DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2026.09.005

甘草酸对肉鸡生长性能、免疫功能和肠道形态的影响

李燕舞[1],王强[1*],张晓晶[1],张竹进[2],史学永[2],贾思锋[3]
1.山东畜牧兽医职业学院动物科技学院,山东潍坊 261061;
2.潍坊龙泉饲料有限公司,山东潍坊 262600;
3.齐鲁动物保健品有限公司,济南 250100

摘要 [目的]探究甘草酸对肉鸡生长性能、免疫功能和肠道形态的影响,为其在无抗养殖中的应用提供参考。[方法]选取1日龄健康黄羽肉鸡288羽(公母各半,初始体重36.8±1.2 g),随机平均分配至4个处理组,每组6个重复,每个重复12羽。对照组饲喂基础日粮;低剂量组(GA50)在基础日粮中添加50 mg/kg甘草酸;中剂量组(GA100)在基础日粮中添加100 mg/kg甘草酸;高剂量组(GA150)在基础日粮中添加150 mg/kg甘草酸,试验期为56 d。检测鸡的生长性能、免疫功能和肠道形态指标,并进行组间差异分析。[结果]与对照组相比,生长性能方面,GA100组与GA150组肉鸡的平均日增重显著提高[(33.15±1.78) g/d→(35.17±1.67)、(34.92±1.56) g/d,$P<0.05$],料重比显著下降(2.19±0.13→2.08±0.11、2.09±0.12,$P<0.05$)。免疫与炎症因子方面,GA100组与GA150组的血清IgG[(6.42±0.45) mg/mL→(7.15±0.57)、(7.18±0.54) mg/mL]和抗炎细胞因子IL-10含量[(26.43±1.04) pg/mL→(38.36±1.08)、(39.73±1.06) pg/mL]显著上升($P<0.05$),同时促炎细胞因子TNF-α[(112.65±4.31) pg/mL→(92.74±4.25)、(90.28±4.33) pg/mL]和IL-6的含量[(61.52±2.41) pg/mL→(50.07±2.49)、(49.85±2.42) pg/mL]显著降低($P<0.05$)。肠道形态方面,GA100与GA150组肉鸡的十二指肠、空肠及回肠的绒毛高度显著增加($P<0.05$);十二指肠和空肠的隐窝深度显著变浅($P<0.05$),因此,绒毛高度/隐窝深度(V/C)显著提升($P<0.05$)。[结论]日粮中添加甘草酸可提升黄羽肉鸡的生长性能,增强免疫功能,并改善肠道形态结构。综合指标分析与成本考量,100 mg/kg为最适宜添加水平。

关键词 甘草酸;黄羽肉鸡;生长性能;免疫功能;肠道形态;抗生素替代

Effects of glycyrrhizic acid on the growth performance, immune function, and intestinal morphology of broilers

Li Yanwu[1], Wang Qiang[1*], Zhang Xiaojing[1], Zhang Zhujin[2], Shi Xueyong[2], Jia Sifeng[3]
1.College of Animal Science and Technology, Shandong Vocational Animal Science and Veterinary College, Shandong Province, Weifang 261061, China; 2.Weifang Longquan Feed Co., Ltd., Shandong Province, Weifang 262600, China; 3.Qilu Animal Health Products Co., Ltd., Ji'nan 250100, China

Abstract [Objectives]The effects of glycyrrhizic acid on the growth performance, immune function, and

收稿日期:2026-03-23
基金项目:潍坊市科技发展计划(2024ZJ1071)
作者简介:李燕舞,女,1978年生,硕士,副教授。*通信作者:王强,男,1988年生,硕士,讲师。

