

УДК 665.32/.35:636.085.25

DOI: 10.33284/2658-3135-102-4-198

Влияние различных источников жира в рационе на переваримость и активность пищеварительных ферментов у телят

С.В. Лебедев^{1,2}, Е.В. Шейда^{1,2}, И.А. Вершинина¹, И.З. Губайдуллина¹, И.С. Мирошников¹, В.А. Рязанов¹, А.М. Макаева¹, И.В. Маркова¹, А.С. Ушаков³

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

²Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

³Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

Аннотация. До настоящего времени вопрос о способности поджелудочной железы выделять панкреатический сок, по количеству и ферментативному составу соответствующий различным ингредиентам рациона, до конца не изучен. В литературе имеются данные, указывающие на способность поджелудочной железы изменять состав своего секрета соответственно характеру потребляемой пищи. В мировой практике подобные исследования из-за методической трудности получения чистого панкреатического сока сосредоточены на исследованиях качественного состава химуса и не позволяют изучить сложнорефлекторные и нейрогуморальные механизмы адаптации панкреатической секреции к качеству принимаемого корма. В результате проведенных нами исследований с применением хирургической операции по формированию изолированного отрезка кишечника с впадающим в него панкреатическим протоком получены новые знания об экзокринной функции поджелудочной железы, усвоения питательных веществ у крупного рогатого скота при использовании в рационе разных по жировому составу кормов. Изучение внешнесекреторной функции поджелудочной железы проводилось на 3 телятах казахской белоголовой породы в возрасте 8 месяцев со средней массой 115-120 кг. Введение в рацион пальмового масла оказало стимулирующее влияние на переваримость органического вещества на 12,1 %, сырого протеина – на 8,5 % на фоне снижения переваримости жира на 27,6-45,8 % и сырой клетчатки – до 34-35 %. Роль пищеварительных энзимов в регуляции процесса пищеварения заключалась в снижении в опытных группах экзосекреции поджелудочного сока на 19 % и 6 % соответственно. Включение в рацион подсолнечного масла стимулировало синтез липазы и протеазы на 79,3 % и 38,3 % и депрессии выработки амилазы на 44,3 %. Аналогичная динамика характерна для пальмового жира. Не зависимо от жирнокислотного состава жира снижалось протеазно-амилазное и липазно-амилазное соотношение и увеличивалось липазно-протеазное.

Таким образом, по совокупности изучаемых параметров наиболее удобоваримой формой растительных жиров для крупного рогатого скота является подсолнечное масло, так как его участие в обменных процессах происходит без напряжения в обмене веществ.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, кормление, переваримость питательных веществ, жир, пальмовое масло, подсолнечное масло, поджелудочная железа.

UDC 665.32/.35:636.085.25

The influence of various sources of fat in the diet on digestibility and activity of digestive enzymes of calves

Svyatoslav V Lebedev^{1,2}, Elena V Sheyda², Irina A Vershinina¹, Ilmira Z Gubaidullina¹, Ivan S Miroshnikov¹, Vitaly A Ryazanov¹, Aina M Makaeva¹, Irina V Markova¹, Alexander S Ushakov³

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

²Orenburg State University (Orenburg, Russia)

³All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Animal Nutrition – branch of the Federal Science Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst (Borovsk, Russia)

Summary. Up to now the question of the ability of pancreas to secrete pancreatic juice, corresponding to the various ingredients of the diet in terms of quantity and enzymatic composition, has not been fully studied. There is evidence in the literature that indicates the ability of pancreas to change the composition of

its secretion according to the nature of food consumed. In world practice, such studies, due to the methodological difficulty in obtaining pure pancreatic juice, are focused on studies of the qualitative composition of chyme and do not allow studying the reflex and neurohumoral mechanisms of adaptation of pancreatic secretion to the quality of food eaten. As a result of our studies using a surgical operation to form an isolated segment of the intestine with a flowing pancreatic duct, we gained new knowledge about the exocrine function of pancreas, the absorption of nutrients by cattle after different feeds were used in the diet. The study of exocrine pancreatic function was carried out on 3 calves of the Kazakh white-headed breed at the age of 8 months with an average weight of 115-120 kg. The introduction of palm oil in the diet had a stimulating effect on digestibility of organic matter by 12.1%, crude protein - by 8.5% amid a decrease in the digestibility of fat by 27.6-45.8% and crude fiber - to 34-35 % The role of digestive enzymes in the regulation of the digestion process was to reduce pancreatic juice exosecretion in experimental groups by 19% and 6%, respectively. The inclusion of sunflower oil in the diet stimulated the synthesis of lipase and protease by 79.3% and 38.3% and depression of amylase production by 44.3%. A similar dynamics is typical for palm fat. Regardless of the fatty acid composition of the fat, the protease-amylase and lipase-amylase ratios decreased and the lipase-protease ratio increased.

