

А.Т. ЦВИГУН, С.Н. БЛЮСЮК, О.А. ЦВИГУН

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ

Подольский государственный аграрно-технический университет
(Украина)

Введение. При изучении особенностей обмена энергии у животных приходится оперировать следующими терминами: валовая энергия (ВЭ), энергия кала (ЭК), энергия переваримых питательных веществ или переваримая энергия (ПЭ), энергия газов (ЭГ), энергия мочи (ЭМ), теплота ферментации (ТФ), обменная энергия (ОЭ) энергия продукции (ЭПр), общая теплопродукция (ТП). Если выделять отдельно потери в кале и моче эндогенного происхождения, то выделяют истинную переваримую энергию (ИПЭ) и истинную обменную энергию (ИОЭ). Разные научные школы на определённых этапах развития учения об обмене энергии в организме животных придерживались тех или иных взглядов на понятие переваримой и обменной энергии.

На сегодняшний день сложилась ситуация, когда разные научные школы, как в нашей стране, так и за рубежом, по-разному трактуют и определяют разные виды энергии при исследовании обмена её в организме животных.

Одна группа учёных (Попов И.С., Блекстер К.Л., Кромман П.Т., Кимаковский В.И., Цюпко В.В.) следуют классической схеме, когда:

$$\text{ПЭ} = \text{ВЭ} - \text{ЭК}, \text{ а } \text{ОЭ} = \text{ПЭ} - \text{ЭС} - \text{ЭГ}. \quad (1)$$

Другая группа учёных (Кремpton Е.У., Харрис Л.Е., Богданов Г.А.) считают, что:

$$\text{ПЭ} = \text{ВЭ} - \text{ЭК} - \text{ЭГ}, \text{ а } \text{ОЭ} = \text{ПЭ} - \text{ЭМ}. \quad (2)$$

Демченко П.В. обходит понятие «Переваримая энергия», он приводит следующую схему баланса энергии:

$$\text{ВЭ} = \text{ЭПр} + \text{ТП} + \text{ЭК} + \text{ЭГ} + \text{ЭМ}, \quad (3)$$

а обменную энергию предлагает определять, как:

$$\text{ОЭ} = \text{ЭПр} + \text{ТП}. \quad (4)$$

Попов И.С. приводит ещё одну схему, где понятие «Обменная энергия» включает теплоту ферментации (ТФ), которую он называет теплотой брожения в пищеварительном канале, выводит:

$$\text{ОЭ} = \text{ВЭ} - \text{ЭК} - \text{ЭГ} - \text{ТФ}; \text{ ОЭ} = \text{ЭМ} + \text{ТПт} + \text{ЭА} + \text{ЭСА}, \quad (5)$$

где ТПт – теплопродукция окисления и распада в тканях организма; ЭСА – энергия свободной активности, которую он называет механиче-

ская энергия жизнедеятельности.

Он же выводит понятие общей теплопродукции:

$$ТП = ТФ + ТПт + ЭСА, \quad (6)$$

что свидетельствует о глубоком понимании процессов обмена энергии в тот период [3].

Неоднозначность подхода к определению переваримой и обменной энергии не даёт возможности сравнивать между собой результаты исследований разных научных школ. Например, В.В. Цюпко (1984) использует вместо термина «Обменная энергия» термин «Доступная для обмена энергия», который предложил А. Кромман (1973). Хотя, если разобраться по существу, то доступная для обмена энергия (ДОЭ) определяется, как:

$$ДОЭ = ВЭ - ЭК - ЭГ - ТФ, \quad (7)$$

или её ещё можно называть «Энергия веществ, которые всосались в желудочно-кишечном тракте» [4].

Результаты эксперимента и их обсуждение. Научные школы разных стран мира постоянно работали над этой проблемой и в 1981 году Национальной академией прессы США выдано впервые, а в 1990 году переиздан научный труд «Энергетическое питание домашних животных и глоссарий энергетических терминов», над которым работала большая группа учёных: из Подкомитета биологической энергии (пять человек), Комитета питания животных (восемь человек), Совета сельского хозяйства и возобновляемых ресурсов (13 человек), Комиссии по натуральным ресурсам (15 человек), из разных комитетов Совета национальных исследований США (NRC) [5].

