

黄春红, 周宇, 刘小康, 等. 发酵豆渣对青脚麻鸡的饲养效果[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(8): 1575-1582.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.08.014

发酵豆渣对青脚麻鸡的饲养效果

黄春红, 周宇, 刘小康, 熊嘉鑫

(湖南文理学院生命与环境科学学院/动物学湖南省高校重点实验室, 湖南 常德 415000)

摘要: 为了探讨发酵豆渣的饲用潜力, 将 216 羽 21 日龄青脚麻鸡随机分成 A 组(4% 麦麸组, 即对照组)、B 组(4% 普通豆渣组)、C 组(4% 发酵豆渣组) 3 组, 开展 30 d 的饲养试验。结果表明, 各组间的平均日增重、相对生长率及料重比差异均显著($P < 0.05$), 且以 C 组表现最优, B 组表现最差。B 组血清中的天冬氨酸氨基转移酶活性、丙氨酸氨基转移酶活性、碱性磷酸酶活性均显著高于 A 组、C 组($P < 0.05$), 但总蛋白质含量、肌酐浓度均较低。A 组、C 组鸡肝细胞界限清晰且未见炎症灶, 但 B 组鸡肝细胞界限欠清晰, 且部分肝组织可见局部黄色浸润炎症灶。C 组鸡肠道指数显著高于 A 组、B 组($P < 0.05$); A 组、B 组鸡的肠道分别可见轻微出血、严重出血。C 组鸡的肠道正常, 且十二指肠绒毛长度、空肠绒毛长度均较 A 组、B 组显著提高($P < 0.05$)。综合来看, 在青脚麻鸡饲料中添加 4% 发酵豆渣有利于改善鸡的生长状况、料重比和健康状况。

关键词: 青脚麻鸡; 豆渣; 生长; 肝脏; 肠道

中图分类号: S831.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2025)08-1575-08

The feeding effect of fermented okara on Cyan-Shank Partridge chickens

HUANG Chunhong, ZHOU Yu, LIU Xiaokang, XIONG Jiaxin

(Zoology Key Laboratory of Hunan Higher Education, College of Life and Environmental Sciences, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China)

Abstract: To explore the potential of fermented okara as feed, a total of 216 healthy 21-day-old Cyan-Shank Partridge chickens were randomly divided into three groups: Group A (4% wheat bran group, i.e., the control group), Group B (4% ordinary soybean residue group), and Group C (4% fermented soybean residue group). A 30-day feeding trial was conducted. The results showed that there were significant differences in average daily weight gain, relative growth rate, and feed-to-gain (F/G) ratio among the groups ($P < 0.05$), with Group C performing the best and Group B performing the worst. The activities of aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), and alkaline phosphatase (ALP) in the serum of Group B were significantly higher than those in Groups A and C ($P < 0.05$), while the total protein content and creatinine concentration were relatively low. The liver cells of chickens in Groups A and C had clear boundaries and no inflammatory foci were observed. However, the boundaries of liver cells in Group B were less clear, and some liver tissues exhibited local yellow infiltrating inflammatory foci. The intestinal index of Group C was significantly higher than that of Groups A and B ($P < 0.05$). Meanwhile, mild and severe bleeding were observed in the intestines of Groups A and B, respectively. In contrast, the intestines of Group C were healthy, and the villus lengths of the duodenum and jejunum were

significantly increased compared to Groups A and B ($P < 0.05$). Overall, the addition of 4% fermented okara in the feed of Cyan-Shank Partridge chickens is beneficial for improving their growth, F/G ratio, and health status.

Key words: Cyan-shank partridge chickens; okara; growth; liver; intestine

收稿日期: 2025-01-03

基金项目: 湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30468); 湖南省教育厅重点项目(20A339)

作者简介: 黄春红(1978-), 女, 湖南资兴人, 博士, 教授, 主要从事动物营养与生理方面的研究。(E-mail) 346132404@qq.com

豆渣是豆腐和豆浆等的加工副产物,由于中国豆类及其制品年消费量较大,因此豆渣产量也较大。相关报道表明,中国湿豆渣的年产量已达 4.4×10^7 t^[1]。豆渣富含膳食纤维、粗蛋白质、脂质等多种营养成分^[2],并含有大豆黄酮、大豆异黄酮、大豆苷等植物化学物质^[3],是动物养殖业的一种潜在饲料资源。但是,豆渣同时也富含胰蛋白酶抑制剂、抗原蛋白等多种抗营养因子^[4],在一定程度上影响了其利用。目前,有关豆渣的研究大多集中在活性成分提取与分离、豆渣发酵技术以及豆渣营养价值的改善等方面。例如有研究发现,乙醇含量为50%~70%的溶液可从豆渣中高效提取异黄酮^[5]。雅致放射毛霉菌株 DCY-1 可被用于豆渣的有效固态发酵^[6]。经马克斯克鲁维酵母固态发酵的豆渣,其粗脂肪、可溶性膳食纤维和多糖含量均增加,植酸含量、胰蛋白酶抑制剂活性及豆腥味显著减少^[7]。有研究者从湖南邵阳的发酵豆渣中分离到 33 株菌株,同时发现采用白地霉、总状横梗霉和伞房横梗霉对豆渣进行固态发酵可显著提高发酵豆渣中的总酚含量及其抗氧化活性^[8]。有研究者利用粗壮脉纹孢菌发酵豆渣,不仅使低聚糖水平提高了约 3.5 倍,改善了低聚糖的结构,提高了其比表面积^[9],还可使粗多糖含量增加约 8 倍,同时总糖、总黄酮、总酚及蛋白质含量也均较发酵前明显增加^[10]。目前,云芝、灵芝和杏鲍菇等食用菌也被用于豆渣固态发酵、豆渣营养价值的改善研究^[11]。虽然目前也有一些研究者初步分析了豆渣提取物及发酵豆渣的饲用价值,但多数研究仍以小鼠为对