Thus, according to the studied parameters, the most digestible form of vegetable fats for cattle is sunflower oil, since its participation in metabolic processes occurs without tension in the metabolism.

Key words: cattle, feeding, digestibility of nutrients, fat, palm oil, sunflower oil, pancreas.

Введение.

Липиды являются важным источником энергии для животных. Для удовлетворения физиологической нормы потребности животных в жире используют жиры животного и растительного происхождения или их производные в виде масел (Фисинин В. И. и др., 2008; Лебедев С.В. и др., 2018).

Известно, что жиры животного происхождения состоят главным образом из насыщенных жирных кислот, а растительного – из ненасыщенных (Сафиулина Е.Б., 2009).

Независимо от вида жира в процессе пищеварения большая часть триглицеридов пищи расщепляется до моноглицеридов и жирных кислот под действием липаз поджелудочной железы и слизистой оболочки тонкого кишечника. Связь жирового компонента корма с перевариваемостью и всасываемостью зависит от вида жира. В частности, экспериментальными исследованиями установлены влияния различных жирных кислот на микрофлору рубца (Enjalbert F et al., 2017), изучен процесс биогидрогенизации бактерий рубца по отношению к жирным кислотам (Алиев А.А., 1980), разработаны нормы ввода в рацион и способы подготовки жиров перед скармливанием (Dairy J et al., 2018; Морозова Л.А. и др., 2016).

Сложность процессов пищеварения у жвачных требует большего разнообразия и сложности экспериментальных методов, чем с любыми другими видами животных. Поступление и всасывание химически сложных соединений корма в желудочно-кишечном тракте – одни из наиболее важных частей в питании животных (Lean I et al., 2014). Под воздействием микробиоты и пищеварительного сока питательные вещества при поступлении в желудочно-кишечный тракт начинают трансформироваться на более удобоваримые формы (Лебедев С.В. и др., 2018).

Для растущего молодняка крупного рогатого скота требуются повышенные затраты энергии, одним из которой является жир. Для нормализации жирового обмена применяют различные добавки: жмыхи и шроты, подсолнечное масло и его фузы, животные и растительные жиры и т. д. Биологическая активность жира во многом определяется эффективностью его использования в организме, в частности из-за быстрого окисления (повышение кислотного и перекисного числа) и образования пероксидов жиры становятся токсичными. Важность липидов для организма животного определяет целесообразность их включения в рационах.

Таким образом, для изучения механизмов адаптации пищеварительной системы к жирам различного жирнокислотного состава необходимо учитывать изменения активности пищеварительных энзимов.

Цель исследования.

Изучить влияние рационов с содержанием различного по составу жира на переваримость питательных веществ и ферментативную активность поджелудочной железы молодняка крупного рогатого скота.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Телята казахской белоголовой породы со средней массой 115-120 кг, в возрасте 8 месяцев.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Телята (n=3) содержались в специализированной клетке со свободным доступом к воде и корму. Основной рацион (ОР) был сбалансирован по базовым питательным веществам, согласно детализированным нормам ВНИИМС. Рацион включал сено разнотравное (6,5 кг), смесь концентратов (2,3 кг), дикальцийфосфат (35 г), соль поваренная (35 г). В рацион телят I опытной группы дополнительно в количестве 3 % от сухого вещества вводили подсолнечное масло (холодного отжима), а II опытной – пальмовое масло «Веджелин» (производство компании «Vitalac», Франция) 75 % жира.

Для осуществления поставленной задачи была проведена хирургическая операция по наложению дуоденального анастомоза по методике, разработанной А.Д. Синещёковым (1955). Сущность хирургической операции заключается в выкраивании в месте впадения протока поджелудочной железы в 12-перстную кишку отрезка длиной 4-5 см и фиксации в неё пластиковой фистулы. Ниже сшитого участка кишки вживлялась ещё одна фистула, которая образует внешний анастомоз, соединяемый резиновой трубкой для возврата панкреатического сока в 12-перстную кишку.

