

# 发酵中药渣对妊娠母猪粪便微生物及代谢产物的影响

黎智华<sup>1,2</sup>, 苏家宜<sup>1</sup>, 李华伟<sup>1</sup>, 印遇龙<sup>1</sup>, 王德云<sup>2</sup>, 孔祥峰<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室 湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心 畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室, 长沙 410125; <sup>2</sup>南京农业大学 动物医学院, 南京 210095; <sup>3</sup>湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 长沙 410128

**摘要:** 为了研究发酵中药渣对妊娠母猪粪便微生物数量及代谢产物含量的影响, 选用预产期相近的长白×大白二元妊娠母猪 75 头, 随机分为 3 组, 每组 25 个重复。对照组饲喂基础饲料, 试验组分别在基础饲料中添加 1.5 kg/t 的中药渣(中药渣组)和发酵中药渣(发酵中药渣组)。分别于妊娠第 30、60 和 90 d 每组选取 8 头母猪采集新鲜粪便, 利用 qRT-PCR 法检测其中拟杆菌门、厚壁菌门和乳酸杆菌的数量, 利用气相色谱和液相色谱法分析其中短链脂肪酸和生物胺的含量。结果表明: 与对照组相比, 中药渣组和发酵中药渣组妊娠第 30 和 90 d 粪便中拟杆菌门数量显著增加( $P < 0.05$ ), 妊娠第 90 d 中药渣组乳酸杆菌数量显著降低、发酵中药渣组厚壁菌门和乳酸杆菌数量显著增加( $P < 0.05$ ); 中药渣组妊娠第 60 d 色胺、尸胺和总生物胺含量以及妊娠第 90 d 苯乙胺、尸胺和总生物胺含量均显著升高( $P < 0.05$ ), 发酵中药渣组妊娠第 60 d 丁酸和色胺含量以及妊娠第 60 和 90 d 乙酸、丙酸、直链脂肪酸、总短链脂肪酸、精胺、苯乙胺、尸胺和总生物胺含量均显著升高( $P < 0.05$ )。由此可见, 发酵中药渣可改善妊娠母猪肠道微生物菌群平衡, 增加粪便短链脂肪酸和部分生物胺含量, 这有利于妊娠母猪的肠道健康。

**关键词:** 发酵中药渣; 妊娠母猪; 粪便; 微生物; 代谢产物

中图分类号: S853.74

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2017.S.032

## Effects of Fermented Chinese Herbal Residues on Fecal Microbe Quantity and Metabolites in Pregnant Sows

LI Zhi-hua<sup>1,2</sup>, SU Jia-yi<sup>1</sup>, LI Hua-wei<sup>1</sup>, YIN Yu-long<sup>1</sup>, WANG De-yun<sup>2</sup>, KONG Xiang-feng<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Hunan Provincial Engineering Research Center of Healthy Livestock, National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

<sup>2</sup>College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

<sup>3</sup>Hunan Co-Innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of fermented Chinese herb residues (CHR) on fecal microbe quantity and metabolites in pregnant sows. A total of 75 Landrace × Large White sows with same expected date of delivery were randomly allocated to one of three treatment groups with 25 replicates per treatment. The animals in the control group were fed a basal diet, while in CHR group fed a diet supplemented with 1.5 kg/t CHR, and in fermented CHR group fed a diet supplemented with 1.5 kg/t fermented CHR. Eight sows per treatment group were randomly selected on days 30, 60 and 90 of pregnancy and the samples of faeces were collected. The fecal quantities of *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, and *Lactobacillus* were detected by qRT-PCR. The contents of short-chain fatty acid (SCFA) and bioamine in feces were analyzed using gas chromatography and liquid chromatography, respectively. The results showed that, compared with the control group, the fecal quantities of *Bacteroidetes* on days 30 and 90 of pregnancy in the CHR and fermented CHR groups increased ( $P < 0.05$ ); the fecal quantities of *Lactobacillus* in the CHR group decreased ( $P < 0.05$ ) and *Firmicutes* and *Lactobacillus* increased ( $P < 0.05$ ) in the fermented CHR group on day 90 of pregnancy. The con-

