

**Н.Р. Касанова**<sup>1</sup>  
**М.К. Гайнуллина**<sup>1</sup>  
**Д.Б. Просвирников**<sup>2</sup>  
**Д.В. Тунцев**<sup>2</sup>  
**Е.О. Крупин**<sup>3</sup> ✉  
**А.Ш. Салыхов**<sup>1</sup>  
**О.А. Якимов**<sup>1</sup>  
**Е.Е. Головкова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

<sup>3</sup>Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

✉ [evgeny.krupin@gmail.com](mailto:evgeny.krupin@gmail.com)

Поступила в редакцию: 23.12.2025

Одобрена после рецензирования: 15.03.2026

Принята к публикации: 28.03.2026

© Касанова Н.Р., Гайнуллина М.К., Просвирников Д.Б., Тунцев Д.В., Крупин Е.О., Салыхов А.Ш., Якимов О.А., Головкова Е.Е.

**Nadiya R. Kasanova**<sup>1</sup>  
**Munira K. Gainullina**<sup>1</sup>  
**Dmitry B. Prosvirnikov**<sup>2</sup>  
**Denis V. Tuntsev**<sup>2</sup>  
**Evgeny O. Krupin**<sup>3</sup> ✉  
**Almaz S. Salakhov**<sup>1</sup>  
**Oleg A. Yakimov**<sup>1</sup>  
**Ekaterina E. Golovkova**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

<sup>2</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

<sup>3</sup> Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — subdivision of the Federal Research Center «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Kazan, Russia

✉ [evgeny.krupin@gmail.com](mailto:evgeny.krupin@gmail.com)

Received by the editorial office: 23.12.2025

Accepted in revised: 15.03.2026

Accepted for publication: 28.03.2026

© Kasanova N.R., Gainullina M.K., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V., Krupin E.O., Salakhov A.S., Yakimov O.A., Golovkova E.E.

## Влияние кормовой добавки на основе биомассы дрожжей *Rhodospiridium diobovatum* на яичную продуктивность перепелов

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Большое влияние на продуктивность сельскохозяйственной птицы оказывает обеспеченность высококачественным протеиновыми кормами и биологически активными веществами. Высокая биологическая активность каротиноидов вызывает интерес и обуславливает поиск эффективных способов их получения и применения. Экспериментальные данные о применении астаксантина в питании теплокровных животных ограничены.

**Методы.** В рационы перепелов 2, 3 и 4 групп дополнительно вводили кормовую добавку, полученную путем культивирования дрожжей *Rhodospiridium diobovatum*, из расчета 0,4; 0,8 и 1,2 г/кг живой массы соответственно. Отбор проб комбикорма проводили по ГОСТ 13496.0-2016, отбор проб и оценку качества полученных яиц — по ГОСТ 31655-2012. Химический анализ яиц включал определение сухого вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой золы, кальция, фосфора с предварительной пробоподготовкой. Оценка яичной продуктивности проводили с начала яйцекладки. Определяли массу яиц, белка, желтка, индексы формы яиц, белка, желтка, единицу ХАУ по общепринятым методикам, содержание каротиноидов в яичном желтке — по ГОСТ Р 54058-2010.

**Результаты.** Скармливание перепелам-несушкам кормовой добавки, полученной путем культивирования дрожжей *Rhodospiridium diobovatum*, способствовало повышению яйценоскости на 28,9%, 13,9% и 4,8%, интенсивности яйценоскости на 20,8%, 10,0% и 3,5%, улучшению морфологических показателей, инкубационных качеств и пищевой ценности перепелиных яиц, а также содержанию каротиноидов в желтке на 36,4%, 30,9% и 3,6% соответственно. Наилучшие показатели яичной продуктивности были получены у птицы 2 и 3 групп.

**Ключевые слова:** дрожжи, белок, каротиноиды, астаксантин, перепела, яичная продуктивность, яйца, качество

**Для цитирования:** Касанова Н.Р. и др. Влияние кормовой добавки на основе биомассы дрожжей *Rhodospiridium diobovatum* на яичную продуктивность перепелов. *Аграрная наука*. 2026; 405(04): 45–54.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-45-54>

## A feed additive based on the yeast biomass of *Rhodospiridium diobovatum* for egg production in quails

### ABSTRACT

**Relevance.** The availability of high-quality protein feed and biologically active substances has a significant impact on the productivity of poultry. The high biological activity of carotenoids is of interest and leads to the search for effective ways to obtain and use them. Experimental data on the use of astaxanthin in the diet of warm-blooded animals are limited.

**Methods.** A feed additive obtained by cultivating the yeast *Rhodospiridium diobovatum* was additionally introduced into the diets of quails in groups 2, 3 and 4 at the rate of 0,4; 0,8 and 1,2 g/kg of live weight, respectively. Sampling of compound feed was carried out in accordance with GOST 13496.0-2016, sampling and quality assessment of the obtained eggs — in accordance with GOST 31655-2012. The chemical analysis of eggs included the determination of dry matter, crude protein, crude fat, crude ash, calcium, phosphorus with preliminary sample preparation. Egg productivity was assessed from the beginning of oviposition. The weight of eggs, protein, yolk, the shape indices of eggs, protein, yolk, and the HAU unit were determined using generally accepted methods, and the content of carotenoids in egg yolk was determined according to GOST R 54058-2010.

**Results.** Feeding protein-vitamin feed additives to laying quails obtained by cultivating *Rhodospiridium diobovatum* yeast increased egg production by 28.9%, 13.9% and 4.8%, egg production intensity by 20.8%, 10.0% and 3.5%, improved morphological parameters, incubation qualities and nutritional value of quail eggs, as well as the carotenoid content in the yolk by 36.4%, 30.9% and 3.6%, respectively. The best egg production rates were obtained in birds of groups 2 and 3.

**Key words:** yeast, protein, carotenoids, astaxanthin, quail, egg production, eggs, quality

**For citation:** Kasanova N.R. *et al.* The effect of feed additive based on the yeast biomass *Rhodospiridium diobovatum* on egg production of quails. *Agrarian science*. 2026; 405(04): 45–54 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-45-54>

## Введение/Introduction

Полноценное сбалансированное кормление птицы является основой современного промышленного птицеводства. Большое влияние на продуктивность сельскохозяйственной птицы оказывает обеспеченность высококачественным протеиновыми кормами, а также биологически активными добавками, в том числе витаминами, минеральными веществами, пробиотиками, адсорбентами и др. Традиционно в комбикормах для сельскохозяйственной птицы в качестве источника протеина используются дорогостоящие кормовые добавки растительного (семена бобовых, жмыхи, шроты, сухая барда, дробина) и животного происхождения (мясокостная и рыбная мука, сухое молоко). Вместе с тем, с экономической точки зрения наиболее перспективно применение в составе комбикормов микробной биомассы, полученной культивированием дрожжей и бактерий, так как для культивирования микроорганизмов применяются отходы перерабатывающих производств, растительные отходы и прочее сырье с низкой себестоимостью. Помимо высококачественного белка и аминокислот микроорганизмы синтезируют ряд биологически активных веществ (витамины, каротиноиды, ферменты, антибиотики и др.), которые участвуют в разнообразных биохимических процессах, обеспечивают антиоксидантную, антиоксидантную и антистрессовую защиту организма [1–3].

Важную физиологическую роль в организме сельскохозяйственной птицы выполняют каротиноиды — это группа природных органических пигментов, продуцируемых бактериями, высшими растениями, водорослями, коралловыми полипами и некоторыми мицелиальными грибами и дрожжами [4–6]. В настоящее время изучена и определена структура более 1150 групп соединений, синтезируемых более 690 видами организмов [7]. По химической природе каротиноиды относятся к терпеноидам, углеводородные цепочки которых состоят из С5-изопреновых единиц изопентилдифосфата и называются С40-изопреноидами [6, 8]. Эти пигменты сгруппированы в каротины и ксантофиллы. Некоторые каротины по своей химической структуре содержат только углерод и водород (например,  $\beta$ -каротин и торулен); ксантофиллы также содержат кислород (например, астаксантин и кантаксантин) [9].

