

李中波, 杨甜, 胡辉, 等. 杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长及生理指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(1): 120-131.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.01.013

杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长及生理指标的影响

李中波^{1,2,3,4}, 杨甜^{1,2}, 胡辉^{1,2}, 罗维^{1,2}, 李晖⁵, 郭青春^{1,2}

(1. 怀化职业技术学院, 湖南 怀化 418000; 2. 武陵山区媒介生物抗药性检测及共生菌利用重点实验室, 湖南 怀化 418000;
3. 龙岩学院生命科学学院, 福建 龙岩 364012; 4. 动物源性人兽共患病防控福建省高校工程研究中心, 福建 龙岩 364012;
5. 湘西民族职业技术学院, 湖南 吉首 416000)

摘要: 为探究杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能、血清生化指标、免疫指标、抗氧化指标以及瘤胃微生物菌落的影响。本研究选取 108 头 1 岁龄、体重(51.15±9.36) kg 的湘西黄牛为试验动物, 随机分为 6 组(每组 3 个重复, 每个重复 6 头牛), 对照组(CK)湘西黄牛饲喂基础日粮, 试验组(I~V 组)分别在基础日粮中添加 1.0%、3.0%、5.0%、7.0% 及 10.0% 的杜仲叶超微粉进行饲喂。试验共 60 d, 以 10 d 为 1 个周期, 测定各试验组湘西黄牛的各项生长及生理指标; 在第 60 d 时, 利用变性梯度凝胶电泳(DGGE)技术测定各试验组湘西黄牛瘤胃微生物菌落。结果表明, 试验 II 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等显著高于对照组($P < 0.05$), 料重比显著低于对照组($P < 0.05$); 血清总蛋白质含量、葡萄糖含量、免疫球蛋白 A(IgA)含量、免疫球蛋白 G(IgG)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性均显著高于对照组($P < 0.05$), 而其谷草转氨酶(ALT)活性、谷丙转氨酶(AST)活性、甘油三酯含量、丙二醛(MDA)含量均显著低于对照组($P < 0.05$)。综合试验结果, 推荐在湘西黄牛日粮中添加 3.0% 杜仲叶超微粉。

关键词: 杜仲叶超微粉; 湘西黄牛; 生长性能; 血清生化指标; 抗氧化能力; 微生物菌落

中图分类号: X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2026)01-0120-12

Effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on the growth and physiological indicators of Xiangxi yellow cattle

LI Zhongbo^{1,2,3,4}, YANG Tian^{1,2}, HU Hui^{1,2}, LUO Wei^{1,2}, LI Hui⁵, GUO Qingchun^{1,2}

(1. Huaihua Vocational and Technical College, Huaihua 418000, China; 2. Key Laboratory of Drug Resistance Testing and Symbiotic Utilization of Vector Organisms in Wuling Mountain Area, Huaihua 418000, China; 3. College of Life Sciences, Longyan University, Longyan 364012, China; 4. Engineering Research Center for the Prevention and Control of Animal Original Zoonosis of Fujian Province University, Longyan 364012, China; 5. Xiangxi Vocational and Technical College for Nationalities, Jishou 416000, China)

收稿日期: 2025-02-16

基金项目: 怀化市重点实验室项目(2023R2208); 湖南省教育厅优秀青年项目(23B1072); 湖南省自然科学基金项目(2025JJ7-0498); 动物源性人兽共患病防控福建省高校工程研究中心项目(2022K004); 国家自然科学基金区域创新联合基金重点项目(U22A20518)

作者简介: 李中波(1990-), 男, 湖南新宁人, 硕士, 助理研究员, 主要从事病原分子生物学诊断及疾病防治研究。(E-mail) 18390913065@163.com

通讯作者: 郭青春, (E-mail) 1223958365@qq.com

Abstract: To investigate the effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on the growth performance, serum biochemical parameters, immune and antioxidant indices, and rumen microbial flora of Xiangxi yellow cattle, a total of 108 one-year-old cattle weighing (51.15±9.36) kg were selected as experimental animals. They were randomly divided into six groups (each with three replicates of six cattle). The control group (CK) was fed a basal diet, while the experimental groups (I to V) were

fed the basal diet supplemented with 1.0%, 3.0%, 5.0%, 7.0%, and 10.0% *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder, respectively. The experiment lasted for 60 days, divided into cycles of 10 days each, during which various growth and physiological indices of the cattle in all groups were measured. On day 60, the rumen microbial flora of the cattle in each group was analyzed using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). The results indicated that the final weight, average daily gain, and average daily feed intake in experimental group II were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$), while the feed-to-gain ratio was significantly lower ($P<0.05$). The serum levels of total protein, glucose, immunoglobulin A (IgA), immunoglobulin G (IgG), and the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) were significantly higher in group II than in the control group ($P<0.05$). In contrast, the activities of alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST), as well as the serum levels of triglycerides and malondialdehyde (MDA), were significantly lower in group II compared to the control ($P<0.05$). Based on the comprehensive experimental results, it is recommended to supplement the diet of Xiangxi yellow cattle with 3.0% *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder.

Key words: *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder; Xiangxi yellow cattle; growth performance; serum biochemical indicators; antioxidant capacity; microbial colonies

杜仲(*Eucommia ulmoides*),又名思仲、丝连皮、木棉等,隶属于杜仲科杜仲属,为多年生落叶乔木^[1-2]。作为传统中药材,其性温、味甘,归肝肾两经,具有强筋健骨、补肾益肝、活血化瘀、抗菌消炎、清除自由基及调节血糖血脂等功效^[3-4]。研究结果表明,杜仲的皮与叶均富含多种天然活性成分,包括苯丙烷类、多糖类、黄酮类、环烯醚萜类、甾醇类及木脂素等^[5-6]。相较于杜仲皮,杜仲叶具有生长周期短、资源储量大、采摘加工便捷等优势,且其绿原酸、黄酮等关键活性物质的含量显著高于杜仲皮^[7],因此目前对杜仲叶的开发与利用程度远超过杜仲皮。现有研究结果已证实,杜仲叶中的绿原酸、黄酮等活性成分可促进动物生长发育,提升机体抗氧化能力与抗应激能力,增强对疾病的抵抗力,同时还能改善动物肌肉品质^[8-9]。Yan 等^[10]通过试验发现,杜仲叶提取物可显著提高肉鸡生长性能、增强其免疫力,并有效降低饲料消耗率;Zhao 等^[11]的研究结果表明,在肉鸡日粮中添加 1 000 mg/kg 绿原酸富集提取物,能明显缓解肉鸡的热应激反应,并显著提升热应激状态下鸡肉的氧化稳定性与脂肪酸谱丰富度;Xiao 等^[12]研究发现,杜仲叶黄酮可通过激活 Nrf-2 通路,抑制仔猪肠道氧化应激反应。基于上述研究结果,将杜仲叶及其提取物开发为新型饲料添加剂具备广阔的市场前景。

湘西黄牛是湖南省本土优质黄牛品种,主要分布于湘西、怀化及张家界等地区,具有耐粗饲、抗逆性强、使役力强、性情温顺易管理等优良特性^[13-15]。在肉质方面,湘西黄牛肉相较于其他品种牛肉,更加细嫩鲜美、富有嚼劲,且兼具低脂肪、高蛋白、营养丰

富的优势^[14-15],因此深受消费者青睐,在市场中展现出较强的竞争力。随着消费者对牛肉营养品质及风味的要求不断提高,湘西黄牛肉的市场需求持续增长,目前已呈现供不应求的趋势。为缓解这一矛盾,国内已开展多项针对湘西黄牛品种改良与促生长的研究^[16-18],但整体成效较为有限,仍需探索更高效的养殖优化途径。值得注意的是,湘西地区本身拥有较为广阔的杜仲种植面积,然而当地杜仲叶资源的利用率极低,造成极大浪费。结合此前研究中杜仲叶及其提取物在动物养殖中的积极作用(如促进生长、提升抗氧化与免疫功能),若能将杜仲叶开发为优良饲料添加剂并应用于湘西黄牛养殖,不仅可充分利用本地闲置资源,还能有效缓解当地饲料资源短缺的难题。鉴于此,本试验以杜仲叶超微粉为研究对象,系统探究其对湘西黄牛生长性能、血清生化指标、抗氧化能力、免疫蛋白含量及瘤胃微生物菌落的影响,旨在综合评价杜仲叶对湘西黄牛生长速度及牛肉品质的提升效果,最终为杜仲叶的深度开发及其在畜牧业中的推广应用提供科学的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验动物及材料

试验动物为 1 岁龄、体重(51.15±9.36) kg 的湘西黄牛 108 头,由湖南德农牧业科技有限公司提供;杜仲叶超微粉 200 kg 购自湘西自治州吉首市的湘西乾盛中药材开发有限公司。

