

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА
ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

УДК 636.52/.58.082.474.1:628.9:612.64
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-48-60>

Поступила в редакцию 12.03.2022
Received 12.03.2022

М. И. Челнокова, А. А. Челноков, Ю. В. Аржанкова, Т. И. Скопцова

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Великие Луки, Российская Федерация

**ВЛИЯНИЕ ФОТОПЕРИОДА КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ
ВО ВРЕМЯ ИНКУБАЦИИ НА РОСТ, ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ
И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭМБРИОНОВ КУР ЯИЧНОГО КРОССА
«ЛОМАНН БРАУН»**

Аннотация. Изучено влияние различных режимов фотопериода красного монохроматического светодиодного освещения яиц в условиях искусственной инкубации на рост, развитие висцеральных органов, гематологический профиль крови, уровень стресса, метаболизм эмбрионов кур и результаты инкубации яичного кросса «Ломанн Браун». На 21-е сутки при 24-часовом световом режиме у эмбрионов отмечалось увеличение длины и массы тела, мышечного желудка, печени, селезенки, а при 18- и 12-часовом режимах – массы тела, мышечного желудка, печени, селезенки. При отсутствии света и 12-часовом световом режиме у эмбрионов наблюдались выраженная лимфоцитопения и нейтрофилия, а также повышение уровня стресса. При 24- и 18-часовом режимах интенсивность дыхания и уровень базального метаболизма у эмбрионов на 21-е сутки развития возрастали по сравнению с развивающимися эмбрионами в отсутствие света и при 12-часовом световом воздействии. Наши исследования свидетельствуют о превосходстве 24- и 18-часового светового режима по количеству выведенных цыплят по отношению к контролю и 12-часовому освещению. Вывод цыплят при этих продолжительных световых режимах был достоверно выше, чем в отсутствие света и при 12-часовом освещении, на 1,99–2,33 п. п. и 4,99–5,33 п. п. соответственно, а выводимость яиц – на 2,16–3,32 п. п. и 3,68–4,84 п. п. Самая высокая эмбриональная жизнеспособность в течение 19–21-х суток выявлена при круглосуточном освещении, а наиболее высокая гибель плода – при 12-часовом освещении. Таким образом, полученные данные указывают на то, что в практике инкубаториев при инкубации яиц кросса «Ломанн Браун» целесообразно использовать непрерывное красное светодиодное освещение, которое способствует интенсивному развитию эмбрионов и их висцеральных органов (мышечный желудок, печень, селезенка), стрессоустойчивости, оптимизации метаболизма, а также повышению вывода цыплят и выводимости яиц.

Ключевые слова: фотопериод, светодиодное освещение, инкубация, эмбрионы кур, висцеральные органы, кровь, метаболизм, вывод цыплят, выводимость яиц

Для цитирования: Влияние фотопериода красного светодиодного освещения во время инкубации на рост, гематологические и физиологические показатели эмбрионов кур яичного кросса «Ломанн Браун» / М. И. Челнокова [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 1. – С. 48–60. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-48-60>

Marina I. Chelnokova, Andrey A. Chelnokov, Julia V. Arzhankova, Tatiana I. Skoptsova

State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russian Federation

**EFFECT OF THE PHOTOPERIOD OF RED LED LIGHTING DURING INCUBATION
ON THE GROWTH, HEMATOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS
OF CHICKEN EMBRYOS OF LOHMANN BROWN CROSS**

Abstract. The effect of various photoperiod modes of red LED lighting on eggs under incubation on the growth, development of visceral organs, hematological profile of blood, stress level, metabolism, chicken embryos and results of incubation of egg of Lohmann Brown cross has been studied. On the 21st day, with a 24-hour light mode, embryos showed an increase in body length and weight, muscle stomach, liver and spleen, and at 18- and 12-hour mode – body weight, muscle stomach, liver and spleen. In the absence of light and 12-hour light mode, embryos showed lymphocytopenia and neutrophilia, and increased stress levels. At the 24- and 18 hours modes, the intensity of respiration and level of basal metabolism in embryos on the 21st

day increased compared to developing embryos in the absence of light and with 12-hour light impact. The 24- and 18-hour modes were superior in terms of number of chickens bred compared to control and 12-hour lighting mode. The hatching under prolonged light was significantly higher than in absence of light and under 12-hour illumination by 1.99–2.33 p.p. and 4.99–5.33 %, and hatchability – by 2.16–3.32 p.p. and 3.68–4.84 %. The highest embryonic viability during 19–21 days was detected with round-the-clock lighting, and the highest fetal death was detected with 12-hour lighting. Thus, in the practice of incubation of eggs of the Lohmann Brown cross, it is advisable to use continuous red LED lighting, which contributes to intensive development of chicken embryos and visceral organs (muscle stomach, liver and spleen), stress resistance, optimization of metabolism, increased hatching and hatchability.

Keywords: photoperiod, LED lighting, incubation, chicken embryos, visceral organs, blood, metabolism, chick hatching, egg hatchability

For citation: Chelnokova M. I., Chelnokov A. A., Arzhankova J. V., Skoptsova T. I. Effect of the photoperiod of red led lighting during incubation on the growth, hematological and physiological parameters of chicken embryos of Lohmann Brown cross. *Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 1, pp. 48–60 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-48-60>

Введение. Птицеводство в настоящее время – одна из важнейших составляющих мирового и отечественного агропромышленного комплекса. Домашняя курица *Gallus gallus* является наиболее распространенным видом сельскохозяйственной птицы, а куриные эмбрионы – известным модельным экспериментальным организмом [1].

Во время инкубации яиц температура, влажность, состав воздуха и поворот лотков в инкубационном шкафу играют важное значение для достижения успешной искусственной инкубации [2]. Свет как важный экзогенный фактор участвует в регуляции многих физиологических и поведенческих процессов у птиц, но использование его при искусственной инкубации обычно не практикуется [3]. Специфика онтогенеза птицы заключается в том, что развитие эмбриона происходит вне материнского организма в окружающей среде, которая влияет на эмбрионы неблагоприятными абиотическими и биотическими факторами [3]. Естественное освещение яиц является необходимым условием для нормального течения раннего и постнатального онтогенеза птиц. Освещение яиц при естественном насиживании домашних птиц вида *Gallus gallus* происходит, когда наседки покидают гнездо для потребления корма [4]. Искусственная инкубация лишает эмбрион полного объема естественной световой стимуляции. Поэтому использование световой стимуляции во время инкубации – один из способов восполнения дефицита естественного освещения.

У многих птиц свет является необходимым для эмбрионального развития и выступает в качестве фактора окружающей среды, влияющего на скорость эмбрионального роста, выводимость и раннее вылупление [5, 6]. Влияние световой стимуляции проявляется в раннем формировании фоторецепторов сетчатки глаз, активности супрахиазматического ядра гипоталамуса и шишковидной железы, которые являются основными компонентами циркадной системы птиц [7].

Применение светового режима во время инкубации изучалось более 60 лет, начиная с работы [8]. В ранних исследованиях установлен положительный стимуляционный эффект ламп накаливания и люминесцентных ламп на развитие куриных эмбрионов и снижение сроков вылупления [9–13]. Исследование эффектов ламп накаливания и люминесцентных ламп во время инкубации на развитие эмбрионов кур стало менее актуальным на сегодняшний день, в то время как светодиодные лампы (LED) приобрели большую популярность благодаря наличию монохроматических вариантов, долговечности, экономичности и высокой энергоэффективности. Их особенность в том, что они производят гораздо меньше тепла и снижают негативные эффекты на температурно-влажностный режим инкубации яиц по сравнению с лампами накаливания и люминесцентными лампами, которые могут вызывать пороки в развитии эмбрионов птиц [3, 14].

Все больше научных работ направлено на изучение влияния непрерывной светодиодной стимуляции различного цветового спектра на эмбриогенез продуктивных птиц современных кроссов [3, 4, 6, 15–19]. Установлено, что рост и развитие куриных эмбрионов зависят от направления продуктивности птиц (яичная, мясная) и цветового спектра непрерывного светодиодного освещения. Зеленый спектр светодиодного освещения во время инкубации наиболее благоприятен для роста и развития эмбрионов кур Arbor Acres [20], Ross 308 [6], а красный – для эмбрионов кур White Leghorn [4], Lohmann Brown [19], белый и красный – для эмбрионов кур Cobb 500 [16].

