

LED 绿光在雏鹅高密度养殖模式中的调控作用

黄晓凤¹, 刘作兰¹, 薛佳佳¹, 陈 英¹, 谢 群¹, 钟 航¹,
罗 艺¹, 关正军^{2*}, 汪 超^{1,3*}

(1. 重庆市畜牧科学院, 重庆 402460; 2. 西南大学工程技术学院, 重庆 400715;

3. 农业农村部西南设施养殖工程科学观测实验站, 重庆 402460)

摘 要: 为探究两阶段 LED 绿光在雏鹅高密度饲养模式中的调控作用, 确定适宜的光照方案。该研究基于生产实际, 采用双因素试验设计 (孵化光照×育雏光照), 设置黑暗和绿光 2 种孵化光照, 白光和绿光 2 种育雏光照, 分析高密度饲养模式下孵化期和育雏期 LED 绿光照射对 14 d 雏鹅生长性能、肠道发育、血液激素、羽毛质量及啄羽行为的影响。结果表明, 育雏期提供 LED 绿光能显著增加 14 d 雏鹅体质量、1~14 d 日均体质量增量、日均采食量 ($P<0.05$) 并降低料重比 ($P<0.05$), 显著降低血液中五羟色胺、皮质酮含量及十二指肠隐窝深度 ($P<0.05$), 显著增加雏鹅胸腹部羽毛长度 ($P<0.05$)、降低雏鹅背部裸露评分 ($P<0.01$) 及减少啄羽行为 ($P<0.001$); 种蛋绿光孵化可显著减少子代雏鹅啄羽时间和次数 ($P<0.05$); 而孵化光照和育雏光照在影响雏鹅各指标上无显著交互作用 ($P>0.05$)。该研究证实了两阶段 LED 绿光对雏鹅高密度饲养模式中负面效应的正面调控作用, 且育雏期提供绿光效果更好, 可为鹅高效生产提供理论依据。

关键词: LED 绿光; 雏鹅; 生长性能; 孵化期; 高密度; 肠道发育; 羽毛质量; 啄羽行为

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202405100

中图分类号: S835, S815.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-20-0202-08

黄晓凤, 刘作兰, 薛佳佳, 等. LED 绿光在雏鹅高密度养殖模式中的调控作用[J]. 农业工程学报, 2024, 40(20): 202-209. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202405100 <http://www.tcsae.org>
HUANG Xiaofeng, LIU Zuolan, XUE Jiajia, et al. Regulation LED green light in high-density culture mode of goslings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(20): 202-209. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202405100 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

肉鹅是中国重要的经济水禽, 据统计目前中国肉鹅出栏量占世界的 95% 以上^[1]。随着鹅需求量增加、土地资源紧缺及生态环境调控力度增强, 现代集约化节水养殖已转变为主要养殖模式^[2]。较于传统水面养殖, 该养殖模式便于环境控制, 生产效率较高, 但因增加饲养密度可以产生更高的单位面积利润, 生产者实际生产中往往采用尽可能高的饲养密度。然而饲养密度过高会对鹅的生产性能、健康和福利产生不良影响, 从而降低生产效率。本课题组前期研究表明, 高饲养密度不仅会降低鹅采食量、体质量、体质量增量及饲料转化率, 抑制其生长性能发挥^[3-5]; 还会损害鹅肠道绒毛结构和降低肠道质量, 进而阻碍肠道发育^[5]。此外, 过高饲养密度会增

加啄羽行为的发生, 降低家禽羽毛洁净度和增加损伤程度, 损害羽毛品质^[6-8]。事实上, 生长性能和羽毛质量是鹅生产过程中获得经济效益的关键。啄羽行为已被证实是引发蛋鸡饲养过程中羽毛退化的主要原因^[9], 因此高密度养殖环境中, 啄羽行为是影响羽毛质量的极其重要因素。为缓解高饲养密度导致的家禽生产性能下降、啄羽行为等的不良影响, 研究者们发现通过养殖环境富集, 比如通过添加物理、感官及刺激性物质等丰富饲养环境, 改善圈养动物的生物功能及动物福利^[10]。在鸡饲养中, 增加垫料、栖木或者放置可供啄食的石头等物体可一定程度上减少啄羽、打斗等行为和提高动物福利^[11-12], 但对其生产性能影响甚微。此外, 环境富集改善啄羽行为的有效性具有品种特异性或者时效性^[13]。因此需要找到一种有效全面的调控方式来改善这种局限性。

光照是鹅生长过程中必需的环境条件, 适宜的光照环境可以最大限度地发挥鹅的生产性能^[14]。已有研究发现, 单色绿光在禽胚胎期发育、出雏后生长性能的发挥和啄癖等行为调控中其重要作用^[15-16]。采用绿光环境可增加鸡胚胎及生长期体质量, 并促进肌细胞增殖、分裂及分化, 进而促进肌肉发育^[17-18]。鸡种蛋孵化期给予适当强度的 LED 绿光处理可减少种蛋孵化时间, 改善种蛋孵化性能及出雏后雏鸡生长后期的抗氧化应激能力^[19]。与长波长光照相比, 鸡群对短波长光照 (绿光、蓝光)

收稿日期: 2024-05-15 修订日期: 2024-08-30

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目 (CSTB2022NSCQ-MSX1021), 重庆市专项财政资金项目 (23517C), 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-42-22)

作者简介: 黄晓凤, 助理研究员, 研究方向家禽营养与养殖技术。

Email: 869432555@qq.com

*通信作者: 关正军, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业生物环境与能源工程, 农业废弃物资源化利用。Email: zhjguan@163.com; 汪超, 博士, 研究员, 研究方向家禽营养与养殖技术。Email: wangccq@foxmail.com

表现出更为突出的偏好性,在绿光和蓝光环境中,鸡群行走、啄食和打斗行为发生频率更低,鸡群更容易保持镇静^[20-22]。而目前研究主要集中在单阶段光照影响,并未进行两阶段光照延续变化改善家禽生产性能、啄羽行为等方面的研究。