1.2 主要试剂与仪器

细菌基因组 DNA 提取试剂盒、DNA 片段快速

纯化与回收试剂盒均购自天根生化科技(北京)有限公司;2×Easy Taq PCR Super(Mix)酶购自宝生物工程(大连)有限公司;免疫球蛋白测定试剂盒购自武汉吉立德生物科技有限公司;PCR 仪购自美国 Applied Biosystems 公司;VILBER Quantum 凝胶成像分析仪购自法国 VILBER Quantum 公司。

1.3 试验设计与管理

将参试的 108 头湘西黄牛随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 6 头牛。对照组(CK)湘西黄牛仅饲喂基础日粮,试验组(I~V 组)湘西黄牛则分别饲喂添加不同含量(1.0%、3.0%、5.0%、7.0%、10.0%)杜仲叶超微粉的日粮。试验周期为 60 d,前 10 d 为预试期。基础日粮参照美国国家研究委员会肉牛饲养标准(2000)自行配制,其组成及营养水平见表 1。试验期内,每天 8:30 和 15:50 各饲喂 1 次参试湘西黄牛,自由采食、饮水,观察其健康和采食状况,记录采食量。

表 1 湘西黄牛基础日粮组成及营养水平

Table 1 Composition and nutritional levels of Xiangxi yellow cattle basal diet

日粮组成	含量	营养水平	含量
羊草(%)	20.00	维持净能(MJ/kg)	6.34
苜蓿干草(%)	20.00	干物质(%)	87.50
玉米(%)	30.00	粗蛋白(%)	12.98
酒糟蛋白饲料(%)	10.00	粗脂肪(%)	2.67
豆粕(%)	8.00	中性洗涤纤维(%)	43.23
棉粕(%)	5.00	酸性洗涤纤维(%)	25.54
小苏打(%)	1.00	钙(%)	0.65
石粉(%)	0.50	磷(%)	0.31
食盐(%)	0.50		
预混料(%)	5.00		

1.4 测量指标及方法

1.4.1 生长性能 以 10 d 为 1 个周期,测定湘西黄牛空腹体重,计算其平均日采食量、平均日增重及料重比(F/G)。计算公式为:平均日采食量=试验期间总采食量/试验天数;平均日增重=(末重-始重)/试验天数(始重指参加试验的湘西黄牛 1 个试验周期开始时的体重,末重指 1 个周期结束时的体重);料重比(F/G)=平均日采食量/平均日

增重。

1.4.2 血液相关指标测定 以 10 d 为 1 个周期,用含乙二胺四乙酸抗凝剂的真空采血管从对照组和各试验组湘西黄牛颈静脉采集血液,常温静置 2 h 后取上清液,1 200 r/min 离心 2 min,收集上清液并于 -20 °C 冰箱冷冻保存备用。利用相应检测试剂盒,按说明书分别测定血清中的生化指标[总蛋白质含量、葡萄糖含量、谷草转氨酶(ALT)活性、谷丙转氨酶(AST)活性及尿素氮含量等]、免疫指标[免疫球蛋白 A(IgA)含量、免疫球蛋白 G(IgG)含量、免疫球蛋白 M(IgM)含量、白介素-6(IL-6)含量、白介素-10(IL-10)含量、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)含量]及抗氧化指标[谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性与丙二醛(MDA)含量]。

1.4.3 瘤胃微生物菌落的测定 试验第 60 d,通过饲喂管采集各组湘西黄牛瘤胃内容物 10 mL。采用细菌基因组 DNA 提取试剂盒提取各组样本的基因组 DNA,提取产物经 1.5% 琼脂糖凝胶(含溴化乙锭)电泳检测后,置于 -20 °C 冰箱保存备用。以提取的 DNA 为模板,采用 2×Easy Taq 酶、通用引物^[19](V3-F: 5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3', V4-R: 5'-CCCCGTCAATTCATTTGAGTTT-3')及 ddH₂O 对细菌 16S rDNA 基因的 V3~V4 区进行第 1 轮 PCR 扩增。扩增体系为 50 μ L:2×Easy Taq PCR Super(Mix)酶 25 μ L,上、下游引物各 1 μ L,cDNA 模板 1 μ L,ddH₂O 22 μ L。反应程序:95 °C 预变性 5 min;95 °C 变性 45 s,54 °C 退火 45 s,72 °C 延伸 2 min,共 35 个循环;最后 72 °C 延伸 5 min。取 5 μ L PCR 产物经 1.5% 琼脂糖凝胶(含溴化乙锭)电泳检测,观察条带清晰度及单一性。以第 1 轮 PCR 产物为模板,采用 2×Easy Taq 酶、ddH₂O 及引物^[19](V3-F-GC: 5'-CGCCCCCGCGCGCGGCGGGCGGGCGGGGCGGGGCA-CGGGGGGCCTACGGGAGGC-AGCAG-3', V4-R: 5'-ATTACCGCGCTGCTGG-3')进行第 2 轮 PCR 扩增。扩增体系为 50 μ L:2×Easy Taq PCR Super(Mix)酶 25 μ L,上、下游引物各 1 μ L,cDNA 模板 1 μ L,ddH₂O 22 μ L。反应程序:95 °C 预变性 5 min;95 °C 变性 45 s,66 °C 退火 45 s,72 °C 延伸 2 min,共 35 个循环;最后 72 °C 延伸 5 min。取 5 μ L 第 2 轮 PCR 产物经 1.5% 琼脂糖凝胶(含溴化乙锭)电泳检测,观察条带清晰度及单一性。取各组 10 μ L 第 2 轮

PCR 扩增产物,点样于 6% (质量体积比) 聚丙烯酰胺变性梯度凝胶 (DGGE),在 60 °C 恒温、160 V 电压条件下电泳 12 h,电泳结束后,凝胶经 0.5 μg/mL 溴化乙锭染色 30 min,置于凝胶成像仪中观察结果。切取凝胶中清晰、独立的条带,用去离子水洗涤 3 次,通过 DNA 片段快速纯化/回收试剂盒回收纯化条带 DNA。将纯化后的 DNA 连接至 pEASY-T1 载体构建重组质粒,转化至大肠杆菌 DH5-α 感受态细胞中孵育 1 h,随后涂布于普通培养基,在 37 °C 恒温培养箱中培养 12 h,挑取阳性质粒,由生工生物工程 (上海) 股份有限公司测序。所得序列经 BLAST 搜索比对后,根据序列相似度确定细菌种属。

1.5 数据统计与分析

利用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行分析,分析结果以平均值±标准差的形式表示。此外,对不同试验组数据进行单因素方差分析,并进行了邓肯氏多重比较,以 $P < 0.05$ 为显著水平。

2 结果与分析

2.1 杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能的影响

由表 2 可知,在预饲期 (1~10 d),与 CK 相比,试验 I~IV 组湘西黄牛的末重、平均日增重及平均日采食量均显著增加 ($P < 0.05$),其中以试验 II 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等增长幅度最显著 ($P < 0.05$),并且试验 II 组料重比降低了 61.48%;试验 V 组湘西黄牛末重、平均日增重及料重比均未显著增加 ($P > 0.05$);试验 I 组、III 组、IV 组湘西黄牛之间的末重、平均日增重均无显著差异 ($P > 0.05$);试验 I~IV 组湘西黄牛料重比无显著差异 ($P > 0.05$)。饲喂 11~20 d,与 CK 相比,试验 I~V 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等均显著增加 ($P < 0.05$),料重比均显著降低 ($P < 0.05$),试验 II 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等增幅最大,料重比最低。饲喂 21~30 d,与 CK 相比,试验 I~V 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等均显著增加 ($P < 0.05$),料重比均显著降低 ($P < 0.05$)。饲喂 31~40 d,与 CK 相比,试验 I~V 组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等均显著增加 ($P < 0.05$),料重比显著降低 ($P < 0.05$),试验 II 组湘西黄牛末重、平均日采食量增幅最大;试验 III 组平均日增重增幅最大,料重比最低。饲喂 41~50 d,与 CK 相比,试验 I~V 组

湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量等均显著增加 ($P < 0.05$),料重比显著降低 ($P < 0.05$),试验 II 组末重和平均日采食量增幅最大,试验 IV 组平均日增重增幅最大,料重比最低。饲喂 51~60 d,与 CK 相比,试验 I~V 组湘西黄牛的末重、平均日采食量显著增加 ($P < 0.05$),其中试验 II 组的末重、平均日采食量增幅最大;试验 II 组、V 组平均日增重显著增加 ($P < 0.05$);试验 IV 组湘西黄牛的料重比与 CK 之间无显著差异 ($P > 0.05$),但该组料重比显著高于 CK ($P < 0.05$),试验 II 组、V 组的料重比显著低于 CK ($P < 0.05$),尤以试验 V 组料重比下降幅度最大。据此可知,基础日粮中添加不同剂量杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能有不同程度促进作用,综合而言 3.0% 添加量效果较好。

