

围产期饲粮添加发酵中药渣对母猪粪便微生物及其代谢产物的影响

李华伟^{1,2}, 孔祥峰^{2,3}, 祝倩², 苏家宜², 印遇龙², 吴灵英^{1*}

¹武汉轻工大学, 动物科学与营养工程学院, 武汉 430023; ²中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心, 农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站, 长沙 410125;

³湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 长沙 410128

摘要: 为了探讨中药渣在妊娠母猪饲粮中添加的可行性, 试验选用 2~4 胎次、预产期相近的二元妊娠母猪 60 头, 随机分为对照组、中药渣组和发酵中药渣组, 比较研究发酵前和发酵后中药渣对母猪粪便微生物及其代谢产物的影响。结果表明: 与对照组相比, 中药渣组和发酵中药渣组母猪产前粪便中乙酸、丙酸、丁酸、直链脂肪酸和总短链脂肪酸含量均显著增加 ($P < 0.05$), 支链/直链脂肪酸比值显著降低 ($P < 0.05$); 中药渣组母猪产前粪便中苯乙胺和产后色胺含量均显著降低 ($P < 0.05$); 发酵中药渣组母猪产后粪便中亚精胺、精胺和乳酸菌含量均显著增加 ($P < 0.05$), 大肠杆菌含量显著降低 ($P < 0.05$)。由此可见, 饲粮添加发酵中药渣可改善妊娠母猪肠道微生物菌群平衡、增加短链脂肪酸含量, 从而有利于妊娠母猪繁殖性能的提高。

关键词: 妊娠母猪; 发酵中药渣; 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.1001-6880.2017.4.022

Effects of Dietary Supplementation with Fermented Herbal Residues during Perinatal Period on Faecal Microorganism and Their Metabolites in Sows

LI Hua-wei^{1,2}, KONG Xiang-feng^{2,3}, ZHU Qian², SU Jia-yi², YIN Yu-long², WU Ling-ying^{1*}

¹Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; ²Hunan Provincial Engineering Research

Center of Healthy Livestock, Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed

Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of

Sciences, Changsha 410125, China; ³Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha 410128, China

Abstract: This study was conducted to explore the possibility of the dietary supplementation with herbal residues (HR) in sows. Sixty crossbred pregnant sows with close expected date of delivery during the 2-4 parities were used and randomly allocated to one of three groups, representing the control group, HR group, or fermented HR group, to determine the effects of the HR and fermented HR on faeces microbial population and its metabolites. The results showed that the fecal contents of acetate, propionate, butyrate, straight-chain fatty acids, and total short chain fatty acids (SCFA) at antepartum from the sows in HR and FHR groups significantly increased ($P < 0.05$) and the ratio of branched-chain fatty acids to straight-chain fatty acids dramatically decreased ($P < 0.05$) when compared with the control group; the fecal contents of phenylethylamine at antepartum and tryptamine at postpartum from the sows in HR group significantly decreased ($P < 0.05$); the fecal contents of spermidine, spermine, and *Lactobacillus* at postpartum dramatically increased ($P < 0.05$), while the population of *Escherichia coli* significantly decreased ($P < 0.05$) from the sows in FHR group. These findings suggested that dietary supplementation with the fermented herb residues can improve the balance of intestinal microbial flora, increase the content of SCFA, which can improve the reproduction performance of gestation sows.

Key words: pregnant sows; fermented herb residues; faeces; microorganism; metabolites

收稿日期: 2016-10-18 接受日期: 2017-01-16

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)

* 通讯作者 E-mail: xiaowlying@163.com

中药渣是中药材提取后的残渣, 由于受提取工艺的限制, 其中不仅含有糖类、蛋白质和微量元素等营养成分以及纤维素和鞣质等抗营养因子, 还富含多糖、黄酮和皂苷等多种功能成分^[1,2]。对中药渣

