



Научная статья

УДК 591.144

DOI: 10.37482/2687-1491-Z276

Развитие тимуса в ходе раннего постнатального периода у цыплят при введении в рацион антибиотика и пробиотика

Антон Алексеевич Болгов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-8181>

Лилия Викторовна Корокина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4115-1564>

Ксения Александровна Бочарова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5540-924X>

Ульяна Александровна Круть* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Марина Сергеевна Потапова* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Галина Михайловна Шайдорова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Андрей Андреевич Присный* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(Белгород, Россия)

Аннотация. Проблема поиска альтернатив антимикробным препаратам в птицеводстве напрямую связана с обеспечением биобезопасности и качества пищевой продукции для человека. **Цель** работы – дать комплексную характеристику развития тимуса у цыплят яичного кросса в ранний постнатальный период и оценить влияние на этот процесс пробиотика и антибиотика. **Материалы и методы.** Исследование проведено на поголовье ($N = 100$) цыплят-петушков кросса Хайсекс Браун с 1-х по 20-е сутки жизни при 4 рационах питания: стандартном (контроль), с добавлением пробиотика, антибиотика (энрофлоксацин) и их комбинации. Тимус цыплят изучался методами макроскопической морфометрии и световой микроскопии. **Результаты.** Исследование выявило значимое увеличение массы тимуса во всех опытных группах по сравнению с контрольной. В тимусе цыплят, получавших пробиотический микроорганизм, к 20-м суткам наблюдалось усложнение гистоархитектоники с четким разграничением зон, появлением телец Гассалья и развитой васкуляризацией мозгового вещества, а также значимое увеличение относительной площади мозговой зоны (до 43,40 %). Группа, получавшая энрофлоксацин, демонстрировала менее выраженные изменения: относительная площадь мозговой зоны на 20-й день составила 40,76 %, что практически не отличалось от контрольной группы (40,73 %). Относительная площадь мозговой зоны в группе, получавшей энрофлоксацин и пробиотик, к 20-м суткам значимо увеличилась до 46,5 %. Динамика относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного кросса демонстрирует сильную зависимость развития этого органа от рациона питания. Стабильное, но низкое развитие мозговой зоны при преобладании корковой зоны в контрольной группе может указывать на недостаточную стимуляцию иммунной

© Болгов А.А., Корокина Л.В., Бочарова К.А., Круть У.А., Потапова М.С., Шайдорова Г.М., Присный А.А., 2026

Ответственный за переписку: Ульяна Александровна Круть, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85а;
e-mail: krut@bsuedu.ru

функции в условиях стандартного рациона. Значительное увеличение относительной площади мозговой зоны и снижение площади корковой зоны в группах, получавших пробиотический микроорганизм, подчеркивают положительное влияние рационов с пробиотиками на развитие тимуса, что может способствовать улучшению функциональной активности данного органа и иммунного ответа организма.

Ключевые слова: тимус, цыплята яичного кросса, ранний постнатальный онтогенез, возрастная динамика морфометрических показателей, возрастная динамика гистологической структуры, стимуляция иммунного ответа

Финансирование. Исследование проведено в рамках государственного задания FZWG-2023-0007 «Адаптивные реакции микроорганизмов: теоретические и прикладные аспекты».

Для цитирования: Развитие тимуса в ходе раннего постнатального периода у цыплят при введении в рацион антибиотика и пробиотика / А. А. Болгов, Л. В. Корокина, К. А. Бочарова, У. А. Круть, М. С. Потапова, Г. М. Шайдорова, А. А. Присный // Журнал медико-биологических исследований. – 2026. – Т. 14, № 1. – С. 52-60. – DOI 10.37482/2687-1491-Z276.

