

赵君文, 赵壮志, 谢婷婷, 等. 斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡产蛋性能、生殖激素水平、卵泡发育的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(5): 890-904.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.05.014

斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡产蛋性能、生殖激素水平、卵泡发育的影响

赵君文, 赵壮志, 谢婷婷, 孙卓, 钟佩珊, 效梅, 张丽, 吴江, 安立龙
(广东海洋大学滨海农业学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 高温引起的鸡热应激会导致其生殖机能严重下降。本试验以 26 周龄雌性怀乡鸡为研究对象, 探究斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡产蛋性能、生殖激素水平、卵泡发育的影响。结果表明, 与常温对照相比, 循环高温环境中怀乡鸡产蛋率及血清中促卵泡素(FSH)、黄体生成素(LH)、孕酮(P_4)、雌二醇(E_2)水平降低, 等级卵泡、小黄卵泡、大黄卵泡、小白卵泡、大白卵泡数量降低, 卵泡膜结构松散、断裂, 卵泡颗粒细胞结构受损。常温环境中, 饲料中添加斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能、血清中生殖激素水平有一定提升作用, 但对卵泡膜结构无明显影响。循环高温环境中, 饲料中添加斑螫黄能够显著改善怀乡鸡产蛋性能, 提高血清中生殖激素水平, 提高各级卵泡数量, 缓解高温造成的卵泡膜松散、断裂和卵泡颗粒细胞损伤。综上, 斑螫黄具有较强的抗氧化特性, 能够提高怀乡鸡产蛋性能, 调节血清中生殖激素水平, 降低高温对怀乡鸡造成的伤害, 使各级卵泡正常发育并排出。

关键词: 斑螫黄; 怀乡鸡; 循环高温; 卵泡发育; 产蛋率

中图分类号: S831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)05-0890-15

Effects of canthaxanthin on laying performance, reproductive hormone level and follicular development of Huaixiang chicken in cyclic high temperature environment

ZHAO Junwen, ZHAO Zhuangzhi, XIE Tingting, SUN Zhuo, ZHONG Peishan, XIAO Mei, ZHANG Li, WU Jiang, AN Lilong

(Binhai Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Heat stress of chicken caused by high temperature can lead to the seriously decline of reproductive function. Effects of canthaxanthin on laying performance, reproductive hormone level and follicle development of 26-week-old female Huaixiang chickens in cyclic high temperature environment were studied. The results showed that, compared with control group of room temperature, the laying rate, levels of follicle-stimulating hormone (FSH), luteinizing hormone (LH), progesterone (P_4) and estradiol (E_2) in serum decreased in Huaixiang chickens exposed to circulating high temperature, and the number of grade follicles, small yellow follicles, large yellow follicles, small white follicles and large white follicles decreased.

The structure of follicular membrane was loose and broken, and the structure of granulosa cells of follicles was damaged. In normal temperature environment, diet added with canthaxanthin could improve laying performance and serum reproductive hormone level of Huaixiang chickens, but had no obvious effect on follicular membrane structure. Adding canthaxanthin into the diet could significantly improve laying performance, serum reproductive hormone lev-

收稿日期: 2023-07-05

基金项目: 广东省特色家禽生态健康养殖科技创新中心资助项目
(300702-C18082)

作者简介: 赵君文(1998-), 女, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料科学。(E-mail) zhaojunwen5273@163.com

通讯作者: 安立龙, (E-mail) anlilong@126.com

els and follicle number of Huaixiang chickens in cyclic high temperature to alleviate the looseness, rupture of follicular membrane and damage of follicular granulosa cells caused by high temperature. In conclusion, canthaxanthin has strong antioxidant properties, which can improve laying performance, regulate the level of reproductive hormones in serum of Huaixiang chickens, and can reduce the harm caused by high temperature to make all levels of follicles develop and ovulate normally.

Key words: canthaxanthin; Huaixiang chicken; cyclic high temperature; follicular development; laying rate

高温天气不仅对人类健康造成威胁,同时也对家禽养殖业产生了不良影响,影响动物的身心健康^[1-2]。在热带和亚热带地区,夏季时间长,使得规模化高密度养殖条件下的怀乡鸡易产生热应激^[3]。由于鸡没有汗腺,不能通过皮肤上的汗液蒸发来调节体温,因此高温使家禽的生产性能严重降低^[4-6]。其中最直观的表现就是产蛋量的降低。Yalcin 等^[7]的研究结果表明,当环境温度超过 29℃ 时,蛋鸡的产蛋率会显著降低,同时蛋重、蛋壳重量也会出现下降趋势。Al-Otaibi 等^[8]和 Castro 等^[9]研究结果证实高温会使蛋鸡体重和采食量显著降低,产蛋量、蛋重均显著下降。卵泡是鸡蛋的前体,高温环境会对鸡卵泡的发育产生影响,进而影响鸡蛋的数量和重量^[10]。研究发现,高温引发的家禽热应激会使家禽产蛋率下降,其中一个重要原因是热应激导致畜禽体内激素代谢紊乱,生殖系统的生理功能被损害,家禽的繁殖性能受到抑制^[11]。Raj 等^[12]发现,在高温环境中,鸡体内的睾酮(Testosterone, T)、孕酮(Progesterone, P₄)、雌二醇(Estradiol, E₂)等生殖激素水平明显下降,生殖细胞的生长受到影响,鸡的生殖能力降低。李永洙等^[13]研究发现,热应激的济宁百日鸡和海兰褐鸡血液中促卵泡素(Follicle-stimulating hormone, FSH)、黄体生成素(Luteinizing hormone, LH)、孕酮、雌二醇水平均下降。

斑螫黄(Canthaxanthin, CX)属于酮类胡萝卜素,能够清除自由基,其抗氧化特性可以提高鸡的抗氧化状态^[14-15]。Cho 等^[16]和 Ren 等^[17]的研究结果表明,饲料中添加斑螫黄提高了家禽的产蛋率。Rosa 等^[18]在种鸡饲料中添 6 mg/kg 斑螫黄,可有效提高种鸡的繁殖力;Araujo 等^[19]的研究结果表明,斑螫黄可显著提高种鸡的产蛋量、肉仔鸡的饲料利用率。本研究在饲料中添加斑螫黄,探究斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡产蛋率、激素水平的影响,为提高肉用种鸡繁殖生产性能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与药品

1 日龄怀乡母鸡 360 羽,购自广州立林生态农

业有限公司,饲养至 25 周龄。斑螫黄(生产批号 UE01611012)购自法国帝斯曼维生素贸易(上海)有限公司,斑螫黄含量 10%。

1.2 饲养管理与试验设计

在广东海洋大学动物医院鸡舍内,用三层阶梯笼养怀乡鸡。选取体重及生产性能相近的 26 周龄雌性怀乡鸡 360 羽,如表 1 所示,试验分为 10 个处理,每处理 6 个重复,每个重复 6 羽鸡。饲料中斑螫黄添加量分别为 0 mg/kg、4 mg/kg、6 mg/kg、8 mg/kg、10 mg/kg。试验期采用自然光照+人工补光,光照度为 10~15 lx,光照周期为光照 16 h/黑暗 8 h。用保温灯、除湿机控制环境温湿度,常温处理组的 NC 处理和 NT1、NT2、NT3、NT4 处理全天环境温度都保持在(25±2)℃,高温处理组的 HC、HT1、HT2、HT3、HT4 处理 9:00–17:00 环境温度保持在(32±2)℃,17:00–9:00 环境温度保持在(25±2)℃,各处理湿度均维持在 65%~75%。预试期为 2 周,怀乡鸡 26~27 周龄。正试期 9 周,怀乡鸡 28~36 周龄为正式试验期,其中怀乡鸡 28~30 周龄为试验前期,31~33 周龄为试验中期,34~36 周龄为试验后期。参照《中华人民共和国农业行业标准——鸡饲养标准》(NY/T33-2004)和广东的实际情况,设计如表 2 所示的玉米-豆粕型基础饲料,1 kg 预混料包含维生素 A 9 000 IU,维生素 D 2 500 IU,维生素 E 20 IU,维生素 B 1 212 μg,维生素 K 2.4 mg;微量元素 Mn 100 mg, Zn 60 mg, Fe 25 mg, Cu 5 mg, Co 0.1 mg(微量元素以硫酸盐形式添加);Se(N₂SeO₃·5H₂O) 0.2 mg, I(KI) 0.5 mg。基础饲料营养水平如表 3 所示。

1.3 样品采集

血清采集:分别在试验的第 3 周、第 6 周、第 9 周的周日 7:00 从各重复中随机挑选 1 羽鸡,饥饿 12 h 后翅下静脉采血 5 ml, 3 000 r/min 离心 10 min, -20℃ 保存。

卵泡采集:断颈处死鸡后取卵巢,剥离卵泡(直径>1 mm)。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 产蛋性能的测定 每周统计怀乡鸡日均采食量、平均蛋重、产蛋率、破损率。

