



范秋丽, 陈志龙, 谭淑君, 王君雁, 茅沈丽, 林泽铃, 蒋守群. 不同水平的单宁复合蛋白对黄羽肉鸡免疫功能、抗氧化能力以及脂代谢的影响[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(02): 104-113.

FAN Qiuli, CHEN Zhilong, TAN Shujun, WANG Junyan, MAO Shenli, LIN Zeling, JIANG Shouqun. Effects of different levels of tannalbin on immune function, antioxidant capacity and lipid metabolism of yellow feathered chickens[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(02): 104-113.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.02.09

## 不同水平单宁复合蛋白对黄羽肉鸡免疫功能、 抗氧化能力以及脂代谢的影响

范秋丽 陈志龙 谭淑君 王君雁 茅沈丽 林泽铃 蒋守群\*

(广东省农业科学院 动物科学研究所/畜禽育种国家重点实验室/农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室/  
广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广州 510640)

**摘要** 为研究小麦-豆粕-花生粕型基础饲料中添加不同水平单宁复合蛋白对1~48日龄黄羽肉鸡生长性能、血浆生化指标、免疫功能、抗氧化能力以及脂代谢的影响,540只初始体重为(40.33±0.05)g且健康状况良好的1日龄快大型麻黄肉公鸡按照体重一致原则随机分为对照组(基础饲料),单宁复合蛋白1组(基础饲料添加300mg/kg单宁复合蛋白),单宁复合蛋白2组(基础饲料添加500mg/kg单宁复合蛋白)共3个处理组,每组6个重复,每个重复30只鸡。试验期48d。结果表明:1)不同处理组之间肉鸡生长性能差异不显著( $P>0.05$ )。2)与对照组相比,单宁复合蛋白1、2组血浆中谷丙转氨酶(ALT)活性和尿酸(UA)含量均显著升高( $P<0.05$ ),且单宁复合蛋白2组血浆中葡萄糖(GLU)含量显著降低( $P<0.05$ ),单宁复合蛋白1组血浆中总胆红素(TBIL)含量显著降低( $P<0.05$ )。3)与对照组相比,空肠黏膜中白细胞介素6(IL-6)含量在单宁复合蛋白1组中显著降低( $P<0.05$ )。4)与对照组相比,单宁复合蛋白2组血浆中微量丙二醛(MDA)含量显著降低( $P<0.05$ ),同时,肝脏中总抗氧化能力(T-AOC)和还原型谷胱甘肽(GSH)含量均显著升高( $P<0.05$ )。5)与对照组相比,肝脏中雌二醇(E2)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量以及脂肪合成酶(FAS)活性在单宁复合蛋白1、2组中均显著降低( $P<0.05$ )。综上,小麦-豆粕-花生粕型饲料中添加300和500mg/kg的单宁复合蛋白均可调节肉鸡脂代谢,同时300mg/kg单宁复合蛋白可提高肉鸡免疫功能,500mg/kg单宁复合蛋白可提高肉鸡抗氧化能力;综合考虑以上指标和生长性能,推荐单宁复合蛋白的添加量为300mg/kg。

**关键词** 单宁复合蛋白; 黄羽肉鸡; 生长性能; 免疫功能; 抗氧化能力; 脂代谢

中图分类号 S859.7

文章编号 1007-4333(2023)02-0104-10

文献标志码 A

## Effects of different levels of tannalbin on immune function, antioxidant capacity and lipid metabolism of yellow feathered chickens

FAN Qiuli, CHEN Zhilong, TAN Shujun, WANG Junyan, MAO Shenli, LIN Zeling, JIANG Shouqun\*

(Institute of Animal Science/State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding of Ministry of  
Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition,  
Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract** The aim of this study was to investigate the effects of adding different levels of tannalbin to wheat soybean peanut meal basal diet on growth performance, plasma biochemical indices, immune function, antioxidant capacity and

收稿日期: 2022-05-27

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-41); 广东省重点领域研发计划项目(2020B0202090004); 国家重点研发专项(2021YFD300404); 广东省自然科学基金项目(2021A1515012412, 2021A1515010830); 广东省农业科学院科技计划项目(202106TD, R2019PY-QF008)

第一作者: 范秋丽(ORCID: 0000-0002-8539-1471), 副研究员, 主要从事黄羽肉鸡营养与饲料研究, E-mail: 649698130@qq.com

通讯作者: 蒋守群(ORCID: 0000-0002-9251-306X), 研究员, 主要从事黄羽肉鸡营养与饲料研究, E-mail: jiangshouqun@gdaas.cn

lipid metabolism of yellow-feathered chickens during 1 to 48 days of age. A total of 540 one-day-old male rapid ephedra chickens with an initial body weight of  $(40.33 \pm 0.05)$  g in good health were randomly assigned to 3 groups according to the principle of consistent body weight, each group with 6 replicates and 30 chickens in each replicate. Control group (basal diet), tannalbin 1 groups (basal diet supplementation with 300 mg/kg tannalbin), tannalbin 2 groups (basal diet supplementation with 500 mg/kg tannalbin). The experiment lasted for 48 days. The results showed as follows: 1) Dietary different levels of tannalbin had no significant effects on growth performance of chickens ( $P > 0.05$ ). 2) Compared to the control group, alanine aminotransferase (ALT) activity and uric acid (UA) content in plasma of tannalbin 1 and 2 groups were significantly increased ( $P < 0.05$ ), glucose (GLU) content in plasma of tannalbin 2 group was significantly decreased ( $P < 0.05$ ), and total bilirubin (TBIL) content in plasma of tannalbin 1 group was significantly decreased ( $P < 0.05$ ). 3) Compared to the control group, interleukin 6 (IL-6) content in jejunal mucosa of tannalbin 1 group was significantly decreased ( $P < 0.05$ ). 4) Compared to the control group, malondialdehyde (MDA) content in plasma of tannalbin 2 group was significantly decreased ( $P < 0.05$ ), while total antioxidant capacity (T-AOC) and reduced glutathione (GSH) content in liver of tannalbin 2 group were significantly increased ( $P < 0.05$ ). 5) Compared to the control group, contents of estradiol (E2), triglyceride (TG), total cholesterol (TC) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), and activity of fatty acid synthetase (FAS) in liver of tannalbin 1 and 2 groups were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). In summary, application of 300 or 500 mg/kg tannalbin to wheat soybean peanut meal diet can regulate lipid metabolism of chickens respectively, and 300 mg/kg tannalbin can improve immune function, 500 mg/kg tannalbin can improve antioxidant capacity. Considering the above indicators and growth performance, the recommended supplemental level of tannalbin is 300 mg/kg.

