

УДК 636.2.085.2

DOI 10.18286/1816-4501-2019-3-168-173

**ФОРМИРОВАНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ И ДЕФИЦИТА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ
В ОРГАНИЗМЕ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА РАЗНОГО
ВОЗРАСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ**

Мохов Борис Павлович¹, доктор биологических наук, профессор кафедры «Частная зоотехния, технологии животноводства и аквакультуры»

Наумова Валентина Васильевна¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой «Частная зоотехния, технологии животноводства и аквакультуры»

Малышев Игорь Александрович², директор обособленного подразделения АО «ГВЦ» Ульяновской области

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

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

e-mail: tohov@mail.ru

Ключевые слова: питательные вещества, поступление, расход, насыщенность, дефицит, основной обмен.

Ферментативное расщепление органических веществ, окислительные процессы с выделением энергии и последующий ее расход для синтеза обуславливают жизнедеятельность животных. Обменная энергия, усвоенная организмом, расходуется в процессах основного обмена и в адаптивных реакциях по сохранению постоянного равновесия организма, а также в функциях размножения и продуктивного использования животных. Возрастные изменения обменных процессов по усвоению питательных веществ характеризуются увеличением общих затрат, что определяется ростом живой массы и снижением удельных показателей обмена в результате сокращения активности внутриклеточного обмена. Показательной функцией возрастных изменений основного обмена является жвачный процесс. Расход питательных веществ в интервалах между жвачкой обуславливает ослабление обменных процессов, уменьшение выделения тепла и снижение теплового состояния тела температуры, в зависимости от возраста на 5,818-4,799 кДж у быков и на 5,711-5,061 кДж у телок, что является сигналом дефицита питательных веществ и возбуждения жвачного процесса. В жвачный период этот дефицит восполняется в зависимости от возраста у быков в размере 5,803-4,641 кДж, у телок -5,073-5,116 кДж. Восстановление необходимого уровня основного обмена, теплового состояния тела, его температуры- это сигнал насыщенности организма питательными веществами и прекращения жвачного процесса.

Введение

Механизмы движения и взаимодействия энергии в живом организме изучались биологами различных направлений [1, 2, 3].

Ферментативное расщепление органических веществ, окислительные процессы с выделением энергии и последующий ее расход для синтеза обуславливают жизнедеятельность животных [4, 5, 6, 7].

В организме нет единого «главного» процесса, органа, фермента, ответственного за использование энергии питательных веществ.

В реакциях распада, образования и движения сложных органических веществ участвуют все биологические активные системы организма, в ходе которых выделяется и потребляется тепловая энергия. Теплота является всеобъемлющим, универсальным показателем энергозатрат [8, 9, 10].

Обменная энергия, усвоенная организмом, расходуется в процессах основного обмена и в адаптивных реакциях по сохранению постоянного равновесия организма, а также в функциях размножения и продуктивного использования животных.

Составные части этих расходов и количественная характеристика определяются в специальных физиологических, биофизических и биохимических опытах, а также в результате этологических исследований пищевого поведения животных. Все исследования поведения базируются на понимании, что наблюдаемая система приспособительных действий животных осуществляется в ответ на изменение внутреннего и внешнего состояния организма [2, 3, 4].

Сближение (конвергенция) названных методов повышает доказательную базу полученных результатов. Специфичность идиотипа каждого организма предопределяет различие действия его ферментов и степень проявления признаков в фенотипе, то есть индивидуальные качества животных.

Была поставлена цель - изучить динамику половозрастных изменений и диапазон изменчивости энергозатрат у животных разной продуктивности. Определить вероятность использования полученных данных для оценки племенных и продуктивных качеств крупного рогатого скота.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились на молодняке крупного рогатого скота. Объектами исследований были бычки и телочки в возрасте 9, 14 и 18 месяцев. Всего изучено 10 голов в племенных хозяйствах Ульяновской области.

Пищевая активность устанавливалась по спонтанным проявлениям жвачного процесса, численности и продолжительности жвачных периодов и интервалов между ними в течение двух смежных суток.

Основной обмен (базовый метаболизм) оценивался по показательной функции живой массы, $y = a \cdot x^n$ [11]. Для млекопитающих принято уравнение $P_{\text{ккал}} = 70M^{0,75}$, где M – живая масса в кг; 70 – коэффициент пропорциональности, $P_{\text{ккал}}$ – суточная по-

требность организма в энергии для осуществления основного обмена [12, 13].