intestinal morphology of broilers were studied to provide a reference for its application in antibiotic-free farming.[Methods]288 healthy yellow-feathered broilers aged 1 day (half male and half female, initial body weight of 36.8±1.2 g) were randomly and evenly divided into 4 treatment groups including the control group (CK), the low-dose group (GA50), the medium-dose group (GA100), and the high-dose group (GA150), with 6 replicates per group and 12 chickens per replicate. CK was fed with a basal diet. GA50, GA100, and GA150 added 50 mg/kg, 100 mg/kg, and 150 mg/kg glycyrrhizic acid to the basal diet respectively. The experiment lasted 56 days. The indexes of growth performance, immune function, and intestinal morphology of broilers were measured, and inter-group differences were statistically analyzed.[Results]Compared with the control group, the average daily gain of broilers in GA100 and GA150 significantly increased from (33.15±1.78) to (35.17±1.67) and (34.92±1.56) g/d ($P<0.05$), while the feed-to-gain ratio significantly decreased from 2.19±0.13 to 2.08±0.11 and 2.09±0.12 ($P<0.05$). The content of IgG and anti-inflammatory cytokine IL-10 in the serum of broilers in GA100 and GA150 was significantly increased from (6.42±0.45) to (7.15±0.57) and (7.18±0.54) mg/mL and from (26.43±1.04) to (38.36±1.08) and (39.73±1.06) pg/mL ($P<0.05$), while the content of pro-inflammatory cytokines TNF-α and IL-6 was significantly decreased from (112.65±4.31) to (92.74±4.25) and (90.28±4.33) pg/mL and from (61.52±2.41) to (50.07±2.49) and (49.85±2.42) pg/mL ($P<0.05$). The villus height in the duodenum, jejunum, and ileum of broilers in GA100 and GA150 was significantly increased ($P<0.05$). The crypt depth in the duodenum and jejunum was significantly shallower ($P<0.05$), and the ratio of villus height to crypt depth (V/C) was consequently significantly improved ($P<0.05$). [Conclusions]Diet supplemented with glycyrrhizic acid can improve the growth performance, immune function, and intestinal morphology of yellow-feathered broilers. 100 mg/kg is the most suitable dose of supplementation based on analyzing comprehensive indexes and taking cost into consideration.

Keywords　glycyrrhizic acid; yellow-feathered broilers; growth performance; immune function; intestinal morphology; antibiotic alternatives

长期以来，抗生素作为生长促进剂在畜牧业生产过程中被广泛用于疾病防控与动物生长性能的提升。但随着抗生素的大量使用，由此引发的细菌耐药性扩散以及畜产品中药物残留等问题愈发突出，对人类公共卫生安全带来了严峻挑战。为应对这一局面，我国自2020年起已在饲料领域全面推行禁用抗生素的政策[1]。因此，开发既安全高效、又无残留风险的抗生素替代产品，已成为当前畜禽营养研究的重要方向。

甘草酸作为1种三萜皂苷类物质，主要来源于甘草的根茎部分，同时也是该药材中的代表性活性成分。已有研究证实，甘草酸能够抑制炎症反应、清除体内多余自由基、调控机体免疫状态以及抵抗病毒侵染[2-4]。唐练伟[5]研究表明，在日粮中联合添加甘草酸与柚皮苷，能够有效缓解由脂多糖刺激所诱发的肉鸡肠道屏障功能损伤。尤婷[6]研究发现，在日粮中添加甘草提取物，能够有效提升断奶仔猪的生长性能，并显著改善其免疫功能与抗氧化能力，还可降低肠道内容物的pH值，优化肠道形态结构。然而，现有研究多集中于粗提物或复合添加剂，关于甘草酸单体对黄羽肉鸡作用的系统研究尚少见报道。基于此，本研究以黄羽肉鸡为研究对象，系统探究不同水平甘草酸对其生长性能、免疫水平、肠道形态的影响，旨在为甘草酸在肉鸡无抗养殖中的应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

选取1日龄健康黄羽肉鸡288羽，公母各半，初始体重为36.8±1.2 g。

甘草酸购自甘肃泛植制药有限公司，纯度≥98%（高效液相色谱法检测），呈白色粉末状；免疫球蛋白（IgA、IgG、IgM）免疫比浊法检测试剂盒，购自南京建成生物工程研究所；鸡专用ELISA试剂盒，购自武汉华美生物工程有限公司。

