

陈守海, 赵羽佳, 江文卿, 等. 菊花多糖对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、肝脏脂质沉积和抗氧化水平的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2026, 58 (8): 32–39.

CHEN S H, ZHAO Y J, JIANG W Q, et al. Effects of *Chrysanthemum* polysaccharides on production performance, egg quality, hepatic lipid deposition and antioxidant capacity in aged laying hens [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2026, 58 (8): 32–39.

菊花多糖对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、肝脏脂质沉积和抗氧化水平的影响

陈守海¹, 赵羽佳², 江文卿¹, 于越¹, 罗艳³, 孙建³,
顾小龙³, 曲伟杰^{3*}, 武毅^{1,3*}

(1. 南京农业大学动物医学院, 江苏 南京 210014;

2. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 211800;

3. 云南农业大学动物医学院, 云南 昆明 650201)

摘要: 旨在探究菊花多糖 (CPS) 对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、肝脏脂质沉积和抗氧化水平的影响。选取产蛋数量相近的 350 日龄罗曼褐蛋鸡 240 只, 随机分为 4 组, 每组 6 个重复, 每个重复 10 只, 分别为 I 组 (饲喂基础日粮对照组), II 组 (基础日粮中添加 2% 黄芪多糖阳性药物组), III 组 (基础日粮中添加 1% CPS), IV 组 (基础日粮中添加 2% CPS); 母鸡笼养, 每日定量限饲 (110 g/羽), 鸡舍室温 24 °C, 光照 16L: 8D, 试验期 8 周。结果: 与 I 组相比, II 组的产蛋率、蛋黄颜色显著提高 ($P < 0.05$), 而肝组织超氧化物歧化酶 (SOD) 活性显著降低 ($P < 0.05$); III 组在生产性能和蛋品质上均无显著差异 ($P > 0.05$), 但血清高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-c) 和肝组织过氧化氢酶 (CAT) 水平显著提高 ($P < 0.05$), 血清丙氨酸氨基转移酶 (ALT)、甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-c) 和肝组织 TG 水平显著降低 ($P < 0.05$); IV 组产蛋率、蛋黄颜色和蛋壳强度均显著提高 ($P < 0.05$), 血清 HDL-c、肝组织 CAT 水平显著提高 ($P < 0.05$), 而血清中 ALT、TC、TG、LDL-c、总胆红素 (TBIL) 及肝组织 TG、丙二醛 (MDA) 水平显著降低 ($P < 0.05$)。提示: 添加 1% 和 2% 剂量的 CPS 可显著改善产蛋后期蛋鸡肝脏血脂异常, 降低肝脏脂质沉积, 提高肝细胞抗氧化水平, 缓解肝脏损伤, 其中 2% CPS 添加剂量的改善效果更为显著且能提高蛋鸡的生产性能与蛋品质。

关键词: 菊花多糖; 蛋品质; 生产性能; 抗氧化; 脂肪肝; 蛋鸡

中图分类号: S816.7 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2026)08-0032-08

Effects of *Chrysanthemum* polysaccharides on production performance, egg quality, hepatic lipid deposition and antioxidant capacity in aged laying hens

CHEN Shouhai¹, ZHAO Yujia², JIANG Wenqing¹, YU Yue¹, LUO Yan³, SUN Jian³,
GU Xiaolong³, QU Weijie^{3*}, WU Yi^{1,3*}

(1. College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China;

2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 211800, China;

3. College of Veterinary Medicine, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: To investigate the effects of *Chrysanthemum* polysaccharides (CPS) on production performance, egg quality, hepatic lipid metabolism, and antioxidant capacity in laying hens during the late laying period, 240 Roman Brown laying hens aged 350 days with similar laying performance were randomly divided into 4 groups with 6 replicates per group and 10 hens per replicate. Group I was the control group, fed with a basal diet; Group II was the positive control group, fed with the basal diet supplemented with 2% Astragalus polysaccharides; Groups III and IV were the experimental groups, fed with the basal diet supplemented with 1% and 2% CPS, respectively. The trial lasted for 8 weeks under cage rearing with quantitative feed restriction (110 g/bird/day). The house temperature was maintained at 24 °C with a 16L: 8D lighting schedule. The results showed that, compared with Group I, Group II significantly increased their laying rate and yolk color

收稿日期: 2025-12-16; 修回日期: 2026-06-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NSFC32172900); 云南省个旧牛产业科技特派团项目 (202304BI090007)

第一作者: 陈守海, 男, 硕士研究生

* 通信作者: 曲伟杰, 教授, 博士生导师, 研究方向为兽医临床常见病, E-mail: 1401075010@qq.com; 武毅, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中兽医学与中兽药学, E-mail: wuyi2001cn@163.com。

($P<0.05$), but showed lower effect on the SOD activity ($P<0.05$). Group III showed no significant improvement in production performance or egg quality ($P>0.05$), but significantly enhanced the levels of serum HDL-c and hepatic CAT ($P<0.05$), and reduced the levels of serum ALT, TG, TC, LDL-c, and hepatic TG ($P<0.05$). Group IV demonstrated the most comprehensive effects, significantly improving their laying rate, yolk color, and eggshell strength ($P<0.05$), significantly enhancing the levels of serum HDL-c and hepatic CAT ($P<0.05$), significantly reducing the levels of serum ALT, TC, TG, LDL-c, TBIL and hepatic TG, MDA ($P<0.05$). In conclusion, CPS, particularly at the 2% supplementation level, significantly improved hepatic lipid metabolism disorders, reduced hepatic lipid deposition, enhanced antioxidant capacity, and effectively improved production performance and egg quality in laying hens in the late laying period.

