

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР РАЦИОНОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО И БЕЗОПАСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ЯИЦ КУР (*Gallus gallus L.*)\*

А.Ш. КAVTAPASHВИЛИ, И.Л. СТЕФАНОВА, В.С. СВИТКИН,  
Е.Н. НОВОТОРОВ

Куриные яйца — один из самых распространенных функциональных продуктов питания. Для обогащения яиц  $\omega$ -3 полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) требуется источник  $\omega$ -3 ПНЖК с высокой биологической доступностью, не оказывающий негативного влияния на продуктивность, здоровье и жизнеспособность несушек. Однако увеличение доли  $\omega$ -3 ПНЖК в жирнокислотном профиле липидов корма снижает окислительную стабильность яиц и, как следствие, их качество, поэтому необходимо одновременное обогащение комбикормов антиоксидантами (наиболее эффективны витамин Е и селен). Кроме того, в розничной продаже обогащенные яйца стоят дороже нефункциональных аналогов. Как источники  $\omega$ -3 ПНЖК в рационах несушек в основном используются льняное семя, масло, жмых, однако дозы ввода в корма для взрослой птицы этих продуктов (при применении мультиэнзимных препаратов) не должны превышать 15 %. Мы сравнили эффекты рационов для комплексного обогащения пищевых яиц кур  $\omega$ -3 ПНЖК, витамином Е и селеном. Опыты проводили в виварии Селекционно-генетического центра «Загорское ЭПХ» (Московская обл., г. Сергиев Посад) на курах кросса СП 789 (возраст с 140-х по 200-е сут) в 2016-2017 годах. В первом опыте в рацион несушек включали льняное масло (3 %) и жмых (5 и 10 %), синтетический витамин Е (DL- $\alpha$ -токоферол — 100 и 150 г/т), а также источники селена — препараты Sel-Plex® («Alltech», США), Дафс-25 (ООО «Сульфат», Россия) и селенит натрия (по чистому элементу 0,5 г/т). Установлено, что одновременное включение в рацион в испытанных дозировках  $\omega$ -3 ПНЖК, витамина Е и селена позволят повысить их содержание в съедобной части яйца соответственно в 4,5-4,7; 1,9-3,6 и 1,5-2,2 раза, яйценоскость кур — на 0,6-4,0 %, выход яичной массы — на 0,3-8,4 %, снизить затраты корма на 1 кг яичной массы на 4,1-9,4 %. Во втором опыте при оптимальных дозах льняного масла (3 %) и жмыха (5 %), витамина Е (150 г/т) и селена (0,5 г/т), установленных в предыдущем опыте, изучали сравнительную эффективность Sel-Plex®, сочетания Sel-Plex® и Дафс-25 (1:1), Sel-Plex® и селенита натрия на фоне синтетического и органического витамина Е. Замена половинной дозы Сел-Плекса на Дафс-25 и селенит натрия, а также синтетического витамина Е на органический позволяет повысить яйценоскость кур и массу яиц при снижении затрат корма на единицу продукции и стоимости комбикормов. Лучшие результаты получены в группе, где источником селена были Sel-Plex® и селенит натрия в соотношении 1:1, а органическим источником витамина Е — жирные кислоты. Эта группа превосходила контроль по содержанию в 100 г съедобной части яйца  $\omega$ -3 ПНЖК в 4,9 раза (при соотношении  $\omega$ -6 к  $\omega$ -3 ПНЖК 2,3:1 против 14,2:1 в контроле), в том числе  $\alpha$ -линоленовой кислоты — в 7,1 раза, эйкозапентаеновой — в 1,8 раза, докозапентаеновой — в 3,2 раза, докозагексаеновой — в 3,8 раза, витамина Е — в 2,8 раза, селена — в 2,2 раза, при повышении яйценоскости кур на 10,1 % и выхода яичной массы на несушку на 13,2 %, снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы соответственно на 7,6 и 9,9 % и стоимости комбикормов на 1,2 %.

Ключевые слова: куры, функциональные яйца, полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, селен, витамин Е, стоимость кормов.

Рынок функциональных продуктов для повышения обеспеченности населения необходимыми питательными веществами и профилактики заболеваний, в последнее время устойчиво расширяется (1-3). Особый интерес вызывают продукты, богатые незаменимыми (эссенциальными) жирными кислотами, в первую очередь полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) ряда  $\omega$ -3 —  $\alpha$ -линоленовой (АЛК), эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) кислотами, которые животные и птицы не могут синтезировать в достаточном количестве (4). Эти вещества необходимы человеку для развития мозга, зрительной функции, профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и т.д. (5). Вопрос об оптимальном соотношении  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 ПНЖК в рационе человека до сих пор остается дискус-

\* Исследование финансировалось РНФ (грант № 16-16-04047).

сионным. Называют значения от 1:1, ссылаясь на тот факт, что обе группы ПНЖК конкурируют в метаболических процессах (6), до 2-3:1 (7). В развитых странах это соотношение чрезмерно высокое и составляет, по разным оценкам, от 10:1 до 25:1 (8).

В современных рационах для несушек на основе кукурузы и других зерновых баланс смещен в сторону  $\omega$ -6 ПНЖК (в составе мало АЛК и практически отсутствуют ДГК и ЭПК) (9). Используемые растительные масла (кукурузное, соевое, подсолнечное, рапсовое) также содержат значительные количества  $\omega$ -6 ПНЖК (прежде всего, линолевой кислоты — ЛК) и мало  $\omega$ -3 ПНЖК (10), за исключением некоторых разновидностей рапса (11). На таких рационах количество  $\omega$ -3 ПНЖК в яйце невелико, а соотношение  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 ПНЖК намного выше оптимального (12).

Куриное яйцо как наиболее доступный источник полноценного белка и ряда жирных кислот — пищевой продукт, удобный для придания функциональных свойств (13). Яичный белок удовлетворяет примерно 12 % дневной потребности человека и считается эталоном полноценного белка. В яичном желтке содержатся насыщенные, моновенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты (примерно 7 % дневной потребности человека, включая примерно 11 % по незаменимым жирным кислотам) (7). Аминокислотный состав яйца почти не зависит от рациона несушек (13), тогда как липидный — в значительной мере определяется его липидным профилем (4, 14). Благодаря высокой скорости и адаптируемости метаболизма липидов у птиц, биологически активные вещества из рациона кур уже через 2-4 нед устойчиво переходят в яйца, что позволяет влиять на состав желтка яиц через изменение рациона несушек (4, 15, 16). Однако обогащенные рационы могут отрицательно повлиять на физиологическое состояние птицы и повысить стоимость продукции (для функциональных птицепродуктов в розничной продаже — на 15-20 %) (1, 17).

