
УДК 636.2.034.084.523:577.121.7

НОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Агафонов В.И.

Институт физиологии, биохимии и питания с.-х. животных, Боровск, Россия

Традиционные подходы к оценке питания животных на основе респирационных и балансовых опытов широко используются в Германии, Франции, Нидерландах, Великобритании, США и других странах. Одновременно ведутся интенсивные разработки новых направлений в нормировании энергетического, протеинового, углеводного, липидного, минерального и витаминного питания, с учётом доступности энергии и питательных веществ для животных (ОЭ, ARC, INRA, NEF, NRC).

Для создания принципиально новой системы нормированного питания высокопродуктивного молочного скота, основанной на оценке потребности в субстратах и субстратной оценке рационов, в ряде стран (Дания, Норвегия, Швеция, Германия, США, Россия и др.) проведены поисковые исследования и сделаны попытки создания коммерческих программ, исходя из предполагаемой потребности животных в субстратах (ARC, 1988; INRA, 1989; NRC, 1978, 1988; The Cornell..., 1990; Riis, 1990; Sporndli, 1990). Естественно, такой подход к решению сложной проблемы не может сразу дать ожидаемых результатов, так как в настоящее время очень мало экспериментальных данных по изучению механизмов субстратного лимитирования молокообразования. Необходимы фундаментальные знания для оценки функционирования целостной системы использования субстратов в животном организме (Агафонов, 1995, 2001, 2002). В системах, основанных на чистой энергии продукции, нельзя учесть разделение субстратных потоков на энергетические и продуктивные потребности, так как в них не учитываются затраты энергии на биосинтез продукции, а поддержание трактуется единым показателем, без подразделения затрат на функции и обновление тканевых структур. Последнее также относится к биосинтезу, а высокая его эффективность связана с использованием деградируемых молекул в качестве энергетического материала (NRC, 1988).

В наших исследованиях в качестве исходной предпосылки принимались основные положения системы обменной энергии, разработанной в РФ и включающей определение всех тканевых энергетических затрат в животном организме, необходимых на поддержание физиологических функций и на биосинтез компонентов продукции: [ОЭ = ТП + Э прод.]. Дальнейшее совершенствование системы обменной энергии проводили исходя из концепции субстратной обеспеченности продуктивных функций. За последние 5 лет усовершенствованы методы определения общих тканевых энергетических затрат путем учёта количественного использования основных групп субстратов в качестве источников энергии (Агафонов и др., 2001-2005 гг.).

Установлено, что использование аминокислот в энергетическом обмене коров поддерживается на стабильном уровне: 15-18% от суточной теплопродукции при сбалансированном питании, обеспечивающем средний и высокий уровни мо-

лочной продуктивности (от 25 до 35 кг/сутки). На этом фоне наблюдаются существенные колебания в использовании ацетата и высокомолекулярных жирных кислот в энергетическом обмене по месяцам лактации. В начале лактации в качестве источников энергии в тканевом обмене используются преимущественно высокомолекулярные жирные кислоты - до 60% от величины суточной теплопродукции. Обратная закономерность отмечена в использовании ацетата и углеводов: от 20-24% в первый месяц лактации и до 70% - на шестом месяце лактации и далее (рис.1), что объясняется увеличением потребности в ацетате на синтез жира молока и в глюкозе на синтез лактозы.

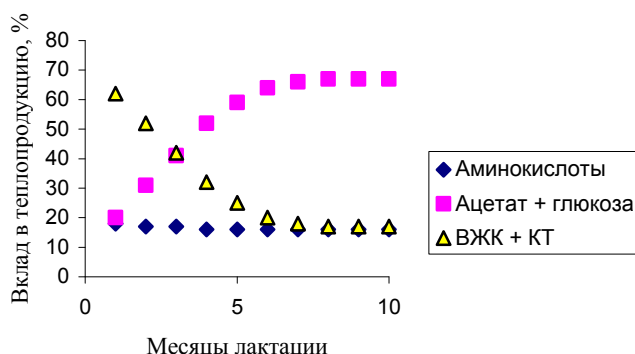


Рис. 1. Использование субстратов в энергетическом обмене у коров по месяцам лактации. По оси ординат – процентный вклад основных групп субстратов в теплопродукцию.