Original article

Thymus Development in the Early Postnatal Period in Chicks When an Antibiotic and a Probiotic Are Introduced into the Diet

Anton A. Bolgov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-8181>

Liliya V. Korokina* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4115-1564>

Ksenia A. Bocharova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5540-924X>

Ulyana A. Krut* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>

Marina S. Potapova* ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>

Galina M. Shaidorova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>

Andrey A. Prisnyi* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>

*Belgorod State National Research University
(Belgorod, Russia)

Abstract. Finding alternatives to antimicrobials in poultry farming is crucial to ensuring biosafety and food quality for humans. The **purpose** of this article was to provide a comprehensive description of thymus development in chicks of a hybrid egg-laying breed in the early postnatal period and to evaluate the effect of probiotics and antibiotics on this process. **Materials and methods.** The research focused on Hisex Brown cockerels ($n = 100$) from day 1 to day 20 of life fed on 4 different diets: standard diet (control), diet with a probiotic, diet with an antibiotic (enrofloxacin) and diet with their combination. Chicks' thymus was studied using macroscopic morphometry and light microscopy. **Results.** The research demonstrated a significant increase in thymus weight in all the experimental groups compared to the control. In animals treated with a probiotic microorganism, by day 20 the histoarchitectonics in the thymus had become more complicated, with a clear delineation of the regions,

Corresponding author: Ulyana Krut, address: ul. Pobedy 85a, Belgorod, 308015, Russia; e-mail: krut@bsuedu.ru

formation of Hassal's corpuscles, and developed vascularization of the medulla as well as a significant increase in the relative area of the medulla (up to 43.40 %). The group that was given enrofloxacin showed less pronounced changes: the relative area of the medulla on day 20 was 40.76 %, which was virtually the same as in the control group (40.73 %). In the group that received enrofloxacin and a probiotic, by day 20 the relative area of the medulla had increased statistically significantly and reached 46.5 %. The dynamics of the relative areas of the cortex and medulla in the thymus of Hisex Brown chicks demonstrates a strong influence of the diet on the development of this organ. In the control group, we observed a stable but low development of the medulla, with the predominance of the cortex, which may indicate insufficient stimulation of the immune function on a standard diet. The groups that received a probiotic microorganism demonstrated a significant increase in the relative area of the medulla and a decrease in the area of the cortex. This emphasizes the positive effect of the diets with probiotics on the development of the thymus, which may improve the functional activity of this organ and the body's immune response.

Keywords: *thymus, egg-laying hybrid chickens, early postnatal ontogenesis, age-specific morphometry dynamics, age-specific histological structure dynamics, immune response stimulation*

Funding. The research was funded within the framework of the state assignment FZWG-2023-0007 "Adaptive Responses of Microorganisms: Theoretical and Applied Aspects".

For citation: Bolgov A.A., Korokina L.V., Bocharova K.A., Krut U.A., Potapova M.S., Shaidorova G.M., Prisnyi A.A. Thymus Development in the Early Postnatal Period in Chicks When an Antibiotic and a Probiotic Are Introduced into the Diet. *Journal of Medical and Biological Research*, 2026, vol. 14, no. 1, pp. 52–60. DOI: 10.37482/2687-1491-Z276

Исследование закономерностей постнатального развития центральных органов иммунной системы, к которым относится тимус, является фундаментальной проблемой физиологии человека и животных [1–5]. Тимус как первичный лимфоидный орган обеспечивает дифференцировку, селекцию и клональную экспансию Т-лимфоцитов, тем самым закладывая основу для формирования адекватного иммунного ответа на протяжении всей жизни организма [3, 4]. Ранний постнатальный период онтогенеза характеризуется наиболее интенсивными процессами морфофункциональной перестройки тимуса, что делает его критически важным для изучения механизмов становления иммунной компетентности.

Особый интерес представляет сравнительно-физиологический аспект изучения тимуса у сельскохозяйственной птицы. Несмотря на филогенетические различия, основные принципы организации и функционирования Т-клеточного компартмента у млекопитающих и птиц носят консервативный характер [5]. Это позволяет использовать модель цыпленка не только для решения прикладных задач птицеводства,

но и как ценную биологическую модель для понимания общих физиологических закономерностей лимфопоэза.

В контексте физиологии ключевое значение имеет оценка динамики абсолютной и относительной массы тимуса, а также гистологическое исследование соотношения в нем коркового и мозгового вещества, появления структурных элементов (таких как тельца Гассала), что служит индикатором функциональной зрелости указанного органа [2, 4]. Подобные исследования создают необходимую базу для последующего изучения клеточного состава тимуса, профиля цитокинов и функциональной активности тимоцитов.