При обогащении яиц  $\omega$ -3 ПНЖК важен выбор источника с высокой биологической доступностью этой жирной кислоты, который не оказывал бы существенного негативного влияния на яичную продуктивность, здоровье несушек и качество яиц, включая органолептические показатели. Следует контролировать соотношение  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 ПНЖК как в рационе, так и в полученных яйцах. Увеличение доли и степени ненасыщенности ПНЖК (в том числе ряда  $\omega$ -3) в кормах приводит к снижению окислительной стабильности (18, 19) и образованию токсичных продуктов окисления в организме несушки, которые переносятся в яйца, что снижает их качество при хранении и/или кулинарной обработке (20). Кроме того, при обогащении  $\omega$ -3 ПНЖК у яиц часто появляется неприятный рыбный запах (21).

Как источник  $\omega$ -3 ПНЖК в рационах несушек в основном используют продукты льна (семя, масло, жмых), у которого содержание АЛК выше, чем у других масличных культур: более половины ЖК в липидах льняного семени приходится на АЛК (22). Льняное масло в кормлении птицы используется реже, чем семя или жмыхи, что обусловлено недостаточной доступностью и относительно высокой стоимостью этого продукта (23). Кроме того, при скармливании продуктов льна у яиц может появиться запах портящейся рыбы (вероятно, вследствие окисления липидов, обогащенных ПНЖК). Цельное семя льна содержит около 40 % жира, 20-25 % протеина и 3-10 % клейких веществ (находятся в основном в оболочке семян), которые, наряду с лигнанами фитостероидными, линадином (антагонист пиридоксина) и линамарином (цианогенный глюкозид), считаются основными антипитательными факторами льна (24). Обычно в корма для взрослой птицы рекомендуется вводить не более 10 % льняного семени

(23) и использовать семена после размола, автоклавирования, гранулирования, экструзии, микроволновой термообработки и т.п., что повышает доступность протеина и  $\omega$ -3 ПНЖК из таких продуктов (25, 26). Фитоэстрогены семени льна негативно влияют на массу яиц и желтка, а клейкие вещества снижают яйценоскость. Арабиноксилановая фракция клейких веществ семени существенно повышает вязкость химуса, что снижает эффективность использования питательных веществ рациона (27). При включении рапса в рационы их рекомендуют обогащать ферментами, расщепляющими некрахмалистые полисахариды (28, 29). Подобных исследований по льну известно немного. Сообщалось о достоверном улучшении яйценоскости и конверсии корма при скормлении несушкам 15 % льняного семени с добавлением мультиэнзимного комплекса Superzyme®-ОМ («Canadian Bio-Systems, Inc.», Канада), расщепляющего некрахмалистые полисахариды (при той же дозе льняного семени без ферментной добавки яйценоскость и масса скорлупы снижались по сравнению с контролем без добавок льна и фермента). При применении фермента в яйцах повышалась сумма  $\omega$ -3-ПНЖК (с 546 до 578 мг в пересчете на 1 яйцо массой 60 г) и ДГК (с 91,8 до 101,9 мг) (30).

Окислительную стабильность липидов, обогащенных ПНЖК, повышают, добавляя в рацион антиоксиданты (витамины Е, А и С, каротиноиды, селен, йод и т.д.) — ценные биоактивные вещества. Это частично снимает проблему рыбного запаха яиц. Также рекомендуется использовать свежие корма с минимально окисленными липидами (20, 31, 32). Затраты западных производителей обогащенных ЖК яиц при текущих ценах на качественные кормовые источники  $\omega$ -3-жирных кислот почти в 2 раза выше, чем при получении необогащенных (7), поэтому альтернативой становится применение антиоксидантов без  $\omega$ -3-жирных кислот.

Мы впервые изучили возможность комплексной биофортификации пищевых яиц витамином Е, селеном и  $\omega$ -3 ПНЖК у кур российского кросса и установили дозы льняного жмыха, масла, препарата жирных кислот (органический источник витамина Е), Sel-Plex® и селенита натрия, в которых указанные добавки повышают яйценоскость и выход яичной массы на несушку (без негативного физиологического эффекта), снижая при этом затраты корма на единицу продукции и стоимость комбикормов.

Цель настоящей работы — изучение эффективности одновременного обогащения пищевых яиц кур  $\omega$ -3 полиненасыщенными жирными кислотами, витамином Е и селеном с помощью кормовых добавок и оценка их влияния на жизнеспособность и продуктивность птицы.

**Методика.** Опыты проводили в виварии Селекционно-генетического центра «Загорское ЭПХ» (Московская обл., г. Сергиев Посад, 2016-2017 годах) на курах (*Gallus gallus* L.) промышленного стада кросса СП 789. Птицу со 140- до 200-суточного возраста содержали в клеточных батареях (по 5 гол. в клетке) при прерывистом освещении 2С:5Т:3С:2Т:3С:9Т.

Для определения необходимых доз  $\omega$ -3 ПНЖК, витамина Е и селена методом аналогов сформировали 6 групп по 30 гол. в каждой. В I группе (контроль) рацион был стандартным (основной рацион, ОР) и включал пшеницу (56,1 %), отруби (11,1 %), шрот соевый (9,3 %), жмых подсолнечный (9,3 %), масло подсолнечное (3,0 %); содержание  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК — соответственно 3,62 и 0,14 %, их соотношение — 25,9:1; содержание синтетического витамина Е (DL- $\alpha$ -токоферол) — 10 г, чистого селена (источник — селенит натрия) — 0,2 г/т комбикорма. Во II и III опытных группах подсолнечное масло в ОР полностью заменили на льняное (3 %), уменьшили долю пшеницы, соевого шрота, подсолнечного жмыха и пшеничных

отрубей соответственно до 55,7; 7,0; 8,2 и 9,9 и дополнительно использовали 5 % жмыха льняного семени. Источником селена во II группе был препарат Sel-Plex® («Alltech», США), в III группе — Дафс-25 (ООО «Сульфат», Россия). Во II и III группах в рационах количество  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК составляло 2,09 и 1,97 %, их соотношение — 1,06:1, содержание витамина E (DL- $\alpha$ -токоферол) — 100, чистого селена — 0,5 г/т комбикорма. В IV-VI опытных группах подсолнечное масло также заменили льняным, количество соевого шрота, подсолнечного жмыха и пшеничных отрубей снизили до 4,7; 7,1 и 8,9 %, в рацион включали 10 % жмыха семени льна. В IV группе птице скармливали Sel-Plex®, в V — Дафс-25, в VI — селенит натрия. В этих рационах содержание  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК — 1,82 и 2,35 %, их соотношение — 0,77:1, количество витамина E (DL- $\alpha$ -токоферол) — 150, чистого селена — 0,5 г/т комбикорма. В рационы всех групп вводили по 0,0 % ферментных препаратов Фидбест W (ксилаза и  $\beta$ -глюканаза) и Фидбест P (3-фитаза) (ООО «Сиббиофарм», Россия).

