

引用格式:

孙澄慧, 王春梅, 陈琴, 许天政, 朱靖, 王瑛, 文光林, 罗志军, 施晓丽. 五倍子提取物对蛋鸡的产蛋性能和蛋品质及血液生化指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(3): 352–358.

SUN C H, WANG C M, CHEN Q, XU T Z, ZHU J, WANG Y, WEN G L, LUO Z J, SHI X L. Effects of the gallnut extracts on the laying performance, egg quality and blood biochemical indexes of laying hens [J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(3): 352–358.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 五倍子提取物对蛋鸡的产蛋性能和蛋品质 及血液生化指标的影响

孙澄慧<sup>1,2,3</sup>, 王春梅<sup>1,2,3</sup>, 陈琴<sup>1,2,3</sup>, 许天政<sup>1,2,3</sup>, 朱靖<sup>4</sup>,  
王瑛<sup>5</sup>, 文光林<sup>5</sup>, 罗志军<sup>6</sup>, 施晓丽<sup>1,2,3\*</sup>

(1.高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 2.贵州省动物遗传育种与繁殖重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 3.贵州大学动物科学学院, 贵州 贵阳 550025; 4.贵阳市农业农村局, 贵州 贵阳 550081; 5.四川铁骑力士实业有限公司, 四川 绵阳 621006; 6.贵阳倍隆生物科技有限公司, 贵州 修文 550200)

**摘要:** 挑选 1500 只 34 周龄罗曼粉蛋鸡, 随机均分为 3 个处理组, 对照组饲喂基础饲料, 试验组分别饲喂添加了 300 mg/kg 的五倍子单宁酸(GTA)和没食子酸丙酯(PG)的基础饲料, 预试期 1 周, 正试期 8 周, 探究饲喂 GTA 和 PG 对产蛋高峰期蛋鸡的产蛋性能、蛋品质及血液生化指标的影响。结果表明: 与对照相比, 饲料添加 GTA 和 PG 对蛋鸡产蛋性能无显著影响; 饲料添加 GTA 能显著改善试验 8 周时的蛋黄着色, 但饲料添加 GTA 和 PG 对蛋白高度、哈氏单位、蛋黄比例、蛋壳强度和蛋壳厚度均无显著影响; 饲料添加 GTA 能显著降低蛋鸡血浆中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)和胆固醇(TC)的含量, 有降低葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平的趋势; 饲料添加 PG 能显著降低血浆 TP 和 ALB 水平, 有降低 GLU、GLB、TG、TC 和 HDL-C 水平的趋势; 饲料添加 GTA 和 PG 对蛋鸡血清肝损伤指标(谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶活性)和抗氧化指标(超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶活性和丙二醛含量)均无显著影响, 但饲料添加 GTA 能显著降低血清炎症因子(白细胞介素-1、白细胞介素-6、肿瘤坏死因子- $\alpha$ )水平, 饲料添加 PG 可提高血清免疫球蛋白 Y、M 质量浓度。可见, 在本研究条件下, 饲料中添加 300 mg/kg 的 GTA 和 PG 对罗曼粉蛋鸡的产蛋性能无显著影响, 但 GTA 能提高蛋黄着色; 饲料添加 GTA 下调蛋鸡血脂、血浆蛋白及血清炎症因子水平的作用均大于 PG 的; 饲料添加 PG 可提升机体的免疫水平。

**关键词:** 蛋鸡; 五倍子单宁酸; 没食子酸丙酯; 产蛋性能; 蛋黄颜色; 血液生化指标; 炎症因子; 免疫功能

中图分类号: S831.915

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)03-0352-07

### Effects of the gallnut extracts on the laying performance, egg quality and blood biochemical indexes of laying hens

SUN Chenghui<sup>1,2,3</sup>, WANG Chunmei<sup>1,2,3</sup>, CHEN Qin<sup>1,2,3</sup>, XU Tianzheng<sup>1,2,3</sup>, ZHU Jing<sup>4</sup>,  
WANG Ying<sup>5</sup>, WEN Guanglin<sup>5</sup>, LUO Zhijun<sup>6</sup>, SHI Xiaoli<sup>1,2,3\*</sup>

(1.Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in the Plateau Mountainous Region, Ministry of

收稿日期: 2022-07-23

修回日期: 2023-06-10

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2535、黔科合支撑[2022]一般 138)

作者简介: 孙澄慧(1994—), 女, 江苏如皋人, 硕士研究生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, [Chenghuisun\\_nk@163.com](mailto:Chenghuisun_nk@163.com); \*通信作者, 施晓丽, 博士, 教授, 主要从事单胃动物营养研究, [shixl16@163.com](mailto:shixl16@163.com)