收稿日期: 2017-03-24

接受日期: 2017-05-02

基金项目: 湖南省战略性新兴产业科技攻关项目(2014GK1007);

中央驻湘科研机构技术创新发展专项(2013TF3006);

中国工程院咨询研究项目(2015-XY-41)

\* 通信作者 E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

tents of tryptamin, cadaverine, and total bioamine in the CHR group increased ( $P < 0.05$ ) on day 60 of pregnancy, as well as phenylethylamine, cadaverine, and total bioamine on day 90 of pregnancy; the contents of butyrate and

tryptamine in the fermented CHR group on day 60 of pregnancy increased ( $P < 0.05$ ), as well as acetate, propionate, straight-chain fatty acid, total SCFA, spermine, phenylethylamine, cadaverine, and total bioamine on days 60 and 90 of pregnancy. These findings suggested that dietary supplementation with fermented CHR can improve the balance of intestinal microflora, and increase the fecal contents of SCFA and some bioamines of pregnant sows, which benefit the intestinal health of host.

**Key words:** fermented Chinese herb residues; pregnant sows; faeces; microbe; metabolites

在养猪生产中,母猪的健康状况和繁殖性能直接影响猪场的经济效益。目前,养猪场通过添加抗生素来缓解规模化养殖过程中母猪群发病和繁殖障碍等问题,而抗生素的使用不仅抑杀有害菌,同时也抑杀有益菌,导致肠道菌群紊乱<sup>[1]</sup>。因此,研发绿色、高效的抗生素替代品已成为养殖业的迫切需求。中药渣中残留有一定量的粗蛋白质、粗脂肪和氨基酸等营养物质<sup>[2]</sup>以及多糖、黄酮和皂苷等生物活性物质。将中药渣进行发酵处理,可降解其中的纤维素等抗营养因子,并产生新的生物活性物质,从而使其发挥增强免疫、改善代谢和促进生长等保健作用<sup>[3]</sup>。例如,清瘟败毒中药渣能提高獭兔生产性能和免疫力<sup>[4]</sup>;发酵银杏产物可提高肉鸡生长性能、增强免疫和抑制盲肠致病性大肠杆菌的产生<sup>[5]</sup>;饲料添加熟地、山楂等发酵中药渣可提高断奶仔猪的生长性能和养分消化率<sup>[6]</sup>;发酵黄芪和当归等中药渣可提高母猪的繁殖性能和仔猪的生长性能<sup>[7]</sup>。笔者前期研究也发现,发酵中药渣可改善母猪机体代谢、增强免疫力<sup>[8]</sup>。所以,发酵中药渣作为新型饲料添加剂,具有很大的研究价值。肠道微生物及其代谢产物对维持动物生长发育、代谢和免疫等生理功能稳态具有重要作用<sup>[9]</sup>,母体肠道微生物代谢还可影响胎儿的生长发育<sup>[10]</sup>。目前关于中药渣对母猪肠道微生物代谢方面的研究较少。因此,本试验进一步研究了中药渣及其发酵产物对妊娠母猪粪便微生物数量及代谢产物的影响,为开发发酵中药渣作为功能性饲料添加剂提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 发酵中药渣的制备

试验选用水提后的黄芪3份、绞股蓝3份、杜仲

叶4份、人参6份、熟地黄8份、地骨皮2份、麦冬2份、茯苓2份、杜仲2份和甘草2份等中药渣(以干品计),由湖南圣雅凯生物科技有限公司提供。其中,黄芪、绞股蓝、杜仲叶、地骨皮、杜仲和甘草等中药渣混合后接种6.0%芽孢杆菌(含枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌,活菌量 $\geq 4 \times 10^9$  cfu/g),置于30℃条件下发酵,待温度升至50℃后,每天翻动2次,保温发酵3天;人参、熟地黄、麦冬和茯苓等中药渣加入等量的麸皮与次粉混合,接种1.0%复合菌种(含酵母菌、丁酸梭菌和乳酸菌,活菌量 $\geq 2 \times 10^9$  cfu/g),置于32~36℃条件下发酵2d。将两种发酵物混合后,再发酵2d。真空干燥,粉碎后包装。经测定,中药渣和发酵中药渣中干物质、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪、总能和粗纤维的含量分别为89.37%和97.25%、9.42%和13.16%、12.51%和21.65%、5.95%和0.11%、15.90和14.65 MJ/kg、9.84%和3.90%。