为缓解高密度养殖模式在鹅生产中的负面影响,本文通过测定高密度养殖模式下孵化期和育雏期两个阶段 LED 绿光照射对雏鹅生长性能、血液激素、肠道发育、羽毛质量和啄羽行为的影响,探究 LED 绿光对渝州白鹅雏鹅高密度饲养模式中负面效应的调控作用,以及验证孵化期调控作用是否具有延续性,旨在提出适宜的光照方案,为鹅的高效健康生产提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和管理制度

1.1.1 种蛋孵化期试验设计

试验选取同一批 200 日龄渝州白鹅生产的种蛋(质量为 130~150 g,重庆市家禽科研基地)1 200 枚,种蛋经称量、消毒后,根据种蛋孵化光照不同分为 2 个处理(黑暗孵化和绿光孵化),每个处理 600 枚,每个处理设置 6 个重复。

光源及光照制度:两组使用大小和基本配置相同的孵化机,黑暗组孵化机内不设光源(常规生产中在黑暗条件下孵化),绿光组孵化机内壁顶部、中部和底部分别固定 1 根环形 LED 绿光灯带,使整个孵化机内光源均匀分布,光源从四周照射向种蛋,孵化时,蛋架上每间隔一层放置蛋盘,以保证上下层种蛋间有足够的光源透入,在放置种蛋蛋架内部上中下位置随机各取 2 个点,利用照度计(Proskit, MT-4617LED, 台湾)测定光强度。本试验设置光强为 30~40 lx,光照周期设置为 24 h。图 1 为孵化机内 LED 绿光光源的布置情况。

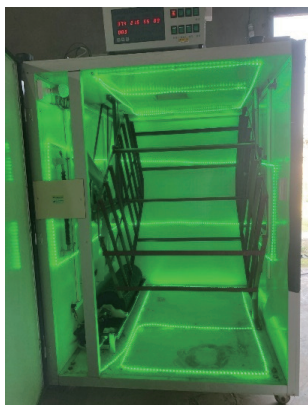


图 1 孵化机内 LED 绿光光源布置

Fig.1 Arrangement of LED green light source in the incubator

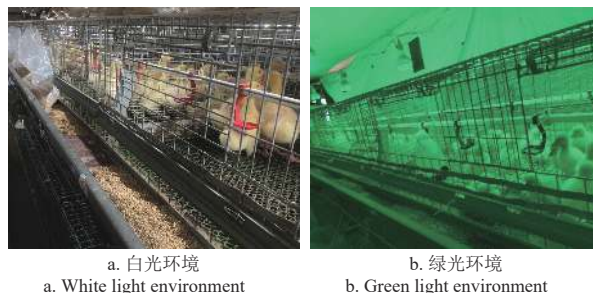
1.1.2 育雏期饲养试验设计

选择上述孵化出的 1 日龄体质量相近的渝州白鹅公鹅 336 只(绿光孵化组 168 只,黑暗孵化组 168 只)作为对象,采用双因素试验设计(2 种孵化期光照×2 种育雏期光照),2 种孵化期光照为黑暗和绿光,2 种育雏期

光照为白光和绿光,共 4 个处理,每个处理 6 个重复,每个重复 14 只雏鹅(前期研究结果:1~14 d 雏鹅高饲养密度为:32 只/m²,根据育雏圈舍面积核算鹅数量),试验期 14 d。

光源及光照制度:育雏舍中部用黑色薄膜分隔开,一边为育雏期白光组,另一边则为育雏期 LED 绿光组,除了光源其他条件保持一致。白光和绿光组圈舍正上方分别均匀排布一条白色和绿光灯带,保证圈舍内部光照均匀,光强度设置为 30~35 lx,光照周期设置为 24 h。

图 2 为育雏舍内光源的布置情况。



a. 白光环境
a. White light environment
b. 绿光环境
b. Green light environment

图 2 鹅舍中不同 LED 光环境

Fig.2 Different LED light environments in goose house

饲养管理:采用笼养模式,饲喂全价料,每天早上、下午各饲喂 1 次,水线提供水源,自由采食饮水。

1.2 指标测定和方法

1.2.1 生长性能

于出壳当日(日龄 1 d),记录 LED 绿光和黑暗孵化两组初生雏鹅体质量;于育雏期 14 d 测定各处理雏鹅体质量,根据试验前后雏鹅体质量变化计算日均体质量增量,测定各组试验期饲料消耗量计算日均采食量,并利用日均体质量增量和日均采食量计算料重比。

1.2.2 肠道发育

在育雏期 14 d 时,每组随机选择 6 只雏鹅断料 12 h,共计 24 只雏鹅,测定肠道发育情况。从鹅的十二指肠和空肠组织的中点处仔细取 1 cm 的切片,立即固定在 10% 甲醛磷酸缓冲液中,包埋石蜡,切片 5 μm 厚的横截面,装在聚赖氨酸包覆的载玻片上,用于显微镜下评估黏膜形态。切片用苏木精和伊红染色进行组织学评价。测量绒毛高度(从绒毛尖端到绒毛-隐窝连接处)、隐窝深度(从该连接处到隐窝基部)和肌层厚度。

1.2.3 啄羽相关激素测定

育雏期 14 d,各组每重复中随机挑选 2 只,共计 48 只雏鹅,采集其静脉血液样品,分离上清液后冻存于 -20 ℃。血液中五羟色胺、皮质酮、多巴胺、睾酮含量采用双抗体夹心 ELISA 法检测。

1.2.4 啄羽行为测定

育雏期 1~14 d,每组随机挑选 4 个重复,在对应圈舍顶部安装高清摄像头,保证圈舍每个角落在实时监测范围内,用于观察各处理组雏鹅啄羽行为(啄羽时间和啄羽频率)。挑选 6~10 日龄行为录像进行观察,观察时间段为上午 09:00—11:00,下午 15:00—17:00,

共 4 h，记录每个圈鹅啄羽总次数和总时间、连续发生啄羽行为 10 s 以上的次数和时间，计算平均每只鹅啄羽时间和次数、发生啄羽行为 10 s 以上的时间和次数。