2.2 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清生化指标的影响

由表 3 可知,同一时间段 (0 d 除外),各试验组湘西黄牛血清中总蛋白质含量的整体变化趋势为先上升后下降,且试验 I~V 组总蛋白质含量均显著高于 CK ($P < 0.05$),其中试验 II 组的总蛋白质含量增幅最大。同一时间段 (0 d 除外),各试验组湘西黄牛血清中葡萄糖含量的整体变化趋势为先上升后下降;试验 10 d、30 d 和 40 d 时试验 I~IV 组葡萄糖含量显著高于 CK ($P < 0.05$),试验 20 d 和 60 d 时试验 I~III 组葡萄糖含量显著高于 CK ($P < 0.05$),试验 50 d 时试验 I~V 组葡萄糖含量显著高于 CK ($P < 0.05$)。同一时间段,各试验组尿素氮含量均无显著差异 ($P > 0.05$),且在整個试验周期,各试验组尿素氮含量也未有显著提升 ($P > 0.05$)。同一时间段 (0 d 除外),各试验组甘油三酯含量的变化趋势均为先下降后上升,其中,试验 II 组甘油三酯含量显著低于 CK ($P < 0.05$),试验 III~V 组甘油三酯含量显著高于 CK ($P < 0.05$);在试验 10~50 d 内各试验组甘油三酯的含量变化不明显,但在试验第 60 d 时各试验组甘油三酯的含量明显提高。同一时间段 (0 d 除外),各试验组谷草转氨酶活性均显著低于 CK ($P < 0.05$),其中以试验 II 组谷草转氨酶活性最低,且在整個试验周期内,各试验组谷草转氨酶活性均呈下降趋势。同一时间段 (0 d 除外),各试验组谷丙转氨酶活性均显著低于 CK ($P < 0.05$),试验 II 组谷丙转氨酶活性最低。

表2 杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能的影响

Table 2 Effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on the growth performance of Xiangxi yellow cattle

试验周期 (d)	组别	项目				
		始重(kg)	末重(kg)	平均日增重(kg)	平均日采食量(kg)	料重比(F/G)
1~10	CK	50.70±0.29a	51.90±0.19c	0.12±0.42c	11.25±0.11d	109.43±57.72a
	I组	50.40±0.19a	52.60±0.19b	0.21±0.34b	11.92±0.08b	57.45±8.60b
	II组	50.60±0.23a	53.60±0.75a	0.31±0.18a	12.82±0.12a	42.15±2.58b
	III组	50.70±0.24a	52.60±0.14b	0.21±0.36b	11.90±0.11b	59.17±11.17b
	IV组	50.50±0.24a	52.30±0.17b	0.18±0.21b	11.42±0.10c	64.77±7.61b
11~20	CK	50.50±0.21a	51.70±1.05c	0.12±0.30c	11.00±0.13e	100.82±24.88a
	I组	51.90±0.19c	53.22±0.12f	0.13±0.03d	11.55±0.11e	94.27±22.30a
	II组	52.60±0.19b	55.33±0.14d	0.28±0.02c	12.13±0.10c	43.77±2.99b
	III组	53.60±0.75a	58.68±0.12a	0.51±0.01a	12.93±0.14a	25.54±0.53d
	IV组	52.60±0.14b	57.03±0.12b	0.44±0.02b	12.47±0.08b	28.15±1.10c
21~30	CK	52.30±0.17b	56.52±0.08c	0.42±0.02b	12.42±0.10b	29.37±1.29c
	I组	51.70±1.05c	54.45±0.11e	0.28±0.01c	11.89±0.08d	42.49±25.39b
	II组	53.22±0.12f	54.45±0.08f	0.12±0.01e	11.80±0.06e	96.44±9.33a
	III组	55.33±0.14d	56.92±0.12d	0.16±0.02d	12.42±0.08d	79.58±9.94b
	IV组	58.68±0.12a	61.52±0.08a	0.28±0.01b	13.00±0.09a	45.89±0.88d
31~40	CK	57.03±0.12b	60.08±0.17b	0.31±0.02a	12.72±0.10b	41.89±3.22d
	I组	56.52±0.08c	58.72±0.12c	0.22±0.02c	12.57±0.08c	57.41±4.55c
	II组	54.45±0.11e	56.47±0.10e	0.20±0.07c	12.33±0.08d	61.33±20.09c
	III组	54.45±0.08f	55.10±0.06f	0.07±0.01e	11.89±0.08e	188.15±34.18a
	IV组	56.92±0.12d	58.20±0.14d	0.13±0.01a	12.52±0.08d	97.82±5.90d
41~50	CK	61.52±0.08a	62.53±0.14a	0.10±0.01c	13.08±0.08a	129.68±12.29bc
	I组	60.08±0.17b	61.40±0.09b	0.13±0.11a	12.82±0.10b	97.94±8.13d
	II组	58.72±0.12c	59.87±0.16c	0.12±0.02b	12.68±0.08c	111.82±14.05cd
	III组	56.47±0.10e	57.35±2.54e	0.09±0.01d	12.43±0.38d	141.62±12.19b
	IV组	55.10±0.06f	55.93±0.10f	0.08±0.01e	12.00±0.09e	145.77±17.31a
51~60	CK	58.20±0.14d	59.80±0.06e	0.16±0.01d	12.65±0.10c	79.42±6.27b
	I组	62.53±0.14a	64.27±0.08a	0.17±0.01c	13.18±0.08a	76.44±5.82bc
	II组	61.40±0.09b	63.25±0.14b	0.19±0.01bc	12.87±0.05b	69.60±2.08cd
	III组	59.87±0.16c	62.53±0.08c	0.27±0.01a	12.78±0.08b	48.02±2.29e
	IV组	57.35±2.54e	59.22±0.10d	0.19±0.01b	12.53±0.08d	67.25±3.08d
51~60	CK	55.93±0.10f	57.25±0.10f	0.13±0.01cd	12.20±0.09e	93.08±6.83b
	I组	59.80±0.06e	61.17±0.14e	0.14±0.01c	12.87±0.12c	94.86±8.74b
	II组	64.27±0.08a	66.17±0.08a	0.19±0.01b	13.37±0.08a	70.42±2.54c
	III组	63.25±0.14b	64.58±0.13b	0.13±0.01cd	13.07±0.05b	98.50±7.76b
	IV组	62.53±0.08c	63.73±0.08c	0.12±0.01d	12.98±0.08b	108.42±5.25a
V组	59.22±0.10d	61.68±0.08d	0.16±0.05a	12.73±0.37d	51.79±3.31d	

CK; 对照组, 仅饲喂基础日粮; I组: 饲喂基础日粮+1.0%杜仲叶超微粉; II组: 饲喂基础日粮+3.0%杜仲叶超微粉; III组: 饲喂基础日粮+5.0%杜仲叶超微粉; IV组: 饲喂基础日粮+7.0%杜仲叶超微粉; V组: 饲喂基础日粮+10.0%杜仲叶超微粉。始重: 1个试验周期开始时的体重; 末重: 1个试验周期结束时的体重。同一试验周期同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

表3 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清生化指标的影响

Table 3 Effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on serum biochemical indicators of Xiangxi yellow cattle

