

姜玫宏, 葛金山, 程金龙, 等. 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪生长、腹泻、免疫和抗氧化性能的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(1): 126-133.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.01.015

## 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪生长、腹泻、免疫和抗氧化性能的影响

姜玫宏<sup>1</sup>, 葛金山<sup>2</sup>, 程金龙<sup>3</sup>, 彭宇晗<sup>1</sup>, 姜淑贞<sup>4</sup>, 朱元召<sup>1,5</sup>

(1.安徽科技学院, 安徽 凤阳 233100; 2.山东众成饲料科技有限公司, 山东 肥城 271600; 3.江苏优仕生物科技发展有限公司, 江苏 宿迁 223800; 4.山东农业大学, 山东 泰安 271000; 5.河北和利美生物科技有限公司, 河北 青县 062650)

**摘要:** 以3种加工处理的中草药饲喂断奶仔猪, 研究其对断奶仔猪生长、腹泻、免疫、血清脂与酶及抗氧化等指标的影响。120头28±2日龄杜长大断奶仔猪分4组, 3组中草药处理组饲粮分别含2%粉碎复方中草药、2%复方中草药提取液和2%发酵复方中草药, 对照组饲粮不含中草药, 试验期为28 d。结果表明, 与对照组相比, 粉碎中草药组断奶仔猪料质量比(*F/G*)、总蛋白(*TP*)含量、球蛋白(*GLB*)含量、总抗氧化能力(*T-AOC*)和超氧化物歧化酶(*SOD*)含量均有显著差异( $P<0.05$ ); 中草药提取液组平均日增质量(*ADG*)、*F/G*、试验全期腹泻指数、免疫球蛋白 G(*IgG*)含量、白蛋白(*ALB*)含量、*GLB*含量、*TP*含量、谷丙转氨酶(*ALT*)含量、谷草转氨酶(*AST*)含量、碱性磷酸酶(*ALP*)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(*GSH-PX*)含量、总抗氧化能力(*T-AOC*)、*SOD*含量和丙二醛(*MDA*)含量均有显著差异( $P<0.05$ ); 发酵中草药组 *ADG*、平均日采食量(*ADFI*)、*F/G*、腹泻指数、血清 *IgG* 含量、免疫球蛋白 A(*IgA*)含量、免疫球蛋白 M(*IgM*)含量、*ALB*含量、*GLB*含量、*TP*含量、总胆固醇(*TC*)含量、甘油三酯(*TG*)含量、*ALT*含量、*AST*含量、*ALP*含量、*GSH-PX*含量、过氧化氢酶(*CAT*)含量、*T-AOC*、*SOD*含量和 *MDA* 含量均有显著变化( $P<0.05$ )。由此可见, 与对照组及粉碎中草药组、中草药提取液组相比, 发酵中草药组中草药经菌酶协同先好氧后厌氧异步发酵能较好地改善断奶仔猪生长性能, 具有抗腹泻、增强机体免疫和抗氧化功能, 提示与中草药功效增强和发酵代谢产物作用叠加有关。

**关键词:** 菌酶协同; 异步发酵; 复方中草药; 断奶仔猪; 生长; 免疫

中图分类号: S816.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2023)01-0126-08

## Effects of bacteria-enzymes synergistic asynchronous fermentation of Chinese herbal medicine on growth, diarrhea, immunity and antioxidant of weaned piglets

JIANG Mei-hong<sup>1</sup>, GE Jin-shan<sup>2</sup>, CHENG Jin-long<sup>3</sup>, PENG Yu-han<sup>1</sup>, JIANG Shu-zhen<sup>4</sup>, ZHU Yuan-zhao<sup>1,5</sup>

(1. Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 2. Shandong Zhongcheng Feed Technology Co., Ltd., Feicheng 271600, China; 3. Jiangsu Unison Biotechnology Development Co., Ltd., Suqian 223800, China; 4. Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China; 5. Hebei Heliomy Biotechnology Co., Ltd., Qingxian 062650, China)

**Abstract:** The effects of three processed Chinese herbal medicines on growth, diarrhea, immunity, serum lipids and enzymes and antioxidant of weaned piglets were studied. One

收稿日期: 2022-03-16

基金项目: 山东省中央引导地方科技发展资金项目(YDZX20203700-003336); 泰安市科技创新重大专项(2021ZDZX033); 宿迁市科技计划项目(L202102)

作者简介: 姜玫宏(1996-), 女, 山东海阳人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料。(E-mail) 759596326@qq.com

通讯作者: 朱元召, (E-mail) zhuyuanzhao111@163.com

hundred and twenty Duroc-Landrace-Yorkshire weaned piglets at 28±2 days of age were divided into four groups. The control group was fed with no Chinese herbal medicine, and the crushed Chinese herbal medicine group, Chinese herbal extract group and fermented Chinese herbal medicine group were fed with 2% crushed Chinese herbal medicine, 2% compound Chinese herbal medicine extract and 2% fermented

