

## К ВОПРОСУ МЕТОДОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

**Мохов Борис Павлович**, доктор биологических наук, профессор кафедры «Частная зоотехния, технология животноводства и аквакультура»

**Наумова Валентина Васильевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Частная зоотехния, технология животноводства и аквакультура»

**Васина Светлана Борисовна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Частная зоотехния, технология животноводства и аквакультура»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1.; Тел. 8 (8422) 44-30-62

e-mail: moxov@mail.ru.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, этология, конвергенция, энергоэффективность.

В статье приведена методика, которая позволяет оценить эффективность производства продуктов животноводства в единых энергетических единицах на основе совместного использования биофизических, этологических и статистических методов.

### Введение

Предлагаемая методика разработана для изучения биологических факторов энергоэффективности производства продуктов животноводства. Конвергенция биофизических и этологических методов изучения позволяет оценить качество животных, продуктивное действие кормов и состояние внешней среды в сравнимых величинах расхода энергии по показательной функции внешнего поведения. Для решения поставленных задач первостепенное значение имеет выбор жизненно важных, свободно регистрируемых природных показателей, имеющих связь с обменными процессами.

В целях удовлетворения своих потребностей человек использует различные элементы жизнедеятельности животных. На основе роста и развития мышечной, жировой и соединительной ткани формируется мясная продуктивность, размножение и выращивание потомства влияют на производство молока и яиц, а сезонная адаптация на качество пушнины.

Тяговые усилия волов и спортивные достижения лошадей, полет ловчих птиц и количество меда, рыбная продукция и многое другое, что используется в человеческом сообществе, осуществляется при наличии и в результате расхода энергии.

Оценка различных продуктивных признаков в единых энергетических единицах позволяет сравнивать их между собой по значению в жизни человека. Затраты энергии в форме теплоты - это наиболее полный и доступный эквивалент их сравнения. Он не только оправдан с точки зрения равноценности критерия, он также информирует сообщество об экономических расходах на потребности, прихоти и капризы человека.

В то же время это интегральный признак, величина которого определяется суммой таких же бесконечно малых величин, изменяющих состояние теплопродукции тела пропорционально количеству принятой или отданной теплоты.

Расход энергии, динамика теплового состояния тела животных, его температура использованы нами для оценки влияния генетических и средовых факторов на производство продуктов питания животного происхождения.

На основании анализа изменчивости основного обмена у животных разной наследственности и продуктивности ( $\sigma = 0,003 - 0,007$  МДж), а также динамики базового метаболизма в неодинаковых условиях среды, установлено, что отклонение температуры внутренних систем от оптимальной нормы на  $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$  является сигналом к началу пи-

щедобывательной деятельности, снижению продуктивности и двигательной активности.

### **История вопроса и система познания**

Диалектика как метод познания позволяет определить целостность, развитие, взаимосвязь и противоречивость процессов обменной энергии в живых организмах.

В отличие от организационно-технологических условий (системы производства, механизмы, топливо, электроэнергия и др.), которые управляются человеком, биологические факторы энергоэффективности (качество животных, применение кормов, влияние экологии и др.) учитываются значительно меньше.

Методами физиологии и биофизической химии открыты важнейшие биоэнергетические процессы, протекающие в биологических объектах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Фундаментальная информация, установленная в этих исследованиях, базировалась на лабораторном изучении глубинных, единичных процессов без всеобъемлющего учета природных потребностей целостного организма.

В этом плане и на основе ранее полученных углубленных знаний обстоятельные исследования проведены в институте физиологии им. И.П. Павлова. В работах И. Барышникова, И. Хренова, Э. Кокориной установлено влияние обменных процессов на внешнее проявление пищевой активности и продуктивных качеств животных на уровне организма [8, 9, 10].

Конвергенция знаний, полученных в процессе молекулярных, биофизических, биохимических и других опытах с результатами экологических и адаптационных исследований животных, их поведения и продуктивных возможностей, позволяет оптимизировать условия жизнеобеспечения организма в направлении природных потребностей и повысить энергоэффективность их продуктивного использования.

### **Результаты исследований**

Новая методика базируется на результатах одновременного изучения расхода обменной энергии и динамики пищевого поведения у крупного рогатого скота неодинакового экогенеза и наследственности, в

условиях разнообразного кормления и погодного напряжения.

Определены средние показатели, лимиты изменчивости и вероятность повторения установленного состояния в генеральной совокупности животных. Проведен корреляционный и регрессивный анализ связи обменных процессов и реакции пищевого поведения. Обоснована позиция по использованию наблюдаемых этологических признаков в качестве показательной функции метаболизма и оценки энергоэффективности производства продуктов животноводства.

