



三七茎叶提取物对脂多糖攻毒下仔猪生长性能、 腹泻指数及肠道健康的影响

赵琳^{1,5}, 郭昆富¹, 车思艳^{1,5}, 卢宇^{2,3*}, 王梓⁴, 吴苗苗^{1,5*}

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院 畜禽产品品质调控湖南省重点实验室, 长沙 410128;

2. 江苏省农业科学院动物免疫工程研究所, 南京 210014; 3. 兽用生物制品(泰州)国泰技术创新中心, 泰州 225300;

4. 中南大学生命科学学院 分子生物学研究中心, 长沙 410083; 5. 岳麓山实验室, 长沙 410128)

摘要: 旨在探索三七(*Panax notoginseng*, PN)茎叶的皂苷提取方法, 并研究其对脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)攻毒下仔猪生长性能、腹泻指数及肠道健康的影响。利用超声波提取法, 通过单因素试验, 优化超声时间、液料比、乙醇体积分数等三七茎叶总皂苷的提取条件。试验选用24头初始体重为(7.13±0.74) kg的“杜×长×大”三元断奶仔猪, 随机分为对照组(基础日粮)、LPS组(基础日粮)、DEX(地塞米松)+LPS组(基础日粮)和PN+LPS组(基础日粮+0.4%三七茎叶提取物), 每组6头猪。在试验第28天采集仔猪血清、结肠组织及结肠食糜样品, 检测血清生化及结肠炎症相关指标, 分析结肠微生物群构成并观察结肠组织形态。结果表明: 1)三七茎叶在料液比1:25(g:mL)、超声时间1.5 h和乙醇体积分数60%时, 总皂苷提取率最高; 2)与模型组相比, PN处理的仔猪采食量明显升高($P<0.05$), 腹泻指数有降低趋势($P=0.06$); 3)添加PN能有效改善LPS诱导结肠组织形态, 预防黏膜损伤; 4)PN预饲能降低LPS攻毒仔猪结肠中普氏菌属(*Prevotella_9*)的丰度($P<0.05$); 5)PN处理能在mRNA水平促进结肠IL-4表达($P<0.05$), 并降低TNF- α 表达量($P<0.05$)。综上所述, 饲料中添加0.4%三七茎叶提取物可以改善仔猪生长性能, 缓解LPS造成的仔猪肠道形态受损, 调节肠道微生物群组成并缓解肠道炎症, 从而改善仔猪腹泻。

关键词: 三七茎叶提取物; 仔猪腹泻; 生长性能; 肠道形态; 微生物; 炎症

中图分类号: S828.5

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2026)01-0540-13

Effects of *Panax notoginseng* Stem and Leaf Extract on Growth Performance, Diarrhea Index and Intestinal Health of LPS-Challenged Piglets

ZHAO Lin^{1,5}, WU Kunfu¹, CHE Siyan^{1,5}, LU Yu^{2,3*}, WANG Zi⁴, WU Miaomiao^{1,5*}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory for the Products Quality Regulation of Livestock and Poultry, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Institute of Animal Immunology Engineering, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Guotai Technology Innovation Center of Veterinary Biological Products (Taizhou), Taizhou 225300, China; 4. Center for Molecular Biology, School of Life Sciences, Central South University, Changsha 410083, China; 5. Yuelushan Laboratory, Changsha 410128, China)

收稿日期: 2024-12-18

基金项目: 国家兽用生物制品工程技术研究中心开放课题(GTKF(23)002); 国家自然科学基金(82470126); 湖湘青年英才计划(2023RC3030); 湖南省自然科学基金(2022JJ30787); 云南省重大科技专项计划(202202AE090032)

作者简介: 赵琳, 硕士生, 主要从事动物营养与饲料研究, E-mail: 1290213245@qq.com

* **通信作者:** 吴苗苗, 主要从事动物营养与免疫研究, E-mail: miaomiaowu0316@hunau.edu.cn; 卢宇, 主要从事动物生物制品研发, E-mail: luyu@jaas.ac.cn

Abstract: This study aimed to explore the extraction method of saponins from the stems and leaves of *Panax notoginseng* (PN) and investigate its effects on the growth performance, diarrhea index and intestinal health of piglets challenged with lipopolysaccharide (LPS). Single-factor experiments were conducted and ultrasonic extraction method was used to optimize the extraction conditions of total saponins from *Panax notoginseng* stems and leaves, such as ultrasonic time, liquid-to-solid ratio, and ethanol volume fraction. The experiment selected 24 “Duroc $\times$ Landrace $\times$ Large White” piglets with an initial body weight of (7.13 ± 0.74) kg. The piglets were randomly divided into a control group (basic diet), an LPS group (basic diet), a DEX (dexamethasone) + LPS group (basic diet) and a PN + LPS group (basic diet + 0.4% *Panax notoginseng* stem and leaf extract), with six piglets in each group. On the 28th day of the experiment, serum, colon tissue and colon chyme samples were collected from piglets to test serum biochemical and colon inflammation-related indicators, the composition of colon microbiota were analyzed and colon tissue morphology were observed. The results showed as follows: 1) The extraction yield of total saponins was the highest at solid-liquid ratio of 1:25 (g:mL), ultrasonic time of 1.5 h and ethanol volume fraction of 60%. 2) Compared with the LPS group, the feed intake of piglets in PN treatment was significantly increased ($P < 0.05$), and the diarrhea index was decreased ($P = 0.06$). 3) Supplementation of PN can effectively improve the morphology of colon tissue induced by LPS and prevent mucosal injury; 4) PN pre-feeding reduced the abundance of *Prevotella_9* in the colon of piglets challenged with LPS ($P < 0.05$). 5) PN treatment could promote the expression of *IL-4* at mRNA level ($P < 0.05$) and reduce the expression of *TNF- α* at mRNA level ($P < 0.05$). In summary, add 0.4% PN in dietary can improve the growth performance of piglets, alleviate the damage of intestinal morphology caused by LPS, regulate intestinal microorganisms and alleviate intestinal inflammation, thereby improving the diarrhea of piglets.

Keywords: stem and leaf extract of *Panax notoginseng*; diarrhea in piglets; growth performance; intestinal morphology; microorganisms; inflammation

* **Corresponding authors:** WU Miaomiao, E-mail: miaomiaowu0316@hunau.edu.cn; LU Yu, E-mail: luyu@jaas.ac.cn

三七(*Panax notoginseng*, PN)属于五加科人参属的多年生草本植物,其根部是主要的药用来源,而茎叶作为三七副产物利用率较低。有统计显示,三七茎叶每年总产量约2500吨,仅有20%被适当利用^[1]。三七茎叶中的活性成分与根部相似,主要是三七皂苷^[2],还包括黄酮、氨基酸、糖类等多种元素^[3]。作为我国传统名贵药材,三七具有止血^[4]、抑炎、抗氧化^[5]等多种功效。三七皂苷的抗炎机制复杂多样,Liu等^[6]发现,三七花提取物可以在体外抑制人类角质细胞中白细胞介素-1 β (IL-1 β)、肿瘤坏死因子 α (TNF- α)等炎症介导因子的产生,同时,Hu等^[7]还发现,三七皂苷可以通过调节TLR4/NF- κ B/HIF-1 α /VEGF通路来缓解肺部炎症。另外,三七皂苷可以通过抑制成纤维细胞(fibroblast)增殖促进

皮肤伤口愈合^[8]。有趣的是,Shin等^[9]的研究发现,三七皂苷可以通过调节肠道中Bacteroidetes和Erysipelotrichaceae等微生物的丰度进而达到抗肥胖的效果。Huan等^[10]还发现,三七多糖可以体外抑制伪狂犬病病毒对PK15细胞的传染性。以上研究提示,三七茎叶的有效成分具有很好的抗炎、组织修复、微生态调控等潜能。然而,对三七茎叶有效成分的功能研究却很少。更重要的是,三七作为地方特色农产品(如云南),探究三七茎叶在畜禽生产中的功效,不仅对促进当地的经济效益具有战略意义,还能对三七天然提取物添加剂产品开拓广泛的应用市场,同时也为兴农助农和资源开发利用提供新思路。三七茎叶皂苷提取是三七茎叶有效利用的基础,目前,三七茎叶提取方法有超声波提取、