1.2.5 羽毛质量评定

羽毛质量通过 3 种测量方法进行评价：羽毛长度、羽毛污染程度和背部羽毛损伤程度。羽毛污染程度采用羽毛评分法，羽毛分数越高，鹅的福利越差。于 14 d 时，每栏随机选取 2 只鹅进行羽毛长度测定、清洁度和羽毛损伤评分。于鹅背部、翅膀、尾巴和胸腹区域部位固定位置拔下两根羽毛，测定长度，计算平均值。羽毛清洁度评分基于羽毛表面污染程度，用污染面积（S）表示，评分由同一人进行，评分的区域包括每只鹅的背部、翅膀、尾巴和胸腹区域，评分系统为 0（S=0）、1（0<S<1/4）、2（1/4≤S<1/3）、3（1/3≤S≤1/2）和 4（S>1/2）。羽毛的损伤仅包括背部，使用评分系统从 0（羽毛质量良好，没有损伤），1（羽毛损伤，未裸露皮肤），2（羽毛裸露面积不超过 3 cm×3 cm），3（羽毛裸露面积大于 3 cm×3 cm）到 4 分（完全裸露）^[23]。

1.3 数据分析

所有数据计算在 Microsoft Excel 2016 中进行，采用 SPSS 20.0 软件进行数据正态性检验、方差分析和一般线性模型分析，其中啄羽行为数据通过对数转换后进行方差分析。所有结果以平均值±标准差表示， $P<0.05$ 为差异显著， $P<0.01$ 为差异极显著， $0.05<P<0.1$ 为有差异趋势。

2 结果与分析

2.1 生长性能

雏鹅 1~14 d 生长性能参数如表 1 所示。育雏光照可显著影响雏鹅各生长性能指标，其中对 14 d 体质量、1~14 d 日均质量增量影响极显著（ $P<0.001$ ），对日均采食量和料重比影响显著（ $P<0.05$ ），而孵化光照未对雏鹅各生长性能指标（14 d 体质量、1~14 d 日均质量增量、日均采食量及料重比）产生影响（ $P>0.05$ ），此外，孵化光照和育雏光照对雏鹅生长性能指标的交互作用影响并不明显（ $P>0.05$ ），可见，育雏期进行绿光处理有利于 1~14 d 雏鹅生长性能的提高。

表 1 LED 绿光照射对 1~14 d 雏鹅生长性能的影响

Table 1 Effects of LED green light irradiation on growth performance of goslings aged 1-14 days

孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	14 d 体质量 14-day-old body weight/g	日均质量增量 Average daily weight gain/g	日均采食量 Average daily feed intake/g	料重比 Feed conversion ratio
黑暗 Dark	白光	386.13±35.84b	21.36±2.57b	33.41±3.47	1.57±0.04
	绿光	469.32±27.52a	27.28±2.00a	38.51±3.73	1.41±0.06
绿光 Green	白光	411.67±42.93b	23.25±3.06b	35.14±5.29	1.51±0.14
	绿光	464.75±19.56a	27.02±1.38a	38.96±2.64	1.44±0.10
显著性检验 P 值 P value of significance test					
孵化光照 Incubation light		0.441	0.402	0.501	0.789
育雏光照 Brood light		<0.001	<0.001	<0.05	<0.05
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.272	0.273	0.694	0.300

注：同列中不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母或者无字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ），下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments ($P < 0.05$), while same letter or no letter indicates no significant difference ($P > 0.05$). The same below.

种蛋无论在黑暗还是绿光环境中进行孵化，育雏阶段绿光处理的 14 d 雏鹅体质量、1~14 d 日均质量增量均显著高于白光处理（ $P<0.05$ ）。种蛋在黑暗条件下孵化时，育雏阶段绿光处理的日均采食量有高于白光处理的趋势（ $0.05<P<0.1$ ），其料重比有低于白光组的趋势（ $0.05<P<0.1$ ），其中绿光组日均采食量和料重比分别比白光组高 15.26% 和 10.19%。在同样育雏光照下，采用黑暗孵化和绿光孵化对 1~14 d 雏鹅各生长性能指标影响并无明显差异（ $P>0.05$ ）。

因此，在种蛋孵化期给予 LED 绿光环境，对高密度

养殖模式中雏鹅育雏期生长性能的延续性影响并不显著，而育雏阶段提供 LED 绿光可显著改善雏鹅生长性能，发挥正面调控作用。

2.2 肠道发育

LED 绿光环境对 14 d 鹅肠道形态的影响如表 2 所示。孵化阶段绿光处理对十二指肠隐窝深度和空肠绒毛高度有积极影响（ $P<0.05$ ），而相对白光，育雏期提供绿光环境对十二指肠隐窝深度有改善作用（ $P<0.05$ ），两阶段光照因素对雏鹅肠道形态指标交互作用影响不明显（ $P>0.05$ ）。

表 2 LED 绿光照射对 14 d 雏鹅肠道发育的影响

Table 2 Effects of LED green light irradiation on intestinal development of goslings at 14 d of age

孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	十二指肠 Duodenum			空肠 Ileum		
		绒毛高度 Villus height	隐窝深度 Crypt depth	肌层厚度 Muscularis thickness	绒毛高度 Villus height	隐窝深度 Crypt depth	肌层厚度 Muscularis thickness
		μm	μm	μm	μm	μm	μm
黑暗 Dark	白光	778.76±77.36	270.93±21.87a	275.23±24.8	927.60±100.97	199.26±21.48	257.79±32.14
	绿光	830.10±90.24	255.38±28.37a	253.49±30.19	812.89±84.28	225.62±28.42	268.66±31.57
绿光 Green	白光	825.43±84.47	247.19±12.90a	239.67±26.49	1 010.51±79.64	221.28±30.15	241.82±15.15
	绿光	787.02±78.12	205.16±22.24b	255.56±31.42	974.15±99.35	216.58±15.75	239.36±26.42
显著性检验 P 值 P value of significance test							
孵化光照 Incubation light		0.963	<0.01	0.223	<0.05	0.597	0.241
育雏光照 Brood light		0.868	<0.05	0.828	0.207	0.381	0.825
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.257	0.267	0.173	0.507	0.213	0.726