Они предложили идеализированную схему обменной энергии в организме животных, как попытку объединить традиционные методы описывания обмена энергии у животных с современными знаниями (рисунок 1).

Согласно этой схеме, баланс энергии выглядит следующим образом:

$$ВЭ = ЭК + ЭГ + ЭМ + ЭОД + ВЭК + ТП + ЧЭпр, \quad (8)$$

где энергия кала (ЭК), энергия газов (ЭГ), энергия мочи (ЭМ), энергия, которая что тратится через органы дыхания у рыб и других животных (ЭОД), потери энергии через кожу в виде жиропота, выпадение волос и тому подобное (ВЭК), общая теплопродукция (ТП), чистая энергия продукции (ЧЭпр).

Содержание энергии в употреблённых животным кормах и выделенном кале целесообразно определять методом прямой калориметрии, а не по химическому составу, поскольку использование разных коэффициентов энергетической ценности сырых питательных веществ даёт отличительные результаты. В 1 кг сухого вещества кормов содержится 18,4 МДж ВЭ (Дмитроченко А.П., 1968), колебание в расти-

тельных кормах составляет 17,0-18,5 МДж (Зинченко Л.И., Погорелова И.Е., 1985). При сжигании в кислородной среде калориметрической бомбы чистых питательных веществ 1 г белка даёт 23,68 кДж, 1 г жира – 39,77 и 1 г углеводов – 17,17 кДж (Дмитроченко А.П., 1968). Логично было бы предложить, чтобы эти коэффициенты были заложены в уравнение для определения содержания ВЭ. Однако сырой протеин состоит не только из белка, но и из амидов, аминов и даже неорганического азота нитратов и нитритов. Поэтому его энергетическая ценность должна быть несколько меньшая. Сказанное в такой же мере относится к жирам и углеводам, которые не являются однородными веществами [3].

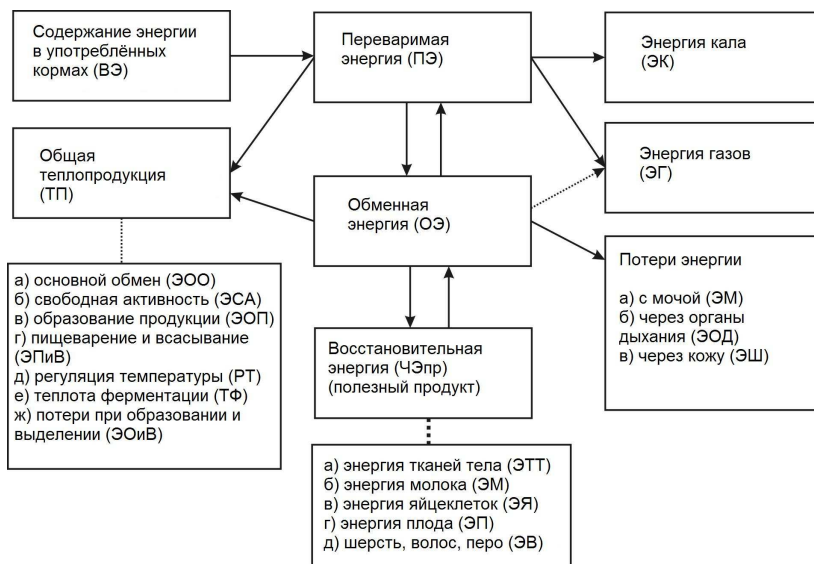


Рисунок 1 – Идеализированный поток энергии в организме животных (NRC, 1990).