Одним из факторов, влияющих на рост, развитие, пищевое поведение и обмен веществ птиц, является длина светового дня (фотопериод). Ранее было показано, что использование продолжительного фотопериода (свет 18 ч : темнота 6 ч) приводило к ускорению развития и метаболизма эмбрионов птиц [13, 21]. Так, воздействие 18-часового белого света во время инкубации яиц ускорило эмбриональное развитие и метаболизм домового воробья (*Passer domesticus*) [13]. Повышение темпов роста и оптимизация метаболизма во время инкубации были также отмечены у эмбрионов кур яичной породы White Leghorn, подвергнутых воздействию круглосуточного освещения белым светом в течение первой недели инкубации [21]. Эффект 16-часового белого люминесцентного света с 1-го по 21-й день проявлялся увеличением массы тела эмбрионов кур кросса Ross 308 относительно массы яйца и снижением массы остатка желтка по сравнению с эмбрионами, подвергнутыми воздействию света только на последней неделе инкубации или развивающимися без освещения [22].

В отношении изучения влияния фотопериодов светодиодного освещения яиц во время инкубации на рост, развитие висцеральных органов, гематологические и физиологические показатели эмбрионов кур яичных кроссов литературные данные весьма скудны. Контент-анализ релевантных публикаций в российских и международных базах данных показал, что в основном они направлены на изучение влияния различных по продолжительности режимов фотопериода разного цветового спектра на уровень гормонов соматотропной оси (гормона роста, инсулиноподобного фактора роста I, пролактина) [23, 24], секрецию мелатонина шишковидной железы [24, 25] и транскрипцию РНК опсина сетчатки глаза у эмбрионов бройлеров [26]. Работ, освещающих вопросы влияния фотопериодов светодиодного освещения яиц во время инкубации на результаты инкубации яиц яичных кроссов, мы не встречали, кроме многочисленных исследований в пределах использования непрерывного фотопериода ($C_{24} : T_0$) инкубации яиц мясных и яичных кроссов (пород) в сравнении с инкубацией в темноте ($C_0 : T_{24}$) [4, 12, 19, 27, 28]. В этой связи целью наших исследований было изучение влияния различных режимов фотопериода красного монохроматического светодиодного освещения яиц в условиях искусственной инкубации на рост, развитие висцеральных органов, гематологический профиль крови, уровень стресса, метаболизм эмбрионов кур и результаты инкубации яичного кросса «Ломанн Браун».

Материалы и методы исследований. *Дизайн эксперимента.* Эксперименты проводили в научной лаборатории на базе Великолукской ГСХА. Объектом для исследований служили инкубационные яйца кур кросса «Ломанн Браун», приобретенные в ОАО «Волжанин» Ярославской области (пос. Ермаково, Рыбинский район). Яйца по комплексу основных показателей соответствовали нормативам, подтверждающим их качество как инкубационного яйца. Возраст поголовья родительского стада, от которого получено инкубационное яйцо, – 30 недель. Инкубацию яиц с 1-го по 21-й день проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 (Волгасельмаш, Россия) при стабильном режиме с температурой воздуха ($37,6 \pm 0,1$ °C) и относительной влажностью воздуха 55,0 %, хронологически последовательно дифференцируя световой режим для каждой партии яиц в соответствии с методикой исследований. В предварительных исследованиях выявили, что максимальная скорость роста эмбрионов кросса кур «Ломанн Браун» наблюдается при красном светодиодном спектре [19]. Поэтому для освещения яиц во время инкубации использовали красные светодиодные неоны (Elektrostandard LS001, Россия – Китай), которые были установлены на верхней части инкубатора и излучали монохроматический красный свет с длиной волны 632 нм. Использовали 4 режима фотопериода красного светодиодного освещения яиц: постоянное отсутствие света (контроль) – 0 ч света, 24 ч темноты ($C_0 : T_{24}$); круглосуточное освещение ($C_{24} : T_0$) и чередование света и темноты ($C_{18} : T_6$ и $C_{12} : T_{12}$). Предварительно перед инкубацией яйца взвешивали, отбирали по приблизительно одинаковой массе методом пар-аналогов и закладывали в инкубатор по 200 шт. при каждом экспериментальном режиме. В общей сложности в ходе эксперимента при четырех режимах было заложено 800 инкубационных яиц.

Морфометрические исследования. Инкубируемые яйца вскрывали на 16, 18 и 21-е сутки с соблюдением этических норм при работе с биологическими объектами. Извлеченных эмбрионов в количестве пяти, а также их висцеральные органы (сердце, мышечный желудок, печень, селезенка) обсушивали на фильтровальной бумаге. Длину тела эмбрионов измеряли от верхушки че-

репа до конца хвоста с помощью электронного штангенциркуля Finch Industrial Tools 19856 (Canada Inc.). Массу тела эмбрионов и отдельных висцеральных органов определяли на аналитических весах Сартогосм ЛВ 210-А (Россия).

Относительную массу висцеральных органов к массе тела куриных эмбрионов рассчитывали по формуле И. И. Шмальгаузена:

$$\text{относительная масса органа (\%)} = \text{масса органа (г)} / \text{масса тела эмбриона (г)} \times 100. \quad (1)$$

Гематологические исследования. На 21-е сутки инкубации отбирали образцы крови из яремной вены путем рассечения крупных сосудов шеи эмбрионов ($n = 5$). Подсчет эритроцитов (RBC, $\times 10^{12}/\text{л}$) и лейкоцитов (WBC, $\times 10^9/\text{л}$) проводился по классической методике с помощью камеры Горяева. Для подсчета лейкоцитарных индексов (LYM% – относительное содержание лимфоцитов; MON% – относительное содержание моноцитов; GR% – относительное содержание псевдоэозинофилов; NEUT% – относительное содержание нейтрофилов) были подготовлены мазки крови с дальнейшим окрашиванием по Романовскому – Гимзе. Рассчитывали соотношение нейтрофилов к лимфоцитам (Н : Л) в качестве показателя уровня стресса у куриных эмбрионов от воздействия светодиодного освещения [29]. Соотношение Н : Л, соответствующее значению коэффициента 0,20, характеризует низкий уровень стресса, 0,50 – средний уровень, выше 0,80 – высокий уровень [29].

Физиологические исследования с использованием метода скейлинга. В качестве физиологических показателей рассчитывались интенсивность дыхания и уровень базального метаболизма у эмбрионов кур на 18-е и 21-е сутки инкубации. Для определения интенсивности дыхания использовали формулу аллометрической зависимости уровня выделяемого углекислого газа (Q , CO_2 , мл/ч) от массы тела (M , г) эмбрионов кур в гомеотермной фазе, предложенную А. М. Болотниковым с соавторами [30],

$$Q = 1,84 \times M^{0,739}. \quad (2)$$

Для описания уровня базального метаболизма (теплопродукции) в зависимости от скорости роста и массы тела куриных эмбрионов применяли уравнение наименьших квадратов, предложенное в [31],

$$P = 12,17 \times GR + 1,66 \times M + 1,81, \quad (3)$$

где P – уровень базального метаболизма, ккал/ч; GR – скорость роста, г/сут; M – масса эмбриона, г; 1,66 ккал/г·ч – коэффициент массы, характеризующий затраты на поддерживающий метаболизм; 1,81 – константа, прогнозируемая скорость метаболизма эмбриона с нулевой массой (M) и скоростью роста (GR).

В ходе исследований учитывали основные показатели биологического контроля: эмбриональную смертность, выводимость яиц, вывод молодняка.

Статистический анализ. Статистическая оценка данных проводилась в программе Statistica 10.0 (Statsoft Inc, USA, 2010). Нормальность распределения выборок определялась с помощью Shapiro-Wilk's W-test. При нормальном распределении выборок применяли параметрический дисперсионный анализ One-way Anova с апостериорным анализом Bonferroni test (B-test), а при ненормальном – непараметрический критерий Mann-Whitney U-test (M-W U-test).

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены результаты влияния фотопериодов красного светодиодного освещения во время инкубации на эмбриональный рост кур и их висцеральных органов на 16, 18 и 21-е сутки развития. Под влиянием круглосуточного освещения ($C_{24} : T_0$) на 16-е сутки эмбриогенеза куриные эмбрионы превосходили в длине и массе тела ($p = 0,021^A$; M-W U-test) эмбрионов, инкубируемых без освещения ($C_0 : T_{24}$), при 18- и 12-часовом освещении ($C_{18} : T_6$ и $C_{12} : T_{12}$) – только в массе тела ($p = 0,021^A$; M-W U-test). На 16-е сутки отмечалось отставание в развитии массы мышечного желудка ($p = 0,013^A$; $p = 0,038^A$; $p = 0,008^A$; B-test, соответственно) и селезенки ($p = 0,000^A$; B-test) при всех световых режимах ($C_{24} : T_0$, $C_{18} : T_6$, $C_{12} : T_{12}$). К 18-м суткам развития воздействие длительных 24- и 18-часовых световых режимов стимулировало рост массы тела эмбрионов кур ($p = 0,021^A$; M-W U-test), сердца ($p = 0,011^A$; M-W U-test), мышечного желудка ($p = 0,012^A$; M-W U-test). К периоду вылупления на 21-е сутки при круглосу-

точном световом освещении ($C_{24} : T_0$) у куриных эмбрионов отмечалось увеличение длины ($p = 0,012^A$) и массы тела ($p = 0,012^A$), мышечного желудка ($p = 0,021^A$), печени ($p = 0,012^A$), селезенки ($p = 0,011^A$; M-W U-test), а при чередовании света и темноты ($C_{18} : T_6$ и $C_{12} : T_{12}$) – массы тела ($p = 0,012^A$), мышечного желудка ($p = 0,021^A$), печени ($p = 0,012^A$), селезенки ($p = 0,011^A$; $p = 0,035^A$; M-W U-test, соответственно).