种蛋在绿光条件下孵化时，育雏阶段绿光处理的十二指肠隐窝深度显著低于白光处理 ($P<0.05$)，而在十二指肠和空肠绒毛高度、肌层厚度和空肠隐窝深度中未表现出差异 ($P>0.05$)。当种蛋在黑暗中孵化时，育雏阶段无论给予白光还是绿光照射，均对肠道形态（十二指肠和空肠绒毛高度、隐窝深度和肌层厚度）无显著影响 ($P>0.05$)。育雏阶段采用绿光照射时，与黑暗孵化相比，绿光孵化可显著降低 14 d 雏鹅十二指肠隐窝深度 ($P<0.05$)，给予同样的育雏光照，尽管种蛋孵化光照不同也未在十二指肠隐窝深度之外的肠道形态指标中表现出差异 ($P>0.05$)。

表 3 LED 绿光照射对 14 d 雏鹅血液激素的影响

Table 3 Effects of LED green light irradiation on blood hormone levels of goslings at 14 d of age						
孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	五羟色胺 Serotonin/(ng·mL ⁻¹)	皮质酮 Corticosterone/(ng·mL ⁻¹)	多巴胺 Dopamine/(ng·mL ⁻¹)	睾酮 Testosterone/(nmol·L ⁻¹)	褪黑素 Melatonin/(ng·L ⁻¹)
黑暗 Dark	白光	122.85±25.68	49.64±10.76	36.74±6.30	13.36±3.01	488.03±64.70
	绿光	101.53±12.43	40.38±8.38	27.07±5.74	13.91±3.50	433.88±50.17
绿光 Green	白光	125.35±25.98	51.06±10.87	31.11±6.34	11.91±3.85	466.06±66.89
	绿光	96.67±19.00	37.70±9.99	29.69±5.73	12.86±3.16	437.76±52.36
显著性检验 P 值 P value of significance test						
孵化光照 Incubation light		0.895	0.880	0.580	0.401	0.717
育雏光照 Brood light		<0.05	<0.05	0.052	0.613	0.100
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.680	0.623	0.139	0.891	0.606

无论黑暗孵化还是绿光孵化，育雏阶段绿光处理的血液五羟色胺、皮质酮浓度有低于白光处理的趋势 ($0.05<P<0.1$)，在黑暗环境中孵化时，绿光组比白光组分别低 17.35% 和 18.65%，绿光孵化时，绿光组比白光组分别低 22.88% 和 26.17%。此外，黑暗孵化时，育雏阶段绿光处理的血液多巴胺浓度有低于白光处理的趋势 ($0.05<P<0.1$)，绿光组比白光组低 26.32%。而在相同孵化光照中，白光育雏和绿光育雏并未显著改变睾酮及褪黑素水平 ($P>0.05$)。在相同育雏光照下，不同孵化光照未对血液激素各指标产生显著影响 ($P>0.05$)。

由以上分析可知，育雏期提供 LED 绿光环境可一定程度降低雏鹅血液中五羟色胺、皮质酮和多巴胺水平，而高饲养密度会引发动物体产生应激从而导致血液皮质酮激素水平升高，还会改变五羟色胺和多巴胺激素水平增加啄羽、打斗等行为发生，因此育雏期提供绿光环境可能利于缓解高密度饲养模式对雏鹅造成的应激及啄羽等行为。

2.4 羽毛质量

绿光环境对 14 d 鹅羽毛质量的影响见表 4、表 5。由表 4 可知，孵化光照没有对 14 d 雏鹅各部位（背部、

综上所述，在种蛋孵化期、育雏期给予 LED 绿光环境均能一定程度上缓解高密度养殖模式对雏鹅肠道发育的不良影响，且孵化期绿光调控作用具有一定延续性。

2.3 血液激素

LED 绿光环境对 14 d 鹅血液激素的影响如表 3 所示。与常规黑暗孵化相比，绿光孵化并未明显影响子代 14 d 雏鹅血液激素（五羟色胺、皮质酮、多巴胺、睾酮及褪黑素）水平 ($P>0.05$)，而育雏光照对血液激素中五羟色胺和皮质酮浓度影响显著 ($P<0.05$)，孵化光照和育雏光照在雏鹅血液激素指标上未表现明显的交互作用 ($P>0.05$)。

胸部、腹部、翅膀和尾部）羽毛长度产生影响 ($P>0.05$)，育雏光照对雏鹅胸和腹部羽毛长度影响显著 ($P<0.05$)，孵化光照和育雏光照在雏鹅各部位羽毛长度上未表现明显的交互作用 ($P>0.05$)。黑暗条件下孵化时，与白光相比，绿光育雏有增加 14 d 鹅胸、腹部羽毛长度的趋势 ($0.05<P<0.1$)，绿光组分别比白光组高 26.50%、20.51%，然在背部、翅膀和尾部未表现出差异 ($P>0.05$)；绿光孵化时，育雏阶段白光和绿光处理在各部位羽毛长度差异不显著 ($P>0.05$)。

由表 5 可知，孵化光照和育雏光照没有显著影响 14 d 雏鹅各部位羽毛洁净度评分 ($P>0.05$)，而育雏光照对雏鹅背部裸露评分影响显著 ($P<0.05$) 且两个因素设置在雏鹅羽毛洁净度及背部裸露评分指标上未表现明显交互作用 ($P>0.05$)。无论孵化在黑暗还是绿光条件下进行，育雏阶段绿光处理雏鹅背部裸露评分均显著低于白光处理 ($P<0.05$)。

因此可推断，育雏期提供 LED 绿光环境可促进雏鹅羽毛生长发育，并降低高密度养殖模式中雏鹅羽毛受伤程度，有助于改善羽毛质量和提高动物福利。而孵化期给予绿光照射对子代雏鹅羽毛质量的改善并不明显。

表 4 LED 绿光照射对 14 d 雏鹅羽毛长度的影响

Table 4 Effects of LED green light irradiation on feather length of goslings at 14 d of age cm						
孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	背部 Back	胸部 Chest	腹部 Abdomen	翅膀 Wing	尾部 Tail
黑暗 Dark	白光	1.79±0.41	1.17±0.20	1.26±0.28	1.63±0.33	1.98±0.67
	绿光	1.54±0.46	1.48±0.29	1.58±0.35	1.63±0.33	1.76±0.40
绿光 Green	白光	1.97±0.56	1.24±0.22	1.49±0.37	1.48±0.36	1.88±0.61
	绿光	1.95±0.54	1.41±0.32	1.62±0.36	1.49±0.29	1.62±0.60
显著性检验 P 值 P value of significance test						
孵化光照 Incubation light		0.077	0.387	0.220	0.168	0.458
育雏光照 Brood light		0.412	<0.05	<0.05	0.966	0.148
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.472	0.304	0.356	0.966	0.898