1.2 试验设计

将黄羽肉鸡随机平均分配至4个处理组，每组6个重复，每个重复12羽。对照组（CON）饲喂基础日粮；低剂量组（GA50）在基础日粮中添加50 mg/kg甘草酸；中剂量组（GA100）在基础日粮中添加100 mg/kg甘草酸；高剂量组（GA150）在基础日粮中添加150 mg/kg甘草酸。试验持续56 d。

参考NY/T 33—2004《鸡饲养标准》和黄羽肉鸡营养需要，配制玉米—豆粕型基础日粮，分为育雏期（1～21 d）和生长期（22～56 d）2个阶段，均不添加任何抗生素及其他促生长剂。各阶段日粮组成及营养水平详见表1、表2。

表1 基础饲粮组成（风干基础） %

组成成分	育雏期（1～21 d）	生长期（22～56 d）
玉米	58.50	62.00
豆粕	31.00	25.00
玉米蛋白粉	3.00	4.00
大豆油	1.69	2.70
鱼粉	2.00	2.00
石粉	1.20	1.20
DL-蛋氨酸	0.21	0.20
磷酸氢钙	1.10	1.60
食盐	0.30	0.30
预混料	1.00	1.00
总计	100.00	100.00

注：预混料为每千克日粮提供VA 10 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 30 IU，VK_3 3 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，Fe 75 mg，Zn 70 mg，Mn 95 mg，Cu 6 mg，I 0.4 mg，Se 0.2 mg，烟酸38 mg，泛酸13 mg，叶酸1 mg，生物素0.2 mg，胆碱600 mg。

表2 基础饲粮营养水平（风干基础）

营养成分	育雏期（1～21 d）	生长期（22～56 d）
代谢能/（MJ/kg）	12.38	12.65
粗蛋白质/%	21.02	18.96
钙/%	0.95	0.88
总磷/%	0.68	0.64
赖氨酸/%	1.12	0.98
蛋氨酸/%	0.48	0.42
苏氨酸/%	0.64	0.62

1.3 饲养管理

试验在封闭式鸡舍中进行，采用三层立体笼养，鸡群自由采食和饮水。饲养管理按照黄羽肉鸡常规饲养程序进行：前1～3 d，舍温保持33～35 ℃，之后每周降低2～3 ℃，直至24 ℃左右；前1～7 d，光照时间为24 h，8 d后逐渐减少至自然光照；鸡群按既定免疫程序接种疫苗，并全程密切观察其健康与行为状态。

1.4 样本采集

试验第56天，从每个重复组中随机选取2羽健康状况良好且体重接近平均水平的实验鸡，进行样本采集。

1）血液样本采集。翅静脉采血5 mL，37 ℃静置30 min后，以3 000 r/min离心15 min，分离所得血清分装于1.5 mL离心管中，置于−80 ℃冰箱保存，用于后续免疫指标检测。

2）肠道组织采集。采血完成后，立即采用颈静脉放血法处死实验鸡，迅速解剖并截取十二指肠（胰腺管开口前2 cm处）、空肠（十二指肠下段至卵黄蒂之间）、回肠（卵黄蒂至回盲韧带之间）的中段组织各约2 cm。肠段经预冷生理盐水轻柔冲洗，去除内容物，并用滤纸吸干表面水分，随后置于4%多聚甲醛溶液中固定，用于后续肠道形态学分析。

1.5 测定指标与方法

1）生长性能。试验第1天和第56天的08:00，以重复组为单位对实验鸡进行空腹称重（禁食12 h，自由饮水），分别记录初始体重和终末体重。试验期间，每日准确记录各重复组的投料量与剩余料量，并据此计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）及料重比（F/G）。

2）血清免疫指标。免疫球蛋白（IgA、IgG、IgM）水平检测：采用免疫比浊法检测试剂盒进行测定，具体操作步骤严格按照试剂盒说明书执行。细胞因子水平检测：采用酶联免疫吸附法检测血清中肿瘤坏死因子-α（TNF-α）、白细胞介素-1β（IL-1β）、白细胞介素-6（IL-6）及白细胞介素-10（IL-10）的含量，检测使用鸡专用ELISA试剂盒，所有步骤均严格按照说明书操作；每个样品设置3个复孔，检测完成后使用酶标仪读取450 nm波长处的吸光度值，并依据标准曲线计算各样品中待测因子的浓度。