Окраска каротиноидов обусловлена количеством сопряженных двойных связей. К примеру, алифатические полиены с числом сопряженных двойных связей до 5 не имеют окрашивания. К данной группе каротиноидов относятся фитофлуен и фитоеен, содержащиеся в бананах, яблоках, абрикосах и других фруктах. Такие каротиноиды, как астаксантин и ликопин, имеют по тринадцать и одиннадцать сопряженных двойных связей, что обеспечивает их красный цвет [6, 8].

Животные не способны вырабатывать каротиноиды, но способны усваивать каротиноиды,

поступающие с кормом в организм. Каротиноидные пигменты играют важную роль в защите организма, выполняют функции антиоксидантов, иммуномодуляторов, онкопротекторов и провитаминов, что способствует нормализации физиологического состояния, обменных процессов, репродуктивной функции, улучшают рост и развитие животных и птицы [10].

Каротиноиды благотворно влияют на созревание и активность половых клеток животных, участвуют в поддержании гормонального фона при беременности (входят в состав желтого тела яичника), способствуют нормальному эмбриогенезу, улучшают сохранность поголовья и повышают устойчивость к технологическим стрессам [11].

Большое значение имеют каротиноиды в организме птицы. Желтый окрас желтка яиц обусловлен накоплением каротиноидов [12, 13]. Установлено, что дикие птицы способны накапливать каротиноиды в желтке в 5–10 раз больше, чем птицы, разводимые в промышленных условиях [14–16].

Исследованиями А. Nair (2021) доказано, что использование каротиноидов в рационах кур несушек способствует их переносу в яйцо, что повышает антиоксидантную защиту организма эмбрионов [17]. Включение природных каротиноидов способствует снижению химической нагрузки на ткани организма, что приводит к получению чистой и безопасной продукции птицеводства [18].

Каротиноиды принимают участие в обменных процессах, обладают выраженным иммуномодулирующим действием и поддерживают продуктивное здоровье птиц [19]. Было доказано, что яркая окраска оперения самцов в дикой природе указывает на их здоровье и высокую иммунокомпетентность [20].

В кормлении птицы используют разные виды каротиноидов, в том числе бета-каротин, ликопин, лютеин, астаксантин, кантаксантин и другие. В качестве натуральных источников каротиноидов используют порошок из моркови, перца, тыквы, хлореллы, спирулины, томатов, облепихи, шиповника, брокколи, однако это удорожает рацион. К тому же природные каротиноиды являются нестойкими соединениями. При заготовке и в процессе хранения кормов их содержание и биологическая активность уменьшаются до 30–40%. Поэтому на практике для обогащения рационов каротином в основном используют синтетические препараты, которые лучше используются организмом птиц. Например, по данным Reboul E. (2018) из цельных сырых овощей всасывается в кишечнике примерно 5% каротиноидов, тогда как из мицеллярного раствора — до 50% [21].

Биодоступность каротиноидов зависит также от их структурно-химической и физической формы. Phelan D., Prado-Cabrero A., Nolan J.M. (2018) установлено, что у кур свободный лютеин всасывается намного эффективнее, чем его моно- или диэтиловые эфиры, предварительный гидролиз

этих эфиров повышает всасывание лютеина на 40–60%. То же самое относится к эфирам зеаксантина и капсантина [22]. При этом биодоступность каротиноидов из концентрированных препаратов может сильно варьировать [23], а потребность в них у разных животных является неодинаковой [24].

Значительную долю рынка занимают ведущие мировые компании BASF SE, KeminIndustries, DSM Animal Nutrition, EW Nutrition, VievePharm Animal Nutrition BV и Allied Biotech Corporation, на долю которых приходится более 80% мирового рынка кормовых каротиноидов. Среди российских производителей можно отметить компании «Петрохим», «Эко Ресурс» и «Биокол». Среди кормовых добавок, содержащих астаксантин, используются «Астапет» («ЭкоРесурс»), «Лукантин Розовый» (BASF SE), «Карофилл Розовый» (DSM Nutritional Products), «Эссеншен Пинк» (NHU) и другие [25].

Особый интерес вызывает каротиноид астаксантин как сильный клеточный антиоксидант, который защищает мембраны клеток от разрушения свободными радикалами. Первый органический астаксантин был синтезирован из организма омаров в 1938 году [26]. Данный каротиноид присутствует у большинства водных организмов, а также птиц и растений, имеющих красную окраску. Астаксантин и другие химические производные аста-каротиноиды были обнаружены у ряда видов лишайников в арктической зоне [27].

Каротиноид астаксантин по сравнению с бета-каротином имеет преимущество, два добавочных атома кислорода на каждом шестичленном кольце. Наличие хромофорных групп (сопряженных двойных связей и хиноидных группировок в кольцах) придает астаксантину насыщенный красный цвет. В природе астакаротиноид может находиться не только в свободном виде, но и в форме моно- и диэфира (к примеру, в антарктическом криле составляет 65% в виде диэфира, в водорослях до 70% в виде моноэфира, а в красных дрожжах — 100% в свободной форме) [28].

Биологическая активность каротиноида астаксантина как антиоксиданта в 10 раз выше, чем каротиноида зеаксантина, лютеина, кантаксантина и бета-каротина, и в 100 раз выше альфа-токоферола. Астаксантин способствует устойчивости клеточных мембран, препятствует проникновению через липидный слой веществ, способствующих повышению перекисного окисления липидов в клетках [29], к тому же обеспечивает дополнительную защиту от повреждений, вызываемых свободными радикалами [30, 31].

Установлено, что астаксантин повышает иммунитет, снижает уровень триглицеридов, липопротеинов высокой плотности и гидроперекисей в крови человека [32–34].

В качестве кормовой добавки астаксантин применяют в аквакультуре для пигментации мяса лососевых рыб, а также в целях улучшения качества икры. Экспериментальные данные о применении астаксантина в питании теплокровных животных ограничены. Установлено, что иммуномодулирующие свойства астаксантина проявляет в организме цыплят-бройлеров, однако он не придает окраску мясу и яйцам, так как быстро разрушается в организме.

По данным Б.Р. Остапчук и др. (2019) большой перспективной возможностью является использование кормовых добавок с применением антиоксиданта каротиноида астаксантина для снижения восприимчивости птиц промышленного стада к неблагоприятным факторам окружающей среды, в том числе окислительному стрессу [35].

Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования было изучение влияния кормовой добавки с биомассой дрожжей *Rhodospiridium diobovatum* на яичную продуктивность перепелов, морфологические показатели, химический состав и пищевую ценность полученных яиц.

#### Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент по изучению влияния кормовой добавки на яичную продуктивность перепелов был проведен в виварии Казанского государственного аграрного университета (г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация) в зимний период — с декабря 2025 г. по январь 2026 г.

Объект исследований: перепела-несушки породы Фараон (французской линии) в возрасте 40 суток с живой массой 330–339 г.

Для проведения опыта по методу сбалансированных групп с учетом живой массы и возраста было сформировано 4 группы перепелов по 30 голов в каждой группе.<sup>1</sup>

Перепела всех групп получали полнорационный комбикорм в соответствии с зоотехническими нормами кормления перепелов<sup>2</sup>. Состав комбикорма: пшеница, ячмень, кукуруза, шрот соевый и подсолнечный, соя полножирная экструдированная, мука мясная, масло подсолнечное, мука известняковая, мука ракушечная, сода пищевая, фосфаты, аминокислоты, органические кислоты, ферментный комплекс, витаминно-минеральный премикс.

