

EDN: MMPZTF

УДК 636.5.082.474:612.646

Lipid Peroxidation Dynamics in Chicken Embryos under Industrial Incubation Conditions with Transovarial Use of Ferulic Acid

**Tatyana O. Azarnova, Alexandra M. Rezykh*,
Ivan I. Kochish and Inessa S. Lugovaya**
*K. I. Scriabin Moscow State Academy
of Veterinary Medicine and Biotechnology
Moscow, Russian Federation*

Received 20.03.2023, received in revised form 03.11.2023, accepted 05.12.2023

Abstract. Research addressing lipid peroxidation in chicken embryos at different points in time is extremely important both for science and for industrial poultry farming. The negative consequences of these processes will inevitably lead to a decrease in the profitability of production. In addition, the causes and rates of free radical reactions in certain periods of embryonic development of chickens remain poorly understood. Therefore, the purpose of the current work was to study the dynamics of lipid peroxidation in chicken embryos during the main critical periods of their development under conditions of industrial incubation with the transovarial use of ferulic acid. Using the analogous pair approach, 2 batches of eggs from the Ross 308 cross broilers were selected, one of which was treated with an optimal solution (0.1 %) of ferulic acid. The antioxidant activity of blood serum was assessed using 2,6-dichlorophenolindophenol, and the concentrations of lipid peroxidation products were determined by colorimetric methods. The study showed that the rate of lipid peroxidation decreased by the end of incubation in chickens of both groups, although in the control group, it was significantly higher than in the treatment during all the days of the incubation period we studied. Thus, the concentration of Schiff bases at Days 14, 18, and 21 was higher by a factor of 2.4 ($p < 0.05$), 2.3 ($p < 0.05$), and 2 in the control group compared to the treatment. In addition, the antioxidant activity of blood plasma in the treatment group increased by a factor of 1.2 ($p < 0.05$), 1.1, and 1.3 ($p < 0.05$) at Days 14, 18, and 21, respectively, relative to the control. Thus, the study of the dynamics of the lipid peroxidation rate during chicken embryogenesis suggests that the determination of lipid peroxidation products only at Day 21 of incubation can provide sufficient data for researchers to get an idea of lipid peroxidation rate during embryogenesis

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: rezvyh.99@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8760-7603 (Azarnova T.); 0000-0001-7604-1907 (Rezykh A.); 0000-0002-8502-6052 (Kochish I.); 0000-0002-9925-7070 (Lugovaya I.)

and to predict the rate of growth and development of an individual. In addition, the transovarial use of ferulic acid makes it possible to prevent the excessive development of lipid peroxidation in the critical stages of embryogenesis.

Keywords: broilers, lipid peroxidation, stress, embryogenesis, ferulic acid.

Citation: Azarnova T. O., Rezvykh A. M., Kochish I. I., Lugovaya I. S. Lipid peroxidation dynamics in chicken embryos under industrial incubation conditions with transovarial use of ferulic acid. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2024, 17(1), 82–94. EDN: MMPZTF



Особенности динамики липопероксидации у эмбрионов кур в условиях промышленной инкубации при трансовариальном использовании феруловой кислоты

**Т. О. Азарнова, А. М. Резвых,
И. И. Кочиш, И. С. Луговая**
*Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии им. К. И. Скрябина
Российская Федерация, Москва*

Аннотация. Исследования, посвященные изучению липопероксидации в динамике у эмбрионов, крайне важны как для науки, так и для промышленного птицеводства. Негативные последствия этих процессов неизбежно приводят к снижению рентабельности производства. Помимо этого, остаются малоизученными причины и интенсивность свободнорадикальных реакций в определенные периоды эмбрионального развития цыплят. В связи с этим цель исследования – изучение особенностей динамики липопероксидации у эмбрионов кур в основные критические периоды развития в условиях промышленной инкубации при трансовариальном использовании феруловой кислоты. По принципу аналогов были подобраны 2 партии яиц от бройлеров кросса Ross 308, одну из которых обрабатывали оптимальным раствором (0,1 %) феруловой кислоты. Проводили оценку антиокислительной активности сыворотки крови с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенола, определяли концентрации продуктов липопероксидации колориметрическими методами. Проведенные исследования показали, что интенсивность липопероксидации снижается к концу инкубации у цыплят обеих групп, при этом в контрольной группе она была значительно выше, чем в опыте, в течение всех исследуемых нами суток инкубационного периода. Так, концентрация оснований Шиффа на 14-е, 18-е и 21-е сутки превосходила в 2,4 ($p < 0,05$), 2,3 ($p < 0,05$) и 2 раза результаты опытной группы. Помимо этого, зафиксировано увеличение антиокислительной активности плазмы крови в опытной группе в 1,2 ($p < 0,05$), 1,1 и в 1,3 раза ($p < 0,05$) на 14-е, 18-е и 21-е сутки соответственно относительно контроля. Таким образом, на основании полученных результатов исследования динамики интенсивности липопероксидации в эмбриогенезе кур можно утверждать, что определение продуктов ПОЛ только на 21-е сутки инкубации

может быть достаточно информативным для формирования представления об интенсивности липопероксидации в эмбриогенезе, а также для прогнозирования скорости роста и развития особи, при этом трансвариальное использование феруловой кислоты позволяет купировать избыточное развитие липопероксидации в наиболее опасные критические периоды эмбриогенеза.