**Keywords** tannalbin; yellow-feathered chickens; growth performance; immune function; antioxidant capacity; lipid metabolism

自国内禁止饲用促生长类的抗生素以来,各种可作为饲料添加剂的植物提取物的开发与应用已成为研究热点。其中单宁酸是一类植物提取的多酚化合物,因含酚羟基结构,具有抗氧化、抑菌和抗病毒等生物活性功能:鼠料中添加 0.3%和 0.6%的单宁酸可升高青春期和成年期布氏田鼠机体抗氧化能力<sup>[1]</sup>;250 和 500 mg/kg 单宁酸可降低黄曲霉毒素感染条件下 42 日龄肉鸡盲肠大肠杆菌数量,提高乳酸杆菌数量<sup>[2]</sup>;单宁酸对甲型流感病毒、乳头瘤病毒、单纯疱疹病毒和诺如病毒等均具有生物活性<sup>[3]</sup>。虽然单宁酸具有以上正向的生物学功能,但也有研究表明其与唾液蛋白结合,可在口腔中产生涩味,降低采食量,需与蛋白质结合形成单宁复合蛋白以缓解此负面影响<sup>[4]</sup>。单宁复合蛋白是天然植物提取的单宁酸和蛋白质沉淀结合形成的复合物,又名鞣酸蛋白或植物多酚蛋白,外观呈淡棕色或淡黄色粉末,无臭无味,具有收敛作用,其与肠黏膜表面蛋白凝固形成保护膜,可缓解肠道刺激、减少渗出,已被开发为各种产品应用于预防和治疗不同原因引起的小儿肠炎和腹泻<sup>[5-6]</sup>。目前,在畜牧生产方面,单宁复合蛋白的应用研究主要集中在断奶仔猪抗腹泻方面,宋妍妍<sup>[7]</sup>在研究单宁复合蛋白在断奶仔猪上的有效性和耐受性时发现,0.2%~0.8%单宁复合蛋白均

显著降低仔猪腹泻率和腹泻指数,但关于单宁复合蛋白在肉鸡生产中的研究目前尚无报道。因此,本研究以 1~48 日龄快大型麻黄肉鸡为对象,研究了小麦豆粕花生粕型饲料中添加不同水平的单宁复合蛋白对其生长性能、血浆生化指标、免疫功能、抗氧化能力以及脂代谢的影响,为其在肉鸡健康养殖中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1 日龄快大型麻黄肉公雏购自佛山市某鸡苗公司。单宁复合蛋白有效含量 $\geq 85\%$ ,由单宁和大豆蛋白在体外沉淀复合,经干燥而成的单宁蛋白复合物,由肇庆市某生物科技有限公司提供。饲用复合小麦酶购自武汉某生物股份有限公司。

### 1.2 试验设计

540 只初始体重为 $(40.33 \pm 0.05)$  g 且健康状况良好的 1 日龄快大型麻黄肉公雏,根据体重一致原则随机分为 3 个处理组,分别为基础饲料添加 0、300 和 500 mg/kg 单宁复合蛋白,每组 6 个重复,每个重复 30 只,每重复为 1 栏。试验期 48 d,分前期 1~21 日龄、中期 22~42 日龄和后期 43~48 日龄 3 个阶段饲养。

### 1.3 试验饲料

试验饲料为小麦-豆粕-花生粕型,营养水平参考《黄羽肉鸡营养需要量》(NY/T 3645—2020)中的饲料原料营养成分含量和快速型商品黄羽肉鸡各生长阶段营养需要标准科学配制,不同处理组相同饲养阶段营养水平保持一致(表1),各阶段预混料中分别添加300 mg/kg 饲用复合小麦酶。

### 1.4 饲养管理

试验于2021年12月1日在广东省农业科学院动物科学研究所试验场开展,试鸡平养于封闭式鸡舍,地面铺放谷壳,自由采食颗粒料和饮水,各处理组饲养管理和环境条件一致,每天自然通风,保持鸡舍清洁卫生。按照常规操作程序和免疫流程进行饲养和免疫。每天观察鸡只健康状况、粪便情况、采食量、死亡只数、死亡鸡重量以及死亡原因,记录鸡舍每天的天气情况以及8:00、12:00和17:30的温度、湿度情况。

### 1.5 样品采集与制备

2022年1月17日试验结束当天20:00断料供水,次日08:00以重复栏为单位称肉鸡空腹重量,称重当天每栏挑选2只接近平均重的鸡翅静脉采集全血4 mL于加有肝素钠的抗凝管中,3 500 rpm/min离心10 min,取血浆分装于0.5 mL离心管中备测血浆生化指标、细胞因子含量、抗氧化指标和脂代谢相关指标。

采血后试鸡颈部放血致死,剖取空肠,距中间部位10 cm处剪开,磷酸盐缓冲液冲洗内容物后平铺于干净的滤纸上,载玻片刮取黏膜组织于1.5 mL灭菌离心管中备测细胞因子含量。取肝脏组织,每只鸡取相同肝脏部位约1 g装于灭菌的1.5 mL离心管中备测抗氧化和脂代谢相关指标。以上血浆、空肠黏膜组织、肝脏组织样品采集时置于液氮中速冻,样品采集结束后当天转移至-80 °C冰箱保存。

### 1.6 指标测定

#### 1.6.1 生长性能指标测定

48日龄试验结束前1天18:00断料供水,次日07:00以栏为重复单位称重,计算体重(BW)、平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)、料重比(F/G)和死亡率(Mortality)等生长性能指标,具体计算参考范秋丽等<sup>[8]</sup>所述方法。