Education, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Guizhou Provincial Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 4. Agricultural and Rural Bureau of Guiyang, Guiyang, Guizhou 550081, China; 5. Sichuan Tieqilishi Industrial Co. Ltd, Mianyang, Sichuan 621006, China; 6. Gallochem Co. Ltd, Xiuwen, Guizhou 550200, China)

**Abstract:** In this study, 1500 Lohmann layers aging 34-weeks-old were randomly and equally divided into 3 treatment groups, and the control group was fed a basal diet and the experimental groups were fed the basal diet supplemented 300 mg/kg of GTA and 300 mg/kg PG, respectively. The pre-experimental period lasted for 1 week, and the experimental period lasted for 8 weeks. The results showed that compared with control, dietary GTA and PG had no significant effect on laying performance. GTA could significantly improve yolk color at the 8 weeks, but had no significant effects on protein height, Haugh unit and yolk ratio. The levels of TP, ALB, GLB and TC in the plasma of laying hens with GTA were significantly reduced, while the levels of GLU, TG, HDL-C and LDL-C were tended to decrease. PG could significantly decrease plasma TP and ALB levels, while the levels of GLU, TG and HDL-C were tended to decrease. GTA and PG had no significant effects on liver parameters (ALT, AST, ALP) and antioxidant parameters (SOD, GSH-Px, CAT and MDA) in laying hens. GTA significantly decreased the levels of IL-1, IL-6 and TNF- $\alpha$ , while PG increased the concentrations of serum IgY and IgM. To sum up, the addition of 300 mg/kg GTA and PG in the diet did not affect the egg production performance, however, GTA could improve the egg yolk coloration and reduce the levels of blood lipids, plasma proteins and serum inflammatory factors in laying hens more than PG, and PG could increase the body immunity.

**Keywords:** laying hens; galla tannic acid; propyl gallate; laying performance; egg yolk color; blood biochemistry; inflammatory factor; immune function

中国是五倍子的主产国，贵州、四川和陕西等地为主产区<sup>[1]</sup>。五倍子中主要有效成分为五倍子单宁酸(GTA)，是一种天然植物多酚，是由没食子酸(3,4,5-三羟基苯甲酸，GA)通过酯键与葡萄糖连接形成的化合物，水解可生成 1~8 个分子没食子酸和 1 分子葡萄糖，属于水解单宁<sup>[2]</sup>。由于葡萄糖分子上结合的 GA 分子数不同，GTA 的相对分子质量为 300~2000 不等，且其成分受种类、产地和加工工艺影响较大<sup>[3]</sup>。没食子酸丙酯(3,4,5-三羟基苯甲酸丙酯，PG)是 GA 的衍生物，由 GA 与正丙醇酯化而成，也可以 GTA 为原料直接制备。与 GA 相比，PG 具有较强的脂溶性、还原性和生物活性，PG 被应用于医药和食品工业中<sup>[4-5]</sup>。GTA 和 PG 结构中的酚羟基是其发挥生物学作用的关键所在<sup>[6]</sup>。研究<sup>[7-9]</sup>表明，GTA 具有抗氧化、抗炎症等生物活性，可缓解机体的氧化应激，改善肠道的菌群结构，从而促进动物生长。PG 也具有抗氧化、抗炎和抗癌作用<sup>[10-11]</sup>，但在畜禽中的应用报道较少。本研究中，以产蛋高峰期的罗曼粉蛋鸡为试验对象，从产蛋性能、蛋品质、蛋壳品质和血液生化指标等方面对相同添加剂量下 GTA

和 PG 的营养效应进行初步比较，以期为五倍子在蛋鸡生产中的应用和五倍子产品加工提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试罗曼粉壳蛋鸡由四川铁骑力士实业有限公司冯光德实验室基地提供，34 周龄、产蛋率为 94% 左右。供试五倍子单宁酸(单宁酸(TA)质量分数 40%)和没食子酸丙酯(没食子酸质量分数  $\geq 2\%$ )由贵阳倍隆生物科技有限公司生产提供。谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)、葡萄糖(GLU)检测试剂盒购自长春汇力生物技术有限公司；超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)检测试剂盒购自南京建成生物工程研究所；白细胞介素-1(IL-1)、白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )及免疫球蛋白 Y、A、M(IgY、IgA、IgM)检测试剂盒购自上海酶联生物科技有限公司。