Ключевые слова: бройлеры, перекисное окисление липидов, стресс, эмбриогенез, феруловая кислота.

Цитирование: Азарнова Т. О. Особенности динамики липопероксидации у эмбрионов кур в условиях промышленной инкубации при трансвариальном использовании феруловой кислоты / Т. О. Азарнова, А. М. Резвых, И. И. Кочиш, И. С. Луговая // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2024. 17(1). С. 82–94. EDN: MMPZTF

Введение

Исследований, посвященных изучению свободнорадикальных реакций и, как следствие, липопероксидации в динамике у эмбрионов, немного. Однако и наши работы, и работы других учёных неоднократно указывали на избыточную активизацию этих явлений при воздействии на зародыш средних и сильных факторов стресса, в частности сопряженных с условиями искусственной инкубации (Сурай, Фисинин, 2013; Азарнова и др., 2014а; Кочиш и др., 2019; Луговая и др., 2019). Особое внимание в этих исследованиях уделяли особенностям проявления и развития негативных последствий их влияния. При этом в большинстве случаев оценивали интенсивность свободно-радикальных реакций и липопероксидации у молодняка на выводе. На наш взгляд, это вполне правомерно, так как немногочисленные исследования других авторов и некоторое количество наших подтверждают, что у эмбриона эти процессы протекают особенно интенсивно, однако с некоторой тенденцией к снижению у суточного молодняка (Кучмистова, 1997; Азарнова и др., 2014б; Луговая и др., 2019). В этой связи определенный научный интерес представляет более детальное изучение и анализ их динамики в критические периоды развития, в частности сопряженные с гипоксией, неминуемо обуславливающие преумножение негативных последствий действия

налагающихся факторов стресса, связанных с условиями производства. Для наших исследований был взят один из высокопродуктивных отечественных кроссов, ведь, как известно, чем выше продуктивность птицы, тем она более чувствительна к различным воздействиям (Khan et al., 2012; Сурай, Фисинин, 2013). В этой связи рассмотрение высокочувствительного биологического объекта будет более наглядно демонстрировать изменения, происходящие в его организме.

Значимость изучения интенсивности липопероксидации в динамике высока не только для науки, но и для промышленного птицеводства. Это связано с тем, что свободно-радикальные реакции, и, как следствие, процесс липопероксидации неминуемо прогрессируют на фоне развития любого стресса вне зависимости от его этиологии. Всё это, прежде всего, обуславливает инактивацию биологически активных веществ (ферментов, гормонов и других), снижение интенсивности синтеза макроэргов, в частности в митохондриальной дыхательной цепи, при возрастающей потребности увеличения их затрат на ликвидацию последствий стресса, определяя деструктивные явления в мембранах, органеллах, клетках, тканях, органах, целом организме (Akbarian et al., 2016). Всё это нарушает становление особи, значимо снижая интенсивность развития, жизнеспособ-

способность сильных эмбрионов и обуславливает гибель слабых, определяя не только низкое качество и количество получаемого молодняка, но вместе с тем снижение рентабельности производства (Shariatmadari, 2012; Сурай, Фисинин, 2013; Азарнова и др., 2014а, 2014б; Луговая и др., 2019).

В свою очередь, изучение перекисного окисления липидов (ПОЛ) в динамике в различные периоды эмбрионального развития позволит выделить среди прочих наиболее опасные, требующие неуклонного поддерживающего вмешательства этапы. Это позволит своевременно стабилизировать состояние зародыша, обеспечив условия для полноценного становления всех структур его организма, интенсивного развития и успешного вывода, создав предпосылки для благоприятного прогноза на дальнейшее существование, реализацию продуктивных качеств.

Остается малоизученным вопрос, в какие периоды эмбриогенеза и в силу каких причин ПОЛ протекает наиболее интенсивно, а когда с меньшей интенсивностью. Указанные аспекты были лишь фрагментарно обсуждены некоторыми учеными (Кучмистова, 1997). Так, в работе Е. Ф. Кучмистовой (1997) было экспериментально подтверждено стимулирующее действие ионов Fe^{2+} на прогрессию ПОЛ в печени и мозге эмбрионов птиц, а также продемонстрированы в динамике концентрации малонового диальдегида (МДА) в указанных органах у зародышей и молодняка кур. При этом отмечено, что его уровень на 21-е сутки инкубации значительно ниже, чем в предшествующие дни эмбриогенеза, а именно 12, 16, 20.