超临界流体提取和微波辅助提取法等^[11],其中因超声波提取操作简单、提取周期较短被广泛应用于三七皂苷提取,但不同提取条件下茎叶有效成分的提取效率也会不同^[12]。

断奶是仔猪生长中至关重要的阶段,也是其肠道微生物群塑造的关键时期。养殖生产活动中常采取早期断奶以追求更高的母猪年生产力(sow productivity, PSY)来提高经济效益^[13]。但早期断奶会导致仔猪免疫力低下、扰乱肠道菌群进而引发肠炎、腹泻和生长迟缓等一系列问题,是造成仔猪高死亡率的主要原因。在断奶阶段,仔猪会受到饮食、环境和生理等多方面的刺激^[14]。一方面,断奶后仔猪饮食由单一液态母乳过渡到成分复杂的颗粒饲料,但此时仔猪消化系统发育不全,无法进行良好的消化并获取食物中的营养成分^[15]。另一方面,断奶仔猪面临与母猪分离、饲养环境变化等挑战,心理和生理多面刺激,加上仔猪免疫防御系统发育不完全,抗病原微生物侵入的能力弱,这为致病菌的定植提供生长繁殖条件,容易造成肠道微生物群紊乱、肠道生物屏障形态被破坏等,最终导致仔猪腹泻、生长停滞甚至死亡^[16]。有研究显示,腹泻仔猪肠道中乳酸杆菌(*Lactobacillus*)、柠檬酸杆菌(*Citrobacter*)、克雷伯菌(*Klebsiella*)、沙门菌(*Salmonella*)、肠杆菌(*Enterobacter*)和乳球菌(*Lactococcus*)的相对丰度升高^[17]。脂多糖(LPS)由脂质A、O-抗原和核心多糖三部分组成,是大肠杆菌和沙门菌等细菌细胞壁的主要成分,其中脂质A为毒性成分^[18]。细菌死亡后,释放LPS与细胞靶点相互作用后形成内源性介质,间接引起毒性反应,LPS可以结合许多细胞类型中的CD14/TLR4/MD2受体复合物,尤其是在单核细胞、树突状细胞、巨噬细胞和B细胞中。LPS与受体结合后,激活下游分子进而促进炎性细胞因子、一氧化氮和二十烷酸的分泌,加剧炎症反应^[19]。仔猪腹泻的主要原因之一是细菌感染,因此,LPS构建肠道炎症模型对于仔猪腹泻研究具有良好的代表性。

综上,本研究旨在探究不同提取条件对三七茎叶主成分皂苷提取率的影响。同时通过对断奶仔猪构建LPS肠炎模型,探究饲料中添加三七茎叶提取物对其生长性能、腹泻指数、肠道形态、肠道微生物群及炎症反应的影响,以期对三七茎叶再利用及其在饲料添加剂和潜在的临床治疗中应用提供科学依据。

1 材料与方法

本试验中的动物模型和试验程序经湖南农业大学动物福利与使用委员会(202005)批准。

1.1 试验材料

1.1.1 主要试剂 人参皂苷Rg1标准品购自武汉卓研华标科技有限公司,三七茎叶购自云南文山明安贸易商行。盐酸、乙醇、甲醇、高氯酸、冰醋酸(分析纯),香草醛(化学纯),均购自国药集团。三七茎叶提取物(含10%三七皂苷)由陕西新天域生物科技有限公司代提取。

1.1.2 主要仪器 粉碎机、烘箱、超声清洗机、水浴锅、旋转蒸发仪、冷冻干燥机、酶标仪。

1.2 试验方法

1.2.1 单因素提取 三七茎叶提取工艺流程如下:三七茎叶经粉碎机粉碎成40目粗粉→65℃烘干至恒重→精确称取三七茎叶粗粉→加入不同浓度的乙醇→超声提取→抽滤→定容→取样测其吸光度→计算提取率→滤液经蒸发浓缩,冷冻干燥制得三七茎叶提取物。分别考察料液比、超声时间和乙醇体积分数对三七总皂苷提取率的影响,每次试验仅改变1个因素,且其他条件不变(以料液比1:20,超声时间2 h,乙醇体积分数60%为基础条件)。

1.2.2 皂苷提取率的判定 取人参皂苷Rg1标准品,以甲醇溶液做溶剂配成1 mg·mL⁻¹的标准品溶液。精确取不同体积(30、60、90、120、150、180 μL)的标准品溶液于试管中,使用甲醇溶液作为空白对照。将试管置于水浴中使溶剂蒸发,随后向每个试管滴加200 μL的5%(香草醛-冰醋酸)溶液和0.8 mL高氯酸。在60℃的水浴中加热15 min后,用流水冷却,再向每个试管加入5 mL冰醋酸,充分摇匀后静置15分钟。最后,在553 nm波长下测量吸光度,得到皂苷的回归方程为 $y=0.0124x-0.3157$ ($R^2=0.99$, x单位:μL)。测量不同提取条件下皂苷的吸光度,然后按照公式计算三七皂苷的提取率:

$$\text{提取率}(\%) = \{[(A+0.3157)/0.0124] \times V \times N\} / W$$

式中:A是皂苷的吸光度,V是定容体积,N是稀释倍数,W是称取的三七茎叶重量,单位g。

1.2.3 试验设计和饲料配方 选取24头21日龄的健康三元(杜×长×大)断奶仔猪,平均体重为(7.13±0.74) kg。随机分为4组:对照组(基础日

粮)、LPS组(基础日粮)、DEX+LPS组(基础日粮)和PN+LPS组(基础日粮+0.4%三七茎叶提取物),每组6个重复。在第20天和第27天,DEX+LPS组注射DEX(地塞米松,600 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),其余三组注射等量生理盐水;3 h后,LPS组、DEX+LPS组和PN+LPS组注射LPS(100 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),对照组注射等量生理盐水。基础日粮参照NRC(2012)营养标准配制,其组成及营养水平见表1,饲粮营养水平根据NRC(2012)数据库计算所得。试验期共28 d,每头猪单栏饲养。

表1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

项目 Item	含量 Content
原料 Ingredient	
玉米粉 Corn flour	60.00
豆粕 Soybean meal	16.00
膨化豆粕 Puffed soybean meal	10.00
鱼粉 Fish meal	5.00
乳清粉 Whey powder	4.00
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.10
石粉 Limestone	0.60
食盐 NaCl	0.30
预混料 Premix ¹⁾	3.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
消化能/($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) DE	13.89
粗蛋白质 CP	19.44
粗脂肪 EE	4.93
粗灰分 Ash	5.28
钙 Ca	0.75
磷 P	0.54
蛋氨酸 Ca	0.53
赖氨酸 Lys	1.33

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供:VA 12 000 IU,VD₃ 2 400 IU,VE 45 IU,VK₃ 3 mg,VB₁ 0.40 mg,VB₂ 6.4 mg,VB₆ 0.3 mg,VB₁₂ 0.036 mg,叶酸 2 mg,烟酸 40 mg,泛酸 20 mg,生物素 0.45 mg,Fe 120 mg,Cu 6 mg,Mn 40 mg,Zn 100 mg,I 1.3 mg,Se 0.3 mg。²⁾ 营养水平均为计算值

¹⁾ The premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU,VD₃ 2 400 IU,VE 45 IU,VK₃ 3 mg,VB₁ 0.40 mg,VB₂ 6.4 mg,VB₆ 0.3 mg,VB₁₂ 0.036 mg,folic acid 2 mg,niacin 40 mg,pantothenic acid 20 mg,biotin 0.45 mg,Fe 120 mg,Cu 6 mg,Mn 40 mg,Zn 100 mg,I 1.3 mg,Se 0.3 mg。²⁾ Nutrient levels were all calculated values