Таким образом, комплексное морфометрическое и гистологическое исследование возрастной динамики тимуса в раннем постнатальном онтогенезе у цыплят представляется актуальной задачей, выполнение которой важно для общеприкладного понимания процессов становления иммунной системы.

Цель настоящей работы – комплексное описание возрастной динамики морфометрических показателей и гистологической структуры тимуса у цыплят яичного кросса в раннем

постнатальном онтогенезе (с 1-х по 20-е сутки) при использовании антибиотика и пробиотика.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на базе вивария Белгородского филиала Федерального научного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук. Все процедуры соответствовали требованиям Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях. В качестве объекта исследования использовались суточные цыплята-петушки яичного кросса Хайсекс Браун в общем количестве 100 голов.

Все цыплята были разделены на группы, и для каждой была подобрана схема рациона питания:

1-я группа (контроль; $n = 25$): стандартный рацион (зерно, комбикорм, вода);

2-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание пробиотиком (штамм бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В3701D) в дозировке 0,05 мл суспензии на 1 кг массы тела животного (в 1 мл суспензии 10^9 КОЕ) с 1-х по 20-е сутки;

3-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание энрофлоксацином в дозе 200 мг/л первые 5 сут.;

4-я группа ($n = 25$): стандартный рацион + выпаивание первые 5 сут. энрофлоксацином, с 6-х по 20-е сутки – пробиотиком (штамм бактерии *Bacillus subtilis* ВКМ В3701D, 0,05 мл суспензии на 1 кг массы тела животного).

Забой цыплят производился на 1-е, 5-е, 10-е и 20-е сутки для изучения гистологических и морфометрических показателей тимуса, в этот же временной интервал измерялась масса тела животных и масса указанного органа.

Извлеченные органы после макроскопического исследования и взвешивания фиксировались в 10 %-м растворе забуференного нейтрального формалина для дальнейшего гистологического анализа. Проводка образцов выполнялась с использованием батареи из этилового спирта и хлороформа с последующей

парафинизацией при помощи аппарата для гистологической обработки биологических тканей TLP-144 (MT Point Technology, Россия). Заливка блоков со стандартной ориентацией кусочков проводилась на станции для заливки биологического материала ESD-2800-M (MT Point Technology, Россия). Срезы толщиной 5 мкм изготавливались на полуавтоматическом ротационном микротоме с системой транспортировки и расправления срезов RMD-3000 (MT Point Technology, Россия). Окраска осуществлялась гематоксилином и эозином (Labiko, Россия).

Основная часть морфологического исследования выполнена после создания электронной галереи изображений с помощью полуавтоматического сканера микропрепарата Mirax Desk (Carl Zeiss Microimaging GmbH, Германия), что позволило максимально стандартизовать режимы морфометрического исследования. Увеличение сканирующего объектива составило $\times 20$. Цифровое увеличение на микрофотографиях и изображениях при анализе варьировало от $\times 20$ (при отсутствии программного увеличения) до $\times 800$ (при 40-кратном программном увеличении). На полученных срезах измерялось соотношение коркового и мозгового вещества. Измерения проводились с помощью сетки Автандилова.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программы SPSS Statistics 17.0. Нормальность распределения количественных признаков в группах проверялась с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для сравнения показателей между группами применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост-хок тестом Тьюки для данных, имеющих нормальное распределение и равные дисперсии. В случае отклонения от нормальности распределения использовался непараметрический критерий Краскела–Уоллиса с последующим попарным сравнением по критерию Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. На 1-е сутки, до начала применения исследуемых добавок, достоверных различий в абсолютной и относительной массе тимуса, а также в массе тела цыплят между группами не наблюдалось ($p > 0,05$), что подтверждает исходную однородность сформированных групп. В ходе эксперимента была установлена четкая возрастная динамика роста тимуса у цыплят всех опытных групп (см. таблицу).