В свою очередь, в работе Е. И. Тюльковой с соавторами, посвященной исследованию одной из фундаментальных проблем нейробиологии, связанной с изучением патологических изменений деятельности мозга, вызванных

воздействием тяжелой гипоксии в пренатальном периоде развития, указано, что исследование показателей продуктов ПОЛ в динамике, в частности в виде МДА, может являться способом раннего обнаружения метаболических нарушений (Tul'kova et al., 2015). В их работе также продемонстрированы эффекты продолжительности действия негативных факторов, в частности гипоксии, фиксируемой в определенные периоды пренатального онтогенеза, которая, как было установлено, впоследствии индуцирует выраженную длительную активацию процессов перекисного окисления липидов в гиппокампе и неокортексе крыс на фоне снижения экспрессии пептидных антиоксидантов. Авторами отмечено, что длительно протекающая прогрессия ПОЛ и в связи с этим степень повышения уровня цитотоксичных продуктов являются отражением структурно-функциональных повреждений мембран, которые сопровождаются нарушением ферментативных и рецепторных реакций, неизбежно определяя нарушения пластичности ответа клеточных мембран (Tul'kova et al., 2015). Наряду с этим ими было ещё раз подтверждено высказывание Е. Ф. Кучмистовой (1997) о том, что ущерб, нанесенный эмбриону частой и длительно сохраняющейся прогрессией ПОЛ, обуславливает невосполнимый урон качеству становления различных органов, но прежде всего – мозга особи, как минимум определяя реализацию его функциональных возможностей в дальнейшем онтогенезе не в полной мере. При этом И. И. Кочишом и др. (2019) также доказано, что введение антиоксидантов в постнатальный период развития не сможет полностью ликвидировать негативные последствия аномальной интенсификации обсуждаемых процессов.

На основании указанного очевидно, что любые негативные факторы, обуславлива-

ющие избыточное образование свободных радикалов и впоследствии высокую интенсивность процессов ПОЛ в пренатальном периоде развития, имеют неминуемые последствия во взрослом организме.

Как было отмечено ранее, наибольшую прогрессию ПОЛ фиксируют в периоды одновременного воздействия нескольких стрессоров, экстремальных по силе, что в отсутствие или при недостаточности антиоксидантов способствует быстрому переходу организма в состояние истощения. Таким образом, неравномерный прогрев яиц в сетке, а также в разных зонах инкубатора, отсутствие аэроионизации и ряд других стрессоров, сопряженных с промышленной инкубацией, усугубляют тяжесть негативного влияния критических периодов развития эмбриона, фиксируемых на 4, 14 и 18–20-е сутки инкубации (Бессарабов и др., 2015).

По данным И.И. Кочиша и др. (2019), наибольшее количество факторов стресса, воздействующих на птицу в условиях производства, большинство которых экстремальные по силе, фиксируют на выводе, при этом более качественно сформированный организм имеет преимущества и в антиоксидантной защитной системе, определяя условия для более быстрого купирования избыточно развивающейся липопероксидации и её деструктивных последствий (Khan et al., 2011).

Вышеизложенное свидетельствует в пользу того, что для качественного развития зародыша особенно важно не допускать, в крайнем случае, своевременно нивелировать интенсивность заявленных негативных процессов.

В ряде исследований высокую эффективность в этом отношении доказала феруловая кислота – производное коричной кислоты, встречающееся практически у всех высших растений в составе клеточной стенки. Об-

суждаемый биостимулятор является высокоэффективной «ловушкой» свободных радикалов, тем самым способствуя терминации цепных свободнорадикальных реакций. Этот эффект характерен для феруловой кислоты благодаря ее химической структуре, а именно наличию в ней углеродной цепи, содержащей двойную связь (остаток пропеновой кислоты) и гидроксильной группы в фенильном ядре, вследствие чего она легко вступает в свободнорадикальные реакции с образованием стабильного слабо реакционноспособного феноксильного радикала (Назарова и др., 2010). Взаимодействие феноксильного радикала с гидроперекисями приводит к разрушению последних с образованием стабильных продуктов, что имеет важное значение для процессов ингибированного окисления (Pokhodenko et al., 1968). Гидроперекиси в этом случае уже не могут инициировать новые цепи окисления, а значит – феруловая кислота не способна проявлять прооксидантный эффект и с этой точки зрения имеет преимущества перед некоторыми традиционно известными антиоксидантами, например, аскорбиновой кислотой (Стасевич и др., 2014). Таким образом, этот биостимулятор способен подавлять процессы ПОЛ благодаря наличию выраженных антиоксидантных свойств, определяя условия для улучшения качественных и количественных результатов инкубации.

Известно, что исследуемое нами БАВ имеет низкий класс токсичности, обладает выраженными: противовоспалительными, антиаллергическими, антиагрегантными, противоопухолевыми, антитоксическими, гепатопротекторными, антибактериальными, противовирусными свойствами (Дьяков и др., 2005).

Таким образом, очевидно, что феруловая кислота, обладая широким спектром важных для организма свойств, может выступать в качестве эффективного средства для пода-

вления чрезмерной интенсивности процессов ПОЛ, а вместе с тем для стимуляции качественного, интенсивного эмбриогенеза особи.

В этой связи цель исследований – изучить особенности динамики липопероксидации у эмбрионов кур в основные критические периоды развития в условиях промышленной инкубации при трансвариальном использовании феруловой кислоты.