Для оценки возможность комплексного обогащения пищевых яиц кур  $\omega$ -3 ПНЖК, неорганическими и органическими формами витамина E и селена по методу аналогов сформировали 7 групп по 30 гол. в каждой. Рацион I группы (контроль, ОР) имел следующий состав: пшеница (57,2 %), отруби (5,5 %), шрот соевый (10,4 %), жмых подсолнечный (8,6 %), кукурузный глютен (3,0 %), масло подсолнечное (4,0 %). Содержание  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК составляло соответственно 3,69 и 0,12 % (при соотношении 30,8:1), витамина E (DL- $\alpha$ -токоферол) — 10, чистого селена (источник селенит натрия) — 0,2 г/т комбикорма. В рационах II-IV опытных групп 3 % подсолнечное масло заменяли на льняное, содержание пшеницы, отрубей, соевого шрота снижали соответственно до 56,8; 4,3; 6,5 %, жмыха подсолнечного — увеличивали до 9,1 % и вводили 5 % жмыха семени льна. Источником селена во II группе был Sel-Plex®, в III — Sel-Plex® и Дафс-25 (1:1), в IV — Sel-Plex® и селенит натрия (1:1). В рационах содержание  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК составило 2,49 и 2,16 %, их соотношение — 1,15:1, количество витамина E (DL- $\alpha$ -токоферол) — 150, чистого селена — 0,5 г/т комбикорма. Для птицы из V-VII групп в ОР подсолнечное масло (4 %) заменили льняным (3 %) и жирными кислотами — отходами масложировой промышленности (в составе более 90 % жиров, 280 мкг/г натуральных каротиноидов и более 11300 мкг/г  $\alpha$ -токоферола — органической формы витамина E) (1,5 %), ввели жмых семени льна (5 %), снизили содержание отрубей и соевого шрота (до 2,64 и 6,53 %) и увеличили долю подсолнечного жмыха (до 9,63 %). Источником селена в рационе V группы был Sel-Plex®, VI группы — Sel-Plex® и Дафс-25 (1:1), VII группы — Sel-Plex® и селенит натрия (1:1). Количество  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК составляло соответственно 2,50 и 2,23 % при соотношении 1,12:1, содержание органической формы витамина E (D- $\alpha$ -токоферол) — 150, чистого селена — 0,5 г/т комбикорма. В рационы всех групп вводили ферментный препарат Фекорд (100 г/т корма; ЗАО «Фермент», Беларусь).

Сохранность поголовья оценивали ежедневным учетом, живую массу — индивидуальным взвешиванием всего поголовья в 140- и 200-суточном возрасте. Яйценоскость на несушку определяли по числу снесенных яиц по группам; массу яиц — индивидуальным взвешиванием всех яиц в группе, снесенных курами в течение 3 сут подряд в середине каждого месяца; выход яичной массы на несушку — по числу снесенных яиц и средней массе яиц по группам; выход яиц по категориям — по результатам взвешивания и осмотра яиц, снесенных курами в течение 3 сут подряд в середине каждого месяца (национальный стандарт РФ ГОСТ

31654-2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия»). Потребление корма оценивали ежедневным учетом заданного корма и его остатков в конце каждой недели; затраты корма на 10 яиц и на 1 кг яичной массы рассчитывали на основании данных по потреблению корма, яйценоскости и выхода яичной массы. Массу белка, желтка, скорлупы яиц определяли по общепринятым методикам в середине каждого месяца; содержание  $\omega$ -3 ПНЖК, витамина Е и селена в желтке и селена в белке — через 30 и 60 сут после начала опыта.

Массовую долю селена измеряли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (спектрометр Duo 240 FS/240Z, «Varian», США). Для разложения образцов использовали микроволновую систему пробоподготовки Milestone START D («Milestone Systems», Италия). Массовую долю витамина Е определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (хроматографическая система Knauer, «Knauer Engineering GmbH Industrieanlagen & Co.», Германия). Подготовку проб выполняли общепринятым методом щелочного омыления с последующей экстракцией диэтиловым эфиром. Массовую долю сырого жира определяли по Рэндаллу с использованием экстрактора VELP Ser148 («VELP», Италия), жирнокислотный состав — капиллярной газожидкостной хроматографией на газовом хроматографе Кристалл-2000М («Хроматек», Россия). Жирные кислоты в виде метиловых эфиров разделяли на капиллярной колонке Stabilwax®-DE («Restek», США) (длина 60 м, внутренний диаметр 0,32 мм, толщина фазы 0,5 мм) и регистрировали с помощью пламенно-ионизационного детектора Кристалл 2000М (ЗАО СБК «Хроматек», Россия).

Данные обрабатывали методами вариационной статистики в программе Microsoft Excel. В таблицах приведены средние значения ( $M$ ) и стандартные ошибки средних ( $\pm SEM$ ). Достоверность оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при  $P < 0,05$ .

*Результаты.* Задачей первого опыта было определение дозы источников  $\omega$ -3 ПНЖК, витамина Е и селена в рационе кур-несушек. За 60-суточный период сохранность поголовья во всех группах составила 100 % (табл. 1). Живая масса кур-несушек в 140-суточном возрасте в I-VI группах была практически одинаковой, но в 200-суточном возрасте наибольшую живую массу отмечали во II опытной группе (на 1,4-3,6 % выше, чем в остальных). Наименьшим этот показатель был в III группе — на 0,9 % ниже, чем в контроле. По яйценоскости кур лидировали группы II, III, V и VI, которые различались между собой существенно. Самую низкую яйценоскость отмечали в I группе — на 0,6-3,9 % меньше, чем в других. Максимальные значения средней массы яиц, выхода яичной массы на несушку, а также выхода яиц отборной и первой категории фиксировали во II группе: соответственно на 4,5-6,7; 5,0-8,4; 3,7-9,7 и 11,0-23,8 % выше, чем в остальных группах. Минимальную массу яиц отмечали в V группе, а выход яичной массы — в контроле. Наблюдалась тенденция к снижению массы яиц при введении в рацион 10 % льняного жмыха и чистого селена (0,5 г/т) в составе препарата Дафс-25. Разность по массе яиц была достоверна между группами II и I, III-VI ( $P < 0,001$ ). В недавнем исследовании (33) при добавлении к рациону 10 % льняного жмыха яйценоскость кур была на 4 % выше ( $P < 0,05$ ), а масса яиц — достоверно ниже, чем в контроле. В другом сообщении (34) при увеличении содержания витамина Е в рационе со 100 до 200 г/т корма интенсивность яйценоскости повышалась ( $P < 0,01$ ), а масса яиц снижалась ( $P < 0,01$ ).