进行微生物发酵处理,不仅可以降低其中纤维素等抗营养因子的含量、提高其利用率,在发酵过程中还可以产生低聚寡糖等功能性次级代谢产物,使中药渣的利用更加高效、环保^[3,4]。现有研究表明,在动物饲料中添加中药渣制剂可以提高机体抗氧化能力、增强免疫力、促进生长发育及改善肉质等^[5,6]。笔者的前期研究表明^[7],饲料中添加中药渣可提高母猪的繁殖性能和仔猪的生长性能。中药渣作为饲料添加剂应用于养殖生产中,不仅可以提升中药材种植与加工业的附加值,而且还可以改善生态环境、促进养殖业的健康发展。因此,发酵中药渣有望作为一种新型的绿色饲料添加剂用于动物生产。结肠中栖息着的大量微生物参与了多种物质的代谢,其代谢产物短链脂肪酸(SCFA)、吲哚、粪臭素、氨氮和生物胺等会影响宿主整体代谢和机体健康^[8]。例如,SCFA可降低肠道pH值,有效抑制有害菌生长,为乳酸菌生长创造有利条件^[9];吲哚、粪臭素、氨氮和生物胺可影响宿主的代谢与健康^[10]。目前关于中药渣影响母猪结肠微生物数量及其代谢方面的研究较少。因此,本试验研究了发酵中药渣对母猪粪便微生物数量及其代谢产物的影响,为其在母猪饲料中的应用提供依据。

1 材料与方法

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

项目 Items	妊娠母猪饲料 Pregnant sows' diet	泌乳母猪饲料 Lactating sows' diet
原料 Ingredients		
玉米 Corn	60.30	58.65
麦麸 Wheat bran	23.50	5.00
小麦粉 Wheat flour		2.00
豆油 Soybean oil		4.00
豆粕 Soybean meal	12.00	20.50
酶解蛋白粉 Enzymic protein powder		3.00
进口鱼粉 Imported fish meal		2.50
赖氨酸 Lys	0.12	0.15
苏氨酸 Thr	0.03	0.05
缬氨酸 Val		0.10
防霉剂 Antimildew agent	0.05	0.05
妊娠母猪复合预混料 Pregnant sows' premix ¹⁾	4.00	
泌乳母猪复合预混料 Lactating sows' premix ²⁾		4.00

1.1 发酵中药渣制备

试验所用的中药渣由湖南圣雅凯生物科技有限公司提供。取水提后的中药渣,按黄芪4、当归2、益母草2、金银花2配比(以干品计),中药渣含水量控制在40%~60%。按0.4%的比例接种复合菌种(含枯草芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌和丁酸梭菌等,活菌量 $\geq 2 \times 10^{10}$ cfu/g),置于25℃以上条件下发酵1周,每天翻动1~2次,发酵后减压真空干燥、粉碎、包装。经测定,中药渣制剂含DM 95.63%、CP 10.03%、CF 8.00%和EE 6.8%,发酵中药渣制剂含DM 95.02%、CP 14.92%、CF 2.22%和EE 5.29%。

1.2 试验动物、分组与饲养管理

本研究动物饲养试验于2015年9月~11月在位于湖南新五丰永安分公司的中国科学院亚热带农业生态研究所动物实验基地进行。试验选用2~4胎次、预产期相近的妊娠85d的健康二元母猪60头,随机分为3组,每组20头,单栏饲养。在基础饲料中分别添加3kg/T米糠(对照组)、3kg/T中药渣(中药渣组)和3kg/T发酵中药渣(发酵中药渣组)。基础饲料的组成及营养水平见表1。从产前21d开始饲喂,到产后28d结束。试验期间按猪场日常管理程序,给试验猪喂料、饮水和免疫。

项目 Items	妊娠母猪饲料 Pregnant sows' diet	泌乳母猪饲料 Lactating sows' diet
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾		
消化能 DE(MJ/Kg)	15.23	15.56
干物质 DM	98.00	97.74
粗脂肪 EE	5.16	6.02
粗纤维 CF	3.60	3.54
粗蛋白 CP	14.17	19.78
粗灰分 Ash	5.61	5.95
赖氨酸 Lys	0.98	1.53
蛋氨酸 Met	0.12	0.16
苏氨酸 Thr	0.68	0.99

