

Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 205-216.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2021. Vol. 104, no 4. P. 205-216.

Научная статья
УДК 636.5:547.953:591.11
doi:10.33284/2658-3135-104-4-205

Влияние эмульгаторов на основе лецитина на продуктивность и липидный профиль сыворотки крови цыплят-бройлеров

Кристина Владимировна Рязанцева¹, Елена Анатольевна Сизова²

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹reger94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>

²sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Аннотация. Неуклонный рост стоимости традиционных источников жира, а также функциональная незрелость пищеварительного тракта молодых цыплят порождают интерес к поиску и использованию альтернативных источников энергии, ферментов, эмульгаторов с целью интенсификации пищеварения, увеличения продуктивности и, как следствие, снижению производственных затрат. К тому же скормливание высокоэнергетического рациона неизбежно влечёт за собой применение экзогенных эмульгаторов для полноценного пищеварения и реализации потенциала роста высокопродуктивных кроссов цыплят-бройлеров. В связи с этим целью данных исследований является оценка влияния экзогенных эмульгаторов на основе соевого лецитина и его гидролизованной формы (Лесимакс Премиум) на поедаемость корма, показатели роста и липидный профиль сыворотки крови цыплят-бройлеров. Показано, что интенсивность липидного метаболизма напрямую зависит от вида и дозы эмульгатора. Так, включение в рацион Лесимакс Премиум в дозе 0,1 % и соевого лецитина в дозе 0,2 % сопровождается высокой поедаемостью корма и в совокупности обеспечивает максимальный прирост живой массы, восполнение дефицита липазы в пищеварительном тракте. Это приводит к повышению использования жира организмом, что особенно значимо в молодом возрасте. Анализ метаболитов липидного обмена подтверждает эффективность использования эмульгаторов в стартовый период.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, рацион, эмульгаторы, соевый лецитин, живая масса, триглицериды, холестерин

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

Для цитирования: Рязанцева К.С., Сизова Е.А. Влияние эмульгаторов на основе лецитина на продуктивность и липидный профиль сыворотки крови цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 4. С. 205-216. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-205>

Original article

Effect of lecithin-based emulsifiers on productivity and serum lipid profile in broiler chickens

Kristina V Ryazantseva¹, Elena A Sizova²

^{1,2}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹reger94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>

²Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Abstract. The steady increase in the cost of traditional sources of fat and functional immaturity of the digestive tract of young chickens, gives rise to interest in the search and use of alternative sources of energy, enzymes, emulsifiers in order to intensify digestion, increase productivity, and, as a consequence, re-

duce production costs. In addition, feeding a high-energy diet inevitably entails the use of exogenous emulsifiers to complete digestion and the growth potential of high-yielding broiler crosses. In this regard, the purpose of these studies is to assess the effect of exogenous emulsifiers based on soy lecithin and its hydrolyzed form (Lesimax Premium) on feed intake, growth parameters and the serum lipid profile of broiler chickens. It has been shown that the intensity of lipid metabolism directly depends on the type and dose of the emulsifier. Thus, the inclusion of "Lesimax Premium" to the diet at a dose of 0.1% and soy lecithin at a dose of 0.2% is accompanied by a high feed intake. They together provide the maximum increase in live weight, replenishment of lipase deficiency in the digestive tract, as a result, it leads to an increase in the use of fat by the body, which is especially important at a young age. Analysis of lipid metabolites confirms the effectiveness of the use of emulsifiers during the initial period.

Keywords: chickens-broilers, diet, emulsifiers, soy lecithin, live weight, triglycerides, cholesterol

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

For citation: Ryazantseva KV, Sizova EA. Effect of lecithin-based emulsifiers on productivity and serum lipid profile in broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):205-216. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-205>

Введение.

Животный жир и растительное масло являются основными классическими компонентами рациона, обеспечивающими повышение энергетической ценности и улучшение показателей роста (Blanch A et al., 1996; Park JH et al., 2018; Егоров И. и др., 2014). Наряду с энергетической значимостью жиры являются источником незаменимых жирных кислот (ЖК) и витаминов, участвуют в регуляции обмена веществ и нервной деятельности (Архипов А.В., 2007; Ravindran V et al., 2016). Скармливание высокоэнергетического рациона неизбежно влечёт за собой применение экзогенных эмульгаторов для полноценного пищеварения и реализации потенциала роста высокопродуктивных кроссов цыплят-бройлеров (Фисинин В.И. и др., 2011). К тому же у молодых цыплят снижена эффективность переваривания и усвоения жира вследствие функциональной незрелости пищеварительного тракта и низкого уровня выработки естественной липазы (Tanchaengrat P et al., 2013). Чистая дуоденальная секреция липазы и её активность (Noy Y and Sklan D, 1995), а также объём желчи, выделяемой печенью, способствующий эффективному расщеплению поступающего жира у цыплят-бройлеров, увеличивается только с возрастом. Проблема усугубляется низкой скоростью синтеза солей желчных кислот у молодых особей. В то же время стоимость традиционных источников жира, используемых в животноводстве, в последние несколько лет неуклонно растёт (Amityava R et al., 2010).

Решение подобной проблемы может быть связано с применением эмульгаторов в рационах цыплят-бройлеров. В качестве кормовой добавки они способствуют перевариванию и абсорбции жира, что увеличивает продуктивность (Tan HS et al., 2016). Совместное скармливание эмульгаторов с растительным жиром значительно увеличивает показатели роста и улучшает усвояемость жирных кислот (Roy A et al., 2010; Zhang B et al., 2011).