Результаты сравнительного анализа между разными по длительности освещенными ($C_{24} : T_0$, $C_{18} : T_6$, $C_{12} : T_{12}$) не выявили достоверных различий в весовых показателях висцеральных органов ($p > 0,05$). Высокие значения длины тела эмбрионов были получены при круглосуточном освещении ($p = 0,036^B$; M-W U-test) на 21-е сутки развития по отношению к 18- и 12-часовому освещению, а в массе тела – в сравнении с 12-часовым режимом ($p = 0,012^B$; M-W U-test). Отмечалось снижение относительной массы мышечного желудка у куриных эмбрионов на 16-е сутки развития при фотопериодах $C_{24} : T_0$ и $C_{12} : T_{12}$, а также селезенки – на 18-е сутки при режиме $C_{24} : T_0$. Повышение относительного роста мышечного желудка и селезенки наблюдалось на 21-е сутки при всех фотопериодах ($C_{24} : T_0$, $C_{18} : T_6$, $C_{12} : T_{12}$), но различий между ними не выявлено ($p > 0,05$).

К сожалению, до сих пор пока нет полного представления о механизме влияния света на развитие птиц как в эмбриональный, так и в постэмбриональный периоды. Но очевидно, что имеет место фотобиологический процесс, в котором должна быть и фотособирающая система, и фотохимический центр. Известно, что воздействие непрерывного светодиодного света в процессе инкубации стимулирует выработку гормонов соматотропной оси (гормона роста (GH), инсулиноподобного фактора роста I (IGF-I) и пролактина), которые, по мнению многих авторов [3, 24], играют решающую роль в качестве модуляторов формирования тканей, органов и напрямую влияют на рост и развитие куриного эмбриона. Так, обнаружено значительное увеличение экспрессии РНК гормона роста гипоталамуса с 16-х по 20-е сутки у эмбрионов, развитие которых происходило при зеленом освещении с фотопериодом 15 мин свет и 15 мин темнота во время инкубации [15]. Ориентируясь на эти данные, можно полагать, что механизмы, опосредующие возможные стимулирующие эффекты разных по продолжительности фотопериодов красного светодиодного света на развитие куриных эмбрионов и их органов, связаны с изменениями в функциональной активности соматотропной оси в процессе эмбриогенеза.

В пользу рассмотренных выше суждений следует подчеркнуть, что в литературе встречается неоднозначная информация о влиянии разного цветового спектра светодиодного освещения во время инкубации на развитие эмбрионов и их органов у различных пород (кроссов) курицы. В исследованиях зарубежных авторов показан стимуляционный положительный эффект непрерывного зеленого освещения во время инкубации по сравнению с красным, синим и в темноте, проявляющийся на поздних стадиях эмбриогенеза выраженным развитием куриных эмбрионов Arbor Acres и ростом их скелетных мышц за счет усиления пролиферации и дифференцировки сателлитных клеток [20]. Однако непрерывное красное монохроматическое освещение является более эффективным для развития эмбрионов породы White Leghorn, поскольку повышает выводимость и качество птенцов по сравнению с белым освещением [4]. Позднее исследование этого автора показало, что для развития эмбрионов кросса Cobb 500 эффективным оказалось непрерывное красное и белое монохроматическое освещение по сравнению с зеленым освещением, поскольку повышало выводимость, качество молодняка и усиливало устойчивость птенцов к стрессу в постнатальном онтогенезе [16]. Собственные данные указывают на то, что непрерывное красное светодиодное освещение яиц яичного кросса «Ломанн Браун» во время инкубации является более эффективным, поскольку повышает массу тела эмбрионов и ускоряет процессы энергетического обмена по сравнению с зеленым освещением [19].

В научной литературе имеются отдельные сообщения, указывающие на то, что различные по продолжительности фотопериоды во время инкубации стимулируют эмбриональный рост кур и их органов. Например, использование 15 мин включения и 15 мин выключения зеленого светодиодного света оказывает стимулирующее влияние на массу тела эмбрионов бройлеров и секрецию мелатонина шишковидной железы [15]. Прерывистое зеленое светодиодное освещение ($C_{12} : T_{12}$) стимулирует рост печени и шишковидной железы эмбрионов породы White Leghorn [32]. Согласно данным, полученным в работе [33], до образования шишковидной железы свет влияет на митоз

Таблица 1. Влияние фотопериода на абсолютные размеры величины тела эмбрионов кур и относительные величины их висцеральных органов на 16, 18 и 21-е сутки развития

Table 1. Effect of the photoperiod on the absolute body sizes of chicken embryos and the relative sizes of their visceral organs on the 16th, 18th and 21st days of development

Показатель	16-е						18-е						21-е					
	Сутки развития						Сутки развития						Сутки развития					
	C ₀ : T ₂₄ (контроль)	C ₂₄ : T ₀	C ₁₈ : T ₆	C ₁₂ : T ₁₂	C ₀ : T ₂₄ (контроль)	C ₂₄ : T ₀	C ₁₈ : T ₆	C ₁₂ : T ₁₂	C ₀ : T ₂₄ (контроль)	C ₂₄ : T ₀	C ₁₈ : T ₆	C ₁₂ : T ₁₂	C ₀ : T ₂₄ (контроль)	C ₂₄ : T ₀	C ₁₈ : T ₆	C ₁₂ : T ₁₂		
<i>Абсолютные значения росто-весовых показателей</i>																		
ДТ, см	7,420 ± 0,066	7,730 ± 0,064 ^A	7,601 ± 0,090	7,538 ± 0,147	8,388 ± 0,220	8,660 ± 0,152	8,602 ± 0,123	8,570 ± 0,056	10,024 ± 0,045	10,634 ± 0,129 ^A	10,375 ± 0,188 ^{A,B}	10,014 ± 0,192 ^{B,C}	7,420 ± 0,066	7,730 ± 0,064 ^A	7,601 ± 0,090	7,538 ± 0,147	8,388 ± 0,220	
МТ, г	13,92 ± 0,23	15,50 ± 0,40 ^A	15,31 ± 0,43 ^A	15,61 ± 0,39 ^A	23,82 ± 0,24	25,66 ± 0,38 ^A	25,11 ± 0,25 ^A	24,98 ± 1,02	39,16 ± 0,13	41,17 ± 0,25 ^A	41,23 ± 0,33 ^A	40,13 ± 0,16 ^A	13,92 ± 0,23	15,50 ± 0,40 ^A	15,31 ± 0,43 ^A	15,61 ± 0,39 ^A	23,82 ± 0,24	
МС, г	0,138 ± 0,002	0,141 ± 0,002	0,143 ± 0,002	0,145 ± 0,009	0,169 ± 0,011	0,219 ± 0,009 ^A	0,233 ± 0,003 ^A	0,184 ± 0,011	0,291 ± 0,001	0,292 ± 0,002	0,287 ± 0,002	0,291 ± 0,001	0,138 ± 0,002	0,141 ± 0,002	0,143 ± 0,002	0,145 ± 0,009	0,169 ± 0,011	
ММЖ, г	0,573 ± 0,010	0,482 ± 0,018 ^A	0,494 ± 0,012 ^A	0,477 ± 0,026 ^A	1,059 ± 0,021	1,230 ± 0,051 ^A	1,265 ± 0,063 ^A	1,061 ± 0,069	1,455 ± 0,050	1,720 ± 0,085 ^A	1,750 ± 0,076 ^A	1,704 ± 0,084 ^A	0,573 ± 0,010	0,482 ± 0,018 ^A	0,494 ± 0,012 ^A	0,477 ± 0,026 ^A	1,059 ± 0,021	
МП, г	0,337 ± 0,039	0,361 ± 0,008	0,326 ± 0,023	0,349 ± 0,011	0,460 ± 0,024	0,532 ± 0,010	0,542 ± 0,009	0,509 ± 0,014	0,891 ± 0,001	0,920 ± 0,001 ^A	0,920 ± 0,002 ^A	0,912 ± 0,003 ^A	0,337 ± 0,039	0,361 ± 0,008	0,326 ± 0,023	0,349 ± 0,011	0,460 ± 0,024	
МСел, г	0,012 ± 0,001	0,008 ± 0,001 ^A	0,008 ± 0,001 ^A	0,008 ± 0,001 ^A	0,016 ± 0,002	0,011 ± 0,001	0,013 ± 0,001	0,017 ± 0,001	0,022 ± 0,002	0,034 ± 0,001 ^A	0,037 ± 0,001 ^A	0,032 ± 0,002 ^A	0,012 ± 0,001	0,008 ± 0,001 ^A	0,008 ± 0,001 ^A	0,008 ± 0,001 ^A	0,016 ± 0,002	
<i>Относительная масса органов к массе эмбрионов, %</i>																		
МС	0,99 ± 0,02	0,91 ± 0,03	0,93 ± 0,03	0,93 ± 0,07	0,71 ± 0,04	0,86 ± 0,04	0,93 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,01	0,71 ± 0,01	0,70 ± 0,01	0,72 ± 0,01	0,99 ± 0,02	0,91 ± 0,03	0,93 ± 0,03	0,93 ± 0,07	0,71 ± 0,04	
ММЖ	4,12 ± 0,08	3,11 ± 0,12 ^A	3,24 ± 0,12	3,07 ± 0,22 ^A	4,45 ± 0,09	4,80 ± 0,25	5,05 ± 0,30	4,27 ± 0,28	3,71 ± 0,13	4,18 ± 0,21 ^A	4,25 ± 0,20 ^A	4,24 ± 0,20 ^A	4,12 ± 0,08	3,11 ± 0,12 ^A	3,24 ± 0,12	3,07 ± 0,22 ^A	4,45 ± 0,09	
МП	2,45 ± 0,29	2,33 ± 0,04	2,12 ± 0,10	2,24 ± 0,07	1,93 ± 0,09	2,08 ± 0,06	2,16 ± 0,04	2,04 ± 0,03	2,28 ± 0,01	2,24 ± 0,01	2,23 ± 0,02	2,27 ± 0,01	2,45 ± 0,29	2,33 ± 0,04	2,12 ± 0,10	2,24 ± 0,07	1,93 ± 0,09	
МСел	0,08 ± 0,01	0,05 ± 0,001	0,05 ± 0,002	0,05 ± 0,002	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,003 ^A	0,05 ± 0,002	0,07 ± 0,004	0,06 ± 0,004	0,08 ± 0,002 ^A	0,09 ± 0,002 ^A	0,08 ± 0,01 ^A	0,08 ± 0,01	0,05 ± 0,001	0,05 ± 0,002	0,05 ± 0,002	0,07 ± 0,01	