注: ¹⁾ 预混料为每千克饲料提供: VA 10 000 IU, VD 2 500 IU, VE 100 IU, VK 10 IU, VB₂ 10 mg, VB₆ 1 mg, VB₁₂ 50 μg, 氯化胆碱 1500 mg, Fe 80 mg, Cu 20 mg, Zn 100 mg, Mn 45 mg, I 0.7 mg, Se 0.25 mg; ²⁾ 预混料为每千克饲料提供: VA 15 000 IU, VD 33 200 IU, VE 50 IU, VK 4 mg, VB₁ 4 mg, VB₂ 10 mg, VB₆ 3 mg, VB₁₂ 0.02 mg, 氯化胆碱 800 mg, Fe 120 mg, Cu 20 mg, Zn 112 mg, Mn 24 mg, I 0.5 mg, Se 0.4 mg; ³⁾ 消化能为计算值, 其余指标为实测值。

Note: ¹⁾ The premix provides the following per kilogram of diet: VA 10 000 IU, VD 2 500 IU, VE 100 IU, VK 10 IU, VB₂ 10 mg, VB₆ 1 mg, VB₁₂ 50 μg, choline chloride 1500 mg, Fe 80 mg, Cu 20 mg, Zn 100 mg, Mn 45 mg, I 0.7 mg, Se 0.25 mg; ²⁾ The premix provides the following per kilogram of diet: A 15 000 IU, VD 33 200 IU, VE 50 IU, VK 4 mg, VB₁ 4 mg, VB₂ 10 mg, VB₆ 3 mg, VB₁₂ 0.02 mg, choline chloride 800 mg, Fe 120 mg, Cu 20 mg, Zn 112 mg, Mn 24 mg, I 0.5 mg, Se 0.4 mg; ³⁾ DE was calculated value, and others were measured values.

1.3 粪便微生物数量及其代谢产物测定

分别于母猪妊娠 110 d 和产后 28 d, 每组随机收集 8 头母猪的新鲜粪便, 装入 10 mL 无菌离心管中 -80 ℃ 冻存, 粪便微生物数量测定参考焦金真等^[11]所述方法, 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; 粪便冷冻干燥后, 采用气相色谱法测定其中的 SCFA 含量^[12], 采用高效液相色谱法检测其中吲哚和粪臭素^[13]以及生物胺含量^[14]。

1.4 数据处理与分析

试验数据用 Excel 2010 进行初步处理后, 用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和 t 检验。数据以“平

均值 ± 标准误”表示。P < 0.05 表示差异显著, 0.05 ≤ P < 0.1 表示有变化趋势。

2 结果与分析

2.1 饲料添加中药渣制剂对母猪粪便中微生物数量的影响

由表 2 可知, 与对照组相比, 发酵中药渣组母猪粪便乳酸菌数量显著增加 (P < 0.05)、大肠杆菌数量显著降低 (P < 0.05); 与产前相比, 产后各试验组母猪粪便双歧杆菌数量均显著降低 (P < 0.05)。

表 2 中药渣对母猪粪便中微生物数量的影响

Table 2 Effect of herbal residues (HR) on fecal microbial population in sows [lg(copies/g)]

指标 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
双歧杆菌 <i>Bifidobacterium</i>	产前 Antepartum	6.23 ± 0.31	6.34 ± 0.63	6.22 ± 0.33
	产后 Postpartum	4.55 ± 0.13 *	4.51 ± 0.07 *	4.71 ± 0.09 *
乳酸菌 <i>Lactobacillus</i>	产前 Antepartum	6.82 ± 0.31 ^b	7.43 ± 0.20 ^{ab}	7.82 ± 0.23 ^a
	产后 Postpartum	6.76 ± 0.18 ^b	7.28 ± 0.27 ^{ab}	7.68 ± 0.21 ^a
大肠杆菌 <i>E. coli</i>	产前 Antepartum	6.96 ± 0.61 ^a	6.38 ± 0.13 ^{ab}	4.85 ± 0.61 ^b
	产后 Postpartum	6.65 ± 0.25 ^a	6.01 ± 0.28 ^{ab}	5.35 ± 0.43 ^b

注: * 表示与产前比较差异显著 (P < 0.05), 同行数据肩标不同字母表示差异显著 (P < 0.05)。下表同。

Note: * indicated significant difference (P < 0.05) when compared with antepartum. Data in the same row with different superscripts differ significantly (P < 0.05). Same as below.