象,其研究内容也以对小鼠脂类代谢、肠道菌群的影响分析为主^[12-13]。目前,豆渣在猪、牛、羊、鸡等动物的饲料中应用的研究仍很少,且已有的少量研究主要围绕发酵豆渣对动物生长性能、肌肉品质、蛋品质和消化率的影响展开^[14-17],有关普通豆渣、发酵豆渣对家禽肝脏、肠道功能等的综合比较研究还未见报道。本研究拟围绕麦麸、普通豆渣和发酵豆渣对青脚麻鸡生长、肝脏和肠道等的综合影响,探讨发酵豆渣在鸡生产中的饲用效果,以期为后续发酵豆渣在饲料中的开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

本试验所用试验动物为 21 日龄青脚麻鸡肉仔鸡,共计 216 羽,公母各一半,初始的平均活体重为 (290.72 ± 36.11) g,均购自湖南丽阳生态农业有限公司。

1.2 试验材料

本试验所用普通新鲜黄豆渣购自湖南省常德市德山永信庄园豆腐坊。将购得的农旭旺混合型饲料添加剂——凝结芽孢杆菌 II 型豆渣发酵剂先用水进行 10 倍稀释,再按 20 mL/kg 剂量均匀喷洒到含水量为 55% 的湿豆渣中,在自然温度(25~30 ℃)条件下密封发酵 6 d,制得发酵豆渣。普通湿豆渣与发酵豆渣再在 65 ℃ 条件下进行干燥处理后备用。2 种豆渣的营养成分及抗营养成分含量见表 1。

表 1 普通豆渣和发酵豆渣营养成分及抗营养成分含量

Table 1 Nutrient and anti-nutrient contents of common okara and fermented okara

豆渣类型	粗蛋白质含量 (%)	粗脂肪含量 (%)	粗灰分含量 (%)	粗纤维含量 (%)	无氮浸出物含量 (%)	胰蛋白酶抑制剂含量 (TIU/g)
普通豆渣	18.37±0.82	9.59±0.19	4.21±0.23	63.86±2.31	3.97	21 925.26
发酵豆渣	23.32±0.61	8.48±0.17	4.26±0.18	58.79±1.79	5.15	4 635.58

除胰蛋白酶抑制剂活性的测定是风干条件(65 ℃)外,其余成分含量的测定均为干物质条件。TIU 为胰蛋白酶抑制单位。

1.3 试验饲料

参考《产蛋鸡和肉鸡配合饲料》(GB/T 5916-2022)^[18],采用 VF123 配方软件设计基础饲粮(A组,即对照组,投喂 4% 麦麸)。将 4% 普通豆渣和 4% 发酵豆渣分别按等比例替代基础饲粮中的 4% 麦麸,制得含普通豆渣(B组)和发酵豆渣(C组)的试验饲粮。各组饲粮的组成及营养水平分别见表 2 和表 3。

1.4 饲养管理

将试验鸡预饲 7 d 后,随机分成对照组(A组)、

普通豆渣组(B组)和发酵豆渣组(C组),每组设 6 个重复,每个重复设 12 羽鸡,分别投喂基础饲料及添加了 4% 普通豆渣、4% 发酵豆渣的试验饲料。试验期间参照肉仔鸡饲养管理操作规程,进行正常防疫和消毒,环境温度为 22~26 ℃,通风良好。每天 8:30、12:30 和 17:30 投料,鸡自由采食和饮水。饲养周期为 30 d,每天观察鸡的健康状况,并记录投料量,收集剩余饲料,将剩余饲料于 65 ℃ 干燥至恒重后称重,以计算各重复组的采食量和料重比。其中,料重比=饲料

采食总量(g)÷体重增加总量(g)。

表2 试验饲料组成(风干条件)

Table 2 Composition of experimental diets (air-dry basis)