### 1.2 试验动物、分组与饲养管理

动物饲养试验于2015年6月~10月在中国科学院亚热带农业生态研究所新五丰永安实验基地进行。试验选用临床健康、预产期基本一致的3~5胎次妊娠长白×大白二元母猪75头,采用单因子完全随机设计分成3组,每组25头,单栏饲养。对照组饲喂基础饲料,中药渣组和发酵中药渣组分别饲喂添加1.5 kg/t的中药渣和发酵中药渣的饲料。试验周期为妊娠第1~90 d。妊娠母猪基础饲料参照NRC(2012)营养需要配制成粉料,其组成及营养成分见表1。其他日常管理遵循猪场正常管理程序进行。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

原料 Ingredients	比例 Ratio (%)	营养成分 Nutrient <sup>2</sup>	含量 Content (%)
玉米 Corn	60.30	消化能 DE (MJ/Kg)	15.23
麦麸 Wheat bran	23.50	粗脂肪 EE	5.16

续表 1 (Continued Tab. 1)

原料 Ingredients	比例 Ratio (%)	营养成分 Nutrient <sup>2</sup>	含量 Content (%)
豆粕 Soybean meal	12.00	粗纤维 CF	3.60
赖氨酸 Lys	0.12	粗蛋白 CP	14.17
苏氨酸 Thr	0.03	粗灰分 Ash	5.61
防霉剂 Anti-mildew agent	0.05	赖氨酸 Lys	0.98
预混料 premix <sup>1</sup>	4.00	蛋氨酸 Met	0.12
合计 Total	100.00	苏氨酸 Thr	0.68

注:<sup>1</sup> 预混料组成分别符合 NRC(2012)推荐的妊娠母猪营养需要量。The composition of premix meets the nutritional needs that NRC (2012) recommended for pregnant sows.

<sup>2</sup> 消化能为计算值,其余指标为实测值。DE is calculated value, and others are measured values.

### 1.3 粪便微生物数量及代谢产物的测定

分别于妊娠第 30、60 和 90 d, 每组随机选取 8 头母猪, 采集新鲜粪便, 装入 10 mL 无菌离心管中-80 °C 保存。参考焦金真等<sup>[11]</sup>的方法测定并计算粪便中拟杆菌门、厚壁菌门和乳酸杆菌的数量, 结果均以每克粪便中含有的微生物拷贝数的对数值 [lg

(copies/g)] 表示。微生物绝对定量 PCR 的特异性引物见表 2, 由上海生工基因技术有限公司合成。采用气相色谱(安捷伦 7890A)测定粪便中短链脂肪酸(SCFA)的含量<sup>[12]</sup>, 采用液相色谱仪(安捷伦 1260)检测粪便中生物胺的含量<sup>[13]</sup>。

表 2 细菌的特异性引物序列

Table 2 Group-specific primer sequences for bacteria

细菌 Bacteria	序列 Sequence (5'-3')	产物大小 Product size (bp)
拟杆菌门 <i>Bacteroidetes</i>	F: GGARCATCTGGTTTAATTCGATGAT R: AGCTGACGACAACCATGCAG	126
厚壁菌门 <i>Firmicutes</i>	F: GGAGYATGTGGTTTAATTCGAAGCA R: AGCTGACGACAACCATGCAC	126
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i>	F: AGCAGTAGGGAATCTTCCA R: ATTCCACCCTACACATG	345

### 1.4 数据处理

数据用 SAS 9.2 软件进行方差分析。同一妊娠期不同饲料组间的数据进行单因素方差分析, 采用 Duncan 氏法进行多重比较, 以“平均值 ± 标准误”表示统计结果。 $P < 0.05$  为差异显著,  $0.05 \leq P < 0.1$  为有变化趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵中药渣对妊娠母猪粪便微生物数量的影响

由表 3 可知, 妊娠第 30 和 90 d 时, 中药渣组和发酵中药渣组粪便拟杆菌门细菌数量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 妊娠第 90 d 时, 中药渣组乳酸杆菌数量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 发酵中药渣组厚壁菌门和乳酸杆菌数量显著高于对照组和中药渣组 ( $P < 0.05$ )。