Объективными показателями особенностей энергетического обмена в целом организме является лёгочный газообмен в параметрах объема лёгочной вентиляции, поглощения кислорода и выделения углекислого газа за единицу времени (л/минуту; л/час; л/сутки). Особое внимание уделяется расчёту соотношения выделенного углекислого газа к поглощённому кислороду, так называемого дыхательного коэффициента (ДК), отражающего затраты кислорода, необходимые на окисление углерода и водорода в данных субстратах при условиях их биологического окисления до CO_2 и H_2O . Дыхательный коэффициент варьирует от 0,7 при преимущественном окислении высокомолекулярных жирных кислот и до 1,0 – при преимущественном окислении ацетата и глюкозы. Таким образом, по значению дыхательного коэффициента можно определить количественное использование субстратов в энергетическом обмене. Показатели дыхательного коэффициента у лактирующих коров позволяют по-новому оценить лимитирующие факторы энергетического обмена по месяцам лактации (рис. 2).

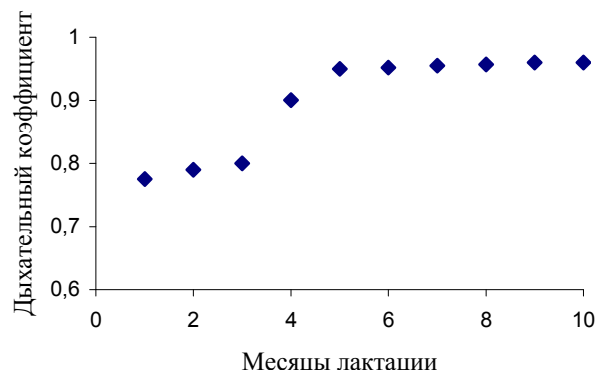


Рис. 2. Динамика дыхательного коэффициента (CO_2/O_2) в ходе лактации у коров

Принято считать, что мобилизация резервного жира у новотельных коров связана с потребностью в неэтерифицированных жирных кислотах на синтез жира молока (Овчаренко, 1990, 1991). В наших исследованиях установлено, что в первые 2-3 месяца лактации мобилизация резервного жира обеспечивает не только синтез жира молока, но и энергетический обмен, причём более длительный срок – до 4 месяцев лактации. Начиная с 4-го месяца лактации в энергетическом обмене используются липиды в количестве, сбалансированном с поступлением их с кормом, а после 6 месяцев лактации их использование снижается до 20-15% от величины суточной теплопродукции, а в качестве основного источника энергии используется ацетат.

Установленные закономерности по динамике использования субстратов (ацетата, глюкозы, ВЖК, аминокислот) энергетического обмена у коров по месяцам и фазам лактации были использованы для разработки норм потребности лактирующих коров в этих субстратах (табл. 1, 2).

В последующих исследованиях была изучена возможность регулирования поступления в тканевой обмен основных субстратов, доступных для усвоения. С целью определения обеспеченности энергетического обмена кормовыми факторами была использована методика инфузии высокомолекулярных жирных кислот, глюкозы и казеина в двенадцатиперстную кишку. Установлено, что инфузия указанных субстратов в количестве соответствующем 5% от обменной энергии рациона, сопровождается увеличением их использования в энергетическом обмене. Эффективность инфузии каждого субстрата связана с преимущественным влиянием его на молочную продуктивность или на энергетический обмен.

Инфузии ацетата в рубец приводили к оптимизации дыхательного коэффициента у коров при незначительном снижении уровня теплопродукции, на фоне повышения молочной продуктивности и калорийности 1 кг молока (табл. 3).