Keywords: *Chrysanthemum* polysaccharide; egg quality; production performance; antioxidant; fatty liver; layer hen

随着家禽养殖业向规模化、集约化方向快速发展,蛋鸡养殖的生产效率与鸡蛋质量备受关注。产蛋后期(通常指 43~72 周龄),由于蛋鸡生理机能衰退、激素水平变化及能量代谢失衡,蛋鸡脂肪肝综合征的发病率显著升高,已成为制约蛋鸡养殖业可持续发展的主要代谢性疾病之一^[1]。该病以肝脏脂肪过度沉积、肝细胞脂肪变性为主要病理特征,不仅导致蛋鸡产蛋率下降、蛋壳质量变差,还会引发蛋鸡肝脏变性、出血,严重的导致蛋鸡猝死,给养殖户造成严重的经济损失,同时影响鸡蛋产品的营养安全性^[2-3]。目前,关于产蛋后期蛋鸡脂肪肝的防控多依赖饲料配方优化、饲养管理调整及化学药物干预^[4],但化学制剂的残留风险与毒副作用限制了其在绿色养殖中的应用,因此开发安全、高效的天然活性成分成为该领域的研究热点。

菊花作为我国传统药食同源植物,其药用价值在《本草纲目》等典籍中早有记载。现代药理学研究证实,菊花中含有的多糖类成分具有抗氧化、抗炎、调节脂质代谢、保护肝脏功能等多种生物活性^[5]。近年来,植物多糖因其天然性、低毒性、生物相容性好等优势,在畜禽健康养殖中的应用研究日益增多。已有研究表明,部分植物多糖可通过改善动物机体抗氧化能力、调节脂代谢相关基因表达、抑制炎症反应等途径,缓解肝脏脂肪沉积^[6-10]。然而,关于菊花多糖(CPS)对产蛋后期蛋鸡脂肪肝的调控作用及潜在分子机制尚未明确,其是否能通过调节蛋鸡肝脏脂质合成与分解平衡、增强机体抗氧化应激能力,进而改善脂肪肝症状,仍需系统探究。

黄芪多糖作为一种研究较为充分的植物多糖,已被证明具有增强免疫、改善生产性能等作用,并已有相关添加剂上市应用。CPS 虽具有多种生物活性,但其在产蛋后期蛋鸡中的应用效果及与黄芪多糖的对比研究尚不充分。基于此,本研究聚焦产蛋后期蛋鸡脂肪肝的防控需求,通过在产蛋后期的蛋鸡饲料中添加不同剂量的 CPS 并与市售黄芪多糖添加剂进行对比,从蛋鸡的生产性能、蛋品质及血脂、肝脏脂质沉积和抗氧化水平等方面系统评估 CPS 的使用效果,为后续开发 CPS 相关产品提供理论和实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试验设计

CPS(来自四川太时生物科技有限公司)经苯酚-硫酸法测定其总多糖含量 $\geq 65\%$,分子质量为 10~40 kDa。黄芪多糖(含量 ≥ 20 g/kg,山东大禹动物药业有限公司)为市售饲料添加剂,推荐添加量为 2 g/kg,本试验将其作为植物多糖阳性对照,用于评估 CPS 的相对效果。试验在南京市溧水区江苏春神养鸡场进行,试验鸡品种为罗曼褐蛋鸡。选取 350 日龄左右健康状态良好的蛋鸡 240 只,随机分为 4 组,每组 6 个重复,每个重复 10 只鸡,其中 I 组饲喂基础日粮(对照组),II 组在基础日粮中添加 2% 黄芪多糖的增蛋饲料添加剂(阳性药物组),III 组在基础日粮中添加 1% CPS(低剂量添加组),IV 组在基础日粮中添加 2% CPS(高剂量添加组)。试验地点在江苏南京市溧水春神养鸡场,先对 4 组蛋鸡进行为期 7 d 的预试验,正式试验周期为 56 d。自由饮水,每日定时、定量饲喂(110 g/羽),自动化处理粪便,饲养管理方法依据罗曼蛋鸡饲养管理手册。基础日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

日粮组成	含量/%	营养成分 ^②	水平/%
玉米	64.5	代谢能/(MJ·kg ⁻¹)	11.00
麦麸	6.0	粗蛋白	15.30
豆粕	15.5	粗脂肪	3.20
菜籽粕	3.0	钙	3.49
石粉	9.0	总磷	0.57
磷酸氢钙	1.2	蛋氨酸	0.32
氯化钠	0.3	赖氨酸	0.66
预混料 ^①	0.5	粗纤维	3.50

注:①每千克预混料含维生素 A 12 000 U,维生素 D₃ 2 400 U,维生素 E 16 mg,维生素 K 2.80 mg,维生素 B₁ 1.60 mg,维生素 B₂ 4.60 mg,维生素 B₁₂ 0.06 mg,维生素 B₆(吡哆醇) 3.0 mg,生物素 0.26 mg,烟酸 46 mg,泛酸 10 mg,叶酸 1.20 mg,胆碱 500 mg,铜 8 mg,铁 82 mg,锰 60 mg,锌 60 mg,碘 1.12 mg,硒 0.6 mg。②营养水平中代谢能为计算值,其他均为实测值。