Примечания: 1. Здесь и в табл. 2, а также на рис. 1–3^A – статистически значимое отличие в показателях при разных фотопериодах (C₂₄: T₀; C₁₈: T₆; C₁₂: T₁₂) по отношению к контролю (C₀: T₂₄); ^B – статистически значимое отличие в показателях при фотопериоде C₂₄: T₀ по отношению к фотопериодам C₁₈: T₆ и C₁₂: T₁₂; ^C – статистически значимое отличие между показателями при фотопериодах C₁₈: T₆ и C₁₂: T₁₂.

2. ДТ – длина тела, МТ – масса тела, МС – масса сердца, ММЖ – масса мышечного желудка, МП – масса печени, МСел – масса селезенки.

нервного гребня. После образования шишковидной железы свет действует на развитие куриного эмбриона главным образом путем модуляции синтеза мелатонина. Монохроматический светодиодный свет способствует выработке мелатонина, который влияет на секрецию гормонов соматотропной оси (GH и IGF-I) и оказывает комплексное воздействие на регуляцию роста куриных эмбрионов и его органов [6, 3, 16]. Установлено, что циркадная ритмичность биосинтеза мелатонина формируется в течение третьей недели эмбрионального развития, а ежедневный паттерн синтеза мелатонина отражает продолжительность фотопериода, которому подвергались куриные эмбрионы во время инкубации [34]. Кроме того, исследования [25] показали, что амплитуда ритма мелатонина отражает не только продолжительность фотопериода, но и спектр цветового света, которым подвергались эмбрионы во время инкубации. Авторами определена максимальная секреция мелатонина пинеальной железы у 20-дневных эмбрионов кросса Ross 308, развитие которых проходило при красном и белом светодиодном освещении, а наименьшая – у эмбрионов, развивающихся при синем освещении [25].

Интересно, что рецепторы мелатонина у куриных эмбрионов формируются раньше, в начале второй недели (8-е сутки), чем ритмичный биосинтез мелатонина [35]. Рецепторы мелатонина экспрессируются во многих структурах головного мозга птиц, особенно в структурах, связанных со зрительной системой [36]. Их самая высокая плотность выявлена на 18-е сутки эмбриогенеза, она снижается в течение постэмбрионального развития [37]. Высокая плотность рецепторов мелатонина в течение эмбриональной жизни птицы свидетельствует об их важной роли, особенно в развитии головного мозга [38]. Обнаружено, что мелатонин увеличивает митотическую активность астроцитов в головном мозге птиц [39] и может быть вовлечен в латерализацию головного мозга. Последнее исследование указывает на то, что при воздействии прерывистого зеленого светодиодного света на соматотропную ось критический период развития куриных эмбрионов кросса Cobb 500 наступает на заключительных стадиях эмбрионального развития, после 18-х суток, когда биосинтез мелатонина резко возрастает. Вышеуказанные литературные данные приводят нас к размышлению о необходимости дальнейших исследований для выяснения вопроса, насколько тесно связана селекция домашних птиц с пролиферацией и дифференцировкой клеток органов, регуляцией гормонов (GH и IGF-I) и развитием куриного эмбриона при воздействии светодиодного освещения разного цветового спектра и фотопериодов.

Различная продолжительность фотопериодов красного светодиодного освещения оказывала влияние на гематологический профиль крови куриных эмбрионов в последние сутки развития (табл. 2). Гематологические показатели крови куриных эмбрионов претерпевали значительные изменения под воздействием красного светодиодного освещения с фотопериодом $C_{12} : T_{12}$. Сначала содержание эритроцитов крови эмбрионов кур повышалось от $1,26 \times 10^{12}/л$ до $1,90 \times 10^{12}/л$ при увеличении освещения от 0 до 12 ч ($C_{12} : T_{12}$, $p = 0,039^A$; B-test), а затем снижалось до $1,32 \times 10^{12}/л$ при круглосуточном световом воздействии ($C_{24} : T_{10}$, $p = 0,034^A$; B-test). Содержание лейкоцитов было больше при всех световых режимах в пределах от 44,32 до 49,76 п. п. ($p = 0,000^A$; B-test) по сравнению с контролем. Выявлено достоверное повышение лейкоцитов на 9,76 п. п. при световом режиме $C_{12} : T_{12}$ в сравнении с режимом $C_{18} : T_6$ ($p = 0,000^C$; B-test).

Таблица 2. Влияние фотопериода на гематологический профиль крови куриных эмбрионов на 21-е сутки развития

Table 2. Effect of the photoperiod on the hematological blood profile of chicken embryos on the 21st day of development

Показатель	Фотопериод			
	$C_0 : T_{24}$ (контроль)	$C_{24} : T_0$	$C_{18} : T_6$	$C_{12} : T_{12}$
RBC, $\times 10^{12}/л$	$1,26 \pm 0,14$	$1,32 \pm 0,12^A$	$1,74 \pm 0,21$	$1,90 \pm 0,06^A$
WBC, $\times 10^9/л$	$20,60 \pm 1,12$	$37,00 \pm 1,22^A$	$31,80 \pm 0,92^A$	$41,00 \pm 1,87^{A,C}$
NEUT, %	$33,80 \pm 2,13$	$22,60 \pm 1,08^A$	$17,80 \pm 0,92^A$	$30,60 \pm 0,60^{B,C}$
GR, %	$6,20 \pm 0,37$	$7,00 \pm 1,34$	$5,40 \pm 0,51$	$3,60 \pm 1,12^{A,C}$
MON, %	$6,20 \pm 1,28$	$2,80 \pm 0,37^A$	$4,20 \pm 0,20^B$	$4,20 \pm 0,73^B$
LYM, %	$58,00 \pm 2,61$	$72,00 \pm 3,71^A$	$72,20 \pm 2,99^A$	$64,60 \pm 1,12^{B,C}$

Наибольшее число нейтрофилов – от 30,60 до 33,80 п. п. – установлено при фотопериоде $C_{12} : T_{12}$ и при отсутствии света, а наименьшее – от 17,80 до 22,60 п. п. – при фотопериодах $C_{18} : T_6$ и $C_{24} : T_0$. Количество псевдоэозинофилов было низким только при 12-часовом световом режиме ($p = 0,034^A$; B-test). Вместе с тем содержание моноцитов при постоянном освещении уменьшилось в 1,50 ($p = 0,024^B$; M-W U-test) и 2,21 раза ($p = 0,018^A$; M-W U-test) по сравнению с фотопериодом $C_{18} : T_6$ и в режиме с полным отсутствием света. Обращает на себя внимание существенное возрастание лимфоцитов крови при круглосуточном освещении и 18-часовом режиме, а в отсутствие света и при 12-часовом световом режиме – их снижение. Таким образом, при отсутствии света и 12-часовом световом режиме у куриных эмбрионов наблюдались четко выраженная лимфоцитопения и нейтрофилия, что указывает на определенное стрессовое состояние эмбрионов. Данный факт подтвердился при расчете соотношения нейтрофилов к лимфоцитам (Н : Л) на 21-е сутки развития в качестве показателя уровня стресса у куриных эмбрионов (рис. 1).