Материалы и методы

Эксперимент был проведен в ООО «Воловский бройлер» с использованием инкубационных яиц, полученных от бройлеров кросса Ross 308. По принципу аналогов были подобраны 2 партии яиц (опытная и контрольная) по 252 штук в каждой. Первую перед закладкой в инкубатор трансвариально обрабатывали оптимальным раствором феруловой кислоты (0,1 %), выявленным в серии предшествующих экспериментов (Резвых и др., 2019; Азарнова и др., 2020; Азарнова и др., 2021); контрольная группа обработке феруловой кислотой подвержена не была. Работа была выполнена в соответствии с принципами биоэтики и правил обращения с живыми объектами (Седова, 2018).

Лабораторные исследования осуществляли на базе кафедры химии имени профессоров С.И. Афонского, А.Г. Малахова и кафедры радиобиологии и биофизики имени академика А.Д. Белова с использованием спектрофотометра СФ-26. Метод определения антиокислительной активности (АОА) сыворотки крови основан на регистрации скорости окисления восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола (2,6-ДХФИФ) кислородом, растворенным в реакционной среде, результаты выражали в процентах (Кондрахин, 2004); концентрации продуктов ПОЛ определяли колориметрическими методами, основанными на установлении содержа-

ния продуктов ПОЛ в крови по поглощению липидным экстрактом монохроматического светового потока в ультрафиолетовой области спектра. Концентрацию МДА выражали в мкмоль/л, а оснований Шиффа (ОШ) – в относительных единицах (отн.ед./мл) (Хышиктуев и др., 1996).

Взятие крови у эмбрионов кур осуществляли на 14-е, 18-е и 21-е сутки инкубации с использованием инсулинового шприца, предварительно удалив аллантоисную жидкость из яйца для обеспечения свободного доступа к кровеносному сосуду (Садовников и др., 2009). Помимо указанных периодов, на 4-е и 8-е сутки инкубации исследовали массу эмбрионов с использованием электронных весов OHAUS Adventurer AX124/E с точностью 0,0001 г и длину эмбрионов (на 4-е сутки также большой и малый диаметры сосудистых полей), используя штангенциркуль с точностью до 0,1 см (Отрыганьев, Отрыганьева, 1982; Орлов, 1987; Прокудина и др., 2006).

Для исследования были выбраны указанные периоды, так как именно они являются наиболее опасными для эмбриона. Это критические периоды развития, связанные с:

- замедлением роста на 4-е сутки инкубации, что обусловлено накоплением молочной кислоты и аммиака, как результат усиленного использования углеводов и частично белков. Прекращается при открытии Вольфова протока в клоаку;
- задержкой роста на 14-е сутки инкубации, что связано с переходом выделительной функции от прекращающей рост первичной почки к начинающей усиленно расти постоянной;
- переходом от аллантоисного дыхания к легочному, характеризуется интенсивным использованием липидов желтка и отмечается на 18–20-е сутки (Бессарабов и др., 2015).

Также определяли основные отходы инкубации: неоплодотворенные яйца, кровяные кольца, замершие, задохлики, слабые, а также вывод цыплят – количество выведенного здорового молодняка в процентах от числа заложённых на инкубацию яиц, и выводимость яиц – количество выведенного здорового молодняка в процентах от числа оплодотворённых яиц (Бессарабов и др., 2015).

Полученные данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента. Проведены вычисления средних арифметических и их ошибки. Разницу биохимических, физиологических и экстерьерных показателей считали достоверной при $p < 0,05$. Статистическую обработку данных проводили на ПК с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2013.

Результаты и обсуждение

Полученные данные указывают на факт снижения интенсивности липопероксидации к концу инкубации как у цыплят опытной, так и контрольной групп, что свидетельствует об обратной корреляции возраста зароды-

ша и его чувствительности к воздействию факторов стресса (табл. 1). Это связано с лучшим становлением антиоксидантной системы организма у более взрослых особей (Орлов, 1987; Сурай, Фисинин, 2013). Таким образом, можно утверждать, что чем старше эмбрион, тем меньше он подвержен развитию оксидативного стресса. Вышеизложенное также повышает актуальность введения биостимуляторов перед закладкой яиц в инкубатор относительно их использования в более поздние сроки, в том числе при переводе яиц из инкубаторов в выводные шкафы или в постнатальный период развития птицы. Важно упомянуть в подтверждение, что в целом ряде исследований однократная и двукратная обработка яиц дают фактически равнозначные результаты (Азарнова и др., 2013; Луговая и др., 2018; Кочиш и др., 2019).

Интенсивность липопероксидации в контрольной группе была значительно выше, чем в опыте (табл. 1). Следовательно, обработка феруловой кислотой препятствует развитию липопероксидации в каждый из критических периодов развития эмбриона. Так, концентрация МДА в контрольной группе на 14-е, 18-е

Таблица 1. Динамика интенсивности ПОЛ и АОА у эмбрионов кур, $n=5$

Table 1. Dynamics of LPO and AOA rates in chicken embryos, $n = 5$

Показатели	Возраст эмбрионов	Сутки		
		14	18	21
Контроль				
МДА, мкмоль/л		4,6±0,33	3,6±0,17	1,7±0,26
ОШ, отн.ед./мл		1,2±0,23	0,9±0,10	0,4±0,07
АОА, %		45±2,28	44±2,24	30±1,34
Опыт				
МДА, мкмоль/л		2,8±0,26**	2,1±0,24**	1,1±0,20
ОШ, отн.ед./мл		0,5±0,10*	0,4±0,07*	0,2±0,03
АОА, %		56±2,05*	47±1,26	39±2,00*

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Различия достоверны по отношению к контролю.