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能 试验期间每隔1周记录饲料消耗量和仔猪空腹体重。计算平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比(FCR)等指标,计算公式如下:

平均日增重(kg)=(末重-初重)/试验天数;

平均日采食量(kg)=总采食量/试验天数;

料重比=平均日采食量/平均日增重。

1.3.2 腹泻指数 每日定时对仔猪腹泻情况进行评分,根据粪样形态将腹泻标准分为4个等级,即:正常0分(粪便成型、软硬适中);轻度1分(软便、松散成型且湿润);中度2分(稠状、不成形但无粪水分离);重度3分(液状、不成形且粪水分离)。腹泻指数越高代表腹泻越严重。腹泻指数计算公式如下:

腹泻指数=每组腹泻评分之和/每组试验仔猪总头数。

1.3.3 器官指数 试验结束时,称取仔猪活体重后屠宰,取心、肝、脾、肺、肾后,清理干净表面血液,分别称重并计算器官指数,公式如下:

器官指数($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)=器官重量(g)/活体重(kg)。

1.3.4 血清生化指标 试验结束当天上午对仔猪进行采血,采集的全血在室温静置1 h分层,然后1 000×g离心10 min取上清,用于检测总蛋白(TP)、球蛋白(GLB)、白蛋白(ALB)、谷丙转氨酶(ALT)、尿素氮(BUN)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、血糖(GLU)、乳酸脱氢酶(LDH)、甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)等指标。上述指标使用BS-2200M全自动生化分析仪(深圳迈瑞医疗)测定。

1.3.5 结肠形态检测 取猪的新鲜结肠样本5 cm,用4%多聚甲醛固定液固定,随后组织被取出制作成石蜡切片,通过苏木精-伊红(HE)染色,并通过显微镜(Leica)观察其形态结构。

1.3.6 结肠食糜16S rRNA测序 试验结束时,采集结肠食糜样本于5 mL无菌冻存管中,液氮速冻后-80℃冰箱保存。之后提取样本微生物群落总DNA,用1%琼脂糖凝胶电泳检查DNA的浓度和纯度,然后将DNA稀释到1 $\text{ng}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ 的浓度备用。使用特异性16S RNA引物进行扩增,扩增产物检测与纯化后再文库构建并且通过NovaSeq 6000平台进行PE250双端测序测序。最后进行微生物分析。

1.3.7 结肠炎症相关基因表达 试验结束后,

采集仔猪结肠组织,液氮速冻后 -80°C 保存。SYBR Green 实时荧光定量法测定结肠炎症相关基

因 mRNA 水平表达量,采用 $2^{-\Delta\Delta\text{Ct}}$ 法计算目的基因的相对表达量。表 2 为引物序列。

表 2 RT-PCR 试验的引物序列

Table 2 Primers for RT-PCR experiments

基因 Gene	引物序列(5'→3') Primer sequences(5'→3')	登录号 Accession number	产物长度/bp Product length
甘油醛-3-磷酸脱氢酶 <i>GAPDH</i>	上游引物:TCGGAGTGAACGGATTTGGC 下游引物:TGACAAGCTTCCCGTTCTCC	NM_001206359.1	189
干扰素- γ <i>IFN-γ</i>	上游引物:TCCAGCGCAAAGCCATCAGTG 下游引物:ATGCTCTCTGGCCTTGGAACATAGT	NM_213948.1	111
肿瘤坏死因子- α <i>TNF-α</i>	上游引物:CCACGCTCTTCTGCCTACTGC 下游引物:GCTGTCCCTCGGCTTTGAC	NM_214022.1	168
白细胞介素-6 <i>IL-6</i>	上游引物:CCTCTCCGACAAAACCTGAA 下游引物:TCTGCCAGTACCTCCTTGCT	XM_047753916.1	118
白细胞介素-10 <i>IL-10</i>	上游引物:CTGCCTCCCACTTTCTCTTG 下游引物:TCAAAGGGGCTCCCTAGTTT	NM_214041.1	95
白细胞介素-4 <i>IL-4</i>	上游引物:TGACGGACGTCTTTGCTGC 下游引物:GCACAGAACAGGTCATGTTTGC	NM_214123.1	165
白细胞介素-22 <i>IL-22</i>	上游引物:CAATTCCCCTGCCATTGAGT 下游引物:GGGGTGGAGGTAAGGAGATT	XM_021091967.1	150

1.4 数据统计分析

试验数据采用 SPSS 26.0 软件进行,通过正态分布和方差齐性检验后利用单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 LSD 法进行多重比较分析。不符合正态分布的数据资料使用 Wilcoxon 秩和检验。之后分别用 GraphPad-Prism 8、Excel 2022 制成图表。结果以“平均值 $\pm$ 标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 不同提取条件对三七茎叶总皂苷提取率的影响

为获得三七茎叶皂苷的最佳提取条件,本研究

使用控制变量法通过控制单个因素来检测皂苷得率,结果如图 1,三七茎叶总皂苷分别在料液比为 1:25(g:mL)、超声时间为 1.5 h 和乙醇体积分数为 60% 时,提取率最高。综上所述,初步推测当三七茎叶的提取条件设置在料液比 1:25(g:mL)、超声时间 1.5 h 和乙醇体积分数 60% 时,能够保证较高的总皂苷提取率。

2.2 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪生长性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,LPS 组的仔猪平均日增重和料重比虽无明显变化($P>0.05$),但平均日采食量显著下降($P<0.05$);与 LPS 组相比,PN

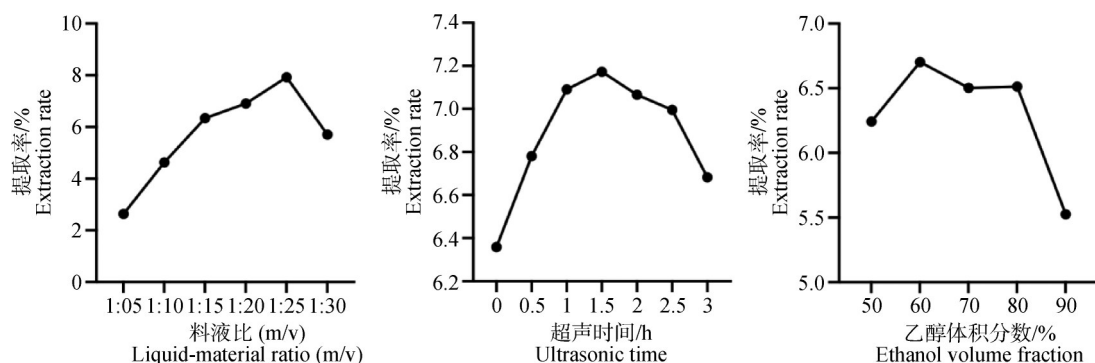


图 1 不同条件下三七茎叶总皂苷提取率

Fig. 1 Extraction rate of total saponins of Panax notoginseng under different conditions

处理提高仔猪平均日采食量, ($P<0.05$); 平均日增重和料重比与 DEX 处理组无明显区别 ($P>0.05$)。

以上结果提示 PN 处理能改善 LPS 攻毒仔猪的采食量, 但对料重比无积极影响。

表 3 三七茎叶提取物对断奶仔猪生长性能的影响

Table 3 Effects of stem and leaf extracts of *Panax notoginseng* on growth performance of weaned piglets

项目 Item	组别 Group			
	CON	LPS	DEX+LPS	PN+LPS
平均日采食量/($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) ADFI	0.67 ± 0.05^a	0.53 ± 0.02^b	0.55 ± 0.04^b	0.69 ± 0.02^a
平均日增重/($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) ADG	0.47 ± 0.03^a	0.41 ± 0.04^{ab}	0.35 ± 0.04^{ab}	0.33 ± 0.04^b
料重比 F/G	1.41 ± 0.03^{ab}	1.29 ± 0.01^b	1.51 ± 0.06^a	1.57 ± 0.03^a