Все исследования биоэнергетики живых организмов базируются на понимании общности законов физики, химии и термодинамики для неорганической природы и жизни.

Тем не менее, динамизм и специфичность жизни предопределяет существенные различия в реализации энергетических законов.

Равновесное состояние неживой природы, при котором ее параметры не изменяются, а значение энтропии возрастает, меняется на понятие «стандартное состояние», при формировании минимального производства энтропии, неравновесного положения и наличия постоянного препятствия этому, в форме поступления питательных веществ [11].

Изучается структура расхода пищи в обменной энергии, определяемой по живой массе и продуктивности животных, учитываются затраты на основной обмен, производство продукции, теплоотдачу, двигательную активность и др. При изучении расхода питательных веществ установлено, что на молоко затрачивается от 29,3 до 40,5 %, на теплопродукцию 45,5 -56,7% и на привес 0,2 – 8,6 % от перевариваемой энергии рациона [8].

Все исследования поведения животных базируются на понимании, что это наблюдаемая система приспособительных действий животных в ответ на изменение внутреннего и внешнего состояния их организма.

Использование показателей обмен-

ной энергии при оценке кормов и животных повысило интерес специалистов и научных работников к вопросам повышения эффективности энергозатрат в организме.

Сложность оборудования и приборного обеспечения при использовании классических методов изучения обменной энергии ограничивает численность опытных групп при изучении обменной энергии у животных и затрудняет использование биометрии при обработке опытных данных. Нельзя также не заметить, что существующие способы определения не учитывают процессы образования и расхода свободной энергии при гликолизе и брожении (при анаэробных процессах). Предложенные Бергманом (1847) и Рубнером (1883) методы определения теплопродукции по поверхности тела в настоящее время «считаются ошибочными» [12].

Поиск, прием и поступление пищи в организм, имея внешнее природное выражение, наиболее тесно связаны с глубинными преобразованиями энергии внутри клеток, обеспечивающими жизнедеятельность животных.

Спонтанное пробуждение жвачного процесса детерминируется необходимостью восстановления баланса питательных веществ при внутриклеточном обмене веществ и энергии.

В результате непрерывного наблюдения в течение двух смежных суток фиксируются все пищевые реакции – их начало и окончание, продолжительность и численность. Определяется прием корма, жвачка, потребление воды, уринация и дефекация.

В методике основное внимание уделено жвачному процессу. В течение суток учитывается численность, начальная стадия и окончание в часах и минутах, ее продолжительность и длительность интервалов между отдельными реакциями, в минутах. При расчете интервалов, из общей суточной продолжительности, исключается время, затраченное на прием корма и др. технологические операции, препятствующие выполнению жвачки. Интервал или отсутствие жвачки в интактное время свидетельствуют о наличии баланса питательных веществ в

организме и длительности усвоения, ассимиляции, ранее потребленной энергии.

Рассчитывается расход обменной энергии на один интервал между жвачками, а затем по количеству затрат времени – интенсивность и скорость ассимиляции энергии в организме.

Интенсивность - это напряженность процессов обмена, учитывается в затратах времени, необходимого для усвоения одного МДж энергии. Скорость - это степень быстроты ассимиляции количества МДж за одну минуту. Имея данные по расходу энергии на основной обмен, синтез продукции и теплоотдачу, рассчитывают ее использование на 1 кг живой массы, 1 дм<sup>2</sup> поверхности тела и в процентах от потребленной обменной энергии. По мере необходимости и в зависимости от задач исследования могут быть использованы и др. показатели.

Предлагаемые биофизические и этологические методы изучения продуктивных животных доступны и могут проводиться на большой численности опытных групп, что позволяет осуществлять их биометрическую обработку. Понятно, что они уступают по точности биохимическим исследованиям, однако аппроксимативные данные, полученные при конвергенции, сближение, биофизики, этологии и статистики дополняют наши знания по энергоэффективности живого организма в целом.

Использование биофизических методов значительно облегчает определение динамики и структуры расхода обменной энергии у продуктивных животных.

Обменная энергия составляет 55% от валовой, поступившей с кормами, в дальнейшем используется на основной обмен, синтез продукции и теплоотдачу.

Основной обмен - это расход энергии на синтез собственных белков, жиров и углеводов, нуклеотидов, ферментов и др. активных веществ, это затраты на деление клеток и сокращение мышц, поддержание мембранного потенциала, переноса нервного импульса и др. сервисные функции, это внутреннее дыхание организма [13]. Он определяется количеством и качеством клеток и растет по мере увеличения живой

массы, не пропорционально росту массы, а меньше, в определенной степени, так как у крупных животных активность окислительных ферментов митохондрии несколько ниже [12]. Такие соотношения рассчитываются в показательной функции,  $y=ax^2$ , где  $y$  – значение функции,  $a$  – свободный член для видов и популяции животных, средовых и др. влияний,  $x^2$  – внешне фиксируемый признак в определенной степени [14].