## 1.2 试验设计

采用单因素设计, 选用 1500 只健康的罗曼粉壳蛋鸡, 随机均分成 3 组(对照组、GTA 组和 PG 组), 每组 5 个重复, 每个重复 100 只鸡。参考 NRC(1994)制定的蛋鸡营养需要和 NY/T33—2004《鸡饲养标准》设计玉米-豆粕型基础饲料配方。对照组饲喂基础饲料; GTA 组和 PG 组分别饲喂添加 300 mg/kg 的 GTA 和 PG 的基础饲料。预试期 1 周, 正试期 8 周。

## 1.3 饲养管理

试验在四川铁骑力士实业有限公司冯光德实验室基地进行。鸡群在全封闭鸡舍, 采用 5 层叠层式笼养。人工每天饲喂 2 次(06: 30 和 14: 00), 鸡只自由采食和饮水。鸡舍内平均温度 24 °C, 相对湿度 40%左右, 光照 16 h。每天观察鸡采食情况, 及时调整饲喂计划。观察鸡只有无异常行为, 定期打扫鸡舍卫生。鸡舍通风、免疫、清粪等均按照鸡舍管理标准执行。

## 1.4 测定指标与方法

### 1.4.1 蛋鸡的生产性能测定

每天记录各重复蛋鸡的产蛋数量、总蛋质量, 每周统计蛋鸡采食量, 计算产蛋率、平均蛋质量、日均采食量和料蛋比。

### 1.4.2 蛋品质测定

于正式期 0、4、8 周, 每个重复随机挑选 10 个鸡蛋, 每组 50 个鸡蛋, 用于蛋品质和蛋壳质量测定, 并于采集当日测定蛋品质。运用蛋品质测定仪(EMT-7300, Robotmation)测定蛋质量、蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位; 运用电子天平(ACS-JZ-3, 永康市华鹰衡器有限公司)测定蛋黄质量, 并计算蛋黄比例。

### 1.4.3 蛋壳品质测定

取出鸡蛋样的蛋黄和蛋清, 去掉蛋壳膜, 选取鸡蛋钝端、中部和锐端的蛋壳, 采用数显游标卡尺测定蛋壳厚度, 每个部位各测量 3 次, 求其平均值。运用蛋壳强度测定仪(RH-DQ200, 广州润湖仪

器有限公司)测定蛋壳强度。

### 1.4.4 血液采集与指标测定

采血之前蛋鸡禁饲 8 h, 不禁水, 每重复随机挑选 5 只鸡, 每组 25 只鸡, 共计 75 只, 翅下静脉采血。采集 4 mL 血液于含肝素钠的离心管中, 静置 15 min, 3000 r/min 离心 15 min, 制备血浆, 用于测定 GLU、TG、TC、HDL-C、LDL-C, TP、ALB 和球蛋白(GLB)含量等血浆生化指标。另采集 5 mL 血液于普通真空离心管中, 按制备血浆的方法制备血清, 测定 ALT、AST、ALP 活性等血清生化指标, SOD、GSH-Px、CAT 活性和 MDA 含量等抗氧化指标, IL-1、IL-6、TNF- $\alpha$ 含量等细胞炎症因子及 IgY、IgA、IgM 含量等免疫生化指标。各指标均按照试剂盒说明书进行分析。

## 1.5 数据统计分析

运用 Excel 2019 对数据进行初步处理; 运用 SPSS 23.0 进行单因素方差分析, 选用 DUNCAN 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 五倍子提取物对蛋鸡产蛋性能的影响

由表 1 可知, 与对照组相比, GTA 组和 PG 组的采食量、产蛋率、平均蛋质量和料蛋比均无显著( $P>0.05$ )变化。

表 1 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的产蛋性能  
Table 1 Laying performance of laying hens with diets supplemented with gallnut extracts

组别	平均日采食量/g	产蛋率/%	平均蛋质量/g	料蛋比
对照组	117.97 $\pm$ 2.01	94.40 $\pm$ 0.46	61.55 $\pm$ 0.50	2.04 $\pm$ 0.02
GTA 组	118.99 $\pm$ 2.19	95.39 $\pm$ 0.77	61.49 $\pm$ 0.49	2.03 $\pm$ 0.01
PG 组	119.19 $\pm$ 1.95	95.12 $\pm$ 0.35	61.88 $\pm$ 0.58	2.03 $\pm$ 0.01

### 2.2 五倍子提取物对蛋品质及蛋壳品质的影响

由表 2 可知, 同一饲养时间, 蛋质量、蛋白高度、哈氏单位、蛋黄比例、蛋壳强度和蛋壳厚度在各组间的差异均无统计学意义( $P>0.05$ ); 与对照组相比, 8 周时 GTA 组的蛋黄颜色均显著( $P<0.05$ )提升。