表 1 试验处理

Table 1 Treatment of the experiment

处理	饲料配方	9:00-17:00 温度(℃)	17:00-9:00 温度(℃)
NC	基础饲料	25±2	25±2
NT1	基础饲料+4 mg/kg 斑蝥黄	25±2	25±2
NT2	基础饲料+6 mg/kg 斑蝥黄	25±2	25±2
NT3	基础饲料+8 mg/kg 斑蝥黄	25±2	25±2
NT4	基础饲料+10 mg/kg 斑蝥黄	25±2	25±2
HC	基础饲料	32±2	25±2
HT1	基础饲料+4 mg/kg 斑蝥黄	32±2	25±2
HT2	基础饲料+6 mg/kg 斑蝥黄	32±2	25±2
HT3	基础饲料+8 mg/kg 斑蝥黄	32±2	25±2
HT4	基础饲料+10 mg/kg 斑蝥黄	32±2	25±2

表 2 基础饲料组成

Table 2 Composition of basal diets

饲料组成	含量(%,干物质)
玉米	55.00
豆粕	20.00
麸皮	11.50
鱼粉	5.00
石粉	7.50
磷酸氢钙	0.50
食盐	0.10
预混料	0.40

表 3 基础饲料营养水平

Table 3 Nutrient levels of basal diets

营养成分	水平
代谢能(ME, MJ/kg)	11.60
粗蛋白(%,干物质)	15.50
钙(%,干物质)	3.00
总磷(%,干物质)	0.63
蛋氨酸(%,干物质)	0.40
胱氨酸(%,干物质)	0.30
赖氨酸(%,干物质)	0.80

平均日采食量=每日总采食量/鸡羽数;

平均蛋重=总蛋重/产蛋数;

产蛋率=每日总产蛋数/总鸡数×100%;

破损率=破蛋数/总蛋数×100%。

1.4.2 生殖激素指标的测定 采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定血清中促卵泡素(Follicle-stimulating hormone, FSH)、黄体生成素(Luteinizing hormone, LH)、孕酮(Progesterone, P₄)、雌二醇(Estradiol, E₂)的含量,试剂盒购自江苏酶免实业有限公司。

1.4.3 不同等级卵泡的测定 取怀乡鸡卵巢,剥离直径>1 mm 的卵泡,称重,用电子游标卡尺测量卵泡直径,按直径大小分为等级卵泡(Grade follicles, GF)(≥12 mm),大黄卵泡(Large yellow follicles, LYF)(9~11 mm),小黄卵泡(Small yellow follicles, SYF)(6~8 mm),小白卵泡(Small white follicles, SWF)(≤2 mm),大白卵泡(Large white follicles, LWF)(3~5 mm),统计各级卵泡数。

1.4.4 小黄卵泡、大黄卵泡结构观察 避光,于4%多聚甲醛中固定 SYF、LYF 组织,用乙醇脱水,透明(乙醇+二甲苯),透蜡(二甲苯+石蜡),将溶解的石蜡注入包埋盒内包埋后,修蜡,切片(厚度为4 μm),经苏木精-伊红染色后在光学显微镜(型号: CX31)下观察卵泡的组织形态并拍照,分析结构差异。

1.4.5 小黄卵泡颗粒细胞结构观察 于电镜固定液(2.5%戊二醛)中固定小黄卵泡,室温固定2 h,4℃冷链运输送至武汉博尔夫生物科技有限公司制作电镜超薄切片,用透射电镜拍照。

1.5 数据分析

用 Excel 2021 整理全部试验数据,用 IBM SPSS 26.0 软件进行方差分析(一般线性模型-单变量)和差异显著性检验(Duncan's 法), $P<0.05$ 为差异显著,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 斑蝥黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡产蛋性能的影响

2.1.1 斑蝥黄对常温环境中怀乡鸡产蛋性能的影响 如表4所示,在试验前期,与 NC 处理相比,NT2 处理怀乡鸡日均采食量显著增加($P<0.05$),NT1、NT2 处理怀乡鸡产蛋率显著提高($P<0.05$)。所有常温处理(NC、NT1、NT2、NT3、NT4)怀乡鸡的平均蛋重和蛋破损率均无显著差异($P>0.05$)。在试验前期,NT2 处理怀乡鸡日均采食量最高,显著高于其

他常温处理(NC、NT1、NT3、NT4) ($P<0.05$)。在试验前期,NT1 和 NT2 处理怀乡鸡产蛋率显著高于其他常温处理(NC、NT3、NT4) ($P<0.05$)。在试验中期,NT2 处理怀乡鸡产蛋率显著高于其他常温处理(NC、NT1、NT3、NT4) ($P<0.05$)。NT3 处理怀乡鸡平均蛋重显著高于 NC 处理($P<0.05$),NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡蛋破损率无显著差异

($P>0.05$)。在试验后期,NT2 处理怀乡鸡产蛋率显著高于 NC、NT3、NT4 处理($P<0.05$)。NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡平均蛋重显著高于 NC 处理($P<0.05$),NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡蛋破损率无显著差异($P<0.05$)。综上可知,在常温环境中,添加6~8 mg/kg斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能具有促进作用。

表 4 温度和斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能的影响

Table 4 Effects of temperature and canthaxanthin on laying performance of Huaixiang chicken

试验时期	处理	日均采食量 (g/d)	平均蛋重 (g)	产蛋率 (%)	蛋破损率 (%)
试验前期	NC	109.33±1.80b	41.33±0.71a	65.00±1.55b	0.41±0.04b
	NT1	107.44±6.01b	41.18±0.77a	70.05±1.64a	0.43±0.07b
	NT2	117.19±5.55a	41.81±0.83a	71.76±3.25a	0.37±0.05b
	NT3	104.36±5.96b	41.06±0.53ab	66.17±3.97b	0.44±0.15b
	NT4	109.27±4.38b	40.73±0.83ab	66.67±3.01b	0.45±0.07b
	HC	93.50±2.89c	37.22±0.40f	49.50±2.26e	2.03±0.30a
	HT1	93.90±4.15c	38.41±0.93e	57.00±1.10d	1.95±0.14a
	HT2	94.12±2.84c	39.53±0.62cd	58.83±3.13cd	1.99±0.13a
	HT3	96.79±4.54c	39.91±0.56bc	61.33±1.37c	1.81±0.17a
	HT4	93.46±3.99c	38.61±0.74de	59.83±3.19c	2.04±0.26a
试验中期	NC	101.84±6.19bc	45.10±0.86bc	53.11±4.04bc	0.44±0.03b
	NT1	109.79±8.27a	44.49±0.59c	57.22±5.74b	0.36±0.04b
	NT2	106.73±4.01ab	45.87±1.11ab	67.78±5.44a	0.36±0.08b
	NT3	109.51±7.95a	46.37±2.17a	56.67±5.58b	0.44±0.09b
	NT4	109.13±5.72ab	44.30±0.31c	55.75±1.41b	0.42±0.07b
	HC	87.82±4.19e	38.67±0.28g	42.56±3.44e	2.26±0.29a
	HT1	90.17±5.19de	40.87±0.61e	44.74±5.74de	2.33±0.17a
	HT2	93.55±2.39de	41.07±0.67de	45.78±2.72de	2.24±0.87a
	HT3	96.03±4.85cd	42.04±0.80d	47.78±4.04cde	1.98±0.35a
	HT4	94.36±2.53de	39.75±0.68f	48.12±4.83cd	2.26±0.29a
试验后期	NC	100.46±7.18cd	46.15±0.39b	53.06±2.15b	0.51±0.08d
	NT1	102.68±6.10c	46.39±0.39b	56.53±1.70ab	0.51±0.14d
	NT2	105.89±5.81bc	47.18±0.27a	60.00±2.64a	0.43±0.09d
	NT3	111.98±4.83ab	46.96±0.66a	54.44±3.40b	0.49±0.10d
	NT4	118.51±10.37a	47.16±0.49a	54.93±2.25b	0.50±0.07d
	HC	89.60±3.75e	42.03±0.42de	40.96±5.46e	2.87±0.26a
	HT1	88.55±3.53e	42.70±0.34d	42.54±5.48de	2.71±0.22ab
	HT2	90.02±1.59e	42.03±0.64de	43.48±2.72cde	2.72±0.33a
	HT3	93.80±3.47de	43.54±0.78c	46.78±4.04cd	2.32±0.39bc
	HT4	91.44±3.46e	41.65±0.74e	47.12±4.83c	2.35±0.18c

NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表 1。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 高温对怀乡鸡产蛋性能的影响 如表 4 所示,在试验前、中、后期,与 NC 处理相比,HC 处理怀