Инфузии высокомолекулярных жирных кислот коровам в двенадцатиперстную кишку сопровождалась существенным снижением уровня суточной теплопродукции на фоне увеличения суточного удоя ($P < 0.05$) и его калорийности. Дыхательный коэффициент при этом снижался. Результаты данного опыта по изучению влияния ВЖК сопоставимы с начальным периодом лактации, когда в энергетическом обмене у коров используются резервные источники энергии.

Таблица 1. Нормы потребности коров в энергетических субстратах (живая масса 500-550 кг; удой – до 25 кг/сут; жирность молока – 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	95	86	84	80	95
Субстраты, г:												
ацетат и глюкоза	1152	1700	2665	3595	3930	4200	4200	4170	4015	3864	3680	4170
высшие жирные кислоты и кетоновые тела	1138	987	736	438	416	355	355	347	340	332	272	412
аминокислоты и другие азотсодержащие вещества	640	668	667	592	733	750	750	733	717	745	710	870
Суточный удой, кг	22	25	23	21	19	16	14	12	10	8	-	-

Таблица 2. Нормы потребности коров в энергетических субстратах (живая масса 600-650 кг; удой – до 35 кг/сут; жирность молока – 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
Субстраты, г:												
ацетат и глюкоза	1120	1860	2706	3710	4248	4480	4530	4467	3975	3707	4020	4180
высшие жирные кислоты и кетоновые тела	1370	1232	1094	901	710	553	488	447	398	371	403	425
аминокислоты и другие азотсодержащие вещества	840	850	935	951	960	933	915	889	791	738	800	897
Суточный удой, кг	30	35	30	27	24	22	20	17	13	10	-	-

Таблица 3. Влияние инфузии субстратов на структуру обменной энергии (% по калорическим эквивалентам, коровы в период 40-90 дней лактации)

Субстраты	Основной рацион	Инфузии			
		ацетат	ВЖК	казеин	казеин + пропионат
Ацетат	33,45	38,51	35,12	33,78	32,75
Пропионат	17,85	17,01	12,68	17,01	17,53
Бутират	10,19	10,39	12,77	10,39	10,08
Сумма аминокислот	16,20	15,43	18,42	20,16	19,54
Сумма ВЖК	10,50	10,00	15,76	10,00	9,70
Глюкоза	9,09	8,66	5,25	8,66	8,40
Итого	100,00	100,00	100,0	100,00	100,00

Таблица 4. Эффективность использования обменной энергии на синтез молока

Условия проведения опытов	Процентное отношение продукции и энергии удоя	Эффективность синтеза молока, %
		$\text{Э удоя} \times 100 / (\text{ОЭ} - \text{Э подд})$
Основной рацион (ОР)	57,2 : 42,8	62,57
ОР – 95% + инфузия ацетата – 5%	55,6 : 44,4	65,00
ОР – 95% + инфузия ВЖК – 5%	53,8 : 46,2	68,63

Известно, что эффективность использования резервного жира у коров на синтез жира молока и в энергетическом обмене в начальный период лактации достигает 80-85% (NRC, 1978; ARC, 1988). В наших исследованиях при включении кормовой липидной добавки в рационы лактирующих коров установлено достоверное повышение уровня молочной продуктивности и калорийности суточного удоя. Эффективность использования обменной энергии рациона на синтез молока возросла до 68,63% с 62,57% в контроле. Одновременно возросла доля использования в энергетическом обмене высокомолекулярных жирных кислот (табл. 4).

Для лактирующих коров разработаны нормы потребности в энергетических субстратах, исходя из количественного их использования по фазам лактации. Сопоставляя субстратный спектр обменной энергии рационов с затратами субстратов в энергетическом обмене можно с большой точностью прогнозировать количество и качество молочной продукции.