表 2 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的蛋品质和蛋壳品质

**Table 2 Egg quality and shell quality of laying hens with diets supplemented with gallnut extracts**

饲养时间/周	组别	蛋质量/g	蛋白高度/mm	哈氏单位	蛋黄颜色	蛋黄比例/%	蛋壳强度/(kg cm <sup>-2</sup> )	蛋壳厚度/mm
0	对照组	59.20±1.35	8.94±0.16	94.36±0.48	13.49±0.11	0.29±0.001	3.52±0.17	0.37±0.00
	GTA 组	57.44±0.95	8.80±0.12	94.26±0.66	13.23±0.18	0.30±0.01	3.38±0.15	0.38±0.00
	PG 组	56.98±0.65	8.45±0.21	92.44±1.09	13.23±0.18	0.30±0.00	0.37±0.00	0.37±0.00
4	对照组	62.75±0.73	8.62±0.11	91.98±0.69	13.35±0.10	0.28±0.00	3.64±0.09	0.35±0.01
	GTA 组	62.41±0.62	8.68±0.12	92.33±0.67	13.63±0.04	0.28±0.00	3.47±0.18	0.37±0.00
	PG 组	62.43±0.84	7.99±0.29	88.63±1.69	13.65±0.12	0.28±0.00	3.62±0.15	0.37±0.00
8	对照组	62.88±0.88	8.25±0.10	89.91±0.64	(13.77±0.13)b	0.28±0.00	3.62±0.07	0.38±0.01
	GTA 组	63.57±0.51	8.48±0.16	90.86±0.94	(14.23±0.08)a	0.29±0.00	3.50±0.11	0.37±0.00
	PG 组	63.50±0.80	8.46±0.19	90.96±0.75	(14.07±0.03)b	0.29±0.00	3.46±0.07	0.38±0.01

同列不同字母示同一时间内组间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.3 五倍子提取物对蛋鸡血浆物质代谢的影响

由表 3 可见,与对照组相比,GTA 组和 PG 组血浆 GLU 含量有降低的趋势(P=0.086),但差异无统计学意义;GTA 组血浆的 TP、ALB 和 GLB 质量浓度均显著(P<0.05)降低,分别降低了 19.12%、17.91%和 20.27%;PG 组血浆的 TP 和 ALB 质量浓度显著(P<0.05)降低,分别降低了

10.24%、8.57%,GLB 质量浓度也降低了 11.88%,但差异无统计学意义;GTA 组和 PG 组血浆的 TG 浓度均有降低的趋势(P=0.078);GTA 组血浆的 TC 浓度显著(P<0.05)降低,而 PG 组的有下降趋势,但差异无统计学意义;GTA 和 PG 组血浆 HDL-C 浓度有下降的趋势(P=0.077),以 GTA 组的最低;GTA 组血浆的 LDL-C 浓度有降低趋势(P=0.076)。

表 3 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的血浆物质代谢指标

**Table 3 Plasma metabolism of substances in the of laying hens with diets supplemented with gallnut extracts**

组别	GLU/(mmol L <sup>-1</sup> )	TP/(g L <sup>-1</sup> )	ALB/(g L <sup>-1</sup> )	GLB/(g L <sup>-1</sup> )	TG/(mmol L <sup>-1</sup> )	TC/(mmol L <sup>-1</sup> )	HDL-C/(mmol L <sup>-1</sup> )	LDL-C/(mmol L <sup>-1</sup> )
对照组	12.47±0.45	(62.86±2.39)a	(31.05±1.04)a	(31.81±1.54)a	19.27±0.44	(4.41±0.12)a	2.48±0.11	6.52±0.28
GTA 组	10.41±0.74	(50.84±1.84)b	(25.49±0.70)c	(25.36±1.17)b	14.31±1.91	(3.40±0.29)b	1.64±0.29	5.34±0.56
PG 组	11.80±0.58	(56.42±1.78)b	(28.39±0.74)b	(28.03±1.06)ab	18.51±1.71	(4.13±0.27)ab	2.41±0.33	6.99±0.53

同列不同字母示组间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.4 五倍子提取物对蛋鸡血清肝功能的影响

由表 4 可知,与对照组相比,GTA 组和 PG

组血清的 ALT、AST 活性均降低,ALP 活性则增加,但其差异均无统计学意义(P>0.05)。

表 4 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的血清肝功能指标

**Table 4 Serum liver injury parameters in laying hens with diets supplemented with gallnut extracts**

组别	U/L		
	ALT 活性	AST 活性	ALP 活性
对照组	78.67±4.75	161.81±8.97	489.26±98.07
GTA 组	71.01±2.30	145.17±6.41	578.73±127.83
PG 组	73.67±3.26	150.75±7.09	679.88±111.25