乡鸡日均采食量、平均蛋重、产蛋率均显著降低($P<0.05$),蛋破损率显著提高($P<0.05$)。

2.1.3 斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡产蛋性能的影响 如表 4 所示,在试验前期,与 HC 处理相比,HT1、HT2、HT3、HT4 处理怀乡鸡平均蛋重和产蛋率均显著提高($P<0.05$)。在试验中期,与 HC 处理相比,HT1、HT2、HT3、HT4 处理怀乡鸡平均蛋重显著提高($P<0.05$),HT4 处理怀乡鸡产蛋率最高,为 48.12%。在试验前、中期,所有循环高温处理(HC、HT1、HT2、HT3、HT4)的蛋破损率均无显著差

异($P>0.05$)。在试验后期,HT3、HT4 处理怀乡鸡蛋破损率显著低于 HC、HT1、HT2 处理($P<0.05$),与 HC 处理相比,HT4 处理怀乡鸡产蛋率最高,为 47.12%。表 5 是温度和斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能影响的双因素方差分析结果。综上可知,在循环高温环境中,添加 10 mg/kg 斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能具有促进作用。

表 5 温度和斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能影响的双因素方差分析结果

Table 5 Results of two-factor analysis of variance for the effect of temperature and canthaxanthin on laying performance of Huaixiang chicken

试验时期	因素	P 值			
		日均采食量	平均蛋重	产蛋率	蛋破损率
试验前期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螫黄	0.077	<0.050	<0.050	0.802
	温度 * 斑螫黄	<0.050	<0.050	<0.050	0.430
试验中期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螫黄	<0.050	<0.050	<0.050	0.825
	温度 * 斑螫黄	0.676	<0.050	<0.050	0.475
试验后期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螫黄	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	温度 * 斑螫黄	<0.050	<0.050	<0.050	0.068

2.2 斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡血清生殖激素水平的影响

2.2.1 斑螫黄对常温环境中怀乡鸡血清生殖激素水平的影响 如表 6 所示,在试验前期,与 NC 处理相比,NT1、NT2、NT3 处理血清中促卵泡素含量显著增加($P<0.05$),NT1、NT2、NT3、NT4 处理血清中黄体生成素质量浓度显著增加($P<0.05$)。在试验前、中期,NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理血清中雌二醇和孕酮质量浓度均无显著差异($P>0.05$)。在试验中、后期,与 NC 处理相比,NT1、NT2、NT3、NT4 处理血清中促卵泡素和黄体生成素质量浓度均显著增加($P<0.05$)。

2.2.2 高温对怀乡鸡血清生殖激素水平的影响 如表 6 所示,在试验前期,与 NC 处理相比,HC 处理血清中促卵泡素含量与黄体生成素、雌二醇质量浓度显著下降($P<0.05$)。在试验中期,与 NC 处理相比,HC 处理血清中促卵泡素含量与黄体生成素、孕酮质量浓度显著下降($P<0.05$)。在试验后期,与 NC 处理相比,HC 处理血清中促卵泡素含量与黄体生成素、雌二

醇、孕酮质量浓度均显著下降($P<0.05$)。

2.2.3 斑螫黄对循环高温环境中怀乡鸡血清生殖激素水平的影响 如表 6 所示,在试验前期,与 HC 处理相比,HT1、HT2、HT3、HT4 处理血清中促卵泡素含量显著增加($P<0.05$),HT3、HT4 处理血清中雌二醇质量浓度显著增加($P<0.05$)。在试验前期,HC、HT1、HT2、HT3、HT4 处理血清中黄体生成素、孕酮质量浓度均无显著差异($P>0.05$)。在试验中期,HC、HT1、HT2、HT3、HT4 处理血清中促卵泡素含量与黄体生成素、雌二醇、孕酮质量浓度均无显著差异($P>0.05$)。在试验后期,HT3 处理血清中黄体生成素、雌二醇、孕酮质量浓度均显著高于 HC 处理($P<0.05$)。温度和斑螫黄对怀乡鸡血清生殖激素水平影响的双因素方差分析结果见表 7。综上,在怀乡鸡 34~36 周龄,在饲料中添加 8 mg/kg 斑螫黄可以促进循环高温环境中怀乡鸡血清中生殖激素的升高。

2.3 斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡卵泡发育的影响

2.3.1 斑螫黄对常温环境中怀乡鸡卵泡发育的影

响 如表 8 所示,在试验前期,NT3 处理怀乡鸡大卵泡、大白卵泡数量显著高于 NC、NT1、NT2、NT4 处理($P<0.05$),NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡卵巢重、小黄卵泡数量、小白卵泡数量均无显著差异($P>0.05$)。在试验中期,与 NC 处理相比,NT1、NT4 处理怀乡鸡大白卵泡数量显著增加($P<0.05$)。在试验中期,NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡卵

巢重、等级卵泡数量、小黄卵泡数量、小白卵泡数量均无显著差异($P>0.05$)。在试验后期,NT2 处理怀乡鸡小黄卵泡数量最高,显著高于 NC 处理($P<0.05$),NT3 处理怀乡鸡大白卵泡数量最高,显著高于 NC 处理($P<0.05$)。在试验后期,NC、NT1、NT2、NT3、NT4 处理怀乡鸡卵巢重、等级卵泡数量、小白卵泡数量均无显著差异($P>0.05$)。

表 6 温度和斑螋黄对怀乡鸡血清生殖激素水平的影响

Table 6 Effects of temperature and canthaxanthin on serum reproductive hormone levels of Huaixiang chicken

试验时期	处理	促卵泡素含量 (mIU/ml)	黄体生成素质量浓度 (ng/ml)	雌二醇质量浓度 (pg/ml)	孕酮质量浓度 (ng/ml)
试验前期	NC	28.88±1.57b	178.01±8.44b	418.73±63.63a	28.52±5.65a
	NT1	33.74±4.07a	220.27±8.77a	422.46±42.33a	28.52±3.47a
	NT2	34.13±3.00a	232.49±6.50a	473.79±65.66a	28.52±2.36a
	NT3	33.29±3.92a	221.71±21.24a	427.80±25.67a	27.20±1.04a
	NT4	28.57±3.09b	216.62±18.90a	415.51±57.93a	26.38±2.83a
	HC	18.18±1.24d	137.62±7.43c	266.13±23.97d	26.02±2.39a
	HT1	22.75±2.44c	149.32±13.72c	303.52±12.13cd	25.99±2.57a
	HT2	23.85±2.40c	150.88±10.53c	316.28±21.81bcd	26.88±4.96a
	HT3	24.28±2.07c	152.18±10.81c	342.38±16.98bc	28.34±2.92a
	HT4	23.30±2.19c	148.10±12.32c	355.45±24.40b	26.81±2.87a
试验中期	NC	22.61±3.17b	177.57±7.95b	402.61±43.16a	30.26±2.61ab
	NT1	31.16±5.56a	221.62±14.03a	453.04±62.73a	32.27±4.03a
	NT2	32.81±6.17a	224.15±12.29a	468.67±65.51a	31.48±5.58abc
	NT3	31.83±2.49a	207.57±11.65a	441.31±73.47a	31.18±5.38a
	NT4	29.34±6.05a	206.57±20.90a	436.48±26.74a	30.76±4.49ab
	HC	15.39±2.97c	134.67±18.93c	430.98±33.92a	24.76±2.01c
	HT1	15.74±2.65c	146.70±10.55c	419.03±37.57a	26.67±1.67bc
	HT2	17.35±2.26c	142.84±15.90c	428.04±45.37a	27.29±3.82abc
	HT3	17.91±2.16c	154.22±6.61c	429.02±22.09a	29.03±2.00abc
	HT4	15.91±2.19c	144.06±15.25c	437.64±18.61a	30.98±2.64abc
试验后期	NC	20.33±2.96c	178.64±7.41b	360.23±34.46ab	28.41±1.99bc
	NT1	25.26±1.75b	223.43±15.72a	373.91±36.07a	32.93±3.70a
	NT2	26.14±1.82ab	226.58±10.53a	366.81±33.29a	33.17±3.75a
	NT3	28.41±0.79a	212.39±11.00a	365.82±60.04ab	29.89±1.68ab
	NT4	29.20±2.89a	207.81±12.60a	361.85±17.02ab	27.99±2.38b
	HC	14.32±3.04d	128.13±12.04d	283.19±16.31d	22.80±2.88d
	HT1	16.74±2.57cd	138.39±14.69cd	298.35±23.45cd	24.25±2.90cd
	HT2	16.48±2.58cd	137.20±15.81cd	308.16±21.98bed	23.70±2.66cd
	HT3	17.73±2.82cd	158.59±21.55c	338.19±33.84abc	27.67±2.58bc
	HT4	16.91±1.90cd	137.08±15.60cd	328.76±33.62abc	25.24±2.03cd

NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表 1。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 7 温度和斑螫黄对怀乡鸡血清生殖激素水平影响的双因素方差分析结果