Первая контрольная группа перепелов получала комбикорм с добавлением 0,5 г дрожжей кормовых (с содержанием 40% сырого протеина) на спиртовой барде (ПТФ «Татспиртпром», Россия) на 1 кг живой массы. Взамен дрожжей перепела 2 группы получали кормовую добавку, полученную путем культивирования каротинсинтезирующих дрожжей *Rhodospiridium diobovatum* и бактерий

<sup>1</sup> Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях ([https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive\\_201063\\_rus.pdf](https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf))

<sup>2</sup> Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное. / Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. М., 2003. 456 с.

*Bacillus subtilis* из расчета 0,4 г/кг, перепела 3 группы — 0,8 г/кг и перепела 4 группы — 1,2 г/кг живой массы. Состав добавки: 78,2% сырого протеина, 1,0% каротиноидов (астаксантин).

Содержание птиц было клеточным, в типовых двухрусных клетках с уклоном в соответствии с зоотехническими нормами.

Продолжительность эксперимента составила 65 суток, из которых 5 суток были подготовительным периодом и 60 суток — учетным периодом.

В течение опыта регулярно проводили наблюдения за физиологическим состоянием и сохранностью птицы, поедаемостью комбикорма, консистенцией помета согласно методике ВНИТИП<sup>3</sup>.

Отбор проб и оценку качества перепелиных яиц проводили одновременно от всех групп в конце учетного периода в соответствии с ГОСТ 31655-2012<sup>4</sup>.

В перепелиных и яйцах и комбикорме определяли содержание сухого вещества<sup>5</sup> (СВ) в сушильном шкафу СМ 50/250 (Россия), сырого протеина — по методу Кьельдаля на приборе ДК-20, UDK 132 (Россия), сырого жира — на приборе Сокслета (Россия), сырой золы<sup>6</sup> — сухим озолением, кальция<sup>7</sup> — объемным методом, фосфора<sup>8</sup> — на спектрофотометре УВ-1280 (Россия); а также на анализаторе NIRS™DS 2500<sup>9</sup> (Дания) в соответствии с рекомендациями производителя с предварительной пробоподготовкой, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) расчётным методом.

Содержание каротиноидов в яичном желтке определяли по ГОСТ Р 54058-2010<sup>10</sup>.

Отбор проб яиц с целью лабораторного контроля их качества и безопасности проводили согласно методическим указаниям по отбору проб пищевой продукции животного и растительного происхождения, кормов, кормовых добавок<sup>11</sup> (2009).

Оценку яичной продуктивности перепелов проводили с начала яйцекладки групповым методом. Яйценоскость определяли путем общего подсчета снесенных яиц подопытных групп за учетный период опыта (60 суток) и делением их на среднее поголовье несушек. Яичную продуктивность оценивали по интенсивности яйцекладки, которая выражается в продуктивности птицы в % за определенный отрезок времени.

Массу яиц определяли путем индивидуально взвешивания на электронных весах Adventurer Pro RV3102 (Китай) с точностью до 0,02 г. По размерам измеряли индекс формы яиц<sup>12</sup> (отношение

большого диаметра к малому с точностью до 0,1 мм) в процентах. Индексы белка и желтка (см. там же) определяли по формуле (отношение высоты белка (желтка) к сумме диаметров деленное на 2). Высоту белка (желтка) (см. там же) измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Единицу ХАУ (см. там же) рассчитывали по формуле: отношение высоты белка, вылитого на ровную поверхность, к массе яйца.

Полученные цифровые данные статистически обработаны с помощью компьютерной программы Microsoft Excel с определением критерия достоверности Стьюдента. Достоверность результата считали при  $p \leq 0,05$ .

Обработку данных провели биометрическими методами, рекомендованными А.Н. Плохинским (Москва, 1970)<sup>13</sup>, используя пакет офисных программ Microsoft Office, Microsoft Excel (США).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

В научной литературе имеются сведения об эффективности применения в качестве кормовой добавки биомассы дрожжей *Rhodotorula spp.*, которые являются одним из основных представителей, используемых при биотехнологическом производстве астаксантина и также относятся к семейству *Cryptococcaceae*, к классу *Tremellomycetes*, который входит в тип базидиомицетов (*Basidiomycota*), как и используемый нами *Rhodospiridium diobovatum*. Сообщалось, что они способны накапливать от 93,9 мкг/г сухой массы до 16,9 г/л [36]. В своем составе дрожжевая биомасса содержит помимо астаксантина, также и другие биологически активные компоненты, например, бета-глюканы, аминокислоты и др. El-Banna A.A. *et al.* (2012) установили, что кормовая добавка с клеточной массой *Rhodotorula* безопасна и нетоксична, ее использование в питании кур-несушек также результативно [37]. Другие исследования с применением каротиносодержащих дрожжей рода *Rhodotorula* показали их положительное влияние на иммунную и антиоксидантную функции лабораторных мышей, а также имеют широкую рыночную перспективу и экономически выгодны при применении в качестве пробиотиков [38]. Например, *Rhodotorula benthamii* выделяет астаксантин, который является источником витамина А и удаляет свободные радикалы из организма эффективнее, чем витамин Е [39, 40]. Он способствует повышению потребления корма,

<sup>3</sup> Егоров, И. А. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы, под общ. ред. В.И. Фисинина. Сергиев Посад: ВНИТИП. 2013. С. 51.

<sup>4</sup> ГОСТ 31655-2012 «Яйца пищевые (индюшковые, цесариные, перепелиные, страусиные). Технические условия

<sup>5</sup> ГОСТ 31469-2012 Пищевые продукты переработки яиц сельскохозяйственной птицы. Методы физико-химического анализа

<sup>6</sup> ГОСТ 32933-2014 Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы

<sup>7</sup> ГОСТ 26570-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция

<sup>8</sup> ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора

<sup>9</sup> <https://foss.su/nirs-ds2500>

<sup>10</sup> ГОСТ Р 54058-2010 – Продукты пищевые функциональные. Метод определения каротиноидов.

<sup>11</sup> <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2069019/>

<sup>12</sup> Птицеводство: учебно-методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям для обучающихся по направлению 36.03.02

Зоотехния / сост. канд. с.-х. наук, доцент В.Ц. Нимаева. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2019. 167 с.

<sup>13</sup> Плохинский, А.Н. Биометрия. 2-е изд. М.: МГУ, 1970. 367 с.

среднесуточного прироста массы тела, коэффициента конверсии корма у поросят-сосунов и ягнят на откорме [41–44] за счет содержания в дрожжевой клетке маннан-олигосахарида, который улучшает морфологию тонкого кишечника за счет увеличения количества бокаловидных клеток и высоты ворсинок подвздошной кишки [45]. В других исследованиях S. Orphanee с соавторами (2022) оценивали эффективность красных дрожжей для связывания микотоксина в организме бройлеров. При добавлении красных дрожжей в рацион установлено повышение прироста массы тела и сохранности цыплят ( $p \leq 0,05$ ) [46].

Результаты исследований показали, что перепела всех групп, имели хороший аппетит, внешне выглядели активными, реагировали на раздражители, внешний вид птиц и поведение соответствовало описанию данной породы; помет птиц всех подопытных групп имел характерную окраску и консистенцию, клинических признаков нарушения пищеварения не установлено.

Потребление корма в сутки и за учетный период опыта у птиц всех подопытных групп было одинаковым. Расход корма на 1 кг яичной массы был наименьшим во 2 группе и составил 1,51 кг, что на 23,0% ниже 1 контрольной (1,96 кг). В 3 группе данный показатель находился на уровне 1,72 кг, а в 4 группе был выше, чем в контроле на 12,2% и составил 2,20 кг.