и 21-е сутки превосходила показатели опытной группы в 1,6 ($p < 0,01$), 1,7 ($p < 0,01$), 1,5 раза соответственно, а ОШ – в 2,4 ($p < 0,05$), 2,3 ($p < 0,05$) и 2 раза соответственно. Это позволяет сделать вывод об эффективности применяемого БАВ, как высокодейственного стресс-протектора, замедляющего процессы ПОЛ, определяя условия для сохранения целостности мембранных структур клетки, а вместе с тем её функциональности. Помимо динамики изменения концентраций продуктов ПОЛ, было также зафиксировано увеличение АОА плазмы крови в опытной группе относительно контроля на протяжении всех изучаемых нами критических периодов развития зародышей, а именно в 1,2 ($p < 0,05$), 1,1 и в 1,3 ($p < 0,05$) раза на 14-е, 18-е и 21-е сутки соответственно. Указанное позволяет сделать предположение о стимулирующем влиянии феруловой кислоты на синтез и/или активность составляющих антиоксидантной системы организма, что является крайне важным и необходимым аспектом для развивающихся зародышей, их успешного преодоления критических периодов развития и налагающихся экстремальных по силе факторов стресса (Karadas et al., 2011).

Полученные результаты указывают, что высокий уровень продуктов ПОЛ, зафиксированный в контрольной группе на 14-е и 18-е сутки инкубации, будет наблюдаться и на 21-е сутки, следовательно, определение продуктов ПОЛ только в последний день эмбриогенеза достаточно информативно, чтобы сформировать представление об интенсивности липопероксидации в эмбриогенезе, а также для прогнозирования скорости роста и развития особи, что особенно важно в условиях производства с целью избежания прерывания производственного цикла и неоправданных финансовых затрат. Указанное согласуется с данными Е.Ф. Кучмистовой

(1997), подтверждающими, что в случае высокой интенсивности ПОЛ на протяжении всего периода инкубации концентрация цитотоксичных продуктов на 21-е сутки будет по-прежнему превышать референтные значения. Однако стоит также учитывать, что к концу эмбрионального развития интенсивность ПОЛ несколько ниже, чем в начале и середине инкубационного периода (Кучмистова, 1997). Это может быть связано с окончанием эмбрионального развития и завершением основных морфофункциональных и физиолого-биохимических перестроек организма зародышей, а также с финализацией формирования к этому времени антиоксидантной защитной системы (Орлов, 1987; Сурай, Фисинин, 2013).

Сохранение целостности и функциональности клетки определило более качественное развитие зародышей. Так, на 11-е сутки количество яиц, относящихся к первой категории по степени замыкания аллантаоиса, было на 10 % больше, чем в контроле, что указывает на более быстрый выход особей из состояния предшествующей гипоксии, обуславливая снижение вероятности развития ацидоза, определяя условия для протекания реакций аэробного гликолиза, позволяющего осуществлять более полноценное (относительно анаэробного) энергообеспечение организма. Наряду с этим, по данным Б.Ф. Бессарабова и др. (2015), своевременное замыкание аллантаоиса также способствует поступлению белка к эмбриону, при этом, покрывая белок, он предохраняет его от испарений воды, запасы которой к этому периоду значимо сокращены. Очевидно, именно этот факт обусловил уменьшение «усушки» яиц за 18 дней инкубации, величина которой составила в опыте 13 % против 14 % в контроле. Тем же автором установлено, что в случае, если аллантаоис замыкается на 11-е

сутки инкубации кур полностью, минеральные вещества скорлупы, в первую очередь необходимые для качественного построения костяка, начинают использоваться эмбрионом быстрее (Бессарабов и др., 2015). Последнее подтверждено исследованиями толщины скорлупы яиц на выводе (в опытной группе она уступала контролю на 2,94 %), что наряду с указанным выше создает предпосылки для своевременного вывода, упрощая выход цыпленка из яйца (табл. 2).

Более тонкая скорлупа и более высокая на всех этапах развития жизнеспособность

зародышей опытной группы определили повышение вывода цыплят и выводимости яиц на 5,56 % ($p < 0,05$) и на 3,07 % соответственно по сравнению с контролем (табл. 2).