同行数据肩标无字母或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

No letter or the same lowercase letter in the peer data shoulder indicates no significant difference ($P>0.05$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

2.3 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪腹泻指数的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, LPS 攻毒组的断奶仔猪腹泻指数比对照组显著升高 ($P<0.05$); 这提

示 LPS 腹泻模型建立成功。同时, 与 LPS 组相比, PN 预饲处理组的仔猪腹泻指数有降低趋势 ($P=0.06$), 这提示 PN 对 LPS 诱导仔猪腹泻有潜在的保护作用。

表 4 三七茎叶提取物对断奶仔猪腹泻指数的影响

Table 4 Effect of stem and leaf extracts of *Panax notoginseng* on diarrhea index of weaned piglets

项目 Item	组别 Group			
	CON	LPS	DEX+LPS	PN+LPS
腹泻指数 Diarrhea index	2.72 ± 0.31^c	5.44 ± 0.34^a	4.53 ± 0.28^{ab}	4.47 ± 0.43^b

2.4 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪器官指数的影响

由表 5 可知, 与对照组相比, LPS 组和 DEX+LPS 组的肝脏指数、以及 DEX+LPS 组和 PN+

LPS 组的脾脏指数明显升高 ($P<0.05$), 而 PN+LPS 组的肝脏指数无显著变化 ($P>0.05$)。结果提示 PN 处理对 LPS 攻毒的仔猪器官影响不明显。

表 5 三七茎叶提取物对断奶仔猪器官指数的影响

Table 5 Effects of stem and leaf extracts of *Panax notoginseng* on organ indices of weaned piglets

项目 Item	组别 Group			
	CON	LPS	DEX+LPS	PN+LPS
心脏指数 Heart index	5.39 ± 0.15	5.64 ± 0.34	5.89 ± 0.33	6.23 ± 0.54
肝脏指数 Liver index	25.17 ± 0.50^b	30.3 ± 1.63^a	31.22 ± 1.25^a	28.87 ± 1.94^{ab}
脾脏指数 Spleen index	1.95 ± 0.09^b	2.2 ± 0.12^{ab}	2.5 ± 0.16^a	2.5 ± 0.19^a
肺脏指数 Lung index	12.42 ± 0.95	13.91 ± 0.69	12.72 ± 0.44	14.11 ± 0.91
肾脏指数 Kidney index	5.11 ± 0.21	5.09 ± 0.28	5.45 ± 0.17	5.58 ± 0.34

2.5 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪血清生化的影响

由表 6 可知, PN 添加能缓解 LPS 诱导的血清尿素水平增加 ($P<0.05$), 但不能逆转 LPS 诱导的仔猪血清总胆固醇和谷丙转氨酶降低 ($P>0.05$); 血

清乳酸脱氢酶、甘油三脂、白蛋白等不受 LPS 或 PN 的影响。

2.6 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪结肠形态的影响

由图 2 可见, 健康的断奶仔猪的结肠组织结构

表 6 三七茎叶提取物对 LPS 诱导腹泻仔猪血清生化影响

Table 6 Effects of stem and leaf extracts of *Panax notoginseng* on serum biochemistry of weaned piglets

项目 Item	组别 Group			
	CON	LPS	DEX+LPS	PN+LPS
乳酸脱氢酶/(U·L ⁻¹) LDH	948.31±79.80	1 288.87±270.67	904.37±72.96	1 054.21±138.30
尿素/(μmol·L ⁻¹) BU	5.23±0.38 ^a	3.94±0.38 ^b	4.41±0.40 ^b	5.42±2.14 ^a
总胆红素/(μmol·L ⁻¹) TBIL	1.80±0.09	1.37±0.30	1.72±0.10	1.60±0.18
总胆固醇/(mmol·L ⁻¹) TC	8.53±1.45 ^a	2.30±1.23 ^b	0.75±0.18 ^b	3.23±0.98 ^b
总蛋白/(g·L ⁻¹) TP	52.75±1.63	50.37±3.15	51.56±2.26	49.73±4.86
球蛋白/(g·L ⁻¹) GLB	20.60±2.46	20.54±1.40	21.75±2.23	21.56±2.35
白蛋白/(g·L ⁻¹) ALB	32.15±2.33	29.82±1.93	29.81±1.40	28.17±2.65
白蛋白/球蛋白 ALB/GLB	1.71±0.27	1.46±0.06	1.46±0.20	1.33±0.08
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹) TG	0.48±0.05	0.42±0.18	0.43±0.05	0.45±0.12
碱性磷酸酶/(U·L ⁻¹) ALP	379.72±27.30	395.97±44.58	350.11±55.01	348.76±72.00
血糖/(mmol·L ⁻¹) BG	2.17±0.45	2.08±0.42	2.60±0.53	1.68±0.44
谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹) ALT	104.96±8.73 ^a	73.10±10.06 ^b	72.29±7.23 ^b	57.44±9.51 ^b
谷草转氨酶/(U·L ⁻¹) AST	110.32±12.42	132.24±26.58	79.40±11.12	190.87±107.75
谷草转氨酶/谷丙转氨酶 AST/ALT	1.07±0.12	1.98±0.43	1.09±0.10	2.96±1.14

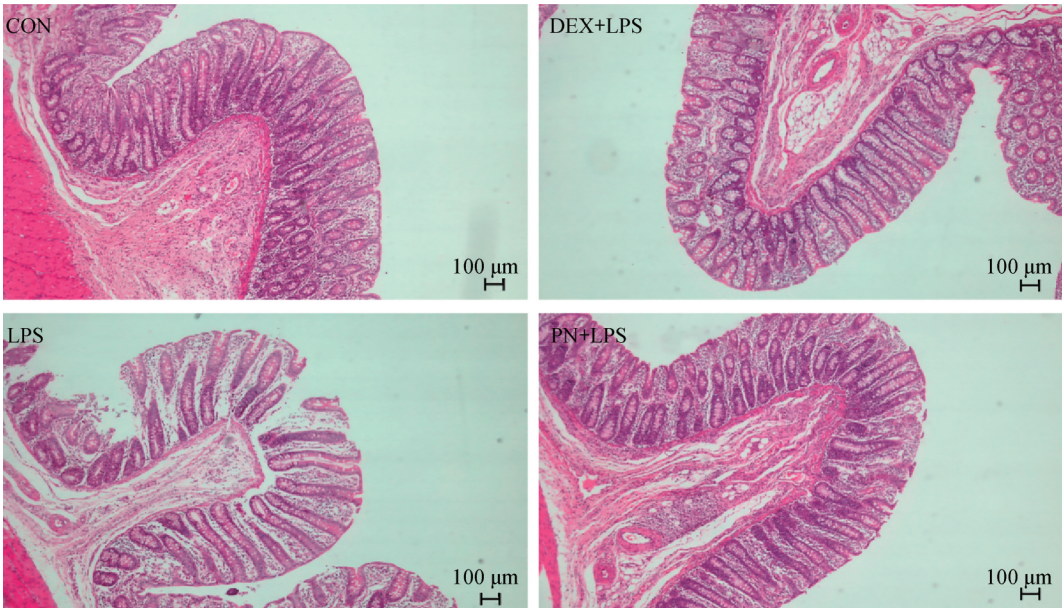


图 2 三七茎叶提取物对断奶仔猪结肠形态的影响

Fig. 2 The effect of *Panax notoginseng* stem and leaf extract on colon morphology of weaned piglets

完整,腺体、黏膜及隐窝正常,无炎性细胞浸润;而 LPS 诱导腹泻仔猪结肠组织黏膜破损,隐窝形状排列不整齐,黏膜下层水肿;饲喂添加 PN 饲料的仔猪结肠黏膜结构完整,水肿情况较 LPS 组有所改善。