3）肠道形态。为观测肠道形态学指标，取固定后的肠道组织制作石蜡切片。组织经梯度酒精脱水、二甲苯透明、石蜡包埋后，切成5 μm薄片，进行苏木精−伊红染色与中性树胶封固。在光学显微镜下观察切片，并通过图像分析系统测定绒毛高度（VH）及隐窝深度（CD）。每羽每个肠段选取5个视野清晰、绒毛完整的典型纵切面，每个视野测量5根最长绒毛和相应隐窝，取平均值，计算绒/隐比（V/C）。

1.6　数据统计与分析

所有试验数据先经由 Excel 2016 整理汇总，再导入 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析。

对于组间存在显著差异的指标，采用 Duncan 法进行多重比较。数据统计结果统一表示为“平均值±标准差”，$P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果与分析

2.1　甘草酸对肉鸡生长性能的影响

如表 3 所示，各组初始体重无显著差异（$P=0.826$），表明分组基线均衡。

与对照组相比，日粮中添加 100 mg/kg 和 150 mg/kg 甘草酸显著提高了肉鸡的试验末重（$P<0.05$）；平均日增重分别显著升高 6.09% 和 5.34%（$P<0.05$）；料重比分别显著降低 5.02% 和 4.57%（$P<0.05$）。GA50 组各项生长性能指标与对照组无显著差异（$P>0.05$）。

2.2　甘草酸对肉鸡免疫功能的影响

如表 4 所示，与对照组相比，GA100 组和 GA150 组的血清 IgG 含量均显著升高（$P<0.05$），血清促炎细胞因子 TNF-α 和 IL-6 含量显著降低（$P<0.05$），抗炎细胞因子 IL-10 含量显著升高（$P<0.05$）。GA50 组各项免疫指标与对照组无显著差异（$P>0.05$）。

表 3　甘草酸对肉鸡生长性能的影响

指标	对照组	GA50	GA100	GA150
初重/g	36.82±1.27	36.84±1.23	36.83±1.21	36.86±1.24
末重/g	1 893.22±58.63b	1 931.32±64.39ab	2 006.35±55.57a	1 992.38±61.24a
ADFI/（g/d）	72.83±2.36	73.05±2.31	73.38±2.42	73.32±2.37
ADG/（g/d）	33.15±1.78b	33.83±1.59b	35.17±1.67a	34.92±1.56a
F/G	2.19±0.13a	2.16±0.25a	2.08±0.11b	2.09±0.12b

注：同行数据中不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同字母或者无字母表示差异不显著（$P>0.05$），下同。

表 4　甘草酸对肉鸡免疫功能的影响

指标	对照组	GA50	GA100	GA150
IgA/（μg/mL）	132.51±5.26b	139.19±5.23ab	153.23±5.19a	150.22±5.22a
IgG/（mg/mL）	6.42±0.45b	6.78±0.51ab	7.15±0.57a	7.18±0.54a
IgM/（mg/mL）	1.18±0.04	1.19±0.03	1.23±0.02	1.22±0.03
IL-1β/（pg/mL）	68.39±2.67	69.83±2.59	72.44±2.26	72.61±2.47
IL-6/（pg/mL）	61.52±2.41a	59.46±2.52a	50.07±2.49b	49.85±2.42b
IL-10/（pg/mL）	26.43±1.04b	28.75±1.08b	38.36±1.08a	39.73±1.06a
TNF-α/（pg/mL）	112.65±4.31a	105.93±4.15ab	92.74±4.25b	90.28±4.33b

2.3　甘草酸对肉鸡肠道形态的影响

如表 5 所示，与对照组相比，GA100 组和 GA150 组的十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度均显著提高（$P<0.05$）；十二指肠和空肠隐窝深度显著降低（$P<0.05$），V/C 显著升高（$P<0.05$）。GA50 组各肠段形态指标与对照组无显著差异，但呈现改善趋势。

