

УДК 636.084.1:591.11

DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-54

Липидограмма сыворотки крови телят при введении в рацион растительных жиров

В.В. Гречкина^{1,2}, С.В. Лебедев¹, Е.В. Шейда^{1,3}, И.В. Маркова¹

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

²*Оренбургский государственный аграрный университет (г. Оренбург)*

³*Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)*

Аннотация. В статье представлены результаты оценки метаболических эффектов липофильных продуктов растительного происхождения: подсолнечное (I группа), пальмовое (II группа) и льняное (III группа) на липидный обмен в эксперименте на телятах казахской белоголовой породы (n=3) живой массой 215-220 кг, в возрасте 9 месяцев. Включение подсолнечного и пальмового масел выражалось увеличением липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) и общего холестерина (ОХС). По соотношению накопления холестерина липопротеинов высокой плотности/холестерину липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПВП/ХС-ЛПНП) исследуемые жиры расположились следующим образом в исследуемых группах: II (1,82)>III (1,78)>I (1,74)>контрольная (0,77) усл. ед. Действие растительных жиров на организм экспериментальных животных по индексу атерогенности ХС общий/ЛПВП в сыворотке крови составило: III (0,34)<I (0,36)<II (0,38)<контрольная (0,46). Таким образом, введение масел проявляется в уменьшении ХС ЛПНП и индекса атерогенности в сыворотке крови при достоверном возрастании ЛПВП. Это может служить основанием для использования растительных масел в качестве перспективных биологических добавок природного происхождения в кормлении животных, а также на стадии выращивания телят следить за уровнем липидов в организме и рассчитывать их при составлении рациона.

Ключевые слова: телята, кормление, кровь, липиды, индексы, метаболизм, жир, биохимический анализ.

UDC 636.084.1:591.11

Calf lipidogram after vegetable fats were added to the diet

Victoria V Grechkina^{1,2}, Svyatoslav V Lebedev¹, Elena V Sheyda^{1,3}, Irina V Markova¹

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

²*Orenburg State Agrarian University (Orenburg, Russia)*

³*Orenburg State University (Orenburg, Russia)*

Summary. The article presents the results of evaluating the metabolic effects of lipophilic products of plant origin: sunflower (group I), palm (group II) and flax (group III) on lipid metabolism. Experiment was conducted on calves of the Kazakh white-headed breed (n=3) with a live weight of 215-220 kg, aged 9 months. High density lipoproteins (HDL) and Total cholesterol (TC) increased after the inclusion of sunflower and palm oil. According to the ratio of accumulation of High density lipoproteins-Cholesterol/Low density lipoproteins-Cholesterol HDL-C/LDL-C, the studied fats were arranged as follows in the studied groups II (1.82)>III (1.78)> I (1.74)>control (0.77) cond. units. The effect of vegetable fats on the body of experimental animals according to the index of atherogenicity of total cholesterol/HDL in blood serum was: III (0.34)<I (0.36)<II (0.38)<control (0.46). Thus, the introduction of oils is manifested in a decrease in LDL cholesterol and the index of atherogenicity in the blood serum, with a significant increase in HDL. This can serve as a basis for use of vegetable oils as promising biological additives of natural origin in animal feeding, as well as at the stage of raising calves to monitor the level of lipids in the body and calculate them when preparing a diet.

Key words: calves, feeding, blood, lipids, indices, metabolism, fat, biochemical analysis.

Введение.

Липиды – это большая группа метаболитов, различающихся по своему жирнокислотному составу. Липиды вызывают растущий интерес как потенциальные биомаркеры во многих клинических условиях. Это подчёркивает важность липидных исследований в понимании, диагностике и лечении многочисленных патологий у животных (Зубцов В.А. и Миневич И.Э., 2015; Лебедев С.В. и др., 2018; Kang JX et al., 2014; Xie T et al., 2017).

В повседневной практике липидный статус оценивают на основе сывороточных концентраций общего холестерина (ТС), липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) и триацилглицеридов (ТАГ). Хотя из анализа этих липидных фракций можно получить лишь ограниченную информацию, другие имеющиеся в настоящее время методы, например масс-спектрометрия, могут дать детальное представление о структуре и функциях некоторых конкретных видов липидов (Донскова Л.А. и др., 2018; Zhang BB et al., 2009; Yang HJ et al., 2016; Lebedev SV et al., 2020).

Свойства различных липидов и их биологические функции изменяются в зависимости от группы и от наличия кетоацильных и изопреновых групп: FAs, глицеролипиды, глицерофосфолипиды, сфинголипиды, стерильные липиды, пренольные липиды, сахаролипиды и поликетиды (Фицев А.И. и др., 2003; Tang Q et al., 2016). Основным структурным компонентом каждой липидной группы являются жирные кислоты, которые играют широкий спектр ролей в организме животных (Шагбанова Д.А. и Нурмагомедова П.М., 2014; Zhou J et al., 2016; Grechkina VV et al., 2021).