2.5 五倍子提取物对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

从表 5 可知,与对照组相比,GTA 组和 PG 组血清的 SOD、GSH-Px 活性和 MDA 含量均降低,CAT 活性则增加,但其差异均无统计学意义(P>0.05)。

表 5 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的血清抗氧化指标

**Table 5 Serum antioxidant parameters in laying hens with diets supplemented with gallnut extracts**

组别	SOD 活性/(U mL <sup>-1</sup> )	GSH-Px 活性/(U mL <sup>-1</sup> )	CAT 活性/(U mL <sup>-1</sup> )	MDA 含量/(nmol mL <sup>-1</sup> )
对照组	1066.50±109.90	2880.00±244.36	1.86±0.37	3.29±0.76
GTA 组	977.71±51.46	2794.13±381.55	2.43±0.38	2.71±0.34
PG 组	850.44±27.80	2642.20±217.33	2.86±0.93	2.47±0.51

## 2.6 五倍子提取物对蛋鸡血清炎症因子的影响

由表 6 可知, 与对照组和 PG 组相比, GTA 组血清的 IL-1、IL-6 和 TNF- $\alpha$  水平显著( $P<0.05$ )降低; PG 组血清的 IL-6 水平较对照组的显著( $P<0.05$ )提升。

表 6 饲料添加五倍子提取物后的蛋鸡血清炎症因子指标

组别	IL-1	IL-6	TNF- $\alpha$
对照组	(330.008 $\pm$ 5.50)a	(31.726 $\pm$ 0.63)b	(79.212 $\pm$ 1.47)a
GTA 组	(313.676 $\pm$ 6.29)b	(28.982 $\pm$ 0.76)c	(71.678 $\pm$ 1.28)b
PG 组	(333.548 $\pm$ 3.71)a	(35.332 $\pm$ 0.54)a	(79.518 $\pm$ 2.64)a

同列不同字母组间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 2.7 五倍子提取物对蛋鸡血清免疫生化指标的影响

由表 7 可知, PG 组血清的 IgY 和 IgM 水平较对照组和 GTA 组的均显著提升( $P<0.05$ ); 各组间 IgA 水平的差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

表 7 饲料添加五倍子提取物后蛋鸡的血清免疫指标

组别	IgY	IgM	IgA
对照组	(2452.18 $\pm$ 51.21)b	(785.082 $\pm$ 23.90)b	336.58 $\pm$ 10.51
GTA 组	(2464.75 $\pm$ 33.61)b	(767.828 $\pm$ 17.59)b	305.30 $\pm$ 11.69
PG 组	(3134.42 $\pm$ 66.62)a	(1003.198 $\pm$ 17.27)a	326.63 $\pm$ 10.64

同列不同字母组间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 3 结论与讨论

李军辉等<sup>[12]</sup>研究发现, 400 mg/kg GTA(单宁质量分数约为 122 mg/kg)不影响肉仔鸡采食量, 显著降低料重比。从光雷等<sup>[13]</sup>研究发现, 饲料中添加 1000 mg/kg 橡碗单宁(单宁质量分数约 650 mg/kg)对肉鸡采食量和料重比等生长性能无显著影响。侯海锋等<sup>[14]</sup>研究发现, 饲料中添加 1000 mg/kg 水解单宁, 饲喂 4 周后蛋鸡的采食量无显著变化, 但产蛋率由 86.86% 提高至 90.86%。本研究中, 300 mg/kg GTA 和 PG 对蛋的鸡采食量、产蛋率、料蛋比和平均蛋质量均无显著影响, 这与侯海锋等<sup>[14]</sup>的研究结果有些不一致。一方面可能与蛋鸡生产周期有关, 本研究开始时蛋鸡的产蛋率已达 94%, 产蛋率提升空间较小, 选用非产蛋高峰阶段的蛋鸡开展试验可能效果更好; 另一方面, 侯海锋等<sup>[14]</sup>的蛋鸡试验添加了 1000 mg/kg 水解单宁,

高于本研究中的 300 mg/kg(TA 含量 120 mg/kg)的剂量, 但并未给出 TA 来源和纯度, 实际剂量差异不明确, 有待进一步探讨。

在蛋品质方面, 虽然饲料添加 GTA 和 PG 对鸡蛋的蛋白高度、哈氏单位、蛋黄比例、蛋壳强度和蛋壳厚度均无明显影响, 但随着试验周期的延长, 饲料添加 GTA 能显著提升蛋黄颜色。刘宁等<sup>[15]</sup>研究结果显示, 饲料中添加植物多酚能有效提高蛋黄颜色, 本研究结果与其相似。蛋黄颜色沉积所需的着色剂来源于饲料原料, 蛋鸡自身无法合成<sup>[16]</sup>。饲料中的色素经过机体的一系列代谢最终沉积到蛋黄中<sup>[17]</sup>, 饲料中的脂质导致饲料氧化, 从而影响饲料原料中色素的着色能力, 最终影响蛋黄颜色的沉积<sup>[18]</sup>。推测 GTA 是通过抑制饲料中脂类色素氧化, 从而促进了蛋黄色素沉积。