表 5 LED 绿光照射对 14 d 雏鹅羽毛洁净度及背部裸露评分的影响
Table 5 Effects of LED green light irradiation on feather cleanliness and back bare score of goslings at 14 d of age

孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	羽毛洁净度评分 Feather cleanliness scoring					背部裸露评分 Back bare scoring
		背部 Back	胸部 Chest	腹部 Abdomen	翅膀 Wing	尾部 Tail	
黑暗 Dark	白光	4.30±0.75	4.33±0.78	4.25±0.75	4.00±0.85	3.18±0.71	2.08±0.79a
	绿光	4.17±0.93	4.32±0.67	3.84±0.80	3.58±0.90	2.87±0.73	1.42±0.66b
绿光 Green	白光	3.92±0.90	4.17±0.83	4.13±0.74	3.91±0.79	2.98±0.85	2.17±0.57a
	绿光	4.31±0.59	4.19±0.81	4.16±0.82	3.83±0.91	3.21±0.89	1.67±0.49b
显著性检验 P 值 P value of significance test							
孵化光照 Incubation light		0.607	0.496	0.846	0.768	0.761	0.374
育雏光照 Brood light		0.582	0.994	0.560	0.361	0.872	<0.01
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.266	0.940	0.469	0.525	0.249	0.655

2.5 啄羽行为

LED 绿光环境对 1~14 d 雏鹅啄羽行为的影响如表 6 所示。孵化光照对雏鹅啄羽行为指标影响显著 ($P<0.05$) (单次啄羽达 10 s 以上时间除外, $0.05<P<0.1$), 育雏光照对雏鹅啄羽行为指标影响极显著 ($P<0.001$), 部分啄羽行为指标 (单次啄羽达 10 s 以上时间和平均啄羽次数) 有受孵化光照和育雏光照交互作用影响趋势 ($0.05<P<0.1$), 可见育雏光照和孵化光照均能显著影响雏鹅啄羽行为。

啄羽时间和次数能充分反映啄羽行为, 黑暗条件进

行孵化时, 与白光相比, 育雏期绿光处理可显著降低 1~14 d 雏鹅平均啄羽时间次数及单次啄羽达 10 s 以上时间和次数 ($P<0.05$), 而绿光条件下孵化时, 这些行为指标 (单次啄羽 10 s 以上次数除外) 在育雏光照白光与绿光处理间未表现出显著差异 ($P>0.05$)。白光育雏时, 绿光孵化处理可显著降低雏鹅平均啄羽次数 ($P<0.05$), 对其他行为指标无显著影响 ($P>0.05$), 绿光育雏时, 绿光孵化处理未对啄羽行为指标表现出差异影响 ($P>0.05$), 因此, 孵化阶段和育雏阶段同时进行绿光处理并未起到叠加效果。

表 6 LED 绿光照射对 1~14 d 雏鹅啄羽行为的影响
Table 6 Effects of LED green light irradiation on feather pecking behavior of goslings aged 1-14 days

孵化光照 Incubation light	育雏光照 Brood light	A	B	C	D
黑暗 Dark	白光	2.02±0.03a	1.96±0.04a	0.77±0.04a	0.49±0.02a
	绿光	1.58±0.08b	1.50±0.10b	0.44±0.10b	0.17±0.05bc
绿光 Green	白光	1.86±0.04ab	1.80±0.04ab	0.60±0.05b	0.37±0.04ab
	绿光	1.55±0.12b	1.50±0.11b	0.43±0.07b	0.12±0.04c
显著性检验 P 值 P value of significance test					
孵化光照 Incubation light		<0.05	0.093	<0.05	<0.01
育雏光照 Brood light		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
孵化×育雏光照 Incubation×Brood light		0.126	0.084	0.057	0.194

注: A、B、C、D 分别代表平均每只鹅啄羽时间、平均每只鹅单次啄羽达 10 s 以上的时间、平均每只鹅啄羽次数、平均每只鹅单次啄羽达 10 s 以上的次数 4 个参数以 10 为底取对数。
Note: A, B, C and D denote the logarithm of the average pecking time for each goose, the logarithm of the average time for each goose with a single pecking for more than 10 s, the logarithm of the average pecking number for each goose, and the logarithm of the average number of each goose single pecking lasting for more than 10 s.

综合以上分析可知, 种蛋孵化阶段、育雏阶段分别提供 LED 绿光环境可减少高密度养殖模式中雏鹅啄羽行为, 达到正面调控作用, 绿光孵化对子代雏鹅啄羽行为的持续性影响是存在的。

3 讨论

大量研究发现, 高密度养殖模式会降低家禽生长性能^[24-26], 而常规养殖模式中, 单色绿光照射可促进鸡生长性能的发挥。本研究中, 在高密度饲养模型中, 育雏期 LED 绿光照射能显著改善 1~14 d 雏鹅生长性能, 包括体质量、日均体质量增量、日均采食量和料重比, 然种蛋孵化阶段给予绿光照射并没有显著改善子代雏鹅生长性能指标, 这表明种蛋孵化期绿光照射并不能明显促进子代育雏期生长性能发挥正面效应, 这与前期的研究结果不完全一致。DISHON 等^[15]研究发现, 于胚胎期 18~20 d 提供 LED 绿光环境或者 0~20 d 持续绿光处理, 均可显著增加子代雏鸡 35 d 体质量。在蛋鸡胚胎发育阶段进行绿光刺激可显著提高子代雏鸡 7、14 d 体质量,

促进雏鸡的发育和生长, 而长期绿光刺激并没有明显增效作用, 因此在孵化期间提供这种刺激可以达到最佳效果^[27]。这些差异性结果可能与家禽种类、养殖密度及其他光照条件 (强度和周期等) 有关。而本试验结果显示, 在育雏阶段给予雏鹅 LED 绿光刺激, 能提高其生长性能, 并且仍然具有从种蛋胚胎期开始的绿光刺激所获得的生长性能。