Яйценоскость является одним из основных факторов физиологического состояния и уровня продуктивности сельскохозяйственной птицы (таблица 1). За весь период учета яйценоскость перепелов имела существенные различия. Если в контрольной группе количество снесенных яиц составило 1290 шт., то во 2 группе оно составило 1663 шт., что выше контрольной группы на 28,9% (373 шт.), в 3 группе — на 13,9% (180 шт.), в 4 группе — на 4,8% (62 шт.).

Включение в состав комбикорма изучаемой добавки повысило яйценоскость на среднюю несушку во 2 группе на 27,9%, в 3 группе — на 13,9%, в 4 группе — на 4,6%. Важным критерием является интенсивность яйценоскости за период опыта. Птицы во 2 группе неслись с интенсивностью 92,4%, что является максимальным показателем. В 1 группе данный показатель составил 71,6%, в 3 группе — 81,6%, в 4 группе — 75,1%. Таким образом, увеличение дозы добавки до 1,2 г/кг живой массы перепелов оказывает отрицательное влияние на яйценоскость перепелов.

Морфологические показатели яиц перепелов подопытных групп представлены в таблице 2.

Исследованиями установлено, что по сравнению с контрольной группой средняя масса снесенного яйца у перепелов 2 группы была больше на 1,34%, 3 группы на 0,14%, а 4 группы — достоверно меньше на 14,1% ( $p \leq 0,001$ ).

Масса белка и желтка яиц перепелов в контрольной группе составила 12,01 г, у перепелов 2 и 3 группы была несколько больше, соответственно,

Таблица 1. Яичная продуктивность перепелов (n = 30)

Table 1. Egg productivity of quails (n = 30)

Показатель	Группа			
	1 контрольная	2 опытная	3 опытная	4 опытная
Количество перепелок-несушек в группе, гол.	30	30	30	30
Сохранность, %	100	100	100	100
Период учета яйценоскости, сут.	60	60	60	60
Валовое производство яиц, шт.	1290	1663	1470	1352
Яйценоскость на среднюю несушку, шт/гол.	43	55	49	45
Интенсивность яйценоскости, %	71,6	92,4	81,6	75,1
Яичная масса, кг	0,61	0,79	0,69	0,54
Расход комбикорма на 1 кг яичной массы, кг	1,96	1,51	1,72	2,20

Таблица 2. Морфологические показатели яиц подопытных перепелов (n = 10)

Table 2. Morphological parameters of experimental quail eggs (n = 10)

Показатель	Группа			
	1 контрольная	2 опытная	3 опытная	4 опытная
Масса яйца, г	14,22 ± 0,14	14,41 ± 0,45	14,20 ± 0,11	12,11 ± 0,38***
Масса белка + желтка, г	12,01 ± 0,13	12,25 ± 0,43	12,20 ± 0,02	10,07 ± 0,34***
Индекс формы яиц, %	69,94 ± 4,73	83,73 ± 9,12	70,58 ± 2,76	75,65 ± 2,99
Индекс белка	0,09 ± 0,01	0,17 ± 0,06	0,13 ± 0,00**	0,14 ± 0,01***
Индекс желтка	0,52 ± 0,07	0,53 ± 0,02	0,80 ± 0,29	0,52 ± 0,03
Единица Хау, %	84,5	86,2	82,9	70,9

Примечание: \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ ; \*\*\* $p \leq 0,001$

на 2,0% и 1,6%, а у перепелов 4 группы — достоверно меньше на 16,2% ( $p \leq 0,001$ ).

Индексы белка и желтка являются показателями качества и свидетельствуют о свежести яиц. Исследованиями установлено, что индекс белка яйца подопытных перепелов варьировал в пределах от 0,09 до 0,17, индекс желтка — от 0,52 до 0,80, что соответствует нормативу. У птицы 2 и 4 группы индекс белка яиц был достоверно выше контрольных показателей на 44,4% ( $p \leq 0,01$ ) и 55,5% ( $p \leq 0,001$ ).

Показателем качества яйца, который отражает свежесть и плотность белка, является единица Хау. Для инкубационных яиц единица Хау должна составлять не ниже 80. В 1 контрольной группе единица Хау была на уровне 84,5%, при добавлении в комбикорм БВКД во 2 группе данный показатель составил — 86,2%; в 3 группе — 82,9%, в 4 группе — 70,9%.

Химический состав перепелиных яиц, полученных от подопытной птицы, представлен в таблице 3.

Максимальное накопление сухого вещества отмечено в яйцах птиц 2 группы 30,20%, что на 1,6%

**Таблица 3. Химический состав перепелиных яиц (n = 12), в сухом веществе**

**Table 3. Chemical composition of quail eggs (n = 12), in dry matter**

Показатель	Группа							
	1 контрольная		2 опытная		3 опытная		4 опытная	
	%	г	%	г	%	г	%	г
Сырой протеин	48,80 ± 0,74	13,90 ± 0,26	48,70 ± 0,15	14,50 ± 0,25	50,17 ± 1,48	14,37 ± 0,47	50,70 ± 0,46***	14,10 ± 0,17
Сырой жир	40,90 ± 0,81	11,63 ± 0,37	43,13 ± 0,50	13,00 ± 0,50	43,80 ± 0,47*	12,57 ± 0,18	43,10 ± 1,16	12,00 ± 0,56
Сырая зола	3,56 ± 0,06	1,02 ± 0,02	3,50 ± 0,44	1,05 ± 0,12	3,53 ± 0,29	1,01 ± 0,08	3,94 ± 0,09	1,09 ± 0,02
Сырые БЭВ	6,83 ± 1,18	1,94 ± 0,32	5,14 ± 0,75	1,55 ± 0,26	3,04 ± 1,52	0,87 ± 0,44	2,34 ± 0,66**	0,64 ± 0,17
Кальций, %	0,80 ± 0,03		0,90 ± 0,20		0,75 ± 0,04		1,33 ± 0,17**	
Фосфор, %	0,13 ± 0,05		0,09 ± 0,03		0,14 ± 0,03		0,08 ± 0,01	

Примечание: \*p ≤ 0,05; \*\*p ≤ 0,01; \*\*\*p ≤ 0,001

больше контроля. В яйцах перепелов 3 и 4 групп этот показатель был на уровне контроля в пределах 27,97–28,77%. Содержание сырого протеина в яйцах перепелов 3 и 4 групп было выше, чем в 1 группе на 1,37% и 1,90% соответственно. Разница между 1 и 4 группой достоверна (p ≤ 0,001). Следует отметить тенденцию к повышению в яйцах несушек, получавших белково-витаминную кормовую добавку, содержания сырого жира в среднем на 2,44%. Содержание БЭВ в яйцах перепелов 2 группы снизилось по сравнению с контролем на 1,69% и составило 5,14 ± 0,75%, а в яйцах несушек 3 и 4 групп составило — 3,04 ± 1,52% и 2,34 ± 0,66% (p ≤ 0,01), соответственно. Наибольшее содержание кальция в сухом веществе 0,90% и 1,33% отмечено в яйцах перепелов 2 и 4 группы, что выше контроля на 0,10%, и 0,53% (p ≤ 0,01). Содержание фосфора в яйцах перепелов во всех опытных группах находилось примерно на одном уровне.