#### 1.6.2 血浆生化指标测定

采样结束后-80 °C冰箱取出血浆样品,冰上解冻后测定血浆生化指标。谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、尿酸(UA)、肌酐(Cr)、葡萄糖

(GLU)、总胆红素(TBIL)等血浆生化指标测定试剂盒均购买于南京建成生物工程研究所,详细测定步骤和结果计算方法参照试剂盒说明书,各指标读数均在多功能酶标仪(SYNERGY H1, BioTek公司,美国)上操作。

#### 1.6.3 血浆和空肠黏膜细胞因子含量测定

采样结束后-80 °C冰箱取出血浆样品,冰上解冻后测定血浆细胞因子含量。 $\gamma$ 干扰素(IFN- $\gamma$ )、肿瘤坏死因子 $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )、白细胞介素1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ )和白细胞介素6(IL-6)等血浆细胞因子测定试剂盒购买于北京方程生物科技有限公司,各指标具体测定方法和结果计算依据说明书进行。

采样结束后-80 °C冰箱取出空肠黏膜样品,冰上解冻后制备空肠黏膜匀浆液,空肠黏膜10%匀浆液的制备和总蛋白含量的测定参考范秋丽等<sup>[8]</sup>所述方法,主要用仪器为全自动样品冷冻研磨仪和离心机。IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6和白细胞介素22(IL-22)含量测定方法同血浆细胞因子含量测定方法,各指标读数均在多功能酶标仪上操作。

#### 1.6.4 血浆和肝脏抗氧化指标测定

采样结束后-80 °C冰箱取出血浆样品,冰上解冻后测定血浆抗氧化指标。血浆微量丙二醛(MDA)和还原型谷胱甘肽(GSH)含量以及总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC)的测定参考范秋丽等<sup>[8]</sup>所述方法,试剂盒均购买于南京建成生物工程研究所。采样结束后-80 °C冰箱取出肝脏样品,冰上解冻后制备肝脏匀浆液,10%肝脏匀浆液的制备方法和总蛋白含量测定方法同空肠黏膜,抗氧化指标测定方法同血浆,各指标读数均在多功能酶标仪上操作。

#### 1.6.5 血浆和肝脏脂代谢相关指标测定

采样结束后-80 °C冰箱取出血浆样品和制备好的10%肝脏匀浆液,测定脂代谢相关指标。血浆和肝脏雌二醇(E2)含量以及脂肪合成酶(FAS)活性试剂盒购自江苏酶免实业有限公司,测定步骤和方法参考说明书。甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量的测定参考Cui等<sup>[9]</sup>所述方法,各指标读数均在多功能酶标仪上操作。

### 1.7 数据统计分析

采用SAS 9.2软件中的GLM程序对试验数据进行单因素方差分析,当处理效应差异显著( $P < 0.05$ )时进行Duncan氏多重比较。各表格中数据

表 1 基础饲料原料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Ingredients composition and nutrient levels of basal diets (DM basis)

项目 Item	前期 Earlier stage	中期 Metaphase	后期 Anaphase
原料 Ingredient			
硬质小麦/% Wheat, hard red	67.80	72.90	77.40
豆粕/% Soybean meal	13.00	9.50	7.80
花生粕/% Peanut meal	11.20	8.70	5.80
豆油/% Soybean oil	2.50	3.80	4.50
石粉/% Limestone	1.13	1.13	1.06
磷酸氢钙/% CaHPO <sub>4</sub>	2.09	1.78	1.53
L-赖氨酸/% L-Lysine	0.68	0.64	0.48
DL-蛋氨酸/% DL-Methionine	0.30	0.25	0.13
食盐/% NaCl	0.30	0.30	0.30
预混料/% Premix <sup>①</sup>	1.00	1.00	1.00
合计/% Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level <sup>②</sup>			
表观代谢能/(MJ/kg) AME	12.04	12.49	12.77
粗蛋白质/% CP	21.08	19.05	17.50
赖氨酸/% Lys	1.29	1.15	0.96
蛋氨酸+半胱氨酸/% Met+Cys	0.93	0.85	0.71
钙/% Ca	1.00	0.92	0.84
总磷/% TP	0.74	0.67	0.62
有效磷/% AP	0.47	0.41	0.36

注: ①预混料中的维生素和矿物元素为前期向每千克饲料提供: 维生素 A 12 000 IU; 维生素 B<sub>1</sub> 2.4 mg; 维生素 B<sub>2</sub> 5 mg; 烟酸 42 mg; 维生素 B<sub>6</sub> 2.8 mg; 维生素 B<sub>12</sub> 0.016 mg; 维生素 D<sub>3</sub> 600 IU; 维生素 E 45 IU; 维生素 K 2.5 mg; 生物素 0.12 mg; 泛酸钙 12 mg; 叶酸 1 mg; 氯化胆碱 1 300 mg; 铁 80 mg; 铜 7 mg; 锰 80 mg; 锌 85 mg; 碘 0.7 mg; 硒 0.15 mg。预混料中的维生素和矿物元素为中期向每千克饲料提供: 维生素 A 9 000 IU; 维生素 B<sub>1</sub> 2.3 mg; 维生素 B<sub>2</sub> 5 mg; 烟酸 35 mg; 维生素 B<sub>6</sub> 2.4 mg; 维生素 B<sub>12</sub> 0.015 mg; 维生素 D<sub>3</sub> 500 IU; 维生素 E 35 IU; 维生素 K 2.2 mg; 生物素 0.10 mg; 泛酸钙 10 mg; 叶酸 0.7 mg; 氯化胆碱 1 000 mg; 铁 80 mg; 铜 7 mg; 锰 60 mg; 锌 80 mg; 碘 0.6 mg; 硒 0.15 mg。预混料中的维生素和矿物元素为后期向每千克饲料提供: 维生素 A 6 000 IU; 维生素 B<sub>1</sub> 1 mg; 维生素 B<sub>2</sub> 4 mg; 烟酸 20 mg; 维生素 B<sub>6</sub> 0.6 mg; 维生素 B<sub>12</sub> 0.08 mg; 维生素 D<sub>3</sub> 500 IU; 维生素 E 25 IU; 维生素 K 1.7 mg; 生物素 0.02 mg; 泛酸钙 8 mg; 叶酸 0.3 mg; 氯化胆碱 750 mg; 铁 80 mg; 铜 7 mg; 锰 55 mg; 锌 75 mg; 碘 0.5 mg; 硒 0.15 mg。