После 16-часовой голодной выдержки проводили отбор первой пробы поджелудочного сока с последующим кормлением исследуемыми кормами согласно схеме эксперимента в течение 5 суток. Отбор сока выполняли в течение 8 часов с интервалом в 30 минут в специальную ёмкость. Определение количества и ферментативной активности сока проводили «in cito». Отбора проб по каждому виду корма осуществлялось в 5-кратной повторности.

Оборудование и технические средства. Исследования проводили в лаборатории биологических испытаний и экспертиз и Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации RA. RU.21ПФ59 от 02.12.15).

Измерение активности амилазы проводилось по Смит-Рою в модификации для определения высокой активности фермента (Метельская В.А. и др., 2005), протеаз – по гидролизу казеина очищенного по Гаммерстену при калориметрическом контроле (длина волны 450 нм), липазы – на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) с использованием методик ANOVA. Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по *t*-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Сравнительный химический анализ жирнокислотного состава испытуемых жиров установил существенное превосходство пальмового масла по определяемому спектру жирных кислот, в частности из 9 показателей подсолнечное масло превосходило только по линолевой кислоте (табл. 1).

Таблица 1. Жирнокислотный состав растительных масел, %
Table 1. The fatty acid composition of vegetable oils, %

| Условное обозначение жирной кислоты/Fatty acid symbol | Наименование жирной кислоты/Name of fatty acid | Подсолнечное масло/Sunflower oil | Пальмовое масло/Palm oil |
|---|--|----------------------------------|--------------------------|
| C ₁₄ | Миристиновая/Myristic | - | 1,5 |
| C _{16:0} | Пальмитиновая/Palmitic | 6,3 | 46,3 |
| C _{16:1} | Пальмитолеиновая/Palmitoleic | - | 0,5 |
| C _{18:0} | Стеариновая/Stearic | 4,0 | 6,0 |
| C _{18:1} | Олеиновая/Oleic | 18,8 | 38,2 |
| C _{18:2} | Линолевая/Linoleic | 70,8 | 7,4 |
| C _{18:3} | Линоленовая/Linolenic | 0,1 | 0,1 |
| C _{22:0} | Бегеновая/Behemic | - | - |
| C _{22:1} | Эруковая/Erucic acid | - | - |

Вследствие этого ассортимент жирных кислот пальмового масла оказал стимулирующее влияние на переваримость органического вещества на 12,1 %, сырого протеина – на 8,5 % на фоне снижения переваримости жира на 27,6-45,8 % и сырой клетчатки – до 34-35 % (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты переваримости питательных веществ рациона
Table 2. The digestibility ratios of nutrients in the diet

| Показатель/Indicator | Контроль/Control | Подсолнечное масло/Sunflower oil | Пальмовое масло/Palm oil |
|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Сухое вещество/Dry matter | 74,3±0,04 | 84,1±7,4 | 83,63±5,5 |
| Органическое вещество/Organic matter | 87,8±0,3 | 83,83±6,5 | 85,27±7,8 |
| Сырой протеин/Crude protein | 76,3±3,6 | 81,37±9,4 | 86,13±8,3 |
| Сырой жир/Crude fat | 42,7±1,23 | 44,87±2,6 | 59,8±2,9 |
| Сырая клетчатка/Crude fiber | 37,4±0,18 | 34,47±7,3 | 35,53±7,4 |
| БЭВ/Nitrogen-free substances | 90,3±0,9 | 88,3±9,8 | 90±8,5 |

При изменении состава кормов, объёма их в рационе и кратности кормления поджелудочная железа имеет способность регулировать не только объём выделяемого экзосекрета (поджелудочного сока), но и активность и соотношение имеющихся в нём ферментов. Введение в рацион жиров сопровождалось снижением экзосекреции поджелудочного сока на 19 % и 6 % на фоне увеличения её качественных характеристик (табл. 3).

В частности, синтез липазы и протеазы увеличился на 79,3 % и 38,3 % при снижении амилитической активности на 44,3 % по сравнению с контролем. Аналогичная динамика характерна для пальмового жира.