表 3 发酵中药渣对妊娠母猪粪便中微生物数量的影响 ( $n = 8$ )Table 3 Effects of fermented Chinese herb residues (CHR) on fecal microbial quantity in pregnant sows ( $n = 8$ )

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
拟杆菌门 <i>Bacteroidetes</i>	30	9.20 ± 0.09 <sup>b</sup>	9.63 ± 0.07 <sup>a</sup>	9.52 ± 0.08 <sup>a</sup>
	60	9.32 ± 0.07	9.56 ± 0.08	9.40 ± 0.07
[lg(copies/g)]	90	9.14 ± 0.05 <sup>b</sup>	9.40 ± 0.03 <sup>a</sup>	9.53 ± 0.07 <sup>a</sup>

续表 3 (Continued Tab. 3)

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
厚壁菌门 <i>Firmicutes</i>	30	9.54 ± 0.06	9.79 ± 0.08	9.65 ± 0.07
	60	9.56 ± 0.07	9.73 ± 0.11	9.63 ± 0.08
[lg(copies/g)]	90	9.44 ± 0.06 <sup>b</sup>	9.38 ± 0.05 <sup>b</sup>	9.67 ± 0.08 <sup>a</sup>
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i>	30	6.87 ± 0.19	7.14 ± 0.27	6.92 ± 0.14
	60	6.26 ± 0.19	6.74 ± 0.38	6.36 ± 0.13
[lg(copies/g)]	90	6.84 ± 0.05 <sup>b</sup>	6.38 ± 0.11 <sup>c</sup>	7.33 ± 0.22 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示同行数据间比较差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: different lowercase letters in the same row significantly differ ( $P < 0.05$ ). The same as below.

## 2.2 发酵中药渣对母猪粪便短链脂肪酸含量的影响

由表 4 可见,与对照组相比,中药渣组 SCFA 含量均无显著差异。妊娠第 30 d 时,发酵中药渣组异戊酸和支链脂肪酸含量显著高于中药渣组 ( $P < 0.05$ );妊娠第 60 d 时,发酵中药渣组乙酸、丙酸、直链脂肪酸和总 SCFA 含量显著高于对照组和中药渣组 ( $P < 0.05$ ),丁酸含量显著高于中药渣组 ( $P < 0.05$ );妊娠第 90 d 时,发酵中药渣组乙酸、丙酸、直链脂肪酸和总 SCFA 含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

05);妊娠第 60 d 时,发酵中药渣组乙酸、丙酸、直链脂肪酸和总 SCFA 含量显著高于对照组和中药渣组 ( $P < 0.05$ ),丁酸含量显著高于中药渣组 ( $P < 0.05$ );妊娠第 90 d 时,发酵中药渣组乙酸、丙酸、直链脂肪酸和总 SCFA 含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

表 4 发酵中药渣对妊娠母猪粪便中短链脂肪酸含量的影响 ( $n = 8$ )Table 4 Effects of fermented Chinese herb residues (CHR) on fecal contents of short-chain fatty acids (SCFA) in pregnant sows ( $n = 8$ )