②不同生长阶段营养水平均为计算值。

Note: ① The vitamin and minerals in premix were provided per kg of diet at earlier stage: VA 12 000 IU; VB<sub>1</sub> 2.4 mg; VB<sub>2</sub> 5 mg; nicotinic acid 42 mg; VB<sub>6</sub> 2.8 mg; VB<sub>12</sub> 0.016 mg; VD<sub>3</sub> 600 IU; VE 45 IU; VK 2.5 mg; biotin 0.12 mg; calcium pantothenate 12 mg; folic acid 1 mg; choline chloride 1 300 mg; Fe 80 mg; Cu 7 mg; Mn 80 mg; Zn 85 mg; I 0.7 mg; Se 0.15 mg. The vitamin and minerals in premix were provided per kg of diet at metaphase: VA 9 000 IU; VB<sub>1</sub> 2.3 mg; VB<sub>2</sub> 5 mg; nicotinic acid 35 mg; VB<sub>6</sub> 2.4 mg; VB<sub>12</sub> 0.015 mg; VD<sub>3</sub> 500 IU; VE 35 IU; VK 2.2 mg; biotin 0.10 mg; calcium pantothenate 10 mg; folic acid 0.7 mg; choline chloride 1 000 mg; Fe 80 mg; Cu 7 mg; Mn 60 mg; Zn 80 mg; I 0.6 mg; Se 0.15 mg. The vitamin and minerals in premix were provided per kg of diet at anaphase: A 6 000 IU; VB<sub>1</sub> 1 mg; VB<sub>2</sub> 4 mg; nicotinic acid 20 mg; VB<sub>6</sub> 0.6 mg; VB<sub>12</sub> 0.008 mg; VD<sub>3</sub> 500 IU; VE 25 IU; VK 1.7 mg; biotin 0.02 mg; calcium pantothenate 8 mg; folic acid 0.3 mg; choline chloride 750 mg; Fe 80 mg; Cu 7 mg; Mn 55 mg; Zn 75 mg; I 0.5 mg; Se 0.15 mg.

② Nutrient levels at different growth stages were calculated values.

以平均值和均值标准误表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水平的单宁复合蛋白对 1~48 日龄黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知,对照组、单宁复合蛋白 1、2 组之间肉鸡体重、平均日增重、平均日采食量、料重比和死亡率均差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 不同水平的单宁复合蛋白对 1~48 日龄黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of different levels of tannalbin on growth performance of yellow-feathered chickens at 1 to 48 days of age

项目 Item	对照 Control	单宁复合蛋白 1 Tannalbin 1	单宁复合蛋白 2 Tannalbin 2	SEM	P 值 P value
1 日龄体重/g 1 d BW	40.38	40.35	40.29	0.04	0.692
48 日龄体重/g 48 d BW	1 428.69	1 461.83	1 368.66	25.76	0.326
平均日增重/g ADG	28.92	29.61	27.67	0.54	0.327
平均日采食量/g ADFI	64.04	64.88	62.21	0.54	0.119
料重比 F/G	2.27	2.15	2.27	0.04	0.443
死亡率/% Mortality	2.22	0.56	2.22	0.49	0.286

表 3 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆生化指标的影响

Table 3 Effects of different levels of tannalbin on plasma biochemical indices of yellow-feathered chickens at 48 days of age

项目 Item	对照 Control	单宁复合蛋白 1 Tannalbin 1	单宁复合蛋白 2 Tannalbin 2	SEM	P 值 P value
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	2.46 c	3.91 ab	5.25 a	0.46	0.043
谷草转氨酶/(U/L) AST	16.82	19.35	20.40	0.76	0.192
尿酸/( $\mu\text{mol/L}$ ) UA	38.56 b	80.41 a	104.60 a	7.57	$<0.001$
肌酐/( $\mu\text{mol/L}$ ) Cr	9.81	11.32	12.01	0.48	0.168
葡萄糖/(mmol/L) GLU	12.85 a	12.30 a	11.08 b	0.18	$<0.001$
总胆红素/( $\mu\text{mol/L}$ ) TBIL	10.81 a	6.34 b	11.26 a	0.72	0.013

注:同行数据肩标含有相同小写字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: The same lowercase letter on the shoulder of the peer data indicates insignificant differences ( $P>0.05$ ), and different small letters indicate significant differences. The same below.

### 2.3 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆和空肠黏膜细胞因子含量的影响

由表 4 可知,与对照组相比,单宁复合蛋白 1 组空肠黏膜中 IL-1 $\beta$  含量降低,单宁复合蛋白 2 组空肠黏膜中 IL-1 $\beta$  含量升高,但差异均不显著( $P>$

### 2.2 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆生化指标的影响

由表 3 可知,单宁复合蛋白 1、2 组肉鸡血浆中 ALT 酶活性和 UA 含量均显著高于对照组( $P<0.05$ ),单宁复合蛋白 2 组血浆中 GLU 含量显著低于对照组( $P<0.05$ ),单宁复合蛋白 1 组血浆中 TBIL 含量显著低于对照组( $P<0.05$ )。不同处理组之间肉鸡血浆中 AST 酶活性和 Cr 含量均差异不显著( $P>0.05$ )。

0.05);单宁复合蛋白 1 组空肠黏膜中 IL-6 含量显著降低( $P<0.05$ )。不同处理组之间血浆中细胞因子 IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$  和 IL-6 含量均差异不显著( $P>0.05$ ),同时,空肠黏膜中 IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$  和 IL-22 含量在不同处理组之间也差异不显著( $P>0.05$ )。

**表 4 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆和空肠黏膜细胞因子含量的影响**  
 Table 4 Effects of different levels of tannalbin on cytokine content in jejunal mucosa of yellow-feathered chickens at 48 days of age