Адаптацию поджелудочной железы к видовому и качественному составу рациона отражает соотношение выделяемых ферментов друг к другу. Нами установлено снижение протеазно-амилазного соотношения в опытных группах по отношению к контролю на 64 % для рациона, включающего растительное масло, и на 36 % – для пальмового. Липазно-амилазное соотношение имело такую же закономерность. Липазно-протеазное соотношение, напротив, в опытных группах увеличивалось в 4 раза при наличии подсолнечного масла и в 3 раза – при пальмовом.

Таблица 3. Секреторная функция поджелудочной железы телят при включении в корма различных видов жиров (n=5, M±m)
Table 3. The secretory function of pancreas of calves after various types of fats included in the feed (n = 5, M ± m)

| № п/п | Показатели/Indicators | Группа/Group | | |
|-------|---|---------------------|----------------------------------|--------------------------|
| | | контрольная/control | подсолнечное масло/sunflower oil | пальмовое масло/palm oil |
| 1. | Количество панкреатического сока за сутки:/ Amount of pancreatic juice per day: | 1371±110 | 1210±123,3 | 1290±154,2 |
| 2. | Активность ферментов в 1 мл сока/Enzyme activity in 1 ml of juice | | | |
| 2.1 | Амилаза, мг/(мл.мин)/ Amylase, mg / (ml.min) | 3412,3±296 | 1899,5±318 | 2616,8±367* |
| 2.2 | Липаза мг/(мл.мин)/ Lipase mg / (ml.min) | 168,2±48,92 | 810,4±42,7 | 641,6±51,3 |
| 2.3 | Протеазы мг/(мл.мин)/ Proteases mg / (ml.min) | 129,95±9,79 | 209,7±24,6* | 219,7±48,1* |
| | Соотношение протеолитических ферментов мг/(мл.мин) к массе тела, кг/ The ratio of proteolytic enzymes mg/(ml.min) to body weight, kg | | | |
| 2.4 | Кол-во сока/масса тела/ Amount of juice/body weight | 11,92 | 9,7 | 11,2 |
| 2.5 | Амилаза/масса тела/ Amylase/body weight | 29,7 | 16,5 | 31,5 |
| 2.6 | Протеазы/масса тела/ Proteases/body weight | 1,13 | 1,8 | 1,9 |
| 2.7 | Липаза/масса тела/ Lipase/body weight | 1,5 | 7,04 | 5,6 |
| 3. | Соотношение основных протеолитических ферментов в поджелудочном соке телят/ The ratio of main proteolytic enzymes in calf pancreatic juice | | | |
| 3.1 | Протеазно-амилазное/ Protease-amylase | 1:25 | 1:9 | 1:16 |
| 3.2 | Липазно-амилазное/ Lipase-amylase | 1:25 | 1:2 | 1:6 |
| 3.3 | Липазно-протеазное/ Lipase-protease | 1:1 | 4:1 | 3:1 |

Примечание: * – результаты являются статистически достоверными (P≤0,05)

Note: * – the results are statistically significant (P≤0.05)

Обсуждение полученных результатов.

Изменение активности ферментов поджелудочной железы под воздействием различных рационов является примером адаптации, поэтому существует зависимость количества выделяемого панкреатического сока и уровня активности ферментов от структуры рациона и, как следствие, изменение усвоения питательных веществ.

Существует необходимость коррекции рационов в соответствии с периодом роста, физиологической потребности животных, характером питания и условий кормления (Лебедев С.В. и др., 2005, 2010) и специфического влияния макро- и микронутриентов на процессы пищеварения (Мирошников С.А. и др., 2005).