表 5　甘草酸对肉鸡肠道形态的影响

部位	指标	对照组	GA50	GA100	GA150
十二指肠	绒毛高度/μm	1 095.25±28.62b	1 135.19±25.93b	1 431.17±27.12a	422.26±25.63a
	隐窝深度/μm	237.62±9.39a	216.56±9.47a	178.54±10.03b	180.99±9.83b
	V/C	4.61±0.12b	5.24±0.13b	8.01±0.12a	7.86±0.10a
空肠	绒毛高度/μm	972.67±21.78b	993.85±24.64b	1 172.44±22.45a	1 185.61±26.53a
	隐窝深度/μm	196.29±14.73a	179.46±12.37ab	154.93±12.83b	159.83±13.91b
	V/C	4.95±0.11b	5.54±0.08b	7.56±0.10a	7.41±0.10a
回肠	绒毛高度/μm	741.46±18.56b	795.78±17.19ab	852.65±16.54a	863.24±15.76a
	隐窝深度/μm	167.14±10.01	164.53±12.45	159.46±12.74	158.46±11.53
	V/C	4.43±0.06	4.83±0.08	5.34±0.08	5.44±0.07

3 讨 论

甘草中已分离出的化学物质种类丰富，数量可达数百种，其中主要集中于黄酮类与三萜皂苷类成分，而甘草酸作为其中含量最高的一类化合物，也是三萜皂苷家族中关注度最高、研究最为深入的代表性物质[7]。近年来，甘草及其主要活性成分甘草酸被普遍用于新型冠状病毒肺炎的临床干预，展现出抗炎、抑菌、抗病毒及免疫调节等多方面的药理活性[8]。

3.1 甘草酸对肉鸡生长性能的影响

唐启和[9]研究证实，1 000 mg/kg新疆甘草提取物（含7.4%～7.9%甘草酸）可显著提高肉鸡42 d体重和平均日增重，并降低料重比。本试验中，日粮中添加100 mg/kg和150 mg/kg甘草酸显著提高了黄羽肉鸡的56 d末重和平均日增重，降低了料重比，且以100 mg/kg添加量效果最佳；而50 mg/kg甘草酸添加量对肉鸡生长性能无显著影响。该结果可能是由于低剂量甘草酸（50 mg/kg）尚未达到有效激活NF-κB等相关信号通路的阈值[10]，因而促生长、抗炎及免疫调节作用不明显；当添加剂量升高至150 mg/kg时，虽然仍表现出优于对照的效果，但末重、料重比等部分指标改善幅度较100 mg/kg组有所下降。甘草酸作为一种中草药添加剂，若长期大剂量使用，可能会抑制体内的11β-羟基类固醇脱氢酶活性，引发钠钾代谢失衡，进而表现出高盐皮质激素样作用[11]。虽然在一定剂量下，这种效应未必对机体产生明显损害，且具有可逆性，但摄入量一旦过高，则可能削弱其正面功效，并带来一定的不良影响。此外，本研究中平均日采食量无显著变化，表明甘草酸并非通过促进采食来增加肉鸡体重，而是通过提高饲料利用率发挥作用，这与料重比降低的结果相符。

3.2 甘草酸对肉鸡免疫功能的影响

免疫球蛋白是介导体液免疫的关键分子，其水平高低可直接反映机体体液免疫功能状态[12]。高嘉豪[13]在黄羽肉仔鸡的饲粮中补充甘草酸，发现其有助于调节T淋巴细胞亚群的比例，并能抑制脂多糖诱导的免疫应激所引起的IgA、IgG和IgM水平的上升。本试验中，100 mg/kg和150 mg/kg甘草酸显著提高了血清IgA、IgG含量，表明甘草酸可增强黄羽肉鸡的体液免疫功能，与上述研究结果基本一致。甘草酸增强体液免疫的可能机制包括：促进B淋巴细胞增殖分化、增强抗体合成与分泌、调节辅助性T细胞功能等[14]。