Эмульгаторы, широко используемые в настоящее время, обычно состоят из гидрофильных и гидрофобных компонентов, которые снижают поверхностное натяжение жира и воды, улучшают смешивание двух фаз и увеличивают всасывание и использование жиров (An JS et al., 2020; Jansen M et al., 2015). В качестве источников эмульгаторов используют моноглицериды, фосфолипиды, лецитин и соли желчных кислот (Peebles ED et al., 2000; Dierick NA and Decuypere JA, 2004; Cho JH et al., 2012; Upadhaya SD et al., 2017).

Актуализация использования лецитина, получаемого из семян сои (Cui L and Decker EA, 2016) определяется присутствием как гидрофильных, так и липофильных (глицерин, фосфор и функциональная часть) компонентов, которые обеспечивают эмульгирующие свойства (Nieuwenhuizen W and Tomás MC, 2008).

На рынке широко известны добавки на основе лецитина, применяемые не только в птицеводстве, но также в свиноводстве и аквакультуре: FRA LeciMax dry (ФРА ЛециМакс NG сухой) от Framelco, который содержит натуральный источник гидролизованного лецитина, действующего как био-сурфактант; Лисофорт Бурстер от Kemip имеют в составе 45,0-55,0 % лецитина; Лесимакс Премиум сухой (ТЕХВЕТ) содержит гидролизованный лецитин (в т. ч. лизофосфолипиды, 62,0-72,0 %) и т. д. Таким образом, на рынке представлены более десятка препаратов-эмульгаторов, большая часть которых импортного производства, различного состава и ценовой категории (Amitava R et al., 2010; Xing JJ et al., 2004).

Цель исследований.

Оценка влияния экзогенных эмульгаторов на основе соевого лецитина и его гидролизованной формы (Лесимакс Премиум) на поедаемость корма, показатели роста и липидный профиль сыворотки крови цыплят-бройлеров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор Айкрес».

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 исследованных опытных образцов.

Схема эксперимента. Экспериментальные исследования проводились в условиях вивария ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в 2020 году. Методом пар-аналогов отобрано 100 суточных цыплят-бройлеров, сформировано 5 групп (n=20) – контрольная и четыре опытных. Условия содержания цыплят всех групп были одинаковыми, соответствовали зоотехническим нормам. Доступ к воде и корму – свободный.

Кормление цыплят-бройлеров осуществлялось согласно рекомендациям ВНИТИПа (Фисинин В.И. и др., 2011). В качестве источника жира в рационе использовалось подсолнечное масло: в стартовом рационе – 4 %, в ростовом – 6 %, показатель обменной энергии – 12,62 и 13,4 МДж/кг соответственно. В качестве кормовой добавки были использованы эмульгаторы: синтетический – Лесимакс Премиум сухой (Lecimax™ Premium dry, совместная разработка Framelco (Нидерланды) и ТЕХВЕТ (Россия)) и натуральный – соевый лецитин (ООО «Стоинг», Россия) (табл. 1).

Таблица 1. Схема эксперимента на цыплятах-бройлерах
Table 1. Scheme of the experiment on chickens-broilers

Группа / Group	Подготовительный период (1-7 сутки) / Preparatory period (1-7 days)	Учётный период (8-42 сутки) / Record period (8-42 days)
Контрольная / Control	Основной рацион (OP) / Basic diet (BD)	OP/ BD
I опытная / I experimental		OP +0,05 % Лесимакс Премиум сухой / BD+0.05% Lecimax Premium dry
II опытная / II experimental		OP +0,1 % Лесимакс Премиум сухой / BD+0.1% Lecimax Premium dry
III опытная / III experimental		OP +0,1 % Лецитин соевый / BD+0.1% Soy lecithin
IV опытная / IV experimental		OP +0,2 % Лецитин соевый /BD+0.2 % Soy lecithin

Оборудование и технические средства. Исследования были проведены на базе ЦКП БСТ РАН. Биохимические показатели: концентрация триглицеридов (ТГ), холестерин липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) в сыворотке крови определяли с помощью коммерческих наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия) и автоматического биохимического анализатора CS-T240 («Dirui Industrial Co. Ltd», Китай).

Статистическая обработка. Полученные результаты были обработаны с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США), включая определение средней арифметической величины (M), стандартной ошибки средней (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Рост цыплят-бройлеров. При оценке потребления корма контрольной и опытными группами было отмечено, что максимальная поедаемость наблюдается во II и IV опытных группах, превышающая контрольные значения на 5,6 и 5,4 % соответственно. Поедаемость ниже контрольного значения была характерна для I и III опытных групп при разнице с контролем – 2,3 и 1,5 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Потребление корма цыплятами-бройлерами за эксперимент, г
 Table 2. Feed consumption of chickens-broilers for the experiment, g

Показатель / <i>Index</i>	Группа / <i>Group</i>				
	контрольная/ <i>control</i>	I	II	III	IV
Стартовый комбикорм <i>/Starter compound feed</i>	1562,8	1457,8	1628,2	1615,7	1614,7
Ростовой комбикорм <i>/Growth compound feed</i>	2050,8	2072,6	2190	1944,2	2193,8
Всего за эксперимент / <i>Total per experiment</i>	3613,6	3530,4	3818,2	3559,9	3808,5