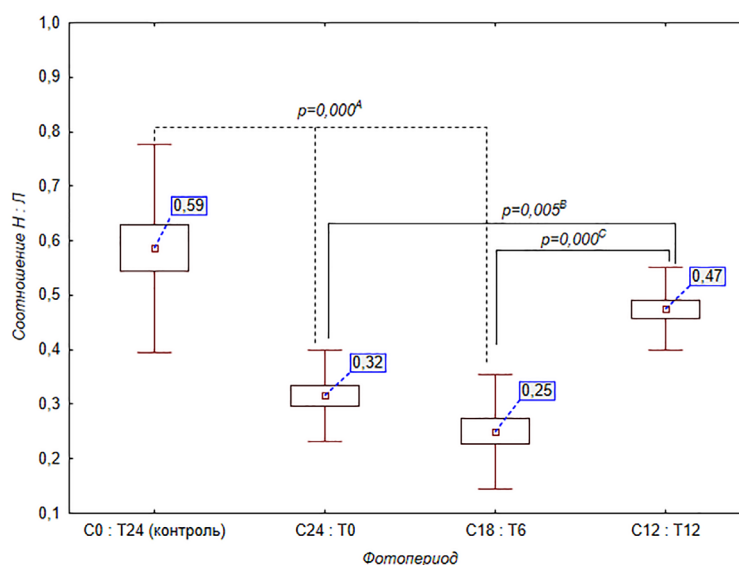


Рис. 1. Влияние фотопериода на соотношение нейтрофилов к лимфоцитам крови куриных эмбрионов на 21-е сутки развития (Bonferroni test)

Fig. 1. Effect of the photoperiod on the ratio of neutrophils to blood lymphocytes of chicken embryos on the 21st day of development (Bonferroni test)

На рис. 1 продемонстрированы наибольшие коэффициенты Н : Л крови куриных эмбрионов при отсутствии света и 12-часовом световом режиме. При 24- и 18-часовом световых режимах коэффициенты Н : Л крови куриных эмбрионов были ниже и соответствовали невысокому уровню стресса. Информация о фотопериоде окружающей среды передается в эндокринные системы посредством связи «свет – мозг – гипофиз» с последующей гормональной регуляцией функций различных тканей, в частности крови. Основным регулятором стресса у птиц является гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось [29]. Повышение доли нейтрофилов к лимфоцитам может быть объяснено исследованиями, представленными в работе [29], которые связывают их увеличение с высоким уровнем глюкокортикоидов в кровяном русле в ответ на стресс-факторы, например температуру, свет, темноту и другие.

Изучение интенсивности дыхания и уровня базального метаболизма у эмбрионов кур, подвергшихся светодиодному освещению с разной продолжительностью фотопериода, показало различную интенсификацию у них обменных процессов (рис. 2). На 18-е сутки развития интенсивность дыхания и уровень метаболизма эмбрионов кур варьировали в незначительных пределах и четкой зависимости выявить не удалось ($p > 0,05$). Однако на 21-е сутки влияние фотопериодов проявлялось в повышении данных физиологических параметров. Так, при более длительных световых режимах (24- и 18-часовом) интенсивность дыхания у куриных эмбрионов на 21-е сутки

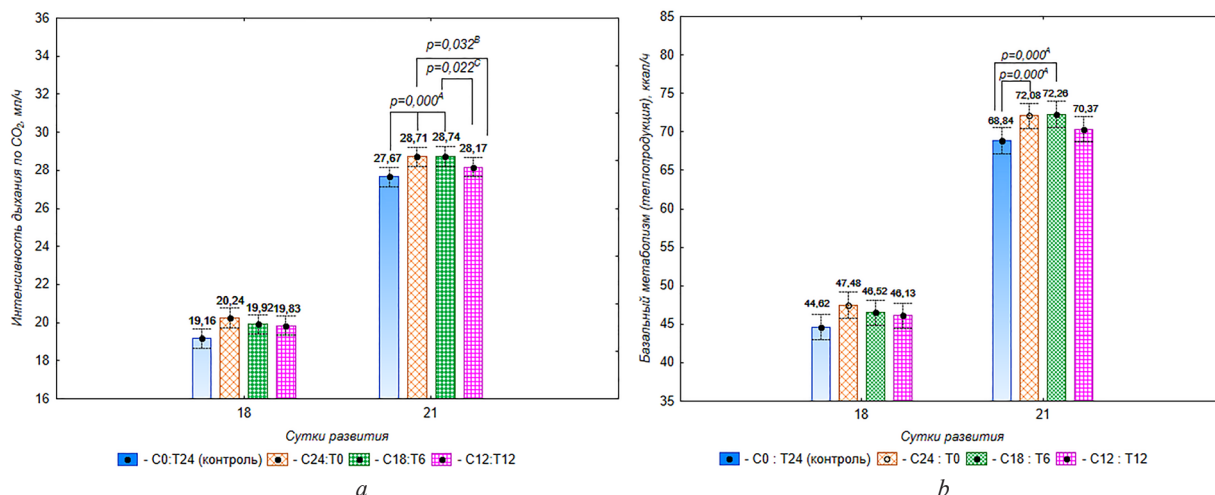


Рис. 2. Влияние фотопериода на интенсивность дыхания (по выделению CO₂, мл/ч) (a) и уровень базального метаболизма (теплопродукция, ккал/ч) (b) куриных эмбрионов на 18-е и 21-е сутки развития (Bonferroni test)

Fig. 2. Effect of the photoperiod on the respiratory rate (by CO₂ release, ml/h) (a) and the level of basal metabolism (heat production, kcal/h) (b) of chicken embryos on the 18th and 21st days of development (Bonferroni test)

развития возрастает по сравнению с развивающимися эмбрионами в отсутствие света и при 12-часовом световом воздействии на 3,62–4,06 п. п. и 1,88–1,98 п. п. соответственно, а уровень метаболизма – на 4,49–4,73 п. п. и 2,37–2,61 п. п. В определенной степени результаты наших исследований согласуются с опубликованными ранее данными. Например, в исследованиях [13] на эмбрионах домового воробья (*Passer domesticus*) установлено, что средний уровень интенсивности выделения CO₂ возрастает с увеличением длительности освещения во время инкубации яиц (сравнение фотопериодов C₀:T₂₄, C₁₂:T₁₂ и C₁₈:T₆). Наименьший уровень метаболизма на 20-е сутки развития выявлен нами ранее у эмбрионов кур кросса «Ломанн Браун», постоянно инкубируемых в темноте, по сравнению с непрерывным красным и зеленым светодиодным освещением [19].