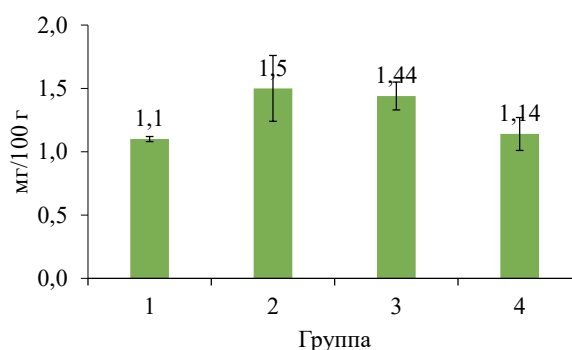
Важным показателем является содержание в яйцах каротиноидов, которые влияют на их биологическую ценность и инкубационные качества. Результаты анализов показали, что содержание каротиноидов в составе желтка яиц подопытной птицы коррелировало с дозами астаксантина (рис. 1). По нашим данным, содержание каротиноидов в яйцах перепелов 2 группы составило 1,50 ± 0,26 мг/100 г, 3 группы — 1,44 ± 0,11 мг/100 г (p ≤ 0,01), 4 группы — 1,14 ± 0,13 мг/100 г, что больше контрольных значений на 36,4%, 30,9% и 3,6% соответственно.

Повышение в составе яиц сырого жира способствовало увеличению их калорийности. Энергетическая питательность яиц перепелов 2 группы составила 186,67 ± 6,17 ккал в 100 г, что является максимальным значением. Менее калорийными оказались яйца птиц 1 и 4 группы — 173,67 ± 3,38 и 172,68 ± 4,91 ккал/100 г.

Таким образом, анализ литературных данных и выполненные исследования свидетельствуют о высокой биологической активности каротиноидов

**Рис. 1. Содержание каротиноидов в перепелиных яйцах в конце учетного периода, мг/100 г (n = 12)**

**Fig. 1. Carotenoid content in quail eggs at the end of the reference period, mg/100 g (n = 12)**



и большом интересе ученых-исследователей. Возникает необходимость, обуславливающая поиск эффективных способов их получения и применения в медицине и ветеринарии [47, 48]. Особенно актуален данный вопрос в регионах с высоко развитым птицеводством, где наиболее предпочтительным видится алиментарный путь их применения в составе различных кормовых концентратов и иных балансирующих добавок для животных [49, 50].

### Выводы/Conclusions

Проведенные исследования показали, что скармливание перепелам-несушкам различных доз кормовой добавки, полученной путем культивирования дрожжей *Rhodospiridium diobovatum*, не оказало отрицательного влияния на поедаемость комбикорма, способствовало повышению яйценоскости на 28,9%, 13,9% и 4,8%, интенсивности яйценоскости на 20,8%, 10,0% и 3,5%, улучшению морфологических показателей, инкубационных качеств и пищевой ценности перепелиных яиц, а также содержанию каротиноидов в желтке на 36,4%, 30,9% и 3,6%. Наилучшие показатели яичной продуктивности были получены у птицы 2 и 3 групп, получавших кормовую добавку из расчета 0,4 г/кг и 0,8 г/кг соответственно.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан (соглашение №2 от 01.12.2025 г).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианова Е.Н. Егоров И.А., Григорьева Е.Н., Шевяков А.Н., Пронин В.В. Люпин в кормлении кур-несушек родительского стада. *Сельскохозяйственная биология*. 2019; 54(2): 326–336. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.326rus>
2. Волкова С.В., Белокурова Е.С., Рубанов Д.А. Дрожжи рода *Rhodotorula* — перспективный источник каротиноидов для кормопроизводства. Пищевая индустрия в современных условиях: тренды и инновации. *Сборник научных статей Международной научно-практической конференции*. Орел: ОрелГАУ. 2023; 2: 298–302. EDN FSTSFx
3. Мифтахутдинов А.В., Дикхтырук И.Н. Влияние антистрессового фармакологического комплекса «СПАО» на эффективность профилактической иммунизации кур против болезни Ньюкасла. *Аграрная наука*. 2020; (3): 13–16. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-13-16>
4. Pagels F., Vasconcelos V., Guedes A.C. Carotenoids from Cyanobacteria: Biotechnological Potential and Optimization Strategies. *Biomolecules*. 2021; 11(5): 735. <https://doi.org/10.3390/biom11050735>
5. Maoka T. Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*. 2020; 74(1): 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
6. Ashokkumar V. et al. Technological advances in the production of carotenoids and their applications — A critical review. *Bioresource Technology*. 2023; 367: 128215. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128215>
7. Foong L.C., Loh C.W.L., Ng H.S., Lan J.C.-W. Recent development in the production strategies of microbial carotenoids. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021; 37(1): 12. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02967-3>
8. Novoveská L., Ross M.E., Stanley M.S., Pradelles R., Wasiolek V., Sassi J.-F. Microalgal Carotenoids: A Review of Production, Current Markets, Regulations, and Future Direction. *Marine Drugs*. 2019; 17(11): 640. <https://doi.org/10.3390/md17110640>
9. Bhosale P., Jogdand V.V., Gadre R.V. Stability of  $\beta$ -carotene in spray dried preparation of *Rhodotorula glutinis* mutant 32. *Journal of Applied Microbiology*. 2003; 95(3): 584–590. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02018.x>
10. Колпакова В.В. и др. Использование экологически безопасного микроорганизма рода *Rhodotorula* для получения кормового каротинсодержащего концентрата. *Юг России: экология, развитие*. 2022; 17(4): 61–78. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-61-78>
11. Shashikala K.B., Hemalatha B.N., Pooja S., Patil S.J. Nutraceutical Antioxidants and Their Influence on Reproduction. Keservani R.K., Patil S.J., Aranha I. (eds.). *Nutraceuticals for the Treatment and Prevention of Sexual Disorders*. Apple Academic Press. 2025; 399–421. <https://doi.org/10.1201/9781003503774-21>
12. Surai P.F., Speake B.K., Sparks N.H.C. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 1. Absorption, Availability and Levels in Plasma and Egg Yolk. *The Journal of Poultry Science*. 2001; 38(1): 1–27. <https://doi.org/10.2141/jpsa.38.1>
13. Surai P.F., Speake B.K., Sparks N.H.C. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 2. Antioxidant Properties and Discrimination in Embryonic Tissues. *The Journal of Poultry Science*. 2001; 38(2): 117–145. <https://doi.org/10.2141/jpsa.38.117>
14. Surai P.F., Bortolotti G.R., Fidgett A.L., Blount J.D., Speake B.K. Effects of piscivory on the fatty acid profiles and antioxidants of avian yolk: studies on eggs of the gannet, skua, pelican and cormorant. *Journal of Zoology*. 2001; 255(3): 305–312. <https://doi.org/10.1017/S0952836901001406>
15. Garamszegi L.Z., Biard C., Eens M., Møller A.P., Saino N., Surai P. Maternal effects and the evolution of brain size in birds: Overlooked developmental constraints. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2007; 31(4): 498–515. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.11.008>
16. Surai P.F. *Natural Antioxidants in Avian Nutrition and Reproduction*. Nottingham: Nottingham University Press. 2002; xvi, 615. ISBN 1-897676-95-6

## FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant provided in 2025 by the Foundation for Science and Technology of the Republic of Tatarstan for the implementation of fundamental and exploratory research in scientific and educational organizations, enterprises and organizations of the real sector of the economy of the Republic of Tatarstan (agreement No. 2 dated 01.12.2025).