Основной обмен определяется по уравнениям:

$$\text{для млекопитающих } P_{\text{ккал.}} = 70 \cdot M^{0,75};$$

$$\text{для птиц } P_{\text{ккал.}} = 86,4 \cdot M^{0,66};$$

$$\text{для водных животных } P_{\text{ккал.}} = 0,79 \cdot M^{0,66},$$

где  $P$  – энергия основного обмена, в ккал, коэффициент  $a$  – 70; 86,4; 0,79,  $M$  – живая масса в показательной степени 0,75; 0,66 кг. Живая масса устанавливается с учетом общепринятых методических требований (физиологическое состояние, выдержка и др.) [12].

При расчете затрат на продукцию принимают во внимание ее количество и содержание жиров, белков и углеводов – основных носителей энергии. По стандартным коэффициентам устанавливают калорийность. Так, энергетическая ценность 100 г молока колеблется от 54 до 71 ккал, говядины – от 100 до 200 ккал. Принятый диапазон изменчивости совпадает с рекомендациями, приведенными в «Руководстве по физиологии» и в справочнике по кормлению сельскохозяйственных животных. Химический анализ мясожировой продукции повышает достоверность исследований.

Энергетические затраты на двигательную активность определяются из расчета 2,5 ккал в час на один кг живой массы [15].

Теплоотдача – один из важнейших показателей ответной реакции животных на уровень собственной теплопродукции и состояние внешней среды. Она осуществляется излучением, испарением и конвекцией. Все эти процессы отражаются в динамике температуры, являющейся комплексным показателем теплового равновесия системы «организм - среда».

Тепловое излучение, возникающее в результате внутренних электромагнитных

взаимодействий, возрастает при увеличении разницы между показателями температуры среды и поверхности тела. Теплоизоляция, шерстный покров и другие покрытия снижают излучение.

Энергия, излучаемая с единицы поверхности тела, рассчитана по уравнению:

$$Q = \sigma \cdot s \cdot (T_T^4 - T_C^4),$$

где  $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>,  $s$  – площадь поверхности тела, м<sup>2</sup>,  $T_T$  – температура поверхности тела, К;  $T_C$  – температура окружающей среды, К.

Площадь поверхности тела определяется по формуле:  $S = k \cdot M^{2/3}$ , где  $k = 9,0$  для коров,  $M$  – масса тела, кг. [13].

Испарение – главный фактор терморегуляции при жаркой погоде и интенсивной физической нагрузке. Вывод тепла в основном осуществляется через потовые железы и в меньшей степени при респирации. Испарение определяется по формуле:  $Q = L \cdot m$ , где  $L$  – удельная теплота испарения, для пота равна 580 ккал/кг;  $m$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности тела, кг.

Конвекция, или перенос тепла потоками вещества, у млекопитающих является вынужденным, так как он связан с выделением мочи, кала и молока, с выносом тепла при дыхании, а также с переносом тепла кровью от внутренних органов к артерио-венозным сплетениям поверхности кожи. Эти процессы связаны с деятельностью важнейших систем организма, они осуществляются постоянно и мало зависят от внешней температуры. Конвекция рассчитывается по формуле:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t^\circ$ , где  $c$  – теплоемкость вещества, ккал/кг°С;  $m$  – масса вещества, кг;  $\Delta t^\circ$  – разность температур. Внутренняя температура тела млекопитающих составляет от 36°С до 38°, птиц 39 – 41°.

Свободная энергия, выделяющаяся в виде тепла при распаде молекул, передаче атома водорода или электрона, а также при дальнейших изменениях до бесконечно малых величин, формирует цельные, интегральные процессы теплопродукции, которые в живом организме регулируются наследственно обусловленными ферментными системами.

Представляя единую базу для жизне-

деятельности, она позволяет дискретно изучить базовый и продуктивный метаболизм, теплообмен и теплоотдачу, сравнивать их между собой и устанавливать значение каждого в общем процессе расхода энергии.

На наш взгляд, термин «теплоотдача» не дает полной характеристики совокупности многочисленных реакций оптимизации теплового стояния тела, необходимого для работы ферментов, гормонов и всего комплекса процессов «внутреннего дыхания» животных. Поступившие в организм воздух, вода, корм должны быть нагреты до определенной температуры, при которой они могут быть использованы в обменных процессах.