类别	A组	B组	C组
麦麸含量(%)	4.00	-	-
普通豆渣含量(%)	-	4.00	-
发酵豆渣含量(%)	-	-	4.00
玉米含量(%)	58.20	58.20	58.20
豆粕含量(%)	24.00	24.00	24.00
菜籽粕含量(%)	4.00	4.00	4.00
膨化大豆含量(%)	5.00	5.00	5.00
石粉含量(%)	1.20	1.20	1.20
磷酸氢钙含量(%)	1.30	1.30	1.30
食盐含量(%)	0.30	0.30	0.30
预混料含量(%)	2.00	2.00	2.00

A组:4%麦麸组,即对照组;B组:4%普通豆渣组;C组:4%发酵豆渣组。预混料为1 kg 饲料提供:8 000 IU 维生素A,1 500 IU 维生素D₃,25 IU 维生素E,1 mg 维生素K₃,2 mg 维生素B₁,8 mg 维生素B₂,3.5 mg 维生素B₆,0.1 mg 维生素B₁₂,3 mg 叶酸,15 mg 泛酸钙,20 mg 烟酸,0.2 mg 生物素,65 mg Fe,20 mg Cu,60 mg Mn,60 mg Zn,0.25 mg Se,0.8 mg I,5 g 赖氨酸,3 g 甲硫氨酸。

表3 试验饲料营养水平(风干条件)

Table 3 Nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

营养水平	A组	B组	C组
代谢能(MJ/kg)	11.72	11.51	11.53
粗蛋白质含量(%)	18.52	18.59	18.92
粗脂肪含量(%)	2.76	2.88	2.79
粗灰分含量(%)	2.03	2.09	2.09
钙含量(%)	0.65	0.81	0.80
总磷含量(%)	0.56	0.65	0.65
赖氨酸含量(%)	0.68	0.70	0.72
甲硫氨酸含量(%)	0.45	0.46	0.47

营养成分除代谢能为计算值以外,其余均为测定值。A组:4%麦麸组,即对照组;B组:4%普通豆渣组;C组:4%发酵豆渣组。

1.5 样品采集与制备

于试验结束后的次日7:30称取各重复组鸡的活重,各重复组随机抽取3羽鸡,在翅静脉处采血,收集血液于无菌采血管中。从解剖后的鸡体内取出内脏,分离、观察和记录肠道状况并称重。根据下列公式计算各组肠道指数:肠道指数=肠道净重(g)÷末期活体重(g)×100%。分别于十二指肠、空肠、回肠中段截取约1 cm 肠管置于4%多聚甲醛中保存。分离约1 cm³ 肝脏组织,再将其置于4%多聚甲醛中保存。

1.6 待检指标及检测方法

1.6.1 生长速度及料重比 参照中华人民共和国农业行业标准《家禽生产性能名词术语和度量计算

方法》(NY/T 823-2020)^[19]计算各组鸡的平均日增重、相对生长率和料重比。

1.6.2 血清生化指标 血清总蛋白质(TP)含量、天冬氨酸氨基转移酶(AST)活性、丙氨酸氨基转移酶(ALT)活性、碱性磷酸酶(ALP)活性、乳酸脱氢酶(LDH)活性、肌酸激酶(CK)活性、肌酐(CREA)浓度、尿素氮(BUN)浓度、葡萄糖(GLU)浓度等生化指标采用斯马特生化分析仪检测。

1.6.3 肝脏和肠道组织切片的制作及指标测量

采用苏木精-伊红染色法制作组织切片,先用微流水冲洗肝脏和肠道组织8 h,再用含量递增的乙醇溶液对组织进行脱水处理。用二甲苯对组织进行透明化处理,进行组织浸蜡,再用石蜡包埋组织。先用HistoCore MULTICTU 半自动轮转式切片将组织切成5 μm 的切片,然后用苏木精-伊红染色法染色,再然后用中性树胶封片,最后用连续变倍摄像显微镜对肝脏、肠道组织进行拍照。用Image J软件对肠绒毛长度、宽度及肠壁厚度进行测量。

1.7 数据处理

使用SPSS Statistics 26软件,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan氏多重比较法对数据进行统计分析,结果以平均值±标准差表示,显著水平设为0.05。

2 结果与分析

2.1 青脚麻鸡生长速度与料重比

如表4所示,在不同试验组之间,青脚麻鸡的平均日增重、相对生长率及料重比均存在显著差异,且均以C组显著优于A组($P<0.05$),A组显著优于B组($P<0.05$)。除B组存活率为88.89%以外,其余2个组鸡的存活率均为100.00%。

2.2 青脚麻鸡血清生化指标

如表5所示,在不同试验组间,青脚麻鸡的血清总蛋白质含量以B组最低,并且显著低于A组($P<0.05$)。与肝功能相关的酶(如AST、ALT、ALP)活性均以B组显著高于A组、C组($P<0.05$)。与C组相比,A组与心脏、肝功能相关的乳酸脱氢酶活性显著下降($P<0.05$);与C组相比,A组、B组与细胞内能量转换有关的肌酸激酶活性、葡萄糖浓度则显著上升($P<0.05$)。在不同试验组间,与肾脏滤过功能有关的肌酐浓度无显著差异,B组的尿素氮浓度显著高于其他2组($P<0.05$)。