2.2 饲料添加中药渣制剂对母猪粪便中 SCFA 含量的影响

由表 3 可知,与对照组相比,中药渣组和发酵中药渣组母猪产前粪便中乙酸、丙酸、丁酸、直链脂肪酸和总脂肪酸含量均显著增加($P < 0.05$),支链/直链脂肪酸比值显著减小($P < 0.05$)。与产前相比,

产后对照组母猪粪便中乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、直链脂肪酸、异丁酸、支链脂肪酸和总脂肪酸含量均显著增加($P < 0.05$),支链/直链脂肪酸比值显著减小($P < 0.05$);中药渣组丙酸含量($P = 0.051$)以及发酵中药渣组丙酸($P = 0.088$)和直链脂肪酸($P = 0.094$)含量均呈增加趋势。

表 3 中药渣对母猪粪便中 SCFA 含量的影响

Table 3 Effect of herbal residues(HR) on fecal SCFA contents in sows(mg/g)

指标 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
乙酸 Acetate	产前 Antepartum	2.77 ± 0.50 ^b	5.49 ± 0.56 ^a	5.44 ± 0.82 ^a
	产后 Postpartum	7.19 ± 0.66 [*]	6.02 ± 0.28	7.07 ± 0.51
丙酸 Propionate	产前 Antepartum	1.23 ± 0.13 ^b	2.03 ± 0.27 ^a	2.06 ± 0.30 ^a
	产后 Postpartum	2.82 ± 0.23 [*]	2.71 ± 0.16	2.74 ± 0.21
丁酸 Butyrate	产前 Antepartum	0.70 ± 0.07 ^b	1.34 ± 0.17 ^a	1.09 ± 0.09 ^a
	产后 Postpartum	1.68 ± 0.25 [*]	1.55 ± 0.05	1.49 ± 0.26
戊酸 Valerate	产前 Antepartum	0.23 ± 0.03	0.34 ± 0.05	0.30 ± 0.03
	产后 Postpartum	0.36 ± 0.03 [*]	0.37 ± 0.02	0.35 ± 0.04
直链脂肪酸 Straight-chain fatty acids	产前 Antepartum	4.93 ± 0.69 ^b	9.20 ± 1.01 ^a	8.99 ± 1.07 ^a
	产后 Postpartum	12.06 ± 1.12 [*]	10.34 ± 0.38	11.64 ± 0.89
异丁酸 Isobutyrate	产前 Antepartum	0.20 ± 0.02	0.32 ± 0.04	0.34 ± 0.08
	产后 Postpartum	0.34 ± 0.02 [*]	0.32 ± 0.01	0.36 ± 0.03
异戊酸 Isovalerate	产前 Antepartum	0.54 ± 0.06	0.71 ± 0.10	0.64 ± 0.07
	产后 Postpartum	0.66 ± 0.04	0.69 ± 0.05	0.64 ± 0.04
支链脂肪酸 BCFA	产前 Antepartum	0.74 ± 0.08	1.03 ± 0.14	0.92 ± 0.13
	产后 Postpartum	1.00 ± 0.06 [*]	1.01 ± 0.05	1.00 ± 0.05
支链/直链脂肪酸 B/S	产前 Antepartum	0.16 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.01 ^b	0.10 ± 0.01 ^b
	产后 Postpartum	0.09 ± 0.01 [*]	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.01
总短链脂肪酸 Total SCFA	产前 Antepartum	5.67 ± 0.76 ^b	10.23 ± 1.13 ^a	9.91 ± 1.17 ^a
	产后 Postpartum	13.06 ± 1.16 [*]	11.65 ± 0.37	12.65 ± 0.92