Потребность в обменной энергии устанавливалась в соответствии с принятыми нормами [14]. Продуктивные расходы определялись по энергетической ценности продукции, синтезируемой за сутки.

Результаты исследований

В процессе развития и формирования новых функций происходят определенная дифференцировка клеток, специализация тканей и созревание систем. Реализация этих функций при одновременном росте и обновлении клеточной массы значительно увеличивает расход энергии у молодых животных и становится постоянной в зрелом возрасте. Так, в среднем возраст стабилизации для систем питания, размножения и молокообразования соответственно составляет 1,5; 2,0 и 3,0 года.

В кратности и продолжительности пищевой реакции, в интервалах между ними находят выражение потребность организма в питательных веществах, которые обеспечивают внутриклеточный обмен, адаптивные реакции и существенно влияют на формирование продуктивных качеств (табл. 1).

Значительная часть поступившей энергии используется в сервисных и адаптивных процессах. На механическую работу мышц сердечно – сосудистой и пищеварительной систем, передачу нервного импульса, сокращение и деление клеток, поддержание активного потенциала, работу мозга затрачивается значительная часть энергии. Обменная энергия также расходуется при двигательной активности, при испарении в условиях жаркой погоды и усилении излучения при похолодании, а также в других адаптивных реакциях. На эти цели утилизируется от 52 до 61% органической энергии корма в зависимости от возраста.

При векторе роста среднесуточный градиент

Таблица 1

Динамика продуктивности и структуры расхода обменной энергии у молодняка

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Возраст					
			9		14		18	
			Бычки	Телки	Бычки	Телки	Бычки	Телки
1	Живая масса	кг	277	264	444	382	534	423
2	Среднесуточный привес	г	820	849	927	690	611	461
3	Потребность в обменной энергии	МДж	61	54	78	66	90	77
4	Основной обмен общий	МДж	19	19	28	25	32	27
	в % к обменной энергии	%	31	35	36	38	35	35
	в удельном начислении	МДж	0,071	0,072	0,063	0,066	0,061	0,064
5	Использовано на продуктивность	МДж	6,8	7,0	7,7	5,7	4,5	3,5
	в % к обменной энергии	%	11	13	9	7	5	4
6	Использовано в адаптивных и сервисных процессах	МДж	35,2	28,0	42,3	35,3	52,5	46,5
	в % к обменной энергии	%	56	52	55	55	60	61
11	Продолжительность жвачного периода	мин.	342	411	255	431	222	317

для быков составил 75 кДж/сутки, для телок - 68 кДж/сутки. Значительное число независимых процессов, составляющих этот период, определяют высокую изменчивость финальных показателей при $\delta = 3,0 - 5$ МДж и $C = 8 - 10\%$.

Нельзя не заметить, что затраты энергии на сервисные, адаптивные и внутриклеточные процессы с возрастом увеличиваются, но это не означает повышения интенсивности обменных процессов с возрастом. Это исключительно функция роста массы животных.

Подавляющее большинство этих процессов не завершается образованием материального продукта, они формируют необходимое условие для успешной реализации последующих этапов усвоения обменной энергии организмом.

Таким периодом, который характеризуется катаболизмом питательных веществ и накоплением энергии с последующим синтезом собственных белков, жиров, углеводов и использованием потенциальной энергии является внутриклеточный (основной) обмен. Это основной источник тепловой энергии в организме.

На его реализацию расходуется от 31 до 38 % энергии питательных веществ при незначительной изменчивости признака, $\delta = 0,5 - 1,0$ МДж, $C = 2 - 3\%$. Узкий диапазон разнообразия определяется исключительной зависимостью процесса внутриклеточного обмена от идиотипа ферментов, участвующих в его реализации. При векторе роста среднесуточный градиент составляет для телок 29 кДж, для быков 40 кДж.

Третий этап является, в сущности, продолжением этапа основного обмена, в результате которого синтезируются и откладываются мышечная и жировая ткани, пригодные для питания. На эти цели утилизируется в зависимости от пола и возраста от 4 до 13% органического корма.

При векторе падения его градиент составляет для быков 22 кДж/сутки, для телок - 33 кДж/сутки. Признак факультативный, в отличие от двух предыдущих этапов его отсутствие не угрожает жизнедеятельности организма.