表 4 不同组别青脚麻鸡的生长速度与料重比

Table 4 Growth performance and feed-to-gain (F/G) ratio of Cyan-Shank Partridge chickens in different groups

组别	初始活体重(g)	末期活体重(g)	平均日增重(g/d)	相对增长率(%)	料重比	存活率(%)
A 组	296.67±12.19a	760.67±17.00b	15.47±0.74b	156.80±13.04b	2.31±0.12b	100.00
B 组	290.17±4.62a	664.83±95.56a	13.44±1.78a	129.30±4.62a	2.78±0.21c	88.89
C 组	292.00±11.49a	847.50±19.97c	18.52±0.76c	190.61±13.21c	2.17±0.10a	100.00

A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 不同组别青脚麻鸡的血清生化指标

Table 5 Serum biochemical indicators of Cyan-Shank Partridge chickens in different groups

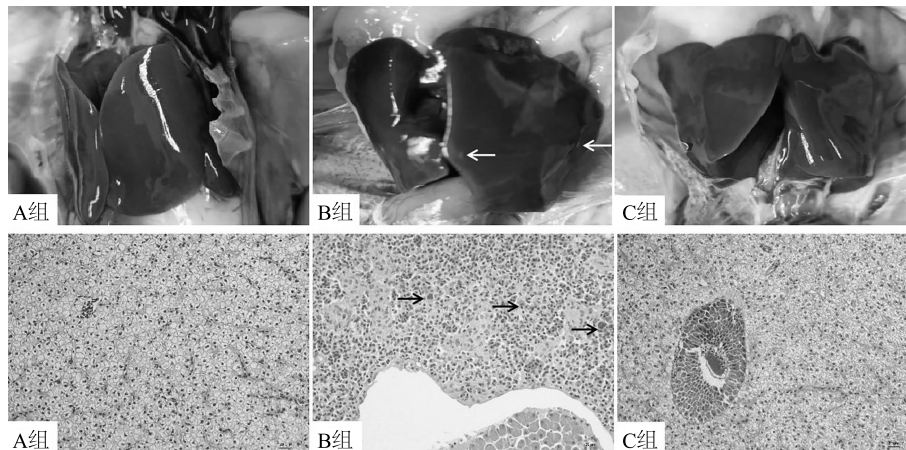
指标	A 组	B 组	C 组
总蛋白质含量(g/L)	45.10±1.63b	39.40±1.35a	42.20±1.09ab
天冬氨酸氨基转移酶活性(U/L)	275.21±12.32a	469.15±22.10c	318.28±10.69b
丙氨酸氨基转移酶活性(U/L)	3.41±0.35b	8.16±0.38c	2.89±0.22a
碱性磷酸酶活性(U/L)	976.09±22.13b	1 420.10±16.89c	451.06±20.87a
乳酸脱氢酶活性(U/L)	262.12±19.65a	728.20±26.10b	705.42±18.56b
肌酸激酶活性(U/L)	2 817.11±41.03b	2 806.09±46.15b	2 618.26±32.55a
肌酐浓度($\mu\text{mol/L}$)	9.65±0.56a	8.87±0.36a	10.50±0.19a
尿素氮浓度($\mu\text{mol/L}$)	1.15±0.09a	2.14±0.05c	1.72±0.01b
葡萄糖浓度($\mu\text{mol/L}$)	15.98±0.56b	14.25±0.21b	10.63±0.57a

A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。同行数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 青脚麻鸡肝脏组织学变化

3 个试验组青脚麻鸡的肝脏颜色均呈正常的深红色,触感柔软而有弹性。如图 1 所示,除了 B 组青脚麻鸡的肝脏偶见白色坏死灶外,其余 2 组青脚麻鸡肝表面均未见明显异常。肝组织切片观察结果

表明,A 组与 C 组青脚麻鸡的肝细胞界限均清晰,核染色、细胞排列和大小均比较正常,且未见炎症灶,但 B 组青脚麻鸡肝细胞界限欠清晰,且部分鸡肝切片可见明显的局部黄色浸润炎症灶。



A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。图中白色箭头所指为坏死灶,图中黑色箭头所指为黄色浸润炎症灶。

图 1 不同组别青脚麻鸡肝脏外观及组织学变化($\times 40$)Fig.1 Appearance and histology changes ($\times 40$) of Cyan-Shank Partridge chicken liver in different groups