项目	组别	试验时间(d)						
		0	10	20	30	40	50	60
总蛋白质含量(g/L)	CK	43.22±0.12a	43.25±0.15f	43.27±0.11f	43.28±0.12f	43.28±0.08f	43.30±0.09f	43.30±0.29f
	I组	43.05±0.27a	48.53±0.11d	48.60±0.14d	48.48±0.17d	48.40±0.13d	48.62±0.08d	48.67±0.19d
	II组	43.23±0.19a	58.15±0.19a	58.15±0.11a	58.15±0.11a	58.17±0.05a	58.10±0.17a	58.08±0.26a
	III组	43.02±0.26a	56.25±0.14b	56.17±0.15b	56.20±0.09b	56.22±0.08b	56.63±0.10b	56.28±0.22b
	IV组	43.17±0.34a	53.28±0.13c	53.27±0.14c	53.32±0.12c	53.43±0.08c	56.33±0.10c	53.60±0.14c
	V组	43.15±0.21a	46.55±0.16e	46.42±0.17e	46.48±0.08e	46.53±0.14e	46.75±0.05e	46.70±0.15e
葡萄糖含量(mmol/L)	CK	2.68±0.19a	2.66±0.18d	2.69±0.16c	2.67±0.20c	2.72±0.15d	2.77±0.05e	2.80±0.13d
	I组	2.67±0.16a	2.97±0.08c	3.08±0.19b	3.08±0.22a	3.05±0.18b	2.98±0.08c	3.05±0.21bc
	II组	2.69±0.18a	3.10±0.13a	3.12±0.15a	3.10±0.03a	3.20±0.13a	3.38±0.08a	3.37±0.11a
	III组	2.62±0.17a	3.02±0.15b	3.02±0.23b	3.05±0.24a	3.08±0.12b	3.12±0.08b	3.17±0.16b
	IV组	2.57±0.12a	2.82±0.17c	2.87±0.15c	2.88±0.15b	2.85±0.18c	2.93±0.05cd	2.95±0.14cd
	V组	2.60±0.17a	2.66±0.12d	2.68±0.13c	2.73±0.16c	2.75±0.15d	2.88±0.08d	2.88±0.11cd
尿素氮含量(mmol/L)	CK	0.58±0.11a	0.58±0.08a	0.59±0.10a	0.60±0.10a	0.60±0.08a	0.61±0.01a	0.61±0.05a
	I组	0.58±0.14a	0.59±0.08a	0.60±0.08a	0.61±0.11a	0.61±0.05a	0.60±0.12a	0.61±0.01a
	II组	0.58±0.13a	0.58±0.18a	0.59±0.08a	0.59±0.10a	0.59±0.15a	0.59±0.04a	0.60±0.12a
	III组	0.58±0.17a	0.59±0.11a	0.60±0.10a	0.60±0.15a	0.60±0.01a	0.60±0.05a	0.61±0.05a
	IV组	0.58±0.12a	0.59±0.12a	0.59±0.05a	0.60±0.12a	0.60±0.01a	0.61±0.01a	0.60±0.14a
	V组	0.59±0.10a	0.60±0.11a	0.60±0.05a	0.60±0.13a	0.60±0.08a	0.60±0.08a	0.61±0.08a
甘油三酯含量(mmol/L)	CK	0.26±0.10a	0.26±0.13b	0.26±0.11b	0.26±0.17b	0.26±0.14c	0.26±0.01d	0.26±0.19c
	I组	0.26±0.11a	0.27±0.12b	0.29±0.12a	0.29±0.05a	0.30±0.08ab	0.29±0.01bc	0.31±0.10b
	II组	0.25±0.10a	0.23±0.12c	0.23±0.19c	0.22±0.08c	0.22±0.11d	0.22±0.01e	0.24±0.08d
	III组	0.25±0.12a	0.29±0.08a	0.29±0.14a	0.30±0.05a	0.29±0.12b	0.28±0.01c	0.33±0.13a
	IV组	0.26±0.08a	0.30±0.13a	0.30±0.05a	0.29±0.12a	0.29±0.17ab	0.30±0.01b	0.33±0.17a
	V组	0.27±0.08a	0.28±0.10a	0.29±0.10a	0.30±0.15a	0.31±0.10a	0.33±0.13a	0.34±0.13a
谷草转氨酶活性(U)	CK	19.93±0.16a	19.95±0.11a	20.02±0.15a	20.02±0.75a	19.95±0.83a	19.97±0.20a	20.07±0.10a
	I组	19.83±0.19a	18.85±0.29b	18.02±0.17b	17.65±0.15b	17.33±0.12b	17.07±0.20b	16.67±0.11b
	II组	19.93±0.16a	16.00±0.24f	15.40±0.13f	14.97±0.12f	14.40±0.13f	14.01±0.23f	13.32±0.12f
	III组	19.92±0.15a	16.58±0.13e	15.65±0.11e	15.03±0.12e	15.03±0.12e	15.03±0.24e	14.42±0.30e
	IV组	19.92±0.20a	17.07±0.16d	16.57±0.12d	15.80±0.90d	15.82±0.08d	15.83±0.15d	14.70±0.41d
	V组	19.82±0.12a	17.73±0.12c	17.30±0.11c	16.70±0.80c	16.57±0.08c	16.48±0.13c	15.30±0.11c
谷丙转氨酶活性(U)	CK	73.10±0.14a	73.90±0.22a	74.78±0.15a	75.28±0.12a	75.75±0.14a	76.72±0.21a	77.43±0.24a
	I组	73.03±0.16a	73.40±0.14c	73.57±0.10d	73.75±0.15d	74.22±0.12e	74.45±0.15d	75.05±0.19e
	II组	73.12±0.17a	72.98±0.15d	73.10±0.06f	72.65±0.10e	73.08±0.12f	73.28±0.28e	73.47±0.21f
	III组	73.00±0.18a	73.38±0.15c	73.32±0.15e	73.82±0.10d	74.37±0.08d	74.56±0.21cd	75.30±0.14d
	IV组	73.03±0.16a	73.43±0.12c	73.68±0.12c	74.05±0.14c	74.78±0.19c	74.91±0.21c	75.68±0.21c
	V组	73.03±0.18a	73.58±0.18b	73.93±0.14b	74.60±0.29b	75.28±0.37b	75.33±0.17b	75.77±0.14b

CK、I组、II组、III组、IV组、V组见表2注。同一项目同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.3 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清免疫指标的影响

由表 4 可知,同一时间段(0 d 除外),试验 I~V 组 IgA 含量、IgG 含量的整体变化趋势均为先上升后下降,在整个试验周期内,各试验组 IgA 含量、IgG 含量均处于上升趋势。试验 10 d 时试验 II~V 组 IgA 含量显著高于 CK ($P<0.05$),试验 20 d、30 d、60 d 时各试验组 IgA 含量均显著高于 CK ($P<0.05$),试验 40 d、50 d 时试验 I~IV 组 IgA 含量显著高于 CK ($P<0.05$);同一时间段(0 d 除外),试验 I~V 组 IgG 含量均显著高于 CK ($P<0.05$)。同一时间段,与 CK 相比,试验 I~V 组 IgM 含量均无显著差异 ($P>0.05$),同时在整个试验周期内,各试验组 IgM 含量也无明显差异。同

一时间段(0 d 除外),试验 I~IV 组白介素-6 含量均显著高于 CK ($P<0.05$),其中以试验 II 组的白介素-6 含量最高,整个试验周期内,各试验组白介素-6 含量均处于上升趋势。试验 10 d 时,试验 II 组、IV 组白介素-10 含量显著高于 CK ($P<0.05$),试验 20 d 时试验 I~V 组白介素-10 含量均显著高于 CK ($P<0.05$),其余各试验时间,试验 I~IV 组白介素-10 量均显著高于对照组 ($P<0.05$)。同一时间段(0 d 除外),试验 I~V 组肿瘤坏死因子- α 含量整体变化趋势均为先下降后上升,且均显著低于 CK ($P<0.05$);在整个试验周期内,各试验组肿瘤坏死因子- α 含量均处于持续下降趋势。

表 4 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清免疫指标的影响

Table 4 Effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on serum immune indicators of Xiangxi yellow cattle