При анализе удельных показателей – расхода энергии на кг живой массы установлено, что при векторе падения для сервисных и адаптивных реакций основного обмена градиент снижения составляет 0,067 кДж/сутки. Продолжительность жвачного периода снижается для быков на 120 минут, для телок - на 94 минуты, при градиенте падения на 0,4 мин./сутки для быков и 0,3 мин./сутки для телок. Численность периодов жвачки и интервалов между ними изменяется незначительно.

Синхронная, совпадающая по времени динамика обменных процессов и мотивов пищевого поведения свидетельствует о наличии связи между

изучаемыми функциями организма (табл. 2).

В возрасте 9 месяцев у бычков за одну минуту ассимилируется в реакциях внутриклеточного обмена 0,049 кДж энергии основного обмена, у телок 0,051 кДж. Первые затрачивают на усвоение одного кДж энергии 20,3 минуты, вторые - 20,0 минут. Более низкий уровень обменных процессов быков компенсируется увеличением продолжительности интервала между жвачкой на 7 минут по сравнению с телками.

В результате у быков за интервал, который у них продолжается 118 минут, утилизируется 5,818 кДж энергии основного обмена или 8,3% от нормативной потребности, у телок за 111 минут используется 5,711 кДж или 7,7% от нормы.

В организме бычков в реакциях основного обмена за интервал ассимилируется на 1,9 % больше энергии по сравнению с телками, что объясняется их преимуществом по живой массе на 5%. Снижение основного обмена в конце интервала до уровня 65,20 кДж у быков и до 66,27 кДж у телок определяет сокращение выделения тепла и, как следствие, ослабление теплового состояния организма, его температуры. На основании установленной зависимости - $1^\circ\text{C} = 1 \text{ ккал} = 4,186 \text{ кДж}$ изменение теплового состояния организма на 1,4-1,3 $^\circ\text{C}$ является сигналом дефицита питательных веществ, голода и возбуждения жвачного процесса. В этом же возрасте за одну минуту жвачки в организм бычков поступает 0,204 кДж энергии основного обмена, у телок 0,181, первые затрачивают на усвоение одного кДж энергии 4,8 минуты, вторые - 5,7 минут. Более низкий уровень обменных процессов у телок компенсируется продолжительностью жвачного процесса, который у телок длится 411 минут, а у быков - 342 минуты, то есть на 69 минут меньше.

В результате за один жвачный период продолжительностью 31,6 минуты в организм телок поступает 5,073 кДж энергии основного обмена, быков за 28,5 мин 5,803 кДж, что восстанавливает тепловое состояние организма, его температуру на 1,4 - 1,3 $^\circ\text{C}$. Это сигнал насыщенности организма питательными веществами, сытости и прекращения жвачного процесса.

При векторе падения среднесуточный градиент скорости удельной ассимиляции одного кДж энергии за период от 9 до 18 месячного возраста у быков составляет 0,023 Дж, у телок - 0,022 Дж.

В возрасте 18 месяцев процессы ассимиляции снижаются, что объясняется ослаблением реакции дифференциации и специализации тканей, у быков на 12 %, у телок на 11 %. Снижение ассимиляции определяет падение жвачного процесса у быков также на 12 % и у телок на 11 %. В этом возрасте состояние насыщенности, сытости и дефицита голода формируется при меньших затратах энер-

Поступление и использование удельной энергии основного обмена

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Пол	Возраст		
				9	14	18
				M±m δ	M±m δ	M±m δ
1	Удельный основной обмен за сутки	кДж/кг	быки	71	63	61
			телки	72	66	64
2	Поступило за 1 мин жвачки	кДж	быки	0,204	0,241	0,229
			телки	0,181	0,160	0,250
3	Продолжительность 1 периода жвачки	мин.	быки	28,5	25,5	20,2
			телки	31,6	39,2	20,4
4	Поступило за 1 жвачный период	кДж	быки	5,803	6,156	4,641
			телки	5,073	6,273	5,116
5	Ассимилировано за 1 мин интервала	кДж	быки	0,049	0,042	0,042
			телки	0,051	0,052	0,044
6	Продолжительность интервала	мин.	быки	118	144	113
			телки	111	131	120
7	Ассимилировано за интервал	кДж	быки	5,818	6,136	4,799
			телки	5,711	6,259	5,061
8	Затрачено минут на прием 1 кДж	мин.	быки	4,8	4,0	3,6
			телки	5,7	6,5	4,9
9	Затрачено минут на ассимиляцию 1 кДж	мин.	быки	20,3	22,8	23,7
			телки	20,0	21,8	22,5

гии.