Включение в рацион телят жира сопровождалось стимулированием активности панкреатической липазы, и в то же время отмечалось снижение переваримости сырого жира, что подтвер-

ждается нейрогуморальной регуляцией синтеза липазы и амилазы с высокой активностью в ответ на большее поступление жира, что согласуется с результатами ранее проведенных исследований (Лебедев С.В. и др., 2019; Санжиева С.Е. и др., 2011; Кононенко С.И., 2008). Так как ингибирующее влияния жира по отношению к микрофлоре рубца депрессирует его всасываемость в нижних отделах кишечника (Левахин Г.И. и др., 2002; Холодилина Т.Н. и др., 2009; Мирошников С.А. и др., 2000; Stevens С., 1990). Априори низкая адаптивная способность панкреатической секреции гидролитических ферментов выступает одним из проявлений нарушения деятельности поджелудочной железы и механизмов её регуляции, вынуждает желудочно-кишечный тракт функционировать в режиме системной компенсации пищеварения для обеспечения макроорганизма нутриентами принимаемой пищи (Коротько Г.Ф., 2016), в первую очередь ферментами микроорганизмов (Стояновский С.В., 1965). Это было продемонстрировано в нашем эксперименте существованием отрицательной взаимосвязи между активностью амилазы и переваримостью клетчатки, что указывает на способность микрофлоры кишечника компенсировать (достраивать) разнополярность ферментативной активности поджелудочной железы к изменяющемуся составу рациона.

Исследования ряда авторов показывают, что чем ближе аминокислотный состав кормов к аминокислотному составу организма животного, тем меньше нагрузка на поджелудочную железу и тем меньше поджелудочного секрета выделяется.

Выводы.

Наибольшее влияние на обмен веществ оказал пальмовый жир, что выразилось в увеличении переваримости органического вещества, сырого протеина при снижении липидного обмена на 27,6-45,8 %. Роль пищеварительных энзимов в регуляции процесса пищеварения при включении в рацион подсолнечного масла заключалась в снижении экзосекреции поджелудочного сока на 19 % и 6 % соответственно на фоне увеличения синтеза липазы и протеазы на 79,3 % и 38,3 % и снижения амилотической активности на 44,3 %. Независимо от жирнокислотного состава жира снижались протеазно-амилазное и липазно-амилазное соотношение и увеличивалось липазно-протеазное.

Работа финансируется Министерством науки и образования РФ для выполнения фундаментальных научных исследований определяемым президиумом Российской академии наук (Соглашение № 075-02-2019-1847).

Литература

1. Алиев А.А. Липидный обмен и продуктивность жвачных животных. М.: Колос, 1980. 381 с. [Aliev AA. Lipidnyi obmen i produktivnost' zhvachnykh zhivotnykh. M.: Kolos, 1980:381 p. (*In Russ*)].
2. Биологические эффекты, связанные с поступлением в организм цыплят-бройлеров наночастиц хрома в разной дозировке / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, И.З. Губайдуллина, С.В. Шабунин // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 4. С. 820-831. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng [Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2019;54(4):820-831. (*In Russ*). doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng
3. Вертипрахов В.Г. Особенности секреторной функции поджелудочной железы цыплят-бройлеров и возможности коррекции пищеварения животных ферментными препаратами на цеолитовой основе: дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2004. 284 с. [Vertiprakhov VG. Osobennosti sekretornoj funktsii podzheludochnoi zhelezy tsyplyat-broilerov i vozmozhnosti korrektsii pishchevareniya zhivotnykh fermentnymi preparatami na tseolitovoi osnove. [dissertation] Novosibirsk; 2004: 284 p. (*In Russ*)].
4. Влияние различных источников протеина в рационе на всасывание питательных веществ в желудочно-кишечном тракте животного / С.В. Лебедев, Г.И. Левахин, И.З. Губайдуллина, И.В. Маркова, Е.В. Шейда // Известия Оренбургского государственного аграрного университе-

та. 2018. Т. 74. № 6. С. 205-208. [Lebedev SV, Levakhin GI, Gubaidullina IZ, Markova IV Sheida EV. Effect of different protein sources in the ration on nutrients assimilation in the digestive tract of animals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;74(6):205-208. (In Russ)].

5. Гусейнова Э.Д. Влияние разных уровней подсолнечного масла в рационах баранчиков на всасывание холестерина в порталную систему // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 5. С. 9-12. [Huseynova E. Influence of different levels of sunflower oil in diets of lambs on absorption of cholesterol in portal systems. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural sciences*. 2011;5:9-12. (In Russ)].

6. Использование сухих растительных (пальмовых) жиров в кормлении высокопродуктивной птицы / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.Н. Ленкова и др. Сергиев Посад, 2008. 22 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Lenkova TN, et al. *Ispol'zovanie sukhikh rastitel'nykh (pal'movykh) zhirov v kormlenii vysokoproductivnoi ptitsy*. Sergiev Posad, 2008;22. (In Russ)].