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
乙酸 Acetate (mg/g)	30	5.84 ± 0.50	5.79 ± 0.45	8.30 ± 2.52
	60	5.39 ± 0.20 <sup>b</sup>	5.42 ± 0.59 <sup>b</sup>	8.43 ± 0.74 <sup>a</sup>
	90	4.04 ± 0.27 <sup>b</sup>	4.65 ± 0.14 <sup>ab</sup>	5.18 ± 0.38 <sup>a</sup>
丙酸 Propionate (mg/g)	30	2.50 ± 0.13	2.75 ± 0.16	2.57 ± 0.44
	60	2.41 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.27 ± 0.29 <sup>b</sup>	3.53 ± 0.35 <sup>a</sup>
	90	2.11 ± 0.13 <sup>b</sup>	2.34 ± 0.04 <sup>ab</sup>	2.60 ± 0.17 <sup>a</sup>
丁酸 Butyrate (mg/g)	30	1.71 ± 0.09	1.40 ± 0.14	1.77 ± 0.35
	60	1.68 ± 0.15 <sup>ab</sup>	1.40 ± 0.22 <sup>b</sup>	2.17 ± 0.18 <sup>a</sup>
	90	1.05 ± 0.12	0.92 ± 0.11	0.96 ± 0.08
戊酸 Valerate (mg/g)	30	0.36 ± 0.06	0.33 ± 0.04	0.50 ± 0.08
	60	0.41 ± 0.04	0.33 ± 0.04	0.48 ± 0.05
	90	0.14 ± 0.03	0.17 ± 0.05	0.22 ± 0.04
直链脂肪酸 Straight-chain fatty acids (mg/g)	30	10.40 ± 0.69	10.27 ± 0.59	13.14 ± 3.05
	60	9.89 ± 0.28 <sup>b</sup>	9.43 ± 0.94 <sup>b</sup>	14.61 ± 1.03 <sup>a</sup>
	90	7.33 ± 0.43 <sup>b</sup>	8.08 ± 0.22 <sup>ab</sup>	8.96 ± 0.42 <sup>a</sup>
异丁酸 Isobutyrate (mg/g)	30	0.27 ± 0.03	0.26 ± 0.02	0.37 ± 0.06
	60	0.35 ± 0.04	0.27 ± 0.01	0.28 ± 0.04
	90	0.22 ± 0.04	0.17 ± 0.02	0.20 ± 0.02
异戊酸 Isovalerate (mg/g)	30	0.58 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.08 <sup>a</sup>
	60	0.55 ± 0.05	0.54 ± 0.04	0.59 ± 0.09
	90	0.34 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.40 ± 0.04
支链脂肪酸 Branched chain fatty acid (mg/g)	30	0.84 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.70 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.06 ± 0.12 <sup>a</sup>
	60	0.90 ± 0.07	0.81 ± 0.04	0.87 ± 0.13

续表 4(Continued Tab. 4)

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
总短链脂肪酸 Total SCFA (mg/g)	90	0.55 ± 0.05	0.56 ± 0.03	0.59 ± 0.06
	30	11.24 ± 0.71	10.98 ± 0.62	14.20 ± 3.13
	60	10.79 ± 0.34 <sup>b</sup>	10.24 ± 0.95 <sup>b</sup>	15.48 ± 1.10 <sup>a</sup>
	90	7.88 ± 0.48 <sup>b</sup>	8.64 ± 0.23 <sup>ab</sup>	9.56 ± 0.46 <sup>a</sup>

### 2.3 发酵中药渣对妊娠母猪粪便中生物胺含量的影响

由表 5 可见,妊娠第 30 d 时,发酵中药渣组苯乙胺含量显著低于对照组和中药渣组( $P < 0.05$ ),中药渣组和发酵中药渣组尸胺含量、发酵中药渣组总生物胺含量显著低于对照组( $P < 0.05$ );妊娠第 60 d 时,中药渣组和发酵中药渣组色胺、尸胺和总生物胺含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),发酵中药

渣组苯乙胺含量显著高于对照组和中药渣组( $P < 0.05$ )、精胺含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),而腐胺含量显著低于对照组和中药渣组( $P < 0.05$ );妊娠第 90 d 时,中药渣组苯乙胺含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),发酵中药渣组 1,7-庚二胺、酪胺和亚精胺含量显著高于对照组和中药渣组( $P < 0.05$ )、精胺含量显著高于中药渣组( $P < 0.05$ ),中药渣和发酵中药渣组腐胺、尸胺和总生物胺含量显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

表 5 发酵中药渣对妊娠母猪粪便中生物胺含量的影响( $n = 8$ )Table 5 Effects of fermented Chinese herb residues (CHR) on fecal contents of bioamine in pregnant sows ( $n = 8$ )