Липопротеины очень низкой, низкой и высокой плотности (ЛПОНП, ЛПНП и ЛПВП) представляют собой гетерогенные нековалентные сборки липидов и аполипопротеинов (АПО), которые солюбилизируют липиды и направляют их транспорт и метаболизм в плазме (Титов В.Н. и др., 2016; Kimball SR and Jefferson LS, 2006; Walther TC and Farese RVJr, 2012). Поверхность липопротеина состоит из амфипатических аполипопротеинов и полярных липидов, главным образом фосфолипидов и холестерина, в то время как аполярные липиды, в основном сложные эфиры холестерина и триацилглицерины, секвистрируются в липопротеиновом ядре. Во время метаболизма липопротеины непрерывно ремоделируются плазменными факторами, такими как гидролазы и белки переноса липидов, которые изменяют биохимический состав, структуру и функцию липопротеинов (Кирилов М. и др., 2009; Мирошников С.А. и др., 2013; Malesci A et al., 1995; Zdunczyk Z et al., 2015).

Анализ липидного спектра крови имеет огромное значение при изменении состава рациона с использованием жиров растительного происхождения.

Цель исследования.

Изучить изменения в составе липидограммы крови телят при введении в рацион растительных жиров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Телята казахской белоголовой породы в возрасте 9 месяцев в начале эксперимента, масса которых составляла 215-225 кг.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования были выполнены в условиях лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН).

Кормление телят (n=3) осуществлялось основным рационом, составленным с учётом рекомендаций (NRC, 2000). Основной рацион во время эксперимента получала контрольная группа животных. I опытная группа к основному рациону включала подсолнечное масло (первичного холодного отжима, высшего сорта), II опытная – пальмовое масло (ГОСТ 31647 – 2012), III опытная – льняное масло (СТО 40490379-001-2015, ТР ТС 024/2011). Введение в рацион проводили за счёт зерновой части в расчёте 3 % от сухого вещества.

Липидный состав отобранных липопротеинов до и после термической или химической денатурации оценивали жидкостным микроколоночным хроматографом «Орлант-122». Липиды экстрагировали методом Фольха с хлороформом 2:1:метанол и сушили под азотом. Известные количества сухих липидов анализировали с использованием гексана:эфира:уксусной кислоты (70:30:1) для разделения аполярных липидов или хлороформа:метанола:воды:уксусной кислоты (65:25:4:1) для разделения полярных липидов.

Для селективного гидролиза триацилглицеридов в липопротеиновом ядре ЛПНП и ЛПОНП были ремоделированы секреторной ЛПЛ, которая гидролизует ТАГ в этих липопротеинах *in vivo*. Липопротеины (0,5 мг/мл общего белка) инкубировали с ЛПЛ (24 Ед/мл) при +37 °С в течение 1 ч в 10 мм Трис-буферного физиологического раствора, содержащем 2,5 мм CaCl₂, при pH 7,7; реакцию тушили ЭДТА (конечная концентрация – 20 мм) в Трис-буферном физиологическом растворе. Степень реакции определяли количественно путём измерения ФФА, образующегося при гидролизе триацилглицеридов.

В качестве комплементарного метода оценки стабильности липопротеидов изменения мутности контролировали при нагревании и охлаждении при 320 Нм с помощью диодного напряжения (в вольтах). Холестериновый коэффициент атерогенности (КАт) рассчитывали по формуле:

$$КА_{Т} = \frac{\text{Общий ХС} - \text{ХС ЛПВП}}{\text{ХС ЛПВП}}$$

Содержание липопротеидов низкой и очень низкой плотности рассчитывался по формуле:

$$\text{Хс-ЛПОНП} = \text{ОТГ} / 2,2$$

$$\text{Хс-ЛПНП} = \text{ОХс} - \text{Хс-ЛПВП} - \text{Хс-ЛПОНП}$$

Оборудование и технические средства. Анализ проводился в Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015 г.). Оценивали холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП), холестерин липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП), триацилглицериды (ТАГ). В межкафедральной комплексной аналитической лаборатории ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» с помощью анализатора StatFax 1904+ ("Awareness Technology, Inc.", США) с коммерческими наборами для ветеринарии (ЗАО «Диакон-ДС», Россия) определяли общий холестерин (ОХС) и общие липиды (ОЛ). Жидкостный микроколоночный хроматограф «Орлант-122» (ООО "Медикант", г. Орёл, Россия).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Анализ липидного состава крови показал, что количество ОЛ преобладало во II опытной группе телят (2,09 г/л), что выше контрольной группы на 48,33 % ($P \leq 0,05$) и 43,54 % – III опытной группы ($P \leq 0,05$). Незначительная разница 6,22 % была с I опытной группой, которой дополнительно к основному рациону вводили подсолнечное масло (табл. 1).