7. Кононенко С.И. Способ повышения продуктивного действия рациона // Зоотехния. 2008. № 4. С. 14-15. [Kononenko SI. *Sposob povysheniya produktivnogo deistviya ratsiona*. Zootechniya. 2008;4:14-15. (In Russ)].

8. Коротько Г.Ф. Постпрандаильная секреция поджелудочной железы // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2016. № 2. С. 4-15. [Korot'ko GF. *Postprandial of pancreatic secretion*. *Journal of Fundamental Medicine and Biology*. 2016;2:4-15. (In Russ)].

9. Лебедев С.В., Мирошников С.А. Связь уровня кормления с развитием воспроизводительной системы тёлочек // Молочное и мясное скотоводство. 2005. № 4. С. 29-31. [Lebedev SV, Miroshnikov SA. *Svyaz' urovnya kormleniya s razvitiem vosproizvoditel'noi sistemy telok*. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2005;4:29-31. (In Russ)].

10. Лебедев С.В., Родионова Г.Б. Экологическая оценка растительного сырья и продуктов питания различных природно-климатических зон Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 112. С. 152-155. [Lebedev SV, Rodionova GB. *Ecological evaluation of vegetative raw material and foodstuff in different nature and climate zones of Orenburg region*. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2010;112:152-155. (In Russ)].

11. Метельская В. А., Гуманова Н. Г. Скрининг-метод определения уровня метаболитов оксида азота в сыворотке крови человека // Клиническая и лабораторная диагностика. 2005. № 6. С. 15-18. [Metelskaya VA, Gumanova NG. *Screening as a method for determining the serum level of nitric oxide metabolites*. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2005;6:15-18. (In Russ)].

12. Мирошников С.А., Кван О.В., Нуржанов Б.С. Роль нормальной микрофлоры в минеральном обмене животных // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 6(112). С. 81-83. [Miroshnikov SA, Kvan OV, Nurzhanov BS. *Role of normal microflora in mineral turnover of animals*. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2010;6(112):81-83. (In Russ)].

13. Нужно ли вводить ферменты в рацион молодняка племенной птицы? / Е.П. Мирошникова, А.Я. Сенько, С.А. Мирошников, А.И. Галузин // Комбикорма. 1998. № 3. С. 76-78. [Miroshnikova EP, Sen'ko AY, Miroshnikov SA, Galuzin AI. *Nuzhno li vvodit' fermenty v ratsion molodnyaka plemennoi ptitsy?* *Compound Feeds*. 1998;3:76-78. (In Russ)].

14. Переваривание питательных веществ в различных отделах желудочно-кишечного тракта в зависимости от качества протеина в рационе у телят / С.В. Лебедев, О.В. Кван, Е.В. Шейда, И.В. Маркова, И.З. Губайдуллина В.В., Гречкина В.Л., Королёв // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 158-163. [Lebedev SV, Kwan OV, Sheida EV, Markova IV, Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Korolev VL. *Digestion of nutrients in different sections of the gastrointestinal tract depending on protein quality in the calves diet*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):158-163. (In Russ)].