Table 7 Results of two-factor analysis of variance for the effect of temperature and canthaxanthin on serum reproductive hormone levels of Huaixiang chicken

试验时期	因素	P 值			
		促卵泡素	黄体生成素	雌二醇	孕酮
试验前期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	0.233
	斑螫黄	<0.050	<0.050	0.089	0.972
	温度 * 斑螫黄	0.078	<0.050	0.074	0.617
试验中期	温度	<0.050	<0.050	0.294	<0.050
	斑螫黄	<0.050	<0.050	0.089	0.371
	温度 * 斑螫黄	<0.050	<0.050	0.703	0.470
试验后期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螫黄	<0.050	<0.050	0.289	<0.050
	温度 * 斑螫黄	<0.050	0.062	0.445	<0.050

2.3.2 高温对怀乡鸡卵泡发育的影响 如表 8 所示,在试验前期,与 NC 处理相比,HC 处理怀乡鸡卵巢重、等级卵泡数量、小黄卵泡数量、大黄卵泡数量、小白卵泡数量均显著降低($P<0.05$)。在试验中期,

与 NC 处理相比,HC 处理怀乡鸡大黄卵泡数量、小白卵泡数量均显著降低($P<0.05$)。在试验后期,与 NC 处理相比,HC 处理怀乡鸡小黄卵泡数量、大黄卵泡数量、大白卵泡数量均显著降低($P<0.05$)。

表 8 温度和斑螫黄对怀乡鸡卵泡发育的影响

Table 8 Effects of temperature and canthaxanthin on follicle development of Huaixiang chicken

试验时期	处理	卵巢重 (g)	等级卵泡数 (个/羽)	小黄卵泡数 (个/羽)	大黄卵泡数 (个/羽)	小白卵泡数 (个/羽)	大白卵泡数 (个/羽)
试验前期	NC	3.26±0.65ab	6.33±0.52a	12.83±1.33ab	2.75±0.50b	39.67±2.25a	33.67±8.24cdef
	NT1	3.37±0.51ab	5.83±0.41ab	13.67±3.88ab	2.75±0.50b	40.33±2.58a	38.33±7.23bc
	NT2	3.51±0.53a	6.17±0.75ab	13.83±3.76a	2.50±0.58bc	41.00±4.47a	37.33±4.41cd
	NT3	3.41±0.75ab	5.83±1.17ab	13.50±3.39a	3.75±0.50a	40.00±3.03a	54.00±10.66a
	NT4	3.35±0.40ab	6.17±1.47ab	13.33±2.50a	2.75±0.50b	39.33±3.39a	47.67±5.68b
	HC	2.19±0.18d	3.83±0.41c	3.67±1.37d	1.00±0.00d	26.00±2.83c	23.00±3.90f
	HT1	2.42±0.15cd	4.33±0.82bc	4.67±1.03d	1.00±0.00d	28.33±3.72b	26.33±2.25ef
	HT2	2.16±0.12d	4.83±1.33abc	5.83±1.17d	1.00±0.00d	25.33±3.01c	32.00±3.35cde
	HT3	2.19±0.15d	4.83±0.75abc	7.00±1.26cd	2.00±0.00c	21.33±1.75cd	30.33±9.11def
	HT4	2.87±0.33bc	4.83±1.17abc	10.00±0.63bc	1.00±0.00d	19.33±1.37d	25.33±4.27ef
试验中期	NC	3.36±0.19ab	5.67±0.82ab	14.83±3.49ab	2.50±0.58ab	30.33±7.06a	30.33±2.25bc
	NT1	3.55±1.25a	6.33±1.51a	17.17±1.60a	2.50±0.58ab	33.00±2.83a	35.67±7.79a
	NT2	3.40±0.38ab	6.50±1.05a	17.33±0.82a	2.75±0.50a	33.33±2.42a	35.50±3.56ab
	NT3	3.40±0.72abc	6.17±0.98ab	16.33±2.66ab	2.50±0.58ab	32.67±2.34a	34.67±2.25ab
	NT4	3.37±0.66ab	6.00±0.89ab	13.83±3.06ab	2.00±0.00bc	32.33±2.25a	40.00±5.44a
	HC	2.82±0.23bc	4.83±0.41ab	11.67±0.82b	1.00±0.00d	16.00±1.41cd	21.67±4.03cd
	HT1	2.44±0.18c	4.50±1.05b	12.67±2.58b	1.00±0.00d	18.83±2.40c	20.33±3.44d
	HT2	2.90±0.09bc	4.50±0.55b	14.33±3.50ab	1.00±0.00d	26.50±6.06b	25.83±4.88cd

续表8 Continued8

试验时期	处理	卵巢重 (g)	等级卵泡数 (个/羽)	小黄卵泡数 (个/羽)	大黄卵泡数 (个/羽)	小白卵泡数 (个/羽)	大白卵泡数 (个/羽)
试验后期	HT3	3.05±0.39abc	5.17±1.17ab	14.67±2.73ab	1.75±0.50c	12.50±2.95d	27.00±7.38cd
	HT4	3.22±0.32abc	5.00±1.26ab	12.33±2.42b	1.75±0.50c	16.50±5.21cd	26.00±4.73cd
	NC	3.20±0.32abcd	5.00±0.63a	12.33±1.51bcd	2.50±0.58a	26.00±4.56ab	41.67±5.28bc
	NT1	3.42±0.59ab	5.67±1.37a	13.67±2.34ab	1.75±0.50bc	27.33±3.08a	44.00±7.85bc
	NT2	3.53±0.59a	6.17±0.98a	15.00±2.53a	2.25±0.50ab	27.67±4.32a	43.67±6.35b
	NT3	3.44±0.55ab	5.50±1.05a	13.50±2.26abc	1.75±0.50bc	27.33±2.42a	54.00±6.45a
	NT4	3.32±0.61abc	5.50±1.38a	13.33±1.86abcd	1.00±0.00d	26.67±3.14a	42.67±3.27bc
	HC	2.60±0.47d	4.67±0.52a	9.33±2.80e	1.75±0.50cd	23.33±2.94a	33.00±4.82d
	HT1	2.88±0.33cd	4.67±0.52a	10.33±2.16cde	1.00±0.00d	19.17±3.71b	34.67±3.27cd
	HT2	2.99±0.28bcd	5.33±1.21a	10.33±1.03de	1.00±0.00d	23.33±5.32a	32.67±4.84d
	HT3	2.62±0.39d	5.33±1.03a	10.67±1.21cde	1.75±0.58bc	23.50±2.81ab	36.67±6.22cd
	HT4	2.89±0.09bcd	5.33±0.82a	12.00±2.00cde	2.50±0.58a	24.00±3.35ab	33.50±5.99d

NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表1。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3.3 斑螋黄对循环高温环境中怀乡鸡卵泡发育的影响 如表8所示,在试验前期,HT3处理怀乡鸡大黄卵泡数量显著高于HC处理($P<0.05$),HT1处理小白卵泡数量显著高于HC处理($P<0.05$),HT3处理怀乡鸡大黄卵泡数量显著高于HC处理($P<0.05$),HC、HT1、HT2、HT3、HT4处理怀乡鸡等级卵泡数量、大白卵泡数量均无显著差异($P>0.05$)。在试验中期,HT3、HT4处理怀乡鸡大黄卵泡数量显著高于HC、HT1、HT2处理($P<0.05$),HT2处理怀乡鸡小白卵泡数量显著高于HC、HT1、HT3、HT4处理

($P<0.05$),HC、HT1、HT2、HT3、HT4处理怀乡鸡卵巢重、等级卵泡数量、小黄卵泡数量、大白卵泡数量无显著差异($P>0.05$)。在试验后期,HT4处理怀乡鸡大黄卵泡数量显著高于HC、HT1、HT2、HT3处理($P<0.05$),HC、HT1、HT2、HT3、HT4处理怀乡鸡卵巢重、等级卵泡数量、大白卵泡数量无显著差异($P>0.05$)。温度和斑螋黄对怀乡鸡卵泡发育影响的双因素方差分析结果见表9。综上所述,在饲料中添加8~10 mg/kg斑螋黄对循环高温环境中怀乡鸡卵泡发育具有积极作用。