2.3 饲料添加中药渣制剂对母猪粪便中吲哚和粪臭素含量的影响

由表 4 可知,与对照组相比,中药渣组和发酵中

药渣组粪便中吲哚和粪臭素含量差异均不显著($P > 0.05$);产后与产前相比,中药渣组粪便中吲哚含量显著降低($P < 0.05$)。

表 4 中药渣对母猪粪便中吲哚和粪臭素含量的影响

Table 4 Effects of herbal residues(HR) on fecal indole and skatole contents in sows(μg/g)

项目 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
吲哚 Indole	产前 Antepartum	12.33 ± 1.62	17.94 ± 3.49	13.82 ± 2.55
	产后 Postpartum	11.09 ± 1.41	8.47 ± 0.96 [*]	8.32 ± 0.79
粪臭素 Skatole	产前 Antepartum	21.09 ± 3.60	19.70 ± 3.90	17.63 ± 1.40
	产后 Postpartum	13.99 ± 2.82	20.08 ± 3.04	14.22 ± 1.73

2.4 饲料添加中药渣制剂对母猪粪便中生物胺含量的影响

由表5可知,与对照组相比,中药渣组母猪产前粪便中苯乙胺含量和产后粪便中色胺含量均显著降低($P < 0.05$)、产前粪便中亚精胺含量呈降低趋势($P = 0.078$),发酵中药渣组母猪产后粪便中亚精胺

和精胺含量均显著升高($P < 0.05$);与产前相比,产后对照组母猪粪便中亚精胺和精胺含量均显著降低($P < 0.05$),中药渣组母猪粪便中1,7-庚二胺含量呈升高趋势($P = 0.089$)、精胺含量呈降低趋势($P = 0.076$),发酵中药渣组母猪粪便中亚精胺含量呈降低趋势($P = 0.096$)、1,7-庚二胺含量呈升高趋势($P = 0.053$)。

表5 中药渣对母猪粪便中生物胺含量的影响

Table 5 Effect of herbal residues (HR) on fecal biogenic amine contents in sows ((g/g))

指标 Items		对照组 Control group	中药渣组 HR group	发酵中药渣组 Fermented HR group
色胺 Tryptamine	产前 Antepartum	0.62 ± 0.20	0.17 ± 0.05	0.58 ± 0.21
	产后 Postpartum	0.61 ± 0.15 ^a	0.22 ± 0.06 ^b	0.39 ± 0.11 ^{ab}
苯乙胺 Phenylethylamine	产前 Antepartum	7.70 ± 0.88 ^a	4.88 ± 0.49 ^b	6.79 ± 0.92 ^{ab}
	产后 Postpartum	5.87 ± 0.99	5.13 ± 1.13	5.25 ± 0.38
腐胺 Putrescine	产前 Antepartum	5.65 ± 0.93	4.47 ± 0.46	5.89 ± 0.92
	产后 Postpartum	5.06 ± 0.90	4.82 ± 0.56	4.31 ± 0.64
尸胺 Cadaverine	产前 Antepartum	2.93 ± 0.38	2.69 ± 0.46	2.79 ± 0.33
	产后 Postpartum	4.23 ± 0.93	3.48 ± 0.45	3.53 ± 0.71
1,7-庚二胺 1,7-heptanediamine	产前 Antepartum	0.67 ± 0.06	0.66 ± 0.05	0.61 ± 0.02
	产后 Postpartum	0.87 ± 0.09	0.85 ± 0.08	0.86 ± 0.09
亚精胺 Spermidine	产前 Antepartum	17.34 ± 2.80	11.58 ± 2.08	15.46 ± 1.43
	产后 Postpartum	5.64 ± 0.73 ^{b*}	9.28 ± 1.35 ^{ab}	10.78 ± 2.41 ^a
精胺 Spermine	产前 Antepartum	1.69 ± 0.28	1.13 ± 0.17	1.37 ± 0.20
	产后 Postpartum	0.51 ± 0.06 ^{b*}	0.72 ± 0.13 ^{ab}	1.19 ± 0.33 ^a