过高养殖密度阻碍了家禽肠道发育和健康^[28], 给予 LED 绿光环境是否能平衡或者改善高养殖密度导致鹅肠道负面效应值得探索。本研究发现, 种蛋孵化期、出壳后育雏期给予 LED 绿光照射均可降低 14 d 雏鹅十二指肠隐窝深度, 减少高养殖密度对家禽肠道发育带来的负面效应。然而, 这与在鸡上的研究并不完全一致。XIE 等^[29]研究发现, 与白光处理比较, 养殖期间提供绿光环境显著提高了 7、21 d 肉鸡肠道绒毛高度并降低其隐窝深度, 增强了肉鸡小肠黏膜的机械屏障; 而 LIU 等^[30]在光色研究中发现, 与白光相较, 饲养阶段提供蓝绿复合光可显著增加 21、42 日龄肉鸡其绒毛高度并降低隐窝深

度,而绿光并没有明显作用;TABEEKH 等^[31]的研究也发现绿光并不能很好促进肠道发育。这些差异可能是由于动物种类、养殖密度、光照时间、日龄差异等试验条件不同造成的。此外,种蛋孵化光照和育雏光照对肠道发育调控作用无明显交互作用,提示选择其中一个阶段进行绿光处理即可一定程度缓解高密度养殖对肠道发育带来的负面影响。

五羟色胺和多巴胺作为影响攻击行为的重要神经递质,在调控啄羽、攻击等行为及情绪中发挥重要作用^[32]。环境应激会导致鸡体内的皮质酮浓度升高^[33],并影响其外周神经系统五羟色胺的活性^[34],从而进一步增加动物的攻击行为。血浆中五羟色胺浓度可以表征鸡外周神经系统的五羟色胺浓度,研究发现产前应激会导致子代外周五羟色胺浓度增加,引发子代更多的攻击行为,产生更多啄羽现象^[35],然而 LED 绿光调控孵化能够显著降低产前应激所导致的子代血浆五羟色胺浓度偏高,从而减少负面效应的发生^[36]。有研究发现,高放养密度导致的环境应激,显著增加了血液皮质酮浓度^[37]。而本研究中,育雏期给予 LED 绿光照射可显著降低血液皮质酮、五羟色胺浓度,一定程度上缓解了高密度饲养模式造成的应激,从而减少产生的负面效应。而 LED 绿光对雏鹅高密度饲养中啄羽行为的调控作用是否具有时效性还需进一步深入研究。

高饲养密度会导致家禽发生更多的啄羽、打斗等行为^[6,38-39],而本试验结果显示了种蛋绿光孵化、绿光育雏均能显著减少 1~14 d 雏鹅啄羽行为,包括平均啄羽时间、次数及啄羽 10 s 以上时间和次数,此外种蛋孵化光照和育雏光照存在交互作用趋势,表明种蛋绿光孵化对高密度养殖模式中子代雏鹅啄羽行为影响有一定的累积效应,且子代育雏阶段继续给予绿光照射可能效果更好。在蛋鸡研究中有类似的结果,与白光相较,养殖期间给予蓝绿光照射可明显减少 36 周龄蛋鸡重度啄羽频次^[21],在肉鸡试验中也发现在白光波段下,肉鸡的攻击行为和不适发生率更高,而绿/蓝光照射会减少 1~42 d 科宝肉鸡啄羽频次^[40],使鸡群感到更加舒适。而也有一些不一致的研究结果,绿光照射并未明显减少 11~12 d 肉鸡啄羽行为^[41]。在育雏阶段使用绿光照射可以减少雏鹅应激和啄羽行为,这揭示了绿光可以调整鹅的情绪状态,提高家禽的福利。同时,这些结果也进一步验证了血液激素结果的正确性、可靠性。

已有大量研究发现高密度养殖模式会降低羽毛质量^[6-7],比如增加背部裸露面积、降低羽毛洁净程度等。本研究显示,与白光处理相比,育雏期 LED 绿光照射显著降低了 14 d 雏鹅背部裸露评分,一定程度上改善了羽毛质量。与蛋鸡上研究结果相似,与白光相比,蓝绿光照射后的 36 周龄蛋鸡有更高的背、腹部羽毛评分,受损程度更低^[17]。此外,绿光育雏可显著增加胸、腹部羽毛长度,可见绿光照射对高密度养殖模式中雏鹅羽毛发育有一定促进作用。然而目前并未发现关于光色影响家禽羽毛发育的研究,这值得进一步探索。

4 结 论

为了改善高密度饲养模式对雏鹅的负面效应,探究 LED 绿光在雏鹅高密度饲养模式中的调控作用,研究了高密度养殖模式下孵化期和育雏期 LED 绿光照射对雏鹅生长性能、血液激素、肠道发育、羽毛质量和啄羽行为的影响,得到以下结论:

1) 育雏期给予 LED 绿光照射可显著改善高密度养殖模式下雏鹅生长性能和肠道发育,降低血液应激相关激素水平,减少啄羽时间频次调控啄羽行为,减少背部羽毛损伤程度改善羽毛质量,促进胸腹部羽毛发育。

2) 种蛋孵化期给予 LED 绿光照射可显著减少子代雏鹅啄羽行为并促进肠道发育 ($P < 0.05$),对雏鹅生长性能、激素水平及羽毛质量无显著改善 ($P > 0.05$),孵化期调控作用具有微弱的延续性。

3) 各研究指标受孵化光照和育雏光照交互作用影响差异不显著,因此在鹅养殖中建议在育雏期 1~14 d 进行 LED 绿光处理,予以缓解现代集约化养殖模式对雏鹅产生的不良影响。此外,适宜的光照参数(强度和时间等)及可平衡的负面效应所对应的饲养密度是需要进一步研究的课题。

[参 考 文 献]