2.7 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪肠道微生物的影响

2.7.1 三七茎叶提取物对断奶仔猪肠道菌群多样

性的影响 与对照组相比,DEX+LPS 和 LPS 组的 Shannon 指数升高但无统计学差异($P>0.05$);与 LPS 组相比,PN+LPS 的 Shannon 指数轻微降低($P>0.05$)。PCOA 分析显示,对照组、DEX+LPS 组和 PN+LPS 组之间微生物群落组成相似,而 LPS 组明显与其他三组分离(图 3)。

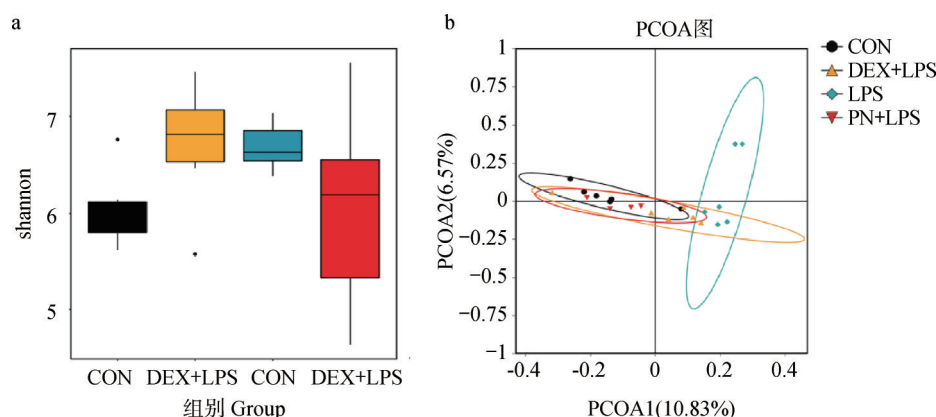
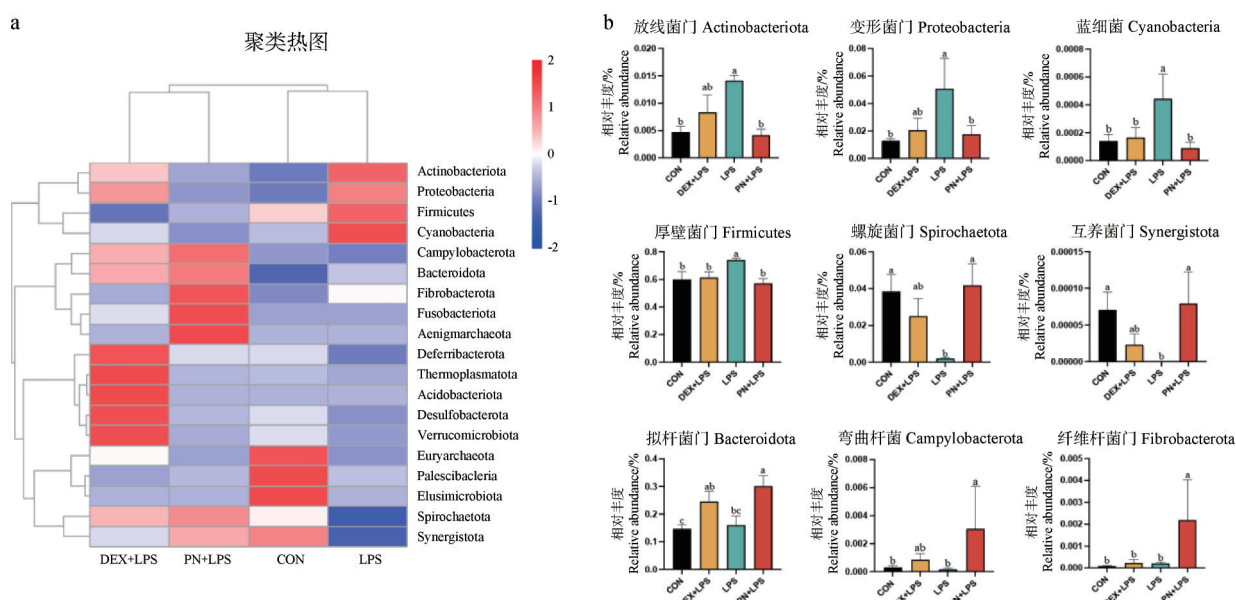


图3 三七茎叶提取物对结肠微生物群 Alpha 多样性 (a) 和 Beta 多样性 (b) 的影响

Fig. 3 The effect of Panax notoginseng stem and leaf extract on microbial alpha diversity (a) and Beta diversity (b) in colon

2.7.2 三七茎叶提取物对断奶仔猪肠道微生物群落结构的影响 在门水平下,LPS 诱导的断奶仔猪结肠中放线菌门(Actinobacteriota)、变形菌门(Proteobacteria)、蓝细菌(Cyanobacteria)和厚壁菌门(Firmicutes)丰度增加($P<0.05$),螺旋菌门(Spirochaetota)和互养菌门(Synergistota)丰度降低

($P<0.05$),而PN处理逆转了LPS诱导仔猪结肠中螺旋菌门(Spirochaetota)和互养菌门(Synergistota)的丰度变化($P<0.05$);此外PN还促进拟杆菌门(Bacteroidota)、弯曲杆菌(Campylobacterota)和纤维杆菌门(Fibrobacterota)的富集($P<0.05$) (图4)。



a. 物种差异热图; b. 物种差异柱状图

a. Heat map of species differences; b. Bar graph of species differences

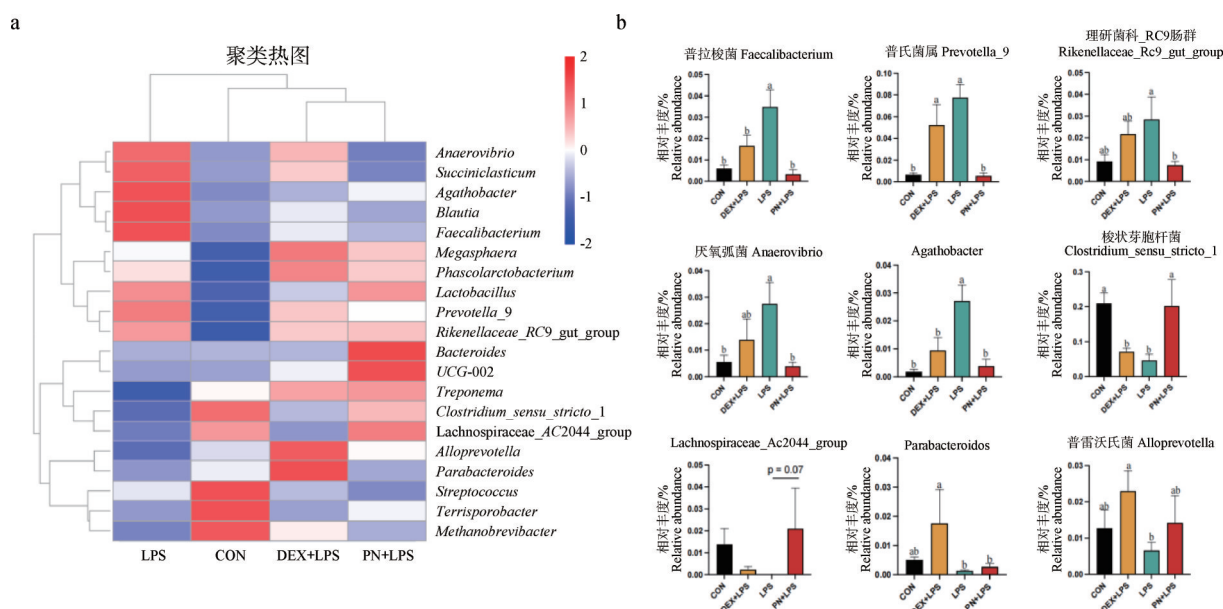
Actinobacteriota. 放线菌门; Proteobacteria. 变形菌门; Firmicutes. 厚壁菌门; Cyanobacteria. 蓝藻; Campylobacterota. 弯曲菌门; Bacteroidota. 拟杆菌门; Fibrobacterota. 纤维杆菌门; Fusobacteriota. 梭杆菌门; Aenigmarchaeota. 谜古菌门; Deferribacterota. 脱铁杆菌门; Themmoplasmatota. 极端嗜热古菌; Acidobacteriota. 酸杆菌门; Desulfobacterota. 脱硫杆菌门; Verrucomicrobiota. 疣微菌门; Euryarchaeota. 广古菌门; Patescibacteria. 骸骨菌门; Elusimicrobiota. 迷踪菌门; Spirochaetota. 螺旋体门; Synergistota. 互养菌门