Chinese herbal medicine, respectively. The experiment lasted for 28 days. Compared with the control group, the crushed Chinese herbal medicine group was significantly different in the ratio of feed and gain ( $F/G$ ), total protein (TP) content, globulin (GLB) content, total antioxidant capacity (T-AOC) and superoxide dismutase (SOD) content ( $P<0.05$ ), the Chinese herbal medicine extract group was significantly different in average daily gain (ADG),  $F/G$ , diarrhea index, immunoglobulin G (IgG) content, albumin (ALB) content, GLB content, TP content, alanine aminotransferase (ALT) content, aspartate aminotransferase (AST) content, alkaline phosphatase (ALP) content, glutathione peroxidase (GSH-PX) content, T-AOC, SOD content and malonaldehyde (MDA) content ( $P<0.05$ ), and the fermented Chinese herbal medicine group was significantly different in ADG, average daily feed intake (ADFI),  $F/G$ , diarrhea index, IgG content, immunoglobulin A (IgA) content, immunoglobulin M (IgM) content, ALB content, GLB content, TP content, total cholesterol (TC) content, triglyceride (TG) content, ALT content, AST content, ALP content, GSH-PX content, catalase (CAT) content, T-AOC, SOD content and MDA content ( $P<0.05$ ). Compared with the control group, crushed Chinese herbal medicine group and Chinese herbal medicine extract group, the fermented Chinese herbal medicine group can improve the growth performance of weaned piglets, enhance immune and antioxidant functions, and has anti-diarrhea by aerobic and anaerobic asynchronous fermentation with bacteria and enzymes, suggesting that it is related to the superposition between the enhanced effect of Chinese herbal medicine and fermentation metabolites.

**Key words:** bacteria-enzymes synergy; asynchronous fermentation; compound Chinese herbal medicine; weaned piglets; growth; immunity

自2020年饲用抗生素禁用以来,中草药因能通过适度调节和系统整合来平衡体内各项机能<sup>[1]</sup>、含有多糖等多种活性物质而发挥独特的免疫调节和抗氧化等功效<sup>[2]</sup>、具有耐受性低和副作用少等特点<sup>[3]</sup>,已成为抗生素替代品主要研究方向之一。中草药药效与加工处理方法有关,采取粉碎工艺时,中草药坚硬的细胞壁不能被彻底物理裂解,胞内所含活性成分不能充分释放;采用水和有机溶剂提取时,中草药种类、有效成分的溶解性以及提取温度、压力和质量浓度的差异等都会影响中草药药效发挥,并且应用成本高。而中草药经有益菌发酵后,能增强与微生物种群的协同作用,释放更多活性成分,提高药效,减轻毒性<sup>[4-5]</sup>。此外,发酵中草药不仅具有治疗疾病和保健作用,还可增强免疫力、提高产品品质、减少应激反应<sup>[6-7]</sup>,调节肠道微生物菌群<sup>[8]</sup>。

仔猪的断奶应激会导致肠道菌群失调,增加发病率和死亡率<sup>[9]</sup>。吴东等<sup>[10]</sup>研究发现,发酵中草药可改善仔猪健康状况,增强胃肠道代谢吸收功能。郭建来等<sup>[11]</sup>发现发酵复方党参可提高断奶仔猪抗病能力。上述有关发酵中草药研究多在厌氧和无酶协同条件下进行,单一厌氧发酵对植物细胞壁降解作用有限。因此,本研究拟优选复合有益菌和复合酶,采用菌酶联合、先好氧再厌氧的二步发酵法,对配伍的抑菌型复方中草药进行异步发酵,通过纤维素酶和好氧菌发酵以增加微生物对中草药细胞壁的降解能力,从而促进中草药活性成分的释放,通过厌

氧发酵叠加发挥微生态的菌群调控作用,并比较研究粉碎中草药、中草药提取物对断奶仔猪生长、腹泻、血清免疫、脂、酶、抗氧化指标影响的差异,以期异步酶解发酵中草药应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 复方中草药及配伍 将十大功劳叶、苦木、石榴皮、马齿苋和鬼针草分别粉碎过40目筛,按6:4:4:3:3比例混合。中草药购自亳州市乾元动物药业有限公司。

1.1.2 酶 纤维素酶:酶活性为10 000 U/g;复合酶:由蛋白酶5 000 U/g、甘露聚糖酶200 U/g、 $\alpha$ -淀粉酶250 U/g、葡聚糖酶10 000 U/g组成。均由广东溢多利生物股份科技有限公司提供。

1.1.3 菌株  $2\times 10^{10}$  CFU/g枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和 $1\times 10^{10}$  CFU/g植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)由江苏优仕生物科技发展有限公司提供。

### 1.2 复方中草药提取液制备

采用水煎煮提取法。复方中草药与水的比例为1:3。先用50%总水量浸泡粉碎中草药2 h,并加热沸腾煎煮30 min,滤出汁液。再加余下的50%水,煎煮20 min,滤出汁液。将2次滤出汁液合并混匀,制备得到复方中草药提取液。

### 1.3 发酵复方中草药制备

采用菌酶联合异步发酵法。第一步进行菌酶协

同好氧发酵:按表 1 原料组成,先将玉米粉、豆粕粉与复方中草药、纤维素酶和复合酶按比例混合均匀,再将 50% 红糖、枯草芽孢杆菌放入 50% 的 40~45 ℃ 温水中,活化 30~45 min 后,均匀接种至上述混合物中,37 ℃ 条件下好氧发酵 20 h。第二步进行厌氧发酵:先将余下的 50% 红糖、植物乳杆菌放入 50% 的 40~45 ℃ 温水中,活化 30~45 min,均匀接种至好氧发酵后的混合物中,密闭,37 ℃ 条件下厌氧发酵 5 d,制备得到发酵复方中草药。