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
色胺 Tryptamine ( $\mu\text{g/g}$ )	30	2.47 ± 0.50	1.56 ± 0.21	1.18 ± 0.44
	60	0.22 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.49 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.92 ± 0.10 <sup>a</sup>
	90	1.18 ± 0.44	1.91 ± 0.10	1.19 ± 0.23
苯乙胺 Phenylethylamine ( $\mu\text{g/g}$ )	30	7.21 ± 0.61 <sup>a</sup>	7.42 ± 0.91 <sup>a</sup>	4.44 ± 0.79 <sup>b</sup>
	60	3.70 ± 0.58 <sup>b</sup>	5.37 ± 0.35 <sup>b</sup>	11.13 ± 0.74 <sup>a</sup>
腐胺 Putrescine ( $\mu\text{g/g}$ )	90	6.80 ± 0.86 <sup>b</sup>	10.70 ± 1.22 <sup>a</sup>	8.86 ± 0.43 <sup>ab</sup>
	30	3.17 ± 0.23	2.81 ± 0.33	3.02 ± 0.31
	60	2.83 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.89 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.96 ± 0.23 <sup>b</sup>
尸胺 Cadaverine ( $\mu\text{g/g}$ )	90	2.05 ± 0.29 <sup>b</sup>	3.82 ± 0.38 <sup>a</sup>	3.60 ± 0.40 <sup>a</sup>
	30	3.40 ± 0.46 <sup>a</sup>	1.88 ± 0.22 <sup>b</sup>	1.07 ± 0.11 <sup>b</sup>
	60	1.23 ± 0.21 <sup>b</sup>	1.29 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.33 ± 0.10 <sup>a</sup>
1,7-庚二胺 1,7-heptanediamine ( $\mu\text{g/g}$ )	90	1.54 ± 0.12 <sup>b</sup>	3.43 ± 0.27 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.30 <sup>a</sup>
	30	0.73 ± 0.06	0.57 ± 0.04	0.66 ± 0.09
	60	0.81 ± 0.06	0.77 ± 0.02	0.89 ± 0.07
酪胺 Tyramine ( $\mu\text{g/g}$ )	90	0.84 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.88 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.05 ± 0.04 <sup>a</sup>
	30	1.13 ± 0.23	1.00 ± 0.21	0.61 ± 0.12
	60	0.47 ± 0.06	0.55 ± 0.07	0.69 ± 0.26
亚精胺 Spermidine ( $\mu\text{g/g}$ )	90	0.84 ± 0.25 <sup>b</sup>	0.54 ± 0.07 <sup>b</sup>	3.28 ± 0.60 <sup>a</sup>
	30	7.53 ± 1.03	8.96 ± 1.54	7.17 ± 0.67
	60	5.05 ± 0.86	7.23 ± 0.86	4.05 ± 0.85
精胺	90	5.01 ± 0.25 <sup>b</sup>	5.73 ± 0.51 <sup>b</sup>	8.18 ± 0.78 <sup>a</sup>
	30	1.25 ± 0.27 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.08 <sup>ab</sup>

续表 5 (Continued Tab. 5)

项目 Items	妊娠时间 Pregnancy time (d)	对照组 Control group	中药渣组 CHR group	发酵中药渣组 Fermented CHR group
Spermine ( $\mu\text{g/g}$ )	60	$0.59 \pm 0.08^b$	$0.87 \pm 0.13^{ab}$	$1.18 \pm 0.13^a$
	90	$0.73 \pm 0.04^{ab}$	$0.60 \pm 0.05^b$	$0.79 \pm 0.04^a$
Total bioamine ( $\mu\text{g/g}$ )	30	$26.89 \pm 1.72^a$	$24.74 \pm 2.44^{ab}$	$18.88 \pm 1.99^b$
	60	$14.89 \pm 1.68^b$	$19.47 \pm 1.32^a$	$23.14 \pm 1.14^a$
	90	$18.99 \pm 1.07^b$	$26.75 \pm 1.86^a$	$30.34 \pm 1.87^a$

### 3 讨论

肠道菌群平衡对肠道内营养物质的消化吸收及粘膜免疫具有重要作用,可通过添加益生菌维持这一平衡状态<sup>[14]</sup>。研究表明,厚壁菌门和拟杆菌门是动物肠道中的优势菌群<sup>[15]</sup>。本试验中,发酵中药渣能增加拟杆菌门的数量,在妊娠后期还可增加乳酸杆菌数量,从而改善妊娠母猪肠道菌群平衡,发挥降解纤维素及多糖和产生抑菌蛋白等益生作用<sup>[16]</sup>。这可能是由于中药渣发酵时添加了酵母菌、丁酸梭菌和乳酸菌,这些微生物作为单胃动物常见的益生菌添加剂,除了在妊娠期间通过改善母猪胃肠道菌群平衡以提高母体自身免疫和代谢水平,也可在分娩后通过乳汁传递给其子代,从而影响子代的肠道微生物区系、免疫和代谢<sup>[17]</sup>,这有利于提高母猪的繁殖性能。