Установлены первые варианты оптимальных рационов, уровней обменной энергии, соотношения субстратов и их количество в составе обменной энергии и основные механизмы распределения потоков субстратов на энергетические и пластические потребности. Выявлены кормовые факторы, введение которых в рационы лактирующих коров сопровождается реальным снижением энергозатрат и, следовательно, повышением молочной продуктивности и эффективности молокообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов В.И. Нормирование энергии у жвачных животных по принципу субстратной обеспеченности метаболизма. Актуальные проблемы биологии в животноводстве. Докл. на II-й Межд. конф. 5-8 сент. 1995 г., Боровск, 1995: 36-44.

2. Агафонов В.И., Решетов В.Б., Волобуев В.П. и др. Совершенствование системы энергетического питания молочного скота. Труды ВНИИФБиП, Боровск, 2001, 40: 166-178.
3. Агафонов В.И., Решетов В.Б., Лазаренко В.П. и др. Влияние оптимизации уровня и качества обменной энергии в рационах на эффективность его использования на продукцию и в энергетическом обмене у лактирующих коров. Труды ВНИИФБиП, Боровск, 2002, 41: 35-42.
4. Агафонов В.И., Решетов В.Б., Лазаренко В.П. и др. Эффективность использования обменной энергии у лактирующих коров в зависимости от субстратной характеристики рационов. Труды ВНИИФБиП, Боровск, 2003, 42: 56-67.
5. Агафонов В.И., Решетов В.Б., Лазаренко В.П. и др. Обоснование норм потребности коров в энергетических субстратах. Труды ВНИИФБиП, Боровск, 2004, 43: 92-103.
6. Агафонов В.И., Решетов В.Б., Михайлов В.В. и др. Апробация норм потребности коров в энергетических субстратах. Труды ВНИИФБиП, Боровск, 2005, 44: 54-61.
7. Овчаренко Э.В. Физиологические основы питания и молокообразования у коров в ранний период лактации в связи с уровнем и качеством энергии и протеина в рационе. Автореф. дисс..., д.б.н., Боровск, 1991, 48 с.
8. ARC. Energy allowances and feeding system for ruminants. Reference Book 433, London, 1988, 72 p.
9. INRA. Ruminant Nutrition Recommended Allowances and Feed Tables. INRA, Paris and London, 1989, 389 p.
10. NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, National Academy of Science, 1978, 181 p.
11. NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Sixth Revised Edition, Washington, 1988: 193.
12. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets. Washington, 1990, 34, 159 p.
13. Riis P.M. A model for the efficient use of new information within physiology, nutrition and breeding of dairy cows. Tryk. Fr. Wogtruk, 1990, 68 p.
14. Spornli R. Aspects on ration formulation based on substrate system. Norveg. J.Agric. Sci., 1990, 5: 83-87.

Rationing of energetic expenditures in lactating cows

Agafonov V.I.

*Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Farm Animals,
Russian Agricultural Academy, Borovsk, Russia*

The modified metabolizable energy system for cattle is described based on the dividing the total energy flux into maintenance and products (milk or body weight gain) components ($ME = \text{heat production} + \text{products energy}$), whereby the heat production was measured by the mask method of indirect calorimetry. By measurements of respiratory quotient (RQ) and nitrogen excretion with urine the percent ratio of three groups of energetic substrates in the total heat production was estimated in physiological trials: amino acids ($RQ = 0.85$), acetate + glucose ($RQ = 1.0$) and high molecular fatty acids and ketone bodies ($RQ = 0.7$). In the cows with daily milk yield 25 -35 kg, the ratio of amino acids oxidation in total heat production is maintained at approximately constant level of 15-18% during lactation. The ratio of fatty acids oxidation falls from 65 to 20% over the time interval 1 - 6 months of lactation and maintains at constant level thereafter. The ratio

of oxidation of acetate + glucose in heat production increases during first 6 months of lactation from 20 to 70%. In series of physiological trials the ratio of three substrate groups in total heat production was measured and the results obtained, combined with milk yield data, were used with the aim to estimate the tissue requirements for main substrates and to balance rations meeting these requirements.

Key words: lactating cows, heat production, indirect calorimetry, respiratory quotient, substrates, requirements

Prob. Prod. Anim. Biol., 2007, 2:96-102