#### 1.4 试验分组与饲粮

120 头 28±2 日龄杜长大断奶仔猪被分为 4 组,各组设 3 个重复,各重复饲养 10 头。对照组饲粮无中草药,粉碎中草药组、中草药提取液组和发酵中草药组分别饲喂含 2% 粉碎复方中草药、2% 复方中草药提取液、2% 发酵复方中草药的试验组饲粮。试验期共 28 d,每天 14:00 清扫猪舍,每周进行一次消毒,保持猪舍良好通风。饲粮中所含的粉碎复方中草药、复方中草药提取液和发酵复方中草药的组成及含量见表 1,饲粮配方与营养水平见表 2。

表 1 粉碎复方中草药、复方中草药提取液和发酵复方中草药组成及含量

Table 1 Composition and content of crushed compound Chinese herbal medicine, compound Chinese herbal extract and fermented compound Chinese herbal medicine

原料	粉碎复方中草药	复方中草药提取液	发酵复方中草药
复方中草药(%)	25.50	0	25.50
中草药滤出提取液(%)	0	45.50	0
玉米粉(%)	20.00	20.00	20.00
豆粕粉(%)	20.00	20.00	20.00
红糖(%)	1.00	1.00	1.00
纤维素酶(%)	0	0	0.10
复合酶(%)	0	0	0.10
枯草芽孢杆菌(%)	0	0	0.25
植物乳杆菌(%)	0	0	0.15
水(%)	33.50	13.50	32.90
合计(%)	100.00	100.00	100.00

#### 1.5 主要试验仪器

MindrayBS-200 型全自动生化分析仪、Multiskan GO 型酶标仪。

#### 1.6 指标测定

1.6.1 生长性能 每天结料与记录仔猪采食量。在试验第 1 d、第 14 d 和第 28 d 早晨 06:00,称量已

空腹 12 h 的仔猪质量。计算平均日增质量(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料质量比(F/G)。

表 2 饲粮原料配比和营养水平(以风干基础计)

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diet and experimental diet (air dry basis)

项目	对照组	粉碎中草药组	中草药提取液组	发酵中草药组
玉米(%)	63.65	61.65	61.65	61.75
去皮豆粕(%)	11.00	11.00	11.00	10.90
发酵豆粕(%)	5.00	5.00	5.00	5.00
鱼粉(%)	3.50	3.50	3.50	3.50
大豆油(%)	1.50	1.50	1.50	1.50
石粉(%)	0.80	0.80	0.80	0.80
氯化钠(%)	0.30	0.30	0.30	0.30
膨化大豆(%)	9.00	9.00	9.00	9.00
蔗糖(%)	3.00	3.00	3.00	3.00
磷酸二氢钙(%)	0.60	0.60	0.60	0.60
预混料(%)	0.50	0.50	0.50	0.50
赖氨酸盐酸盐(%)	0.37	0.37	0.37	0.37
DL-蛋氨酸(%)	0.05	0.05	0.05	0.05
苏氨酸(%)	0.12	0.12	0.12	0.12
复合酸化剂(%)	0.30	0.30	0.30	0.30
乳香(%)	0.05	0.05	0.05	0.05
甜味剂(%)	0.04	0.04	0.04	0.04
丙酸钙(%)	0.10	0.10	0.10	0.10
粉碎复方中草药(%)	0	2.00	0	0
复方中草药提取液(%)	0	0	2.00	0
发酵复方中草药(%)	0	0	0	2.00
乙氧基喹啉(%)	0.02	0.02	0.02	0.02
氯化胆碱(%)	0.10	0.10	0.10	0.10
总计(%)	100.00	100.00	100.00	100.00
粗蛋白(%)	18.54	18.42	18.50	18.56
钙(%)	0.64	0.62	0.61	0.62
总磷(%)	0.54	0.56	0.53	0.58
氯化钠(%)	0.43	0.43	0.43	0.43
粗灰分(%)	4.49	4.58	4.59	4.51
粗纤维(%)	2.38	2.44	2.39	2.43
消化能(MJ/kg)	14.37	14.32	14.36	14.33
赖氨酸(%)	1.28	1.28	1.28	1.29
蛋氨酸(%)	0.38	0.38	0.38	0.37
蛋氨酸+胱氨酸(%)	0.71	0.71	0.71	0.71
异亮氨酸(%)	0.70	0.70	0.70	0.70
苏氨酸(%)	0.85	0.85	0.85	0.85
色氨酸(%)	0.23	0.23	0.23	0.23
缬氨酸(%)	0.83	0.83	0.83	0.83

预混料为每 1.0 kg 饲粮中提供:维生素 A 8 000 IU,维生素 D<sub>3</sub> 1 800 IU,维生素 E 20 IU,维生素 K<sub>3</sub> 1.2 mg,维生素 B<sub>1</sub> 2.2 mg,维生素 B<sub>2</sub> 5.0 mg,泛酸 35.0 mg,吡哆醇 3.0 mg,钴胺素 25.0 μg,烟酰胺 12.0 mg,叶酸 1.5 mg,α-生物素 130.0 μg,铁(FeSO<sub>4</sub>) 125.0 mg,铜(CuSO<sub>4</sub>) 25.0 mg,锰(MnSO<sub>4</sub>) 30.0 mg,锌(ZnSO<sub>4</sub>) 80.0 mg,硒(Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>) 0.3 mg,碘(碘酸钙) 0.4 mg。