Абсолютная масса органа прогрессивно увеличивалась на протяжении всего изучаемого периода: с $0,23 \pm 0,03$ г на 1-е сутки до $3,76$ – $4,06$ г на 20-е сутки. При этом относительная масса тимуса, достигнув максимума к 5–10-м суткам ($1,41$ – $1,92$ и $2,25$ – $2,68$ % соответственно), к 20-м суткам демонстрировала тенденцию к снижению до значений $2,18$ – $2,43$ %, что отражает общие закономерности постнатального развития лимфоидных органов и опережающий рост

тела по сравнению с тимусом в более поздние периоды онтогенеза [6–8].

Статистический анализ динамики массы тимуса у цыплят яичного кросса с учетом различных рационов питания показывает, что введение пробиотического микроорганизма (2-я группа) и его комбинация с энрофлоксацином (4-я группа) привели к достоверному увеличению массы тимуса по сравнению с контрольной группой. На 20-й день абсолютная масса тимуса во 2-й группе составила $4,02$ г, что на $0,26$ г (или $6,9$ %) больше, чем в контрольной ($3,76$ г; $p < 0,01$). Четвертая группа показала аналогичный результат с массой тимуса $4,01$ г, что также на $0,25$ г (или $6,6$ %) выше, чем в контрольной группе.

В 3-й группе, где в рацион вводился только энрофлоксацин, на 20-е сутки масса тимуса составила $4,06$ г, т. е. на $0,30$ г (или 8 %) больше, чем в контрольной, что также может сви-

Возрастная (1–20-е сутки) динамика массы тела и тимуса у цыплят яичного кросса в зависимости от рациона питания ($M \pm m$)

Age-specific (days 1–20) dynamics of body and thymus weight in chicks of a hybrid egg-laying breed depending on the diet ($M \pm m$)

Сутки	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
<i>Масса тела ($M \pm m$), г</i>				
1-е	$38,80 \pm 0,07$	$38,50 \pm 0,82$	$38,20 \pm 0,90$	$38,60 \pm 1,00$
5-е	$53,03 \pm 1,26$	$48,99 \pm 0,85^{**}$	$51,80 \pm 1,74$	$46,12 \pm 2,08^{***}$
10-е	$67,33 \pm 2,11$	$80,44 \pm 2,84^{***}$	$81,58 \pm 3,83^{***}$	$79,26 \pm 2,55^{**}$
20-е	$155,24 \pm 8,39$	$183,74 \pm 5,17^{***}$	$180,82 \pm 4,75^{***}$	$165,16 \pm 5,80$
<i>Абсолютная масса тимуса ($M \pm m$), г</i>				
1-е	$0,22 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$
5-е	$0,75 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,04^{***}$	$0,89 \pm 0,03$
10-е	$1,81 \pm 0,02$	$1,85 \pm 0,03^*$	$1,84 \pm 0,03$	$1,81 \pm 0,04$
20-е	$3,76 \pm 0,09$	$4,02 \pm 0,12^{**}$	$4,06 \pm 0,12^{**}$	$4,01 \pm 0,06^{**}$
<i>Относительная масса тимуса, %</i>				
1-е	0,59	0,62	0,60	0,58
5-е	1,41	1,79	1,89	1,92
10-е	2,68	2,30	2,25	2,28
20-е	2,42	2,18	2,24	2,43

Примечание. Анализировались по 6 животных каждой группы на каждом этапе исследования; *, **, *** – установлена статистическая значимость отличий от группы контроля (1-я группа) в том же возрасте при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ соответственно.

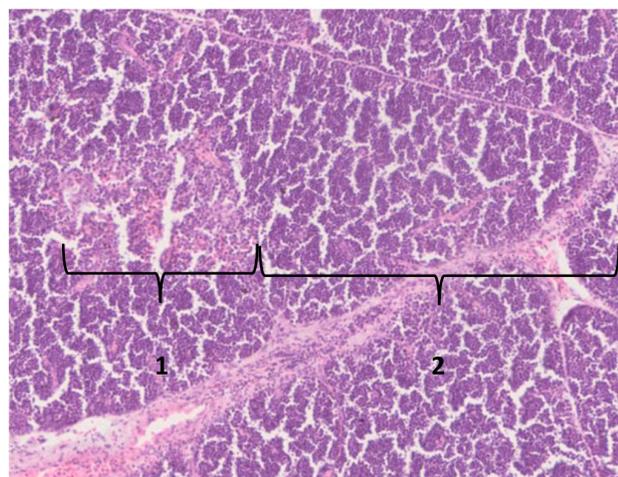
детельствовать о влиянии антибиотика на развитие иммунных органов.