Следует отметить, что эмбрионы были не только более жизнеспособными и качественно развитыми, но росли интенсивнее, в том числе в основные критические периоды эмбриогенеза, значимо опережая представителей контрольной группы (табл. 3). Опытная партия на 4-е сутки достоверно превосходила контроль по следующим показателям: малому диаметру сосудистого поля на 13,64 %

Таблица 2. Некоторые показатели биоконтроля инкубации, %, n = 252

Table 2. Some parameters of incubation biocontrol, %, n = 252

Группа	Неоплодотворенные	Кровяные кольца	Замершие	Задохлики	Слабые	Вывод цыплят	$\pm\Delta$	Выводимость яиц	$\pm\Delta$
Контроль	5,95±1,49	0	3,97±1,23	2,38±0,96	0,40±0,40	87,30±2,10	-	92,83±1,63	-
Опыт	3,17±1,10	0	2,38±0,96	1,59±0,79	0	92,86±1,62*	+5,56	95,90±1,25	+3,07

Примечание: * $p < 0,05$.

Таблица 3. Рост и развитие эмбрионов, n=5

Table 3. Growth and development of embryos, n = 5

Сутки инкубации	Показатель	Контроль	Опыт
4-е	Большой диаметр сосудистого поля, см	3,2±0,05	3,4±0,06
	Малый диаметр сосудистого поля, см	2,2±0,02	2,5±0,02***
	Длина, мм	15,0±0,32	16,6±0,24***
	Кол-во сосудов, идущих от эмбриона, шт.	6,5±0,22	7,8±0,23*
	Масса, г	0,018±0,007	0,021±0,008**
8-е	Длина, мм	27,2±0,37	28,6±0,24*
	Масса, г	1,57±0,02	1,66±0,02*
14-е	Длина, мм	84,8±0,97	87,8±0,73
	Масса, г	11,3±0,17	11,7±0,13
18-е	Длина, мм	141±0,95	144±1,10
	Масса, г	24,3±0,90	25,7±0,71
21-е	Длина, мм	196±1,59	210±1,33***
	Масса, г	44,2±1,32	47,4±0,24

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

($p < 0,001$), длине на 10,67 % ($p < 0,001$), количеству сосудов, идущих от эмбриона, в 1,2 раза ($p < 0,05$) и массе в 1,2 раза ($p < 0,01$) (табл. 3). В последующие дни инкубации также была зафиксирована тенденция к превосходству опытной группы относительно контроля по длине и массе эмбрионов: на 8-е сутки на 5,15 % ($p < 0,05$) и на 5,73 % ($p < 0,05$), на 14-е сутки равнозначно на 3,54 %, на 18-е сутки на 2,13 % и на 5,76 % и на 21-е сутки на 7,14 % ($p < 0,001$) и на 7,24 % соответственно.

Анализ совокупности вышепредставленных данных позволяет считать, что интенсивность липопероксидации в контрольной группе является избыточной, и её угнетение – важная задача птицеводства для повышения результативности инкубации.

Заключение

Интенсивность липопероксидации в основные критические периоды эмбриональ-

ного развития имеет тенденцию к снижению к моменту вылупления молодняка при одновременном повышении антиоксидантной защиты, что, очевидно, связано с лучшим ее становлением у более возрастных особей. Во избежание неоправданных финансовых затрат в условиях дефицита реактивов определение продуктов ПОЛ возможно только на 21-е сутки инкубации, что достаточно информативно для формирования представления об интенсивности липопероксидации в эмбриогенезе, а также для прогнозирования благополучия особи по скорости роста и качеству развития. Прединкубационное трансвариальное использование феруловой кислоты позволяет купировать избыточное развитие липопероксидации в наиболее опасные критические периоды эмбриогенеза, создавая условия для более качественного, интенсивного развития и повышения жизнеспособности молодняка.

Список литературы / References

Азарнова Т. О., Ярцева И. С., Индюхова Е. Н., Зайцев С. Ю., Найденский М. С., Антипов А. А., Веротченко М. А. (2013) Метаболизм костной ткани суточных цыплят при сочетанном использовании некоторых естественных метаболитов. *Аграрная Россия*, 12: 33–36 [Azarnova T. O., Yartseva I. S., Indyukhova E. N., Zaitsev S. Yu., Naydenskiy M. S., Antipov A. A., Verotchenko M. A. (2013) Bone metabolism in chicks with concomitant use of some natural metabolites. *Agrarian Russia* [Agrarnaya Rossiya], 12: 33–36 (in Russian)]

Азарнова Т. О., Болгова М. И., Индюхова Е. Н., Зайцев С. Ю., Найденский М. С., Киселев А. Л., Антипов А. А. (2014а) Использование хондропротекторов в промышленной инкубации яиц. *Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные*, 4: 18–19 [Azarnova T. O., Bolgova M. I., Indyukhova E. N., Zaitsev S. Yu., Naydenskiy M. S., Kiselev A. L., Antipov A. A. (2014a) Use of chondroprotective preparation in industrial incubation of eggs. *Russian Veterinary Journal. Productive Animals* [Rossiiskii veterinarnyi zhurnal. Sel'skokhozyaistvennye zhivotnye], 4: 18–19 (in Russian)]

Азарнова Т. О., Максимов В. И., Индюхова Е. Н., Зайцев С. Ю. (2014b) Влияние йодсодержащего препарата при обработке in ovo на качество цыплят суточного возраста. *Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные*, 4: 24–26 [Azarnova T. O., Maximov V. I., Indyukhova E. N., Zaitsev S. Yu. (2014b) Influence of iodinecontaining drug in the in ovo treatment on the quality of dayold chicks. *Russian Veterinary Journal. Productive Animals* [Rossiiskii veterinarnyi zhurnal. Sel'skokhozyaistvennye zhivotnye], 4: 24–26 (in Russian)]