1.6.2 腹泻指数 每天观察记录断奶仔猪粪便和腹泻情况,按表 3 进行评分,评分由 5 人组成的评分组分别打分,取平均值。再计算断奶仔猪试验第1~2 周、第3~4 周和全期1~4 周的腹泻指数,腹泻指数=粪便评分之和/仔猪头数。

表 3 仔猪腹泻指数评分标准

Table 3 Diarrhea index scoring criteria for piglets

粪便外观	腹泻程度	腹泻评分
成形或粒状	正常	0
软粪,能成形	轻度	1
稠状,不成形	中度	2
液状,不成形	严重	3

1.6.3 免疫指标 在试验第 28 d,对断奶仔猪停料不停水 24 h,1 头采集 10 ml 前腔静脉血。将全血于 4 ℃ 静置 10 min 后,再经 3 000 r/min 离心 15 min,分离出血清。测定血清免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 M(IgM)及总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)和球蛋白(GLB)的含量。

1.6.4 血清脂与酶 包括谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、碱性磷酸酶(ALP)、乳酸脱氢酶(LDH)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)。

1.6.5 血清抗氧化指标 包括过氧化氢酶(CAT)、总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)及丙二醛(MDA)。

1.7 数据统计分析

试验数据用 IBM SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析,采用邓肯氏法多重比较检验, $P<0.05$  为差异显著,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪生长性能的影响

由表 4 可知,与对照组相比,粉碎中草药组断奶仔猪  $F/G$  显著降低 17.20% ( $P<0.05$ );中草药提取液组平均日增质量提高 28.86% ( $P<0.05$ ), $F/G$  显著降低 15.59% ( $P<0.05$ );发酵中草药组平均日增质量和平均日采食量分别显著提高 40.27% 和 16.82% ( $P<0.05$ ), $F/G$  显著降低 16.67% ( $P<0.05$ )。3 种加工方式中草药组间平均日增质量和  $F/G$  均无显著差异( $P>0.05$ );与粉碎中草药组相

比,中草药提取液组平均日采食量无显著差异( $P>0.05$ ),发酵中草药组仔猪平均日采食量显著提高 15.77% ( $P<0.05$ );平均日采食量在中草药提取液组与发酵中草药组间无显著差异( $P>0.05$ )。

表 4 不同加工方式中草药对断奶仔猪生长性能的影响

Table 4 Effects of different treatments of Chinese herbal medicine on growth performance of weaned piglets

处理	平均日增质量(g)	平均日采食量(g)	料质量比
对照	298±15b	553±20b	1.86±0.03a
粉碎中草药	362±31ab	558±21b	1.54±0.10b
中草药提取液	384±11a	603±13ab	1.57±0.03b
发酵中草药	418±11a	646±11a	1.55±0.02b

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.2 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪抗腹泻的影响

表 5 显示,相对于对照组,粉碎中草药组腹泻指数在试验各期均无显著变化( $P>0.05$ ),中草药提取液组腹泻指数在前期和后期无显著降低( $P>0.05$ ),但在全期显著降低 39.97% ( $P<0.05$ );发酵中草药组腹泻指数在前期、后期和全期分别降低 33.15%、74.96%和 46.71%,差异均显著( $P<0.05$ )。3 种加工方式中草药组间腹泻指数在前期和全期均无显著不同;在后期,仅发酵中草药组腹泻指数较粉碎中草药组显著降低 62.44% ( $P<0.05$ )。

表 5 不同加工方式中草药对断奶仔猪腹泻指数的影响

Table 5 Effects of different treatments of Chinese herbal medicine on diarrhea index of weaned piglets

处理	腹泻指数		
	1~2 周 (前期)	3~4 周 (后期)	1~4 周 (全期)
对照	9.05±0.50a	6.15±0.67a	6.38±0.54a
粉碎中草药	7.85±1.92ab	4.10±0.32ab	5.00±1.23ab
中草药提取液	7.85±2.79ab	2.31±0.67abc	3.83±1.68b
发酵中草药	6.05±0.50b	1.54±0.31c	3.40±0.42b

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.3 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪免疫性能的影响

表 6 显示,相对于对照组,粉碎中草药组仔猪血清球蛋白和总蛋白的含量均有显著提高( $P<0.05$ ),中草药提取液组血清免疫球蛋白 G、白蛋白、球蛋白和总蛋白的含量均显著提高( $P<0.05$ ),发酵中草药组血清免



疫球蛋白 G、免疫球蛋白 A、免疫球蛋白 M、白蛋白、球蛋白和总蛋白的含量分别显著提高 14.58%、15.38%、35.71%、39.57%、47.28%和 44.77% ( $P<0.05$ )。3 种加工方式中草药组间免疫球蛋白 G 和免疫球蛋白 M 水平均无显著不同 ( $P>0.05$ ), 中草药提取液组球蛋白含量较粉碎中草药组显著提高 15.00% ( $P<0.05$ )。发酵

中草药组球蛋白含量较粉碎中草药组和中草药提取液组分别显著提高 34.02%和 16.54% ( $P<0.05$ ), 免疫球蛋白 A 和白蛋白的含量较粉碎中草药组分别显著提高 13.64%和 22.47% ( $P<0.05$ ), 总蛋白含量较粉碎中草药组和中草药提取液组分别显著提高 30.20%和 14.12% ( $P<0.05$ )。