图4 三七茎叶提取物对门水平结肠微生物的影响

Fig. 4 The effect of Panax notoginseng stem and leaf extract on colonic microbes at the phylum level

在属水平下,普拉梭菌(*Faecalibacterium*)、普氏菌属(*Prevotella_9*)、厌氧弧菌(*Anaerovibrio*)和 *Agathobacter* 在 LPS 诱导的仔猪结肠中富集($P<0.05$), PN 预饲后,仔猪结肠梭状芽胞杆菌(*Clostridium_*

sensu_stricto_1) ($P<0.05$) 和 *Lachnospiraceae_AC2044_group* ($P=0.07$) 富集;而阳性对照组(DEX+LPS)中 *Parabacteroides* 和 普雷沃氏菌(*Alloprevotella*) 丰度升高($P<0.05$)(图 5)。



a. 物种差异热图; b. 物种差异柱状图

a. Heat map of species differences; b. Bar graph of species differences

Anaerovibrio 厌氧弧菌属; *Succiniclasicum* 解琥珀酸菌属; *Agathobacter*; *Blautia* 布劳特氏菌属; *Faecalibacterium* 普拉梭菌; *Megasphaera* 巨球形菌; *Phascolarctobacterium* 考拉杆菌属; *Lactobacillus* 乳杆菌属; *Prevotella_9* 普氏菌属; *Rikenellaceae_Rc9_gut_group* 理研菌科_RC9 肠群; *Bacteroides* 拟杆菌属; *UCG-002*, *Treponema* 密螺旋体属; *Clostridium_sensu_stricto_1* 梭状芽胞杆菌; *Lachnospiraceae_AC2044_group*; *Alloprevotella* 普雷沃氏菌属; *Parabacteroides*; *Streptococcus* 链球菌; *Terrisporobacter*; *Methanobrevibacter* 甲烷短杆菌属

图 5 三七茎叶提取物对属水平结肠微生物的影响

Fig. 5 The effect of Panax notoginseng stem and leaf extract on colonic microbes at the genus level

2.8 三七茎叶提取物对 LPS 攻毒的断奶仔猪结肠炎症相关基因表达水平的影响

由图 6 可知,腹腔注射 LPS 诱导结肠组织中 *IL-10*、*IL-22*、*IFN- γ* 、*TNF- α* 的 mRNA 表达水平明显升高($P<0.05$),同时 *IL-4* 表达水平显著降低($P<0.05$),PN 处理主要逆转 LPS 诱导的 *IL-4* 和 *TNF- α* 变化($P<0.05$),结果表明三七可能通过促进 *IL-4* 并减少 *TNF- α* 的转录水平来缓解 LPS 诱导的肠道损伤。

3 讨论

3.1 三七茎叶总皂苷提取工艺的优化

三七是云南省的特色生物资源,其根部作为传统药材被广泛开发和应用,而茎叶作为三七副产物

利用率较低。在当前饲料资源紧缺、人畜争食的大环境下,开发三七茎叶作为饲料资源,具有潜在的农业应用价值。近年来的研究证明,三七茎叶中的主要成分为皂苷^[20],在预防和治疗多种代谢疾病及抗炎、抗衰老、抗肿瘤等方面具有重要的应用价值^[21]。本研究优化了三七茎叶总皂苷的提取工艺。通过超声波提取法,探究不同条件下对三七茎叶总皂苷提取率的影响,包括调整料液比、提取时间、溶剂参数,确定最佳提取条件。结果显示,在料液比为 1:05~1:25(g:mL)、超声时间为 0~1.5 h 的条件下,总皂苷提取率逐渐增加。与陈红惠^[22]的研究结果相近,即三七在料液比 1:30(g:mL)、超声时间 50 min、乙醇体积分数 70% 的条件下,总皂苷提取率达到最高。目前国内外对三七茎叶的

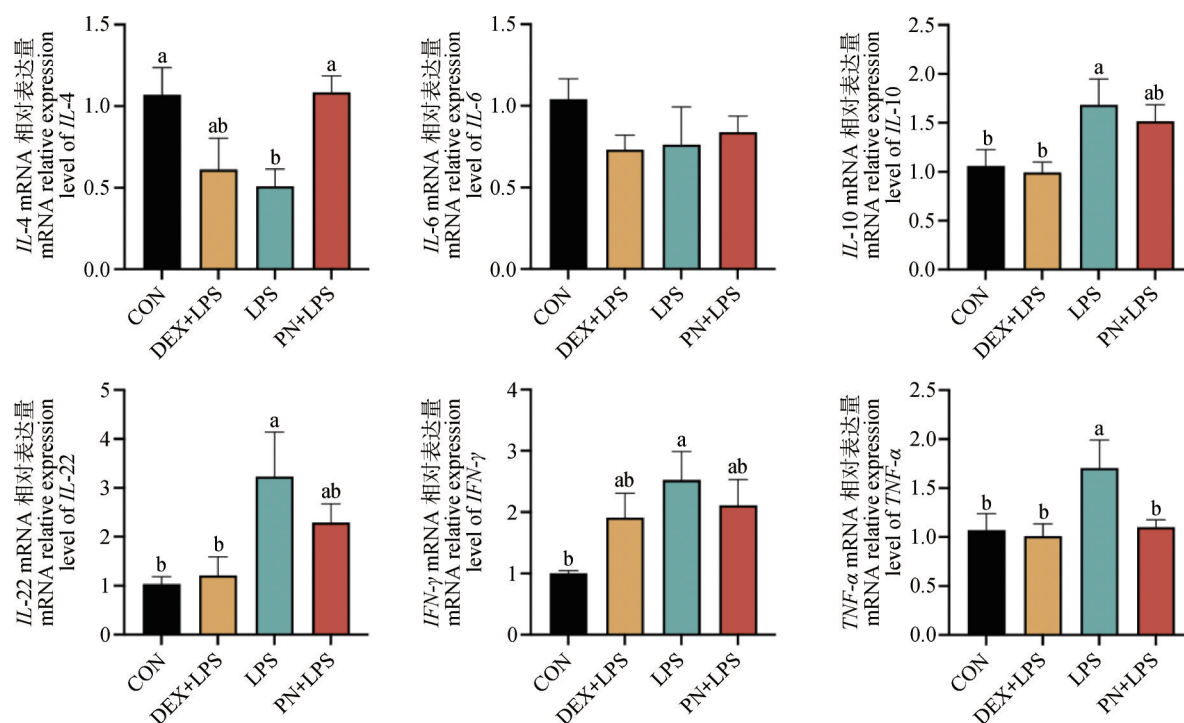


图6 三七茎叶提取物对断奶仔猪结肠炎症相关基因表达水平的影响

Fig. 6 Effect of stem and leaf extracts of *Panax notoginseng* on expression levels of genes related to colonic inflammation in weaned piglets