猪的消化道尤其结肠中含有大量严格厌氧菌,发酵碳水化合物及未消化的蛋白质可产生乙酸、丙酸和丁酸等 SCFA,抑制兼性厌氧菌的生长<sup>[18]</sup>。其中乙酸有 70% 被肝脏吸收合成胆固醇,剩余的乙酸被肌肉氧化供能;丙酸能抑制胆固醇的合成,促进糖酵解;丁酸是结肠上皮细胞的重要能量来源,可调节肠道上皮细胞的生长和分化<sup>[19]</sup>。异丁酸和异戊酸分别由 L-亮氨酸和缬氨酸脱氨基后产生,其含量是粪便和肠道内容物蛋白质分解代谢的特异性指标<sup>[14]</sup>。本研究中,发酵中药渣增加了粪便中乙酸、丙酸、丁酸和异戊酸等 SCFA 的含量,可能是由于其中所含的乳酸杆菌和丁酸梭菌等厚壁菌门细菌的增加促进了 SCFA 的产生<sup>[20]</sup>。此外,发酵中药渣的粗蛋白质含量(21.65%)高于基础饲料(14.17%),这也有助于提高粪便中支链脂肪酸的含量<sup>[21]</sup>。

生物胺可缓解细胞氧化损伤,调节基因表达、信号转导以及 DNA 和蛋白质合成等<sup>[21]</sup>,还可调控动物肠道发育,参与维持动物肠道稳态<sup>[22]</sup>。本试验发

现,妊娠中、后期中药渣和发酵中药渣组总生物胺的含量升高,可能是由于其结肠中的拟杆菌门和厚壁菌门中的细菌均具有较高的蛋白质水解活性,参与氨基酸的代谢<sup>[23]</sup>。Lopez-Garcia 等人认为,妊娠后期大鼠胎盘需要维持高浓度的腐胺、亚精胺和精胺等多胺以满足胎儿生长的需求<sup>[24]</sup>,而肠腔内的多胺可被机体吸收,用于其他器官和组织的细胞生长<sup>[25]</sup>。因此推测,发酵中药渣可通过增加妊娠后期肠道内的腐胺、亚精胺和精胺浓度间接促进胎盘和胎儿的生长发育,不过还需要开展进一步实验来验证。

### 4 结论

妊娠期间饲料添加发酵中药渣可改善母猪肠道微生物菌群平衡,增加粪便 SCFA 和部分生物胺的含量,这有利于维持母猪的健康。

#### 参考文献

- Sorum H, Sunde M. Resistance to antibiotics in the normal flora of animals. *Vet Res*, 2001, 32: 227-241.
- Li ZH (黎智华), Zhu Q (祝倩), Ji YJ (姬玉娇), et al. Nutrient content in six Chinese herb residues. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2017, 29(1): 91-95.
- Zhou Y (周勇), Jin X (金鑫), Xie LH (谢蓝华), et al. Development of functional feed from complex herb-medicine dregs by solid-state fermentation. *China Brewing* (中国酿造), 2011, 30: 122-125.
- Li YJ (李艳军), Gu ZL (谷子林), Liu YJ (刘亚娟). Study of herb residues on growth performance, biochemical marker of serum and immune action in heat stress rabbit. *Chin Anim Hus & Vet Med* (中国畜牧兽医), 2011, 38: 105-108.
- Kim YJ, Bostami ABMR, Islam MM, et al. Effect of fermented *Ginkgo biloba* and *Camelia sinensis*-based probiotics on growth performance, immunity and caecal microbiology in broilers. *Int J Poult Sci*, 2016, 15(2): 62-71.