Таблица 1. Липидный состав сыворотки крови телят, ($\bar{x} \pm S_x$)
 Table 1. The lipid composition of the blood serum of calves, ($\bar{x} \pm S_x$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	I опытная / I experimental	II опытная / II experimental	III опытная / III experimental
Общие липиды (ОЛ), г/л / Total lipids (OL), g/l	1,08±1,16	1,96±0,13	2,09±0,11*	1,18±1,06*
Триацилглицериды (ТАГ), ммоль/л / Triacylglycerides (TAG), mmol/l	0,26±0,03	0,43±0,06	0,48±0,05*	0,22±0,03
ТАГ/ОЛ, усл. ед. / TAG/OL, usl. unit.	0,24±0,04	0,22±0,03	0,23±0,05	0,21±0,04*
Общий холестерин (ОХС), ммоль/л / Total cholesterol (OHC), mmol/L	2,00±0,14	2,86±0,05	2,91±0,17	1,97±0,14*
ОХ/ОЛ, усл. ед. / usl. ed.	1,39±0,10	1,49±0,11	1,59±0,15	1,45±0,10*

Примечание: * – Различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Note: * – Differences with control are significant at $P \leq 0.05$

Содержание ТАГ в составе сыворотки крови превышали в I (39,53 %) и II (45,83 %) ($P \leq 0,05$) опытных группах относительно телят контрольной группы. Животные III опытной группы, получавшие льняное масло, по данному показателю были ниже на 18,18 % относительно контроля.

При расчётах отношения ТАГ и ОХ/ОЛ между опытными группами возникало следующее распределение (рис. 1).

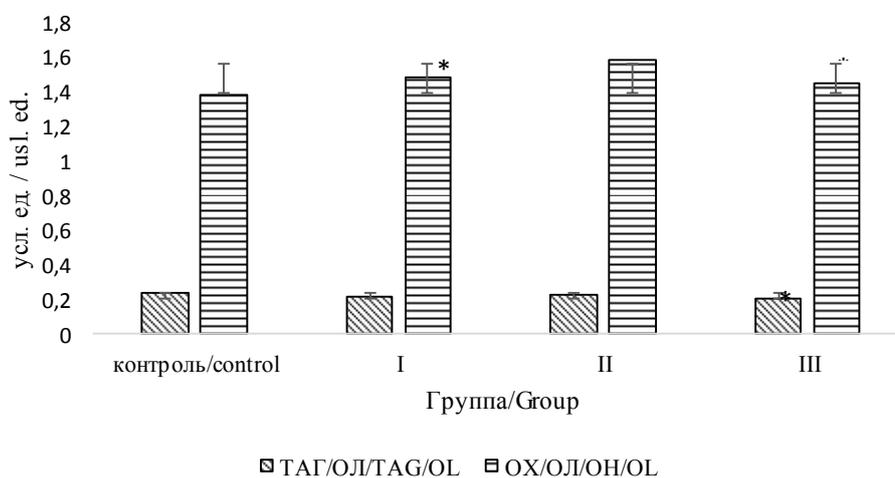


Рис. 1 – Отношение общих липидов к липопротеинам высокой и низкой плотности, $P \leq 0,05$
 Figure 1 – Ratio of total lipids to high-and low-density lipoproteins, $P \leq 0.05$

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Note: * – differences with control are significant at $P \leq 0.05$

В сыворотке крови телят I и II опытных групп на фоне введения подсолнечного и пальмового масел было выявлено увеличение ОЛ на 30,07 % ($P \leq 0,05$) и 31,27 % ($P \leq 0,05$) соответственно относительно контроля.

Результаты показали, что при изменении концентрации общего холестерина даже незначительные его колебания приводят к увеличению ХС-ЛПНП и их соотношения с ХС-ЛПВП (табл. 2).

Таблица 2. Транспортные формы холестерина в крови телят, ($x \pm Sx$)
Table 2. Transport forms of cholesterol in the blood of calves, ($x \pm Sx$)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>			
	контрольная / <i>control</i>	I опытная / <i>I experimental</i>	II опытная / <i>II experimental</i>	III опытная / <i>III experimental</i>
ХС-ЛПВП, ммоль/л / <i>HDL-C, mmol/L</i>	1,28±0,09	2,06±0,07	2,13±0,11*	1,98±0,06
ХС-ЛПНП, ммоль/л / <i>LDL-C, mmol/L</i>	1,67±0,08	1,14±0,14	1,17±0,09	1,12±0,04*
ХС-ЛПВП/ХС- ЛПНП, усл. ед. / <i>HDL-C/LDL-C, usl. units.</i>	0,77±0,08	1,74±0,28	1,82±0,15*	1,78±0,02

Примечание: * – Различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Note: * – Differences with control are significant at $P \leq 0.05$

При ведении растительных масел в сыворотке крови регистрировалось увеличение ХС-ЛПВП в опытных группах III (35,35 %), I (37,86 %) и II (39,91 %) ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений. Низким уровнем характеризовалась III группа животных по содержанию ХС-ЛПНП с разницей на 49,11 % ($P \leq 0,05$) относительно телят контрольной группы. Повышение данного показателя в I и II опытных группах указывает на более интенсивное жиросотложение.

Определение индекса атерогенности является более достоверным свидетельством нарушения липидного обмена, чем повышение или понижение содержания общих триглицеридов (рис. 2).