项目	组别	试验时间(d)						
		0	10	20	30	40	50	60
IgA 含量(g/L)	CK 组	1.75±0.13a	1.79±0.16e	1.78±0.12d	1.78±0.05e	1.78±0.12e	1.77±0.02e	1.78±0.15f
	I 组	1.75±0.14a	1.80±0.19de	1.83±0.09c	1.90±0.24c	1.95±0.16d	2.04±0.07d	2.11±0.14d
	II 组	1.74±0.17a	1.86±0.08a	1.94±0.10a	2.13±0.11a	2.61±0.44a	3.20±0.02a	3.62±0.33a
	III 组	1.75±0.18a	1.84±0.07b	1.87±0.11b	1.94±0.09b	2.27±0.78b	2.64±0.08b	2.81±0.24b
	IV 组	1.74±0.18a	1.83±0.10b	1.86±0.10b	1.96±0.07b	2.07±0.27c	2.20±0.01c	2.62±0.34c
	V 组	1.76±0.16a	1.81±0.08c	1.85±0.10c	1.83±0.07d	1.82±0.14e	1.81±0.02e	1.94±0.46e
IgG 含量(g/L)	CK	10.62±0.28a	10.62±0.33e	10.61±0.21e	10.60±0.22f	10.61±0.25f	10.64±0.05f	10.62±0.33e
	I 组	10.61±0.29a	10.91±0.30c	11.32±0.33d	11.65±0.18d	12.05±1.04d	12.54±0.08d	12.77±1.07d
	II 组	10.62±0.28a	12.66±0.14b	13.06±0.69a	13.73±0.17a	14.75±0.40a	15.78±0.07a	16.70±0.25a
	III 组	10.62±0.31a	11.41±0.71a	11.90±0.20b	12.71±0.21b	13.72±0.21b	14.52±0.08b	15.43±0.23b
	IV 组	10.60±0.25a	10.88±0.56c	11.40±0.24c	11.90±0.26c	12.64±0.39c	13.64±0.05c	14.34±0.25c
	V 组	10.61±0.17a	10.80±0.35d	11.39±0.22c	11.59±0.22e	11.83±0.08e	12.03±0.09e	12.67±0.38d
IgM 含量(g/L)	CK	1.52±0.16a	1.52±0.08a	1.52±0.14a	1.52±0.16a	1.53±0.10a	1.53±0.01a	1.54±0.12a
	I 组	1.51±0.08a	1.52±0.10a	1.52±0.07a	1.53±0.05a	1.55±0.05a	1.53±0.11a	1.55±0.14a
	II 组	1.51±0.10a	1.52±0.12a	1.52±0.13a	1.53±0.06a	1.55±0.09a	1.54±0.23a	1.55±0.13a
	III 组	1.52±0.11a	1.52±0.06a	1.52±0.08a	1.54±0.05a	1.54±0.09a	1.55±0.21a	1.55±0.07a
	IV 组	1.51±0.12a	1.52±0.10a	1.53±0.05a	1.54±0.05a	1.53±0.05a	1.53±0.10a	1.55±0.16a
	V 组	1.52±0.10a	1.51±0.10a	1.52±0.10a	1.53±0.05a	1.54±0.12a	1.54±0.22a	1.55±0.13a
白介素-6 含量(ng/L)	CK	136.95±0.24a	136.98±0.15c	136.88±0.19e	136.95±0.16e	137.07±0.14e	137.97±0.23d	136.97±0.15d
	I 组	136.83±0.12a	137.18±0.15b	137.47±0.05c	137.80±0.09c	138.43±0.14c	138.79±0.16b	139.42±0.49b
	II 组	136.92±0.19a	137.65±0.12a	138.42±0.08a	138.83±0.08a	139.75±0.10a	140.22±0.29a	141.30±0.28a
	III 组	137.00±0.15a	137.30±0.06b	137.62±0.08b	138.15±0.05b	138.68±0.16b	139.13±0.20b	139.57±0.10b
	IV 组	136.97±0.15a	137.28±0.41b	137.63±0.05b	137.90±0.14c	138.12±0.20d	138.33±0.27c	138.77±0.26c
	V 组	136.96±0.15a	137.18±0.17b	137.18±0.10d	137.17±0.08d	137.17±0.21e	138.87±0.28d	137.25±0.23d
白介素-10 含量(ng/L)	CK	20.72±0.19a	20.68±0.16d	20.75±0.14d	20.73±0.19d	20.88±0.12c	20.82±0.17c	20.75±0.18d
	I 组	20.77±0.15a	20.85±0.05d	21.07±0.12c	21.15±0.11bc	21.22±0.40ab	21.37±0.08b	21.48±0.08c
	II 组	20.78±0.15a	21.23±0.14bc	21.50±0.17a	21.92±0.79a	22.47±0.89a	22.70±0.67a	22.80±0.54a
	III 组	20.73±0.13a	20.95±0.14bcd	21.42±0.08ab	21.83±0.08ab	22.25±0.05a	22.53±0.08a	22.62±0.13a
	IV 组	20.77±0.18a	21.08±0.15ab	21.35±0.05b	21.48±0.08bc	21.55±0.10b	21.65±0.11b	22.00±0.09b
	V 组	20.85±0.14a	20.90±0.13cd	20.93±0.10c	20.88±0.17d	20.97±0.19c	21.02±0.21c	21.00±0.14d

续表4 Continued4

项目	组别	试验时间(d)						
		0	10	20	30	40	50	60
肿瘤坏死因子- α 含量(ng/L)	CK	47.37 \pm 0.08a	47.38 \pm 0.75a	47.40 \pm 0.14a	47.42 \pm 0.15a	47.40 \pm 0.13a	47.43 \pm 0.16a	47.48 \pm 0.10a
	I 组	47.45 \pm 0.10a	46.63 \pm 0.12b	45.65 \pm 0.05b	44.72 \pm 0.10b	43.90 \pm 0.18b	41.38 \pm 0.30b	42.70 \pm 0.21b
	II 组	47.45 \pm 0.15a	43.52 \pm 0.17f	41.00 \pm 0.14f	38.62 \pm 0.12f	35.63 \pm 0.14f	33.42 \pm 0.25f	31.20 \pm 0.14f
	III 组	47.42 \pm 0.12a	44.97 \pm 0.16e	42.82 \pm 0.12e	40.58 \pm 0.12e	38.25 \pm 0.10e	36.12 \pm 0.23e	32.97 \pm 0.28e
	IV 组	47.38 \pm 0.17a	45.33 \pm 0.08d	43.50 \pm 0.13d	41.75 \pm 0.11d	39.92 \pm 0.15d	38.32 \pm 0.17d	36.82 \pm 0.22d
	V 组	47.38 \pm 0.12a	45.73 \pm 0.12c	44.28 \pm 0.12c	43.07 \pm 0.12c	41.55 \pm 0.11c	40.28 \pm 0.17c	38.92 \pm 0.12c

CK、I 组、II 组、III 组、IV 组、V 组见表 2 注。相同项目同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知,试验 10 d 时,试验 I~IV 组谷胱甘肽过氧化物酶(*GSH-Px*)活性显著高于 CK ($P < 0.05$),其余各试验时间试验 I~V 组 *GSH-Px* 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),40 d、50 d、60 d 时试验 II 组 *GSH-Px* 活性最高;在整个试验周期内,各试验组 *GSH-Px* 活性均呈持续上升趋势。同一时间段(0 d 除外),试验 I~V 组超氧

化物歧化酶(*SOD*)活性的整体变化趋势为先降低后升高,试验 V 组 *SOD* 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),且在整个试验周期内,试验 I~III 组 *SOD* 活性均逐渐降低,试验 IV 组和 V 组 *SOD* 活性逐渐上升。同一时间段(0 d 除外),试验 I~V 组 MDA 含量的整体变化趋势为先降低后升高,且均显著低于 CK ($P < 0.05$),其中试验 II 组 MDA 含量最低;在整个试验周期内,各试验组 MDA 含量均呈持续下降趋势。

表 5 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of *Eucommia ulmoides* leaf ultrafine powder on serum antioxidant indicators of Xiangxi yellow cattle