15. Санжиева С.Е., Мантатова Н.В. Влияние качества кормов на экзокринную функцию поджелудочной железы серебристо-чёрных лисиц // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. Т. 79. № 5. С. 60-64. [Sanzhieva SE, Mantatova NV. Vliyanie kachestva kormov na ekzokrinnuyu funktsiyu podzheludochnoi zhelezy serebristo-chernykh lisits. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2011;79(5):60-64. (*In Russ*)].
16. Сафиулина Е.Б. Влияние жировых добавок к рационам молодняка крупного рогатого скота на его рост, развитие и мясную продуктивность: дис. ...канд. с.-х. наук. Персиановский, 2009. 151 с. [Safiulina EB. Vliyanie zhirovyykh dobavok k ratsionam molodnyaka krupnogo rogatogo skota na ego rost, razvitiye i myasnuyu produktivnost'. [dissertation] Persianovskii; 2009:151 p. (*In Russ*)].
17. Синешёков А.Д. Процессы питания и нервная регуляция их у сельскохозяйственных животных // Тезисы докладов VIII Всесоюзного съезда физиологов, биохимиков. Киев, 1955. 736 с. [Sineshchekov AD. Protsessy pitaniya i nervnaya regulyatsiya ikh u sel'skokhozyai-stvennykh zhiivotnykh. (Conference proceedigs) Tezisy dokladov VIII Vsesoyuznogo s"ezda fiziologov, biokhimikov. Kiev, 1955:736 p. (*In Russ*)].
18. Стояновский С.В. Возрастные особенности газоэнергетического обмена и источников энергии у жвачных животных: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киев, 1965. 36 с. [Stoyanovskii SV. Vozrastnye osobennosti gazoenergeticheskogo obmena i istochnikov energii u zhvachnykh zhiivotnykh: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Kiev, 1965:36 p. (*In Russ*)].
19. Шайдуллина Р.Г. Липолитическая активность микроорганизмов рубца крупного рогатого скота: дис. ... канд. биол. наук. Дубровицы, 1983. 141 с. [Shaidullina RG. Lipoliticheskaya aktivnost' mikroorganizmov rubtsa krupnogo rogatogo skota. [dissertation] Dubrovitsy; 1983:141 p. (*In Russ*)].
20. Эффективность «защищённого» жира в рационах животных / С.А. Мирошников, А.И. Гречушкин, А.М. Мирошников, С.В. Лебедев // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение Биоэлементология. 2005. № 2. С.47-49. [Miroshnikov SA, Grechushkin AI, Miroshnikov AM, Lebedev SV. Effektivnost' «zashchishchennogo» zhira v ratsionakh zhiivotnykh. Vestnik of the Orenburg State University. Prilozhenie Bioelementologiya. 2005;2:47-49. (*In Russ*)].
21. Enjalbert F, Combes S, Zened A, Meynadier A. Rumen microbiota and dietary fat: a mutual shaping. *Journal applied microbiology*. 2017;123(4):782-797. doi: <https://doi.org/10.1111/jam.13501>
22. Kairenius P, Leskinen H, Toivonen V, Muetzel S, Ahvenjärvi S, Vanhatalo A, Huhtanen P, Wallace R, Shingfield K. Effect of dietary fish oil supplements alone or in combination with sunflower and linseed oil on ruminal lipid metabolism and bacterial populations in lactating cows. *Dairy J Sci*. 2018; 101(4):3021-3035. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13776>
23. Lean I, Golder H, Hall M. Feeding, evaluating, and controlling rumen function. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. 2014;30(3):539-75. doi: [10.1016/j.cvfa.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.07.003)
24. Stevens C. Choosing a protected fat for ruminant diets. *Feed Compounder*. 1990;10(7):58-59.

References

1. Aliev AA. Lipid metabolism and ruminant productivity. Moscow: Kolos, 1980: 381 p.
2. Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(4):820-831. doi: [10.15389/agrobiology.2019.4.820eng](https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.4.820eng)
3. Vertiprakhov VG. Features of the secretory function of the pancreas of broiler chickens and the possibility of correcting digestion of animals with zeolite-based enzyme preparations. [dissertation] Novosibirsk; 2004:284 p.
4. Lebedev SV, Levakhin GI, Gubaidullina IZ, Markova IV, Sheida EV. Effect of different protein sources in the ration on nutrients assimilation in the digestive tract of animals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;74(6):205-208.

