.8 %).**

Показатели	Месяцы лактации										Сухостой	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
Теплопродукция, МДж	72	75	80	83	88	90	90	88	86	84	80	95
Суточный удой, кг	22	25	23	21	19	16	14	12	10	8	-	-
Субстраты, г												
Ацетат и глюкоза	1152	1700	2665	3595	3930	4200	4200	4107	4015	3864	3680	4170
ВЖК и кетоновые тела	1138	987	736	438	416	355	355	347	340	332	272	412
Аминокислоты	640	668	667	692	733	750	750	733	717	745	710	870

**Нормы потребности коров в энергетических субстратах
(живая масса коров 600-650 кг; суточный удой до 35 кг; жир – 3.8 %).**

Показатели	Месяцы лактации										Сухостой	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
Теплопродукция, МДж	84	90	99	107	108	105	103	100	89	83	90	95
Суточный удой, кг	30	35	30	27	24	22	20	17	13	10	-	-
Субстраты, г												
Ацетат и глюкоза	1120	1860	2706	3710	4248	4480	4530	4467	3975	3707	4020	4180
ВЖК и кетоновые тела	1370	1232	1094	901	710	553	488	447	398	371	403	325
Аминокислоты	840	850	935	951	960	933	915	889	791	738	800	897

Физиологические потребности в энергетических и пластических субстратах и нормирование питания молочных коров с учетом доступности питательных веществ (справочное руководство)

Утверждено к печати Ученым советом ВНИИ физиологии, биохимии и питания с.-х. животных.

Компьютерная верстка
Полиграфическое исполнение

Л.Л. Полякова
А.В. Бочаров

Издательство ВНИИ физиологии, биохимии и питания
сельскохозяйственных животных. Тираж 100 экз.

249013 Калужская обл., г. Боровск. ВНИИФБиП с.-х. животных
тел. 996-34-15