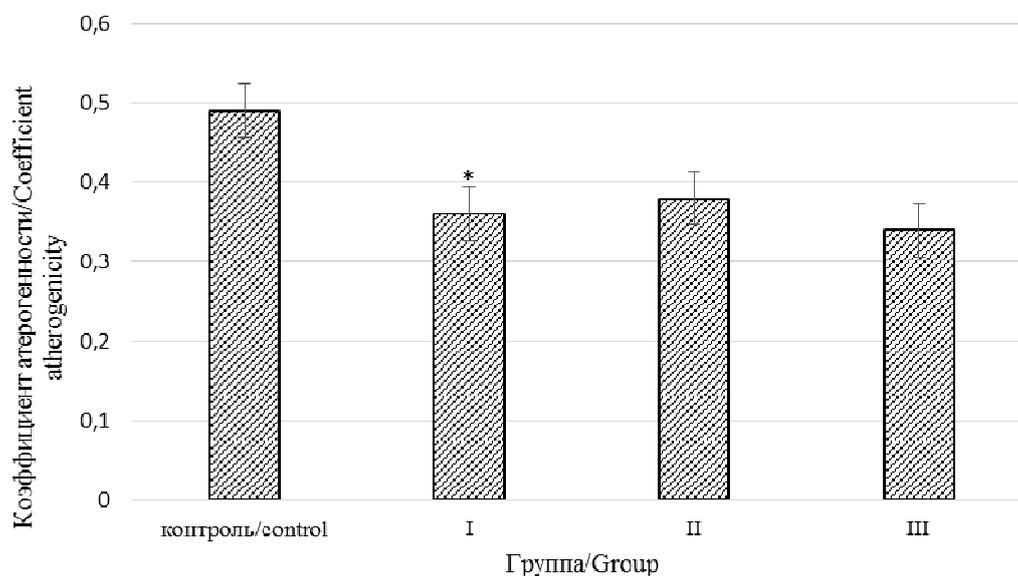


Рис. 2 – Коэффициент атерогенности подопытных телят, $P \leq 0,05$

Figure 2 – Coefficient of atherogenicity of experimental calves, $P \leq 0.05$

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Note: * – differences with control are significant at $P \leq 0.05$

Под влиянием растительных жиров у подопытных телят происходила нормализация липидного состава крови. Об этом указывает снижение ЛПНП в опытных группах I (31,74 %), II (29,94 %), III (32,93 %), в результате этого коэффициент атерогенности составил в I группе 0,36, II – 0,38, III – 0,34. III опытная группа животных характеризовалась самым низким коэффициентом атерогенности 29,17 % ($P \leq 0,05$) относительно группы контрольных телят.

Таким образом, по степени накопления ХС-ЛПВП/ХС-ЛПНП исследуемые жиры можно расположить в следующем порядке: II (1,82) > III (1,78) > I (1,74) > контрольная (0,77) усл. ед., а по индексу атерогенности ХС общий/ЛПВП в сыворотке крови: III (0,34) < I (0,36) < II (0,38) < контроль (0,46).

Полученные данные по липидному обмену свидетельствуют о том, что общий холестерин/ЛПВП и соотношение ЛПНП/ЛПВП являются показателями риска с большей прогностической ценностью, чем изолированные параметры, используемые независимо, особенно первые.

Обсуждение полученных результатов.

Установлено, что количество общих липидов преобладало в I и II опытных группах телят, что выше контрольной группы на 48,33 % ($P \leq 0,05$) и 43,54 % ($P \leq 0,05$). Результаты согласуются с исследованиями Huang MJ с коллегами (2016), которые показали, что основной состав рациона, обогащённый подсолнечным маслом, повышает регуляцию мРНК переносчика жирных кислот (жира) в 2,6 раза по сравнению с льняным жиром (Ball RO et al., 2007; Akimov SS et al., 2021).

Включение в рацион пальмового жира сопровождалось увеличением триглицеридов на 55,17 % и холестерина – на 69,99 % ($P \leq 0,05$). При высоком уровне ЛПВП одновременно увеличивалось содержание ЛПНП, что в результате сказывалось на индексе атерогенности у телят, получивших пальмовый жир. Предполагается, что пальмовый жир обладает гиперхолестеринемическим действием. Он повышает активность транспортного белка сложного эфира холестерина, который отвечает за перенос холестерина из ЛПВП в ЛПНП. Это, в свою очередь, ответственно за снижение концентрации ЛПВП в сочетании с повышением уровня ЛПНП (Lage R et al., 2008; Pang J et al., 2016).

Концентрация ТАГ в составе липопротеинов высокой и низкой плотности преобладала в I (39,53 %) и II (45,83 %) ($P \leq 0,05$) опытных группах относительно телят контрольной группы. В комплексе с холестерином, фосфолипидами и апобелками триацилглицериды входят в состав липопротеидов очень низкой плотности (ЛПОНП). Liu Z с соавторами (2006) установили, что уровни ТАГ в плазме крови без голодания, которые могут варьировать в зависимости от генетических и экологических факторов, повышены при сахарном диабете, метаболическом синдроме.