现有应用研究较少,本研究为三七茎叶这一副产物的高效再利用提供了重要的技术参考,有助于降低工业生产成本,并推动其在饲料资源中的进一步应用。

3.2 三七茎叶提取物对LPS诱导的断奶仔猪腹泻的作用

肠道是动物机体内最大的消化和免疫器官,是动物获取营养物质和抵抗病原体侵入的关键屏障^[23]。肠道屏障是肠道稳态的主要防线,可以防止细菌侵入^[24]。上皮细胞通过分泌不同免疫介质、输送细菌抗原、并构建黏膜屏障来维系肠道菌群和宿主之间的共生关系^[25]。生产中早期断奶带来的应激会加剧仔猪肠道负担,造成仔猪腹泻进而降低生产性能^[26]。很多报道证实了三七对肠道健康的积极影响,如张自龙等^[27]研究显示,三七皂苷能够改善小鼠肠道损伤,修复黏膜结构;Hu等^[28]的研究表明,三七皂苷可以体外增加非洲绿猴肾细胞(Vero cell)对猪流行性腹泻病毒(PEDV)的抗感性。本研究发现三七茎叶提取的总皂苷预饲缓解了LPS注射诱导的采食量下降,改善仔猪结肠组织损伤,并缓解腹泻,这表明饲料添加三七茎叶提取物具有预防仔猪腹泻潜力。此外,本试验器官指数和血清生

化结果显示,添加三七茎叶提取物对仔猪尿素代谢通路具有调节潜力,而平均日增重等指标变化不明显,这可能是因为三七茎叶中含有的皂苷、多糖等营养物质更多的是为修复肠道损伤缓解并改善腹泻情况,并非直接刺激生长。

3.3 三七茎叶提取物对LPS诱导的断奶仔猪肠道菌群的影响

仔猪腹泻常伴随肠道微生物的紊乱,进而加重肠道炎症并影响仔猪的生长发育。已有研究证明三七可以通过重塑肠道菌群来改善肠道炎症病理症状^[29]。本研究通过高通量测序分析了LPS诱导断奶仔猪肠道菌群的变化,结果显示,LPS组的β多样性明显偏离其他组,提示三七茎叶提取物能够有效维持肠道微生物多样性。此外,LPS组中普氏菌属(*Prevotella_9*)的丰度增加,已有研究表明该属细菌通过促进IL-1β的分泌加剧炎症反应^[30]。相反,PN通过增加特定菌群的富集来重塑仔猪结肠微生物的结构,如增加*Clostridium_sensu_stricto_1*和*Lachnospiraceae_AC2044_group*的丰度,后者已被证实能够发酵植物多糖产生短链脂肪酸,其中丁酸作为结肠上皮细胞的能量来源,可以通过激活神经系统间接影响外周器官^[31]。另外,三七中含有的三

种主要活性成分:人参皂苷 Rg1($C_{42}H_{72}O_{14}$)、Rb1($C_{54}H_{92}O_{23}$)及 R1($C_{47}H_{80}O_{18}$)都是由糖基和皂苷元通过糖苷键连接而成的糖苷类化合物^[32]。微生物含有大量糖苷水解酶,能代谢利用三七皂苷,这可能是三七与肠道微生物互作的关键^[33]。这些结果表明,三七茎叶提取物可能通过调节特定肠道菌群改善肠道健康,从而发挥抗炎作用。

3.4 三七茎叶提取物对 LPS 诱导的断奶仔猪结肠炎症相关基因表达水平的影响

三七已被研究证明具有良好的抗炎作用^[34]。细胞因子作为炎症介质,可以调节细胞的生长和分化,并充当信号分子在细胞间调节免疫反应^[35]。本研究提示,LPS 诱导结肠 IL-22、IFN- γ 、TNF- α 的转录增加,而与组织修复相关的 IL-4 显著降低。在饲料中添加三七茎叶提取物后,仔猪结肠 IL-4 的 mRNA 表达水平明显提升而 TNF- α 的 mRNA 表达水平降低。TNF- α 是一种常见的促炎因子,可以作为一种内源性致热原来参与免疫反应,进而引起机体发热、诱发炎症^[36]。而 IL-4 的存在可以抑制炎症发生,通过促进巨噬细胞向 M2 型细胞的替代激活,并抑制巨噬细胞向 M1 型细胞的经典激活,修激活的 M2 细胞可以释放精氨酸酶、脯氨酸、多胺酶和 TGF- β 等与伤口修复有关的物质,从而减少病理炎症^[37]。这些结果表明,三七茎叶提取物可能通过调节促炎和抗炎因子的平衡发挥作用,与胡溪等^[38]关于三七能够降低 TNF- α 表达的研究结果一致。

4 结 论

本研究发现,饲料中添加三七茎叶提取物能够在一定程度上缓解 LPS 诱导的断奶仔猪结肠形态损伤,具有缓解腹泻症状的潜力,通过调节肠道菌群结构及肠道炎症因子表达水平,改善肠道健康。这一发现为三七茎叶的再利用提供了新思路,也为其在饲料添加剂和潜在的临床治疗中应用提供了科学依据。

参考文献(References):

[1] 伍昊文,李嘉诚,李毅臻,等.三七总皂苷联合沙棘多糖对小鼠降血脂和保肝作用的研究[J]. 华夏医学, 2023, 36(3): 37-40.
WU H W, LI J C, LI Y Z, et al. Study of *Panax notoginseng* saponins combined with seabuckthorn polysaccharide on blood lipid and hepatoprotective

effect in mice [J]. *Acta Medicinæ Sinica*, 2023, 36 (3): 37-40. (in Chinese)
[2] 余慧芳,肖海燕,谢皓辰,等.三七茎叶总皂苷促血管新生抗缺血性脑卒中的作用机制[J]. 中草药, 2024, 55(14): 4735-4746.
YU H F, XIAO H Y, XIE H C, et al. Mechanism of total saponins in stems and leaves of *Panax notoginseng* on promoting angiogenesis and preventing ischemic stroke [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2024, 55(14): 4735-4746. (in Chinese)
[3] 刘耀晨,张铁军,郭海彪,等.三七的研究进展及其质量标志物预测分析[J]. 中草药, 2021, 52(9): 2733-2745.
LIU Y C, ZHANG T J, GUO H B, et al. Research progress on *notoginseng* Radix et Rhizoma and predictive analysis on its Q-Marker [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2021, 52(9): 2733-2745. (in Chinese)
[4] 李秋雨,边丽华,王晓玫,等.不同商品规格三七止血功效的谱效关系研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46 (16): 4157-4166.
LI Q Y, BIAN L H, WANG X M, et al. Spectrum-effect relationship of hemostatic effects of *Notoginseng* Radix et Rhizoma with different commodity specifications [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(16): 4157-4166. (in Chinese)
[5] 查雨锋,詹易,李婷,等.三七不同部位提取物体外抗氧化功效研究[J]. 中医学报, 2022, 37(1): 142-148.
ZHA Y F, ZHAN Y, LI T, et al. Study on antioxidant effect of extracts from different parts of *Sanqi* (*Radix notoginseng*) *in vitro* [J]. *Acta Chinese Medicine*, 2022, 37(1): 142-148. (in Chinese)
[6] LIU J C, WU Y H, MA W R, et al. Anti-inflammatory activity of *Panax notoginseng* flower saponins quantified using LC/MS/MS [J]. *Molecules*, 2023, 28(5): 2416.
[7] HU Y, FAN Q, QIAO B, et al. Alleviatory role of *Panax notoginseng* saponins in modulating inflammation and pulmonary vascular remodeling in chronic obstructive pulmonary disease: mechanisms and implications [J]. *COPD*, 2024, 21(1): 2329282.
[8] MEN S Y, HUO Q L, SHI L, et al. *Panax notoginseng* saponins promotes cutaneous wound healing and suppresses scar formation in mice [J]. *J Cosmet Dermatol*, 2020, 19(2): 529-534.
[9] SHIN N R, BOSE S, CHOI Y, et al. Anti-obesity effect of fermented *Panax notoginseng* is mediated via modulation of appetite and gut microbial population