项目 Item	对照 Control	单宁复合蛋白 1 Tannalbin 1	单宁复合蛋白 2 Tannalbin 2	SEM	P 值 P value
血浆 Plasma					
γ 干扰素/(ng/L) IFN-γ	34.11	34.19	33.89	1.38	0.996
肿瘤坏死因子 α/(ng/L) TNF-α	36.75	36.85	37.63	0.82	0.896
白细胞介素 1β/(ng/L) IL-1β	10.58	10.08	10.63	0.40	0.827
白细胞介素 6/(ng/L) IL-6	16.53	16.12	16.95	0.62	0.872
空肠黏膜 Jejunal mucosa					
γ 干扰素/(ng/g) IFN-γ	2.93	3.08	2.97	0.08	0.742
肿瘤坏死因子 α/(ng/g) TNF-α	5.50	5.51	5.62	1.69	0.960
白细胞介素 1β/(ng/g) IL-1β	1.37 ab	1.15 b	1.50 a	0.05	0.018
白细胞介素 6/(ng/g) IL-6	2.10 a	1.60 b	2.35 a	0.11	0.011
白细胞介素 22/(ng/g) IL-22	1.84	1.92	2.10	0.05	0.122

**2.4 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆和肝脏抗氧化能力的影响**

由表 5 可知,与对照组相比,单宁复合蛋白 2 组肉鸡血浆中 MDA 含量显著降低,同时肝脏中

T-AOC 能力和 GSH 含量均显著升高( $P < 0.05$ )。不同处理组之间血浆中 T-SOD 酶活性、T-AOC 能力、GSH 含量和肝脏中 MDA 含量以及 T-SOD 酶活性均差异不显著( $P > 0.05$ )。

**表 5 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡血浆和肝脏抗氧化能力的影响**  
 Table 5 Effects of different levels of tannalbin on plasma and liver antioxidant capacity of yellow-feathered chickens at 48 days of age

项目 Item	对照 Control	单宁复合蛋白 1 Tannalbin 1	单宁复合蛋白 2 Tannalbin 2	SEM	P 值 P value
血浆 Plasma					
微量丙二醛/(nmol/mL) MDA	2.38 a	2.38 a	1.34 b	0.14	<0.001
总超氧化物歧化酶/(U/mL) T-SOD	317.04	322.06	329.88	5.22	0.607
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	6.66	6.67	7.01	0.17	0.631
还原型谷胱甘肽/(mg/L) GSH	3.23	3.40	4.23	0.20	0.076
肝脏 Liver					
微量丙二醛/(nmol/mg) MDA	0.35	0.22	0.24	0.02	0.050
总超氧化物歧化酶/(U/mg) T-SOD	88.22	95.08	107.37	3.28	0.053
总抗氧化能力/(U/mg) T-AOC	1.06 b	1.12 b	1.52 a	0.05	<0.001
还原型谷胱甘肽/(mg/g) GSH	2.26 b	2.21 b	2.87 a	0.09	0.002

## 2.5 不同水平的单宁复合蛋白对48日龄黄羽肉鸡血浆和肝脏脂质代谢的影响

由表6可知,与对照组相比,单宁复合蛋白1、2组肉鸡肝脏中E2、TG、TC和LDL-C含量以及

FAS活性均显著降低( $P < 0.05$ )。不同处理组之间血浆中E2、TG、TC、LDL-C、HDL-C含量、FAS活性以及肝脏中HDL-C含量均差异不显著( $P > 0.05$ )。

表6 不同水平的单宁复合蛋白对48日龄黄羽肉鸡血浆和肝脏脂质代谢的影响  
Table 6 Effects of different levels of tannalbin on plasma and liver lipid metabolism of yellow-feathered chickens at 48 days of age

项目 Item	对照 Control	单宁复合蛋白1 Tannalbin 1	单宁复合蛋白2 Tannalbin 2	SEM	P值 P value
血浆 Plasma					
雌二醇/(pmol/L) E2	120.24	118.44	112.97	2.28	0.410
脂肪合成酶/(IU/L) FAS	695.39	653.45	679.53	14.56	0.508
甘油三酯/(mmol/L) TG	0.27	0.29	0.29	0.01	0.767
总胆固醇/(mmol/L) TC	3.94	4.10	4.07	0.09	0.734
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-C	1.01	1.04	0.94	0.02	0.059
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-C	0.94	1.12	1.03	0.05	0.195
肝脏 Liver					
雌二醇/(pmol/g) E2	9.04 a	6.78 b	7.10 b	0.36	0.015
脂肪合成酶/(IU/g) FAS	53.11 a	33.90 b	40.31 b	2.19	<0.001
甘油三酯/(mmol/g) TG	0.17 a	0.13 b	0.12 b	0.01	0.001
总胆固醇/(mmol/g) TC	0.12 a	0.04 b	0.04 b	<0.01	<0.001
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/g) HDL-C	0.02	0.02	0.02	<0.01	0.452
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/g) LDL-C	0.06 a	0.04 b	0.04 b	<0.01	0.025

## 3 讨论

### 3.1 不同水平的单宁复合蛋白对1~48日龄黄羽肉鸡生长性能的影响

虽然形成不同单宁复合蛋白的单宁酸因来源不同化学结构也不同,但其与蛋白质结合的性质是统一的,且在动物肠道内主要由单宁酸发挥生理功能<sup>[10]</sup>。单宁酸能够减缓肠道蠕动,增加饲料在动物肠道内的停留时间,在一定程度上缓解了由于单宁酸与消化酶或多糖结合,减少了肠道对饲料中养分消化吸收的不利影响<sup>[11]</sup>。宋妍妍<sup>[7]</sup>研究单宁复合蛋白在断奶仔猪上的有效性和耐受性,结果表明,0.1%~0.8%单宁复合蛋白对生长性能影响不显著。李军辉等<sup>[12]</sup>研究饲料分别添加200和400 mg/kg单宁酸对1~42日龄AA肉鸡影响,结果表明,单宁酸的添加对生长性能影响不显著。本研究结果显