Наименьший расход корма на 1 гол/сут регистрировали в IV груп-

пе (на 1,3-5,6 % ниже, чем в других), максимальный — в I (контрольной) группе. Затраты корма на 10 яиц оказались самыми низкими в V группе, на 1 кг яичной массы — во II (соответственно на 1,6-8,0 и 3,9-9,4 % меньше, чем в других группах). Наибольшими эти показатели были в контроле, где фиксировали минимальную яйценоскость и максимальный расход корма на 1 гол/сут.

**1. Живая масса, показатели яйценоскости, качества яиц и расход корма при скармливании курам-несушкам кросса СП 789 разных рационов с включением  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот, витамина Е и селена ( $M \pm SEM$ , «Загорское ЭПХ», г. Сергиев Посад, Московская обл., 2016-2017 годы)**

Показатель	Группа ( $n = 30$ )					
	I (контроль)	II	III	IV	V	VI
Живая масса, г:						
в возрасте 140 сут	1307±16,42	1308±17,93	1312±11,31	1309±15,31	1308±13,60	1318±16,01
в возрасте 200 сут	1616±26,29	1658±26,28	1601±27,72	1620±38,28	1613±22,16	1635±24,95
Яйценоскость на несушку, шт.	47,5	49,2	49,0	47,8	49,3	49,4
Интенсивность яйценоскости, %	79,2	82,0	81,7	79,7	82,2	82,3
Средняя масса яиц, г	56,2±0,50	58,7±0,43*	55,4±0,49*	55,8±0,48	55,0±0,46	55,9±0,48*
Выход яиц по категориям, %:						
высшая	2,04	1,94	1,97	1,32	1,35	1,97
отборная	3,40	10,97	5,92	7,24	1,35	1,32
1-я	50,34	61,29	37,50	43,42	45,95	48,03
2-я	40,14	21,94	49,34	44,08	48,97	45,39
3-я	0,68	0,64	1,32	1,31	0,67	0,66
бой и насечка	3,40	3,22	3,95	2,63	2,70	2,63
Выход яичной массы на несушку, кг	2,675	2,900	2,722	2,683	2,717	2,761
Расход корма:						
на 1 гол/сут, г	109,2	107,0	106,7	103,1	104,5	106,5
на 10 яиц, кг	1,38	1,31	1,31	1,29	1,27	1,29
на 1 кг яичной массы, кг	2,45	2,22	2,35	2,31	2,31	2,31
Стоимость 1 т комбикорма, руб.	14098	14504	14282	14374	14151	14104

Примечание. Описание групп и способов учета (первый опыт) см. в разделе «Методика».

\* Различия с контролем статистически значимы при  $P < 0,001$ .

**2. Морфологические и химические показатели яиц при скармливании курам-несушкам кросса СП 789 разных рационов с включением  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), витамина Е и селена ( $M \pm SEM$ , «Загорское ЭПХ», г. Сергиев Посад, Московская обл., 2016-2017 годы)**

Показатель	Группа ( $n = 30$ )					
	I (контроль)	II	III	IV	V	VI
Масса желтка:						
абсолютная, г	14,27±0,44	14,23±0,32	13,99±0,31	13,69±0,34	14,20±0,30	14,49±0,34
относительная, %	23,95	23,63	24,44	23,38	24,70	24,18
Масса белка:						
абсолютная, г	39,00±0,56	39,62±0,66	37,1±0,57*	38,54±0,46	37,08±0,49*	38,94±0,60
относительная, %	65,45	65,79	64,80	65,80	64,51	65,00
Масса скорлупы:						
абсолютная, г	6,32±0,10	6,37±0,13	6,16±0,08	6,34±0,10	6,20±0,09	6,48±0,08
относительная, %	10,60	10,58	10,76	10,82	10,79	10,82
Содержание в 100 г съедобной части яйца (анализ объединенных проб):						
селен, мкг	28,3	61,6	58,2	61,8	58,9	43,1
витамин Е, мг	2,31	4,47	5,04	6,40	8,35	5,50
$\omega$ -6 ПНЖК, мг	2181	1630	1504	1535	1321	1410
$\omega$ -3 ПНЖК, мг	172	767	767	807	767	796
в том числе —						
$\alpha$ -линоленовая, мг	69	539	537	547	577	515
$\omega$ -3-эйкозапентаеновая, мг	12	22	26	25	28	29
$\omega$ -3-докозапентаеновая, мг	8,5	29	30	31	31	29
$\omega$ -3-докозагексаеновая, мг	64	148	146	174	152	144
Соотношение $\omega$ -6 и $\omega$ -3 ПНЖК	12,7:1	2,1:1	2,0:1	1,9:1	1,7:1	1,8:1

Примечание. Описание групп и способов учета (первый опыт) см. в разделе «Методика».

\* Различия с контролем статистически значимы при  $P < 0,05$ .

Морфологический и химический анализ яиц (табл. 2) показал, что в среднем за период опыта (60 сут) по абсолютной и относительной массе

желтка группы различались незначительно. Максимальную абсолютную массу белка яиц отмечали во II группе (на 1,5-6,9 % выше, чем в остальных). Разность по этому показателю оказалась достоверна между группами I и III, V ( $P < 0,05$ ); II и III, V ( $P < 0,01$ ); VI и III, V ( $P < 0,05$ ); IV и V ( $P < 0,05$ ). По относительной массе белка лидировали II и IV группы, где источником Se был Sel-Plex®, то есть увеличение массы яиц в указанных группах произошло за счет белка. Существенных различий между группами по абсолютной и относительной массе скорлупы не зафиксировали.