## REFERENCES

1. Andrianova E.N. Egorov I.A., Grigoryeva E.N., Shevyakov A.N., Pronin V.V. Lupine is applicable in diets for layer chicken of parental flock. *Agricultural Biology*. 2019; 54(2): 326–336 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.326eng>
2. Volkova S.V., Belokurova E.S., Rubanov D.A. Genus *Rhodotorula* is a promising source of carotenoids for forage production. *The food industry in modern conditions: trends and innovations. Collection of scientific articles of the International scientific and practical conference*. Orel: Orel State Agrarian University. 2023; 2: 298–302 (in Russian). EDN FSTSFx
3. Miftakhutdinov A.V., Dikhtyaruk I.N. The influence of the anti-stress pharmacological complex “SPA0” on the effectiveness of preventive immunization of chickens against Newcastle disease. *Agrarian science*. 2020; (3): 13–16 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-13-16>
4. Pagels F., Vasconcelos V., Guedes A.C. Carotenoids from Cyanobacteria: Biotechnological Potential and Optimization Strategies. *Biomolecules*. 2021; 11(5): 735. <https://doi.org/10.3390/biom11050735>
5. Maoka T. Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*. 2020; 74(1): 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
6. Ashokkumar V. et al. Technological advances in the production of carotenoids and their applications — A critical review. *Bioresource Technology*. 2023; 367: 128215. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128215>
7. Foong L.C., Loh C.W.L., Ng H.S., Lan J.C.-W. Recent development in the production strategies of microbial carotenoids. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021; 37(1): 12. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02967-3>
8. Novoveská L., Ross M.E., Stanley M.S., Pradelles R., Wasiolek V., Sassi J.-F. Microalgal Carotenoids: A Review of Production, Current Markets, Regulations, and Future Direction. *Marine Drugs*. 2019; 17(11): 640. <https://doi.org/10.3390/md17110640>
9. Bhosale P., Jogdand V.V., Gadre R.V. Stability of  $\beta$ -carotene in spray dried preparation of *Rhodotorula glutinis* mutant 32. *Journal of Applied Microbiology*. 2003; 95(3): 584–590. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02018.x>
10. Kolpakova V.V. et al. Use of environmentally safe micromycetes of the genus *Rhodotorula* to obtain fodder carotene-containing concentrate. *South of Russia: ecology, development*. 2022; 17(4): 61–78 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-4-61-78>
11. Shashikala K.B., Hemalatha B.N., Pooja S., Patil S.J. Nutraceutical Antioxidants and Their Influence on Reproduction. Keservani R.K., Patil S.J., Aranha I. (eds.). *Nutraceuticals for the Treatment and Prevention of Sexual Disorders*. Apple Academic Press. 2025; 399–421. <https://doi.org/10.1201/9781003503774-21>
12. Surai P.F., Speake B.K., Sparks N.H.C. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 1. Absorption, Availability and Levels in Plasma and Egg Yolk. *The Journal of Poultry Science*. 2001; 38(1): 1–27. <https://doi.org/10.2141/jpsa.38.1>
13. Surai P.F., Speake B.K., Sparks N.H.C. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 2. Antioxidant Properties and Discrimination in Embryonic Tissues. *The Journal of Poultry Science*. 2001; 38(2): 117–145. <https://doi.org/10.2141/jpsa.38.117>
14. Surai P.F., Bortolotti G.R., Fidgett A.L., Blount J.D., Speake B.K. Effects of piscivory on the fatty acid profiles and antioxidants of avian yolk: studies on eggs of the gannet, skua, pelican and cormorant. *Journal of Zoology*. 2001; 255(3): 305–312. <https://doi.org/10.1017/S0952836901001406>
15. Garamszegi L.Z., Biard C., Eens M., Møller A.P., Saino N., Surai P. Maternal effects and the evolution of brain size in birds: Overlooked developmental constraints. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2007; 31(4): 498–515. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.11.008>
16. Surai P.F. *Natural Antioxidants in Avian Nutrition and Reproduction*. Nottingham: Nottingham University Press. 2002; xvi, 615. ISBN 1-897676-95-6