表 6 不同加工方式中草药对断奶仔猪免疫机能的影响

Table 6 Effects of different treatments of Chinese herbal medicine on immune function of weaned piglets

处理	免疫球蛋白 G 含量 (g/L)	免疫球蛋白 A 含量 (g/L)	免疫球蛋白 M 含量 (g/L)	球蛋白含量 (g/L)	总蛋白含量 (g/L)	白蛋白含量 (g/L)
对照	1.44±0.07b	0.65±0.01b	0.14±0.01b	30.33±0.58d	44.67±0.58c	14.33±1.15c
粉碎中草药	1.51±0.05ab	0.66±0.01b	0.16±0.02ab	33.33±0.58c	49.67±0.58b	16.33±0.58bc
中草药提取液	1.63±0.05a	0.72±0.04ab	0.17±0.01ab	38.33±1.15b	56.67±1.53b	18.33±0.58ab
发酵中草药	1.65±0.09a	0.75±0.05a	0.19±0.02a	44.67±1.53a	64.67±1.53a	20.00±0a

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.4 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪血清脂和酶的影响

由表 7 可知, 发酵中草药组各血清脂和酶指标含量最低。与对照组相比, 粉碎中草药组断奶仔猪血清各脂、酶含量均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 中草药提取液组血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶和碱性磷酸酶的含量分别显著降低 20.34%、18.75%和 9.88% ( $P<0.05$ ), 发酵中草药组总胆固醇、甘油三酯、谷丙转氨酶、谷草转氨酶和碱性磷酸酶的含量分别显著

降低 27.46%、20.51%、28.82%、23.12%和 14.70% ( $P<0.05$ )。3 种加工方式中草药组间甘油三酯、谷草转氨酶、碱性磷酸酶和乳酸脱氢酶均无显著变化 ( $P>0.05$ ), 发酵中草药组总胆固醇含量较粉碎中草药组和中草药提取液组分别显著降低 22.18%和 10.46% ( $P<0.05$ ), 发酵中草药组和中草药提取液组谷丙转氨酶含量较粉碎中草药组分别显著降低 25.00%和 16.07% ( $P<0.05$ )。

表 7 不同加工方式中草药对断奶仔猪血清脂和酶的影响

Table 7 Effects of different treatments of Chinese herbal medicine on serum lipids and enzymes of weaned piglets

处理	总胆固醇含量 (mmol/L)	甘油三酯含量 (mmol/L)	谷丙转氨酶含量 (U/L)	谷草转氨酶含量 (U/L)	碱性磷酸酶含量 (U/L)	乳酸脱氢酶含量 (U/L)
对照	2.95±0.14a	0.39±0.02a	78.67±2.52a	53.33±1.15a	283.33±3.51a	580.33±57.27a
粉碎中草药	2.75±0.11a	0.38±0.02ab	74.67±1.53a	45.33±2.52ab	260.67±7.51ab	544.67±19.86a
中草药提取液	2.39±0.01a	0.34±0.01ab	62.67±2.08b	43.33±1.15b	255.33±2.52b	528.67±33.26a
发酵中草药	2.14±0.04b	0.31±0.01b	56.00±1.00b	41.00±1.00b	241.67±6.51b	486.33±2.52a

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

## 2.5 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪抗氧化性能的影响

由表 8 可知, 与对照组相比, 粉碎中草药组断奶仔猪血清总抗氧化能力和超氧化物歧化酶含量分别显著提高 15.50%和 10.76% ( $P<0.05$ ); 中草药提取液组谷胱甘肽过氧化物酶含量、总抗氧化能力和超氧化物歧化酶含量分别显著提高 12.02%、22.51%和 16.73% ( $P<0.05$ ), 丙二醛含量显著降低 24.41% ( $P<0.05$ ); 发酵中草药组谷胱甘肽过氧化物酶含量、过氧

化氢酶含量、总抗氧化能力和超氧化物歧化酶含量分别显著提高 13.17%、50.44%、42.80%和 38.42% ( $P<0.05$ ), 丙二醛含量显著降低 33.66% ( $P<0.05$ )。3 种加工方式中草药组间谷胱甘肽过氧化物酶含量和丙二醛含量均无显著差异 ( $P>0.05$ ); 发酵中草药组总抗氧化能力和过氧化氢酶含量较粉碎中草药组分别显著提高 23.64%和 45.15% ( $P<0.05$ ), 超氧化物歧化酶含量较粉碎中草药组和中草药提取液组分别显著提高 24.98%和 18.59% ( $P<0.05$ )。

表 8 不同加工方式中草药对断奶仔猪血清抗氧化性能的影响

Table 8 Effects of different treatments of Chinese herbal medicine on serum antioxidant properties of piglets

处理	总抗氧化能力 (U/ml)	谷胱甘肽过氧化物酶含量 ( $\mu\text{mol/L}$ )	过氧化氢酶含量 (U/ml)	超氧化物歧化酶含量 (U/ml)	丙二醛含量 (nmol/ml)
对照	2.71 $\pm$ 0.06c	427.31 $\pm$ 9.17b	38.98 $\pm$ 0.90b	143.54 $\pm$ 1.96c	5.08 $\pm$ 0.06a
粉碎中草药	3.13 $\pm$ 0.08b	443.19 $\pm$ 15.84ab	40.40 $\pm$ 1.97b	158.98 $\pm$ 3.30b	4.19 $\pm$ 0.35ab
中草药提取液	3.32 $\pm$ 0.11ab	478.68 $\pm$ 5.75a	53.70 $\pm$ 5.12ab	167.55 $\pm$ 3.06b	3.84 $\pm$ 0.14b
发酵中草药	3.87 $\pm$ 0.03a	483.60 $\pm$ 10.55a	58.64 $\pm$ 2.47a	198.69 $\pm$ 6.18a	3.37 $\pm$ 0.10b