表9 温度和斑螋黄对怀乡鸡卵泡发育影响的双因素方差分析结果

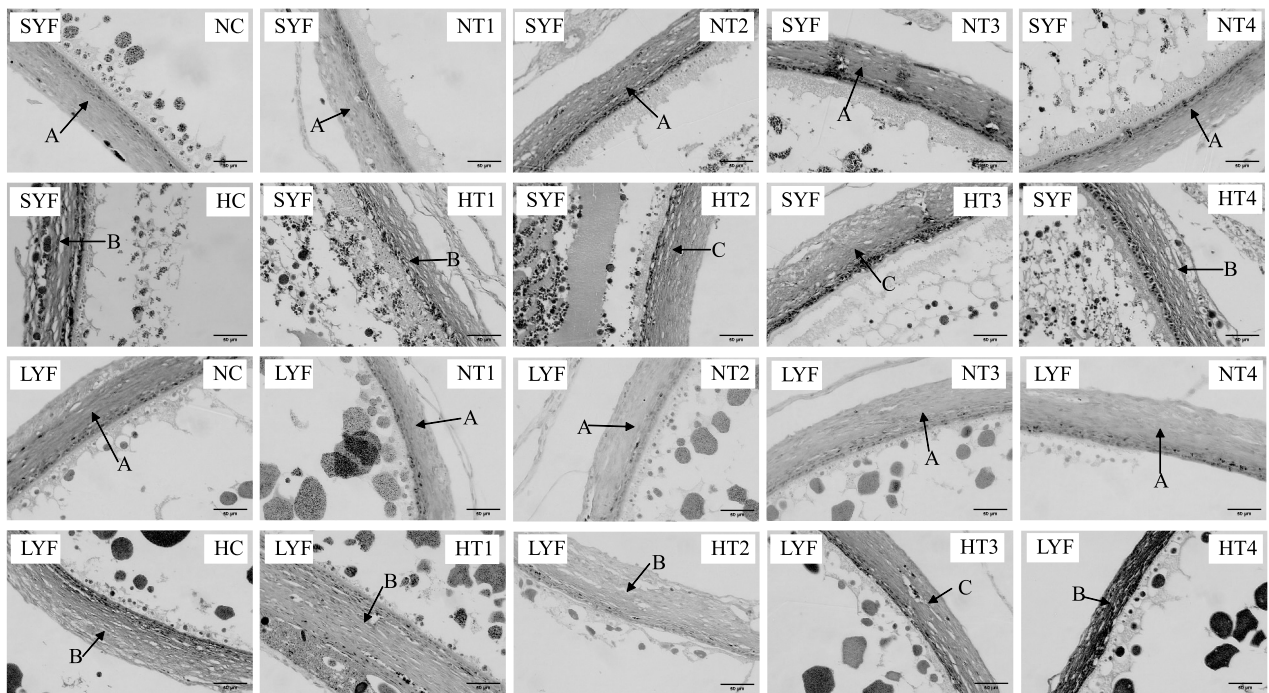
Table 9 Results of two-factor analysis of variance for the effect of temperature and canthaxanthin on follicle development of Huaixiang chicken

试验时期	因素	P 值					
		卵巢重	等级卵泡数	小黄卵泡数	大黄卵泡数	小白卵泡数	大白卵泡数
试验前期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螋黄	0.092	0.930	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	温度 * 斑螋黄	0.074	0.627	0.250	0.943	<0.050	<0.050
试验中期	温度	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螋黄	0.941	0.970	0.172	0.388	<0.050	0.159
	温度 * 斑螋黄	0.191	0.710	0.876	<0.050	<0.050	<0.050
试验后期	温度	<0.050	0.136	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	斑螋黄	0.630	0.692	0.086	0.227	0.308	<0.050
	温度 * 斑螋黄	0.929	0.522	0.461	<0.050	0.212	<0.050

2.4 斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡、大黄卵泡结构的影响

如图 1、图 2、图 3 所示,用透射电镜观察怀乡鸡小黄卵泡和大黄卵泡结构,在试验前、中、后期,饲料中添加斑螫黄对常温环境下怀乡鸡小黄卵泡和大黄卵泡结构均无显著影响。NC、NT1、NT2、NT3 和 NT4 处理怀乡鸡的卵泡发育良好,颗粒细胞层与卵泡膜层连接紧密,颗粒细胞无空泡变性现象,卵泡膜组织完整,无松散或破裂现象。与 NC 处理相比,HC 处理怀乡鸡的小黄卵泡和大黄卵泡膜结构

均受到不同程度的损伤,表现为卵泡结缔组织破裂、卵泡膜结构松散、颗粒细胞层与膜层之间出现空隙。与 HC 处理相比,饲料中添加斑螫黄的 HT1、HT2、HT3、HT4 处理怀乡鸡卵泡膜层排列紧密,颗粒细胞层和膜细胞层紧密连接,且卵泡膜细胞和颗粒细胞无明显空泡变性现象。并且随着斑螫黄添加量的增加,卵泡膜结构松散、断裂现象得到改善,试验前期,HT2、HT3 处理改善循环高温环境中怀乡鸡卵泡膜结构松散、断裂现象的效果较好,试验中期和后期,HT3、HT4 处理的效果较好。



NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表 1。SYF:小黄卵泡;LYF:大黄卵泡。A:卵泡发育良好,颗粒细胞层与卵泡膜层连接紧密;B:卵泡结缔组织破裂,卵泡膜结构松散、断裂,颗粒细胞层与膜层之间出现空隙;C:卵泡膜层排列紧密,卵泡膜和颗粒细胞空泡变性现象减少。

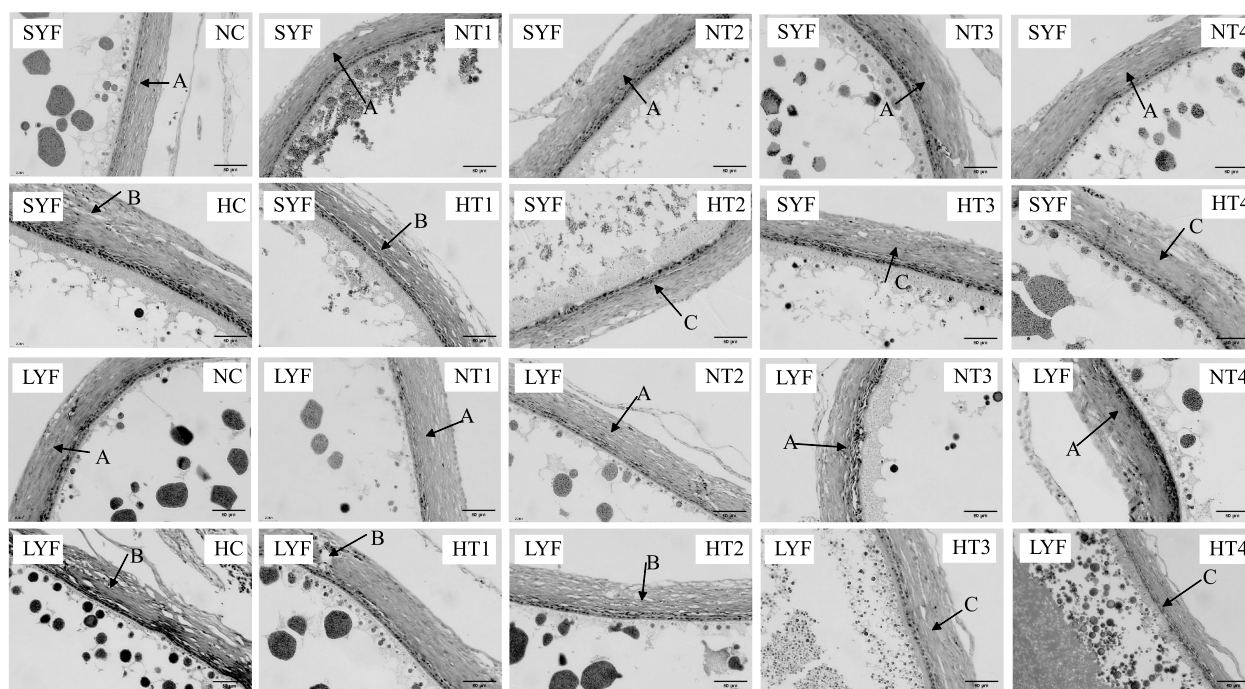
图 1 试验前期斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡、大黄卵泡膜结构的影响($\times 400$)

Fig.1 Effect of canthaxanthin on the membrane structure of small yellow follicle and large yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the early stage of the experiment($\times 400$)

2.5 斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞结构的影响

如图 4、图 5、图 6 所示,用透射电子显微镜观察怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞,在试验前、中、后期,饲料中添加斑螫黄对常温环境下怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞结构无显著影响,NC、NT3、NT4 处理怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞细胞核均无皱缩,核膜完好,核质颜色

无异常。与 NC 处理相比,HC 处理怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞出现了明显的核染色质凝聚,核质颜色深,细胞核呈皱缩状,线粒体嵴排列紊乱且部分嵴消失或融合,细胞变形。循环高温环境中,与 HC 处理相比,饲料中添加斑螫黄的怀乡鸡小黄卵泡核质颜色有变浅的趋势,但颗粒细胞的形态未恢复至常温水平。



NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表 1。SYF: 小黄卵泡; LYF: 大黄卵泡。A: 卵泡发育良好, 颗粒细胞层与卵泡膜层连接紧密; B: 卵泡结缔组织破裂, 卵泡膜结构松散、断裂, 颗粒细胞层与膜层之间出现空隙; C: 卵泡膜层排列紧密, 卵泡膜和颗粒细胞空泡变性现象减少。