Анализ динамики живой массы показал, что максимальные приросты наблюдаются в период с 21 на 28 сутки во II и III опытных группах, превышающие на 20,8 % ($P \leq 0,01$) и 20,0 % ($P \leq 0,01$) контрольные значения соответственно (табл. 3). К концу опытного периода (42 сутки) тенденция лидерства по живой массе цыплят-бройлеров сохраняется для II опытной группы с разницей на 9,22 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контрольной. В III опытной групп, при включении в рацион 0,1 % соевого лецитина, в период с 28 по 42 сутки, наблюдается тенденция к снижению прироста. Так, к концу опытного периода показатели прирост снижаются на 13,55 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля и на 20,8 % – относительно IV группы. Данный факт наглядно демонстрирует зависимость прироста от дозы включения препарата, что подтверждено достоверным превосходством II опытной группы на 5,4 % над I опытной, и IV группой на 20,8 % ($P \leq 0,05$) – над III группой.

Включение в рацион I группы добавки Лесимакс Премиум в дозе 0,05 % (I группа) и соевого лецитина 0,1 % (III группа) не оказало значительного влияния на показатели роста. К концу опытного периода цыплята II опытной группы превосходили сверстников из контроля на 7,9 %. В свою очередь в IV опытной группе разница с контролем составила 7,3 % (рис. 1).

Таким образом, включение в рацион добавок Лесимакс Премиум и соевого лецитина в максимальных дозировках сопровождается высокой поедаемостью корма, что в совокупности обеспечивает максимальный прирост живой массы.

Таблица 3. Динамика еженедельного прироста цыплят-бройлеров, г
 Table 3. Dynamics of weekly growth of chickens-broilers, g

Группа / Group	Возраст, суток / Age, days				
	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42
Контрольная / Control	171,10±8,48	276,50±13,12	445,20±20,55	670,40±31,84	650,80±7,74
I опытная / I experimental	175,70±7,99	195,90±8,33 ^a	461,70±23,05	722,80±18,09	674,40±27,95
II опытная / II experimental	156,40±6,37	322,6±15,86 ^{a,b}	538,1±20,82 ^{a,b}	734,6±23,37	710,8±24,89 ^a
III опытная / III experimental	167,50±5,83	240,50±9,10 ^a	534,3±14,10 ^a	667,2±23,03	562,6±25,48 ^a
IV опытная / IV experimental	172,10±7,73	278,90±8,92 ^c	522,1±24,23 ^a	786,8±31,81 ^{a,c}	679,80±22,70 ^c

Примечание: ^a – P≤0,05 при сравнении контрольной и опытных групп,
^b – P≤0,05 при сравнении I и II опытных групп,
^c – P≤0,05 при сравнении III и IV опытных групп.

Note: ^a – P≤0.05 comparing the control and experimental groups,
^b – P≤0.05 comparing I and II experimental groups,
^c – P≤0.05 comparing III and IV experimental groups.

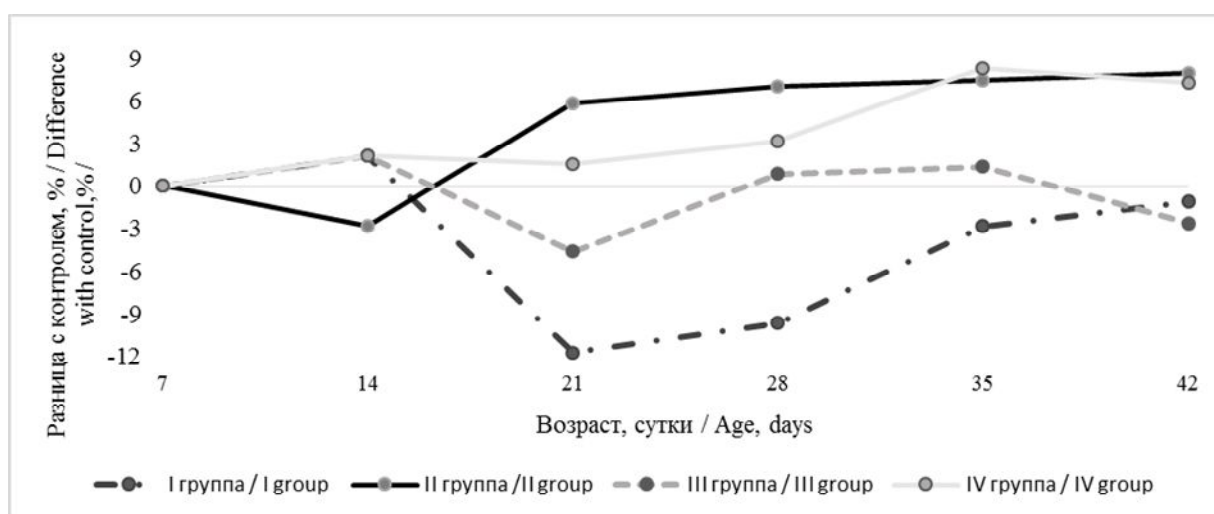


Рис. 1 – Динамика живой массы опытных групп, относительно контроля, %
 Figure 1 – Dynamics of live weight of experimental groups, relative to control, %

Липидный профиль сыворотки крови цыплят-бройлеров. Биохимические показатели сыворотки крови отображают метаболические процессы, протекающие в организме. Включение в рацион кормовой добавки Лесимакс Премиум в дозе 0,05 % (I опытная группа) на 21 сутки сопровождалось снижением холестерина на 8,7 %, ЛПВП – на 4,2 %. Помимо этого было установлено повышение триглицеридов на 26,9 % (P≤0,05), ЛПНП – на 7,1 % и липазы – на 11,7 % относительно контроля.