示,不同水平单宁复合蛋白对1~48日龄肉鸡生长性能影响不显著,此结果与前人研究结果一致,说明单宁复合蛋白在改善肉鸡生长性能方面无显著效果。

### 3.2 不同水平的单宁复合蛋白对48日龄黄羽肉鸡血浆生化指标的影响

血液生化指标可在一定程度上反映营养物质在机体中的代谢情况<sup>[13]</sup>。ALT酶和AST酶均在肝细胞浆中合成,其活性的高低可用来评估机体肝脏的损伤情况,当肝细胞受到损坏时,此两者酶在血液中活性增加<sup>[14]</sup>。Zhang等<sup>[2]</sup>研究表明,250和500 mg/kg单宁酸可分别降低黄曲霉毒素B1诱导下21和42日龄肉鸡血浆中ALT酶活性。Mansoori等<sup>[15]</sup>研究表明,20 g/kg单宁酸可降低肉鸡血清中ALT酶和AST酶活性。本研究结果显示,相比300 mg/kg单宁复合蛋白,500 mg/kg单宁复合蛋

白的添加可显著升高 48 日龄肉鸡血浆中 ALT 酶活性,与前人研究结果不同之处可能与添加物的有效成分含量和试验处理方法不同有关。UA 是禽类嘌呤代谢的终产物,其浓度的高低反映了动物体内蛋白质和氨基酸的平衡状况<sup>[16]</sup>。本研究结果显示,300 和 500 mg/kg 单宁复合蛋白的添加均显著升高了肉鸡血浆 UA 含量,此结果与宋妍妍<sup>[7]</sup>研究的 0.8% 的单宁复合蛋白显著降低断奶仔猪粗蛋白质消化率结果相似,说明本试验条件下,单宁复合蛋白的添加使肉鸡体内蛋白质代谢受到抑制。血液 GLU、Cr 和 TBIL 含量升高,机体对葡萄糖的代谢减缓,且肾脏和肝脏存在一定程度代谢障碍,导致机体无法代谢肌酐和胆红素,从而使其在血液中含量增加<sup>[17]</sup>。苟昌勇<sup>[18]</sup>研究了 700、1 200 和 1 700 mg/kg 五倍子单宁酸对断奶仔猪的影响,结果表明,不同水平的单宁酸对血清 GLU 含量影响不显著。本研究结果显示,500 mg/kg 单宁复合蛋白显著降低了血浆 GLU 含量,同时 300 mg/kg 单宁复合蛋白降低了血浆 TBIL 含量,说明不同水平的单宁复合蛋白对肉鸡养分代谢均有一定的负面影响,但高剂量的单宁复合蛋白可改善肉鸡糖代谢。

### 3.3 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡免疫功能的影响

炎症反应是正常免疫反应的重要组成部分,是机体对病原微生物感染、创伤和变态反应等发生的细胞反应,其中促炎细胞因子如 IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6 和抗炎细胞因子如 IL-10、IL-22 的平衡反映了炎症反应的净效应<sup>[19]</sup>,促炎细胞因子升高,炎症反应增强,机体免疫功能下降<sup>[20]</sup>。研究表明,单宁酸降低炎症反应的途径主要有 2 种:一种是抑制炎症信号通路和肥大细胞的活化<sup>[21-22]</sup>;另一种是单宁酸与肠道内蛋白质结合,对黏膜形成保护屏障,从而降低组织损伤和炎症反应<sup>[23]</sup>。Kawano 等<sup>[24]</sup>体外研究表明,单宁酸通过减少结肠免疫细胞分泌 IFN- $\gamma$  和 IL-1 $\beta$  抑制结肠炎炎症反应。本研究结果显示,300 mg/kg 单宁复合蛋白可降低 48 日龄肉鸡空肠黏膜促炎细胞因子 IL-1 $\beta$  和 IL-6 含量,说明单宁复合蛋白可通过抑制炎症反应提高肉鸡免疫功能,但有关作用机理还需进一步探究。

### 3.4 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡抗氧化能力的影响

机体的酶促抗氧化系统和非酶促抗氧化系统可避免因外源性和内源性自由基的攻击对机体造成的

损伤,其中 T-SOD、T-AOC 和 GSH 是酶抗氧化系统的组成部分<sup>[25]</sup>。因单宁酸含多元酚羟基结构,可通过提供氢离子和调控细胞 Nrf2/ARE 信号通路有效地清除自由基<sup>[26-27]</sup>,所以,可判断单宁复合蛋白也具有抗氧化功能。研究表明,0.4% 的单宁复合蛋白可提高断奶仔猪血清中过氧化氢(CAT)酶活性,同时 2% 单宁复合蛋白可降低回肠黏膜中 MDA 含量<sup>[7]</sup>。本研究结果显示,500 mg/kg 单宁复合蛋白可降低血浆中 MDA 含量,同时升高肝脏中 T-AOC 酶活性和 GSH 含量,此结果与魏海峰等<sup>[28]</sup>在患有糖尿病大鼠上的研究结果相似,单宁酸可通过降低大鼠血清和肾脏 MDA 含量,升高 T-SOD 酶和 CAT 酶活性提高糖尿病大鼠抗氧化能力。同时,本研究中 300 和 500 mg/kg 单宁复合蛋白对肝脏 T-SOD 活性有升高的趋势,说明单宁复合蛋白的添加可提高肉鸡总抗氧化能力,且高剂量组效果优于低剂量组。

### 3.5 不同水平的单宁复合蛋白对 48 日龄黄羽肉鸡脂质代谢的影响

肝脏是禽类脂肪代谢的重要场所,肝脏中 TG、TC、HDL-C 和 LDL-C 含量可作评价机体脂肪代谢的重要指标,且多酚类化合物可通过降低雌激素维持的高血脂作用,达到降脂目的<sup>[29]</sup>。聂方园<sup>[30]</sup>研究发现,单宁酸可抑制细胞内脂肪酸合酶的活力及表达,同时抑制细胞活力,从而调控脂代谢。本研究结果显示,300 和 500 mg/kg 单宁复合蛋白均可显著降低肝脏中雌二醇含量和脂肪合成酶活性,与上述研究结果相似。曾丽荣<sup>[31]</sup>研究表明,50 和 150 mg/kg/d 单宁酸以剂量依赖性显著降低高脂饮食小鼠肝脏和脂肪组织重量,同时降低血清 TG、TC、HDL-C 和 LDL-C 含量。本研究结果显示,300 和 500 mg/kg 单宁复合蛋白均可显著降低 48 日龄肉鸡肝脏中 TG、TC 和 LDL-C 含量,与前人研究结果相似,说明单宁复合蛋白可通过降低肝脏内雌二醇含量和脂肪酶合成酶活性调节肉鸡脂代谢,但 300 mg/kg 单宁复合蛋白和 500 mg/kg 单宁复合蛋白在调节脂代谢方面的效果差异不显著。