С возрастом интервалы между жвачными процессами возрастают у быков на 3 мин, у телок - на 8 мин, увеличивается также время, необходимое для ассимиляции одного кДж энергии. Это объясняется различиями в химическом составе тканей. В молодом возрасте в тканях больше воды и меньше сухого вещества. Различие тканей молодых и взрослых животных оказывает также влияние на теплоемкость этих тканей и на интенсивность динамики теплового состояния. Теплоемкость плотных тканей ниже теплоемкости воды.

В возрасте 18 месяцев у бычков расходуется в реакциях внутриклеточного синтеза 0,042 кДж за минуту и 4,799 кДж за 113 минут интервала, у телочек соответственно 0,042 кДж и 5,061 кДж за 120 минут. Первые затрачивают на усвоение одного кДж 23,7 минуты, вторые - 22,5 минут.

Уменьшение расхода необходимых для синтеза ингредиентов предопределяет сокращение интенсивности основного обмена, выделения тепла и снижение теплового состояния тела, температуры на 1,2°C - у быков и 1,3°C - у телок. Понижение температуры является сигналом дефицита питательных веществ, голода и возбуждения жвачного процесса.

За 20,2 минуты жвачки в клетки организма быков поступает 4,641 кДж энергии, у телок - за 20,4 минуты 5,116 кДж. Внутриклеточный синтез и выделение тепла восстанавливаются. Повышение температуры у быков на 1,32°C, у телок - на 1,27°C является сигналом насыщенности организма пи-

тательными веществами, сытости и прекращения жвачки.

По сравнению с девятимесячным возрастом сигналы «голода» и «сытости» у полуторалетнего молодняка формируется при меньшем расходе и приходе питательных веществ и уровне снижения температуры на 0,1 - 0,2°C.

В таблице 3 приводятся результаты регрессионного анализа изученных показателей, который в отличие от корреляции, определяющей направление и наличие связи в относительных величинах, позволяет установить влияние определяющего фактора, аргумента на величину функции в наименованных единицах учета.

Ферменты, ткани и органы, обеспечивающие поступление питательных веществ в организм, значительно отличаются от ферментов тканей и органов, в которых осуществляются анаболические процессы.

В результате регрессионного анализа установлено, что эти процессы связаны. Установлено энергетическое сходство этих процессов в разном возрасте. Совпадают также показатели изменчивости и динамика формирования пищевых потребностей у быков и телок. Высокое значение детерминанты у быков - $r^2 = 0,90-0,99$, у телок - $r^2 = 0,77-0,99$ доказывает несомненное влияние аргумента, расхода энергии при ассимиляции на функцию, жвачный процесс, обеспечивающий пополнение питательных веществ организмом.

В возрасте 9 месяцев рост расхода энергии в реакции основного обмена на один кДж стиму-

Таблица 3

Регрессионный анализ признаков

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Возраст					
			9 месяцев			18 месяцев		
		M ± m	δ	C	M ± m	δ	C	
Быки								
1	Ассимилировано за один интервал	кДж	5,818 ± 0,33	0,74	13	4,799 ± 0,22	0,50	11
2	Восстановлено за жвачный период	кДж	5,803 ± 0,32	0,73	12	4,641 ± 0,28	0,64	14
3	±		0,015	0,01	1	0,158	0,14	3
4	R	кДж	1,025	-	-	0,745	-	-
5	r ²		0,99	-	-	0,90	-	-
6	r		0,996	-	-	0,949	-	-
Телки								
7	Ассимилировано за один интервал	кДж	5,711 ± 0,56	1,25	22	5,061 ± 0,24	0,51	10
8	Восстановлено за жвачный период	кДж	5,073 ± 0,56	1,25	22	5,116 ± 0,23	0,53	11
9	±		0,638	0	0	0,055	0,02	1
10	R	кДж	0,99	-	-	0,89	-	-
11	r ²		0,99	-	-	0,77	-	-
12	r		0,999	-	-	0,880	-	-

лирует у быков рост потребления - R= 1,025 кДж, у телок - R= 0,990 кДж. В возрасте 18 месяцев соответственно R= 0,745 кДж и 0,890 кДж.

Высокий коэффициент корреляции и регрессии обеспечивает надежные показатели вероятности прогноза в генеральной совокупности при $\beta=0,999$.

Прирост живой массы - это основной показатель мясной продуктивности крупного рогатого скота. Среднесуточный прирост за 270 дней опыта составил у быков 952 г, у телок - 589 г, скорость роста соответственно 0,511 и 0,457 кг на килограмм растущей массы.