Физические факторы терморегуляции не только обеспечивают ход химических реакций, они формируют тепловое окружение тела животных, что предохраняет их от резких колебаний погоды. Наиболее правильное название этого процесса – тепловой гомеостаз.

В исследованиях, проведенных с использованием данного метода, установлено влияние гетерозиса на теплопродукцию организма, ее значение для адаптации животных разного экогенеза и для устойчивости коров к погодным стрессам. В исследованиях на свиньях выявлено влияние расхода обменной энергии на плодовитость, а также на рост и развитие птиц разных кроссов [14, 15, 16, 17, 18].

Предлагаемая методика облегчает изучение процесса расхода обменной энергии в больших группах и обработку опытных данных с использованием корреляционного и регрессионного анализа.

Биофизические методы, обеспечивающие определение энергии в показателях теплопродукции, могут быть использованы не только в научных исследованиях, а также при разработке строительных и зоогигиенических норм.

Методика может найти применение при оценке племенных и продуктивных качеств животных, состояния адаптации организма и адекватности внешней среды, а также при разработке норм кормления и зоотехнологических нормативов.

Для совершенствования необходимо учитывать объемы выделяемых теплоносителей (количество молока, потребляемого воздуха, выделяемых экскрементов и пота, тепловое излучение и др.), усовершенствовать измерительную аппаратуру, в первую очередь термометры, а также использовать методы автоматического дистанционного наблюдения и видеозапись.

#### **Библиографический список**

1. Павлов, И. П. Полное собрание сочинений. Том 3. Книга 2. / И.П. Павлов. - М.-Л.: Издательство Академии Наук СССР, 1951. - 435 с.
2. Закс, М.Г. Онтогенез пищеварительной системы / М.Г. Закс, В.Н. Никитин // Возрастная физиология. -Л.: Наука, 1975.- С. 263 -312
3. Кеннон, У. Проблема шока. Избранные статьи / В. Кеннон; пер. под ред. и с предисл. чл.-корр. АН СССР Х.С. Коштыянец.- М.: Изд-во АН СССР, 1943. - 116 с.
4. Уголев, А. Пищевое поведение и регуляция гомеостаза / А.М. Уголев, В.Г. Касиль // Сложные формы поведения. – М.: Наука, 1965. – С.41-58.
5. Сочинения / ред. К. А. Тимирязев [и др.]. - М. : Сельхозгиз, 1937. - 498 с.
6. Лазарев, П.П. Сочинения. Том 2. / П.П. Лазарев. - М.: Изд-во АН СССР, 1950, 630 с.
7. Кретович, В.Л. Введение в энзимологию / В.Л. Кретович.- М.: Наука, 1967.-310 с.
8. Барышников, И.А. Вопросы физиологии с/х животных /И.А. Барышников. – М. : Издательство АН СССР, 1957.- 267 с.
9. Хренов, И.И. Влияние акта после еды на молокообразование у коров/ И.И. Хренов // Обмен веществ и продуктивность с/х животных. - М-Л.: Наука, 1965.- С. 11-24.
10. Кокорина, Э. Условные рефлексы и продуктивность животных / Э. Кокорина. - М.: Агропромиздат, 1986.- 430 с.
11. Пригожин, И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов/ И.Р. Пригожин.- М.: Наука, 1960.- 205 с.
12. Шмидт – Ниельсен, К. Размеры животных: почему они так важны?: монография / К. Шмидт – Ниельсен.- М.: Мир, 1987.- 260 с.
13. Kleiber, M. The Fire of Life. An Introduction to Animal Energetics / M. Kleiber. - New

York, Wiley,., 1961., 454 p.

14. Мохов, Б.П. **Продуктивность и состояние** резистентности импортных и местных первотелок / Б.П. Мохов, Е.П. Шабалина // Зоотехния. - 2010. - № 6. – С. 9 – 10.

15. Мохов, Б.П. Адаптация и продуктивность крупного рогатого скота различного экогенеза./Б.П. Мохов, А.А. Малышев, Е.П. Шабалина// Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук.- 2012.- №1.- С. 40-41.

16. Мохов, Б.П. Динамика и структура расхода обменной энергии в условиях погодного стресса / Б.П. Мохов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. - № 2 (26). - С. 119 – 126.

17. Наумова, В.В. Сравнительное изучение основного обмена, затрат корма и скорости роста молодняка кур разных кроссов / В.В. Наумова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. - № 1 (25). - С. 136 – 139.

18. Васина, С.Б. Затраты обменной энергии и воспроизводительная функция свиноматок при использовании различных минеральных добавок / С.Б. Васина // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути решения. Материалы V Международной научно – практической конференции. – 2013.-Том 1.- С.162-164.