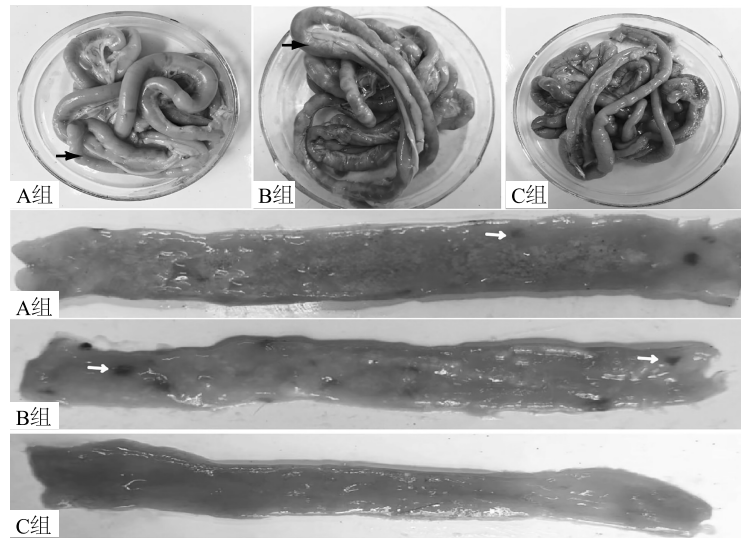
2.4 青脚麻鸡肠道指数及肠道组织状况

A 组、B 组、C 组的肠道指数分别为 $8.95\% \pm$

1.32% 、 $8.26\% \pm 1.69\%$ 与 $10.69\% \pm 2.05\%$, 与 A 组相比,B 组、C 组的青脚麻鸡的肠道指数分别有所下

降、显著上升($P<0.05$)。如图 2 所示,少数 A 组青脚麻鸡的局部肠道可见少量轻微出血点;部分 B 组青脚麻鸡的肠道出现严重出血,尤其是死亡鸡的整个肠道因大面积充血而使得颜色变化异常;C 组青脚麻鸡则未见明显出血点,肠道的整体情况较前 2 组明显改善。如图 3 所示,青脚麻鸡的肠道绒毛形态、完整性均以 C 组最好,而 A 组、B 组青脚麻鸡的部分肠绒毛均因受到不同程度的损伤而脱落。如表 6 所示,与 A 组、B 组相比,C 组青脚麻鸡的十二指

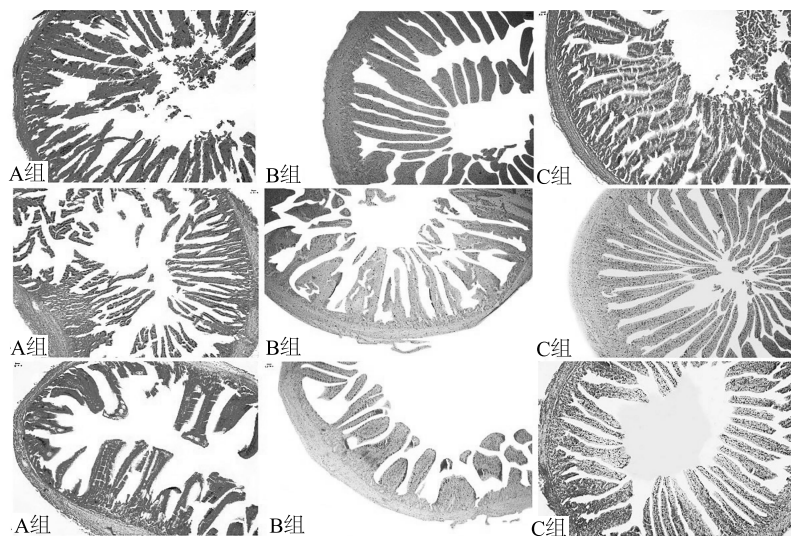
肠绒毛长度、空肠绒毛长度、空肠绒毛宽度得到显著改善($P<0.05$);回肠绒毛长度在 A 组与 B 组、B 组与 C 组间无显著差异。C 组与 A 组青脚麻鸡的十二指肠绒毛宽度无显著差异,而 B 组青脚麻鸡的十二指肠绒毛宽度则显著低于 A 组($P<0.05$)。B 组青脚麻鸡的十二指肠肌层厚度显著高于其他 2 组($P<0.05$)。在 3 个试验组间,青脚麻鸡的空肠绒毛长度、空肠绒毛宽度和空肠肌层厚度均存在显著差异($P<0.05$)。



A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。图中箭头所指为出血点。

图 2 不同组别青脚麻鸡肠道组织情况

Fig.2 Intestinal conditions of Cyan-Shank Partridge chickens in different groups



A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。上层图片为十二指肠,中层图片为空肠,下层图片为回肠。

图 3 不同试验组青脚麻鸡十二指肠、空肠及回肠组织学形态($\times 4$)

Fig.3 Histomorphology of duodenum, jejunum, and ileum in different groups of Cyan-Shank Partridge chickens ($\times 4$)

表 6 不同试验组青脚麻鸡肠道绒毛组织学状况

Table 6 Histology status of intestinal villi in different groups of Cyan-Shank Partridge chickens