- [1] 侯水生,刘灵芝. 2022 年水禽产业现状、未来发展趋势与建议[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(3): 274-280.
- [2] 王雅鹏,陈娟,何朝秋,等. 基于节能减排的水禽养殖模式选择问题探讨[J]. 中国家禽, 2013, 35(15): 2-5.
- [3] XUE J J, LIU Z L, HUANG X F, et al. Estimates of stocking density of female geese in different growth stages[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2021, 30(4): 100215.
- [4] WANG C, LIU Z L, XUE J J, et al. Effect of stocking density on growth performance, feather quality, carcass traits, and muscle chemical component of geese from 49 to 70 days of age[J]. *The Journal of Applied Poultry Research*, 2019, 28(4): 1297-1304.
- [5] LIU Z L, XUE J J, HUANG X F, et al. Effect of stocking density on growth performance, feather quality, serum hormone, and intestinal development of geese from 1 to 14 days of age[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(11): 101417.
- [6] YIN L, YANG H, XU L, et al. Feather performance, walking ability, and behavioral changes of geese in response to different stocking densities[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2017, 196: 108-112.
- [7] PHILLIPS H N, HEINS B J. Effects of outdoor stocking density on growth, feather damage and behavior of slow-growing free-range broilers[J]. *Animals (Basel)*, 2021, 11(3): 688.
- [8] DOWNING J A. Effect of light and stocking density on performance, breast muscle yield and potential damage caused by feather pecking in two strains of commercial Pekin ducks[J]. *Animal Production Science*, 2022, 62(9): 870-879.
- [9] APPLEBY M, HOGARTH G, ANDERSON J A, et al. Performance of a deep litter system for egg production[J]. *British Poultry Science*, 1988, 29(4): 735-751.
- [10] 章琦,郭江鹏,倪爱心,等. 蛋鸡啄羽行为的影响因素与

- 遗传调控基础研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55 (9): 3745-3756.
- ZHANG Qi, GUO Jiangpeng, NI Aixin, et al. Research progress on influencing factors and genetic architecture of feather pecking in laying hens[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2024, 55(9): 3745-3756. (in Chinese with English abstract)
- [11] XU D, SHU G, LIU Y T, et al. Farm environmental enrichments improve the welfare of layer chicks and pullets: A comprehensive review[J]. *Animals (Basel)*, 2022, 12(19): 2610.
- [12] VAN S N, ELLIS J, BAES C F, et al. A meta-analysis on the effect of environmental enrichment on feather pecking and feather damage in laying hens[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(2): 397-411.
- [13] RUBEN S, KLAUS D, EBERHARD B V, et al. Effects of litter and additional enrichment elements on the occurrence of feather pecking in pullets and laying hens - A focused review[J]. *Veterinary Medicine and Science*, 2019, 5(4): 500-507.
- [14] 朱海燕, 张菁怡, 茹盟, 等. 光照对家禽生产性能的影响及调控机制研究进展[J]. *中国家禽*, 2024, 46(3): 79.
- ZHU Haiyan, ZHANG Jingyi, RU Meng, et al. Research progress on effects of light on poultry production performance and their regulatory mechanisms[J]. *China Poultry*, 2024, 46(3): 79. (in Chinese with English abstract)
- [15] DISHON L, AVITAL-COHEN N, ZAGURI S, et al. The effect of selected in ovo green light photostimulation periods on post-hatch broiler growth and somatotrophic axis activity[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(8): 101229.
- [16] ROZENBOIM I, EL H M E, KASHASH Y, et al. The effect of monochromatic photostimulation on growth and development of broiler birds[J]. *General and comparative endocrinology*, 2013, 190: 214-219.
- [17] HALEVY O, PIESTUN Y, ROZENBOIM I, et al. In ovo exposure to monochromatic green light promotes skeletal muscle cell proliferation and affects myofiber growth in posthatch chicks[J]. *American journal of physiology-regulatory, integrative and comparative physiology*, 2006, 290(4): 1062-1070.
- [18] WANG P, SUN Y, LI Y, et al. Monochromatic green light stimulation during incubation shortened the hatching time via pineal function in white leghorn eggs[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2021, 12: 1-10.
- [19] YU Y, LI Z, ZHONG Z, et al. Effect of monochromatic green LED light stimuli during incubation on embryo growth, hatching performance, and hormone levels[J]. *Transactions of the ASABE*, 2018, 61(2): 661-669.
- [20] PRAYITNO D, PHILLIPS C, OMED H. The effects of color of lighting on the behavior and production of meat chickens[J]. *Poultry Science*, 1997, 76(3): 452-457.
- [21] SHI H, LI B, TONG Q, et al. Effects of LED light color and intensity on feather pecking and fear responses of layer breeders in natural mating colony cages[J]. *Animals*, 2019, 9(10): 814.
- [22] SULTANA S, HASSAN M R, CHOE H S, et al. The effect of monochromatic and mixed LED light colour on the behaviour and fear responses of broiler chicken[J]. *Avian Biology Research*, 2013, 6(3): 207-214.
- [23] WECHSLER B, HUBER-EICHER B. The effect of foraging material and perch height on feather pecking and feather damage in laying hens[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1998, 58(1/2): 131-141.
- [24] LI X M, ZHANG M H, LIU S M, et al. Effects of stocking density on growth performance, growth regulatory factors, and endocrine hormones in broilers under appropriate environments[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(12): 6611-6617.
- [25] GUARDIA S, KONSAK B, COMBES S, et al. Effects of stocking density on the growth performance and digestive microbiota of broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2011, 90(9): 1878-1889.
- [26] YIN L, WANG Z, YANG H, et al. Effects of stocking density on growth performance, feather growth, intestinal development, and serum parameters of geese[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(9): 3163-3168.
- [27] ROZENBOIM I, PIESTUN Y, MOBARKEY N, et al. Monochromatic light stimuli during embryogenesis enhance embryo development and posthatch growth[J]. *Poultry Science*, 2004, 83(8): 1413-1419.
- [28] 刘玮, 韩海霞, 李大鹏, 等. 饲养密度对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清指标和肠道组织形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(11): 7002-7012.
- LIU Wei, HAN Haixia, LI Dapeng, et al. Effects of stocking density on laying performance, egg quality, serum parameters and intestinal morphology of laying hens[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(11): 7002-7012. (in Chinese with English abstract)
- [29] XIE D, LI J, WANG Z X, et al. Effects of monochromatic light on mucosal mechanical and immunological barriers in the small intestine of broilers[J]. *Poultry Science*, 2011, 90(12): 2697-704.
- [30] LIU Y, HE Y, FAN S, et al. Effects of LED light colors on the growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentrations and microbiota in broilers[J]. *Animals*, 2023, 13(23): 3731.
- [31] TABEEKH M A A, AL-MOZIEL S G, SAAD F, et al. Effect of light color and stocking density on intestinal morphology of broiler chickens[J]. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 2017, 8: 4340-4344.
- [32] DALLEY J W, ROISER J. Dopamine, serotonin and impulsivity[J]. *Neuroscience*, 2012, 215: 42-58.
- [33] DE H E N, KOPS M S, BOLHUIS J E, et al. The relation between fearfulness in young and stress-response in adult laying hens, on individual and group level[J]. *Physiology & Behavior*, 2012, 107(3): 433-439.
- [34] BIRKL P, FRANKE L, BAS R T, et al. A role for plasma aromatic amino acids in injurious pecking behavior in laying hens[J]. *Physiology & Behavior*, 2017, 175: 88-96.
- [35] AHMED A A, MA W, NI Y, et al. Embryonic exposure to corticosterone modifies aggressive behavior through alterations of the hypothalamic pituitary adrenal axis and the serotonergic system in the chicken[J]. *Hormones and Behavior*, 2014, 65(2): 97-105.
- [36] 王涛. 种蛋孵化期 LED 绿光调控对胚胎与雏鸡啄癖相关激素的影响机理[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- WANG Tao. Mechanism of LED Green Light Stimulation