- [J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 665881.
- [10] HUAN C C, ZHOU Z Y, YAO J T, et al. The antiviral effect of *Panax notoginseng* polysaccharides by inhibiting PRV adsorption and replication *in vitro* [J]. *Molecules*, 2022, 27(4): 1254.
- [11] 黄朝蓉, 杨兆祥. 三七茎叶中皂苷成分及药理作用研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2022, 31(23): 51-58, 82.
HUANG C R, YANG Z X. Advances in studies on constituents and pharmacological effects of saponins in stem leaves of *Panax notoginseng* [J]. *Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy*, 2022, 31(23): 51-58, 82. (in Chinese)
- [12] 朱秀丽, 皇甫磊落, 陈日平. 超声技术在中草药提取中的应用[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2007(2): 33-36.
ZHU X L, HUANGFU L L, CHEN R P. Application of ultrasonic technology in the extraction of Chinese herbal medicine [J]. *Journal of Xi'an University (Natural Science Edition)*, 2007(2): 33-36. (in Chinese)
- [13] SASAKI Y, HAYASHI Y, MURANO S, et al. Quantitative relationship between the number of cross-fostering piglets and subsequent productivity of sows on commercial swine farms [J]. *Anim Sci J*, 2022, 93(1): e13752.
- [14] TAO S Y, ZOU H C, LI J J, et al. Landscapes of enteric virome signatures in early-weaned piglets [J]. *Microbiol Spectr*, 2022, 10(4): e0169822.
- [15] 王振勇, 王 丹, 王云凌, 等. 新型教槽料对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及粪便微生物的影响[J]. 饲料工业, 2019, 40(16): 17-21.
WANG Z Y, WANG D, WANG Y L, et al. Effects of a new creep feed on growth performance, serum biochemical index and fecal microorganism in weaning piglets [J]. *Feed Industry*, 2019, 40(16): 17-21. (in Chinese)
- [16] IPEMA A F, GERRITS W J J, BOKKERS E A M, et al. Assessing the effectiveness of providing live black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to ease the weaning transition of piglets [J]. *Front Vet Sci*, 2022, 9: 838018.
- [17] BIN P, TANG Z Y, LIU S J, et al. Intestinal microbiota mediates Enterotoxigenic *Escherichia coli*-induced diarrhea in piglets [J]. *BMC Vet Res*, 2018, 14: 385.
- [18] GUEST R L, RUTHERFORD S T, SILHAVY T J. Border control: regulating LPS biogenesis [J]. *Trends Microbiol*, 2021, 29(4): 334-345.
- [19] GALANOS C, FREUDENBERG M A. Mechanisms of endotoxin shock and endotoxin hypersensitivity [J]. *Immunobiology*, 1993, 187(3-5): 346-356.
- [20] 徐焘杰. 三七茎叶对杜藏猪生长性能及肠道微生物区系的影响[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
XU T J. The effect of *Panax notoginseng* stems and leaves on growth performance and gut microbiota of Duzang pigs [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023. (in Chinese)
- [21] 张德东. 三七茎叶皂苷的生物转化与转化产物的化学研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2009.
ZHANG D D. Biotransformation of saponins from the stems and leaves of *Panax notoginseng* and chemical studies of transformation products [D]. Shenyang: Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2009. (in Chinese)
- [22] 陈红惠, BELWAL T, 李刚凤, 等. 表面活性剂协同超声波酶法提取三七花总皂苷工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(20): 178-186.
CHEN H H, BELWAL T, LI G F. Enzymolysis-ultrasound-assisted surfactant extraction and antioxidant activity of saponins from *Panax notoginseng* flowers [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(20): 178-186. (in Chinese)
- [23] GUO Y X, CHEN X F, GONG P, et al. The gut-organ-axis concept: advances the application of gut-on-chip technology [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(4): 4089.
- [24] WANG Z W, XIE N, LIANG X R, et al. Gut mechanobiology: shaping immune response through physical cues [J]. *Phys Life Rev*, 2024, 50: 13-26.
- [25] OKUMURA R, TAKEDA K. Roles of intestinal epithelial cells in the maintenance of gut homeostasis [J]. *Exp Mol Med*, 2017, 49(5): e338.
- [26] HAN X B, HU X D, JIN W, et al. Dietary nutrition, intestinal microbiota dysbiosis and post-weaning diarrhea in piglets [J]. *Anim Nutr*, 2024, 17: 188-207.
- [27] 张自龙, 熊敏琪, 崔金刚, 等. 三七总皂苷抑制动脉粥样硬化与改善肠道屏障完整性的作用研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, 26(2): 390-399.
ZHANG Z L, XIONG M Q, CUI J G, et al. Effect of *Panax notoginseng* saponins on inhibiting atherosclerosis and improving intestinal barrier integrity [J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2024, 26(2): 390-399. (in Chinese)
- [28] HU Y Y, LI Y C, ZHU H D, et al. *In vitro*

- suppression of porcine epidemic diarrhea virus by *Panax notoginseng* saponins: assessing antiviral potential[J]. *Arch Virol*, 2024, 169(5):89.
- [29] 王 丽. 肠道菌群介导三七皂苷抗炎性肠病药效及作用机制研究[D]. 长沙:中南大学, 2022.
- WANG L. Effects and mechanism on anti-inflammatory bowel disease of *Panax notoginseng* saponins mediated by gut microbiota [D]. Changsha: Central South University, 2022. (in Chinese)
- [30] AHMED H S. The impact of *Prevotella* on neurobiology in aging: deciphering dendritic cell activity and inflammatory dynamics[J]. *Mol Neurobiol*, 2024, 61(11):9240-9251.
- [31] ABDUGHENI R, WANG W Z, WANG Y J, et al. Metabolite profiling of human-originated Lachnospiraceae at the strain level[J]. *iMeta*, 2022, 1(4):e58.
- [32] 郭 玺, 刘盼茹, 唐乙朝, 等. 三七皂苷成分及临床药理作用研究进展[J]. 南京中医药大学学报, 2024, 40(9):985-992.
- GUO X, LIU P R, TANG Y Z, et al. Research progress on the components and clinical pharmacological effects of *Panax notoginseng* saponin [J]. *Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 40(9):985-992. (in Chinese)
- [33] YI L, ZHU J, LI Q, et al. *Panax notoginseng* stems and leaves affect microbial community and function in cecum of duzang pigs[J]. *Transl Anim Sci*, 2024, 8: txad142.
- [34] 夏金凤, 陈 影, 杨万松, 等. 三七总皂苷和马齿苋多糖合用的抗炎功效评价[J]. 香料香精化妆品, 2024, (2):89-93.
- XIA J F, CHEN Y, YANG W S, et al. Anti-inflammatory effect of *Panax notoginseng* saponins combined with *Portulaca Oleracea* polysaccharide [J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2024, (2):89-93. (in Chinese)
- [35] MELGRATI S, SOZZANI S, THELEN M. Editorial: insights in cytokines and soluble mediators in immunity: 2022[J]. *Front Immunol*, 2023, 14:1194553.
- [36] LIU C Y, TAM S S, HUANG Y, et al. TNF receptor 1 promotes early-life immunity and protects against colitis in mice[J]. *Cell Rep*, 2020, 33(3):108275.
- [37] CELIK M O, LABUZ D, KEYE J, et al. IL-4 induces M2 macrophages to produce sustained analgesia via opioids[J]. *JCI Insight*, 2020, 5(4):e133093.
- [38] 胡 溪, 高 智, 冯 立, 等. 基于“肠-肾轴”理论探究益肾排毒方加三七对肾衰竭血清瘦素、血脂、氧化应激及内皮功能的影响[J/OL]. 中华中医药学刊, 1-11 [2025-03-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20240902.1724.005.html>.
- HU X, GAO Z, FENG L, et al. Exploring the effect of Yishen Paidu formula plus Sanqi on serum leptin, lipids, oxidative stress, and endothelial function in renal failure based on the theory of "intestinal kidney axis" [J/OL]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*: 1-11. [2025-03-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20240902.1724.005.html>. (in Chinese)

(编辑 范子娟)