指标	A 组	B 组	C 组
十二指肠绒毛长度(μm)	805.08±14.94c	859.53±22.89b	943.57±3.39a
十二指肠绒毛宽度(μm)	114.75±30.05a	66.06±10.77b	135.20±3.10a
十二指肠肌层厚度(μm)	74.86±9.58c	121.63±8.02a	103.75±2.10b
空肠绒毛长度(μm)	678.00±66.75c	767.00±20.30b	844.43±3.72a
空肠绒毛宽度(μm)	55.12±16.64c	81.25±5.79b	110.94±4.25a
空肠肌层厚度(μm)	168.59±33.11a	143.07±6.60b	106.92±2.66c
回肠绒毛长度(μm)	632.01±27.78b	642.26±25.40ab	657.19±3.88a
回肠绒毛宽度(μm)	136.85±41.00a	61.79±12.95b	113.73±2.74a
回肠肌层厚度(μm)	114.00±34.62ab	92.33±9.57b	136.11±2.95a

A 组:4%麦麸组,即对照组;B 组:4%普通豆渣组;C 组:4%发酵豆渣组。同行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 豆渣替代麦麸对青脚麻鸡生长速度及饲料转化率(料重比)的影响

在本研究中,用发酵豆渣等量替代 4%麦麸饲喂青脚麻鸡后,鸡的生长速度得到显著提高,这与姜莱等^[17]用发酵豆渣等量替代 4%豆粕的研究结果类似。韩秀秀等^[20]在蛋鸡日粮中添加 10%发酵豆渣,姚晨歌等^[21]在武冈铜鹅饲料中添加 3%~9%的发酵豆渣复合物后,均不同程度地提高了家禽的生长速度,并改善了饲料转化率。但是,当雏鸡饲料使用普通豆渣,且添加量由 2.5%逐渐上升至 10.0%时,其饲料转化率会呈线性降低^[22]。在本研究中,饲喂普通豆渣组的料重比显著高于其他 2 组,故其饲料转化率显著低于其他 2 组,这可能与普通豆渣中含有细胞毒性物质、酶抑制因子等抗营养成分^[3-4]有关。相对于饲喂普通豆渣处理,本研究中饲喂发酵豆渣的处理显著提高了鸡的生长速度和饲料转化率,这与发酵豆渣中胰蛋白酶抑制剂活性大大低于普通豆渣密切相关。已有研究发现,在鸡饲料中添加豆渣时,如果能够同时补充非淀粉多糖酶等解除抗营养成分的活性物质,即便豆渣添加量高达 25%,对鸡的生长速度、饲料转化率也不会产生不利影响^[23]。普通豆渣中的部分蛋白质经发酵后可降解为更易被消化、吸收的肽类^[6],发酵后产生酸香味并降低豆腥味,从而改善饲料的适口性^[11]。此外,豆渣经过发酵还可降低蛋白酶抑制剂、抗原蛋白、植酸等抗营养成分含量^[4,7,24],发酵豆渣中

的淀粉酶、蛋白酶活性和纤维素酶活性也均较非发酵豆渣明显提高^[11],这应该是发酵豆渣能够提高鸡生长速度和饲料转化率的重要原因。

3.2 豆渣替代麦麸对青脚麻鸡肝脏组织及其功能的影响

从血清肝功能相关酶活性指标看,饲喂普通豆渣组的鸡肝功能不如饲喂麦麸组、发酵豆渣组,这在肝组织切片结果中也得到了证实。饲喂普通豆渣组的碱性磷酸酶活性约为饲喂发酵豆渣组的 3 倍,提示在饲料中添加普通豆渣可能诱发了鸡的肝胆疾病或肝炎等。相比之下,饲喂发酵豆渣组的鸡肝脏功能则整体上明显优于对照组、饲喂普通豆渣组。有研究发现,用马克斯克鲁维酵母 NRRL Y-8281 固体发酵豆渣后,发酵豆渣甲醇提取物比普通豆渣甲醇提取物具有更好的保肝、抗炎和镇痛作用,这可能与豆渣发酵后的总酚含量增加有关^[25],因为总酚含量往往与抗氧化能力呈正相关。目前用于豆渣发酵的微生物种类较多,并且用许多微生物发酵豆渣后都可提高豆渣中抗氧化物质或抗炎物质的含量。例如,豆渣经根霉寡孢子菌、植物乳杆菌发酵后,其抗氧化活性得到明显提升^[26-27]。豆渣经副干酪乳杆菌 6244 发酵后,其总酚含量、总黄酮含量分别提高至未发酵豆渣的 3.32 倍、5.68 倍^[28]。大豆黄酮除了具有抗氧化作用外,还具有良好的抗炎活性。在本研究中,饲喂发酵豆渣组的青脚麻鸡肝功能整体上较其他 2 组明显改善,可能也与豆渣发酵处理后青脚麻鸡体内的抗氧化物质或抗炎物质含量增加有关,具体情况有待后续深入研究。