Во II-VI группах содержание витамина E в 100 г съедобной части яйца оказалось в 1,9-3,6 раза больше, чем в контроле. При увеличении дозы витамина в рацион со 100 до 150 г/т комбикорма его содержание в яйце закономерно повышалось. Аналогичную зависимость наблюдали в других исследованиях (34, 35): количество витамина E в яйце находилось в прямой зависимости от его дозы в рационе птицы.

Содержание селена в 100 г съедобной части яйца в опытных группах была в 1,5-2,2 раза выше, чем в контроле. Среди опытных групп этот показатель был наименьшим в VI группе при использовании селенита натрия. Наши данные согласуются с результатами других авторов (36), которые сообщают о том, что количество селена в яичном белке и желтке зависит от дозы и формы селена в рационе кур-несушек.

Отложение  $\omega$ -3 ПНЖК в расчете на 100 г съедобной части яйца в опытных группах было в 4,5-4,7 раза выше, чем в контроле, в том числе содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты — в 7,5–8,4 раза, эйкозапентаеновой — в 1,8-2,4 раза, докозапентаеновой — в 3,2-3,4 раза, докозагексаеновой — в 2,3-2,7 раза. Соотношение  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 ПНЖК во II и VI опытных группах составило 1,7-2,1:1 против 12,7:1 в контроле. Следует отметить, что при введении в рацион 5 % (II-III группы) и 10 % (IV-VI группы) льняного жмыха в сочетании с 3 % льняного масла содержание  $\omega$ -3 ПНЖК в яйце изменялось мало, а уменьшение соотношения  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК происходило за счет снижения отложения в яйце  $\omega$ -6 ПНЖК. Наблюдалась тенденция к уменьшению соотношения  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК в опытных группах, где источниками селена были Дафс-25 (III и V группы) и селенит натрия (VI группа). Эти данные согласуются с результатами N. Gjorgovska с соавт. (34), в опыте которых в яйцах кур, получавших с кормом более высокую дозу  $\omega$ -3 ПНЖК (ДГК и ЭПК), содержание этих жирных кислот увеличивалось. Свежие и хранившиеся в течение 25 сут при комнатной температуре яйца кур из контрольной и II-III опытных групп, а также свежие яйца кур IV-VI групп не имели постороннего запаха или вкуса, однако в IV-VI группах в яйцах после хранения отмечали слабый рыбный запах и вкус до и после кулинарной обработки.

Комплексное обогащение пищевых яиц кур  $\omega$ -3 ПНЖК, селеном и витамином E в первом опыте привело к удорожанию рационов II-VI групп на 0,04-2,88 % по сравнению с контролем. Поэтому в следующем эксперименте мы предприняли попытку получить аналогичный результат по биофортификации пищевых яиц, но без удорожания комбикормов.

Во втором опыте (табл. 3) сохранность птицы во всех группах также составила 100 %. Значительных различий между группами по живой массе кур в 200-суточном возрасте не отмечали. Самая высокая яйценоскость и выход яичной массы на несушку были в VII опытной группе: соответственно на 2,4-10,1 и 3,0-13,2 % выше, чем в остальных группах. Наименьшие показатели отмечали в контроле. При замене синтетического источника витамина E на органический (жирные кислоты) в V-VII группах средняя масса яиц увеличилась на 0,6-0,8 г, или на 1,1-1,4 %, при превос-

ходстве VII группы. Самую низкую массу яиц отмечали в контроле: на 0,6-1,6 г (или на 1,1-2,8 %) ниже, чем в других группах. Разность по этому показателю оказалась достоверна между группами V-VII и I ( $P < 0,05$ ). В доступной литературе данные по влиянию подобных препаратов жирных кислот на эффективность отложения витамина Е в яйце отсутствуют.

**3. Живая масса, показатели яйценоскости, качества яиц и расход корма у кур-несушек кросса СП 789 при оптимизации рационов с включением  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот, неорганических и органических форм витамина Е и селена ( $M \pm SEM$ , «Загорское ЭПХ», г. Сергиев Посад, Московская обл., 2016-2017 годы)**

Показатель	Группа ( $n = 30$ )						
	I (контроль)	II	III	IV	V	VI	VII
Живая масса, г:							
в возрасте 140 сут	1372±19,87	1370±22,68	1392±21,24	1396±23,51	1379±20,08	1366±22,37	1390±34,89
в возрасте 200 сут	1543±22,87	1592±27,18	1615±32,28	1597±34,90	1602±30,08	1577±27,47	1566±29,76
Яйценоскость на несушку, шт.	46,5	48,6	49,0	49,2	49,6	50,0	51,2
Интенсивность яйценоскости, %	77,6	81,0	81,7	82,1	82,7	83,3	85,4
Средняя масса яиц, г	54,9±0,48	55,5±0,44	55,6±0,40	55,7±0,36	56,1±0,34*	56,2±0,40	56,5±0,43*
Выход яичной массы на несушку, кг	2,555	2,691	2,725	2,757	2,784	2,808	2,893
Расход корма:							
на 1 гол/сут, г	111,7	111,9	111,7	112,5	114,8	114,1	113,6
на 10 яиц, кг	1,44	1,38	1,37	1,37	1,39	1,37	1,33
на 1 кг яичной массы, кг	2,62	2,50	2,46	2,45	2,47	2,44	2,36
Стоимость 1 т комбикормов, руб.	14863	14965	14878	14855	14827	14711	14688

Пр и м е ч а н и е. Описание групп и способов учета (второй опыт) см. в разделе «Методика».

\* Различия с контролем статистически значимы при  $P < 0,05$ .

Наименьший расход корма на 1 гол/сут отмечали в I, II и III группах. Максимальным этот показатель был в V группе (на 2,8 % выше, чем в контроле). Самые низкие затраты корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы были в VII опытной группе, где регистрировали максимальную яйценоскость и выход яичной массы на несушку: соответственно на 2,9-7,6 и 3,3-9,9 % меньше, чем в других группах.

Замещение половины количества Sel-Plex® препаратом Дафс-25 в III и VI группах позволило снизить стоимость 1 т комбикормов соответственно на 87 и 116 руб., или на 0,58 и 0,78 %, а при замене на селенит натрия в IV и VII группах — на 110 и 139 руб., или на 0,74 и 0,94 % (по сравнению со II и V группами). Замена синтетического источника витамина Е на органический (жирные кислоты — отходы масложировой промышленности) в V-VII группах привела к снижению стоимости 1 т комбикормов на 138-167 руб., или на 0,92-1,12 %, по сравнению со II-IV группами. Самым низким этот показатель был в VII опытной группе — на 175 руб., или на 1,18 %, ниже, чем в контроле, и на 23-277 руб., или на 0,16-1,85 %, меньше, чем во II-VI группах.