糖类、蛋白质和脂类 3 大营养物质对维持正常生命活动具有重要意义, 在血浆中含量变化可以反映其在体内的代谢情况。本研究中, 饲料添加 GTA 显著降低蛋鸡血浆的 TC 水平, 对 GLU、TG、HDL-C 和 LDL-C 水平有不同程度的下调, 而饲料添加 PG 对糖脂代谢调节效应不如 GTA 的明显。LIU 等<sup>[19]</sup>的研究发现, TA 可诱导 IR(胰岛素受体)、AKT(蛋白激酶 B)磷酸化和葡萄糖转运酶 4 易位, 提高胰岛素敏感性, 以促进葡萄糖的吸收和转运, 调控血糖水平。曾丽荣<sup>[20]</sup>的研究指出, TA 能提高动物体内 CPT-1(肉碱酯酰转移酶 1)活性, 促进脂肪酸 $\beta$ -氧化, 抑制体内 TG 合成。体内外的试验均表明, 植物多酚可调节脂质代谢, 降低机体的胆固醇水平<sup>[21-22]</sup>。本研究结果与上述研究相一致。张海生<sup>[23]</sup>的研究结果表明, 赤芍 PG 具有降低高脂模型小鼠血清脂质的作用。本研究中, PG 的脂质调节效果虽不及 GTA 明显, 但血浆 TG 和 TC 确有降低的趋势, 这与前人的研究结果基本一致。

血浆 TP、ALB 和 GLB 含量反映机体蛋白质吸收和代谢状况。本研究结果显示, 饲料添加 GTA 显著下调了血浆蛋白水平, PG 显著降低了 TP 和 ALB 的水平, 这与前人的研究结果不完全一致。曹沛文<sup>[24]</sup>的研究结果显示, 栗木单宁酸对断奶仔猪血清 TP 含量无显著影响; 而宋妍妍等<sup>[25]</sup>的研究指出, GTA 提高了断奶仔猪血清 TP 和 ALB

的浓度,对机体免疫功能有促进作用;蓝林诚等<sup>[26]</sup>的研究却表明,GTA显著降低断奶仔猪血清TP水平,但不影响血清BUN含量。马志鹏<sup>[27]</sup>的研究显示,饲料中添加水解单宁提高白羽肉鸡血清TP和ALB含量。一般来说,营养条件差导致机体缺乏蛋白质合成原料、肝脏损伤导致蛋白质合成障碍、肠道疾病使蛋白质吸收受阻、参与物质运输以及机体内酶和免疫系统的构建等原因都会影响血浆蛋白水平<sup>[28]</sup>。本研究中,血清ALT、AST和ALP活性未见显著变化,这提示肝细胞没有遭受损伤,肝功能无异常,且蛋鸡的采食量无明显变化,蛋白质摄入正常。也有研究<sup>[26,29]</sup>证实,GTA不影响动物对饲料蛋白的利用率。本研究中,饲料添加GTA和PG对机体蛋白代谢产生了影响,但作用机制尚不明确。

本研究中,饲料添加300 mg/kg GTA和PG对蛋鸡血清SOD、GSH-Px和CAT活性均无显著影响,对MDA含量亦无显著下调作用,这与前人研究结果不完全一致。徐婷婷等<sup>[30]</sup>报道,0.15%栗木水解单宁能显著提高断奶仔猪血清GSH-Px和SOD活性,降低MDA含量。FRANKIĆ等<sup>[31]</sup>的试验却显示,0.075%~0.300%栗木单宁对断奶仔猪血清GSH-Px活性和MDA含量均无显著影响。蓝林诚等<sup>[26]</sup>的研究表明,450 mg/kg GTA可降低断奶仔猪血清中GSH-Px活性,提高了SOD活性,而MDA含量和CAT活性无显著变化。杨海涛<sup>[32]</sup>的研究发现,饲料中添加200 mg/kg水解单宁,能显著提升肉鸡血清SOD和GSH-Px活性,MDA含量却无明显变化。曾嵘等<sup>[11]</sup>的研究表明,PG可提高大鼠抗氧化酶活性,清除氧自由基,降低MDA含量。酚羟基赋予植物单宁抗氧化的作用,可通过直接清除自由基、抑制与氧化反应相关酶的活性、上调内源抗氧化酶表达水平等途径来增强机体的抗氧化能力<sup>[33-34]</sup>。体外研究<sup>[5-6]</sup>显示,GTA和PG均能够直接清除自由基,这提示本研究中的GTA和PG可能是通过直接清除氧自由基的方式实现抗氧化作用,机体无需合成过多的抗氧化酶来参与抗氧化反应<sup>[35]</sup>。