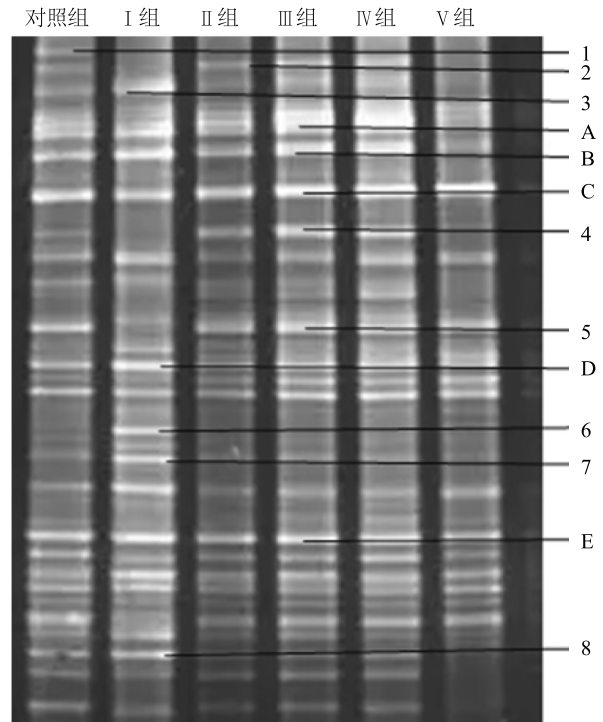
项目	组别	试验时间(d)						
		0	10	20	30	40	50	60
谷胱甘肽过氧化物酶活性(U)	CK	2.42 \pm 0.17a	2.47 \pm 0.14d	2.48 \pm 0.10e	2.52 \pm 0.08e	2.55 \pm 0.05e	2.56 \pm 0.19e	2.56 \pm 0.08e
	I 组	2.40 \pm 0.09a	2.63 \pm 0.08bc	2.88 \pm 0.08c	3.25 \pm 0.05c	3.65 \pm 0.14c	4.08 \pm 0.19c	4.28 \pm 0.15c
	II 组	2.35 \pm 0.16a	2.93 \pm 0.18a	3.38 \pm 0.11b	3.85 \pm 0.05b	4.47 \pm 0.08a	5.03 \pm 0.20a	5.50 \pm 0.13a
	III 组	2.37 \pm 0.18a	2.88 \pm 0.12a	3.47 \pm 0.09a	3.80 \pm 0.13a	4.12 \pm 0.19b	4.40 \pm 0.18b	4.87 \pm 0.15b
	IV 组	2.38 \pm 0.08a	2.70 \pm 0.09b	3.02 \pm 0.08a	3.38 \pm 0.10a	3.68 \pm 0.17c	3.93 \pm 0.19c	4.25 \pm 0.16c
	V 组	2.32 \pm 0.15a	2.53 \pm 0.10cd	2.73 \pm 0.10d	2.98 \pm 0.08d	3.12 \pm 0.10d	3.20 \pm 0.18d	3.38 \pm 0.17d
超氧化物歧化酶活性(U)	CK	0.84 \pm 0.13a	0.83 \pm 0.08cd	0.84 \pm 0.12b	0.84 \pm 0.06b	0.84 \pm 0.14b	0.83 \pm 0.02c	0.84 \pm 0.08b
	I 组	0.84 \pm 0.10a	0.81 \pm 0.10c	0.79 \pm 0.12c	0.78 \pm 0.14c	0.76 \pm 0.17c	0.75 \pm 0.02bc	0.73 \pm 0.22c
	II 组	0.84 \pm 0.11a	0.75 \pm 0.11d	0.72 \pm 0.10d	0.68 \pm 0.05d	0.64 \pm 0.08d	0.62 \pm 0.01d	0.58 \pm 0.14d
	III 组	0.84 \pm 0.14a	0.81 \pm 0.06c	0.80 \pm 0.08c	0.80 \pm 0.10c	0.79 \pm 0.14bc	0.79 \pm 0.02c	0.78 \pm 0.25bc
	IV 组	0.83 \pm 0.10a	0.84 \pm 0.01a	0.84 \pm 0.01b	0.85 \pm 0.12b	0.85 \pm 0.15b	0.86 \pm 0.02b	0.86 \pm 0.23b
	V 组	0.84 \pm 0.11a	0.91 \pm 0.04a	0.93 \pm 0.05a	0.95 \pm 0.05a	1.06 \pm 0.14a	1.14 \pm 0.13a	1.20 \pm 0.17a
丙二醛含量(mmol/L)	CK	8.42 \pm 0.03a	8.40 \pm 0.14a	8.41 \pm 0.26a	8.42 \pm 0.38a	8.42 \pm 0.28a	8.43 \pm 0.07a	8.44 \pm 0.37a
	I 组	8.41 \pm 0.03a	8.21 \pm 0.23c	7.96 \pm 0.08c	7.73 \pm 0.15d	7.51 \pm 0.23d	7.35 \pm 0.09d	7.14 \pm 0.83d
	II 组	8.48 \pm 0.04a	8.02 \pm 0.20e	7.51 \pm 0.15e	7.02 \pm 0.16f	6.54 \pm 0.30f	5.98 \pm 0.13f	5.61 \pm 0.98f
	III 组	8.46 \pm 0.03a	8.14 \pm 0.21d	7.83 \pm 0.29d	7.52 \pm 0.30e	7.23 \pm 0.33e	6.99 \pm 0.08e	6.69 \pm 0.87e
	IV 组	8.45 \pm 0.04a	8.29 \pm 0.66b	8.15 \pm 0.47b	7.96 \pm 0.10c	7.83 \pm 0.40c	7.55 \pm 0.08c	7.40 \pm 0.89c
	V 组	8.44 \pm 0.04a	8.28 \pm 0.47b	8.17 \pm 0.37b	8.12 \pm 0.37b	8.06 \pm 0.74b	7.98 \pm 0.11b	7.88 \pm 1.10b

CK、I 组、II 组、III 组、IV 组、V 组见表 2 注。相同项目同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.5 杜仲叶超微粉对湘西黄牛瘤胃微生物菌落的影响

由图 1 的变性梯度凝胶电泳 (DGGE) 图谱可知, 试验 I ~ V 组湘西黄牛瘤胃微生物菌落的物种丰度均高于对照组。从整体变化趋势来看, 试验组黄牛瘤胃微生物菌落丰度呈现先降低后升高的动态特征, 其中试验 I 组显示的菌落条带数量最多, 说明其物种丰度最高; 试验 II 组和 V 组显示的菌落条带数量相对较少, 物种丰度较低。本试验共检测出 8 个差异条带 (标记为 1~8) 和 5 个优势条带 (标记为 A~E)。差异条带的分布具有明显的组别特异性, 差异条带 1 为对照组所独有; 差异条带 2 和 4 同时存在于试验 II ~ IV 组; 差异条带 3 和 8 存在于对照组和试验 I 组; 差异条带 5 存在于对照组以及试验 II ~ V 组; 差异条带 6 和 7 仅存在于试验 I 组。5 个优势条带的亮度基本一致, 表明其对应微生物在各组黄牛瘤胃中的丰度较为稳定。对凝胶中切取的 8 个差异条带和 5 个优势条带分别进行回收与纯化, 以纯化得到的 DNA 为模板进行 PCR 扩增, 随后对扩增产物进行双向测序, 从而获得相应的基因序列。将所得序列在 NCBI 数据库中进行 BLAST 比对与搜索。由表 6 可知, 测序结果显示, 所切取的 13 种菌的 *16S rDNA* 与 GenBank 数据库中所公布的细菌的 *16S rDNA* 的同源性均在 97.0% 以上, 分别隶属于 4 个菌门, 其中 3 种菌属于拟杆菌门 (Bacteroidetes), 5

种菌隶属于厚壁菌门 (Firmicutes), 4 种菌隶属于变形杆菌门 (Proteobacteria), 1 种菌隶属于纤维杆菌门 (Fibrobacteres)。



1~8: 差异条带; A~E: 优势条带。

图 1 湘西黄牛瘤胃微生物菌群结构 DGGE 分析图

Fig.1 Denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) analysis diagram of the microbiota structure in the rumen of Xiangxi yellow cattle

表 6 回收条带基因序列的 BLAST 比对与搜索结果

Table 6 BLAST alignment and search results for the recycled strip sequences

条带	最相近的菌种名称	相似性 (%)	登录号	细菌所属门
1	芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> sp.)	99.0	NR_181952	厚壁菌门 (Firmicutes)
2	琥珀酸弧菌 (<i>Succinivibrio</i> sp.)	99.0	NR_026476	变形杆菌门 (Proteobacteria)
3	瘤胃拟杆菌 (<i>Ruminobacter</i> sp.)	99.0	NR_044632	拟杆菌门 (Bacteroidetes)
4	变形杆菌 (<i>Proteus</i> sp.)	99.0	NR_149294	变形杆菌门 (Proteobacteria)
5	夏普氏菌 (<i>Sharpea</i> sp.)	99.0	AB477014	变形杆菌门 (Proteobacteria)
6	双歧杆菌 (<i>Bifidobacterium</i> sp.)	99.0	NR_180399	拟杆菌门 (Bacteroidetes)
7	甲烷短杆菌 (<i>Methanobrevibacter</i> sp.)	98.0	NR_044790	厚壁菌门 (Firmicutes)
8	罗尔斯通氏菌 (<i>Ralstonia</i> sp.)	98.0	NR_134149	厚壁菌门 (Firmicutes)
A	普雷沃氏菌 (<i>Prevotella</i> sp.)	97.0	NR_116726	拟杆菌门 (Bacteroidetes)
B	解琥珀酸菌 (<i>Succinilasticum</i> sp.)	97.0	NR_026476	变形杆菌门 (Proteobacteria)
C	瘤胃球菌 (<i>Ruminococcus</i> sp.)	97.0	NR_074399	厚壁菌门 (Firmicutes)
D	反刍月形单胞菌 (<i>Selenomonas ruminantium</i>)	97.0	AB685262	厚壁菌门 (Firmicutes)
E	纤维杆菌 (<i>Fibrobacter</i> sp.)	99.0	AB255939	纤维杆菌门 (Fibrobacteres)

3 讨论

目前,畜禽生产中最常用的促生长剂以抗生素为主,但长期低剂量使用抗生素易导致细菌耐药性产生、药物残留等问题^[20],进而威胁人和动物的健康。在全球推动抗生素禁用的背景下,生产端迫切需要研发出安全、高效、低残留的抗生素类促生长剂替代品^[21]。杜仲叶片富含多种活性物质,具有促生长、抗疲劳、降血压、抗菌消炎、强筋健骨及提高免疫力等功效^[22],同时,杜仲叶还具备生长周期短、采摘加工便捷、资源分布广泛等优势,因此其叶片及提取物常作为饲料添加剂,被广泛应用于畜禽促生长、免疫力提升、肌肉品质改善等领域的研究^[23-24]。此外,相关研究结果表明,动物胃肠道菌群不仅会影响机体对营养物质的消化吸收,还能调节并促进机体免疫系统发育^[25],这意味着饲料添加剂不仅可直接作用于动物机体,还能通过改变胃肠道菌群结构间接调节机体免疫力。截至目前,国内外已有大量关于杜仲叶及其提取物改善畜禽(肉牛除外)生长性能的研究报道^[26-28],但关于其在黄牛(尤其是地方品种黄牛)中的应用研究,至今仍较少。