Азарнова Т. О., Резвых А. М., Найденский М. С. (2020) Антигипоксический эффект феруловой кислоты в промышленной инкубации яиц. *Аграрная Россия*, 1: 17–20 [Azarnova T. O., Rezvykh A. M., Naidenskiy M. S. (2020) Antihypoxic effect of ferulic acid in industrial egg incubation. *Agrarian Russia* [Agrarnaya Rossiya], 1: 17–20 (in Russian)]

Азарнова Т. О., Резвых А. М., Максимов В. И., Найденский М. С., Кочиш И. И., Луговая И. С., Садовская Т. А., Аншаков Д. В., Золотухина Е. А. (2021) Способ нивелирования гипоксии у эмбрионов кур. Патент № 2751848 [Azarnova T. O., Rezvykh A. M., Maksimov V. I., Najdenskiy M. S., Kochish I. I., Lugovaya I. S., Sadovskaya T. A., Anshakov D. V., Zolotukhina E. A. (2021) *Method for alleviating hypoxia in chicken embryos*. Patent № 2751848 (in Russian)]

Бессарабов Б. Ф., Крыканов А. А., Киселев А. Л. (2015) *Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы*. Санкт-Петербург, Лань, 160 с. [Bessarabov B. F., Krykanov A. A., Kiselev A. L. (2015) *Incubation of poultry eggs*. St. Petersburg, Lan', 160 p. (in Russian)]

Дьяков А. А., Перфилова В. Н., Тюренков И. Н. (2005) Противоритмическое действие феруловой кислоты. *Вестник аритмологии*, 39: 49–52 [Dyakov A. A., Perfilova V. N., Tyurenkov I. N. (2005) Antiarrhythmic action of ferulic acid. *Journal of Arrhythmology* [Vestnik aritmologii], 39: 49–52 (in Russian)]

Кондрахин И. П. (ред.) (2004) *Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник*. Москва, КолосС, 520 с. [Kondrakhin I. P. (Ed.) (2004) *Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics: a handbook*. Moscow, KolosS, 520 p. (in Russian)]

Кочиш И. И., Азарнова Т. О., Найденский М. С. (2019) Профилактика свободнорадикальных аномалий у кур в раннем онтогенезе. Москва, Сельскохозяйственные технологии, 358 с. [Kochish I. I., Azarnova T. O., Naydenskiy M. S. (2019) *Prevention of free radical anomalies in chickens in early ontogeny*. Moscow, Agricultural technologies, 358 p. (in Russian)]

Кучмистова Е. Ф. (1997) Особенности перекисного окисления липидов в эмбриональных тканях различных видов сельскохозяйственной птицы. *Информационный листок ХАРПНТЭИ*, 90–97: 1–3 [Kuchmistova E. F. (1997) Features of lipid peroxidation in embryonic tissues of various poultry species. *Information Sheet of the Kharkov Enterprise of Scientific, Technical, and Economic Information* [Informatsionnyi listok KHARPNTSEI], 90–97: 1–3 (in Russian)]

Луговая И. С., Азарнова Т. О., Кочиш И. И., Найденский М. С., Зайцев С. Ю. (2018) Управление процессами перекисного окисления липидов комбинацией БАВ в эмбриогенезе кур. *Птица и птицепродукты*, 5: 56–58 [Lugovaya I. S., Azarnova T. O., Kochish I. I., Naidenskiy M. S., Zaitsev S. Yu. (2018) Managing processes of lipid peroxidation with BAS combination in hen embryogenesis. *Poultry & Chicken Products* [Ptitsa i ptitseprodukty], 5: 56–58 (in Russian)]

Луговая И. С., Азарнова Т. О., Кочиш И. И., Найденский М. С., Зайцев С. Ю. (2019) Влияние естественных метаболитов на зоотехнические показатели цыплят. *Птица и птицепродукты*, 2: 65–67 [Lugovaya I. S., Azarnova T. O., Kochish I. I., Naidenskiy M. S., Zaitsev S. Yu. (2019) The effect of natural metabolites on some zootechnical indicators of chickens. *Poultry & Chicken Products* [Ptitsa i ptitseprodukty], 2: 65–67 (in Russian)]

Назарова Л. Е., Оганова М. А., Абисалова И. Л. (2010) *Активность кислоты феруловой в условиях цитотоксического повреждения*. Пятигорск, Рекламно-информационное агентство на КМВ, 115 с. [Nazarova L. E., Oganova M. A., Abisalova I. L. (2010) *Activity of ferulic acid under conditions of cytotoxic damage*. Pyatigorsk, Advertising and Information Agency in the Caucasian Mineral Waters, 115 p. (in Russian)]

Орлов М.В. (1987) *Биологический контроль в инкубации*. Москва, Россельхозиздат, 223 с. [Orlov M. V. (1987) *Biological control in incubation*. Moscow, Rossel'hozizdat, 223 p. (in Russian)]