1.2 样品采集

在试验进行到 56 d 时, 随机选取每个重复中体重相近, 状态良好的蛋鸡 2 只, 每组 12 只, 在采样前一晚禁饲 (12 h) 不禁水。通过翅静脉采血并分离血清, 采集血液于 10 mL 离心管中, 离心分离收集并于 -80 ℃ 冰箱保存。采用颈动脉放血法处死剖开腹腔分离肝组织, 对肝组织进行称重。每个重复中随机选取 1 份肝脏, 切取 1.5 cm 肝组织待制切片, 其余肝脏于 -80 ℃ 保存, 待测生化指标。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生产性能指标

记录每天各组蛋鸡的产蛋数并对鸡蛋称重, 采食量每 7 d 统计 1 次, 根据统计数据计算蛋鸡的产蛋率、平均日采食量、平均蛋重及料蛋比。

1.3.2 蛋品质指标

分别在试验期的第 4 周和第 8 周以重复为单位抽取 2 枚鸡蛋, 每组 12 枚, 对抽取鸡蛋的蛋长、蛋宽、蛋白高度、蛋黄颜色、蛋黄重、哈氏单位、蛋壳厚度及蛋壳强度进行检测。蛋长、蛋宽和蛋壳厚度采用游标卡尺测定; 蛋形指数根据蛋长和蛋宽计算; 蛋壳强度采用蛋壳强度测定仪 ST-610P 型检测 (山东三体仪器有限公司); 蛋白高度、哈氏单位和蛋黄颜色采用 EMT-7300 型多功能蛋品质自动分析仪检测 (北京布拉德科技发展有限公司); 将收集完整的蛋黄使用电子天平进行称重。

1.3.3 血清生化指标

使用南京建成生物工程研究所试剂盒测定血清中丙氨酸氨基转移酶 (ALT, 货号: C009-2-1), 天门冬氨酸氨基转移酶 (AST, 货号: C010-2-1), 甘油三酯 (TG, 货号: A110-1-1), 总胆固醇 (TC, 货号: A111-1-1), 高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-c, 货号: A112-1-1), 低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-c, 货号: A113-1-1) 和总胆红素 (TBIL, 货号: C019-1-1) 的含量。具体操作按说明书进行。

1.3.4 肝组织生化指标

准确称取约 0.2 g 冻存肝组织, 按重量体积比 1:9 加入预冷的生理盐水, 在冰水浴中机械匀浆。匀浆液于 4 ℃、3 000 r/min 离心 10 min, 取上清液作为待测样品。使用南京建成生物工程研究所试剂盒测定肝脏匀浆中 TG (货号: A110-1-1), TC (货号: A111-1-1), 超氧化物歧化酶 (SOD, 货号: A001-3-2), 过氧化氢酶 (CAT, 货号: A007-1-1), 丙二醛 (MDA, 货号: A003-1-2) 和总抗氧化

能力 (T-AOC, 货号: A015-2-1) 的水平。

1.3.5 肝脏切片观察以及 NAS 病理评分

对 1.2 中采集的肝组织进行固定、脱水, 石蜡包埋处理, 进行 HE 染色、油红 O 染色及过碘酸-雪夫 (PAS) 糖原染色。使用 ImageJ 软件对肝脏病理切片进行统计分析。根据美国国立卫生研究院 NASH 临床研究网络 (NIH NASH CRN) 提出的 NAFLD/NASH 病理诊断分级 NAS 评分法进行评分^[11]。

1.4 数据统计与分析

先用 Excel 软件对所有数据初步统计整理, 使用 SPSS 软件的单因素方差分析对所有数据进行分析, Duncan's 法进行多重比较, 评估组间的差异, 最后采用 LSD 或 Tamhane 法检验, $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。结果使用“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 CPS 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知, 试验前 4 周, 与 I 组相比, II、III、IV 组的平均日采食量、平均蛋重均无显著差异 ($P > 0.05$); 相比 I 组, II 组产蛋率显著升高 6.79% ($P < 0.05$), IV 组产蛋率显著升高 5.77% ($P < 0.05$)。在试验期 5~8 周内, 与 I 组相比, II 组产蛋率显著升高 4.30% ($P < 0.05$), IV 组产蛋率显著升高 6.20% ($P < 0.05$); 与 I 组相比, IV 组的料蛋比显著降低 7.00% ($P < 0.05$), 平均日采食量、平均蛋重无显著变化 ($P > 0.05$)。在整个试验周期里, 与 I 组相比, II 组和 IV 组产蛋率显著提高 ($P < 0.05$), 分别提高 5.43%、5.67%; 与 I 组相比, IV 组的料蛋比显著降低 6.87% ($P < 0.05$), 但平均蛋重、平均日采食量无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 CPS 对蛋品质的影响

由表 3 可知, 在试验第 4 周, 与 I 组相比, IV 组比 I 组的蛋壳强度显著提高 3.21% ($P < 0.05$); 与 I 组相比, II 组和 IV 组蛋黄颜色有显著的提高 ($P < 0.05$), 分别提高 33.02% 和 30.44%; 与 I 组比, II、III、IV 组的蛋形指数、蛋壳厚度、蛋白高度、蛋黄重、蛋白重和哈氏单位均无显著差异 ($P > 0.05$)。在试验第 8 周, 与 I 组相比, II 组蛋黄颜色显著提高 20.67% ($P < 0.05$); 相比 I 组, IV 组的蛋壳强度显著提高 10.93% ($P < 0.05$), 同时蛋黄颜色显著提高 17.13% ($P < 0.05$); 而 II、III、IV 组蛋形指数、蛋壳厚度、蛋白高度、蛋黄重、蛋白重和哈氏单位与 I 组相比均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 CPS 对蛋鸡生产性能的影响