При сгорании вне организма 1 г вещества даёт следующее количество тепла: крахмал – 17,54 кДж, тростниковый сахар – 16,58, молочный сахар – 16,54, растительное масло – 38,64, животная жировая ткань – 39,77, оливковое и льняное масло – 39,02, казеин – 24,53, яичный альбумин – 24,03, мышечный белок – 23,95, конглоутин – 22,94, легумин – 24,24 кДж. В среднем 1 г углеводов даёт 17,17 кДж, жира – 38,94 и 1 г белка – 23,91 кДж. Зейферт Р.В. приводит следующие энергетические эквиваленты 1 г углеводов: крахмал – 15,71 кДж, тростниковый сахар – 16,51-16,55, арабиноза и галактоза – 15,58, ксилоза –

15,77, лактоза – 16,53 кДж; энергетические эквиваленты 1 г жира грубых кормов – 33,33 кДж, животного жира – 39,77, протеина растительных кормов – 23,60, животных – 23,86, углеводов – 16,56-17,52, БЭВ – 16,96, клетчатки – 17,58 кДж.

Разная калорийная ценность отдельных веществ и их сочетание в кормах обуславливает разную энергетическую ценность. В Украине используется уравнение, предложенное ВАСХНИЛ (1985) [3]:

$$\text{ВЭ} = 23,95 \text{ СП} + 39,77 \text{ СЖ} + 20,05 \text{ СК} + 17,46 \text{ СБЭВ}, \quad (9)$$

где ВЭ в кДж, питательные вещества в граммах.

Это уравнение, по нашей оценке, в сравнении с уравнением К. Неринга [6] и ARC [7] завышает содержание валовой энергии в кормах, богатых клетчаткой, на 3,3-3,7 %. При определении содержания валовой энергии в кале по химическому составу полученный результат меньше, чем при сжигании в калориметре, на 5,7%.

Энергия кала (ЭК) состоит из двух частей – энергии непереваренных остатков кормов (ЭКкорм) и энергии продуктов обмена веществ, это десквамированные клетки эпителия, слизь, продукты обмена выделения в просвет желудочно-кишечного тракта, и тому подобное (ЭКобмен). Видимая переваримая энергия, как у нас принято называть, переваримая энергия (ПЭ), определяется, как:

$$\text{ПЭ} = \text{ВЭ} - \text{ЭК}, \quad (10)$$

Истинно переваримая энергия (ИПЭ) определяется:

$$\text{ИПЭ} = \text{ВЭ} - \text{ЭКкорм} - \text{ЭГ} - \text{ТФ}. \quad (11)$$

По данным А.П. Дмитроченко (1960), органическое вещество кала имеет калорийность более высокую, чем органическое вещество корма, на 14 % (12,3-15,9 %), позже (1968) автор указывает, что сухое вещество кала содержит на 4,8 % больше ВЭ, чем сухое вещество кормов рациона. В наших опытах это отклонение составило 5,4 % ($P > 0,95$) для рационов молодняка крупного рогатого скота старше 6-месячного возраста [3].

Определив по разнице количество питательных веществ, которые поступили в желудочно-кишечный тракт, мы тем же допускаем, что они всосались. Беркович Е.М. (1972) указывал, что в связи с процессами выделения и синтеза, которые проходят в организме, необходимо отказаться от понятия «Переваримая энергия», а вести речь об «Энергии питательных веществ, которые теряются с калом» [2].

Микроорганизмы в рубце жвачных животных из углеводов синтезируют жирные кислоты и жиры, специфические для них, тем же изменяя питательные вещества из одних в другие, при этом идут значительные расходы энергии на ферментацию, изменяется картина всасывания питательных веществ. Алиев А.А. и Кафаров М.М. установили, что в сычуге в 2,75 раз больше липидов, чем поступило с рационом [1].