Увеличение дозы Лесимакс Премиум до 0,1 % (II опытная группа) приводит к снижению холестерина на 7,88 % ($P \leq 0,05$), ТГ – на 21,9 % ($P \leq 0,05$), ЛПВП и ЛПНП – на 46,9 % ($P \leq 0,05$) и 55,9 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля, на фоне повышения активности липазы на 54,3 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений.

При сравнении I и II опытных групп наблюдается снижение уровня триглицеридов на 38,5 % ($P \leq 0,05$), ЛПВП – на 44,7 % ($P \leq 0,05$) и ЛПНП – на 58,9 % ($P \leq 0,05$). Значительных изменений холестерина не наблюдается.

В свою очередь введение в рацион соевого лецитина в дозе 0,1 % (III группа) вызвало снижение триглицеридов на 11,2 %, ЛПВП и ЛПНП – на 15,7 % ($P \leq 0,05$) и 19,0 % ($P \leq 0,05$). В то время концентрация холестерина находится в пределах контрольных значений, а липаза увеличилась на 4,9 %.

Включение в рацион IV группы соевого лецитина в дозе 0,2 % сопровождалось снижением триглицеридов на 20,9 % ($P \leq 0,05$), увеличением ЛПВП и ЛПНП на 24,7 % ($P \leq 0,05$) и 19,0 % ($P \leq 0,05$) соответственно относительно контроля.

На 42 сутки в I, II и IV опытных группах уровень триглицеридов в сыворотке был ниже, чем у цыплят, получавших высокоэнергетический рацион без эмульгатора (контрольная группа), на 5,5 %, 13,9 % и 19,4 % соответственно. Уровень холестерина в III и IV группах повышался на 11,6 % и 14,0 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных значений (табл. 5).

Таблица 5. Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров в возрасте 28 и 42 сут, в эксперименте (опыт в условиях вивария, n=20)
Table 5. Biochemical parameters of blood serum of chickens-broilers at the age of 28 and 42 days in the experiment (experiment in a vivarium, n=20)

Показатель / Index	Группа / Group				
	контроль-ная / Control	I	II	III	IV
28 сутки / 28 days					
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	2,41±0,102	2,20±0,085	2,22±0,091	2,41±0,087	2,26±0,113
ТГ, ммоль/л / Tg, mmol/l	4,83±0,201	6,13±0,265 ^a	3,77±0,122 ^{ab}	4,29±0,206	3,82±0,069 ^a
ЛПВП, ммоль/л / HDL, mmol/l	1,66±0,063	1,59±0,062	0,88±0,013 ^{ab}	1,40±0,054 ^a	2,07±0,088 ^{ac}
ЛПНП, ммоль/л / LDL, mmol/l	0,84±0,041	0,90±0,034	0,37±0,014 ^{ab}	0,68±0,032 ^a	1,00±0,044 ^{ac}
Липаза, Ед/л / Lipase, U/l	14,42±0,641	16,10±0,744	22,26±0,998 ^{ab}	15,12±0,240	14,28±0,692
42 сутки / 42 days					
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	2,58±0,057	2,61±0,163	2,53±0,080	2,88±0,182	2,94±0,092 ^a
ТГ, ммоль/л / Tg, mmol/l	0,36±0,088	0,34±0,032	0,31±0,064	0,36±0,014	0,29±0,013 ^c
ЛПВП, ммоль/л / HDL, mmol/l	1,65±0,074	1,61±0,039	1,69±0,055	1,67±0,077	1,64±0,064
ЛПНП, ммоль/л / LDL, mmol/l	0,73±0,012	0,68±0,032	0,73±0,024	0,68±0,030	0,77±0,017 ^c
Липаза, Ед/л / Lipase, U/l	24,70±0,428	24,62±0,611	24,10±0,285	23,52±0,997	25,42±0,213

Примечание: ^a – $P \leq 0,05$ при сравнении контрольной и опытных групп,

^b – $P \leq 0,05$ при сравнении I и II опытных групп,

^c – $P \leq 0,05$ при сравнении III и IV опытных групп.

Note: ^a – $P \leq 0,05$ comparing the control and experimental groups,

^b – $P \leq 0,05$ comparing I and II experimental groups,

^c – $P \leq 0,05$ comparing III and IV experimental groups

Таким образом, концентрация метаболитов липидного обмена напрямую зависит от вида и дозы эмульгатора.

Обсуждение полученных результатов.

Растительные жир – это наиболее часто используемый высокоэнергетический компонент в кормах для птицы. Многочисленные исследования показали, что введение масла в рационы повышает концентрацию энергии, улучшает продуктивность и повышает эффективность производства (Peebles ED et al., 2000; Meng X et al., 2004; Zampiga M et al., 2016).

Основной функционал эмульгатора заключается в способности к образованию эмульсий жира, восполнению дефицита желчной кислоты и липазы в пищеварительном тракте, как следствие приводит к повышению использования жира организмом. Многими исследованиями выявлено, что включение эмульгаторов в рацион может способствовать росту (Allahyari-Bake S and Jahanian R, 2017; Boontiam W et al., 2017; Zhao PY and Kim IH, 2017; Bontempo V et al., 2018).