Оптимизация метаболизма определила более высокую жизнеспособность эмбрионов, подвергшихся разному по длительности световому воздействию (рис. 3, b), что и показали результаты исследования биологического контроля инкубации (рис. 3, a). Наши исследования свидетельствуют о превосходстве 24- и 18-часового светового режима по количеству выведенных цыплят

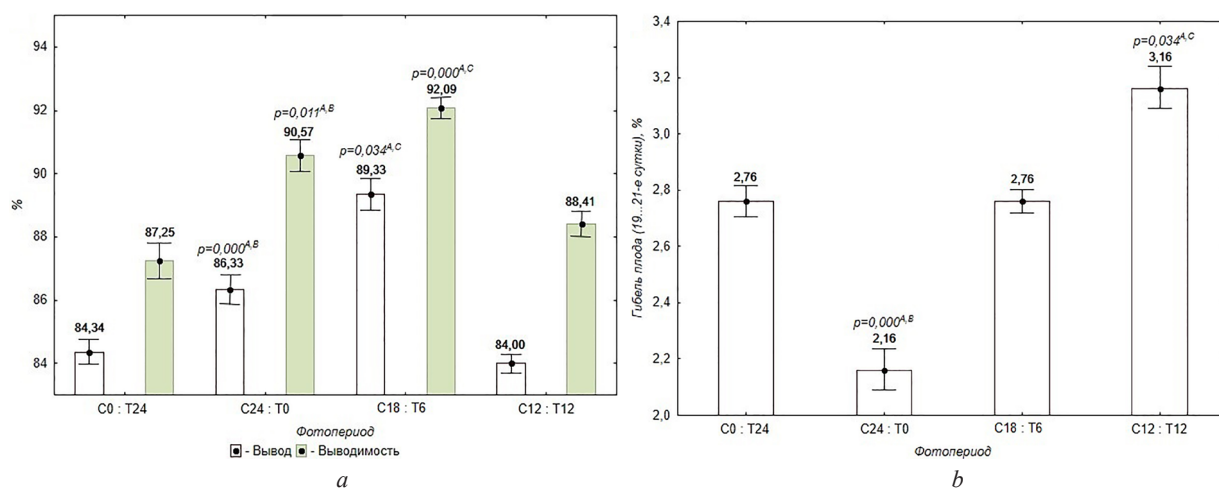


Рис. 3. Влияние фотопериода на результаты инкубации, %: a – вывод цыплят, выводимость яиц; b – гибель плода в течение 19–21-х суток (Bonferroni test)

Fig. 3. Effect of photoperiod on incubation results, %: a – hatching of chickens, hatching of eggs; b – fetal death within 19–21 days (Bonferroni test)

по отношению к контролю и 12-часовому освещению. Так, вывод цыплят при этих продолжительных световых режимах был достоверно выше, чем в отсутствие света и при 12-часовом освещении, на 1,99–2,33 п. п. ($p = 0,000^{A,B}$) и 4,99–5,33 п. п. ($p = 0,034^{A,C}$) соответственно, а выводимость яиц – на 2,16–3,32 п. п. ($p = 0,011^{A,B}$) и 3,68–4,84 п. п. ($p = 0,000^{A,C}$). Самая высокая эмбриональная жизнеспособность в течение 19–21-х суток выявлена при круглосуточном освещении, а наиболее высокая гибель плода – при 12-часовом освещении (см. рис. 3, б).

Заключение. В настоящем исследовании при использовании красного светодиодного освещения яиц во время инкубации впервые изучено влияние фотопериодов на рост, развитие висцеральных органов, гематологические и физиологические показатели кур яичного кросса «Ломанн Браун». На основе сравнительного анализа фотопериодов по продолжительности светового воздействия было показано, что использование непрерывного красного светодиодного освещения ($C_{24}:T_0$) во время инкубации способствовало интенсивному развитию куриных эмбрионов и их висцеральных органов (мышечный желудок, печень, селезенка), стрессоустойчивости, оптимизации метаболизма, а также повышению вывода цыплят и выводимости яиц. Перспективы дальнейшего исследования мы видим в более детальном изучении влияния фотопериодов во время инкубации на раннее постнатальное развитие цыплят и их органов, иммунный статус.

Список использованных источников

1. Evolutionary subdivision of domestic chickens: implications for local breeds as assessed by phenotype and genotype in comparison to commercial and fancy breeds / T. A. Larkina [et al.] // *Agriculture*. – 2021. – Vol. 11, № 10. – Art. 914. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100914>
2. Chelnokova, M. I. Differential incubation temperature effects on growth of hisex brown chick embryos and development of their visceral organs / M. I. Chelnokova // *Russ. Agricult. Sci.* – 2021. – Vol. 47, № 4. – P. 418–424. <https://doi.org/10.3103/S1068367421040042>
3. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 1. Effects on embryo development and hatching performance in broiler hatching eggs / X. Li [et al.] // *Poult. Sci.* – 2021. – Vol. 100, № 9. – Art. 101336. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101336>
4. Archer, G. S. Effect of exposing layer and broiler eggs to red or white light during incubation / G. S. Archer // *Int. J. Poult. Sci.* – 2015. – Vol. 14, № 9. – P. 491–496. <https://doi.org/10.3923/ijps.2015.491.496>
5. Rogers, L. J. Steroid hormones influence light-dependent development of visual projections to the forebrain (Commentary on Letzner et al., 2020) / L. J. Rogers // *Eur. J. Neurosci.* – 2020. – Vol. 52, № 6. – P. 3572–3574. <https://doi.org/10.1111/ejn.14851>
6. Effect of exposure to different light colors on embryonic development and neurophysiological traits in the chick embryo / S. M. Abdulateef [et al.] // *Vet. World.* – 2021. – Vol. 14, № 5. – P. 1284–1289. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1284-1289>
7. Photoperiodic control of seasonality in birds / A. Dawson [et al.] // *J. Biol. Rhythms.* – 2001. – Vol. 16, № 4. – P. 365–380. <https://doi.org/10.1177/074873001129002079>
8. Peters, J. J. Electrical studies of functional development of the eye and optic lobes in the chick embryo / J. J. Peters, A. R. Vonderahe, T. H. Powers // *J. Exp. Zool.* – 1958. – Vol. 139, № 3. – P. 459–468. <https://doi.org/10.1002/JEZ.1401390305>
9. Erwin, W. T. Response of the developing embryo to light / W. T. Erwin, M. A. Boone, B. D. Barnett // *Poult. Sci.* – 1971. – Vol. 50, № 6. – P. 1883–1884. <https://doi.org/10.3382/ps.0501883>
10. Andrews, D. K. A comparison of energy efficient house lighting source and photoperiods / D. K. Andrews, N. G. Zimmerman // *Poult. Sci.* – 1990. – Vol. 69, № 9. – P. 1471–1479. <https://doi.org/10.3382/ps.0691471>
11. Shafey, T. M. Embryonic growth, hatching time and hatchability performance of meat breeder eggs incubated under continuous green light / T. M. Shafey, T. H. Al-Mohsen // *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* – 2002. – Vol. 15, № 12. – P. 1702–1707. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.1702>
12. Archer, G. S. Effect of providing light during incubation on the health, productivity, and behavior of broiler chickens / G. S. Archer, H. L. Shivaprasad, J. A. Mench // *Poult. Sci.* – 2009. – Vol. 88, № 1. – P. 29–37. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00221>
13. Light increases the rate of embryonic development: implications for latitudinal trends in incubation period / C. B. Cooper [et al.] // *Funct. Ecol.* – 2011. – Vol. 25, № 4. – P. 769–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01847.x>
14. The relationship of spectral sensitivity with growth and reproductive response in avian breeders (*Gallus gallus*) / Y.-F. Yang [et al.] // *Sci. Rep.* – 2016. – Vol. 6, № 1. – Art. 19291. <https://doi.org/10.1038/srep19291>
15. Monochromatic light stimuli during embryogenesis enhance embryo development and posthatch growth / I. Rozenboim [et al.] // *Poult. Sci.* – 2004. – Vol. 83, № 8. – P. 1413–1419. <https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1413>
16. Archer, G. S. Exposing broiler eggs to green, red and white light during incubation / G. S. Archer // *Animal.* – 2017. – Vol. 11, № 7. – P. 1203–1209. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000143>
17. Effect of a photoperiodic green light programme during incubation on embryo development and hatch process / Q. Tong [et al.] // *Animal.* – 2018. – Vol. 12, № 4. – P. 765–773. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002117>
18. Soliman, F. N. K. Light wavelengths/colors: future prospects for broiler behavior and production / F. N. K. Soliman, K. El-Sabrou // *J. Vet. Behav.* – 2020. – Vol. 36. – P. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.014>