При обзорной микроскопии у цыплят яичного кросса выявлены две зоны вещества тимуса – корковая и мозговая (рис. 1). Корковое вещество представлено плотными полями гиперхромных лимфоцитов с одиночными просветлениями в виде дендритных клеток. Мозговое вещество – более светлая зона, заполненная макрофагами, эпителиоидными клетками и значительно меньшим количеством лимфоцитов. Также в мозговом веществе визуализируются большое количество тонкостенных кровеносных сосудов и тельца Гассалья (тимические тельца) – концентрические эпителиоидные гнездовые структуры.

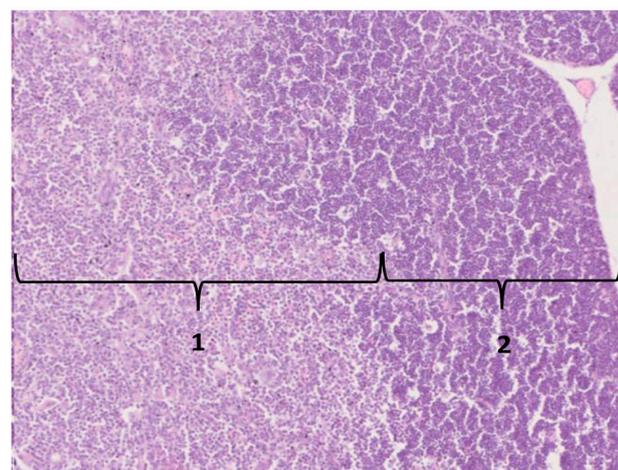
Следует отметить, что у животных, выведенных из эксперимента в более ранние сроки, отмечалось более выраженное преобладание коркового вещества над мозговым. Тельца Гассалья определялись только у животных, выведенных из эксперимента на 20-е сутки (рис. 2).

Анализ динамики относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного

кросса в ходе эксперимента демонстрирует значительные различия между группами (рис. 3). Во 2-й группе, которая получала пробиотический микроорганизм, к 20-м суткам происходило услож-



a



б

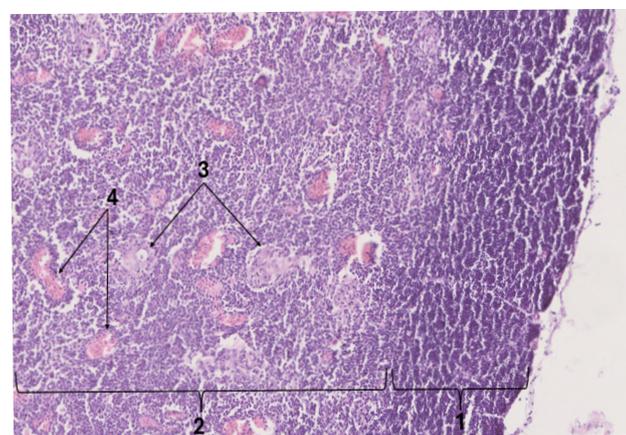


Рис. 1. Морфологическая картина тимуса цыплят яичного кросса (1-я группа) на 20-е сутки: 1 – корковое вещество; 2 – мозговое вещество; 3 – тельца Гассалья; 4 – кровеносные сосуды мозгового вещества. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$

Fig. 1. Thymus morphology in chicks of a hybrid egg-laying breed (group 1) on day 20: 1 – cortex; 2 – medulla; 3 – Hassall's corpuscles; 4 – blood vessels of the medulla. Haematoxylin and eosin stain, $\times 100$ magnification

Рис. 2. Сравнение морфологической картины тимуса цыплят яичного кросса (1-я группа) на 5-е (*a*) и 20-е (*б*) сутки: значительное преобладание коркового вещества (2) над мозговым (1) в более ранней стадии онтогенеза и равные соотношения в более поздней. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 100$