Участие растительных масел в липидном обмене проявлялось снижением ХС ЛПНП в опытных группах телят однонаправленно с индексом атерогенности в I (31,74%), II (29,94 %), III (32,92 %) опытных группах, что может быть связано с уровнем адаптации животных к различным стрессорным факторам и составу рациона. Основной транспортной формой холестерина в крови являются липопротеиды низкой плотности (ЛПНП), доставляющие холестерин к периферическим клеткам (Kang JX et al., 2014; Gong YZ et al., 2017).

В проведённых клинических исследованиях сыворотки крови ХС-ЛПВП происходило достоверное увеличение в опытных группах III (35,35 %), I (37,86 %) и II (39,91 %). Холестерин липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) плазмы крови представляет собой гетерогенное семейство видов липопротеидов, различающихся по поверхностному заряду, размеру и липидному и белковому составу. Использование льняного масла способствовало улучшению данных состояний и уменьшению в сыворотке крови ХС ЛПНП и индекса атерогенности (Nakamura M et al. 2018).

Исследования Радчикова В.Ф. с соавторами (2015) показали, что пищевые триацилглицериды гидролизуются в кишечнике, повторно этерифицируются в энтероцитах, конъюгируются с холестерином и белками в форме хиломикронов и, в конечном счёте, высвобождаются в кровь.

Кроме того, ТАГ могут происходить из эндогенного синтеза в печени и высвобождаться в виде липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП). Употребление большого количества насыщенных жиров может повысить уровень холестерина в крови и уровень холестерина ЛПНП (плохого).

Выводы.

Таким образом, введение масел оказывает выраженный эффект на показатели липидного обмена у опытных телят, который проявляется в уменьшении ХС ЛПНП и индекса атерогенности в сыворотке крови, при достоверном возрастании ЛПВП. Индекс атерогенности ХС общий/ЛПВП экспериментальных животных преобладал у телят, получавших пальмовый жир во II опытной группе (0,38), низкий – с применением льняного масла в III (0,34). Важно при изменении рациона корма определять соотношение липопротеидов для оценки липидных нарушений, главным образом тех, которые характеризуются повышением уровня триглицеридов плазмы.

Исследования выполнены при поддержке РФФ. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 20-16-00088)

Литература

1. 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 университета. 2018. № 6(74). 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;6(74):205-208. (In Russ)].
2. ГОСТ 31647-2012. Масло пальмовое рафинированное дезодорированное для пищевой промышленности. Введ. 10.09.2012. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с. [GOST 31647-2012. Maslo pal'movoe rafinirovannoe dezodorirovannoe dlya pishchevoi promyshlennosti. Vved. 10.09.2012. Moscow: Standartinform; 2014:12 p. (In Russ)].
3. Донскова Л.А., Беляев Н.М., Лейберова Н.В. Жирнокислотный состав липидов как показатель функционального назначения продуктов из мяса птицы: теоретические и практические аспекты // Индустрия питания. 2018. Т. 3. № 1. С. 4-10. [Donskova LA, Belyaev NM, Leiberova NV. Fatty-acid composition of lipids as functional purpose indicator of poultry meat products from: theoretical and practical aspects. Food Industry. 2018;3(1):4-10. (In Russ)]. doi: 10.29141/2500-1922-2018-6-1-1
4. Зубцов В.А., Миневич И.Э. Стратегия развития технологий в кормопроизводстве по использованию семян льна и продуктов их переработки // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 4(20) С. 72-79. [Zubtsov VA, Minevich IE. The strategy of the technology development in forage production on the flax seeds and its products' processing use. Journal of VNIIMZH. 2015;4(20):72-79. (In Russ)].
5. Олеиновые триглицериды пальмового масла и пальмитиновые триглицериды сливочного жира. Реакция пальмитирования, пальмитат калия, магния, всасывание энтероцитами жирных кислот и микробиота толстого кишечника / В.Н. Титов, А.В. Ариповский, В.В. Щекотов, А.П. Щекотова, В.В. Кухарчук // Клиническая лабораторная диагностика. 2016. Т. 61. № 8. С. 452-461. [Titov VN, Aripovskii AV, Schekotov VV, Schekotova AP, Kukharchuk VV. The oleic triglycerides of palm oil and palmitic triglycerides of creamy fat. The reaction of palmitoylation, potassium and magnesium palmitate, absorption of fatty acids by enterocytes and microbiota of large intestine. The Russian Clinical Laboratory Diagnostics Journal. 2016;61(8):452-461. (In Russ)]. doi: 10.18821/0869-2084-2016-61-8-452-461
6. Региональные особенности элементного гомеостаза и проблема экологофизиологической адаптации: методологический аспект / С.А. Мирошников, С.В. Нотова, С.В. Мирошников, И.П. Болодурина, А.В. Скальный // Вестник восстановительной медицины. 2013. № 6(58). С. 52-55. [Miroshnikov SA, Notova SV, Miroshnikov SV, Bolodurina IP, Skalniy AV. Regional features of ele-

mental homeostasis and problem of ecolo physiological adaptation: methodological aspect. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2013;6(58):52-55. (*In Russ*).