Существенных различий между группами по абсолютной и относительной массе желтка, белка и скорлупы яиц за период опыта не было (табл. 4). Концентрация селена в 100 г съедобной части яйца во II-VII группах была в 2,2-2,3 раза, а витамина Е — в 2,0-2,8 раза выше, чем в контроле. Опытные группы практически не различались между собой по содержанию селена. Более высокая концентрация витамина Е в 100 г съедобной части яйца при введении в рацион кур-несушек его синтетического источника наблюдалось в IV группе, органического — в VII группе. Установлено, что отложение  $\omega$ -3 ПНЖК в расчете на 100 г съедобной части яйца во II-IV группах в 3,4-5,0 раз выше, чем в контроле, в том числе содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты — в 5,2-8,0 раз, эйкозапентаеновой — в 1,4-2,4 раза, докозапентаеновой — в 1,5-3,2 раза, докозагексаеновой — в 2,3-3,8 раза. Соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК в II-IV опытных группах со-



ставило 2,3-2,9:1 против 14,2:1 в контроле. Следует отметить, что при введении в рацион кур-несушек как синтетического, так и органического витамина Е наибольшее содержание  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 ПНЖК в 100 г съедобной части яйца отмечали в группах, где источником селена были Sel-Plex® и селенит натрия в соотношении 1:1 (IV и VII группы).

**4. Морфологические и химические показатели яиц у кур-несушек кросса СП 789 при оптимизации рационов с включением  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот, неорганических и органических форм витамина Е и селена ( $M \pm SEM$ , «Загорское ЭПХ», г. Сергиев Посад, Московская обл., 2016-2017 годы)**

Показатель	Группа (n = 30)						
	I (контроль)	II	III	IV	V	VI	VII
Масса желтка:							
абсолютная, г	12,38±0,31	12,58±0,32	12,56±0,28	12,64±0,34	12,72±0,39	12,80±0,32	12,89±0,43
относительная, %	22,55	22,67	22,59	22,69	22,68	22,78	22,81
Масса белка:							
абсолютная, г	36,32±1,15	36,77±1,18	36,81±1,04	36,89±0,97	37,16±0,97	37,15±0,95	37,34±1,02
относительная, %	66,16	66,26	66,20	66,24	66,23	66,10	66,09
Масса скорлупы:							
абсолютная, г	6,20±0,21	6,14±0,17	6,23±0,21	6,17±0,17	6,22±0,20	6,25±0,22	6,27±0,16
относительная, %	11,29	11,07	11,21	11,07	11,09	11,12	11,10
Содержание в 100 г съедобной части яйца (анализ объединенных проб):							
селен, мкг	27,1	61,1	61,2	60,3	61,5	59,3	60,9
витамин Е, мг	3,10	6,16	7,04	7,95	8,19	8,59	8,82
$\omega$ -6 ПНЖК, мг	2717	2385	2312	2445	1915	2035	2148
$\omega$ -3 ПНЖК, мг	192	881	790	960	655	778	949
в том числе —							
$\alpha$ -линоленовая, мг	77	618	502	581	400	490	544
$\omega$ -3-эйкозапентаеновая, мг	11	25	19	26	15	19	20
$\omega$ -3-докозапентаеновая, мг	17	36	26	45	34	33	55
$\omega$ -3-докозагексаеновая, мг	87	202	243	308	206	236	330
Соотношение $\omega$ -6 и $\omega$ -3 ПНЖК	14,2:1	2,7:1	2,9:1	2,5:1	2,9:1	2,6:1	2,3:1

Примечание. Описание групп и способов учета (второй опыт) см. в разделе «Методика».

P. Weill с соавт. (37) сообщают, что при включении в рацион кур-несушек 5 % экструдированного льняного семени содержание общих п-3 ПНЖК в пищевых яйцах было в 3,8 раза выше, чем при стандартном рационе, в том числе ДГК — в 2,4 раза выше. I.D. Vean с соавт. (38) также подтверждают, что при скармливании несушкам льняного семени в яйцах с высокой достоверностью ( $P < 0,001$ ) усиливается отложение линоленовой кислоты и ДГК, а также суммарных жирных кислот ряда  $\omega$ -3.

Таким образом, одновременное включение в рацион кур-несушек  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), селена и витамина Е в испытанных дозировках позволяет значительно повысить содержание этих веществ в пищевых яйцах без негативного влияния на жизнеспособность и продуктивность птицы. Для комплексного обогащения пищевых яиц  $\omega$ -3 ПНЖК, витамином Е и селеном следует вводить в рацион льняное масло и жмых — соответственно 3 и 5 % (при использовании ферментного препарата), витамин Е — 150 г/т комбикорма, селен — 0,5 г/т комбикорма. Замена половинной дозы препарата Sel-Plex® на Дафс-25 и селенит натрия, а также синтетического витамина Е (DL- $\alpha$ -токоферол) на органический (D- $\alpha$ -токоферол) позволяет повысить яйценоскость кур и выход яичной массы на несушку, снизить затраты корма на единицу продукции и стоимость комбикормов. Лучшие результаты удалось достичь в группе, где источником селена были Sel-Plex® и селенит натрия в соотношении 1:1, а органическим источником витамина Е служили жирные кислоты — отходы масложировой промышленности. Эта группа превосходила контроль по содержанию в 100 г съедобной части яйца  $\omega$ -3 ПНЖК в 4,9 раза (при соотношении  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 ПНЖК 2,3:1 против 14,2:1 в контроле), в том

числе  $\alpha$ -линоленовой кислоты — в 7,1 раза, эйкозапентаеновой — в 1,8 раза, докозапентаеновой — в 3,2 раза, докозагексаеновой — в 3,8 раза, витамина Е — в 2,8 раза, селена — в 2,2 раза при повышении яйценоскости кур на 10,1 % и увеличении выхода яичной массы на несушку на 13,2 %, снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы соответственно на 7,6 и 9,9 % и стоимости комбикормов — на 1,2 %.

ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский  
и технологический институт птицеводства РАН,  
141311 Россия, Московская обл., г. Сергиев Посад,  
ул. Птицеградская, 10,  
e-mail: alexk@vnitip.ru ✉, dp.vniipp@mail.ru, 89267796966@yandex.ru,  
en-5506040@mail.ru

Поступила в редакцию  
1 марта 2018 года

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, V. 53, № 4, pp. 787-798

## THE RATION RECIPES DEVELOPED TO IMPROVE EFFECTIVE AND SAFE BIOFORTIFICATION OF HEN (*Gallus gallus* L.) EGGS

*A.Sh. Kavtarashvili, I.L. Stefanova, V.S. Svitkin, E.N. Novotorov*

Federal Scientific Center All-Russian Research and Technological Poultry Institute RAS, Federal Agency of Scientific Organizations, 10, ul. Ptitsegradskaya, Sergiev Posad, Moscow Province, 141311 Russia, e-mail alexk@vnitip.ru (✉ corresponding author), dp.vniipp@mail.ru, 89267796966@yandex.ru, en-5506040@mail.ru

ORCID:

Kavtarashvili A.Sh. [orcid.org/0000-0001-9108-1632](https://orcid.org/0000-0001-9108-1632)

Stefanova I.L. [orcid.org/0000-0002-4394-5149](https://orcid.org/0000-0002-4394-5149)

Svitkin V.S. [orcid.org/0000-0002-4161-0986](https://orcid.org/0000-0002-4161-0986)

Novotorov E.N. [orcid.org/0000-0003-4478-3206](https://orcid.org/0000-0003-4478-3206)

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation, grant No 16-16-04047

Received March 1, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.4.787eng

### Abstract

Enrichment of chicken eggs with  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) is relevant worldwide, but scientists and practitioners face certain challenges. Effective biofortification requires dietary source of  $\omega$ -3 PUFAs bioavailable for laying hens that will not compromise livability, health, and productivity of layers. Since any increase in  $\omega$ -3 PUFA level in dietary lipids can deteriorate the oxidative stability of egg lipids causing faster quality loss and emergence of fish odor and taste in stored and/or cooked eggs, dietary antioxidants should be used of which vitamin E and selenium (Se) are the most effective. High costs of the  $\omega$ -3 PUFA-enriched diets for layers should also be diminished. The most popular source of dietary  $\omega$ -3 PUFAs for layers is flax (seed, oil, cake); however, its dietary level should not exceed 15 % even when used with the appropriate multi-enzyme preparations. This paper is the first to report on comparative study of low-cost feed recipes that we suggest for effective concurrent enrichment of eggs with  $\omega$ -3 PUFAs, vitamin E, and Se with no negative impacts on layers' livability and productivity. The trials were performed in 2016–2017 at the Zagorskoye Center for Genetics & Selection (Moscow Province) on SP 789 cross layers from 140 to 200 days of age. In the Trial 1 the diets for layers were supplemented with flaxseed oil (3 %) and cake (5 or 10 %), synthetic vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopherol, 100 or 150 ppm), and Se preparations Sel-Plex® (Alltech, USA), DAFS-25 (Russia), and sodium selenite (0.5 ppm of Se). These doses of the additives led to a 4.5–4.7-fold increase in  $\omega$ -3 PUFA level, a 1.9–3.6-fold increase in vitamin E and a 1.5–2.2-fold increase in Se content in the edible parts of eggs. Additionally, egg production was 0.6–4.0 % higher, total egg weight was 0.3–8.4 % higher, and feed conversion ratio was improved by 4.1–9.4 %. In Trial 2 layers were fed with optimized doses of the additives determined in the previous trial (flaxseed oil 3 %, flaxseed cake 5 %, vitamin E 150 ppm, Se 0.5 ppm); the comparative efficiency of different Se sources (Sel-Plex®, Sel-Plex® + DAFS-25 at 1:1, Sel-Plex® + sodium selenite at 1:1) and organic vitamin E vs. synthetic vitamin E preparation was studied. The combinations of Sel-Plex® with other Se sources and the substitution of organic vitamin E for the synthetic source improved egg production, egg weight, feed conversion ratio, and decreased diet cost. The best results were found for the mixture of Sel-Plex® and selenite and an organic source of vitamin E. In this, the content of total  $\omega$ -3 PUFAs in eggs was 4.9 times higher compared to control (with  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 PUFAs ratio 2.3:1 vs. 14.2:1 in control), the contents of individual  $\omega$ -3 PUFAs were also significantly higher, i.e. 7.1-fold for  $\alpha$ -linolenic acid, 1.8-fold for eicosapentaenoic acid, 3.2-fold for docosapentaenoic acid, and 3.8-fold for docosahexaenoic acid. The content of vitamin E in the eggs was 2.8 times higher, Se level was 2.2 times higher. In this trial, the egg production improved by 10.1 % compared to control, egg weigh output per layer was 13.2 % higher. Feed expenses per 10 eggs low-

ered by 7.6 %, and per 1 kg of egg weight by 9.9 %. Total diet costs were 1.2 % lower.

Keywords: chicken, functional eggs,  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids, selenium, vitamin E, diet cost.