炎性细胞因子作为反映机体炎症状态的关键指标，不仅参与免疫系统的调控过程，也在机体遭遇病原侵袭后，对迅速启动有效的免疫应答发挥着重要功能。TNF-α、IL-1β和IL-6是典型的促炎细胞因子，过度表达会导致炎症损伤；IL-10则是重要的抗炎细胞因子，可抑制过度炎症反应[15-16]。研究证实，在经脂多糖诱导的小鼠炎症模型中，甘草酸及甘草提取物能够有效抑制环氧化酶-2（COX-2）以及IL-1β、TNF-α、IL-6等促炎因子的表达[17]。李巍[18]研究表明，甘草酸的摄入能促使断奶仔猪血清及空肠内的抗炎因子IL-10水平显著上升，同时使促炎因子TNF-α与IL-6的浓度下降；在分子层面，还可以抑制TNF-α、IL-6、NF-κB及TLR4的基因表达，并增强IL-10的基因表达。本试验中，甘草酸显著降低了黄羽肉鸡血清TNF-α、IL-6水平，同时升高了IL-10水平，表明甘草酸可调节辅助性T细胞1型/2型（Th1/Th2）免疫平衡，抑制机体炎症反应，增强抗炎能力。

3.3 甘草酸对肉鸡肠道形态的影响

肠道承担着机体对营养成分进行消化与吸收的重要任务，其功能水平直接取决于形态结构的完整性。小肠绒毛高度的增长有助于增加与营养物质的接触面积，而隐窝深度的减小往往意味着上皮细胞增殖与成熟进程加速，V/C是综合评估肠道健康状态及其吸收效率的一项重要指标[19-21]。

研究证实，甘草提取物能够通过调节肠道黏蛋白MUC2的生成与释放过程，强化黏液层的结构完整性，进而对肠黏膜屏障功能障碍起到改善作用[22]。张宇[23]研究表明，给感染猪流行性腹泻病毒的仔猪灌服5 mg/kg甘草酸，可观察到其十二指肠绒毛高度有所增长，且十二指肠、空肠及回肠的隐窝深度均出现明显下降。王瑞等[1]研究发现，甘草酸可缓解产肠毒素性大肠杆菌K88菌株感染对断奶仔猪肠道屏障的破坏，确保肠上皮紧密连接，维持正常的屏障功能。本试验中，100 mg/kg和150 mg/kg甘草酸显著提高了十二指肠和空肠的绒毛高度和V/C值，显著降低了隐窝深度，表明甘草酸可以改善肠道黏膜结构，促进肠道发育，增强其营养吸收能力，这与前人研究结果一致。此外，甘草酸的抗炎与抗氧化作用可减少肠黏膜损伤，促进绒毛

生长，提升营养吸收能力，为生长性能的改善提供结构基础[24]。

4　结　论

本试验结果表明，日粮中添加 100 mg/kg 或 150 mg/kg 甘草酸可提高黄羽肉鸡生长性能，增强免疫功能，改善肠道形态结构。综合各项指标分析，100 mg/kg 可能是黄羽肉鸡日粮中甘草酸的适宜添加水平；过高剂量可能会出现“剂量—效应平台期”现象，增加养殖成本。

参 考 文 献

[1] 王瑞,林智健,郑华昱,等.饲粮添加甘草酸对产肠毒素大肠杆菌K88感染断奶仔猪体增重、免疫功能、抗氧化能力和肠道健康的影响[J].动物营养学报,2025,37(12):8231-8248.

[2] Yu J Y, Ha J Y, Kim K M, et al. Anti-inflammatory activities of licorice extract and its active compounds, glycyrrhizic acid, liquiritin and liquiritigenin, in BV2 cells and mice liver[J]. Molecules, 2015, 20(7):13041-13054.

[3] Chen K, Yang R, Shen F Q, et al. Advances in pharmacological activities and mechanisms of glycyrrhizic acid[J]. Current Medicinal Chemistry, 2020, 27(36):6219-6243.

[4] Rehman M U, Farooq A, Ali R, et al. Preclinical evidence for the pharmacological actions of glycyrrhizic acid: a comprehensive review[J]. Current Drug Metabolism, 2020, 21(6):436-465.