Fig. 2. Thymus morphology in chicks of a hybrid egg-laying breed (group 1) on day 5 (*a*) and 20 (*б*) compared: significant predominance of the cortex (2) over the medulla (1) at an earlier stage of ontogenesis and their equal proportions at a later stage. Haematoxylin and eosin stain, $\times 100$ magnification

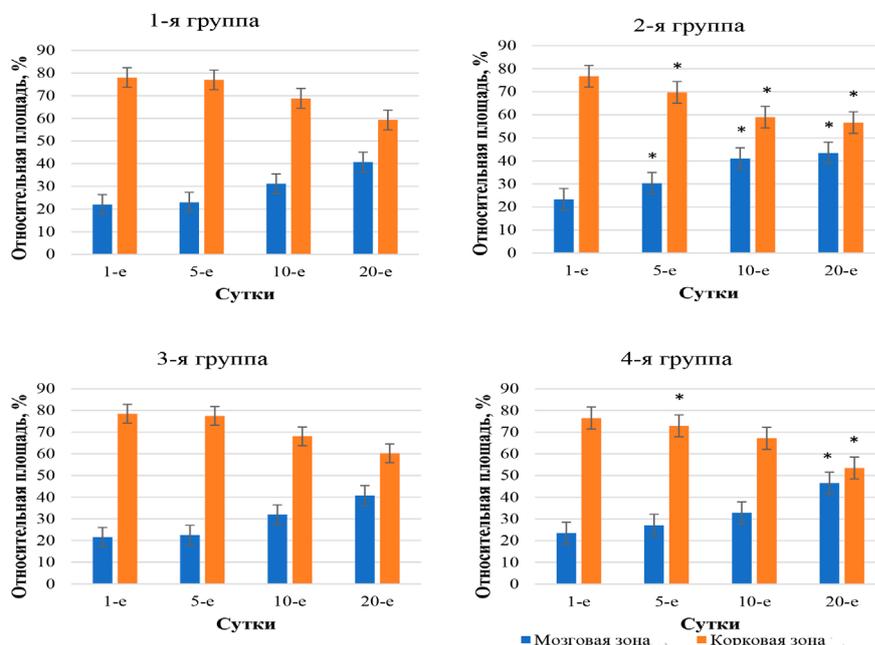


Рис. 3. Возрастная (1–20-е сутки) динамика относительной площади зон тимуса ($n = 6$) у цыплят яичного кросса в зависимости от рациона питания ($M \pm m$): * – установлена статистическая значимость отличий от контроля (1-я группа) при $p < 0,05$

Fig. 3. Age-specific (days 1–20) dynamics of the relative area of the thymus regions ($n = 6$) in chicks of a hybrid egg-laying breed depending on the diet ($M \pm m$): * – statistically significant differences from the control (group 1) were established at $p < 0.05$

нение гистоархитектоники с четким разграничением зон, появлением телец Гассалья и развитой васкуляризацией мозгового вещества, увеличение относительной площади мозговой зоны до $43,40 \pm 4,04$ %, что на 2,67 % выше по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Третья группа, получавшая энрофлоксацин, демонстрировала менее выраженные изменения: относительная площадь мозговой зоны на 20-й день составила $40,76 \pm 8,60$ %, что практически не отличалось от контрольной группы, в то время как корковая зона занимала $60,24 \pm 8,60$ %. Эти данные свидетельствуют о том, что применение антибиотиков не приводит к значительному улучшению показателей развития тимуса.

Относительная площадь мозговой зоны в 4-й группе цыплят увеличилась до $46,5 \pm 2,0$ % к 20-м суткам, что на 14 % выше, чем в контрольной

группе на те же сутки ($p < 0,05$). Относительная площадь корковой зоны в 4-й группе, соответственно, снизилась до $53,5 \pm 2,0$ % (это на 9,7 % ниже данных контрольной группы, $p < 0,05$), что может указывать на сбалансированное развитие тимуса к концу эксперимента.