- 6 Su JY (苏家宜), Li HW (李华伟), Li ZH (黎智华), *et al.* Effects of fermented Chinese herb residues on growth performance and intestinal mucosal morphology of weaned piglets. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2016, 28: 1454-1459.
- 7 Li HW (李华伟), Li ZH (黎智华), Zhu Q (祝倩), *et al.* Effects of dietary supplementation with herb residues and fermented herb residues on reproductive performance of sows and growth performance of their offspring. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2017, 29: 257-263.
- 8 Li ZH (黎智华), Li HW (李华伟), Zhang T (张婷), *et al.* Effects of a fermented mixture of Chinese herb residues on reproductive performance, plasma biochemical and antioxidant index of sows. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2017, 29: 2416-2422.
- 9 Sanz Y. Gut microbiota and probiotics in maternal and infant health. *Am J Clin Nutr*, 2011, 94: 2000S-2005S.
- 10 Blumberg R, Powrie F. Microbiota, disease, and back to health; a metastable journey. *Sci Transl Med*, 2012, 4(137): 137rv7.
- 11 Jiao JZ (焦金真), Wang PP (王芄芄), Tang SX (汤少勋), *et al.* Quantity and distribution characteristics of functional microorganisms in gastrointestinal tract of Liuyang black goats. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica* (畜牧兽医学报), 2013, 44: 1590-1599.
- 12 Zhou XL, Kong XF, Lian GQ, *et al.* Dietary supplementation with soybean oligosaccharides increases short-chain fatty acids but decreases protein-derived catabolites in the intestinal luminal content of weaned Huanjiang mini-piglets. *Nutr Res*, 2014, 34: 780-788.
- 13 Kong XF, Ji YJ, Li HW, *et al.* Colonic luminal microbiota and bacterial metabolite composition in pregnant Huanjiang mini-pigs: effects of food composition at different times of pregnancy. *Sci Rep*, 2016, 6: 37224.
- 14 Kritas SK, Marubashi T, Filioussis G, *et al.* Reproductive performance of sows was improved by administration of a sporing bacillary probiotic (*Bacillus subtilis* C-3102). *J Anim Sci*, 2015, 93: 405-413.
- 15 Ley R, Turnbaugh P, Klein S, *et al.* Human gut microbes associated with obesity. *Nature*, 2006, 444: 1022-1023.
- 16 Wu YL (吴彦彬), Li YD (李亚丹), Li XJ (李小俊), *et al.* The study and application on *Bacteroides*. *Biotechnol Bull* (生物技术通报), 2007, (1): 66-69.
- 17 Dai Z, Wu Z, Hang S, *et al.* Amino acid metabolism in intestinal bacteria and its potential implications for mammalian reproduction. *Mol Hum Reprod*, 2015, 21: 389-409.
- 18 Gao ZB (高增兵), Yu B (余冰), Zheng P (郑萍), *et al.* Effects of benzoic acid on intestinal microflora and metabolites of piglets. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2014, 26: 1044-1054.
- 19 Wong JM, De SR, Kendall CW, *et al.* Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. *J Clin Gastroenterol*, 2006, 40: 235-243.
- 20 Beards E, Tuohy K, Gibson G. Bacterial, SCFA and gas profiles of a range of food ingredients following in vitro fermentation by human colonic microbiota. *Anaerobe*, 2010, 16: 420-425.
- 21 Dai ZL, Wu G, Zhu WY. Amino acid metabolism in intestinal bacteria: links between gut ecology and host health. *Front Bioscience*, 2011, 16: 1768-1786.
- 22 Fang TT (方婷婷), Liu GM (刘光芒), Jia G (贾刚), *et al.* Polyamines: regulation on intestinal homeostasis and possible mechanisms. *Chin J Anim Nutr* (动物营养学报), 2016, 28: 3400-3407.
- 23 Kong XF (孔祥峰). Research progress of colonic microbial metabolism and body health. *Feed Livest* (饲料与畜牧), 2013, (4): 10-17.
- 24 Lopez-Garcia C, Lopez-Contreras AA, Castells M, *et al.* Transcriptomic analysis of polyamine-related genes and polyamine levels in placenta, yolk sac and fetus during the second half of mouse pregnancy. *Placenta*, 2009, 30: 241-249.
- 25 Milovic V. Polyamines in the gut lumen: bioavailability and biodistribution. *Eur J Gastroenterol & Hepatol*, 2001, 13: 1021-1025.