[5] 唐练伟.几种植物活性成分对肉鸡生长性能和免疫应激的影响[D].武汉：武汉轻工大学,2025:65.

[6] 尤婷.甘草提取物对断奶仔猪生长性能、免疫功能及肠道健康的影响[D].雅安：四川农业大学,2020:50.

[7] Selyutina O Y, Polyakov N E. Glycyrrhizic acid as a multifunctional drug carrier - From physicochemical properties to biomedical applications: a modern insight on the ancient drug[J]. Int J Pharm, 2019, 559:271-279.

[8] 陈亚超,李楠楠,刘子迪,等.源于甘草内生菌的甘草酸合成相关功能基因的宏基因组挖掘[J].中国生物工程杂志,2021,41(9):37-47.

[9] 唐启和.新疆甘草提取物的肠道保护作用及其对肉鸡生长性能的影响研究[D].乌鲁木齐：新疆农业大学,2024:84.

[10] 高野,李凤岩,闫睿,等.甘草次酸对大肠癌HT-29细胞化疗增敏作用机制研究[J].西部中医药,2024,37(8):11-14.

[11] Isbrucker R A, Burdock G A. Risk and safety assessment on the consumption of Licorice root (*Glycyrrhiza* sp.), its extract and powder as a food ingredient, with emphasis on the pharmacology and toxicology of glycyrrhizin[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2006, 46(3):167-192.

[12] 程远之,周洪彬,虞财华,等.不同类型酸化剂对断奶仔猪生长性能和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2021,33(5):2575-2584.

[13] 高嘉豪.甘草酸对肉仔鸡免疫、抗炎及抗氧化作用的影响[D].石河子：石河子大学,2022:23-25.

[14] 王彩君,翟宇.甘草的生物功能及其在畜禽生产中的应用[J].饲料研究,2023,46(8):135-139.

[15] Paludan S R, Pradeu T, Masters S L, et al. Constitutive immune mechanisms: mediators of host defence and immune regulation[J]. Nature Reviews Immunology, 2021, 21(3):137-150.

[16] Sierawska O, Małkowska P, Taskin C, et al. Innate immune system response to burn damage-focus on cytokine alteration[J/OL]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(2):716. https://doi.org/10.3390/ijms23020716.

[17] Wu T Y, Khor T O, Saw C L L, et al. Anti-inflammatory/anti-oxidative stress activities and differential regulation of Nrf2-mediated genes by non-polar fractions of tea *Chrysanthemum zawadskii* and licorice *Glycyrrhiza uralensis*[J]. Aaps Journal, 2011, 13(1):1-13.

[18] 李巍.甘草酸对仔猪生长性能、炎症因子及抗氧化功能的影响[J].饲料研究,2025,48(24):29-32.

[19] Zhu X, Zhang X J, Zhang Y, et al. Dietary glucose oxidase supplementation improves growth performance, intestinal morphology, and microbial community of broilers[J/OL]. Frontiers in Animal Science, 2025, 5: 1491519. https://doi. org/10.3389/fanim.2024.1491519.

[20] Liu Y, Wang Q J, Liu H, et al. Effects of dietary Bopu powder supplementation on intestinal development and microbiota in broiler chickens[J/OL]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13:1019130. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1019130.

[21] 沈康,刘李娟,王万意,等.酸化剂和植物精油组合对仔猪生长性能的影响[J].养殖与饲料,2025,24(4):1-5.

[22] Yu J G, Zhang D B, Liang Y N, et al. Licorice-Yuanhua herbal pair induces ileum injuries through weakening epithelial and mucous barrier functions: saponins, flavonoids, and di-terpenes all involved[J/OL]. Front Pharmacol, 2020, 11: 869. https://doi. org/10.3389/fphar.2020.00869.

[23] 张宇.甘草酸对PEDV感染幼龄仔猪肠道的保护作用[D].武汉：武汉轻工大学,2025:11-21.

[24] 吉睿轩,杨诗佳,王娇,等.甘草及其提取物在畜牧养殖中的应用研究进展[J].中国畜牧杂志,2026,62(1):73-79.

【责任编辑：马心仪】