Образование мышечной и жировой тканей - основных компонентов мясной продуктивности осуществляется также в процессе реализации основного обмена. С возрастом образование мышечной ткани замедляется, а отложение жировой продолжается при избыточном кормлении.

Непараметрический коэффициент корреляции - между расходом обменной энергии в кДж и среднесуточным привесом в граммах составил $r=0,6$ при $t_{st}>3,9$.

В конце обсуждения нелишне привести слова выдающего физиолога А. Уголева «Нельзя не признать удивительный факт необычно точного соответствия между количеством израсходованной энергии и потреблением пищевых веществ, являющихся источником этой энергии» [3].

Выводы

Возрастные изменения обменных процессов по усвоению питательных веществ характеризуются увеличением общих затрат, что определяется ростом живой массы и снижением удельных показателей обмена в результате сокращения активности внутриклеточного обмена.

Показательной функцией возрастных изменений основного обмена является жвачный процесс.

Расход питательных веществ в интервалах между жвачкой обуславливает ослабление обменных процессов, уменьшение выделения тепла и снижение теплового состояния тела температуры, в зависимости от возраста на 5,818-4,799 кДж - у быков и на 5,711-5,061 кДж - у телок, что является сигналом дефицита питательных веществ и возбуждение жвачного процесса. В жвачный период этот дефицит восполняется в зависимости от возраста у быков в размере 5,803-4,641 кДж, у телок - 5,073-5,116 кДж.

Восстановление необходимого уровня основного обмена, теплового состояния тела, его температуры - это сигнал насыщенности организма питательными веществами и прекращения жвачного процесса.

Основной обмен (базовый метаболизм) является определяющим звеном формирования функции питания молодняка крупного рогатого скота. Он оказывает влияние на развитие адаптивных и продуктивных признаков.

Библиографический список

1. Павлов, И.П. О пищевом центре. Полное собрание сочинений. Том 3. / И.П. Павлов. - М.- Л.: Издательство Академии Наук СССР, 1951. - 394 с.
2. Черниговский, В.Н. Значение интероцентральной сигнализации в пищевом поведении животных / В.Н. Черниговский. - М.- Л.: Наука, 1962. - 102 с.
3. Уголев, А.М. Пищевое поведение и регуляция гомеостаза / А.М. Уголев, В.Г. Кассиль // Сложные формы поведения. - М.- Л.: Наука, 1965. - С. 41-58.
4. Махинько, В.И. Обмен веществ и энергии в онтогенезе / В.И. Махинько, В.Н. Никитин / Возрастная физиология. - Ленинград: Наука, 1975. - С.221-263.
5. Солдатенков, П.Ф. Обмен веществ и продуктивность у жвачных животных / П.Ф. Солдатенков. - Ленинград: Наука, 1971. - 250 с.
6. Надаляк, Е. Энергетический обмен у сельскохозяйственных животных / Е. Надаляк, С. Стояновский // Физиология сельскохозяйственных животных. - Ленинград: Наука, 1978. - С. 255 - 280.

7. Обмен веществ и энергии / Н.А. Шманенков, Н.Г. Григорьев, А.Н. Кошаров [и др.] // Физиология сельскохозяйственных животных. – Ленинград: Наука, 1978. – С. 131-308.

8. Мохов, Б.П. Биологические основы энергоэффективности производства молока / Б.П. Мохов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 1(45).- С.136 – 143.

9. Мохов, Б.П. К вопросу методологии определения расхода обменной энергии в организме животных разного генотипа и экогенеза / Б.П. Мохов, Е.П. Шабалина // Зоотехния. - 2014. - № 8. – С. 10 – 12.

10. Мохов, Б.П. Определение племенной ценности продуктивных животных и оптимизация методов их отбора / Б.П. Мохов // Зоотехния. - 2017.

- № 9. – С. 11-13.

11. Плохинский, Н.А. Регрессия. Показательные функции / Н.А. Плохинский // Биометрия. – М.: Московский университет, 1970. – С. 210 – 273.

12. Шмидт – Ниельсен, К. Размеры животных: почему они так важны? / К. Шмидт - Ниельсен. – М.: Мир, 1987. – 259 с.

13. Робертс, Э. Дифференцировка, рост, обновление и старение клеточных популяций / Э. Робертс, В. Новинский, Ф. Саэс // Биология клетки. – М.: Мир, 1967. – С. 349 - 369.

14. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / под редакцией А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н. И. Клейменова. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: 2003. - 456 с.