7. Термически обработанные семена льна в стартерные комбикорма для телят / М. Кирилов, В. Виноградов, Н. Анисова, Р. Фатрахманов, Н. Смекалов, Д. Сипатый, И. Гусев // *Молочное и мясное скотоводство*. 2009. № 2. С. 2-4. [Kirilov M, Vinogradov V, Anisova N, Fatrakhmanov R, Smekalov N, Sipaty D, Gusev I. Heat-treated flax seeds in starter feed for calves. *Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2009;2:2-4. (*In Russ*)].

8. ТР ТС 024/2011 Технический регламент Таможенного союза "Технический регламент на масложировую продукцию". Введ. 9.12.2011. 45 с. [TR TS 024/2011 Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza "Tekhnicheskii reglament na maslozhirovuyu produktsiyu". Vved. 9.12.2011. 45 p. (*In Russ*)].

9. Фицев А.И., Григорьев Н.Г., Гаганов А.П. Современная оценка энергетической и протеиновой питательности растительных кормов // *Кормопроизводство*. 2003. № 12. С. 29-32. [Fitsev AI, Grigor'ev NG, Gaganov AP. Sovremennaya otsenka energeticheskoi i proteinovoi pitatel'nosti rastitel'nykh kormov. *Kormoproizvodstvo*. 2003;12:29-32. (*In Russ*)].

10. Шагбанова Д.А., Нурмагомедова П.М. Влияние экстракта льна (*Linum usitatissimum L.*) на биохимические показатели крови лиц, находящихся в группе риска заболевания токсическим гепатитом // *Молодой учёный*. 2014. № 7(66). С. 226-228. [Shagbanova DA, Nurmagomedova PM. Vliyanie ekstrakta l'na (*Linum usitatissimum L.*) na biokhimicheskie pokazateli krovi lits, nakhodyashchikhsya v gruppe riska zabolevaniya toksicheskim gepatitom. *Young Scientist*. 2014;7(66):226-228. (*In Russ*)].

11. Экструдированный обогатитель на основе льносемени и ячменной крупки в рационах телят / В.Ф. Радчиков, О.Ф. Ганущенко, В.К. Гурин, С.Л. Шинкарева, В.А. Ляндышев // *Вестник Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2015. № 1. С. 92-97. [Radchikov VF, Ganushchenko OF, Gurin VK, Shinkareva SL, Lyundyshev VA. Enriching agent based on flax seeds and barley grits in the diets for calves. *Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Agrarian series*. 2015;1:92-97. (*In Russ*)].

12. Akimov SS, Lebedev SV, Grechkina VV, Miroshnikova MS, Topuria GM. The effectiveness of using mathematical modeling in assessing the quality of food products. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624:01215. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012158

13. Ball RO, Urschel KL, Pencharz PB. Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism. *J Nutr*. 2007;137(6):1626S-1641S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1626S>

14. Gong YZ, Sun SW, Liao DF. Interaction and regulation of cell inflammation and lipid metabolism. *Chinese Journal of Arterioscler*. 2017;25(6):623-629.

15. Grechkina VV, Lebedev SV, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Sheida EV, Korolev VL. Justification of rational and safe biotechnological methods of using fat additives from vegetable raw materials. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012160. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012160

16. Huang MJ, Huang HQ, Salam N, Xiao M, Duan YQ, Kim CJ, Li QQ, Chen W, Li WJ. *Nocardioides intraradicalis* sp. nov., isolated from the roots of *Psammosilene tunicoides* W.C. Wu et C.Y. Wu. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2016;66(10):3841-3847. doi: 10.1099/ijsem.0.001274

17. Kang JX, Wan JBo, He C. Concise review: regulation of stem cell proliferation and differentiation by essential fatty acids and their metabolites. *Stem Cells*. 2014;32(5):1092-1098. doi: <https://doi.org/10.1002/stem.1620>

18. Kimball SR, Jefferson LS. Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. *J Nutr*. 2006;136(1):227S-231S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.227S>

19. Lage R, Dieguez C, Vidal-Puig A, Lopez M. AMPK: a metabolic gauge regulating wholebodyenergy homeostasis. *Trends in Molecular Medicine*. 2008;14(12):539-549. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2008.09.007>