阶段	指标	I 组	Ⅱ组	Ⅲ组	Ⅳ组
第 1~4 周	产蛋率/%	88. 84±3. 97 ^b	94. 87±2. 27 ^a	87. 50±4. 19 ^b	93. 97±2. 81 ^a
	平均日采食量/g	122. 72±4. 46	124. 51±1. 82	121. 04±5. 04	122. 56±4. 44
	平均蛋重/g	60. 31±4. 91	61. 09±3. 93	59. 67±3. 20	60. 74±0. 96
	料蛋比	2. 37±0. 13 ^a	2. 22±0. 09 ^b	2. 43±0. 17 ^a	2. 21±0. 06 ^b
第 5~8 周	产蛋率/%	88. 17±3. 45 ^b	91. 96±1. 55 ^a	88. 18±1. 77 ^b	93. 30±1. 95 ^a
	平均日采食量/g	126. 65±1. 24	128. 15±3. 36	126. 29±1. 25	126. 31±1. 53
	平均蛋重/g	60. 91±2. 79	61. 01±3. 19	59. 16±0. 75	61. 67±2. 17
	料蛋比	2. 29±0. 05 ^a	2. 23±0. 11 ^a	2. 32±0. 12 ^a	2. 13±0. 13 ^b
第 1~8 周	产蛋率/%	88. 62±3. 89 ^b	93. 43±2. 42 ^a	87. 83±3. 23 ^b	93. 64±2. 44 ^a
	平均日采食量/g	124. 69±3. 82	126. 33±3. 26	123. 67±4. 51	124. 43±3. 81
	平均蛋重/g	60. 61±4. 00	61. 05±3. 58	59. 42±2. 34	61. 21±1. 74
	料蛋比	2. 33±0. 11 ^b	2. 22±0. 10 ^b	2. 38±0. 16 ^a	2. 17±0. 11 ^c

注：同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

表 3 CPS 对蛋品质的影响

阶段	指标	I 组	Ⅱ组	Ⅲ组	Ⅳ组
第 4 周	蛋形指数	1. 31±0. 04	1. 29±0. 06	1. 29±0. 05	1. 28±0. 07
	蛋壳强度/N	53. 52±2. 12 ^b	53. 86±1. 65 ^b	52. 47±2. 03 ^b	55. 24±8. 67 ^a
	蛋壳厚度/mm	0. 382±0. 014	0. 385±0. 013	0. 373±0. 013	0. 374±0. 017
	蛋黄颜色	5. 42±0. 62 ^b	7. 21±0. 32 ^a	5. 40±0. 93 ^b	7. 07±0. 71 ^a
	蛋白高度/mm	8. 17±1. 13	8. 83±1. 01	8. 89±0. 76	8. 84±0. 67
	蛋黄重/g	15. 80±0. 93	15. 69±0. 88	15. 36±0. 63	15. 21±1. 09
	蛋白重/g	36. 46±2. 21	35. 46±2. 48	33. 75±2. 15	38. 29±2. 85
	哈氏单位	90. 2±6. 3	94. 3±5. 2	94. 7±3. 7	93. 6±2. 9
第 8 周	蛋形指数	1. 29±0. 05	1. 30±0. 04	1. 26±0. 10	1. 27±0. 07
	蛋壳强度/N	51. 74±2. 82 ^b	53. 5±2. 31 ^b	53. 33±3. 44 ^b	57. 40±5. 12 ^a
	蛋壳厚度/mm	0. 379±0. 014	0. 371±0. 015	0. 371±0. 017	0. 390±0. 010
	蛋黄颜色	5. 37±1. 05 ^b	6. 48±0. 62 ^a	5. 01±0. 84 ^b	6. 29±0. 54 ^a
	蛋白高度/mm	8. 28±2. 35	8. 90±1. 33	8. 76±0. 79	7. 99±0. 58
	蛋黄重/g	16. 49±0. 92	16. 00±0. 76	15. 87±0. 85	15. 94±0. 92
	蛋白重/g	36. 35±2. 74	36. 90±1. 72	36. 23±2. 39	38. 36±1. 91
	哈氏单位	88. 2±16. 6	93. 8±6. 2	93. 4±3. 9	88. 8±2. 8

2.3 CPS 对蛋鸡血清生化指标的影响

由表 4 可知，与 I 组相比，Ⅲ组和Ⅳ组血清中 ALT 的水平均显著减少（ $P<0.05$ ），分别减少了 58.92%和 54.49%；Ⅲ组和Ⅳ组血清中 TC 的含量均显著减少（ $P<0.05$ ），相比 I 组分别减少了 30.30%和 36.54%；Ⅲ组和Ⅳ组血清中 TG 的含量均显著减少（ $P<0.05$ ），相比 I 组分别减少了 52.35%和

50.93%；Ⅲ组和Ⅳ组血清中 HDL-c 的含量均显著增加（ $P<0.05$ ），相比 I 组分别增加了 14.63%和 10.87%；Ⅲ组和Ⅳ组血清中 LDL-c 的含量均显著降低（ $P<0.05$ ），相比 I 组分别降低了 29.87%和 31.17%；Ⅳ组血清中 TBIL 的含量显著减少（ $P<0.05$ ），相比 I 组减少 40.6%；而血清中 AST 含量无显著差异（ $P>0.05$ ）。