同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

3 讨论

3.1 不同加工方式中草药对断奶仔猪生长性能的影响

研究结果表明,发酵绞股蓝、地黄根等中药可促进断奶仔猪生长代谢,减少粪便有害气体排放<sup>[12]</sup>。断奶仔猪饲喂 0.40% 由乳酸菌、芽孢杆菌和酵母菌发酵的党参、黄芪等 5 种复方中草药,ADG 显著提高 25.05%、F/G 显著降低 25.00%<sup>[13]</sup>,本试验发酵中草药组与上述结果较为相似。用乳酸菌、枯草芽孢杆菌和酵母菌发酵黄芪、白术等复方中草药,2.00% 发酵中草药组较未发酵组断奶仔猪 ADG 显著提高<sup>[14]</sup>。本试验发酵中草药组 ADG 较对照组显著提高,较未发酵粉碎中草药组 ADG 有一定程度提高,而粉碎中草药组 ADG 较对照组无显著提高。中草药坚硬的细胞壁主要含木质素、纤维素、果胶等结构成分,因不易被裂解,影响胞内活性成分的释放,从而影响中草药的功效。本试验采用芽孢杆菌先好氧、乳酸菌后厌氧,并与纤维素酶协同的异步发酵方式,试验结果不仅提示菌酶共同发酵能较充分降解中草药致密的细胞壁结构,更多地释放被细胞壁包裹的胞内活性物质,还说明过 40 目筛的粉碎加工处理方式对中草药细胞壁的分解作用仍有限。此外,菌酶协同异步发酵还产生大量有机酸和内源性酶,能够减轻中草药苦味,改善饲料适口性,促进消化吸收<sup>[15]</sup>,从而改善断奶仔猪生长、降低料质量比。本试验中草药提取液组较无中草药对照组显著提高断奶仔猪平均日增质量,而粉碎中草药组平均日增质量与对照组差异不显著,说明中草药的煎煮水提取加工方式与普通粉碎处理对仔猪生长性能的影响不同。

3.2 菌酶协同异步发酵中草药对断奶仔猪腹泻与免疫功能的影响

健康仔猪胃肠道微生物保持相对稳定状态,断

奶应激使肠壁黏膜屏障功能受损,消化功能紊乱,同时自身免疫机制还未成熟,致病性微生物大量繁殖,腹泻频发<sup>[16]</sup>。张玉千<sup>[17]</sup>用嗜酸乳杆菌、安琪啤酒酵母和植物乳杆菌发酵五倍子、女贞子、山楂、甘草和厚朴等中药渣,仔猪经饲喂后,腹泻率显著降低 73.65%。发酵复方中草药使仔猪腹泻率显著降低 65.23%<sup>[18]</sup>。添加 0.20% 发酵茯苓、黄芪、陈皮等复方中草药,断奶仔猪血清 IgG 含量和 TP 含量分别显著提高 9.78% 和 6.48%,IgA 含量和 IgM 含量无显著不同<sup>[19]</sup>。本试验发酵中草药具有抗腹泻和增强免疫功能作用,较对照组腹泻指数在试验各期均显著降低,试验 4 周后腹泻指数下降 46.71%,血清 IgG、IgA、IgM、ALB、GLB、TP 含量均显著提高,与上述研究结果稍有差异,这与复方中草药配伍、功效和发酵处理有关。本试验所选十大功劳叶能消炎止泻<sup>[20]</sup>,石榴皮鞣花酸具有修复肠道损伤和抗腹泻功能<sup>[21]</sup>,马齿苋粗多糖能抑制有害微生物<sup>[22]</sup>,苦木能燥湿止痢<sup>[23]</sup>,苦木、马齿苋中所含生物碱类、皂苷类化合物有抑菌抗病毒和增强机体免疫力功效<sup>[24-25]</sup>。发酵中药还可完善肠道功能<sup>[26]</sup>,促进对饲料的消化吸收。粉碎中草药组较对照组腹泻指数及 IgG、IgA、IgM、ALB 含量无显著变化,提示与普通粉碎加工对中草药细胞壁物理破壁不充分有关。中草药提取液组较对照组腹泻指数降低,血清 IgG、ALB、GLB、TP 含量均显著提高,反映中草药水提取工艺能增强药效,石榴皮提取物中鞣花酸能减轻小鼠结肠炎症状的结果间接佐证此推测<sup>[27]</sup>。

3.3 不同加工方式中草药对断奶仔猪血清脂、酶的影响

TC、TG 含量是机体对脂类物质吸收利用的指标。添加由当归、川芎等 13 种原料配伍的复方中草药,家兔血清 TC、TG 含量分别显著降低 9.67% 和 40.00%<sup>[28]</sup>。本试验发酵中草药组仔猪血清脂含量