5. Huseynova E. Influence of different levels of sunflower oil in diets of lambs on absorption of cholesterol in portal systems. Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural sciences. 2011;5:9-12.
6. Fisinin VI, Egorov IA, Lenkova TN, et al. Use of dry vegetable (palm) fats in feeding highly productive poultry. Sergiev Posad, 2008:22 p.
7. Kononenko SI. The way of increase a productive action of ration. Zootechniya. 2008;4:14-15.
8. Korot'ko GF. Postprandial of pancreatic secretion. Journal of Fundamental Medicine and Biology. 2016;2:4-15.
9. Lebedev SV, Miroshnikov SA. The relationship of the level of feeding with the development of the reproductive system of heifers. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2005;4:29-31. (*In Russ*).
10. Lebedev SV, Rodionova GB. Ecological evaluation of vegetative raw material and food-stuff in different nature and climate zones of Orenburg region. Vestnik of the Orenburg State University. 2010;112:152-155.
11. Metelskaya VA, Gumanova NG. Screening as a method for determining the serum level of nitric oxide metabolites. Russian Clinical Laboratory Diagnostics. 2005;6:15-18.
12. Miroshnikov SA, Kvan OV, Nurzhanov BS. Role of normal microflora in mineral turnover of animals. Vestnik of the Orenburg State University. 2010;6(112):81-83.
13. Miroshnikova EP, Sen'ko AYa, Miroshnikov SA, Galuzin AI. Is it necessary to introduce enzymes in the diet of young breeding birds? Compound Feeds. 1998;3:76-78.
14. Lebedev SV, Kwan OV, Sheida EV, Markova IV, Gubaidullina IZ, Grechkina VV, Korolev VL. Digestion of nutrients in different sections of the gastrointestinal tract depending on protein quality in the calves diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(4):158-163.
15. Sanzhieva SE, Mantatova NV. Effect of feed quality on exocrine pancreatic function of silver-black foxes. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2011;79(5):60-64.
16. Safiulina EB. The effect of fat additives in the diets of young cattle on its growth, development and meat productivity. [dissertation] Persianovskii; 2009:151.
17. Sineshchekov AD. Food processes and their nervous regulation in farm animals. (Conference proceedings) Abstracts of the VIII All-Union Congress of Physiologists, Biochemists. Kiev, 1955: 736 p.
18. Stoyanovskii SV. Age-related features of gasenergy metabolism and energy sources in ruminant animals: avtoref. dis. ... Dr. Biol. Sci. Kiev, 1965: 36 p.
19. Shaidullina RG Lipolytic activity of cattle rumen microorganisms. [dissertation] Dubrovitsy; 1983: 141 p.
20. Miroshnikov SA, Grechushkin AI, Miroshnikov AM, Lebedev SV. Эффективность «защищенного» жира в рационах животных. Vestnik of the Orenburg State University. Application Bioelementology. 2005;2:47-49.
21. Enjalbert F, Combes S, Zened A, Meynadier A. Rumen microbiota and dietary fat: a mutual shaping. Journal applied microbiology. 2017;123(4):782-797. doi: <https://doi.org/10.1111/jam.13501>
22. Kairenius P, Leskinen H, Toivonen V, Muetzel S, Ahvenjärvi S, Vanhatalo A, Huhtanen P, Wallace R, Shingfield K. Effect of dietary fish oil supplements alone or in combination with sunflower and linseed oil on ruminal lipid metabolism and bacterial populations in lactating cows. Dairy J Sci. 2018; 101(4):3021-3035. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13776>
23. Lean I, Golder H, Hall M. Feeding, evaluating, and controlling rumen function. Vet Clin North Am Food Anim Pract. 2014;30(3):539-75. doi: [10.1016/j.cvfa.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.07.003)
24. Stevens C. Choosing a protected fat for ruminant diets. Feed Compounder. 1990;10(7):58-59.

Лебедев Святослав Валерьевич, доктор биологических наук, заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29. тел.: 8-912-345-87-38, e-mail: lsv74@list.ru; доцент кафедры

биотехнологии животного сырья и аквакультуры, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Шейда Елена Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000 г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-843-10-69, e-mail: elena-shejjda@mail.ru

Вершинина Ирина Александровна, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000 г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-843-10-69, e-mail: gavrish.irina.ogu@gmail.com

Губайдуллина Ильмира Закиевна, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000 г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-843-10-69, e-mail: gubaidullinae@mail.ru

Мирошников Иван Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-79, e-mail: vniims.or@mail.ru

Рязанов Виталий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-79, e-mail: vniims.or@mail.ru, vita7456@yandex.ru

Макаева Айна Маратовна, младший научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-919-842-46-99, e-mail: ayna.makaeva@mail.ru

Маркова Ирина Викторовна, кандидат биологических наук, руководитель научно-образовательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, тел.: 8(3532)30-81-72; 89610474026, e-mail: nocbst@mail.ru

Ушаков Александр Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии пищеварения и межклеточного обмена, Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», 249013, Калужская область, г. Боровск, e-mail: asu2004@bk.ru

Поступила в редакцию 29 ноября 2019 г.; принята после решения редколлегии 16 декабря 2019 г.; опубликована 31 декабря 2019 г. / Received: 29 November 2019; Accepted: 16 December 2019; Published: 31 December 2019