表 4 CPS 对血清生化指标的影响

指标	I 组	II 组	III 组	IV 组
ALT/ (U · L ⁻¹)	8.35±1.77 ^a	6.37±1.31 ^a	3.43±1.21 ^b	3.80±1.69 ^b
AST/ (U · L ⁻¹)	262.92±22.38	257.42±14.25	286.55±25.57	293.03±25.16
TC/ (mmol · L ⁻¹)	2.60±0.37 ^a	2.37±0.24 ^a	1.81±0.05 ^b	1.65±0.16 ^b
TG/ (mmol · L ⁻¹)	9.13±1.63 ^a	7.64±2.32 ^a	4.35±0.89 ^b	4.48±0.66 ^b
HDL-c/ (mmol · L ⁻¹)	0.82±0.05 ^b	0.88±0.10 ^b	0.94±0.03 ^a	0.92±0.07 ^a
LDL-c/ (mmol · L ⁻¹)	0.77±0.16 ^a	0.79±0.14 ^a	0.54±0.12 ^b	0.53±0.06 ^b
TBIL/ (μmol · L ⁻¹)	1.28±0.27 ^a	0.93±0.12 ^a	0.94±0.25 ^a	0.76±0.13 ^b

2.4 CPS 对蛋鸡肝组织生化指标的影响

由表 5 可知,与 I 组相比,III 组和 IV 组肝组织中的 TG 含量均显著降低 ($P<0.05$),分别减少 62.53%和 60.84%;II 组肝组织中 SOD 活性显著降低 ($P<0.05$),相比 I 组降低了 17.82%;III 组和 IV

组肝组织中 CAT 活性显著升高 ($P<0.05$),相比 I 组分别升高 159.51%和 148.94%;IV 组肝组织中 MDA 含量显著降低 ($P<0.05$),相比 I 组降低了 43.04%;但与 I 组相比,肝组织中 TC 的含量和 T-AOC 的活性均无显著变化 ($P>0.05$)。

表 5 CPS 对肝组织生化指标的影响

指标	I 组	II 组	III 组	IV 组
TG/ (μmol · g ⁻¹)	56.08±10.08 ^a	46.32±6.69 ^a	21.04±0.8 ^b	21.96±5.45 ^b
TC/ (μmol · g ⁻¹)	13.19±0.84	12.51±1.33	13.83±0.18	13.51±0.84
SOD/ (U · mg ⁻¹)	2.02±0.10 ^a	1.66±0.20 ^b	2.17±0.30 ^a	2.29±0.16 ^a
CAT/ (U · mg ⁻¹)	58.09±33.47 ^b	51.93±17.13 ^b	150.75±19.83 ^a	144.61±26.49 ^a
MDA/ (nmol · mg ⁻¹)	1.58±0.20 ^a	1.45±0.14 ^a	1.39±0.21 ^a	0.90±0.09 ^b
T-AOC/ (U · mg ⁻¹)	42.81±1.61	40.96±2.96	41.75±1.58	41.31±3.21

2.5 蛋鸡肝脏组织学观察

由图 1 可见,HE 染色病理切片显示在产蛋后期,I 组和 II 组的肝细胞均出现明显的微泡型脂肪变性和少量的中泡脂肪变性,胞质内可见脂肪空泡,细胞核被挤压至边缘,伴有微量的炎性细胞浸润及肝细胞气球样变;相比之下,III 组和 IV 组肝细胞结构完

整,排列规整,胞质均匀,几乎未见脂肪空泡,肝索排列清晰,中央静脉结构正常。由油红 O 染色病理切片可知,在 I 组和 II 组的切片上均可以观察到明显的中等大小脂滴,并被染成淡粉色。由 PAS 糖原染色病理切片观察可知,相比 I 组,III 组和 IV 组的肝糖原含量明显升高,尤其是 IV 组。