В эксперименте наблюдалась тенденция увеличения живой массы цыплят-бройлеров при включении в рацион эмульгатора на основе лецитина. Однако желаемый продуктивный эффект был получен не во всех опытных группах. Так, мы наблюдали отсутствие потенцирования роста цыплят-бройлеров на фоне введения в рацион минимальных из используемых доз (0,1 % лецитина и 0,05 % Лесимакс Премиум). Положительное влияние эмульгатора в рацион на показатели роста может быть связано с улучшением вкусовых качеств, повышением скорости переваривания жиров, что приводит к увеличению потребления корма (Siyal FA et al., 2017; Roy A et al., 2010; Zosangpuii et al., 2011). Эмульгаторы способствуют усилению переваривания и абсорбции жира, что увеличивает продуктивность (Tan HS et al., 2016). Совместное скармливание эмульгаторов с растительным жиром значительно увеличивает показатели роста и улучшает усвояемость жирных кислот (Zhang B et al., 2011). Показатели поедаемости корма цыплятами I и III опытных групп на протяжении всего эксперимента находились в пределах контрольных значений. Возможно, подобный результат получен вследствие использования нижних границ дозового диапазона, рекомендуемого производителем. Повышение дозы в 2 раза обеспечило высокие темпы роста и, как следствие, продуктивность.

Жир, вводимый в рацион, может изменять концентрацию метаболитов липидного обмена в сыворотке, таких как ТГ, холестерин, ЛПВП и ЛПНП. Понятно, что в регуляции концентрации холестерина в плазме задействованы множественные механизмы, включая поглощение печенью ЛПВП и метаболизм липидов в целом (Alvarenga RR et al., 2011). Использование эмульгаторов снижает поверхностное натяжение жира и воды, улучшает смешивание двух фаз и увеличивает всасывание и использование жиров (An Ji Seon et al., 2020; Jansen M et al., 2015). Доказано, что физиологическая способность к усвоению жира у молодых цыплят-бройлеров развита слабо и к 1,5...3,5-недельному возрасту значительно улучшается (Zhao PY and Kim IH, 2017; Chen C et al., 2019). Показатели концентрации холестерина на 21 сутки были ниже в опытных группах по сравнению с контролем, что подтверждает эффективность использования эмульгаторов в стартовый период.

Многие авторы исследовали влияние эмульгатора на липидный профиль сыворотки крови у птиц, и полученные результаты неоднозначны. Huang J и соавторы (2007) в своих исследованиях выявили, что концентрация холестерина и ЛПНП в сыворотке была снижена соевым лецитином, тогда как ЛПВП и Tg повышались (Huang J et al., 2007). Wang JP с коллегами (2016) наблюдали повышенные концентрации холестерина и ЛПНП, но не ЛПВП, у цыплят, получавших эмульгатор (Wang JP et al., 2016). Bontempo V и соавторы (2018) сообщили, что при использовании эмульгатора увеличивается содержание холестерина и ЛПВП. Наши исследования показали, что содержание ТГ на 42 сутки было значительно ниже в опытных группах, чем в контроле, что указывает на активизацию метаболизма липидов, и подтверждается подобными исследованиями (Cho JH et al., 2012).

Концентрация ЛПНП является индикатором как разложения, так и транспорта липидов у животных. Уровни ЛПНП в крови у птиц относительно постоянны и отражают доступность холестерина и триглицеридов для тканевого метаболизма (Hu XQ et al., 2019). В II группе (0,1 % Лесимакс Премиум) наблюдается незначительно различие в концентрации ЛПВП и ЛПНП в сравнении с контролем, в то время добавление 0,2 % лецитина (IV группа) способствовало повышению ЛПНП на 5,5 %.

Липидные метаболиты в крови тесно связаны с энергетическим обменом (Zhao JP et al., 2009). В целом повышенные уровни липидов указывают на усиление липолиза, в то время как низкий липидный профиль крови отражает повышенную скорость транспортировки аминокислот и усилении липидного метаболизма с последующим снижением отложения жира (Piotrowska A et al., 2011). В настоящем исследовании анализ липидного профиля сыворотки крови свидетельствует об общем повышении доступности липидов при скармливании рациона с добавлением эмульгаторов.

Заключение.

Таким образом, включение в рацион Лесимакс Премиум в дозе 0,1 % и соевого лецитина в дозе 0,2 % сопровождается высокой поедаемостью корма, что в совокупности обеспечивает максимальный прирост живой массы, восполнение дефицита липазы в пищеварительном тракте, как следствие приводит к повышению использования жира организмом, что особенно значимо в молодом возрасте. Анализ метаболитов липидного обмена подтверждает эффективность использования эмульгаторов в стартовый период.