Данные, приведённые выше, убедительно свидетельствуют о том,

что в рубце жвачных животных питательные вещества видоизменяются настолько, что трудно судить о том, каких веществ и сколько всосалось в кровь и лимфу из-за взаимных превращений белков, жиров и углеводов. По разнице между употреблёнными и выделенными с калом углеводами мы определяем поступление энергии в обменный фонд за счёт углеводов, в то время, когда часть из них превратилась в жиры и имеет значительно высшую энергетическую ценность, часть потерялась в виде горючих газов. Большинство потерь энергии с горючими газами (ЭГ) приходится на метан, гораздо меньше на водород и окись углерода, и только незначительное количество ацетона, этана и сероводорода. В процессе превращений идут потери энергии на расщепление одних и синтез иных питательных веществ, которые составляют теплоту ферментации (ТФ) [3].

И ещё один момент. В желудочно-кишечном тракте животных из свободных жирных кислот и кальция образуется мыло, которое не экстрагируется эфиром в процессе определения по методу Соксклета. При этом занижаются потери энергии с калом и завышается переваримость жира рациона, особенно для кормов и рационов, богатых кальцием. Это, в первую очередь, относится к объёмистым кормам, которые составляют основу рационов жвачных в нашем регионе, где содержание кальция в кормах и воде высоко.

Следовательно, определение ПЭ по уравнениям ни в коей мере не будет отображать поступления энергии переваримых питательных веществ в обменный фонд организма жвачных животных, потому можно вести речь только о потерях питательных веществ с калом, но не о поступлении их в организм для использования.

Некоторые авторы понимают, по-видимому, условность вышеизложенного материала и предлагают определять содержание ПЭ путём умножения количества переваримого органического вещества (ПОВ) на среднюю калорийность 1 г 19 кДж [6] или пользоваться уравнением:

$$\text{ПЭ} = 0,19 \times \text{ПОВ} \quad (\text{ARC}, 1984) \quad [6]. \quad (12)$$

Энергия мочи (ЭМ), как и энергия кала, состоит из неиспользованных питательных веществ кормов и продуктов эндогенного поступления, хотя все они прошли через обменные процессы организма и разделить их практически невозможно.

Обменная энергия (ОЭ) – это и есть энергия кормов минус энергия кала, мочи и газов:

$$\text{ОЭ} = \text{ВЭ} - (\text{ЭК} + \text{ЭМ} + \text{ЭГ}). \quad (13)$$

Истинно обменная энергия (ИОЭ):

$$\text{ИОЭ} = \text{ИПЭ} - \text{ЭМ} + \text{ЭМ}_{\text{энд}}. \quad (14)$$

Различают также обменную энергию, откорректированную по азоту. Как правило, коэффициент для млекопитающих составляет 31,2

кДж на 1 г азота, для птицы – 34,4 кДж.

Общая теплопродукция (ТП) состоит из энергии, необходимой для поддержания основного обмена (ЭОО), энергии свободной активности (ЭСА), энергии, нужной на образование продукции (ЭОП), энергии, нужной для пищеварения и всасывания (ЭМиВ), теплоты ферментации в пищеварительном тракте (ТФ), потерь при образовании и выделении ненужных организму веществ (ЭОиВ).

Таким образом, можно рекомендовать две системы уравнений для оценки содержания обменной энергии в кормах и рационах. Первая система уравнений для определения ОЭ через сырые питательные вещества и коэффициент переваримости энергии:

$$ОЭ = ВЭ - КПЭ - ЭГ - ЭМ; \quad (15)$$

$$ВЭ = 0,0238 \times СП + 0,0397 \times СЖ + 0,0188 \times СК + 0,0175 \times СБЭВ; \quad (16)$$

$$КП = 88,9 + 0,020 \times СП - 0,090 \times СК, \quad (17)$$

или другое уравнение в зависимости от вида корма, или справочные данные:

$$ЭГ = 0,00544 \times СК + 0,00222 \times СБЭВ; \quad (18)$$

$$ЭМ = 0,0238 \times СП + 0,15 \text{ или } ЭМ = 0,00357 \times СП. \quad (19)$$

В этих уравнениях ВЭ, ОЭ, ЭГ, ЭМ определяется в МДж, сырые питательные вещества – в граммах в натуральном корме, за исключением определения КПЭ, где СП и СК в г/кг сухого вещества.