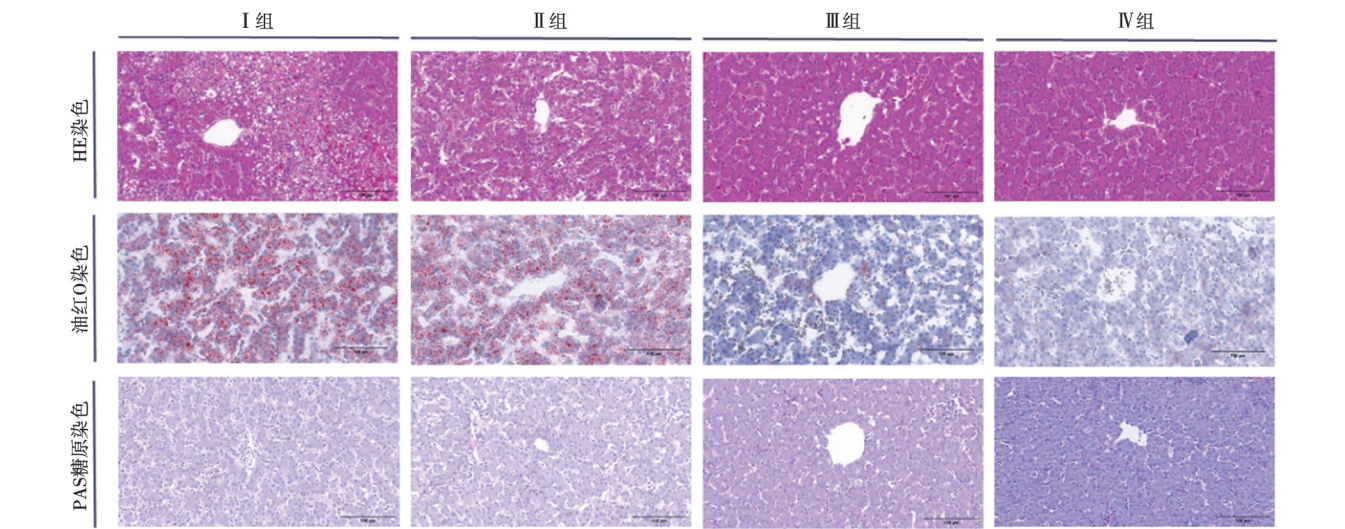
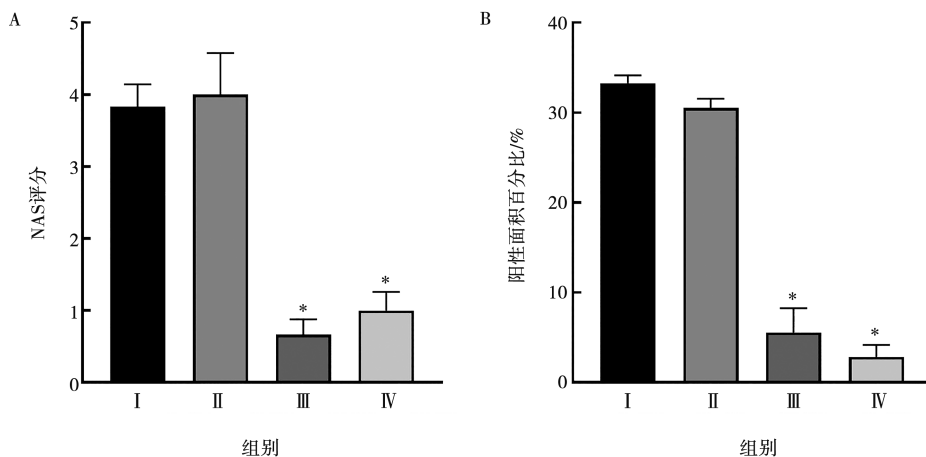


图 1 CPS 对蛋鸡肝脏组织形态的影响 (标尺=100 μm)

由图 2A 可见，NAS 评分结果和 HE 染色病理切片结果相同，Ⅲ组和Ⅳ组的 NAS 评分显著低于Ⅰ组 ($P<0.05$)。由图 2B 可见，通过 ImageJ 定量分析发

现，相对于Ⅰ组，Ⅲ组和Ⅳ组的油红 O 染色阳性面积的比率显著降低 ($P<0.05$)。



A. NAS 评分; B. 油红 O 染色阳性面积占比。* 表示相比Ⅰ组差异显著 ($P<0.05$)。

图 2 CPS 对蛋鸡肝脏组织形态影响的定量分析

3 讨论

3.1 CPS 对蛋鸡生产性能的影响

生产性能是评价蛋鸡生产水平的核心标准。已有许多研究发现多种生物多糖能够通过提高机体免疫力、减少输卵管炎症、改善脂肪肝等，来促进采食提升产蛋性能^[11-12]。多糖是药用菊花的主要活性成分之一，具有抗氧化、增强免疫、调节肠道功能、抑菌抗病毒、调节代谢等多种生物活性，在蛋鸡生产上蕴藏着巨大的开发利用价值^[5]。本研究中增蛋饲料添加剂的主要成分为黄芪多糖，而黄芪多糖作为研究较为充分的免疫调节剂，其促产蛋作用主要归因于其能增强机体非特异性免疫力，改善肠道健康，缓解生殖系统炎症，从而为高产蛋性能创造良好的生理环境^[9-10]。本研究中黄芪多糖组在生产性能上的积极效果印证了这一点。CPS 同样被报道具有免疫增强活性^[5]。本试验中，2% CPS 组达到与黄芪多糖组相似的产蛋率，提示 CPS 可能通过类似的免疫调节途径发挥作用。但值得注意的是，2% CPS 组显著降低了料蛋比，这暗示 CPS 可能在营养物质代谢效率方面具有独特优势，其机制可能与下文所述的改善肝脏代谢功能密切相关。1% CPS 组效果不显著，提示在产蛋后期蛋鸡中，CPS 对生产性能的改善需达到一定剂量才显效。