FORMATION OF ABUNDANCE AND DEFICIENCY OF NUTRIENTS IN THE ORGANISM OF YOUNG CATTLE OF DIFFERENT AGE AND PRODUCTIVITY

Mokhov B.P., Naumova V.V., Malyshev I.A.
FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University
432017 Ulyanovsk, Novy Venets boulevard, 1; tel. 8 (8422) 44-30-62;
e-mail: moxov@mail.ru

Key words: nutrients, intake, consumption, abundance, deficiency, primary metabolism.

Enzymatic decomposition of organic substances, oxidative processes with energy release and its subsequent consumption for synthesis determine the vital activity of animals. Metabolic energy absorbed by the body is used in the processes of primary metabolism and in adaptive reactions to maintain a constant balance of the body, as well as in the functions of reproduction and productive use of animals. Age-related changes in metabolic processes for absorption of nutrients are characterized by an increase in total costs, which is determined by an increase in live weight and a decrease in specific metabolic rates as a result of a decrease in the activity of intracellular metabolism. An indicative function of age-related changes of primary metabolism is the ruminant process. The consumption of nutrients in the intervals between the chewing causes a weakening of metabolic processes, a decrease in heat generation and a decrease in thermal state of body temperature, depending on age, by 5.818-4.799 kJ (bulls) and by 5.711-5.061 kJ (heifers), which is a signal of nutrient deficiency and excitation of ruminant process. This deficit is filled up in the ruminant period depending on the age of bulls in the amount of 5,803-4,641 kJ, and 5,073-5,116 kJ for heifers. Restoration of the necessary level of basic metabolism, the thermal state of the body, its temperature, is a signal of the body's abundance with nutrients and the termination of the ruminant process.

Bibliography

1. Pavlov, I.P. About a food center. Complete set of works. Volume 3. / I.P. Pavlov. - M.- L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1951. - 394 p.
2. Chernigovsky, V.N. The value of intercentric signaling in nutritional behavior of animals / V.N. Chernigovsky. - M.- L.: Nauka, 1962. - 102 p.
3. Ugolev, A. M. Nutritional behavior and regulation of homeostasis / A.M. Ugolev, V.G. Kassil // Complex forms of behavior. - M.- L.: Nauka, 1965. -- P. 41-58.
4. Makhinko, V.I. Metabolism and energy in ontogenesis / V.I. Makhinko, V.N. Nikitin / Age-related physiology. - Leningrad: Nauka, 1975. -- P.221-263.
5. Soldatenkov, P.F. Metabolism and productivity of ruminants / P.F. Soldatenkov. - Leningrad: Nauka, 1971. - 250 p.
6. Nadalyak, E. Energy exchange of farm animals / E. Nadalyak, S. Stoyanovsky // Physiology of farm animals. - Leningrad: Nauka, 1978. - P. 255 - 280.
7. Metabolism and energy / N.A. Shmanenkov, N.G. Grigoryev, A.N. Kosharov [et al.] // Physiology of farm animals. - Leningrad: Nauka, 1978. - P. 131-308.
8. Mokhov, B.P. Biological basis of energy efficiency of milk production / B.P. Mokhov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2019.- No. 1 (45). - P.136 - 143.
9. Mokhov, B.P. To the issue of the methodology for determining the exchange energy consumption of animals of different genotype and ecogenesis / B.P. Mokhov, E.P. Shabalina // Zootechnics. - 2014. - No. 8. - P. 10 - 12.
10. Mokhov, B.P. Specification of breeding value of productive animals and improvement of methods for their selection / B.P. Mokhov // Zootechnics. - 2017. - No. 9. - P. 11-13.
11. Plokhinsky, N.A. Regression. Exponential functions / N.A. Plokhinsky // Biometry. - M.: Moscow University, 1970. - P. 210 - 273.
12. Schmidt - Nielsen, K. Dimensions of animals: why are they so important? / K. Schmidt - Nielsen. - M.: Mir, 1987. -- 259 p.
13. Roberts, E. Differentiation, growth, renewal and aging of cell populations / E. Roberts, V. Novinsky, F. Soes // Cell Biology. - M.: Mir, 1967. -- P. 349 - 369.
14. Norms and rations for feeding farm animals: a reference guide / edited by A.P. Kalashnikov, V.I. Fisinin, V.V. Shcheglov, N.I. Kleimenov. - 3rd ed., revised and updated. - M.: 2003. - 456 p.