Вторая система уравнений для определения содержимости обменной энергии через переваримые питательные вещества с использованием коэффициентов переваримости питательных веществ, установленных в экспериментах или взятых из справочника:

$$ОЭ = ПЭ - ЭГ - ЭМ; \quad (20)$$

$$ПЭ = 0,02424 \times ПП + 0,03412 \times ПЖ + 0,01851 \times ПК + 0,017 \times ПБЭВ; \quad (21)$$

$$ЭГ = 0,00988 \times ПП + 0,0022 \times ПБЭВ; \quad (22)$$

$$ЭМ = 0,02424 \times ПП - 0,25 = 0,00606 \times ПП. \quad (23)$$

В этих уравнениях ОЭ, ПЭ, ЭГ и ЭМ выражены в МДж, сырые и переваримые питательные вещества – в граммах в натуральном корме.

Заключение. Проведённая сравнительная оценка использования разных способов определения содержания ОЭ свидетельствует в пользу определения её по рекомендованным нами уравнениям. Оценка кормов по ОЭ в Украине завывает питательность объёмистых кормов, особенно грубых, и занижает питательность концентрированных, поэтому рекомендованные нами системы уравнений позволяют более объективно проводить оценку питательности кормов с учётом их особенностей. Экспериментальная проверка, которая проведена во многих опытах, проведённых за последних 16 лет, подтверждает надёжность и точность этих уравнений.

Очень часто при проведении исследований баланса энергии приходится встречаться с таким явлением, как несоответствие между ОЭ ра-

циона по балансу и ОЭ рациона, рассчитанной по сумме отдельных ОЭ кормов рациона. Например, в одном из проведённых нами физиологических исследований установлено, что в организм поступило из рациона 78,88 МДж ОЭ, в то же время сумма ОЭ отдельных кормов была равна 86,38 МДж, или выше от фактической на 9,5 %. Такое расхождение, по мнению разных авторов, закономерно и получило название «принцип аддитивной» – ОЭ рациона, ОЭ кормов рациона.

Литература

1. Алиев, А. А. Превращение липидов в желудочно-кишечном тракте жвачных животных с разной жирномолочностью / А. А. Алиев, М. Ш. Кафаров // Животноводство. – 1973. – № 2. – С. 68-70.
2. Беркович, Е. М. Основы биоэнергетики сельскохозяйственных животных / Е. М. Беркович. – М.: Колос, 1972. – 112 с.
3. Цвигун, А. Т. Обоснование энергетического питания крупного рогатого скота : дисс. ... д-ра с.-х. наук / Цвигун А. Т. – Каменец-Подольский, 1993. – 533 с.
4. Цюпко, В. В. Физиологические основы питания молочного скота / В. В. Цюпко. – К.: Урожай, 1984. – 152 с.
5. Energy allowances and feeding system for ruminants : II Reference Book 433 / ARC. – London, 1984. – 85 p.
6. Nering, K. Zur Problematik der Ermittlung des Futterwertes / K. Nering // Arche. Tier ernähr. – 1980. – Bd. 30, № 1-3. – S. 199-214.
7. Nutritional Energetics of Domestic Animals & Glossary of Energy Terms / NRC. – Second Revised Edition. – Washington : NATIONAL ACADEMY PRESS, 1990. – 63 p.

(поступила 17.02.2011 г.)

УДК 636.2.053.084

Т.А. ШАУРА, И.И. ГОРЯЧЕВ

РЕЗИСТЕНТНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЛЕМЕННЫХ БЫЧКОВ МОЛОЧНОГО ПЕРИОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАЦИОНЕ

УО «Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины»

Введение. Биологически полноценное питание призвано служить научной основой для создания наиболее совершенных методов кормления и разведения, направленных на повышение усвоения и использования питательных веществ рационов [1].

Кормление племенных бычков должно обеспечивать их интенсивный рост, формирование крепкого костяка, плотной мускулатуры и высокой воспроизводительной способности [2]. Интенсивность роста и