## REFERENCES

1. Siru I., Kápolna E., Kápolna B., Lugasi A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance — A review. *Appetite*, 2008, 51: 456-467 (doi: 10.1016/j.appet.2008.05.060).
2. Kavtarashvili A.Sh., Stefanova I.L., Svitkin V.S., Novotorov E.N. Functional egg production. I. The role of -3 polyunsaturated fatty acids (review). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2017, 52(2): 349-366 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.2.349eng).
3. Perić L., Rodić V., Milošević N. Production of poultry meat and eggs as functional food: challenges and opportunities. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2011, 27(3): 511-520 (doi: 10.2298/BAH1103511P).
4. Leskanich C.O., Noble R.C. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World Poultry Sci. J.*, 1997, 53(2): 155-183 (doi: 10.1079/WPS19970015).
5. Simopoulos A. Evolutionary aspects of diet and essential fatty acids. *World Rev. Nutr. Diet*, 2001, 88: 18-27 (doi: 10.1159/000059742).
6. Stoll A. *The omega-3 connection*. Simon and Schuster, NY, 2001: 40.
7. Surai P. *Kormi i fakti*, 2016, 4(68): 4-8 (in Russ.).
8. Simopoulos A.P. *The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids*. *Biomed. Pharmacother.*, 2002, 56(8): 365-379 (doi: 10.1016/S0753-3322(02)00253-6).
9. Sparks N.H.C. The hen's egg — is its role in human nutrition changing? *World Poultry Sci. J.*, 2006, 62(2): 308-313 (doi: 10.1079/WPS200599).
10. Okolelova T.M. *Pitisevodstvo*, 2013, 5: 15-19 (in Russ.).
11. Antongiovanni M., Minieri S., Buccioni A., Galligani I., Rapaccini S. Transfer of dietary fatty acid from butyric acid fortified canola oil into the meat of broiler. *Ital. J. Anim. Sci.*, 2009, 8(Suppl. 2): 754-756 (doi: 10.4081/ijas.2009.s2.754).
12. Shapira N. Every egg may have a targeted purpose: toward a differential approach to egg according to composition and functional effect. *World Poultry Sci. J.*, 2010, 66(2): 271-284 (doi: 10.1017/S0043933910000322).
13. Surai P. *Kombikorma*, 2010, 6: 95-96 (in Russ.).
14. Arkhipov A.V. *Lipidnoe pitanie, produktivnost' ptitsy i kachestvo produktov pitisevodstva* [Lipid nutrition, poultry performance and quality of poultry products]. Moscow, 2007 (in Russ.).
15. Griminger P. Lipid metabolism. In: *Avian physiology*. P.D. Sturkey (ed.). Springer, NY, 1986: 345-358.
16. Hargis P.S., Van Elswyk M.E., Hargis B.M. Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. *Poultry Sci.*, 1991, 70(4): 874-883 (doi: 10.3382/ps.0700874).
17. Guyonnet V. Eggs and egg products: consumers' attitudes, perceptions and behaviors. *Proc. XXIV World's Poultry Congress (5-9 August 2012 Salvador, Bahia-Brazil)*. Salvador, 2012: 1-10.
18. Komprada T. Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids as inflammation-modulating and lipid homeostasis influencing nutraceuticals: A review. *J. Funct. Food.*, 2012, 4(1): 25-38 (doi: 10.1016/j.jff.2011.10.008).
19. Plourde M., Cunnane S.C. Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: implications for their dietary essentiality and use as supplements. *Appl. Physiol. Nutr. Me.*, 2007, 32(4): 619-634 (doi: 10.1139/H07-034).
20. Scheideler S.E., Froning G.W. The combined influence of dietary flaxseed variety, level, form and storage conditions on egg production and composition among vitamin E-supplemented hens. *Poultry Sci.*, 1996, 75(10): 1221-1226 (doi: 10.3382/ps.0751221).
21. Bubel F., Dobrzański Z., Bykowski P., Patkowska-Sokoła B., Trziszka T. Enrichment of hen eggs with omega-3 polyunsaturated fatty acids — physiological and nutritional aspects. *Acta Sci. Pol., Medicina Veterinaria*, 2011, 10(3): 5-18.
22. Caston L.J., Leeson S. Dietary flax and egg composition. *Poultry Sci.*, 1990, 69(9): 1617-1620 (doi: 10.3382/ps.0691617).
23. Newkirk R. *Flax: feed industry guide*. Flax Canada 2015 Inc., Winnipeg, MB, 2008.
24. Morris D.H. *Flax: A health and nutrition primer*. Flax Council of Canada, Winnipeg, MB, 2007.
25. Shen Y., Feng D., Oresanya T.F., Chavez E.R. Fatty acid and nitrogen utilization of processed flaxseed by adult chickens. *J. Sci. Food Agric.*, 2005, 85(7): 1137-1142 (doi: 10.1002/jsfa.2073).
26. Feng D., Shen Y., Chavez E.R. Effectiveness of different processing methods in reducing hydrogen cyanide content of flaxseed. *J. Sci. Food Agric.*, 2003, 83(8): 836-841 (doi: 10.1002/jsfa.1412).
27. Alzueta C., Rodriguez M.L., Cutuli M.T., Rebole A., Ortiz L.T., Centeno C., Trevino J. Effect of whole and demucilaged linseed in broiler chicken diets on digesta viscosity, nutrient utilization and intestinal microflora. *Brit. Poultry Sci.*, 2003, 44(1): 67-74 (doi: 10.1080/0007166031000085337).
28. Slominski B.A., Meng X., Campbell L.D., Guenter W., Jones O. The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. Part II: Flaxseed. *Poultry Sci.*, 2006,

- 85(6): 1031-1037 (doi: 10.1093/ps/85.6.1031).
29. Egorova T.A., Lenkova T.N. Rapeseed (*Brassica napus* L.) and its prospective usage in poultry diet (review). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2015, 50(2): 172-182 (doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.172eng).
  30. Jia W., Slominski B.A., Guenter W., Humphries A., Jones O. The effect of enzyme supplementation on egg production parameters and omega-3 fatty acid deposition in laying hens fed flaxseed and canola seed. *Poultry Sci.*, 2008, 87(10): 2005-2014 (doi: 10.3382/ps.2007-00474).
  31. Van Elswyk M.E. Nutritional and physiological effects of flaxseed in diets for laying fowl. *World Poultry Sci. J.*, 1997, 53(3): 253-264 (doi: 10.1079/WPS19970020).
  32. Kavtarashvili A.Sh., Stefanova I.L., Svitkin V.S., Novotorov E.N. Functional egg production. II. The roles of selenium, zinc, and iodine (review). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2017, 52(4): 700-715 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.700eng).
  33. Cherian G., Quezada N. Egg quality, fatty acid composition and immunoglobulin Y content in eggs from laying hens fed full fat camelina or flax seed. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2016, 7: 15 (doi: 10.1186/s40104-016-0075-y).
  34. Gjorgovska N., Filiev K. Multi-enriched eggs with omega 3 fatty acids, vitamin E and selenium. *Archiva Zootechnica*, 2011, 14(2): 28-35.
  35. Maziar M.A, Shariatmadari F., Loftollahian H., Mazuji M.T. Effects of supplementing layer hen diets with selenium and vitamin E on egg quality, lipid oxidation and fatty acid composition during storage. *Can. J. Anim. Sci.*, 2008, 88: 475-483.
  36. Pappas A.C., Karadas F., Surai P.F., Speake B.K. The selenium intake of the female chicken influences the selenium status of her progeny. *Comp. Biochem. Phys. B*, 2005, 142(4): 465-474 (doi: 10.1016/j.cbpb.2005.09.013).
  37. Weill P., Schmitt B., Chesneau G., Daniel N., Safraou F., Legrand P. Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Ann. Nutr. Metab.*, 2002, 46(5): 182-191 (doi: 10.1159/000065405).
  38. Bean I.D., Leeson S. Long-term effects of feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens. *Poultry Sci.*, 2003, 82(3): 388-394 (doi: 10.1093/ps/82.3.388).