3 讨论与结论

乳酸菌是动物肠道中重要的有益菌,具有增强免疫和提高生长性能的作用^[15]。有研究报道,乳酸菌生长可竞争性地抑制大肠杆菌增殖,进而改善仔猪肠道微生物菌群结构,促进肠道微生态平衡^[16]。本研究表明,饲料添加发酵中药渣可显著增加母猪粪便中乳酸菌含量、显著降低大肠杆菌含量,可能是由于发酵中药渣中含有大量的乳酸菌和益生元,因此乳酸菌增加的同时竞争性地抑制大肠杆菌的繁殖。另外,发酵中药渣可增加结肠中SCFA的产量,降低肠道pH值,从而抑制大肠杆菌的繁殖。

结肠中微生物代谢产生的乙酸可作为不同类型上皮细胞和肠道细菌的能量来源^[9];丙酸可参与三羧酸循环为机体提供能量^[17];丁酸是结肠粘膜上皮细胞的主要能源物质,可以维持肠粘膜上皮细胞的完整性,并促进大肠生长^[18],异丁酸和异戊酸等支链脂肪酸分别来自缬氨酸、异亮氨酸和亮氨酸的代

谢,且只来源于蛋白质的分解代谢,是肠腔中蛋白质分解代谢的理想标志物^[19]。本研究表明,饲料添加发酵中药渣促进了母猪结肠微生物的发酵,增加了结肠中SCFA的含量,这有利于母体健康和胎儿发育;可是对产后母猪粪便中SCFA含量的影响不显著,可能是因为泌乳期间饲料营养增加(妊娠饲料含CP 14.17%,EE 5.16%,Lys 0.98%,Thr 0.68%;泌乳饲料含CP 19.78%,EE 6.02%,Lys 1.53%,Thr 0.99%),微生物发酵产生的SCFA大幅度提高(产后粪便中SCFA含量显著高于产前),使得添加发酵中药渣对产后母猪粪便中SCFA影响不明显。

盲肠和结肠菌群厌氧发酵色氨酸产生的吲哚和粪臭素,可存留在肠道内容物中,也可被肠黏膜吸收或分泌。一般认为,吲哚和粪臭素会引起猪肉的膻味,从而影响肉品质^[20]。也有研究表明,吲哚和粪臭素可作为结肠癌促进剂发挥作用^[10]。本研究表明,饲料添加中药渣并不影响吲哚和粪臭素的含量,进一步说明中药渣不影响结肠微生物对色氨酸的分

解代谢。

结肠中的色氨酸、精氨酸、赖氨酸、酪氨酸、组氨酸和鸟氨酸在微生物发酵作用下分别生成色胺、胍丁胺、尸胺、酪胺、组胺和腐胺等生物胺^[21]。生物胺可参与肠道黏膜屏障的发育与维持,进而影响宿主健康,过量的生物胺可与亚硝酸盐发生反应,导致致癌物挥发性亚硝酸胺的生成^[10]。腐胺、精胺和亚精胺是生物细胞所必需的活性成分,对不饱和脂肪酸的氧化具有抑制作用;酪氨酸也具有抗氧化作用^[22]。本研究表明,与中药渣组相比,饲料添加发酵中药渣在一定程度上增加了生物胺的产生,这是因为发酵中药渣中蛋白质含量(CP 14.92%)高于中药渣(CP 10.03%),提高了结肠微生物对氨基酸的分解代谢;另外,与产前对比,产后粪便中生物胺的含量也相应增加。姬玉娇等^[13]的研究也发现,饲喂高营养水平饲料时,母猪结肠中的生物胺含量有所增加。笔者前期研究发现,围产期母猪饲料中添加发酵中药渣可增强机体抗氧化能力,可能与产后母猪粪便中精胺和亚精胺含量增加有关^[23]。