## 4 结 论

①小麦豆粕型饲料添加不同水平的单宁复合蛋白对 1~48 日龄快大型黄羽肉鸡生长性能影响不显著。

②综合生长性能、免疫功能和脂代谢相关指标,



本试验条件下,小麦豆粕型饲料中单宁复合蛋白的适宜添加量为 300 mg/kg。

## 参考文献 References

- [1] Yu M H, Sun X F, Dai X, Gu C, Gu M H, Wang A Q, Wei W H, Yang S M. Effects of tannic acid on antioxidant activity and ovarian development in adolescent and adult female brandt's voles [J]. *Reproductive Sciences*, 2021, 28(11): 2839-2846
- [2] Zhang Z F, Xi Y, Wang S T, Zheng L Y, Qi Y, Guo S S, Ding B Y. Effects of chinese gallnut tannic acid on growth performance, blood parameters, antioxidative status, intestinal histomorphology, and cecal microbial shedding in broilers challenged with aflatoxin B1 [J]. *Journal of Animal Science*, 2022, 100(4): skac099
- [3] Kaczmarek B. Tannic acid with antiviral and antibacterial activity as a promising component of biomaterials—a minireview [J]. *Materials*, 2020, 13(14): 3224
- [4] Lee S H, Shinde P L, Choi J Y, Kwon I K, Lee J K, Pak S I, Cho W T, Chae B J. Effects of tannic acid supplementation on growth performance, blood hematology, iron status and faecal microflora in weanling pigs [J]. *Livestock Science*, 2010, 131(2): 281-286
- [5] 徐静, 王业军, 刘莹莹, 庄超, 惠曙光, 薛爱丽, 李华南, 王桂云. 鞣酸蛋白酵母散治疗小儿腹泻的临床效果分析 [J]. *世界中医药*, 2015, 10(12): 1897-1899
- Xu J, Wang Y J, Liu Y Y, Zhuang C, Hui S G, Xue A L, Li H N, Wang G Y. Clinical effect of tannic albumin tannate and barm powder in the treatment of infantile diarrhea [J]. *World Chinese Medicine*, 2015, 10(12): 1897-1899 (in Chinese)
- [6] 王芳, 王森. 赖氨酸锌颗粒联合鞣酸蛋白酵母散治疗小儿急性腹泻的疗效观察 [J]. *现代药物与临床*, 2017, 32(8): 1478-1481
- Wang F, Wang S. Clinical observation on the treatment of acute diarrhea in children by leizan gluzin granule combined with tannic protein yeast powder [J]. *Modern Medicine and Clinic*, 2017, 32(8): 1478-1481 (in Chinese)
- [7] 宋妍妍. 鞣酸蛋白在断奶仔猪上的有效性和耐受性评价及其对仔猪肠道健康的影响研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2020
- Song Y Y. Evaluation of efficiency and tolerance of tannalbin and its effect on intestinal health in weaned piglets [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [8] 范秋雨, 陈志龙, 林泽铃, 张盛, 茅沈丽, 蒋守群. 五倍子提取物对 1~42 日龄黄羽肉鸡生长性能、肠道形态、免疫功能、抗氧化能力及肠道菌群的影响 [J]. *动物营养学报*, 2022, 34(3): 1547-1558
- Fan Q L, Chen Z L, Lin Z L, Zhang S, Mao S L, Jiang S Q. Effects of gallnut extract on growth performance, intestinal morphology, immune function, antioxidant capacity and intestinal microbiota of yellow-feathered chickens during 1 to 42 days of age [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(3): 1547-1558 (in Chinese)
- [9] Cui X Y, Gou Z Y, Fan Q L, Li L, Lin X J, Wang Y B, Jiang S Q, Jiang Z Y. Effects of dietary perilla seed oil supplementation on lipid metabolism, meat quality, and fatty acid profiles in Yellow-feathered chickens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5714-5723
- [10] Mueller-Harvey I. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86(13): 2010-2037
- [11] Wang M Z, Huang H J, Liu S, Zhuang Y, Yang H S, Li Y L, Chen S, Wang L X, Yin L M, Yao Y F, He S P. Tannic acid modulates intestinal barrier functions associated with intestinal morphology, antioxidative activity, and intestinal tight junction in a diquat-induced mouse model [J]. *RSC Advances*, 2019, 9(55): 31988-31998
- [12] 李军辉, 解玉怀, 张少涛, 李敏, 李世印, 徐青青, 张小东, 张成喜, 杨维仁. 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
- Li J H, Xie Y H, Zhang S T, Li M, Li S Y, Xu Q Q, Zhang X D, Zhang C X, Yang W R. Effects of dietary hydrolyzed tannic acid on growth performance and intestinal health of broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5): 2642-2651 (in Chinese)
- [13] Vaziriyani M, Banaee M, Haghi B N, Mohiseni M. Effects of dietary exposure to aflatoxins on some plasma biochemical indices of common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2018, 17(3): 487-502
- [14] Gan F, Yang Y L, Chen Y, Che C P, Pan C L, Huang K H. Bush sophora root polysaccharide could help prevent aflatoxin B1-induced hepatotoxicity in the primary chicken hepatocytes [J]. *Toxicon*, 2018, (150): 180-187
- [15] Mansoori B, Nodeh H, Modirsanei M, Kiaei M M, Farkhoy M. Influence of dietary tannic acid and polyethylene glycol on growth and intestinal D-xylose absorption of broiler cockerels and activity of serum enzymes [J]. *British Poultry Science*, 2007, 48(4): 489-495
- [16] Vries S D, Joost J G C, Kwakkel R P. Reflux of 15 N-labelled uric acid after intraoal infusion in broiler chickens fed low- or high-protein diets [J]. *Poultry Science*, 2022, 101(4): 101724
- [17] 王雪, 金朗, 王炳强. 接骨丸对 SD 大鼠肝肾毒性的实验研究 [J]. *中医学报*, 2014, 29(5): 682-684
- Wang X, Jin L, Wang B Q. Experimental study pills on bone on liver kidney toxicity in SD rats [J]. *China Journal of Chinese Medicine*, 2014, 29(5): 682-684 (in Chinese)
- [18] 苟昌勇. 五倍子单宁酸对断奶仔猪生长效应的研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2021
- Gou C Y. Effects of gallnut tannin acid on the growth effect of weaned piglets [D]. Guiyang: Guizhou University, 2021 (in Chinese)
- [19] Reikeras O, Borgen P, Reseland J E, Lyngstadaas S P. Changes in serum cytokines in response to musculoskeletal surgical trauma [J]. *BMC Research Notes*, 2014, 7(7): 128-134
- [20] Yu M, Li Z M, Chen W D, Rong T, Wang G, Wang F Y, Ma X Y. Evaluation of full-fat hermetia illucens larvae meal as a fishmeal replacement for weanling piglets: Effects on the growth performance, apparent nutrient digestibility, blood parameters and gut morphology [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, (264): 114431
- [21] Yahfoufi N, Alsadi N, Jambi M, Matar C. The immunomodulatory and anti-inflammatory role of polyphenols [J]. *Nutrients*, 2018, 10(11): 1618
- [22] 魏海峰, 魏雁虹, 李蘊潜, 苗春生, 李才. 单宁酸对糖尿病大鼠肾组织炎症因子表达的抑制作用 [J]. *吉林大学学报: 医学版*, 2011, 37(3): 393-397, 386
- Wei H F, Wei Y H, Li W Q, Miao C S, Li C. Inhibitory effects of tannic acid on inflammatory factor expressions of renal tissues in diabetic rats [J]. *Journal of Jilin University: Medicine Edition*, 2011, 37(3): 393-397, 386 (in Chinese)
- [23] Lagha A B, Howell A, Grenier D. Highbush proanthocyanidins alleviate porphyromonas gingivalis-induced deleterious effects on oral mucosal cells [J]. *Anaerobe*, 2020, 65(102266): 1-6
- [24] Kawano M, Saika K, Takagi R, Matsui M, Matsushita S. Tannic acid acts as an agonist of the dopamine D2L receptor, regulates immune responses, and ameliorates experimentally induced colitis in mice [J]. *Brain Behavior & Immunity-Health*, 2020, (5): 100071
- [25] 薛凌壮, 王开荣, 王红, 张勇. 肉鸡肠道氧化应激的来源与调控 [J]. *中国饲料*, 2021, (18): 5-8
- Xue L Z, Wang K R, Wang H, Zhang Y. Sources and regulation of intestinal oxidative stress in broilers [J]. *China Feed*, 2021, (18): 5-8 (in Chinese)
- [26] Ye M H, Nan Y L, Ding M M, Hu J b, Liu Q, Wei W H, Yang S M. Effects of dietary tannic acid on the growth, hepatic gene expression, and antioxidant enzyme activity in Brandt's voles (*Microtus brandti*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, (196-197): 19-26
- [27] 彭凯, 王国霞, 孙育平, 陈冰, 莫文艳, 黄燕华. 植物缩合单宁抗氧化