17. Nair A. *et al.* Astaxanthin as a King of Ketocarotenoids: Structure, Synthesis, Accumulation, Bioavailability and Antioxidant Properties. *Marine Drugs*. 2023; 21(3): 176. <https://doi.org/10.3390/md21030176>
18. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Каротиноиды в практической медицине. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2022; (1): 65–71. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71>
19. Møller A.P. *et al.* Carotenoid-dependent Signals: Indicators of Foraging Efficiency, Immunocompetence or Detoxification Ability?. *Avian and Poultry Biology Reviews*. 2000; 11(3): 137–159.
20. Blount J.D., Metcalfe N.B., Birkhead T.R., Surai P.F. Carotenoid Modulation of Immune Function and Sexual Attractiveness in Zebra Finches. *Science*. 2003; 300(5616): 125–127. <https://doi.org/10.1126/science.1082142>
21. Reboul E. Mechanisms of Carotenoid Intestinal Absorption: Where Do We Stand?. *Nutrients*. 2019; 11(4): 838. <https://doi.org/10.3390/nu11040838>
22. Phelan D., Prado-Cabrero A., Nolan J.M. Analysis of Lutein, Zeaxanthin, and Meso-Zeaxanthin in the Organs of Carotenoid-Supplemented Chickens. *Foods*. 2018; 7(2): 20. <https://doi.org/10.3390/foods7020020>
23. Ren T., Xu M., Lin W., Luo W., Zhang X. Transcriptome sequencing reveals the potential mechanisms of dietary lutein regulation on chicken leg muscle development. *Poultry Science*. 2024; 103(12): 104265. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104265>
24. Liao Y. *et al.* Metabolism, Function, Molecular Mechanism, and Application of Carotenoids in Coloration of Aquatic Animals. *Reviews in Aquaculture*. 2025; 17(2): e70016. <https://doi.org/10.1111/raq.70016>
25. Николаевич Л.Н., Згировская А.А., Борисовец Д.С. Биологические свойства каротиноидов и их применение в рационе питания сельскохозяйственных животных (обзор). *Эпизоотология, иммунология, фармакология, санитария*. 2023; (1): 53–59. EDN NFJGKO
26. Chang J.-H., Chen Y., Holland D., Grabowski J. Estimating spatial distribution of American lobster *Homarus americanus* using habitat variables. *Marine Ecology Progress Series*. 2010; 420: 145–156. <https://doi.org/10.3354/meps08849>
27. Ambati R.R., Phang S.-M., Ravi S., Aswathanarayana R.G. Astaxanthin: Sources, Extraction, Stability, Biological Activities and Its Commercial Applications—A Review. *Marine Drugs*. 2014; 12(1): 128–152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>
28. European Food Safety Authority (EFSA). Opinion of the Scientific Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on the safety of use of colouring agents in animal nutrition — PART I. General Principles and Astaxanthin. *EFSA Journal*. 2005; 3(12): 291. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.291>
29. Rizzardi N. *et al.* Natural Astaxanthin Is a Green Antioxidant Able to Counteract Lipid Peroxidation and Ferroptotic Cell Death. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(23): 15137. <https://doi.org/10.3390/ijms232315137>
30. Edge R., Gaikwad P., Navaratnam S., Rao B.S.M., Truscott G.T. Reduction of oxidized guanosine by dietary carotenoids: A pulse radiolysis study. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2010; 504(1): 100–103. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.07.026>
31. Abdol Wahab N.R., Meor Mohd Affandi M.M.R., Fakurazi S., Alias E., Hassan H. Nanocarrier System: State-of-the-Art in Oral Delivery of Astaxanthin. *Antioxidants*. 2022; 11(9): 1676. <https://doi.org/10.3390/antiox11091676>
32. Ciaraldi T.P., Boeder S.C., Mudaliar S.R., Giovannetti E.R., Henry R.R., Pettus J.H. Astaxanthin, a natural antioxidant, lowers cholesterol and markers of cardiovascular risk in individuals with prediabetes and dyslipidaemia. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 2023; 25(7): 1985–1994. <https://doi.org/10.1111/dom.15070>
33. Eldessouki E.A.A. *et al.* Influence of astaxanthin-enriched *Haematococcus pluvialis* microalgae on the growth efficacy, immune response, antioxidant capacity, proinflammatory cytokines, and tissue histomorphology of hybrid red tilapia. *Aquaculture International*. 2024; 32(6): 7447–7468. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01524-1>
34. Nakagawa K. *et al.* Antioxidant effect of astaxanthin on phospholipid peroxidation in human erythrocytes. *British Journal of Nutrition*. 2011; 105(11): 1563–1571. <https://doi.org/10.1017/S0007114510005398>
17. Nair A. *et al.* Astaxanthin as a King of Ketocarotenoids: Structure, Synthesis, Accumulation, Bioavailability and Antioxidant Properties. *Marine Drugs*. 2023; 21(3): 176. <https://doi.org/10.3390/md21030176>
18. Koldaev V.M., Kropotov A.V. Carotenoids in practical medicine. *Pacific Medical Journal*. 2022; (1): 65–71 (in Russian). <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2022-1-65-71>
19. Møller A.P. *et al.* Carotenoid-dependent Signals: Indicators of Foraging Efficiency, Immunocompetence or Detoxification Ability?. *Avian and Poultry Biology Reviews*. 2000; 11(3): 137–159.
20. Blount J.D., Metcalfe N.B., Birkhead T.R., Surai P.F. Carotenoid Modulation of Immune Function and Sexual Attractiveness in Zebra Finches. *Science*. 2003; 300(5616): 125–127. <https://doi.org/10.1126/science.1082142>
21. Reboul E. Mechanisms of Carotenoid Intestinal Absorption: Where Do We Stand?. *Nutrients*. 2019; 11(4): 838. <https://doi.org/10.3390/nu11040838>
22. Phelan D., Prado-Cabrero A., Nolan J.M. Analysis of Lutein, Zeaxanthin, and Meso-Zeaxanthin in the Organs of Carotenoid-Supplemented Chickens. *Foods*. 2018; 7(2): 20. <https://doi.org/10.3390/foods7020020>
23. Ren T., Xu M., Lin W., Luo W., Zhang X. Transcriptome sequencing reveals the potential mechanisms of dietary lutein regulation on chicken leg muscle development. *Poultry Science*. 2024; 103(12): 104265. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104265>
24. Liao Y. *et al.* Metabolism, Function, Molecular Mechanism, and Application of Carotenoids in Coloration of Aquatic Animals. *Reviews in Aquaculture*. 2025; 17(2): e70016. <https://doi.org/10.1111/raq.70016>
25. Nikolaevich L.N., Zgirovskaya A.A., Borisovets D.S. Biological properties of carotenoids and their application in the diet of farm animals (review). *Epizootology, Immunobiology, Pharmacology, Sanitation*. 2023; (1): 53–59 (in Russian). EDN NFJGKO
26. Chang J.-H., Chen Y., Holland D., Grabowski J. Estimating spatial distribution of American lobster *Homarus americanus* using habitat variables. *Marine Ecology Progress Series*. 2010; 420: 145–156. <https://doi.org/10.3354/meps08849>
27. Ambati R.R., Phang S.-M., Ravi S., Aswathanarayana R.G. Astaxanthin: Sources, Extraction, Stability, Biological Activities and Its Commercial Applications—A Review. *Marine Drugs*. 2014; 12(1): 128–152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>
28. European Food Safety Authority (EFSA). Opinion of the Scientific Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on the safety of use of colouring agents in animal nutrition — PART I. General Principles and Astaxanthin. *EFSA Journal*. 2005; 3(12): 291. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.291>
29. Rizzardi N. *et al.* Natural Astaxanthin Is a Green Antioxidant Able to Counteract Lipid Peroxidation and Ferroptotic Cell Death. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(23): 15137. <https://doi.org/10.3390/ijms232315137>
30. Edge R., Gaikwad P., Navaratnam S., Rao B.S.M., Truscott G.T. Reduction of oxidized guanosine by dietary carotenoids: A pulse radiolysis study. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2010; 504(1): 100–103. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.07.026>
31. Abdol Wahab N.R., Meor Mohd Affandi M.M.R., Fakurazi S., Alias E., Hassan H. Nanocarrier System: State-of-the-Art in Oral Delivery of Astaxanthin. *Antioxidants*. 2022; 11(9): 1676. <https://doi.org/10.3390/antiox11091676>
32. Ciaraldi T.P., Boeder S.C., Mudaliar S.R., Giovannetti E.R., Henry R.R., Pettus J.H. Astaxanthin, a natural antioxidant, lowers cholesterol and markers of cardiovascular risk in individuals with prediabetes and dyslipidaemia. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 2023; 25(7): 1985–1994. <https://doi.org/10.1111/dom.15070>
33. Eldessouki E.A.A. *et al.* Influence of astaxanthin-enriched *Haematococcus pluvialis* microalgae on the growth efficacy, immune response, antioxidant capacity, proinflammatory cytokines, and tissue histomorphology of hybrid red tilapia. *Aquaculture International*. 2024; 32(6): 7447–7468. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01524-1>
34. Nakagawa K. *et al.* Antioxidant effect of astaxanthin on phospholipid peroxidation in human erythrocytes. *British Journal of Nutrition*. 2011; 105(11): 1563–1571. <https://doi.org/10.1017/S0007114510005398>