Список источников

1. Архипов А.В. Липидное питание, продуктивность птицы и качество продуктов птицеводства: учеб. пособие. М.: Агробизнесцентр, 2007, 434 с. [Arkhipov AV. Lipidnoe pitanie, produktivnost' ptitsy i kachestvo produktov ptitsevodstva: ucheb. posobie. Moscow: Agrobiznesstsentr; 2007:434 p. (*In Russ*)].
2. Жиры разного происхождения в комбикормах для цыплят-бройлеров / И. Егоров, Т. Егорова, М. Попова, С. Савчук // Комбикорма. 2014. № 12. С. 64-66. [Egorov I, Egorova T, Popova M, Savchuk S. Zhiry raznogo proiskhozhdeniya v kombikormakh dlya tsyplyat-broilerov. Kombikorma. 2014;12:64-66. (*In Russ*)].
3. Фисинин В.И., Егоров И.А., Драганов И.Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 337 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Draganov IF. Kormlenie sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: ucheb posobie. Moscow: GEOTAR-Media; 2011:337 p. (*In Russ*)].
4. Allahyari-Bake S, Jahanian R. Effects of dietary fat source and supplemental lysophosphatidylcholine on performance, immune responses, and ileal nutrient digestibility in broilers fed corn/soybean meal-or corn/wheat/soybean meal-based diets. *Poultry Science*. 2017;96(5):1149-1158. doi: 10.3382/ps/pew330
5. Alvarenga RR, Zangeronimo MG, Pereira LJ, Rodrigues PB, Gomide EM. Lipoprotein metabolism in poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2011;67(3):431-440. doi: 10.1017/S0043933911000481
6. Amitava R, Haldar S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Veterinary Medicine International*. 2010;2010:262604. doi: 10.4061/2010/262604
7. An JS, Won Y, Lee JH, Oh HJ, Kim TH, Cho EA, Kim GM, Kim KH, Lee SD, Cho JH. Effects of exogenous emulsifier supplementation on growth performance, energy digestibility, and meat quality in broilers. *J Anim Sci Technol*. 2020;62(1):43-51. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.43
8. Blanch A, Barroeta AC, Baucells MD, Serrano X, Puchal F. Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids. *Animal Feed Science and Technology*. 1996;61(1-4):335-342. doi: 10.1016/0377-8401(95)00931-0
9. Bontempo V, Comi M, Jiang XR, Rebutti R, Caprarulo V, Giromini C, Baldi A et al. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;240:157-164. doi: 10.1016/j.anifeeds.2018.04.010

10. Boontiam W, Jung B, Kim YY. Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poultry Science*. 2017;96(3):593-601. doi: 10.3382/ps/pew269
11. Chen C, Jung B, Kim WK. Effects of lysophospholipid on growth performance, carcass yield, intestinal development, and bone quality in broilers. *Poultry Science*. 2019;98(9):3902-3913. doi: 10.3382/ps/pez111
12. Cho JH, Zhao P, Kim IH. Effects of emulsifier and multi-enzyme in different energy density diet on growth performance, blood profiles, and relative organ weight in broiler chickens. *Journal of Agricultural Science*. 2012;4(10):161. doi: 10.5539/jas.v4n10p161
13. Cui L, Decker EA. Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants? *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016;96(1):18-31. doi: 10.1002/jsfa.7320
14. Dierick NA, Decuyper JA. Influence of lipase and/or emulsifier addition on the ileal and faecal nutrient digestibility in growing pigs fed diets containing 4% animal fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004;84(12):1443-1450. doi: 10.1002/jsfa.1794
15. Hu XQ, Wang WB, Liu L, Wang C, Feng W, Luo QP, Han R, Wang XD. Effects of fat type and emulsifier in feed on growth performance, slaughter traits, and lipid metabolism of Cherry Valley ducks. *Poultry Science*. 2019;98(11):5759-5766. doi: 10.3382/ps/pez369
16. Huang J, Yang D, Wang T. Effects of replacing soy-oil with soy-lecithin on growth performance, nutrient utilization and serum parameters of broilers fed corn-based diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2007;20(12):1880-1886. doi: 10.5713/ajas.2007.1880
17. Jansen M, Nuyens F, Buyse J, Leleu S, Van Campenhout L. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poultry Science*. 2015;94(10):2506-2515. doi: 10.3382/ps/pev181
18. Meng X, Slominski BA, Guenter W. The effect of fat type, carbohydrase, and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broilers fed wheat-based diets. *Poultry Science*. 2004;83(10):1718-1727. doi: 10.1093/ps/83.10.1718
19. Nieuwenhuyzen W, Tomás MC. Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European journal of lipid science and technology*. 2008; 110(5):472-486. doi: 10.1002/ejlt.200800041
20. Noy Y, Sklan D. Digestion and absorption in the young chick. *Poultry Science*. 1995;2(74):366-373. doi: 10.3382/ps.0740366
21. Park JH, Nguyen DH, Kim IH. Effects of exogenous lysolecithin emulsifier supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and blood lipid profiles of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2018;55(3):190-194. doi: 10.2141/jpsa.0170100
22. Peebles ED, Zumwalt CD, Doyle SM, Gerard PD, Boyle CR, Smith TW, Latour MA. Effects of dietary fat type and level on broiler breeder performance. *Poultry Science*. 2000;79(5):629-639. doi: 10.1093/ps/79.5.629
23. Piotrowska A, Burlikowska K, Szymeczko R. Changes in blood chemistry in broiler chickens during the fattening period. *Folia Biol (Krakow)*. 2011;59(3-4):183-187. doi: 10.3409/fb59_3-4.183-187
24. Ravindran V, Tanchaenrat P, Zaefarian F, Ravindran G. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;213:1-21. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012
25. Roy A, Haldar S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Vet Med Int*. 2010;2010:262604. doi: 10.4061/2010/262604
26. Siyal FA, El-Hack ME, Alagawany M, Wang C, Wan X, He J, Wang M, Zhang L, Zhong X, Wang T, Kuldeep D. Effect of soy lecithin on growth performance, nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broiler chickens. *International Journal of Pharmacology*. 2017;13(4):396-402. doi: 10.3923/ijp.2017.396.402
27. Tan HS, Zulkifli I, Farjam AS, Goh YM, Croes E, Partha SK. Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility, apparent metabolisable energy in broiler chickens. *J Biochem Microbiol Biotechnol*. 2016;4(1):7-10.