Обсуждение. На основании проведенного исследования можно заключить, что ранний постнатальный период онтогенеза у цыплят яичного кросса характеризуется интенсивным и закономерным развитием тимуса, что подтверждается прогрессивным ростом его абсолютной массы и сложными гистологическими преобразованиями [9]. Эти преобразования включают дифференцировку на корковое и мозговое вещество, увеличение васкуляризации и появление телец Гассалья к 20-м суткам, что свидетельствует о функциональном созревании органа и актив-

ном лимфопоэзе. Динамика относительной массы тимуса, достигшей пика к 5–10-м суткам с последующим снижением, отражает общий принцип опережающего развития иммунной системы в раннем онтогенезе [10].

Анализ изменения относительных площадей корковой и мозговой зон тимуса у цыплят яичного кросса демонстрирует значительное влияние различных рационов питания на развитие этого органа. В контрольной группе наблюдалось стабильное, но слабое развитие мозговой зоны (относительная площадь – 40,73 %) при преобладании корковой зоны (59,27 %), что может указывать на недостаточную стимуляцию иммунной функции в условиях стандартного рациона.

В обеих группах, получавших пробиотический микроорганизм, отмечалось значительное увеличение относительной площади мозговой зоны и снижение площади корковой зоны. Указанные изменения подчеркивают положительное влияние рационов, обогащенных пробиотиками, на развитие тимуса, что может способствовать улучшению его функциональной активности и иммунного ответа в целом.

Полученные данные вносят вклад в понимание влияния различных рационов питания на иммунитет птиц и формируют важную исходную базу для планирования дальнейших исследований, направленных на модуляцию иммунного статуса с использованием иных схем или биологически активных веществ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Петруша Ю.К., Силин Д.А., Лебедев С.В. Факторы и модуляторы иммунной системы птиц (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 1. С. 33–49.
2. Właźlak S., Pietrzak E., Biesek J., Dunisławska A. Modulation of the Immune System of Chickens a Key Factor in Maintaining Poultry Production – a Review // Poult. Sci. 2023. Vol. 102, № 8. Art. № 102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>
3. Кузнецов С.И., Лемесева Е.А. Морфологическое исследование тимуса цыплят-бройлеров в возрастном аспекте // Науч.-метод. электрон. журн. «Концепт». 2014. Т. 20. С. 2936–2940. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54851.htm> (дата обращения: 06.10.2025).
4. Низамова Г.М., Муллакаев О.Т., Панина Е.Н. Возрастная макроморфология тимуса у цыплят-бройлеров // Уч. зап. Казан. акад. ветеринар. медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 253, № 1. С. 201–204.
5. Демьяненко С.В., Чистяков В.А., Водопьянов А.С., Брень А.Б. Возрастные изменения тимусзависимого звена иммунной системы // Журн. фундам. медицины и биологии. 2012. № 1. С. 17–29.
6. Bölükbaş F., Öznurlu Y. The Determination of the Effect of *in ovo* Administered Monosodium Glutamate on the Embryonic Development of Thymus and Bursa of Fabricius and Percentages of Alpha-Naphthyl Acetate Esterase Positive Lymphocyte in Chicken // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2022. Vol. 29, № 30. P. 45338–45348. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19112-2>
7. Islam R., Sultana N., Haque Z., Rafiqul Islam M. Effect of Dietary Dexamethasone on the Morphologic and Morphometric Adaptations in the Lymphoid Organs and Mortality Rate in Broilers // Vet. Med. Sci. 2023. Vol. 9, № 4. P. 1656–1665. <https://doi.org/10.1002/vms3.1139>
8. Sikandar A., Zaneb H., Nasir A., Ur Rehman A., Kashif M., Shah M., Luqman Z., Din S., Iqbal M.F., Khan I., Irshad I. Effect of *Bacillus subtilis* on the Microarchitectural Development of the Immune System in *Salmonella*-Challenged Broiler Chickens // Vet. med. 2022. Vol. 67, № 1. P. 28–37. <https://doi.org/10.17221/231/2020-VETMED>

9. Huang H.-B., Liu Y.-X., Hou Y., Wen L., Ge X.-H., Peng K.-M., Liu H.-Z. Distribution Patterns of Stromal Eosinophil Cells in Chick Thymus During Postnatal Development // *Vet. Immunol. Immunopathol.* 2013. Vol. 153, № 1–2. P. 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.12.008>

10. Бородулина И.В. Некоторые морфофункциональные показатели постнатального развития печени и тимуса у цыплят-курочек кросса «Хайсекс-браун» в возрасте от 1 до 180 дней под влиянием адаптогенов // *Вестн. КрасГАУ.* 2008. № 2. С. 334–339.