- During Hatching Affecting Pecking-Related Hormones in Embryos and Chicks[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [37] PARK B S, UM K H, PARK S O, et al. Effect of stocking density on behavioral traits, blood biochemical parameters and immune responses in meat ducks exposed to heat stress[J]. *Archives Animal Breeding*, 2018, 61(4): 425-432.
- [38] ZHANG L, WU S, WANG J, et al. Changes of plasma growth hormone, insulin-like growth factors-I, thyroid hormones, and testosterone concentrations in embryos and broiler chickens incubated under monochromatic green light[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2014, 13(3): 3266.
- [39] SULTANA S, HASSAN M, CHOE H, et al. Effect of various LED light color on the behavior and stress response of laying hens[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2013, 83(8): 829-833.
- [40] LUCENA A C, PANDORFI H, ALMEIDA G L P, et al. Behavior of broilers subjected to different light spectra and illuminances[J]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2020, 24(6): 415-421.
- [41] REMONATO F B, SHYNKARUK T, CROWE T, et al. Light color and the commercial broiler: Effect on behavior, fear, and stress[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(11): 102052.

Regulation LED green light in high-density culture mode of goslings

HUANG Xiaofeng¹, LIU Zuolan¹, XUE Jiajia¹, CHEN Ying¹, XIE Qun¹,
ZHONG Hang¹, LUO Yi¹, GUAN Zhengjun^{2*}, WANG Chao^{1,3*}

(1. *Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 402460, China*; 2. *Department of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China*; 3. *Scientific Observation and Experiment Station of Livestock Equipment Engineering in Southwest, Ministry of Agriculture and Rural, Chongqing 402460, China*)

Abstract: Meat goose can represent one of the most significant economic waterfowl in China. An excessively high stocking density can reduce the production performance and welfare of geese. Moreover, the light-emitting diode (LED) green light can play a pivotal role in regulating the growth and development of embryos and offspring in chickens. This study aims to determine the optimal regimen of LED green light in the high-density rearing mode of goslings. According to the actual production, a two-factor experiment was designed with the incubation light (dark and LED green) and growth light (LED white and LED green). A systematic analysis was made to explore the effects of LED green light on growth performance, intestinal development, blood hormones, feather quality, and pecking behaviors of geese in high-stocking density. The results show that the light intensities were 30–40 and 30–35 lx during the incubation and brooding period, respectively, with a light cycle of L:D = 24:0. The growth performance of geese was significantly improved by LED green light during the gosling brooding period. The LED green light during the growing period was found to significantly increase the body weight of geese at 14 days, as well as the daily gain and feed intake of geese for 1 to 14 days ($P < 0.05$). Furthermore, there was a significant decrease in the ratio of feed to gain of geese for 1 to 14 days ($P < 0.05$). A significant reduction was found in the concentration of serotonin and corticosterone in the blood, as well as the duodenal crypt depth of the geese at 14 days in the green light group during the growth period ($P < 0.05$), compared with the white light group. Furthermore, the LED green light irradiation during the growing period was observed to significantly increase the length of the chest and abdomen feathers of geese at 14 days post-hatching ($P < 0.05$), whereas, the back bare score of geese was reduced at 14 days post-hatching ($P < 0.01$), and the average pecking time and frequency of geese was reduced for 1 to 14 days post-hatching ($P < 0.001$). Thus, the green light environment during the growing period was significantly beneficial to the quality of the feathers and the development of geese plumage. The LED green light during the embryonic period was found to significantly reduce the average pecking time and frequency ($P < 0.05$) for better feather pecking behavior in geese. Moreover, the hatching procedure of green light outstandingly reduced the duodenal crypt depth ($P < 0.01$), where there was an increase in the jejunal villus height of geese at 14 days ($P < 0.05$), compared with the control group. The adverse effects of intensive farming were reduced on the intestinal development of geese. Moreover, there was no significant interaction to identify between the incubation and brood lights, in terms of the regulation of growth performance, intestinal development, blood hormones, feather quality (feather length, cleanliness, and damage degree), and feather pecking behavior of geese. Therefore, the LED green light shared the positive regulations on the negative effects of high-density rearing of goslings. Moreover, the LED green light during the growing period of goslings yielded superior outcomes. It is thus recommended that green light irradiation can be employed at the brood stage of goslings in actual production, in order to mitigate the adverse effects of modern intensive farming on goslings. The findings can provide a theoretical basis for the efficient production of geese.

Keywords: LED green light; goslings; growth performance; incubation; high density; intestinal development; feather quality; feather pecking behavior