35. Остапчук П.С., Зубоченко Д.В., Кувейда Т.А. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019; 20(2): 103–117. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>
36. Довыденкова М.В., Колодина Е.Н., Никанова Д.А., Логвинова Т.И., Артемьева О.А. Эффективность использования каротинсинтезирующих дрожжей *Rhodotorula* spp. в кормлении сельскохозяйственных животных. *Животноводство и кормопроизводство*. 2024; 107(2): 149–169. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-149>
37. El-Banna A., El-Razek A., El-Mahdy A. Some Factors Affecting the Production of Carotenoids by *Rhodotorula glutinis* var. *Glutinis*. *Food and Nutrition Sciences*. 2012; 3(1): 64–71. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.31011>
38. Ge Y., Huang K., Xie W., Xu C., Yao Q., Liu Y. Effects of *Rhodotorula mucilaginosa* on the Immune Function and Gut Microbiota of Mice. *Frontiers in Fungal Biology*. 2021; 2: 705696. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.705696>
39. Elwan H.A.M., Elnesr S.S., Abdallah Y., Hamdy A., El-Bogdady A.H. Red yeast (*Phaffia rhodozyma*) as a source of Astaxanthin and its impacts on productive performance and physiological responses of poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2019; 75(2): 273–284. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000187>
40. Wang L., Xie J., Wu W., Li B., Ou J. Excellent microbial cultivation for astaxanthin production and its extraction by *Rhodotorula benthica*. *Med. Res.* 2018; 2(4): 180015. <https://doi.org/10.21127/yaoyimr20180015>
41. Dávila-Ramírez J.L. et al. Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth performance, blood metabolites, carcass traits, quality, and sensorial traits of meat from pigs under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 267: 114573. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2020.114573>
42. Haddad S.G., Goussous S.N. Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 2005; 118(3–4): 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2004.10.003>
43. Lei Y., Kim I.H. Effect of *Phaffia rhodozyma* on performance, nutrient digestibility, blood characteristics, and meat quality in finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(1): 171–176. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6749>
44. Song B. et al. Dietary Supplementation of Yeast Culture Into Pelleted Total Mixed Rations Improves the Growth Performance of Fattening Lambs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 657816. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.657816>
45. Ayiku S., Shen J.-f., Tan B.-p., Dong X.-h., Liu H.-y. Effects of dietary yeast culture on shrimp growth, immune response, intestinal health and disease resistance against *Vibrio harveyi*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 102: 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.04.036>
46. Srinual O. et al. Can Red Yeast (*Sporidiobolus pararoseus*) Be Used as a Novel Feed Additive for Mycotoxin Binders in Broiler Chickens?. *Toxins*. 2022; 14(10): 678. <https://doi.org/10.3390/toxins14100678>
47. Ядеретс В.В., Карпова Н.В., Глаголева Е.В., Петрова К.С., Шибяева А.С., Джавахия В.В. Каротиноиды: обзор основных биотехнологических способов и условий получения. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024; 14(1): 41–54. <https://doi.org/10.21285/achb.905>
48. Ozdemirov A.A., Krupin E.O. Регионально ориентированные стратегии повышения эффективности мясного и молочного животноводства в России: опыт Дагестана и Татарстана (2011–2022 гг.). *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025; 15(3): 37–52. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-35-50>
49. Krupin E.O., Shakirov S.K., Tagirov M.Sh. О некоторых результатах использования нового кормового концентрата в рационах дойных коров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2017; (6): 22–25. EDN ZSIEQN
50. Теребова С.В., Никулин Ю.П., Никулина О.А., Черепанова Е.К. Использование кормовой добавки «Левибю» при выращивании молодяка овец. *Аграрная наука*. 2025; (7): 62–70. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-62-70>
35. Ostopchuk P.S., Zubochenko D.V., Kuevda T.A. The role of antioxidants and their use in animal breeding and poultry farming (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(2): 103–117 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>
36. Dovydenkova M.V., Kolodina E.N., Nikanova D.A., Logvinova T.I., Artemieva O.A. The effectiveness of using carotene-synthesizing yeast *Rhodotorula* spp. in feeding farm animals (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(2): 149–169 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-149>
37. El-Banna A., El-Razek A., El-Mahdy A. Some Factors Affecting the Production of Carotenoids by *Rhodotorula glutinis* var. *Glutinis*. *Food and Nutrition Sciences*. 2012; 3(1): 64–71. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.31011>
38. Ge Y., Huang K., Xie W., Xu C., Yao Q., Liu Y. Effects of *Rhodotorula mucilaginosa* on the Immune Function and Gut Microbiota of Mice. *Frontiers in Fungal Biology*. 2021; 2: 705696. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.705696>
39. Elwan H.A.M., Elnesr S.S., Abdallah Y., Hamdy A., El-Bogdady A.H. Red yeast (*Phaffia rhodozyma*) as a source of Astaxanthin and its impacts on productive performance and physiological responses of poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2019; 75(2): 273–284. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000187>
40. Wang L., Xie J., Wu W., Li B., Ou J. Excellent microbial cultivation for astaxanthin production and its extraction by *Rhodotorula benthica*. *Med. Res.* 2018; 2(4): 180015. <https://doi.org/10.21127/yaoyimr20180015>
41. Dávila-Ramírez J.L. et al. Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth performance, blood metabolites, carcass traits, quality, and sensorial traits of meat from pigs under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 267: 114573. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2020.114573>
42. Haddad S.G., Goussous S.N. Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*. 2005; 118(3–4): 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2004.10.003>
43. Lei Y., Kim I.H. Effect of *Phaffia rhodozyma* on performance, nutrient digestibility, blood characteristics, and meat quality in finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(1): 171–176. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6749>
44. Song B. et al. Dietary Supplementation of Yeast Culture Into Pelleted Total Mixed Rations Improves the Growth Performance of Fattening Lambs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 657816. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.657816>
45. Ayiku S., Shen J.-f., Tan B.-p., Dong X.-h., Liu H.-y. Effects of dietary yeast culture on shrimp growth, immune response, intestinal health and disease resistance against *Vibrio harveyi*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020; 102: 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.04.036>
46. Srinual O. et al. Can Red Yeast (*Sporidiobolus pararoseus*) Be Used as a Novel Feed Additive for Mycotoxin Binders in Broiler Chickens?. *Toxins*. 2022; 14(10): 678. <https://doi.org/10.3390/toxins14100678>
47. Yaderets V.V., Karpova N.V., Glagoleva E.V., Petrova K.S., Shibaeva A.S., Dzhavakhiya V.V. Carotenoids: Overview of the main methods and conditions of their preparation. Proceedings of Universities. *Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024; 14(1): 41–54 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/achb.905>
48. Ozdemirov A.A., Krupin E.O. Comparative Analysis of Livestock Production Indicators in the Republic of Dagestan and the Republic of Tatarstan (2011–2022). *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025; 15(3): 37–52 (in Russian). <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-35-50>
49. Krupin E.O., Shakirov S.K., Tagirov M.Sh. Some results of the use of a new fodder concentrate in feeding of dairy cows. *Dairy and beef cattle farming*. 2017; (6): 22–25 (in Russian). EDN ZSIEQN
50. Terebova S.V., Nikulin Yu.P., Nikulina O.A., Cherepanova E.K. Use of the feed additive “Levibio” in growing young sheep. *Agrarian science*. 2025; (7): 62–70 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-62-70>

## ОБ АВТОРАХ

**Надия Радиковна Касанова<sup>1</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии, генетики, общей и биологической химии  
 nadia-kasanova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3679-9155>

**Мунира Кабировна Гайнуллина<sup>1</sup>**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции  
 gainullinamun@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3539-4065>

**Дмитрий Богданович Просвирников<sup>2</sup>**

доктор технических наук, профессор кафедры химической кибернетики  
 prosvirnikov\_dmi@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6736-8788>

**Денис Владимирович Тунцев<sup>2</sup>**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической кибернетики, ведущий научный сотрудник  
 tuncev\_d@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

**Евгений Олегович Крупин<sup>3</sup>**

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных  
 evgeny.krupin@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

**Алмаз Шамилевич Саляхов<sup>1</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельхозпродукции  
 almaz61sh@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6054-5764>

**Олег Алексеевич Якимов<sup>1</sup>**

доктор биологических наук, профессор кафедры технологии производства и переработки сельхозпродукции  
 nikita.korolev.1984@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8040-6750>

**Екатерина Евгеньевна Головкова<sup>1</sup>**

студент  
 kate.miller.26@bk.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-5608-576X>

<sup>1</sup> Казанский государственный аграрный университет», ул. Карла Маркса, 65, Казань, 420015, Россия

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д. 68, Казань, 420015, Россия

<sup>3</sup> Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, д. 48, Казань, 420059, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Nadiya Radikovna Kasanova<sup>1</sup>**

Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry  
 nadia-kasanova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3679-9155>

**Munira Kabirovna Gainullina<sup>1</sup>**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural Products  
 gainullinamun@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3539-4065>

**Dmitry Bogdanovich Prosvirnikov<sup>2</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Cybernetics  
 prosvirnikov\_dmi@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6736-8788>

**Denis Vladimirovich Tuntsev<sup>2</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemical Cybernetics, Leading Researcher  
 tuncev\_d@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

**Evgeny Olegovich Krupin<sup>3</sup>**

Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher of the Department of Physiology, Biochemistry, Genetics and Animal Nutrition  
 evgeny.krupin@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

**Almaz Shamilevich Salakhov<sup>1</sup>**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural Products  
 almaz61sh@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6054-5764>

**Oleg Alekseevich Yakimov<sup>1</sup>**

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of agricultural Products  
 nikita.korolev.1984@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8040-6750>

**Ekaterina Evgenievna Golovkova<sup>1</sup>**

student  
 kate.miller.26@bk.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-5608-576X>

<sup>1</sup> Kazan State Agrarian University, 65 Karl Marx st., Kazan, 420015, Russia

<sup>2</sup> Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx st., Kazan, 420015, Russia

<sup>3</sup> Tatar Research Institute of Agriculture is a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", 48 Orenburgsky Trakt, Kazan, 420059, Russia