3.3 豆渣替代麦麸对青脚麻鸡肠道组织及其功能的影响

与普通豆渣类似,未发酵的麦麸因含有非淀粉多糖等抗营养因子,在家禽生产中的应用效果一般不佳^[29]。在本研究中,饲喂麦麸和普通豆渣的青脚麻鸡的肠道状况、生长性能整体上均不如饲喂发酵豆渣处理。但是,在猪日粮中添加豆渣和麦麸发酵混合物则可显著改善猪的粪便形态,缓解便秘,同时降低猪粪中的致病菌含量^[14]。在猪饲料中使用德氏乳杆菌亚种 TUA4408L 菌株发酵豆渣饲料,不仅可以提高猪肠道中有益细菌乳杆菌、乳球菌的相对丰度,还能差异调节由 TLR4 激活引发的猪肠上皮细胞的先天免疫反应,不同程度地调节肠黏膜炎症因子和性细胞因子的表达,减少血液炎症标志物含量^[30],从而通过调节猪肠道微生物群和免疫力以提高猪的生长性能、生

产性能。在患有结肠炎的小鼠日常饮食中加入米曲霉发酵豆渣,可以提高双歧杆菌等产短链脂肪酸细菌的相对丰度和短链脂肪酸产量,从而降低 IL-6、IL-1 β 、TNF- α 等促炎细胞因子水平,减少 COX-2、iNOS、PGE2、NO 等炎性介质和 MCP-1 趋化因子产生,还可通过抑制 HDAC3/MAPK 相关蛋白和 NF- κ B 炎症途径促进 IL-10、IL-4 抗炎细胞因子产生^[31],从而有效缓解肠道炎症。给结肠炎小鼠每天按照 200~800 mg/kg 的剂量灌胃粗壮脉纹孢菌发酵豆渣低聚糖^[9],或以 200 mg/kg 的剂量灌胃粗壮脉纹孢菌发酵豆渣多糖^[32],均可显著降低小鼠 IL-1 β 、IL-6 和 TNF- α 等促炎因子水平,明显提高 IL-22 等抑炎因子水平,并通过促进有益菌生长和抑制有害菌增殖,不同程度地逆转结肠炎小鼠的肠道微生物失衡态,同时使肠道长度增加。在芙蓉鲤饲料中添加 6%、12% 乳酸菌固态发酵豆渣,可显著增加肠绒毛高度和肠道淀粉酶活性,进而提高鱼体的生长性能^[33]。在本研究中,普通豆渣组和麦麸组鸡肠道病变的发生可能与肠道微生物菌群失调存在密切关系,如上述研究结果所示,发酵豆渣的使用在一定程度上改善了肠道微生物群,提高了肠道免疫力,从而恢复了鸡的肠道健康。因此,关于不同微生物单一发酵或混合发酵豆渣对豆渣活性物质和抗营养因子含量,以及对动物肠道健康的影响有必要进行深入的比较研究。

4 结论

相对于 4% 麦麸组,4% 普通豆渣组不仅可以显著降低青脚麻鸡生长速度和饲料转化率,也不利于鸡的肝脏、肠道健康;4% 发酵豆渣组则可显著提高鸡的生长速度、饲料转化率,同时可以部分改善鸡的肝脏功能,并有效改善鸡的肠道绒毛形态,促进肠道健康。

参考文献:

- [1] 韩伟. 粮食加工副产物研究与综合利用[M]. 北京:化学工业出版社,2023.
- [2] LI B, QIAO M Y, LU F. Composition, nutrition, and utilization of okara (soybean residue) [J]. Food Reviews International, 2012, 28(3): 231-252.
- [3] NILE S H, NILE A, OH J W, et al. Soybean processing waste: potential antioxidant, cytotoxic and enzyme inhibitory activities [J]. Food Bioscience, 2020, 38: 100778.
- [4] HENG X Y, CHEN H Y, LI J B. Study on the removal of anti-nutritional factors in bean dregs by solid-state fermentation [J]. Pakistan Journal of Agricultural, 2022, 59(4): 543-551.
- [5] JANKOWIAK L, TRIFUNOVIC O, BOOM R M, et al. The potential of crude okara for isoflavone production [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 124: 166-172.
- [6] GUAN Y, WANG J P, WU J J, et al. Enhancing the functional properties of soymilk residues (okara) by solid-state fermentation with *Actinomyces elegans* [J]. CyTA-Journal of Food, 2017, 15(1): 155-163.
- [7] HU Y, PIAO C H, CHEN Y, et al. Soybean residue (okara) fermentation with the yeast *Kluyveromyces marxianus* [J]. Food Bioscience, 2019, 31: 100439.
- [8] 毛欣欣,雷茜,陈伟哲,等. 传统发酵霉豆渣中微生物的分离及其作为豆渣发酵剂的应用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 74-83.
- [9] 欧阳耀铭. 粗状脉纹孢菌发酵豆渣低聚糖的结构解析及其对结肠炎小鼠肠道菌群的影响[D]. 南昌:南昌大学, 2023.
- [10] 黄文利,欧阳耀铭,卢玲,等. 粗状脉纹孢菌发酵前后豆渣多糖理化性质和结构特性[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 26-32.
- [11] WU Y X, WU L P, Park E, et al. Changes in main functional substances and biological activities of okara fermented with medicinal and edible fungi [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(15): 100-106.
- [12] FAN H L, ZHANG Y, SWALLAH M S, et al. Structural characteristics of insoluble dietary fiber from okara with different particle sizes and their prebiotic effects in rats fed high-fat diet [J]. Foods, 2022, 11(9): 1298.
- [13] NISHIBORI N, KISHIBUCHI R, MORITA K. Suppressive effect of Okara on intestinal lipid digestion and absorption in mice ingesting high-fat diet [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2018, 69(6): 690-695.
- [14] LIU J Z, WANG K, ZHAO L Y, et al. Investigation of supplementation with a combination of fermented bean dregs and wheat bran for improving the growth performance of the sow [J]. Journal of Animal Science and Technology, 2024, 66(2): 295-309.
- [15] 普宣宣,王荣,张秀敏,等. 豆渣混贮对青年期奶牛生长性能、营养物质表观消化率、瘤胃发酵及甲烷排放的影响[J]. 动物营养学报, 2024, 36(3): 1724-1733.
- [16] 刘远,吴贤锋,王迎港,等. 饲料中发酵豆渣添加水平对不同品种山羊营养物质消化代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(10): 6565-6575.
- [17] 姜莱,姚垒,袁纯纯,等. 发酵豆渣对仙居鸡生长性能、血清指标和消化性能的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2023, 49(5): 719-728.
- [18] 全国饲料工业标准化技术委员会. 产蛋鸡和肉鸡配合饲料: GB/T 5916-2020[S]. 北京:中国标准出版社, 2020.
- [19] 中华人民共和国农业农村部. 家禽生产性能名词术语和度量计算方法: NY/T 823-2020[S]. 北京:中国农业出版社, 2020.
- [20] 韩秀秀,刘建军,张文珍,等. 发酵豆渣和蛋白桑对蛋鸡生长性能、生产性能和蛋品质的影响[J]. 中国饲料, 2023(13): 119-124.
- [21] 姚晨歌,刘佳敏,肖晶,等. 发酵豆渣复合物对武冈铜鹅生长

- 性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响[J]. 饲料工业,2024,45(4):16-23.
- [22] DIAZ-VARGAS M, MURAKAMI A E, OSPINA-ROJAS I C, et al. Use of okara (aqueous extract residue) in the diet of starter broilers [J]. Canadian Journal of Animal Science,2016,96(3):416-424.
- [23] SINHA S, SINHA A, MAHTO D, et al. Study on the growth performance of the broiler after feeding of okara meal containing with or without non-starch polysaccharides degrading enzyme [J]. Veterinary World,2013,6(6):325.
- [24] RAHMAN M M, MAT K, ISHIGAKI G, et al. A review of okara (soybean curd residue) utilization as animal feed; nutritive value and animal performance aspects [J]. Animal Science Journal, 2021,92(1):e13594.
- [25] RASHAD M M, MAHOUD A E, ALI M M. Hepatoprotective, anti-inflammatory and analgesic potential of methanolic extract of fermented okara in experimental animals [J]. International Journal of Integrative Biology,2011,11(3):117-126.
- [26] GUPTA S, LEE J J L, CHEN W N. Analysis of improved nutritional composition of potential functional food (okara) after probiotic solid-state fermentation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2018,66(21):5373-5381.
- [27] WANG R, THAKUR K, FENG J Y, et al. Functionalization of soy residue (okara) by enzymatic hydrolysis and LAB fermentation for B₂ bio-enrichment and improved *in vitro* digestion [J]. Food Chemistry,2022,387:132947.
- [28] LI Y X, SONG H, ZHANG Z Q, et al. Effects of fermentation with different probiotics on the quality, isoflavone content, and flavor of okara beverages [J]. Food Science & Nutrition, 2024,12(4):2619-2633.
- [29] 弓浩杰,李运杰,贾梦可,等. 发酵麸皮的营养价值及其在动物生产中的应用研究 [J]. 中国饲料,2023(13):131-137.
- [30] SUDA Y, SASAKI N, KAGAWA K, et al. Immunobiotic feed developed with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii* TUA4408L and the soy milk by-product okara improves health and growth performance in pigs [J]. Microorganisms,2021,9(5):921.
- [31] HONG C J, CHEN S Y, HSU Y H, et al. Protective effect of fermented okara on the regulation of inflammation, the gut microbiota, and SCFAs production in rats with TNBS-induced colitis [J]. Food Research International,2022,157:111390.
- [32] 黄文利. 粗壮脉纹孢菌发酵豆渣多糖的结构解析及其对结肠炎小鼠肠道菌群的影响和产品研发 [D]. 南昌:南昌大学,2022.
- [33] 李飞龙. 发酵豆渣在芙蓉鲤鲫饲料中的应用研究 [D]. 长沙:湖南农业大学,2022.

(责任编辑:徐 艳)