图 2 试验中期斑螋黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡、大黄卵泡膜结构的影响 ($\times 400$)

Fig.2 Effect of canthaxanthin on the membrane structure of small yellow follicle and large yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the middle stage of the experiment ($\times 400$)

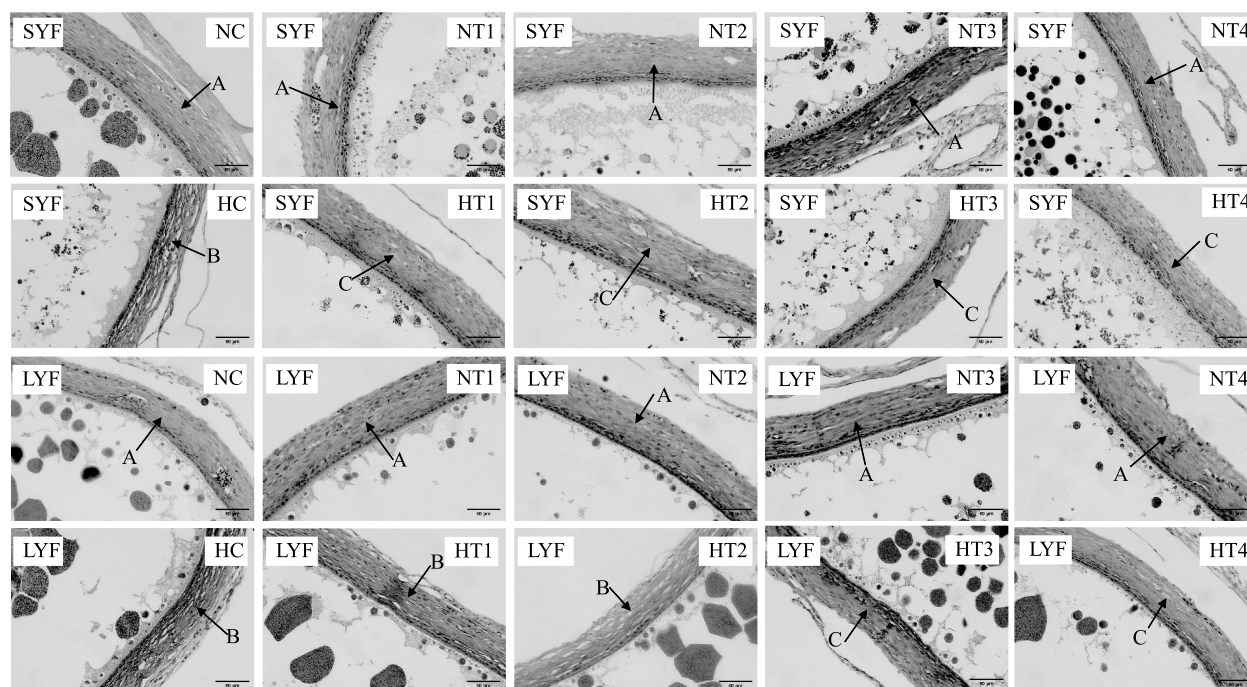
3 讨论

3.1 高温对怀乡鸡产蛋性能的影响机制

热应激导致家禽的繁殖能力下降是一种普遍现象^[20]。热应激对家禽产蛋性能的负面影响, 首先表现为日均采食量下降。研究发现, 循环高温显著降低了鸡的采食量, 肉鸡上皮细胞在高温环境中发生水分失衡, 脱水改变了细胞的通透性, 影响了肠道结构, 降低了十二指肠和空肠的绒毛高度和空肠的绒毛隐比, 降低了空肠胰蛋白酶的活性, 对家禽的消化功能产生了不利影响^[21-22]。由此推测循环高温对怀乡鸡肠道产生的不利影响, 可能是因为限制了肠道的消化吸收功能, 使种鸡用于产蛋的营养物质摄入不足, 从而降低了种鸡的产蛋性能。其次, 热应激条件下, 家禽呼吸频率增加, 导致机体发生呼吸性碱中毒, 血浆蛋白质和钙流失, 整体产蛋率下降, 蛋破损率上升^[23-24]。Barrett 等^[6]发现, 持续的热应激在导致蛋鸡采食量和产蛋率下降的同时, 血清中的钙离

子浓度也明显下降, 说明热应激状态下蛋鸡摄入的钙水平也会下降。刁华杰等^[25]的研究结果表明, 在高温环境中, 蛋鸡日均采食量、体增重和平均蛋重显著降低, 和本研究结果一致。

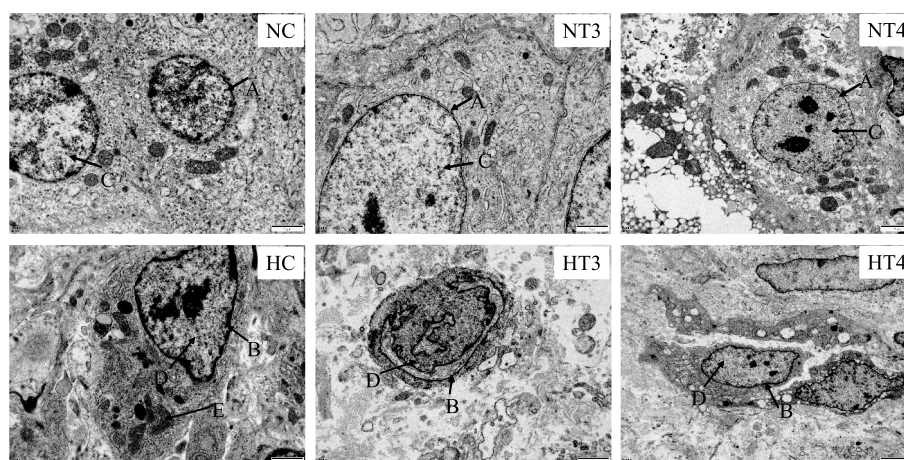
研究结果显示, 鸡发生热应激时, 体内黄体生成素水平和下丘脑促性腺激素释放激素的含量均会降低^[26], 排卵前黄体生成素和黄体酮的水平降低^[27]。由垂体分泌的促卵泡素 (FSH) 和促黄体素 (LH) 协同参与卵泡发育和类固醇类激素的合成和性腺活动。高温影响蛋鸡机体内分泌功能, 降低下丘脑促性腺激素释放激素 (GnRH) 的分泌量, 减少垂体促性腺激素 (GTH) 的生成, 导致黄体生成素 (LH) 和促卵泡素 (FSH) 水平降低, 也是影响其产蛋性能的重要原因^[28]。家禽发生热应激会导致机体内分泌失调, 下丘脑和垂体功能受限, 黄体生成素 (LH) 和促卵泡素 (FSH) 水平降低, 高文^[29]发现, 高温环境中 27 周龄罗曼蛋鸡血清促卵泡素 (FSH)、黄体生成素 (LH)、雌二醇 (E_2)、孕酮 (P_4) 水平显著下降。研



NC、NT1、NT2、NT3、NT4、HC、HT1、HT2、HT3、HT4 见表 1。SYF: 小黄卵泡; LYF: 大黄卵泡。A: 卵泡发育良好, 颗粒细胞层与卵泡膜层连接紧密; B: 卵泡结缔组织破裂, 卵泡膜结构松散、断裂, 颗粒细胞层与膜层之间出现空隙; C: 卵泡膜层排列紧密, 卵泡膜和颗粒细胞空泡变性现象减少。

图 3 试验后期斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡、大黄卵泡膜结构的影响 ($\times 400$)

Fig.3 Effect of canthaxanthin on the membrane structure of small yellow follicle and large yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the late stage of the experiment ($\times 400$)

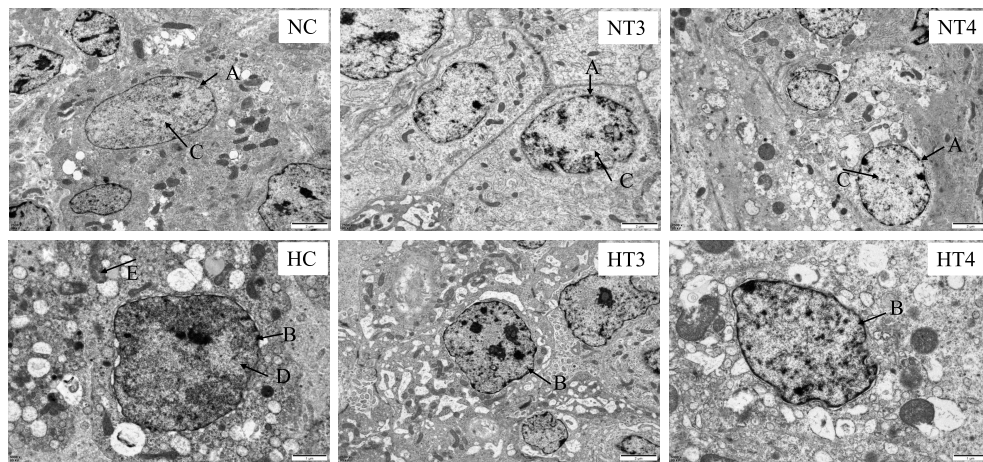


NC、NT3、NT4、HC、HT3、HT4 见表 1。A: 核膜完好无皱缩; B: 核膜皱缩; C: 核质颜色无异常; D: 核质颜色深; E: 线粒体嵴排列紊乱, 部分嵴消失或融合。