3.2 CPS 对蛋品质的影响

蛋品质是衡量鸡蛋商品价值与营养价值的核心指标，其中蛋黄颜色直接影响消费者购买意愿（关联

类胡萝卜素等功能性成分含量)^[13]，蛋壳强度则决定鸡蛋运输储存过程中的破损率（关联矿物质沉积与蛋壳结构完整性)^[14]。根据报道，植物性功能多糖能够通过提高蛋鸡抗氧化活性来减少胡萝卜素在运输过程的氧化损失^[5,15]。中药多糖能增强输卵管黏膜细胞的活性，提升钙结合蛋白的表达水平^[16]。本试验中，相比饲喂基础日粮组在蛋鸡饲料里添加 2% CPS 与添加 2% 黄芪多糖的试验组，其蛋黄颜色都有显著升高。根据报道，CPS 与黄芪多糖均具有显著的抗氧化能力^[5,10]，可能通过保护这些色素免受氧化，从而促进了其在卵黄中的沉积与保存。本研究更具价值的发现在于，2% CPS 显著提高了蛋壳强度，而黄芪多糖组无此效果。蛋壳形成是一个复杂的生物矿化过程，依赖于钙、磷等矿物质的高效吸收、转运和在子宫腺体的沉积。肝脏作为维生素 D₃ 活化的关键器官和物质代谢中心，其健康状态直接影响钙磷代谢。CPS 具有改善肝脏健康的作用，而肝脏健康的改善可能通过提升钙磷代谢效率或维生素 D₃ 活化，间接增强蛋壳矿化过程，从而提升蛋壳质量。这提示 CPS 不仅能改善鸡蛋的“外观品质”（蛋黄颜色），更能增强其“物理品质”（蛋壳强度），提供更全面的增值效益。

3.3 CPS 对蛋鸡肝脏抗氧化能力的影响

肝脏是蛋鸡机体代谢与抗氧化防御的“中枢器官”，不仅是 SOD、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）等关键抗氧化酶的合成场所，还负责储存维生素 E、维生素 C 等非酶类抗氧化物质，同时通过解毒功能清除体内代谢产生的活性氧（ROS）与外源有害物

质。进入产蛋后期,蛋鸡肝脏功能随生理老化逐渐衰退,其抗氧化能力的减弱导致机体整体抗氧化失衡,影响肝脏自身的代谢与解毒功能,还会通过营养成分、物质转运等环节间接影响蛋品质与蛋鸡健康^[1,17]。本研究发现,CPS(尤其是2%剂量)能显著提升肝组织CAT活性,降低脂质过氧化终产物MDA含量,同时伴随血清肝损伤标志物ALT的下降。这表明CPS能有效增强肝脏的抗氧化酶防御体系,减轻肝细胞膜脂质过氧化损伤,从而保护肝细胞结构与功能的完整性,其作用机理可能在于激活了细胞内的核因子E2相关因子2/抗氧化反应元件(Nrf2/ARE)信号通路。Nrf2是调节多种Ⅱ相解毒酶和抗氧化酶(如SOD、CAT、GSH-Px)表达的关键转录因子^[18]。植物多糖已被证实可作为Nrf2通路的激活剂,通过促进Nrf2核转位,上调下游抗氧化基因的表达,从而系统性地增强细胞对氧化应激的抵抗能力^[19]。本研究中CAT活性的极显著升高(>150%),这进一步支持CPS可能通过激活Nrf2/ARE通路增强肝脏抗氧化防御。相比之下,黄芪多糖组未显示抗氧化能力的改善,甚至SOD活性有所下降,提示以免疫调节为核心的黄芪多糖,在直接调控肝脏氧化还原稳态方面可能不及CPS。

3.4 CPS对肝脏脂质沉积的影响

产蛋后期蛋鸡脂肪代谢能力的生理性衰退,导致脂肪酸摄入吸收、合成转化、氧化分解、转运排除等各个环节的效率下降,进而引发肝脏脂质异常积累^[20]。明确脂肪代谢能力下降的具体表现及驱动机制,是制定肝脏脂质沉积防控方案的关键前提。HDL能逆向转运外周组织多余的胆固醇并运回肝脏代谢转化,是防止脂质沉积的关键脂蛋白;LDL的核心功能是将肝脏合成的胆固醇、TG等脂质转运至外周组织,而产蛋高峰期蛋鸡因合成卵黄脂肪的需求,LDL含量维持在较高水平以保障脂质供给^[21]。产蛋后期蛋鸡脂肪肝会导致TBIL异常升高,其水平变化可反映肝脏损伤程度和胆汁排泄功能,是评估脂肪肝病情的重要辅助指标^[20]。本试验中,相比饲喂基础日粮,在蛋鸡饲料里添加CPS(1%、2%)能够显著减少血清中ALT、TC、TG的水平,同时能提高血清内的HDL-c,减少LDL-c的水平。2% CPS的添加也显著降低TBIL的水平。在肝组织内,相比饲喂基础日粮,CPS能显著减少TG的水平。肝脏HE、油红O、PAS染色结果显示,CPS能改善肝组织结构,减少脂质沉积,改善糖原合成。这些结果表明CPS能从循环血脂调节和肝脏局部脂质代谢两个层面发挥干预作用。其潜在的多靶点作用机制可能包括:抑制肝脏脂肪合成,通过激活腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)信号通

路,抑制其下游脂肪合成关键转录因子固醇调节元件结合蛋白1c(SREBP-1c)的活性,从而减少脂肪酸和TG的从头合成^[1,20,22];促进脂肪酸 β -氧化,通过上调过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α)的表达,加速脂肪酸进入线粒体进行氧化分解,为机体供能,减少脂质囤积^[20];改善脂蛋白代谢,提升HDL-c水平有助于将外周胆固醇逆向转运至肝脏进行代谢(胆固醇逆转运),同时降低致动脉粥样硬化的LDL-c水平^[23];协同抗氧化途径,减轻氧化应激本身有助于维持线粒体功能,保障脂肪酸 β -氧化的正常进行。黄芪多糖组在这些脂代谢指标上均未见显著改善,进一步凸显了CPS在针对性调控能量与脂质代谢方面的独特药理活性,超越了传统以免疫调节为主的多糖功能范畴。此外,CPS组肝糖原含量的增加,提示其可能促进了能量向更健康的储存形式(糖原)转化。