20. Lebedev S, Sheida E, Vershinina I, Grechkina V, Gubaidullina I, Miroschnikov S, Shoshina O. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2021;6(1):14-31. doi: 10.3934/agrfood.2021002
21. Liu Z, Long W, Fryborg DA, Barret EJ. The regulation of body and skeletal muscle protein metabolism by hormones and amino acids. *J Nutr*. 2006;136(1):212S-217S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.212S>
22. Malesci A, Gaia E, Fioretta A et al. No effect of long-term treatment with pancreatic extract on recurrent abdominal pain in patients with chronic pancreatitis. *Scand J Gastroenterol*. 1995;30(4):392-398. doi: <https://doi.org/10.3109/00365529509093296>
23. Nakamura M, Nomura S, Yamakawa T et al. Endogenous calcitonin regulates lipid and glucose metabolism in diet-induced obesity mice. *Scientific Reports*. 2018;8:17001. doi: 10.1038/s41598-018-35369-5
24. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh revised edition: update 2000*. Washington, DC: The National Academies Press; 2000:248 p.
25. Pang J, Xi C, Huang X, Cui J, Gong H, Zhang T. Effects of excess energy intake on glucose and lipid metabolism in C57BL/6 Mice. *PLoS ONE*. 2016;11(1):e0146675. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146675>
26. Tang Q. Lipid metabolism and diseases. *Sci Bull*. 2016;61(19):1471-1472. doi: 10.1007/s11434-016-1174-z
27. Walther TC, Farese RVJr. Lipid droplets and cellular lipid metabolism. *Annu Rev Biochem*. 2012;81:687-714. doi: 10.1146/annurev-biochem-061009-102430
28. Xie T et al. An ErChen and YinChen decoction ameliorates high-fat-induced nonalcoholic steatohepatitis in rats by regulating JNK1 signaling pathway. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2017;4603701: 14 p. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/4603701>
29. Yang HJ, Yim N, Lee KJ et al. Simultaneous determination of nine bioactive compounds in Yijin-tang via high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-electrospray ionization-mass spectrometry. *Integrative Medicine Research*. 2016;5(2):140-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.04.005>
30. Zdunczyk Z, Jankowski J, Kaczmarek S, Juskiwicz J. Determinants and effects of postleal fermentation in broilers and turkeys part 1: gut microbiota composition and its modulation by feed additives. *World's Poult. Sci. J*. 2015;71(1):37-48. doi: 10.1017/S0043933915000045
31. Zhang BB, Zhou G, Li C. AMPK: an emerging drug target for diabetes and the metabolic syndrome. *Cell Metabolism*. 2009;9(5):407-416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2009.03.0121111111>
32. Zhou J, Liu H, Zhou S, et al. Adaptor protein APPL1 interacts with EGFR to orchestrate EGF-stimulated signaling. *Sci. Bull*. 2016;61(19):1504-1512. doi: <https://doi.org/10.1007/s11434-016-1157-0>

References

1. 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;6(74):205-208.
2. GOST 31647-2012. Refined deodorized palm oil for the food industry. Introduction. 10.09.2012. Moscow: Standartinform; 2014:12 p.
3. Donskova LA, Belyaev NM, Leiberova NV. Fatty-acid composition of lipids as functional purpose indicator of poultry meat products from: theoretical and practical aspects. *Food Industry*. 2018;3(1):4-10. doi: 10.29141/2500-1922-2018-6-1-1
4. Zubtsov VA, Minevich IE. The strategy of the technology development in forage production on the flax seeds and its products' processing use. *Journal of VNIIMZH*. 2015;4(20):72-79.
5. Titov VN, Aripovskii AV, Schekotov VV, Schekotova AP, Kukharchuk VV. The oleic triglycerides of palm oil and palmitic triglycerides of creamy fat. The reaction of palmitoylation, potassium and

magnesium palmitate, absorption of fatty acids by enterocytes and microbiota of large intestine. The Russian Clinical Laboratory Diagnostics Journal. 2016;61(8):452-461. doi: 10.18821/0869-2084-2016-61-8-452-461

6. Miroshnikov SA, Notova SV, Miroshnikov SV, Bolodurina IP, Skalniy AV. Regional features of elemental homeostasis and problem of ecolo physiological adaptation: methodological aspect. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2013;6(58):52-55.

7. Kirilov M, Vinogradov V, Anisova N, Fatrakhmanov R, Smekalov N, Sipaty D, Gusev I. Heat-treated flax seeds in starter feed for calves. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2009;2:2-4.

8. TR CU 024/2011 Technical Regulations of the Customs Union "Technical regulations for oil and fat products". Introduction. 9.12.2011. 45 p.

9. Fitsev AI, Grigoriev NG, Gaganov AP. Modern assessment of the energy and protein nutrition of plant foods. Fodder Production. 2003;12:29-32.

10. Shagbanova DA, Nurmagomedova PM. The influence of flax extract (*Linum usitatissimum* L) on the biochemical blood indicators of persons at risk of toxic hepatitis. Young Scientist. 2014;7(66):226-228.

11. Radchikov VF, Ganushchenko OF, Gurin VK, Shinkareva SL, Lyundyshev VA. Enriching agent based on flax seeds and barley grits in the diets for calves. Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Agrarian series. 2015;1:92-97.

12. Akimov SS, Lebedev SV, Grechkina VV, Miroshnikova MS, Topuria GM. The effectiveness of using mathematical modeling in assessing the quality of food products. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021;624:01215. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012158

13. Ball RO, Urschel KL, Pencharz PB. Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism. J Nutr. 2007;137(6):1626S-1641S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1626S>

14. Gong YZ, Sun SW, Liao DF. Interaction and regulation of cell inflammation and lipid metabolism. Chinese Journal of Arterioscler. 2017;25(6):623-629.