图 4 试验前期斑螫黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞结构的影响 ($\times 5\ 000$)

Fig.4 Effect of canthaxanthin on the structure of granulosa cells in small yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the early stage of the experiment ($\times 5\ 000$)

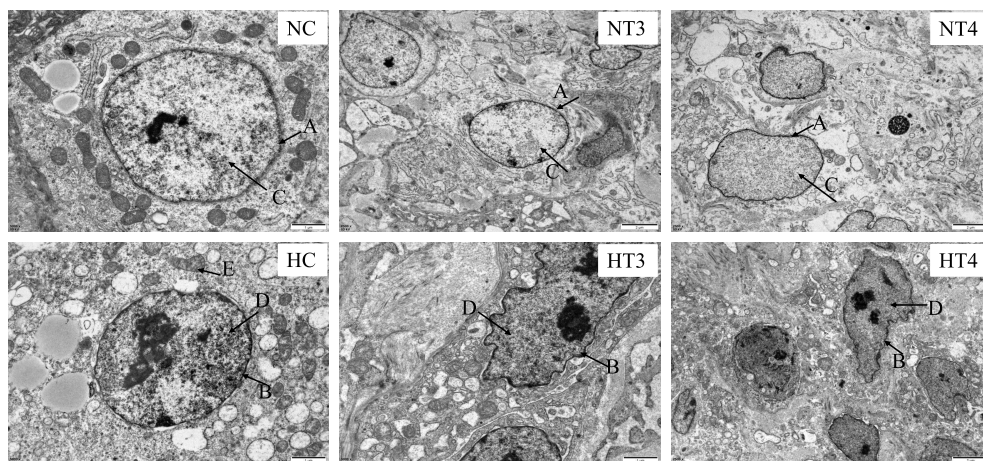
究发现, 家禽发生热应激时卵巢和大黄卵泡受到氧化损伤, 卵巢和大黄卵泡的相对重量下降, 在家禽发



NC、NT3、NT4、HC、HT3、HT4 见表 1。A:核膜完好无皱缩;B:核膜皱缩;C:核质颜色无异常;D:核质颜色深;E:线粒体嵴排列紊乱,部分嵴消失或融合。

图 5 试验中期斑螋黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞结构的影响($\times 5\ 000$)

Fig.5 Effect of canthaxanthin on the structure of granulosa cells in small yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the middle stage of the experiment($\times 5\ 000$)



NC、NT3、NT4、HC、HT3、HT4 见表 1。A:核膜完好无皱缩;B:核膜皱缩;C:核质颜色无异常;D:核质颜色深;E:线粒体嵴排列紊乱,部分嵴消失或融合。

图 6 试验后期斑螋黄对常温和循环高温环境中怀乡鸡小黄卵泡颗粒细胞结构的影响($\times 5\ 000$)

Fig.6 Effect of canthaxanthin on the structure of granulosa cells in small yellow follicle of Huaixiang chicken at normal temperature and cyclic high temperature during the late stage of the experiment($\times 5\ 000$)

生严重热应激时,可能会中止排卵^[30-32]。Li 等^[10]研究发现,35~37℃的高温会使 30 周龄蛋鸡卵巢大白卵泡、小黄卵泡、大黄卵泡的数量降低,抑制等级前卵泡进一步发育成大黄卵泡和等级卵泡,从而降低产蛋率。

在本试验中,怀乡鸡在循环高温环境中产蛋性能下降,表现为产蛋率下降和蛋破损率增加,这可能

是由于卵巢功能下降,导致血浆生殖激素水平下降,使卵泡膜结构松散,造成卵泡颗粒细胞损伤。在本试验中高温可明显降低怀乡鸡血清促卵泡素(FSH)、黄体生成素(LH)、雌二醇(E_2)、孕酮(P_4)水平,怀乡鸡的卵巢重、等级卵泡数量、小黄卵泡数量、大黄卵泡数量、小白卵泡数量和大白卵泡数量均降低,造成卵泡膜结构松散、卵泡颗粒细胞损伤,这

表明高环境温度可能对家禽卵泡发育有直接的伤害。

3.2 斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能的影响机制

类胡萝卜素已被证实对蛋鸡的生产性能有促进作用^[33-34]。目前,在饲料中添加斑螫黄对怀乡鸡产蛋性能影响的研究较少。有研究结果证实,常温环境中在饲料中添加斑螫黄,蛋鸡的产蛋性能无显著提升^[35],而本研究中,在饲料中添加斑螫黄对常温环境中怀乡鸡的产蛋性能和生殖激素水平有一定提升作用,可能与基因型的随机选择有关,不同遗传群体的家禽对相同补充剂的反应可能不同。

本试验研究结果显示,在循环高温环境中,相较于 HC 处理,饲料中添加斑螫黄处理的怀乡鸡的整体日均采食量、平均蛋重、产蛋率上升,蛋破损率下降。血清中促卵泡素(FSH)、黄体生成素(LH)、雌二醇(E_2)、孕酮(P_4)水平整体上升,等级卵泡数量、小黄卵泡数量、大黄卵泡数量、小白卵泡数量和大白卵泡数量整体增多。说明斑螫黄可以促进循环高温中种鸡垂体分泌 FSH 和 LH,提高卵泡合成、分泌 E_2 、 P_4 的能力。

线粒体内膜上分布大量的生殖激素合成酶,是合成生殖激素的场所。斑螫黄和虾青素同为酮式类胡萝卜素,具有抗氧化特性,类胡萝卜素因其自身的抗氧化特性可以保护细胞线粒体免受应激损伤,虾青素作为一种抗氧化剂能缓解氧化应激诱导的线粒体功能障碍^[36]。Dai 等^[37]发现,虾青素可作用于小鼠下丘脑和卵巢,缓解下丘脑和卵巢的衰老,提高生育力。Wang 等^[38]的研究结果表明,将斑螫黄添加到鸡的饲料中可以显著增加卵泡直径,促使卵泡更快地成熟和排卵,提高产蛋率。斑螫黄可以直接作用于卵巢,促进卵泡细胞分裂和生长,从而提高卵巢重和卵细胞数量。Jan 等^[39]研究发现,将斑螫黄注射到母鸡卵巢中,可以显著增加卵巢重和卵泡数量,并促进卵泡细胞的分裂和生长。有研究结果显示,虾青素可以提高牛卵母细胞核的成熟率,抑制卵母细胞中活性氧(ROS)的作用,抑制颗粒细胞的黄体化,促进卵母细胞的生长和成熟^[40-41]。

现阶段,关于对斑螫黄影响循环高温环境中家禽卵泡发育的研究尚未见报道。本研究发现,饲料中添加斑螫黄可以提高循环高温环境中怀乡鸡血清中生殖激素水平、各级卵泡数量,并改善卵泡膜结构,由此推测斑螫黄具有强大的抗氧化特性,可以提

高下丘脑和垂体的激素分泌水平,缓解热应激对细胞线粒体的不利影响,调节生殖激素水平,改善卵泡膜结构,使各级卵泡正常发育并排出,从而提高家禽产蛋性能。斑螫黄属类胡萝卜素,可能和虾青素有相似的功能,目前相关研究主要集中于虾青素对哺乳动物的影响^[40-41]。

在本试验中发现斑螫黄可以缓解高温对怀乡鸡血清生殖激素水平、各级卵泡数、卵泡结构的不利影响,但对于斑螫黄如何提高怀乡鸡生殖激素的分泌水平,如何缓解高温对怀乡鸡下丘脑-垂体-性腺轴的损伤,以及如何保证高温环境中怀乡鸡生殖功能的正常发挥,机制有待进一步研究。斑螫黄可以通过多种途径影响鸡的生殖功能,包括刺激卵泡成熟和排卵、增加卵巢重和卵泡数量、抑制生殖激素合成和释放等,这为斑螫黄在鸡生产中的应用提供了一定的理论基础。