19. Челнокова, М. И. Развитие и метаболизм эмбрионов курицы в эмбриогенезе при разном светодиодном освещении яиц во время инкубации / М. И. Челнокова, Ф. И. Сулейманов, А. А. Челноков // *Иппология и ветеринария*. – 2021. – № 4 (42). – С. 219–224.
20. Monochromatic light affects the development of chick embryo liver via an anti-oxidation pathway involving melatonin and the melatonin receptor Mel1c / T. Wang [et al.] // *Can. J. Anim. Sci.* – 2014. – Vol. 94, № 3. – P. 391–400. <https://doi.org/10.4141/cjas2013-177>
21. Photon acceleration of development in chick embryos / P. B. Siegel [et al.] // *Biochem. Physiol.* – 1969. – Vol. 28, № 2. – P. 753–758. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(69\)92108-2](https://doi.org/10.1016/0010-406X(69)92108-2)
22. Photoperiodic lighting (16 hours of light:8 hours of dark) programs during incubation: 1. Effects on growth and circadian physiological traits of embryos and early stress response of broiler chickens / S. Özkan [et al.] // *Poult. Sci.* – 2012. – Vol. 91, № 11. – P. 2912–2921. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02426>
23. In-ovo monochromatic light photostimulation enhances embryonic somatotropic axis activity / L. Dishon [et al.] // *Poult. Sci.* – 2017. – Vol. 96, № 6. – P. 1884–1890. <https://doi.org/10.3382/ps/pew489>
24. In ovo green light photostimulation during the late incubation stage affects somatotropic axis activity / L. Dishon [et al.] // *Poult. Sci.* – 2021. – Vol. 100, № 2. – P. 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.031>
25. Drozdova, A. The effect of different wavelengths of light during incubation on the development of rhythmic pineal melatonin biosynthesis in chick embryos / A. Drozdova, M. Okuliarova, M. Zeman // *Animal.* – 2019. – Vol. 13, № 8. – P. 1635–1640. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003695>
26. The effect of monochromatic photostimulation on growth and development of broiler birds / I. Rozenboim [et al.] // *Gen. Comp. Endocrinol.* – 2013. – Vol. 190. – P. 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.06.027>
27. Huth, J. C. Effects of LED lighting during incubation on layer and broiler hatchability, chick quality, stress susceptibility and post-hatch growth / J. C. Huth, G. S. Archer // *Poult. Sci.* – 2015. – Vol. 94, № 12. – P. 3052–3058. <https://doi.org/10.3382/ps/pev298>
28. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 2. Effects on early posthatch growth, immune response, and production performance in broiler chickens / X. Li [et al.] // *Poult. Sci.* – 2021. – Vol. 100, № 9. – Art. 101328. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101328>
29. Scanes, C. G. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio / C. G. Scanes // *Poult. Sci.* – 2016. – Vol. 95, № 9. – P. 2208–2215. <https://doi.org/10.3382/ps/pew137>
30. Экология раннего онтогенеза птиц / А. М. Болотников [и др.]; [отв. ред. Н. Н. Данилов]. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. – 228 с.
31. Vleck, C. M. Metabolism and energetics of reptilian and avian embryos / C. M. Vleck, D. F. Hoyt // *Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles* / ed.: D. C. Deeming, M. W. J. Ferguson. – Cambridge, 2004. – P. 285–306. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511585739.019>
32. Monochromatic green light stimulation during incubation shortened the hatching time via pineal function in White Leghorn eggs / P. Wang [et al.] // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* – 2021. – Vol. 12. – Art. 17. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00539-x>
33. Light as exogenous factor can control metabolic disorders and impact embryonic development in broiler chickens – a review / M. Hassanzadeh [et al.] // *Europ. Poult. Sci.* – 2019. – Vol. 83. – Art. 257. <https://doi.org/10.1399/eps.2019.257>
34. Zeman, M. Ontogeny of N-acetyltransferase activity rhythm in pineal gland of chick embryo / M. Zeman, H. Illnerova // *Comp. Biochem. Physiol. Part A Physiol.* – 1990. – Vol. 97, № 2. – P. 175–178. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(90\)90166-p](https://doi.org/10.1016/0300-9629(90)90166-p)
35. Chong, N. W. S. The ontogeny of 2-[125I]iodomelatonin binding sites in chicken brain / N. W. S. Chong, D. Sugden // *Neurosci. Lett.* – 1992. – Vol. 138, № 1. – P. 37–40. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(92\)90466-k](https://doi.org/10.1016/0304-3940(92)90466-k)
36. Siuciak, J. A. Quantitative pharmacological analysis of 2-125I-iodomelatonin binding sites in discrete areas of the chicken brain / J. A. Siuciak, D. N. Krause, M. L. Dubocovich // *J. Neurosci.* – 1991. – Vol. 11, № 9. – P. 2855–2864. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.11-09-02855.1991>
37. Dubocovich, M. L. Functional MT₁ and MT₂ melatonin receptors in mammals / M. L. Dubocovich, M. Markowska // *Endocrine.* – 2005. – Vol. 27, № 2. – P. 101–110. <https://doi.org/10.1385/ENDO:27:2:101>
38. Prenatal effects of red and blue light on physiological and behavioural parameters of broiler chickens / A. Drozdová [et al.] // *Czech J. Anim. Sci.* – 2021. – Vol. 66, № 10. – P. 412–419. <https://doi.org/10.17221/80/2021-CJAS>
39. Pineal melatonin acts as a circadian zeitgeber and growth factor in chick astrocytes / J. K. Paulose [et al.] // *J. Pineal Res.* – 2009. – Vol. 46, № 3. – P. 286–294. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2008.00659.x>

References

1. Larkina T. A., Barkova O. Y., Peglivanyan G. K., Mitrofanova O. V., Dementieva N. V., Stanishevskaya O. I. (et al.). Evolutionary subdivision of domestic chickens: implications for local breeds as assessed by phenotype and genotype in comparison to commercial and fancy breeds. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 10, art. 914. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100914>
2. Chelnokova M. I. Differential incubation temperature effects on growth of hisex brown chick embryos and development of their visceral organs. *Russian Agricultural Sciences*, 2021, vol. 47, no. 4, pp. 418–424. <https://doi.org/10.3103/S1068367421040042>
3. Li X., Rathgeber B., McLean N., MacIsaac J. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 1. Effects on embryo development and hatching performance in broiler hatching eggs. *Poultry Science*, 2021, vol. 100, no. 9, art. 101336. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101336>
4. Archer G. S. Effect of exposing layer and broiler eggs to red or white light during incubation. *International Journal of Poultry Science*, 2015, vol. 14, no. 9, pp. 491–496. <https://doi.org/10.3923/ijps.2015.491.496>