作用机制的研究进展[J]. 饲料工业, 2020, 41(13): 49-53

Peng K, Wang G X, Sun Y P, Chen B, Mo W Y, Huang Y H. Research progress on the antioxidative mechanism of plant-derived condensed tannins [J]. *Feed Industry*, 2020, 41 (13): 49-53 (in Chinese)

- [28] 魏海峰, 魏雁虹, 李相军, 石艳, 李才. 单宁酸对糖尿病大鼠抗氧化能力及体外蛋白质非酶糖基化作用的影响[J]. 中国实验诊断学, 2011, 15 (6): 977-979

Wei H F, Wei Y H, Li X J, Shi Y, Li C. The effect of tannic acid on antioxidant capacity in diabetic rats and non-enzymatic glycation of protein in vitro[J]. *Chinese Journal of Laboratory Diagnosis*, 2011, 15 (6): 977-979 (in Chinese)

- [29] Han H L, Zhang J F, Yan E F, Shen M M, Wu J M, Gan Z D, Wei C

H, Wang T. Effects of taurine on growth performance, antioxidant capacity, and lipid metabolism in broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(11): 5707-5717

- [30] 袁方圆. 单宁酸和  $\alpha$ -倒捻子素抑制脂肪细胞及乳腺癌细胞的机理研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015

Nie F Y. Study on the mechanism of tannic acid and  $\alpha$ -pertwist in inhibiting adipocytes and breast cancer cells[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Science, 2015 (in Chinese)

- [31] 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

Zeng L R. The mechanism of dietary tannic acid prevents high-fat-diet induced obesity in mice[D] Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2020 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



**通讯作者简介:** 蒋守群, 博士, 研究员, 广东省农业科学院硕士生导师。国家肉鸡产业技术体系岗位科学家、全国动物营养指导委员会委员、农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室副主任。主要从事黄羽肉鸡精准营养与肉品质营养调控研究。主持国家科技支撑计划项目、国家重点研发专项子课题、现代农业产业技术体系项目、省自然科学基金、科技计划重点项目和广州市科技计划重点项目等 40 多项。

获得国家科学技术进步二等奖、农业农村部“神农”中华农业科技一等奖、中华农业科技创新团队奖各 1 项、广东省科学技术一等奖 2 项; 发表学术论文 200 多篇, 其中 SCI 期刊 50 多篇。获国家和国际发明专利授权 8 件和软件著作权 35 件, 制定国家标准、农业行业标准和团体标准共 4 项。