较对照组均显著降低,粉碎中草药组和中草药提取液组均无显著变化,表明发酵中草药能增强仔猪脂肪代谢、降低体内脂肪沉积,其机理尚需进一步研究。

血清酶反映机体物质代谢和健康状况。*ALT*、*AST* 和 *ALP* 主要存在于肝细胞胞浆和线粒体中,反映肝脏代谢机能和损伤程度。*LDH* 主要存在于肾脏中,与细胞活性功能相关。添加由杜仲、黄芪、山楂、甘草配伍的复方中草药,仔猪血清 *ALT*、*AST* 含量分别显著降低 6.02% 和 7.86%<sup>[29]</sup>。发酵北苍术组断奶仔猪血清 *ALT* 含量显著降低 3.81%,*AST* 含量无显著变化<sup>[30]</sup>。本试验结果显示,与对照组相比,中草药提取液组和发酵中草药组均显著降低仔猪血清 *AST*、*ALT* 和 *ALP* 的水平,而添加粉碎中草药不能显著改善血清酶的含量,这与上述结果存在一定差异,推测与复方中草药组成及加工方式有关。本试验苦木中所含苦木总生物碱具有降低转氨酶活性功效<sup>[25]</sup>,尤其是中草药经长时间高温煎煮提取或发酵处理,细胞内生物碱类、粗多糖等有效物质能更多释放,药效增强,保证了仔猪肝脏等器官的正常发育和健康。

### 3.4 不同加工方式中草药对断奶仔猪血清抗氧化性能的影响

抗氧化能力反映动物机体应激程度和健康状况。断奶应激反应使仔猪机体自由基代谢失常,抗自由基系统损伤过度,诱发疾病。研究结果表明,发酵中草药组较对照组仔猪血清 *GSH-PX* 含量、*SOD* 含量和 *T-AOC* 分别显著提高 21.46%、15.75% 和 16.71%,*MDA* 含量显著降低 24.87%<sup>[14]</sup>。断奶仔猪饲喂经枯草芽孢杆菌发酵的中草药,血清总超氧化物歧化酶含量和 *GSH-PX* 含量显著提高,*MDA* 含量无显著不同<sup>[31]</sup>。用植物乳杆菌发酵黄芩药渣比未发酵组和对照组有更明显的抗氧化功能<sup>[32]</sup>。本试验发酵中草药组断奶仔猪血清 *T-AOC* 和 *GSH-PX*、*SOD*、*CAT* 含量较对照组均显著提高,*MDA* 含量显著降低,较粉碎中草药组 *T-AOC* 和 *SOD*、*CAT* 含量均显著提高;中草药提取液组较对照组 *T-AOC* 和 *GSH-PX*、*SOD* 含量均显著提高,*MDA* 含量显著降低,这是由于本试验所用十大功劳叶、鬼针草、石榴皮和马齿苋均有抗氧化功效<sup>[24,33-35]</sup>,石榴皮多糖、马齿苋有还原能力和清除自由基作用<sup>[36-37]</sup>。但除 *T-AOC* 和 *SOD* 含量外,粉碎中草药组并未显著改善仔

猪血清抗氧化功能,而菌酶协同异步发酵中草药能增加中草药抗氧化等活性成分的释放。中草药经混菌发酵后,纤维含量显著降低,且发酵后大部分物质含量有不同程度提高<sup>[38]</sup>。

## 4 结论

与对照和粉碎中草药相比,采用菌酶协同异步发酵十大功劳叶、苦木、石榴皮、鬼针草、马齿苋配伍的抑菌性复方中草药,可改善断奶仔猪生长状况,减少腹泻,提高机体代谢、免疫、抗氧化功能,其机制可能是中草药的抑菌功效、菌酶裂解中草药细胞壁后增加中草药活性成分的释放功效以及活菌等发酵代谢产物对胃肠道菌群平衡调控的三重叠加作用。

### 参考文献:

- [1] 赵军宁. 中药复方适度调节原理与中药复方新药转化中的药理学问题[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(5): 836-843.
- [2] 胡念青. 中草药复方对保育仔猪脾脏抗氧化和抗炎功能的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [3] 李琳倩, 张云龙, 刘日亮, 等. 中草药添加剂对后备母猪生长性能、发情率、血清指标和肠道微生物的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(6): 2586-2600.
- [4] 李秋月, 林连兵, 杨雪娇, 等. 微生物发酵中草药的研究现状[J]. 微生物学通报, 2021, 48(6): 2232-2244.
- [5] LI L, WANG L, FAN W X, et al. The application of fermentation technology in traditional Chinese medicine: a review[J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2020, 48(4): 899-921.
- [6] WANG R, CAI W T, WANG X L, et al. Progress in Chinese medicine-probiotics compound microecological preparations for livestock and poultry[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2019, 35(6): 972-987.
- [7] 刘波, 张鹏翼, 孟祥璟, 等. 益生菌发酵中药方法概述及其应用研究进展[J]. 中国现代中药, 2020, 22(10): 1741-1750.
- [8] DONG W W, XUAN F L, ZHANG W L, et al. Comparative analysis of the rats' gut microbiota composition in animals with different ginsenosides metabolizing activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(2): 327-337.
- [9] GUEVARRA R B, HONG S H, CHO J H, et al. The dynamics of the piglet gut microbiome during the weaning transition in association with health and nutrition[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9(1): 1-9.
- [10] 吴东, 计徐, 周芬, 等. 发酵中草药添加剂对仔猪生长性能、血清免疫指标及肠道菌群的影响[J]. 养猪, 2021(6): 11-14.
- [11] 郭建来, 魏红芳, 吴金梅, 等. 发酵复方党参对断奶仔猪生长性能和血清免疫球蛋白含量的影响[J]. 现代牧业, 2020, 4(3): 10-13.