5. Rogers L. J. Steroid hormones influence light-dependent development of visual projections to the forebrain (Commentary on Letzner et al., 2020). *European Journal of Neuroscience*, 2020, vol. 52, no. 6, pp. 3572–3574. <https://doi.org/10.1111/ejn.14851>
6. Abdulateef S. M., Al-Bayar M. A., Majid A. A., Shawkat S. S., Tatar A., Al-Ani M. Q. Effect of exposure to different light colors on embryonic development and neurophysiological traits in the chick embryo. *Veterinary World*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 1284–1289. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1284-1289>
7. Dawson A., King V. M., Bentley G. E., Ball G. F. Photoperiodic control of seasonality in birds. *Journal of Biological Rhythms*, 2001, vol. 16, no. 4, pp. 365–380. <https://doi.org/10.1177/074873001129002079>
8. Peters J. J., Vonderahe A. R., Powers T. H. Electrical studies of functional development of the eye and optic lobes in the chick embryo. *Journal of Experimental Zoology*, 1958, vol. 139, no. 3, pp. 459–468. <https://doi.org/10.1002/JEZ.1401390305>
9. Erwin W. T., Boone M. A., Barnett B. D. Response of the developing embryo to light. *Poultry Science*, 1971, vol. 50, no. 6, pp. 1883–1884. <https://doi.org/10.3382/ps.0501883>
10. Andrews D. K., Zimmerman N. G. A comparison of energy efficient house lighting source and photoperiods. *Poultry Science*, 1990, vol. 69, no. 9, pp. 1471–1479. <https://doi.org/10.3382/ps.0691471>
11. Shafey T. M., Al-Mohsen T. H. Embryonic growth, hatching time and hatchability performance of meat breeder eggs incubated under continuous green light. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2002, vol. 15, no. 12, pp. 1702–1707. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.1702>
12. Archer G. S., Shivaprasad H. L., Mench J. A. Effect of providing light during incubation on the health, productivity, and behavior of broiler chickens. *Poultry Science*, 2009, vol. 88, no. 1, pp. 29–37. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00221>
13. Cooper C. B., Voss M. A., Ardia D. R., Austin S. H., Robinson W. D. Light increases the rate of embryonic development: implications for latitudinal trends in incubation period. *Functional Ecology*, 2011, vol. 25, no. 4, pp. 769–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01847.x>
14. Yang Y.-F., Jiang J.-S., Pan J.-M., Ying Y.-B., Wang X.-S., Zhang M.-L., Lu M.-S., Chen X.-H. The relationship of spectral sensitivity with growth and reproductive response in avian breeders (*Gallus gallus*). *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, no. 1, art. 19291. <https://doi.org/10.1038/srep19291>
15. Rozenboim I., Piestun Y., Mobarkey N., Barak M., Hoyzman A., Halevy O. Monochromatic light stimuli during embryogenesis enhance embryo development and posthatch growth. *Poultry Science*, 2004, vol. 83, no. 8, pp. 1413–1419. <https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1413>
16. Archer G. S. Exposing broiler eggs to green, red and white light during incubation. *Animal*, 2017, vol. 11, no. 7, pp. 1203–1209. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000143>
17. Tong Q., McGonnell I. M., Demmers T., Roulston N., Bergoug H., Romanini C. E., Verhelst R., Guinebrière M., Etteradossi N., Berckmans D., Exadaktylos V. Effect of a photoperiodic green light programme during incubation on embryo development and hatch process. *Animal*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 765–773. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002117>
18. Soliman F. N. K., El-Sabroun K. Light wavelengths/colors: Future prospects for broiler behavior and production. *Journal of Veterinary Behavior*, 2020, vol. 36, pp. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.014>
19. Chelnokova M. I., Suleymanov F. I., Chelnokov A. A. Development and metabolism of chicken embryos in embryogenesis under different led lighting of eggs during incubation. *Ippologiya i veterinariya = Hippology and Veterinary*, 2021, no. 4 (42), pp. 219–224 (in Russian).
20. Wang T., Wang Z., Cao J., Dong Y., Chen Y. Monochromatic light affects the development of chick embryo liver via an anti-oxidation pathway involving melatonin and the melatonin receptor Mel1c. *Canadian Journal of Animal Science*, 2014, vol. 94, no. 3, pp. 391–400. <https://doi.org/10.4141/cjas2013-177>
21. Siegel P. B., Isakson S. T., Coleman F. N., Huffman B. J. Photon acceleration of development in chick embryos. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1969, vol. 28, no. 2, pp. 753–758. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(69\)92108-2](https://doi.org/10.1016/0010-406X(69)92108-2)
22. Özkan S., Yalçın S., Babacanoglu E., Kozanoğlu H., Karadaş F., Uysal S. Photoperiodic lighting (16 hours of light:8 hours of dark) programs during incubation: 1. Effects on growth and circadian physiological traits of embryos and early stress response of broiler chickens. *Poultry Science*, 2012, vol. 91, no. 11, pp. 2912–2921. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02426>
23. Dishon L., Avital-Cohen N., Malamud D., Heiblum R., Druyan S., Porter T. E., Gumulka M., Rozenboim I. In-ovo monochromatic green light photostimulation enhances embryonic somatotropic axis activity. *Poultry Science*, 2017, vol. 96, no. 6, pp. 1884–1890. <https://doi.org/10.3382/ps/pew489>
24. Dishon L., Avital-Cohen N., Zaguri S., Bartman J., Heiblum R., Druyan S., Porter T. E., Gumulka M., Rozenboim I. In ovo green light photostimulation during the late incubation stage affects somatotropic axis activity. *Poultry Science*, 2021, vol. 100, no. 2, pp. 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.031>
25. Drozdova A., Okuliarova M., Zeman M. The effect of different wavelengths of light during incubation on the development of rhythmic pineal melatonin biosynthesis in chick embryos. *Animal*, 2019, vol. 13, no. 8, pp. 1635–1640. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003695>
26. Rozenboim I., Halawani M. E., Kashash Y., Piestun Y., Halevy O. The effect of monochromatic photostimulation on growth and development of broiler birds. *General and Comparative Endocrinology*, 2013, vol. 190, pp. 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2013.06.027>
27. Huth J. C., Archer G. S. Effects of LED lighting during incubation on layer and broiler hatchability, chick quality, stress susceptibility and post-hatch growth. *Poultry Science*, 2015, vol. 94, no. 12, pp. 3052–3058. <https://doi.org/10.3382/ps/pev298>
28. Li X., Rathgeber B., McLean N., MacIsaac J. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 2. Effects on early posthatch growth, immune response, and production performance in broiler chickens. *Poultry Science*, 2021, vol. 100, no. 9, art. 101328. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101328>
29. Scanes C. G. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. *Poultry Science*, 2016, vol. 95, no. 9, pp. 2208–2215. <https://doi.org/10.3382/ps/pew137>

30. Bolotnikov A. M., Shurakov A. I., Kamenskii Yu. N., Dobrinskii L. N. *Ecology of early bird ontogenesis*. Sverdlovsk, Ural Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1985. 228 p. (in Russian).
31. Vleck C. M., Hoyt D. F. Metabolism and energetics of reptilian and avian embryos. *Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles*. Cambridge, 2004, pp. 285–306. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511585739.019>
32. Wang P., Sun Y., Li Y., Fan J., Zong Y., Mani I.A., Shi L., Wang Y., Ni A., Ge P., Jiang L., Bian S., Ma H., Yuan Z., Liu X., Chen J. Monochromatic green light stimulation during incubation shortened the hatching time via pineal function in White Leghorn eggs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2021, vol. 12, art. 17. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00539-x>
33. Hassanzadeh M., Decuyper E., Lamberigts C., Buyse J. Light as exogenous factor can control metabolic disorders and impact embryonic development in broiler chickens – a review. *European Poultry Science*, 2019, vol. 83, art. 257. <https://doi.org/10.1399/eps.2019.257>
34. Zeman M., Illnerová H. Ontogeny of N-acetyltransferase activity rhythm in pineal gland of chick embryo. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Physiology*, 1990, vol. 97, no. 2, pp. 175–178. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(90\)90166-p](https://doi.org/10.1016/0300-9629(90)90166-p)
35. Chong N. W. S., Sugden D. The ontogeny of 2-[125I]iodomelatonin binding sites in chicken brain. *Neuroscience Letters*, 1992, vol. 138, no. 1, pp. 37–40. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(92\)90466-k](https://doi.org/10.1016/0304-3940(92)90466-k)
36. Siuciak J. A., Krause D. N., Dubocovich M. L. Quantitative pharmacological analysis of 2-125I-iodomelatonin binding sites in discrete areas of the chicken brain. *The Journal of Neuroscience*, 1991, vol. 11, no. 9, pp. 2855–2864. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.11-09-02855.1991>
37. Dubocovich M. L., Markowska M. Functional MT₁ and MT₂ melatonin receptors in mammals. *Endocrine*, 2005, vol. 27, no. 2, pp. 101–110. <https://doi.org/10.1385/ENDO:27:2:101>
38. Drozdová A., Kaňková Z., Zeman M., Bilčík B. Prenatal effects of red and blue light on physiological and behavioural parameters of broiler chickens. *Czech Journal of Animal Science*, 2021, vol. 66, no. 10, pp. 412–419. <https://doi.org/10.17221/80/2021-CJAS>
39. Paulose J. K., Peters J. L., Karaganis S. P., Cassone V. M. Pineal melatonin acts as a circadian zeitgeber and growth factor in chick astrocytes. *Journal of Pineal Research*, 2009, vol. 46, no. 3, pp. 286–294. <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2008.00659.x>

Информация об авторах

Челнокова Марина Игоревна – кандидат биологических наук, заведующий кафедрой ветеринарии факультета технологии животноводства и агроэкологии, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия (пр. Ленина, 2, 182112, Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация). E-mail: marinachelnokova@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0002-9353-767X>

Челноков Андрей Алексеевич – доктор биологических наук, профессор кафедры зоотехнии и технологии переработки продукции животноводства факультета технологии животноводства и агроэкологии, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия (пр. Ленина, 2, 182112, Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация). E-mail: and-chelnokov@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0003-0502-5752>

Аржанкова Юлия Владимировна – доктор биологических наук, профессор кафедры зоотехнии и технологии переработки продукции животноводства факультета технологии животноводства и агроэкологии, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия (пр. Ленина, 2, 182112, Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация). E-mail: ar@vgsa.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0964-5270>

Скопцова Татьяна Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой зоотехнии и технологии переработки продукции животноводства факультета технологии животноводства и агроэкологии, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия (пр. Ленина, 2, 182112, Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация). E-mail: skopcova@vgsa.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1092-0172>

Information about the authors

Marina I. Chelnokova – Ph. D. (Biology), Head of the Veterinary Department of the Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, State Agricultural Academy of Velikie Luki (2, Lenin Ave., 2182112, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation). E-mail: marinachelnokova@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0002-9353-767X>

Andrey A. Chelnokov – D. Sc. (Biology), Professor of the Department of Animal Husbandry and Processing Technology of the Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, State Agricultural Academy of Velikie Luki (2, Lenin Ave., 2182112, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation). E-mail: and-chelnokov@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0003-0502-5752>

Yulia V. Arzhankova – D. Sc. (Biology), Professor of the Department of Animal Husbandry and Processing Technology of the Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, State Agricultural Academy of Velikie Luki (2, Lenin Ave., 2182112, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation). E-mail: ar@vgsa.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0964-5270>

Tatyana I. Skoptsova – Ph. D. (Agriculture), Head of the Department of Animal Husbandry and Processing Technology of the Faculty of Animal Husbandry Technology and Agroecology, State Agricultural Academy of Velikie Luki (2, Lenin Ave., 2182112, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation). E-mail: skopcova@vgsa.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1092-0172>