综上所述,围产期饲料添加发酵中药渣可改善肠道微生物菌群平衡,增加母猪后肠中 SCFA 含量,从而有利于妊娠母猪繁殖性能的提高。

参考文献

- 1 Guo YD(郭义东),He X(何兴),Feng X(冯兴),*et al.* Research progress in comprehensive utilization of traditional Chinese medicine dregs. *J Chengdu Univ, Nat Sci*(成都大学学报,自科版),2015,34:125-128.
- 2 Tang WJ(汤文杰),Kong XF(孔祥峰),Yang F(杨峰),*et al.* Nutritional values in seventeen Chinese herbal medicines. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发),2010,23:867-872.
- 3 Wang B(王兵),Wang XD(王向东),Qin L(秦岭),*et al.* Study on the protein feedstuff from herb-medicine residues by solid-state fermentation. *J Food Sci Biol*(食品与生物技术学报),2007,26(4):77-82.
- 4 Liu FM(刘凤梅),Tan XD(谭显东),Yang YJ(羊依金),*et al.* Production of protein feedstuff from *notoginseng* residues by solid-state fermentation. *China Brew*(中国酿造),2011,2:67-70.
- 5 Guo YL(郭艳丽),Zhong GZ(钟光柱),Wang R(王荣). The effects of *Radix Hedysari* and *Radix Codonopsis* compound on the antioxidant capacity and immune function in broilers. *J China Feed*(中国饲料),2012,19:26-28.
- 6 Li YJ(李艳军),Gu ZL(谷子林),Liu YJ(刘亚娟). Effect of Qingwen Baidu herb residues on growth performance of

- lactational Rex abbit. *J China Feed*(中国饲料),2010,21:42-44.
- 7 Li HW(李华伟),Wang JZ(王宗俊),Zhu Q(祝倩),*et al.* Effect of dietary supplementation with fermented herb residues on reproductive performance of sows and growth performance of their offspring. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发),2016,28:1534-1539.
- 8 Nicholson JK, Holmes E, Wilson ID. Gut microorganisms, mammalian metabolism and personalized health care. *Nat Rev Microb*,2005,3:431-438.
- 9 Li MY(李梦云),Zhu KY(朱宽佑),Liu YH(刘延贺),*et al.* Effects of dietary fructo-oligosaccharides on performance, serum indexes and fecal pH, microbial population and volatile fatty acid contents in primiparous sows. *Chin J Anim Nutr*(动物营养学报),2015,27:510-516.
- 10 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.
- 11 Jiao JZ(焦金真),Wang PP(王芑芑),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 Gen MM(耿梅梅),Xu LW(许丽卫),Yuan HC(袁红朝),*et al.* A determination method based on gas chromatography for analysis of short-chain fatty acids in colonic contents of piglet. *Pro Mod Biom*(现代生物医学进展),2015,15:1010-1014.
- 13 Ji YJ(姬玉娇),Zhu Q(祝倩),Geng MM(耿梅梅),*et al.* Effect of diets with high-or low-level nutrient on colonic microbial community structure and metabolites in Huanjiang minipigs. *Microb China*(微生物学通报),2016,43:1650-1659.
- 14 Xu LW(许丽卫),Gen MM(耿梅梅),Zhang LP(张丽萍),*et al.* Determination of bioamines in colonic contents of piglets by pre-column derivatization RP-HPLC. *Acta Nutr Sini*(营养学报),2014,36(1):78-83.
- 15 Chai JM(柴建民),Wei RG(魏荣贵),Liu XF(刘希峰),*et al.* Effects of *Lactobacillus plantarum* and non-starch polysaccharide compound enzyme on growth performance, fecal microbial flora and serum parameters of weaned piglets. *Chin J Anim Nutr*(动物营养学报),2016,28:1859-1866.
- 16 Han J(韩杰),Zhang F(张飞),Bian LQ(边连全). Effects of *Acanthopanaxsenticosus* polysaccharide on immune organ indexes, counts of fecal microflora and gastrointestinal pH of immune challenged weaner piglets. *Chin J Anim Nutr*(动物营养学报),2014,26:2314-2319.