28. Tancharoenrat P, Ravindran V, Zaefarian F, Ravindran G. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2013;186(3-4):186-192. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.013
29. Upadhaya SD, Park JW, Park JH, Kim IH. Efficacy of 1, 3-diacylglycerol as a fat emulsifier in low-density diet for broilers. *Poultry Science*. 2017;96(6):1672-1678. doi: 10.3382/ps/pew425
30. Wang JP, Zhang ZF, Yan L, Kim IH. Effects of dietary supplementation of emulsifier and carbohydrase on the growth performance, serum cholesterol and breast meat fatty acids profile of broiler chickens. *Animal Science Journal*. 2016;87(2):250-256. doi: 10.1111/asj.12412
31. Xing JJ, van Heugten E, Li DF, Touchette KJ, Coalson JA, Odgaard RL, Odle J. Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J Anim Sci*. 2004;82(9):2601-2609. doi: 10.2527/2004.8292601x
32. Zampiga M, Meluzzi A, Sirri F. Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2016;15(3):521-528. doi: 10.1080/1828051X.2016.1192965
33. Zhang B, Haitao L, Zhao D, Guo Y, Barri A. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Anim Feed Sci Technol*. 2011;163(2-4):177-184. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.10.004
34. Zhao JP, Chen JL, Zhao GP, Zheng MQ, Jiang RR, Wen J. Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens. *Poultry Science*. 2009;88(12):2575-2584. doi: 10.3382/ps.2009-00245
35. Zhao PY, Kim IH. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. *Poultry Science*. 2017;96(5):1341-1347. doi: 10.3382/ps/pew469
36. Zosangpuii, Patra AK, Samanta G, Pal K. Effects of an emulsifier on the performances of Khaki Campbell ducks added with different sources of fats. *Frontiers of Agriculture in China*. 2011;5:605-611. doi: 10.1007/s11703-011-1141-z

References

1. Arkhipov A.V. Lipid nutrition, poultry productivity and the quality of poultry products: textbook. allowance. Moscow: Agrobusiness Center; 2007:434 p.
2. Egorov I, Egorova T, Popova M, Savchuk S. Fats of different origin in compound feed for broiler chickens. *Compound Feed*. 2014;12:64-66.
3. Fisinin VI, Egorov IA, Draganov IF. Feeding poultry: manual. Moscow: GEOTAR-Media; 2011:337 p.
4. Allahyari-Bake S, Jahanian R. Effects of dietary fat source and supplemental lysophosphatidylcholine on performance, immune responses, and ileal nutrient digestibility in broilers fed corn/soybean meal-or corn/wheat/soybean meal-based diets. *Poultry Science*. 2017;96(5):1149-1158. doi: 10.3382/ps/pew330
5. Alvarenga RR, Zangeronimo MG, Pereira LJ, Rodrigues PB, Gomide EM. Lipoprotein metabolism in poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2011;67(3):431-440. doi: 10.1017/S0043933911000481
6. Amitava R, Halder S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Veterinary Medicine International*. 2010;2010:262604. doi: 10.4061/2010/262604
7. An JS, Won Y, Lee JH, Oh HJ, Kim TH, Cho EA, Kim GM, Kim KH, Lee SD, Cho JH. Effects of exogenous emulsifier supplementation on growth performance, energy digestibility, and meat quality in broilers. *J Anim Sci Technol*. 2020;62(1):43-51. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.43
8. Blanch A, Barroeta AC, Baucells MD, Serrano X, Puchal F. Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids. *Animal Feed Science and Technology*. 1996;61(1-4):335-342. doi: 10.1016/0377-8401(95)00931-0