4 结 论

与常温相比,高温会显著降低怀乡鸡母鸡的产蛋性能、血清生殖激素水平及各级卵泡数量,导致卵泡膜结构松散。常温环境下,在饲料中添加斑螫黄对提高怀乡鸡产蛋性能、血清激素水平具有一定作用,但对卵泡膜结构无显著影响。高温环境中,在饲料中添加斑螫黄可以改善怀乡鸡产蛋性能、血清激素水平,促进卵泡发育,缓解高温对卵泡结构和卵泡颗粒细胞的损伤。其机制可能是斑螫黄具有抗氧化功效,可以调节血清生殖激素水平和卵泡结构,从而促进排卵,提高家禽产蛋性能。

参考文献:

- [1] ZHENG Y H, XIE T, LI S L, et al. Effects of selenium as a dietary source on performance, inflammation, cell damage, and reproduction of livestock induced by heat stress: a review[J]. *Frontiers in Immunology*, 2021, 12: 820853.
- [2] ZHOU Y, LI X M, ZHANG M H, et al. Effect of relative humidity at either acute or chronic moderate temperature on growth performance and droppings' corticosterone metabolites of broilers[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(1): 152-159.
- [3] NAWAB A, LI G, LIU W, et al. Effect of dietary curcumin on the antioxidant status of laying hens under high-temperature condition[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2019, 86: 102449.
- [4] GOELI A. Heat stress management in poultry[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2021, 105(6): 1136-1145.
- [5] AWAD E A, NAJAA M, ZULAIKHA Z A, et al. Effects of heat

- stress on growth performance, selected physiological and immunological parameters, caecal microflora, and meat quality in two broiler strains [J]. *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*, 2020, 33(5): 778-787.
- [6] BARRETT N W, ROWLAND K, SCHMIDT C J, et al. Effects of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens *Science Direct* [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(12): 6684-6692.
- [7] YALCIN S, EMSEN E, OCAK N, et al. Effects of dietary supplementation of some antioxidants on broiler breeder production performance and hatchability [J]. *British Poultry Science*, 2013, 54(5): 635-643.
- [8] AL-OTAIBI M I M, ABDELLATIF H A E, AL-HUWAIL A K A, et al. Hypocholesterolemic, antioxidative, and anti-inflammatory effects of dietary spirulina platensis supplementation on laying hens exposed to cyclic heat stress [J]. *Animals*, 2022, 12(20): 2759.
- [9] CASTRO F L S, KIM H Y, HONG Y G, et al. The effect of total sulfur amino acid levels on growth performance, egg quality, and bone metabolism in laying hens subjected to high environmental temperature [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(10): 4982-4993.
- [10] LI G M, LIU L P, YIN B, et al. Heat stress decreases egg production of laying hens by inducing apoptosis of follicular cells via activating the FasL/Fas and TNF- α systems [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(11): 6084-6093.
- [11] MOHAMMADI H, ANSARI-PIRSARAEI Z. Changes in some blood parameters and production performance of old laying hens due to growth hormone and testosterone injection [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2014, 98(3): 483-490.
- [12] RAJ R G, RANGASWAMY S, RAMASAMY K, et al. Adaptation strategies of poultry to thermal stress and their welfare implications [J]. *Worlds Poultry Science Journal*, 2015, 71(4): 671-682.
- [13] 李永洙, CUI Y Q. 热应激对不同品种鸡繁殖性能、血液生殖激素及相关基因 mRNA 表达量的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(1): 134-141.
- [14] UMAR-FARUK M, ROOS F F, CISNEROS-GONZALEZ F. A meta-analysis on the effect of canthaxanthin on egg production in brown egg layers [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(1): 84-87.
- [15] JOHNSON-DAHL M L, ZUIDHOF M J, KORVER D R. The effect of maternal canthaxanthin supplementation and hen age on breeder performance, early chick traits, and indices of innate immune function [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(3): 634-646.
- [16] CHO J H, ZHANG Z F, KIM I H. Effects of canthaxanthin on egg production, egg quality, and egg yolk color in laying hens [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2013, 5(1): 269-274.
- [17] REN Z Z, JIANG S Z, ZENG Q F, et al. Effects of dietary canthaxanthin and 25-hydroxycholecalciferol supplementation on the antioxidant status and tibia quality of duck breeders and newly hatched ducklings [J]. *Poultry Science*, 2016, 95(9): 2090-2096.
- [18] ROSA A P, SCHER A, SORBARA J O, et al. Effects of canthaxanthin on the productive and reproductive performance of broiler breeders [J]. *Poultry Science*, 2012, 91(3): 660-666.
- [19] ARAUJO L F, ARAUJO C S S, PEREIRA R J G, et al. The dietary supplementation of canthaxanthin in combination with 25OHD3 results in reproductive, performance, and progeny quality gains in broiler breeders [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5801-5808.
- [20] KUMAR M, RATWAN P, DAHIYA S P, et al. Climate change and heat stress: impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies [J]. *Journal Thermal Biology*, 2021, 97: 102867.
- [21] SONG J, JIAO L F, XIAO K, et al. Cello-oligosaccharide ameliorates heat stress-induced impairment of intestinal microflora, morphology and barrier integrity in broilers [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 185(3/4): 175-181.
- [22] RATRIYANTO A, MOSENTHIN R. Osmoregulatory function of betaine in alleviating heat stress in poultry [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(6): 1634-1650.
- [23] 李 宁, 戈冰洁, 顾海洋, 等. 高温高湿条件下蛋鸡热应激的调控技术 [J]. *家畜生态学报*, 2020, 41(8): 7-11, 78.
- [24] LARA L J, ROSTAGNO M H. Impact of heat stress on poultry production [J]. *Animals*, 2013, 3(2): 356-369.
- [25] 刁华杰, 冯京海, 张敏红, 等. 循环高温对蛋鸡生产性能、蛋壳品质及钙磷代谢的影响 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(8): 2689-2696.
- [26] 刘梦杰. 姜黄素对热应激蛋鸡生产性能、血清生化指标和抗氧化及免疫功能的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [27] LI D P, TONG Q, SHI Z X, et al. Effects of chronic heat stress and ammonia concentration on blood parameters of laying hens [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(8): 3784-3792.
- [28] KALA M, SHAIKH M V, NIVSARKAR M. Equilibrium between anti-oxidants and reactive oxygen species: a requisite for oocyte development and maturation [J]. *Reproductive Medicine and Biology*, 2016, 16(1): 28-35.
- [29] 高 文. 姜黄素对高温环境下罗曼蛋鸡产蛋率及卵泡发育的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020.
- [30] 李桂明. 热应激影响蛋鸡等级前卵泡发育的机理研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [31] ALAGAWANY M, FARAG M R, EL-HACK M E A, et al. Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail [J]. *Worlds Poultry Science Journal*, 2017, 73(4): 747-756.
- [32] CHENG C Y, TU W L, WANG S H, et al. Annotation of differential gene expression in small yellow follicles of a broiler-type strain of Taiwan country chickens in response to acute heat stress [J]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0143418.
- [33] DAMAZIAK K, MARZEC A, RIEDEL J, et al. Effect of dietary canthaxanthin and iodine on the production performance and egg quality of laying hens [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(11): 4008-4019.
- [34] AYO J O, OBIDI J A, REKWOT P I, et al. Modulatory effects of lycopene and vitamin E on cloacal temperature, thyroid hormonal

- and reproductive performance responses in laying hens during the hot-dry season [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2022, 104: 103-105.
- [35] YUNITASARI F, JAYANEGARA A, ULUPI N. Performance, egg quality, and immunity of laying hens due to natural carotenoid supplementation; a meta-analysis [J]. *Food Science of Animal Resources*, 2023, 43(2): 282-304.
- [36] KIM S H, KIM H. Inhibitory effect of astaxanthin on oxidative stress-induced mitochondrial dysfunction-a mini-review[J]. *Nutrients*, 2018, 10(9): 1137.
- [37] DAI X, ZENG G, HONG L, et al. Ginsenoside Rg1 and astaxanthin act on the hypothalamus to protect female mice against reproductive aging[J]. *Chinese Medical Journal*, 2022, 135(1): 107-109.
- [38] WANG D, ZHOU Y, CHEN X. Effects of estradiol on avian ovarian follicles; a review[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2018, 74(1): 73-82.
- [39] JAN S, SHAH M A, KHAN M Z. Estradiol benzoate induced follicular atresia in gallus domesticus; histological and ultrastructural studies[J]. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 2017, 8(4): 475.
- [40] ABDEL-GHANI M A, YANAGAWA Y, BALBOULA A Z, et al. Astaxanthin improves the developmental competence of invitro-grown oocytes and modifies the steroidogenesis of granulosa cells derived from bovine early antral follicles[J]. *Reproduction Fertility and Development*, 2019, 31(2): 272-281.
- [41] CHELENGA M, SAKAGUCHI K, ABDEL-GHANI M A, et al. Effect of increased oxygen availability and astaxanthin supplementation on the growth, maturation and developmental competence of bovine oocytes derived from early antral follicles[J]. *Theriogenology*, 2020, 157: 341-349.

(责任编辑:成纾寒)