15. Grechkina VV, Lebedev SV, Miroshnikov IS, Ryazanov VA, Sheida EV, Korolev VL. Justification of rational and safe biotechnological methods of using fat additives from vegetable raw materials. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021;624(1):012160. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012160

16. Huang MJ, Huang HQ, Salam N, Xiao M, Duan YQ, Kim CJ, Li QQ, Chen W, Li WJ. *Nocardioides intraradicalis* sp. nov., isolated from the roots of *Psammosilene tunicoides* W.C. Wu et C.Y. Wu. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2016;66(10):3841-3847. doi: 10.1099/ijsem.0.001274

17. Kang JX, Wan JBo, He C. Concise review: regulation of stem cell proliferation and differentiation by essential fatty acids and their metabolites. Stem Cells. 2014;32(5):1092-1098. doi: <https://doi.org/10.1002/stem.1620>

18. Kimball SR, Jefferson LS. Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. J Nutr. 2006;136(1):227S-231S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.227S>

19. Lage R, Dieguez C, Vidal-Puig A, Lopez M. AMPK: a metabolic gauge regulating wholebodyenergy homeostasis. Trends in Molecular Medicine. 2008;14(12):539-549. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2008.09.007>

20. Lebedev S, Sheida E, Vershinina I, Grechkina V, Gubaidullina I, Miroshnikov S, Shoshina O. Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. AIMS Agriculture and Food. 2021;6(1):14-31. doi: 10.3934/agrfood.2021002

21. Liu Z, Long W, Frybarg DA, Barret EJ. The regulation of body and skeletal muscle protein metabolism by hormones and amino acids. J Nutr. 2006;136(1):212S-217S. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.212S>

22. Malesci A, Gaia E, Fioretta A et al. No effect of long-term treatment with pancreatic extract on recurrent abdominal pain in patients with chronic pancreatitis. Scand J Gastroenterol. 1995;30(4):392-398. doi: <https://doi.org/10.3109/00365529509093296>

23. Nakamura M, Nomura S, Yamakawa T et al. Endogenous calcitonin regulates lipid and glucose metabolism in diet-induced obesity mice. *Scientific Reports*. 2018;8:17001. doi: 10.1038/s41598-018-35369-5
24. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh revised edition: update 2000*. Washington, DC: The National Academies Press; 2000:248 p.
25. Pang J, Xi C, Huang X, Cui J, Gong H, Zhang T. Effects of excess energy intake on glucose and lipid metabolism in C57BL/6 Mice. *PLoS ONE*. 2016;11(1):e0146675. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146675>
26. Tang Q. Lipid metabolism and diseases. *Sci Bull*. 2016;61(19):1471-1472. doi: 10.1007/s11434-016-1174-z
27. Walther TC, Farese RVJr. Lipid droplets and cellular lipid metabolism. *Annu Rev Biochem*. 2012;81:687-714. doi: 10.1146/annurev-biochem-061009-102430
28. Xie T et al. An ErChen and YinChen decoction ameliorates high-fat-induced nonalcoholic steatohepatitis in rats by regulating JNK1 signaling pathway. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2017;4603701: 14 p. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/4603701>
29. Yang HJ, Yim N, Lee KJ6 et al. Simultaneous determination of nine bioactive compounds in Yijin-tang via high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-electrospray ionization-mass spectrometry. *Integrative Medicine Research*. 2016;5(2):140-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.04.005>
30. Zdunczyk Z, Jankowski J, Kaczmarek S, Juskiewicz J. Determinants and effects of postileal fermentation in broilers and turkeys part 1: gut microbiota composition and its modulation by feed additives. *World's Poult. Sci. J*. 2015;71(1):37-48. doi: 10.1017/S0043933915000045
31. Zhang BB, Zhou G, Li C. AMPK: an emerging drug target for diabetes and the metabolic syndrome. *Cell Metabolism*. 2009;9(5):407-416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2009.03.0121111111>
32. Zhou J, Liu H, Zhou S, et al. Adaptor protein APPL1 interacts with EGFR to orchestrate EGF-stimulated signaling. *Sci. Bull*. 2016;61(19):1504-1512. doi: <https://doi.org/10.1007/s11434-016-1157-0>

Гречкина Виктория Владимировна, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; доцент кафедры незаразных болезней животных, Оренбургский государственный аграрный университет, 460000, ул. Челюскинцев 18, тел. 8-922-877-14-97, e-mail: Viktoria1985too@mail.ru

Лебедев Святослав Валерьевич, доктор биологических наук, ведущий 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.: 8-912-345-87-38, e-mail: lsv74@list.ru

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; Оренбургский государственный университет, старший научный сотрудник, экспериментально-биологическая клиника, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, тел.: 8-9228-62-64-02, e-mail: elena-snejjda@mail.ru

Маркова Ирина Викторовна, кандидат биологических наук, руководитель научно-образовательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.: 8-961-047-40-26, e-mail: irinazz88@yandex.ru

Поступила в редакцию 12 марта 2021 г.; принята после решения редколлегии 15 марта 2021 г.; опубликована 31 марта 2021 г. / Received: 12 March 2021; Accepted: 15 March 2021; Published: 31 March 2021