9. Bontempo V, Comi M, Jiang XR, Rebutti R, Caprarulo V, Giromini C, Baldi A et al. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;240:157-164. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.04.010
10. Boontiam W, Jung B, Kim YY. Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poultry Science*. 2017;96(3):593-601. doi: 10.3382/ps/pez269
11. Chen C, Jung B, Kim WK. Effects of lysophospholipid on growth performance, carcass yield, intestinal development, and bone quality in broilers. *Poultry Science*. 2019;98(9):3902-3913. doi: 10.3382/ps/pez111
12. Cho JH, Zhao P, Kim IH. Effects of emulsifier and multi-enzyme in different energy density diet on growth performance, blood profiles, and relative organ weight in broiler chickens. *Journal of Agricultural Science*. 2012;4(10):161. doi: 10.5539/jas.v4n10p161
13. Cui L, Decker EA. Phospholipids in foods: prooxidants or antioxidants? *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016;96(1):18-31. doi: 10.1002/jsfa.7320
14. Dierick NA, Decuyper JA. Influence of lipase and/or emulsifier addition on the ileal and faecal nutrient digestibility in growing pigs fed diets containing 4% animal fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004;84(12):1443-1450. doi: 10.1002/jsfa.1794
15. Hu XQ, Wang WB, Liu L, Wang C, Feng W, Luo QP, Han R, Wang XD. Effects of fat type and emulsifier in feed on growth performance, slaughter traits, and lipid metabolism of Cherry Valley ducks. *Poultry Science*. 2019;98(11):5759-5766. doi: 10.3382/ps/pez369
16. Huang J, Yang D, Wang T. Effects of replacing soy-oil with soy-lecithin on growth performance, nutrient utilization and serum parameters of broilers fed corn-based diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2007;20(12):1880-1886. doi: 10.5713/ajas.2007.1880
17. Jansen M, Nuyens F, Buyse J, Leleu S, Van Campenhout L. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poultry Science*. 2015;94(10):2506-2515. doi: 10.3382/ps/pev181
18. Meng X, Slominski BA, Guenter W. The effect of fat type, carbohydrase, and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broilers fed wheat-based diets. *Poultry Science*. 2004;83(10):1718-1727. doi: 10.1093/ps/83.10.1718
19. Nieuwenhuyzen W, Tomás MC. Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European journal of lipid science and technology*. 2008; 110(5):472-486. doi: 10.1002/ejlt.200800041
20. Noy Y, Sklan D. Digestion and absorption in the young chick. *Poultry Science*. 1995;2(74):366-373. doi: 10.3382/ps.0740366
21. Park JH, Nguyen DH, Kim IH. Effects of exogenous lysolecithin emulsifier supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and blood lipid profiles of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2018;55(3):190-194. doi: 10.2141/jpsa.0170100
22. Peebles ED, Zumwalt CD, Doyle SM, Gerard PD, Boyle CR, Smith TW, Latour MA. Effects of dietary fat type and level on broiler breeder performance. *Poultry Science*. 2000;79(5):629-639. doi: 10.1093/ps/79.5.629
23. Piotrowska A, Burlikowska K, Szymeczko R. Changes in blood chemistry in broiler chickens during the fattening period. *Folia Biol (Krakow)*. 2011;59(3-4):183-187. doi: 10.3409/fb59_3-4.183-187
24. Ravindran V, Tanchaonrat P, Zaefarian F, Ravindran G. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;213:1-21. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012
25. Roy A, Haldar S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Vet Med Int*. 2010;2010:262604. doi: 10.4061/2010/262604
26. Siyal FA, El-Hack ME, Alagawany M, Wang C, Wan X, He J, Wang M, Zhang L, Zhong X, Wang T, Kuldeep D. Effect of soy lecithin on growth performance, nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broiler chickens. *International Journal of Pharmacology*. 2017;13(4):396-402. doi: 10.3923/ijp.2017.396.402

27. Tan HS, Zulkifli I, Farjam AS, Goh YM, Croes E, Partha SK. Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility, apparent metabolisable energy in broiler chickens. *J Biochem Microbiol Biotechnol.* 2016;4(1):7-10.
28. Tancharoenrat P, Ravindran V, Zaefarian F, Ravindran G. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology.* 2013;186(3-4):186-192. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.013
29. Upadhaya SD, Park JW, Park JH, Kim IH. Efficacy of 1, 3-diacylglycerol as a fat emulsifier in low-density diet for broilers. *Poultry Science.* 2017;96(6):1672-1678. doi: 10.3382/ps/pew425
30. Wang JP, Zhang ZF, Yan L, Kim IH. Effects of dietary supplementation of emulsifier and carbohydrase on the growth performance, serum cholesterol and breast meat fatty acids profile of broiler chickens. *Animal Science Journal.* 2016;87(2):250-256. doi: 10.1111/asj.12412
31. Xing JJ, van Heugten E, Li DF, Touchette KJ, Coalson JA, Odgaard RL, Odle J. Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J Anim Sci.* 2004;82(9):2601-2609. doi: 10.2527/2004.8292601x
32. Zampiga M, Meluzzi A, Sirri F. Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science.* 2016;15(3):521-528. doi: 10.1080/1828051X.2016.1192965
33. Zhang B, Haitao L, Zhao D, Guo Y, Barri A. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Anim Feed Sci Technol.* 2011;163(2-4):177-184. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.10.004
34. Zhao JP, Chen JL, Zhao GP, Zheng MQ, Jiang RR, Wen J. Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens. *Poultry Science.* 2009;88(12):2575-2584. doi: 10.3382/ps.2009-00245
35. Zhao PY, Kim IH. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. *Poultry Science.* 2017;96(5):1341-1347. doi: 10.3382/ps/pew469
36. Zosangpuii, Patra AK, Samanta G, Pal K. Effects of an emulsifier on the performances of Khaki Campbell ducks added with different sources of fats. *Frontiers of Agriculture in China.* 2011;5:605-611. doi: 10.1007/s11703-011-1141-z

Информация об авторах:

Кристина Владимировна Рязанцева, младший научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д, 29.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-912-344-99-07.

Information about the authors:

Kristina V Ryazantseva, Junior Researcher, Center for Nanotechnology in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., 460000, Orenburg.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Center for Nanotechnology in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., 460000, Orenburg, tel.: 8-912-344-99-07.

Статья поступила в редакцию 08.11.2021; одобрена после рецензирования 08.11.2021; принята к публикации 13.12.2021.

The article was submitted 08.11.2021; approved after reviewing 08.11.2021; accepted for publication 13.12.2021.