- [12] ZHAO P Y, LIN H L, LEI Y, et al. Effect of fermented medicinal plants on growthperformance nutrient digestibility fecalnoxious gas emissions and diarrhea score inweanling pigs[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(4): 1269-1274.
- [13] 邹志恒,季华员,陈小连,等. 复方中草药发酵制剂对断奶仔猪生长性能、免疫功能和血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(4): 1038-1044.
- [14] 方磊涵,王中华,王 留. 中药复方发酵剂对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化活性及肠道菌群的影响[J]. 饲料研究, 2019, 42(8): 11-15.
- [15] 徐博成,路则庆,邓近平,等. 发酵饲料对断奶仔猪和生长育肥猪生长性能影响的 Meta 分析[J]. 饲料工业, 2018, 39(24): 40-48.
- [16] 史自涛,姚焰础,江 山,等. 粪肠球菌替代抗生素对断奶仔猪生长性能、腹泻率、血液生化指标和免疫器官的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(6): 1832-1840.
- [17] 张玉千. 发酵中药渣对断奶仔猪生长性能、肠道菌群及免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(11): 47-49.
- [18] 侯海峰,李 茜. 发酵中草药渣对断奶仔猪生长性能及肠道健康的影响[J]. 中国饲料, 2017(21): 21-24.
- [19] 高鹏辉,王宏展,邓晓敏,等. 发酵复方中草药的不同添加量对断奶仔猪的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(19): 30-33.
- [20] 李燕婧,钟正贤,陈学芬,等. 长柱十大功劳叶与阔叶十大功劳水提物药理作用比较[J]. 中医药导报, 2010, 16(9): 92-93, 96.
- [21] ZHAO S S, MA D X, ZHU Y, et al. Antidiarrheal effect of bioactivity-guided fractions and bioactive components of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels[J]. Neurogastroenterology and Motility, 2018, 30(7): 1-10.
- [22] 库尔班·吾斯曼,穆赫塔尔·伊米尔艾山,帕提古丽·伊米尔艾山. 马齿苋子中多糖的提取分离及抑菌活性研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(7): 28-30.
- [23] NIHO Y, MITSUNAGA K, KOIKE K, et al. Studies on the gastric antiulcer components from the woods of *Picrasma quassioides* (Simaroubaceae)[J]. Natural Medicines, 1994, 48(2): 116-121.
- [24] 冯津津. 马齿苋的化学成分及药理作用研究进展[J]. 云南中医中药杂志, 2013, 34(7): 66-68.
- [25] 赵文娜,张新新,谢人明,等. 苦木化学成分和药理作用研究进展[J]. 中药材, 2011, 34(7): 1149-1152.
- [26] WANG Y B, XIE Q H, SUN S, et al. Probiotics-fermented *Massa Medicata Fermentata* ameliorates weaning stress in piglets related to improving intestinal homeostasis[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(24): 10713-10727.
- [27] LARROSA M, TOMAS-BARBERAN F A, ESPIN J C. The dietary hydrolysable tannin punicalagin releases ellagic acid that induces apoptosis in human colon adenocarcinoma Caco-2 cells by using the mitochondrial pathway[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2006, 17(9): 611-625.
- [28] 黄伟煌,吴德峰,郑真珠,等. 中草药降低生态兔胆固醇和血清酶生化指标的试验研究[J]. 中国养兔, 2013(1): 4-7.
- [29] 骆 雪,俞伟辉. 复方中草药添加剂对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及免疫指标的影响[J]. 饲料研究, 2021, 18: 40-43.
- [30] 王利军,赵文文,么恩悦,等. 发酵北苍术对断奶仔猪血清免疫和生化指标的影响[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(10): 35-41.
- [31] 何维敏,李筱雯,况世昌,等. 发酵中药微生态制剂对断奶仔猪生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(18): 121-124.
- [32] 安 琦,曹亚彬,牛彦波,等. 发酵黄芩药渣对仔猪生长性能、氧化应激及免疫功能的影响[J]. 饲料工业, 2021, 42(6): 17-21.
- [33] 贾 谏,陈 庄,陈中健,等. 鬼针草属植物化学成分、药理作用及其在畜牧生产上的研究进展[J]. 中国畜牧兽医生, 2013, 40(8): 199-203.
- [34] 李 佳,陈皓玉,张文慧,等. 石榴皮中酚类化合物药理作用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(12): 4-6.
- [35] HE J M, MU Q, WANG C L, et al. The medicinal uses of the genus *Mahonia* in traditional Chinese medicine: an ethnopharmacological, phytochemical and pharmacological review[J]. Journal of Ethnopharmacol, 2015, 175: 668-683.
- [36] ZHAI X C, ZHU C P, ZHANG Y, et al. Chemical characteristics, antioxidant capacities and hepatoprotection of polysaccharides from pomegranate pee[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 202: 461-469.
- [37] MOHAMED A D, AHMED E A, SALEH A Q, et al. Antioxidant effect of purslane (*Pertulaca oleracea*) and its mechanism of action[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5(9): 1589-1563.
- [38] 戴 荣. 中草药混菌发酵生产新型生物制剂的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.

(责任编辑:张震林)