免疫球蛋白和炎症因子反应动物机体的免疫状况。本研究中,饲料添加GTA显著降低了血清炎症因子IL-1、IL-6和TNF- $\alpha$ 水平,但对血清免

疫球蛋白含量无显著影响;而PG无降低炎症因子的作用,但可显著提高血清IgY和IgM水平。可见,GTA主要通过降低炎症反应来调节机体免疫,而PG主要通过提高抗体调节机体免疫,说明GTA和PG对机体免疫调节的途径有差异。本研究中,饲料添加GTA具有抗炎作用,这与SOYOCAK等<sup>[7]</sup>和SHUKLA等<sup>[36]</sup>的报道一致。张家俊等<sup>[37]</sup>的研究发现,PG有抑制小鼠机体炎症的作用,这可能与PG清除超氧阴离子自由基作用高度相关。PG与GTA抑制炎症因子效应的差别可能与其化学结构不同有关,GTA酚羟基较PG更为丰富,故而活性更强,抗炎作用显著。

本试验条件下,饲料中添加300 mg/kg的GTA和PG对35~43周龄罗曼粉蛋鸡的产蛋性能无显著影响,但饲料添加GTA能显著提升饲养8周时的蛋黄着色;GTA和PG对蛋鸡血液生化指标的调节存在差异,GTA降血糖、血脂、血浆蛋白水平和抑制炎症因子的作用大于PG,而PG则显著提升了蛋鸡血清的IgY和IgM水平。

#### 参考文献:

- [1] 张亮亮. 五倍子资源加工利用产业发展现状[J]. 生物化学工程, 2020, 54(6): 1-5.
- [2] 乔彩云, 李建科. 五倍子及五倍子单宁的研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 458-462.
- [3] KHANBABAEE K, VAN REE T. Tannins: classification and definition[J]. Natural Product Reports, 2001, 18(6): 641-649.
- [4] BAMPIDIS V, AZIMONTI G, BASTOS M D, et al. Safety and efficacy of propyl gallate for all animal species[J]. EFSA Journal, 2020, 18(4): 6069.
- [5] 郭晓丹, 宋京九, 王东, 等. 没食子酸及其衍生物的生理活性及研究现状[J]. 化学世界, 2020, 61(9): 585-593.
- [6] 张亮亮. MALDI-TOF 质谱联合 NMR 及 HPLC 分析植物单宁结构及抗氧化能力研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [7] SOYOCAK A, KURT H, COSAN D T, et al. Tannic acid exhibits anti-inflammatory effects on formalin-induced paw edema model of inflammation in rats[J]. Human & Experimental Toxicology, 2019, 38(11): 1296-1301.
- [8] SHIRASAGO Y, INAMORI Y, SUZUKI T, et al. Inhibition mechanisms of hepatitis C virus infection by caffeic acid and tannic acid[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2019, 42(5): 770-777.