References

1. Petrusha Yu.K., Silin D.A., Lebedev S.V. Factors and Modulators of the Avian Immune System (Review). *Animal Husb. Fodd. Prod.*, 2025, vol. 108, no. 1, pp. 33–49 (in Russ.).

2. Wlazlak S., Pietrzak E., Biesek J., Dunislawska A. Modulation of the Immune System of Chickens a Key Factor in Maintaining Poultry Production – a Review. *Poult. Sci.*, 2023, vol. 102, no. 8. Art. no. 102785. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102785>

3. Kuznetsov S.I., Lemeseva E.A. Morfologicheskoe issledovanie timusa tsyplyat-broylerov v vozrastnom aspekte [Morphological Study of the Thymus Broiler Chickens in Age Aspect]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Kontsept"*, 2014, vol. 20, pp. 2936–2940. Available at: <http://e-koncept.ru/2014/54851.htm> (accessed: 6 October 2025).

4. Nizamova G.M., Mullakaev O.T., Panina E.N. Vozrastnaya makromorfologiya timusa u tsyplyat-broylerov [Age-Related Micromorphology of the Thymus in Broiler Chickens]. *Uchenye zapiski Kazanskoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*, 2023, vol. 253, no. 1, pp. 201–204.

5. Dem'yanenko S.V., Chistyakov V.A., Vodop'yanov A.S., Bren' A.B. Vozrastnye izmeneniya timuszavisimogo zvena immunnoy sistemy [Age-Related Changes in the Thymus-Dependent Component of the Immune System]. *Zhurnal fundamental'noy meditsiny i biologii*, 2012, no. 1, pp. 17–29.

6. Bölükbaş F., Öznurlu Y. The Determination of the Effect of *in ovo* Administered Monosodium Glutamate on the Embryonic Development of Thymus and Bursa of Fabricius and Percentages of Alpha-Naphthyl Acetate Esterase Positive Lymphocyte in Chicken. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2022, vol. 29, no. 30, pp. 45338–45348. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19112-2>

7. Islam R., Sultana N., Haque Z., Rafiqul Islam M. Effect of Dietary Dexamethasone on the Morphologic and Morphometric Adaptations in the Lymphoid Organs and Mortality Rate in Broilers. *Vet. Med. Sci.*, 2023, vol. 9, no. 4, pp. 1656–1665. <https://doi.org/10.1002/vms3.1139>

8. Sikandar A., Zaneb H., Nasir A., Ur Rehman A., Kashif M., Shah M., Luqman Z., Din S., Iqbal M.F., Khan I., Irshad I. Effect of *Bacillus subtilis* on the Microarchitectural Development of the Immune System in *Salmonella*-Challenged Broiler Chickens. *Vet. med.*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 28–37. <https://doi.org/10.17221/231/2020-VETMED>

9. Huang H.-B., Liu Y.-X., Hou Y., Wen L., Ge X.-H., Peng K.-M., Liu H.-Z. Distribution Patterns of Stromal Eosinophil Cells in Chick Thymus During Postnatal Development. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 2013, vol. 153, no. 1–2, pp. 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.12.008>

10. Borodulina I.V. Nekotorye morfofunktsional'nye pokazateli postnatal'nogo razvitiya pecheni i timusa u tsyplyat-kurochek krossa "Khayseks-braun" v vozraste ot 1 do 180 dney pod vliyaniem adaptogenov [Some Morphofunctional Parameters of Postnatal Development of the Liver and Thymus in Hisex Brown Hens Aged from 1 to 180 Days Under the Influence of Adaptogens]. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 2, pp. 334–339.

Поступила в редакцию 20.10.2025 / Одобрена после рецензирования 17.12.2025 / Принята к публикации 19.12.2025
Submitted 20 October 2025 / Approved after reviewing 17 December 2025 / Accepted for publication 19 December 2025