4 结论

综上所述,CPS对产蛋后期蛋鸡表现出“促生产、提品质、护肝脏”的综合效益。在与市售黄芪多糖添加剂的对比中,CPS在改善肝脏抗氧化功能、调节全身脂质代谢、减轻肝脏脂质沉积以及提升蛋壳质量等方面展现出明确优势。这提示CPS的作用靶点可能更加多元,不仅涉及免疫调节,更深度参与了能量代谢平衡、氧化还原稳态及肝脏特异性保护等生理过程。未来研究可通过检测肝脏中AMPK、SREBP-1c、PPAR α 及Nrf2等关键基因和蛋白的表达,进一步在分子层面验证上述机制,并探索其活性成分结构与功能的关系。本研究结果将为CPS开发成为一种兼具改善生产性能与维护代谢健康功能的绿色饲料添加剂提供重要依据。

参考文献:

- [1] 陈瓊,简华锋,董信阳.蛋鸡脂肪肝出血综合征及其营养调控的研究进展[J].动物营养学报,2024,36(11):6841-6852.
- [2] LEE B K, KIM J S, AHN H J, et al. Changes in hepatic lipid parameters and hepatic messenger ribonucleic acid expression following estradiol administration in laying hens (*Gallus domesticus*) [J]. Poult Sci, 2010, 89(12): 2660-2667.
- [3] SHINI A, SHINI S, BRYDEN W L. Fatty liver haemorrhagic syndrome occurrence in laying hens: impact of production system [J]. Avian Pathol, 2019, 48(1): 25-34.
- [4] 宋双,马红英,李嘉琪,等.蛋鸡脂肪肝综合征的发病原因与防控措施[J].北方牧业,2024(24):36.
- [5] 蒋友宁,王志轩,曹倩倩,等.药用菊花多糖研究进展[J].中药材,2024,47(2):513-518.

- [6] 段梦卓. 中药防治蛋鸡脂肪肝出血综合征的研究进展 [J]. 家禽科学, 2025, 47 (10): 35–37.
- [7] 连泞泞. 桑葚多糖对脂肪肝出血综合征蛋鸡产蛋性能、肝脏及肠道菌群的影响 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2024.
- [8] 苗雨凡. 白术多糖防控蛋鸡脂肪肝出血综合征的机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [9] 陈志港. 黄芪多糖对蛋鸡生产性能、蛋品质及经济效益的影响 [J]. 国外畜牧学 (猪与禽), 2023, 43 (4): 28–31.
- [10] 马学明. 黄芪多糖的生物学功能及在蛋鸡上的应用前景 [J]. 家禽科学, 2022, 44 (5): 59–62.
- [11] SUN Y, WANG S, LI T, et al. Natural polysaccharides ameliorate fatty liver disease via modulating gut microbiota and metabolism [J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 299: 120183.
- [12] 王志轩, 蒋友宁, 曹倩倩, 等. 菊花多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究 [J]. 食品科学, 2023, 44 (6): 215–222.
- [13] MORI H, TAKAYA M, NISHIMURA K, et al. Breed and feed affect amino acid contents of egg yolk and eggshell color in chickens [J]. Poult Sci, 2020, 99 (1): 172–178.
- [14] 冯嘉. 蛋鸡产蛋后期鸡蛋蛋壳超微结构特征的形成机理与营养调控 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [15] NIMALARATNE C, WU J. Hen egg as an antioxidant food commodity: a review [J]. Nutrients, 2015, 7 (10): 8274–8293.
- [16] LIU Y, WANG J, ZHANG H, et al. *Chrysanthemum* polysaccharide alleviates non-alcoholic fatty liver disease via regulating gut microbiota and bile acid metabolism in mice [J]. J Funct Foods, 2023, 101: 105412.
- [17] SURAI P F, FISININ V I, KARADAS F. Antioxidant systems in chick embryo development. Part 1. Vitamin E, carotenoids and selenium [J]. Anim Nutr, 2016, 2 (1): 1–11.
- [18] ZHOU Z, LI G, GAO L, et al. Lichen pectin-containing polysaccharide from *Xanthoria elegans* and its ability to effectively protect LX-2 cells from H₂O₂-induced oxidative damage [J]. Int J Biol Macromol, 2024, 265: 130712.
- [19] LI S, ZHANG Y, WANG T, et al. Activation of Nrf2/ARE signaling pathway by polysaccharides from *Chrysanthemum morifolium* in HepG2 cells [J]. Journal of Functional Foods, 2020, 72: 104034.
- [20] 孔祥国. 蛋鸡脂肪肝综合征的特点及预防措施 [J]. 中国动物保健, 2025, 27 (5): 70–71.
- [21] 李永峰, 曲亮, 邵丹, 等. 产蛋后期蛋鸡肝脂率对脂质代谢指标及肝脏基因表达的差异分析 [J]. 动物营养学报, 2025, 37 (5): 3342–3354.
- [22] CHENG K, YAN H, HAN L, et al. Nutritional modulation of fatty liver syndrome in laying hens: a review [J]. Poult Sci, 2022, 101 (4): 101728.
- [23] 阮记明, 胡国良, 黄建珍, 等. 大豆磷脂对蛋鸡脂肪肝出血综合征血液生化指标的影响 [C]. 中国畜牧兽医学学会家畜内科学分会第七届代表大会暨年学术研讨会, 南昌, 2011.