- [9] LIU H W, DONG X F, TONG J M, et al. A comparative study of growth performance and antioxidant status of rabbits when fed with or without chestnut tannins under high ambient temperature[J]. *Animal Feed Science & Technology*, 2011, 164(1/2): 89–95.
- [10] HSU H C, LIN W C, CHANG P J, et al. Propyl gallate inhibits TPA-induced inflammation via the nuclear factor- $\kappa$ B pathway in human THP-1 monocytes[J]. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2013, 5(3): 964–968.
- [11] 曾嵘, 李元建. 没食子酸丙酯对大鼠缺血再灌注心肌线粒体损伤的保护[J]. *中国现代医学杂志*, 2005, 15(14): 2139–2142.
- [12] 李军辉, 解玉怀, 张少涛, 等. 饲料中添加水解单宁酸对肉鸡生长性能及肠道健康的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(5): 2642–2651.
- [13] 从光雷, 王强, 肖蕴祺, 等. 饲料添加橡碗单宁对肉鸡生长性能、屠宰性能、肉品质、抗氧化功能和肠道发育的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(12): 5948–5957.
- [14] 侯海锋, 高宗旺, 李茜. 水解单宁酸对蛋鸡生产性能及肠道健康的影响[J]. *中国饲料*, 2017(12): 21–23.
- [15] 刘宁, 张柏林, 张丽娟, 等. 饲料添加茶多酚对长顺绿壳蛋鸡生产性能、蛋品质、血浆抗氧化指标及输卵管形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(11): 6137–6146.
- [16] BEDERSKA-ŁOJEWSKA D, ARCZEWSKA-WŁOSEK A, ŚWIĄTKIEWICZ S, et al. The effect of different dietary levels of hybrid rye and xylanase addition on the performance and egg quality in laying hens[J]. *British Poultry Science*, 2019, 60(4): 423–430.
- [17] 周建川. 氧化应激对鸡蛋品质的影响[J]. *饲料工业*, 2011, 32(18): 45–46.
- [18] 沈曼曼, 王莹. 影响蛋黄颜色沉积因素分析[J]. *广东饲料*, 2014, 23(6): 43–45.
- [19] LIU X Q, KIM J K, LI Y S, et al. Tannic acid stimulates glucose transport and inhibits adipocyte differentiation in 3T3-L1 cells[J]. *The Journal of Nutrition*, 2005, 135(2): 165–171.
- [20] 曾丽荣. 膳食单宁酸抑制高脂饮食诱导的小鼠肥胖的调控机制[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2020.
- [21] KOBAYASHI M, IKEDA I. Modulation of intestinal cholesterol absorption by dietary tea polyphenols[M]// WATSON R R, PREEDY V R, ZIBADI S. *Polyphenols in Human Health and Disease*. Amsterdam: Elsevier, 2014: 625–638.
- [22] KIM B, KU C S, PHAM T X, et al. *Aronia melanocarpa* (chokeberry) polyphenol-rich extract improves antioxidant function and reduces total plasma cholesterol in apolipoprotein E knockout mice[J]. *Nutrition Research*, 2013, 33(5): 406–413.
- [23] 张海生. 基于多层次相互作用网络的赤芍抗肿瘤、抗氧化及降血脂协同作用药效成分的筛选[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [24] 曹沛文. 包膜单宁酸对断奶仔猪生长性能、腹泻和肠道功能影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [25] 宋妍妍, 陈代文, 余冰, 等. 高剂量单宁酸对断奶仔猪血液学参数、脏器指数和组织病理学的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(4): 1899–1907.
- [26] 蓝林诚, 沈水宝, 农斯伟, 等. 不同来源单宁酸替代高锌对保育猪生长性能、血清生化指标和抗氧化指标的影响[J]. *饲料研究*, 2019, 42(7): 34–37.
- [27] 马志鹏. 饲料中添加不同添加剂对白羽肉鸡的生长性能、血清生化指标影响的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020.
- [28] 李晶. 血清总蛋白测定方法及临床意义[J]. *中国现代药物应用*, 2012, 6(9): 28–29.
- [29] 苟昌勇, 施晓丽, 孙澄慧, 等. 五倍子单宁酸对断奶仔猪生长性能、腹泻和养分消化的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(11): 5137–5144.
- [30] 徐婷婷, 杨智仁, 曹沛文, 等. 包膜单宁酸对断奶仔猪生长性能、肠道形态及抗氧化能力的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(S1): 247–252.
- [31] FRANKIĆ T, SALOBIR J. In vivo antioxidant potential of Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood extract in young growing pigs exposed to n-3 PUFA-induced oxidative stress[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(8): 1432–1439.
- [32] 杨海涛. 不同抗生素替代物对肉仔鸡生产性能、抗氧化性能及肠道健康的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [33] QUIDEAU S, DEFFIEUX D, DOUAT-CASASSUS C, et al. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis[J]. *Angewandte Chemie-International Edition*, 2011, 50(3): 586–621.
- [34] 符莎露, 吴甜甜, 吴春华, 等. 植物多酚的抗氧化和抗菌机理及其在食品中的应用[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 242–246.
- [35] 晁娅梅, 陈代文, 余冰, 等. 茶多酚对育肥猪生长性能、抗氧化能力、胴体品质和肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(12): 3996–4005.
- [36] SHUKLA M, GUPTA K, RASHEED Z, et al. Consumption of hydrolyzable tannins-rich pomegranate extract suppresses inflammation and joint damage in rheumatoid arthritis[J]. *Nutrition*, 2008, 24(7/8): 733–743.
- [37] 张家俊, 刘春梅, 陈文为. 没食子酸丙酯抗炎作用的观察[J]. *中西医结合杂志*, 1986, 6(10): 609–610.

责任编辑: 邹慧玲  
英文编辑: 柳 正