3.1 杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能的影响

本试验结果显示,随杜仲叶超微粉添加量增加,各试验组湘西黄牛的末重、平均日增重、平均日采食量均出现不同程度提升,整体变化趋势多表现为先上升后下降。其中,试验Ⅱ组湘西黄牛的末重、平均日增重及平均日采食量较对照组提升幅度最大。上述结果表明,杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长具有促进作用,且添加量为3.0%时,其促生长效果较好,这与杨尚霖等^[29]在日粮中添加3%杜仲叶可显著促进育肥肉牛生长性能的研究结果一致。此外,本试验还发现,低剂量杜仲叶超微粉对湘西黄牛生长性能的促进作用明显优于高剂量,推测该现象可能与杜仲叶中富含的绿原酸、黄酮、木脂素等天然活性物质及其生物学功能相关,但杜仲叶促进湘西黄牛生长的具体作用机制仍需进一步研究。

3.2 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清生化指标的影响

血清生化指标的变化可直接反映动物机体健康状况,同时为疾病诊治提供参考依据^[30]。其中,总蛋白质含量能直接体现机体蛋白质代谢情况,若总蛋白质含量升高,提示机体蛋白质代谢更为旺盛^[31],而尿素氮含量降低,则表明动物机体对饲料

蛋白质的利用率有所增强^[32-33]。本研究结果显示,同一时间段(0 d除外)各试验组湘西黄牛血清总蛋白质含量均显著高于对照组($P<0.05$),且试验Ⅱ组血清总蛋白质含量最高。这一结果表明,不同剂量的杜仲叶超微粉均能影响饲料蛋白质在湘西黄牛体内的同化过程,其中以3.0%添加剂量的促进作用最强。此外,各试验组湘西黄牛血清尿素氮含量与对照组相比无显著差异,说明不同剂量的杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清尿素氮水平未产生明显影响。血清中谷草转氨酶(ALT)活性、谷丙转氨酶(AST)活性的高低可直接判断肝脏的功能状况^[34]。本研究结果显示,同一时间段(0 d除外)各试验组湘西黄牛血清中ALT活性、AST活性均显著低于对照组($P<0.05$),表明杜仲叶超微粉能降低牛血清中ALT、AST的活性,提示杜仲叶超微粉具有养肝、护肝的功效,这与史仁煌等^[35]、陈鹏等^[36]的研究结果相一致。试验Ⅱ组湘西黄牛血清中ALT活性、AST活性均为最低,表明在基础日粮中添加3.0%杜仲叶超微粉的护肝作用最强,高剂量杜仲叶超微粉反而对肝脏有损伤作用。此外,虽然肝脏是糖、脂肪及蛋白质代谢的主要场所,但由于机体内糖和甘油三酯的代谢受到多种因素影响,因此糖和甘油三酯含量的高低并不能完全反映动物肝脏的功能状况。

3.3 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清免疫指标的影响

免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白G(IgG)及免疫球蛋白M(IgM)是评价畜禽免疫状况的重要指标,其含量高低可直接反映动物机体免疫力强弱^[34],即血清中这类免疫蛋白含量升高,提示机体免疫防御功能增强。本研究结果显示,同一时间段(0 d除外)I~V组湘西黄牛血清中IgA含量、IgG含量大多显著高于对照组($P<0.05$),而IgM含量与对照组无显著差异($P>0.05$),该结果与陈玉敏^[37]、李凤龙^[38]及彭密军等^[30]的研究结论相一致。从整体变化趋势来看,各试验组湘西黄牛血清IgG含量、IgA含量均呈现先上升后下降的趋势,表明低剂量杜仲叶超微粉对湘西黄牛免疫蛋白合成与分泌的促进作用强于高剂量杜仲叶超微粉,但其具体作用机制仍需进一步探究。此外,白细胞介素-6(IL-6)、白细胞介素-10(IL-10)及肿瘤坏死因子- α (TNF- α)均属于炎症因子,参与机体炎症反应过程,其含量升高通常提示机体炎症反应程度加剧。本研究结果显示,同一时间段(0 d除外)各试验组湘西黄牛血清中IL-6、IL-10、TNF- α 含量大多显著低于对照组($P<0.05$),说明

各试验组湘西黄牛体内炎症反应程度明显弱于对照组,这与万凡^[39]的研究结果相符。综上可知,杜仲叶超微粉有助于提高湘西黄牛免疫力,这可能与杜仲叶所含活性成分增强网状内皮系统吞噬作用,促进淋巴细胞增殖、分化与成熟等因素密切相关。

3.4 杜仲叶超微粉对湘西黄牛血清抗氧化指标的影响

谷胱甘肽过氧化物酶(*GSH-Px*)与超氧化物歧化酶(*SOD*)是机体内两种重要的抗氧化酶,二者共同负责清除体内过量的氧化自由基,进而保护细胞膜结构与功能的完整性^[40]。而丙二醛(*MDA*)是脂类物质发生过氧化反应的最终产物,其含量高低不仅能直接反映机体内脂类过氧化反应的强度,还可间接体现组织过氧化的损伤程度^[41-43]。本研究结果显示,同一时间段(0 d 除外)各试验组湘西黄牛血清中 *GSH-Px* 活性大多显著高于对照组($P < 0.05$);试验V组血清 *SOD* 活性显著高于对照组($P < 0.05$);所有试验组血清 *MDA* 含量均显著低于对照组($P < 0.05$)。该结果与陈玉敏^[37]、李燕舞等^[41]的研究结论相似,表明杜仲叶超微粉可有效清除湘西黄牛体内多余的氧化自由基,减轻组织过氧化损伤,这一作用可能与杜仲叶中富含绿原酸、黄酮类等活性物质密切相关。

3.5 杜仲叶超微粉对湘西黄牛瘤胃微生物菌落的影响

反刍动物瘤胃微生物可参与蛋白质、糖类、挥发性脂肪酸及部分维生素的分解与合成过程,为动物机体提供充足且必要的营养物质^[44]。相关研究结果表明,反刍动物瘤胃菌群结构受日粮组成、动物年龄及健康状况等因素影响,其中日粮组成是调控瘤胃菌群结构的主要因素^[45]。因此,科学合理的日粮组成不仅有助于维持反刍动物瘤胃内环境稳定,还能促进瘤胃微生物与宿主、外部环境之间形成良好的生态平衡,进而提高营养物质的消化与吸收效率^[46]。本研究结果显示,不同含量的杜仲叶超微粉均能在一定程度上调节并改善湘西黄牛瘤胃菌群结构,其中试验II组与试验V组的菌落数量相对较少,表明杜仲叶超微粉对湘西黄牛瘤胃菌群结构的改善作用,并不会随其添加剂量的增加而呈现逐步增强的趋势。此外,测序结果显示,所获得的13种菌分别隶属于4个菌门,其中属于厚壁菌门与拟杆菌门的菌占比达61.54%。已有研究者指出,这两个菌门细菌的主要生物学功能分别为介导食物消化过程和参与体内脂肪蓄积过程^[47-48],表明杜仲叶超微粉可促进湘西黄牛消化和吸收。

4 结论

本试验结果表明,在日粮中添加不同含量杜仲叶超微粉可不同程度影响湘西黄牛的的生长性能、血清生化指标、抗氧化能力及免疫蛋白含量,改善其瘤胃微生物菌落,结合试验结果推荐在湘西黄牛日粮中添加3.0%杜仲叶超微粉。

参考文献:

- [1] 杨玉环,梁晓晓,殷运菊,等. 杜仲叶提取物对育肥猪肉品质和抗氧化性能的影响[J]. 中国畜牧杂志,2022,58(8):262-269.
- [2] HE X R, WANG J H, LI M X, et al. *Eucommia ulmoides* Oliv.: ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine[J]. Journal Ethnopharmacology,2014,151(1):78-92.
- [3] XING Y F, HE D, WANG Y, et al. Chemical constituents, biological functions and pharmacological effects for comprehensive utilization of *Eucommia ulmoides* Oliver[J]. Food Science and Human Wellness,2019,8(2):177-188.
- [4] ZHANG H C, AN Z P. Gliotoxin analogues from endophytic *Penicillium* sp. of *Eucommia ulmoides* and their antimicrobial activity[J]. Chemistry of Natural Compounds,2019,55(4):793-795.
- [5] 管淑玉,苏薇薇. 杜仲化学成分与药理研究进展[J]. 中药材,2003,26(2):124-129.
- [6] 刘 聪,郭非非,肖军平,等. 杜仲不同部位化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志,2020,45(3):497-512.
- [7] 崔恩慧. 杜仲叶提取物的免疫调节作用及其在肉鸡日粮中的应用[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
- [8] 刘文筋. 杜仲叶提取物对蛋鸡生产性能、蛋品质与健康的影响[D]. 成都:西南民族大学,2023.
- [9] 石海仁,滚双宝,张生伟,等. 杜仲叶对育肥猪生长性能、胴体性状、抗氧化能力及肠道菌群的影响[J]. 动物营养学报,2018,30(1):350-359.
- [10] YAN J H, HU R Z, LI B Z, et al. Effect of *Eucommia ulmoides* leaf extract on growth performance, carcass traits, parameters of oxidative stress, and lipid metabolism in broiler chickens[J]. Frontiers in Veterinary Science,2022,9:945981.
- [11] ZHAO J S, DENG W, LIU H W. Effects of chlorogenic acid-enriched extract from *Eucommia ulmoides* leaf on performance, meat quality, oxidative stability, and fatty acid profile of meat in heat-stressed broilers[J]. Poultry Science,2019,98(7):3040-3049.
- [12] XIAO D F, YUAN D X, TAN B H, et al. The role of Nrf2 signaling pathway in *Eucommia ulmoides* flavones regulating oxidative stress in the intestine of piglets[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity,2019,2019:9719618.
- [13] 杨 陈,万发春,戈 钰,等. 饮水温度对湘西黄牛体温、营养物质表观消化率和血液生化指标的影响[J]. 动物营养学报,2024,36(10):6448-6458.
- [14] 宁 维,李丽立,张 彬,等. 湘西黄牛与湘南黄牛主要种质特

- 性的比较研究[J]. 中国牛业科学,2011,37(4):15-18.
- [15] 贺红强,杨 钊,李剑波,等. 湘西黄牛和湘南黄牛的屠宰性状与肉品质比较分析[J]. 湖南畜牧兽医,2024(3):53-57.
- [16] 罗 阳,李昊帮,肖建中,等. 发酵桑叶对湘西黄牛×利木赞杂交F₁代育肥牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响[J]. 动物营养学报,2020,32(10):4914-4921.
- [17] 蒲宏石,谢春雷,肖和良,等. 杂交黄牛高效育肥综合配套技术研究与推广[J]. 中国牛业科学,2017,43(1):50-56.
- [18] 周 静. 不同碳源日粮对湘西黄牛肉营养品质及风味物质的比较研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2021.
- [19] XU X L, CHENG T Y, YANG H, et al. Identification of intestinal bacterial flora in *Rhipicephalus microplus* ticks by conventional methods and PCR-DGGE analysis [J]. *Experimental & Applied Acarology*, 2015, 66(2):257-268.
- [20] 刘露露. 博落回提取物对雪峰乌骨鸡繁殖性能、蛋品质和肠道菌群的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2020.
- [21] LUO L, LI Q, XING C, et al. Antibody-based therapy: an alternative for antimicrobial treatment in the post-antibiotic era [J]. *Microbiological Research*, 2025, 290:127974.
- [22] WANG C Y, TANG L, HE J W, et al. Ethnobotany, phytochemistry and pharmacological properties of *Eucommia ulmoides*: a review [J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2019, 47(2):259-300.
- [23] DING H X, CAO A Z, LI H Y, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaf extracts on growth performance, antioxidant capacity and intestinal function in weaned piglets [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020, 104(4):1169-1177.
- [24] FENG H B, YANG J, ZHI H, et al. *Eucommia ulmoides* leaf polysaccharide in conjugation with ovalbumin act as delivery system can improve immune response [J]. *Pharmaceutics*, 2021, 13(9):1384.
- [25] ABDEL-MONEIM A E, KHIDR R S, BADRAN A M M, et al. Efficacy of supplementing *Aspergillus awamori* in enhancing growth performance, gut microbiota, digestibility, immunity, and antioxidant activity of heat-stressed broiler chickens fed diets containing olive pulp [J]. *BMC Veterinary Research*, 2024, 20(1):205.
- [26] 乔宏兴,张 菡,赵圣振,等. 发酵杜仲叶对肉鸡生产性能、抗氧化性能和免疫相关基因表达的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50(5):1845-1854.
- [27] 陈绍红,高志杰,刘艳芬,等. 杜仲素对贵妃鸡生产性能和免疫功能的影响[J]. 中国畜牧兽医,2009,36(4):25-27.
- [28] LIANG Y, TANG Z Y, WANG H, et al. Effect of dietary *Eucommia ulmoides* oligomer polysaccharide on immune function and meat quality of Songliao Black Pigs [J]. *Scientific Reports*, 2024, 14(1):13901.
- [29] 杨尚霖,王 鼎,付洋洋,等. 日粮中添加杜仲叶对育肥肉牛生长性能、消化率和胴体品质的影响 [J]. 饲料工业, 2022, 43(6):9-15.
- [30] 彭密军,张命龙,王志宏,等. 饲料中添加杜仲叶对断奶仔猪生长性能、抗氧化力和免疫功能的影响 [J]. 天然产物研究与开发, 2019(31):675-681.
- [31] 宋晓雯,朱风华,王利华,等. 饲料能量水平对育成期崂山奶山羊生长性能和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2016, 28(2):609-617.
- [32] STANLEY C C, WILLIAMS C C, JENNY B F, et al. Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and jersey calves 1 [J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(9):2335-2343.
- [33] 占今舜,钟小军,占清标,等. 不同蛋白质水平精料对广丰山羊生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(1):528-536.
- [34] 王 东,付 磊,黄玉海,等. 杜仲提取物对犏牛生长性能及血清指标的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47(21):31-35.
- [35] 史仁煌,毛 江,杜 云,等. 杜仲素对泌乳高峰期奶牛瘤胃发酵和血清指标的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(7):37-41.
- [36] 陈 鹏,杨在宾,黄丽波,等. 八角和杜仲叶提取物对断奶仔猪生长性能、血清酶活性及肝脏肿瘤坏死因子- α 分布和表达的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(3):874-881.
- [37] 陈玉敏. 杜仲叶提取物对 AA 肉鸡的生长性能、抗氧化功能及肉品质的影响 [D]. 南昌:江西农业大学, 2015.
- [38] 李凤龙. 发酵杜仲叶粉对蛋鸡生产性能、脂质代谢及免疫功能的影响 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- [39] 万 凡. 杜仲叶提取物和绿原酸调控仔猪肠道炎症的机制研究 [D]. 兰州:兰州大学, 2023.
- [40] MORGAN P E, DEAN R T, DAVIES M J. Protective mechanisms against peptide and protein peroxides generated by singlet oxygen [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2004, 36(4):484-496.
- [41] 李燕燕,姜八一,刘建胜,等. 杜仲叶提取物对肉兔生长性能及血清生化、免疫与抗氧化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(2):824-830.
- [42] 魏盼琪,杨 佳,郑玉才,等. 饲料中添加酶制剂和抗菌肽对藏鸡生产性能、抗氧化能力及免疫性能的影响 [J]. 江苏农业学报, 2024, 40(10):1882-1890.
- [43] 卢晓凤,骆隽言,韦明涵,等. 罗汉果甜苷与黄芪多糖联用对小鼠骨骼肌抗氧化能力的影响 [J]. 南方农业学报, 2024, 55(7):1925-1934.
- [44] 张振祥,曹 铨,丁路明,等. 冷季不同饲养管理模式和粗精比饲料对牦牛瘤胃菌群结构和功能的影响 [J]. 草业科学, 2024, 41(6):1453-1470.
- [45] MALMUTHUGE N, GUAN L L. Understanding host-microbial interactions in rumen; searching the best opportunity for microbiota manipulation [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8:8.
- [46] 聂洪辛,李毓敏,庞凯悦,等. 不同精粗比对牦牛粪便菌群结构的影响 [J]. 草业学报, 2023, 32(12):189-197.
- [47] YANG B, LI X F, MESALAM N M, et al. The impact of dietary supplementation of polysaccharide derived from *Polygonatum sibiricum* on growth, antioxidant capacity, meat quality, digestive physiology, and gut microbiota in broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2024, 103(6):103675.
- [48] 彭赛赛,王雪敏,张敏红,等. 持续偏热环境对肉鸡盲肠菌群多样性的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(1):186-194.

(责任编辑:黄克玲)