Отрыганьев Г.К., Отрыганьева А.Ф. (1982) *Технология инкубации*. Москва, Россельхозиздат, 142 с. [Otryganiev G. K., Otryganieva A. F. (1982) *Incubation technology*. Moscow, Rossel'hozizdat, 142 p. (in Russian)]

Прокудина Н.А., Артеменко А.Б., Огурцова Н.С. (2006) *Методы биологического контроля в инкубации*. Борки, Институт птицеводства УААН, 108 с. [Prokudina N. A., Artemenko A. B., Ogurtsova N. S. (2006) *Methods of biological control in incubation*. Borki, Institute of Poultry of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, 108 p. (in Russian)]

Резвых А.М., Азарнова Т.О., Найденский М.С., Луговая И.С., Остренко К.С. (2019) Реализация антиоксидантных и обменостимулирующих свойств феруловой кислоты для нивелирования гипоксии у эмбрионов кур. *Сборник тезисов VI Международной конференции молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов*. Новосибирск, ИПЦ НГУ, с. 591–594 [Rezvykh A. M., Azarnova T. O., Naidenskiy M. S., Lygovaya I. S., Ostrenko K. S. (2019) Realization of antioxidant and exchange-propertying properties of ferulic acid for leveling hypoxia in chicken embryos. *Collection of Abstracts of the VI International Conference of Young Scientists: Biophysicists, Biotechnologists, Molecular Biologists and Virologists*. Novosibirsk, Publishing and Printing Center of Novosibirsk State University, p. 591–594 (in Russian)]

Садовников Н.В., Придыбайло Н.Д., Верещак Н.А., Заслонов А.С. (2009) *Общие и специальные методы исследования крови птиц промышленных кроссов*. Екатеринбург, Санкт-Петербург, Уральская ГСХА, 86 с. [Sadovnikov N. V., Prydybailo N. D., Vereshchak N. A., Zaslunov A. S. (2009) *General and special methods for the study of the blood of birds of industrial crosses*. Yekaterinburg, St. Petersburg, Ural State Agricultural Academy, 86 p. (in Russian)]

Седова Н.Н. (2018) *Биоэтика: учебник для вузов*. Москва, КНОРУС, 215 с. [Sedova N. N. (2018) *Bioethics: a textbook for universities*. Moscow, KNORUS, 215 p. (in Russian)]

Стасевич О.В., Лихтарович Е.С., Шемет С.Н. (2014) Анализ феруловой кислоты в растениях, содержащих фенилпропаноиды. *Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология*, 4: 200–203 [Stasevich O. V., Likhtarovich E. S., Shemet S. N. (2014) Analysis of ferulic acid in plants containing phenylpropanoids. *Proceedings of BSTU. No. 4. Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology* [Trudy BGTU. № 4. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya], 4: 200–203 (in Russian)]

Сурай П., Фисинин В.И. (2013) Природные антиоксиданты в эмбриогенезе кур и защита от стрессов в постнатальном развитии (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, 48(2): 3–18 [Surai P., Fisinin V. I. (2013) Natural antioxidants in hens' embryogenesis and antistress defence in postnatal development (review). *Agricultural Biology* [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya], 48(2): 3–18 (in Russian)]

Хышиктеев Б.С., Хышиктеева Н.А., Иванов В.Н. (1996) Методы определения продуктов перекисного окисления липидов в конденсате выдыхаемого воздуха и их клиническое значение. *Клиническая лабораторная диагностика*, 3: 13–15 [Khyshiktuev B. S., Khyshiktueva N. A., Ivanov V. N. (1996) Methods for determination of lipid peroxidation products in exhaled air condensate and their clinical significance. *Clinical Laboratory Diagnostics* [Klinicheskaya laboratornaya diagnostika], 3: 13–15 (in Russian)]

Akbarian A., Michiels J., Degroote J., Majdeddin M., Golian A., De Smet S. (2016) Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7: 37

Karadas F., Surai P.F., Sparks N.H. (2011) Changes in broiler chick tissue concentrations of lipid-soluble antioxidants immediately post-hatch. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 160(1): 68–71

Khan R. U., Naz S., Nikousefat Z., Tufarelli V., Javdani M., Rana N., Laudadio V. (2011) Effect of vitamin E in heat-stressed poultry. *World's Poultry Science Journal*, 67(3): 469–478

Khan R.U., Rahman Z.U., Nikousefat Z., Javdani M., Tufarelli V., Dario C., Selvaggi M., Laudadio V. (2012) Immunomodulating effects of vitamin E in broilers. *World's Poultry Science Journal*, 68(1): 31–40

Pokhodenko V.D., Khizhnyi V.A., Bidzilya V.A. (1968) Stable phenoxy-radicals. *Russian Chemical Reviews*, 37(6): 435–448

Shariatmadari F. (2012) Plans of feeding broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 68(1): 21–30

Tyul'kova E. I., Kislin M.S., Vataeva L. A. (2015) The effects of prenatal hypobaric hypoxia on the level of lipid peroxidation in the neocortex and hippocampus of rats. *Neurochemical Journal*, 9(1): 54–59