

# 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪生长性能、粪便菌群数量与挥发性脂肪酸含量以及血清生化 and 免疫指标的影响

刘 辉 季海峰\* 王四新 张董燕 王 晶 张 伟 王雅民

(北京市农林科学院畜牧兽医研究所,北京 100097)

**摘 要:** 本试验旨在研究副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪生长性能、粪便菌群数量与挥发性脂肪酸含量以及血清生化 and 免疫指标的影响。选取平均体重为(20.86±0.62) kg 的健康“长×大”二元生长猪 140 头,随机分为 2 组(对照组和试验组),每组 5 个重复,每个重复 14 头。对照组生长猪饲喂基础饲料,试验组生长猪饲喂由 95%基础饲料和 5%副干酪乳杆菌发酵饲料组成的试验饲料。预试期 5 d,正试期 31 d。结果显示:与对照组相比,1) 试验组生长猪的末重和平均日增重分别提高了 6.32% ( $P<0.05$ ) 和 12.23% ( $P<0.05$ ),料重比降低了 8.58% ( $P<0.05$ );2) 试验组生长猪粪便中乳酸菌的数量显著提高 ( $P<0.05$ ),大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量显著降低 ( $P<0.05$ );3) 试验组生长猪粪便中乙酸、丁酸和总挥发性脂肪酸的含量分别提高了 13.44% ( $P<0.05$ )、20.51% ( $P<0.05$ ) 和 11.01% ( $P<0.05$ );4) 试验组生长猪血清中总蛋白、球蛋白、免疫球蛋白 G 和免疫球蛋白 A 的含量分别提高了 18.85% ( $P<0.05$ )、33.31% ( $P<0.05$ )、15.85% ( $P<0.05$ ) 和 45.86% ( $P<0.05$ ),血清中尿素氮和结合珠蛋白的含量分别降低了 19.29% ( $P<0.05$ ) 和 52.72% ( $P<0.05$ )。以上结果表明,在饲料中添加副干酪乳杆菌发酵饲料可提高生长猪的生长性能,调节肠道菌群平衡,增强机体免疫功能并增加粪便中挥发性脂肪酸的含量。

**关键词:** 副干酪乳杆菌发酵饲料;生长猪;生长性能;粪便微生物;挥发性脂肪酸;免疫指标

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)08-3747-08

饲用抗生素在养殖生产中的大量长期使用,会导致病原菌耐药性、药物残留和环境污染等问题,对食品安全和人类健康造成严重威胁。寻找安全高效环保的饲用抗生素替代物已成为饲料行业的研究热点和发展方向。近年来,微生物发酵饲料,特别是乳酸菌发酵饲料,在养猪生产中得到了广泛的研究和应用<sup>[1-4]</sup>。已有研究证明,乳酸菌发酵饲料不仅会产生大量的乳酸菌和有机酸、酶等代谢产物,还可以降解饲料中的抗营养因子,能够改善饲料的适口性,提高饲料中营养物质的消

化利用,从而改善猪的生长性能<sup>[5-9]</sup>。副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*)是乳杆菌属中的重要种群之一,具有较强的产酸、耐酸和抑菌等特性,在调节肠道、增强免疫功能等方面有着广阔的发展前景<sup>[10-11]</sup>。目前未见副干酪乳杆菌发酵饲料在生长猪中的应用报道。为此,本试验拟采用本研究室筛选得到的 1 株具有高产酸能力和强抗逆性的副干酪乳杆菌,进行生长猪配合饲料固态发酵,研究乳酸菌发酵饲料对生长猪生长性能、粪便微生物数量与挥发性脂肪酸含量以及血

收稿日期:2019-01-16

基金项目:生猪产业技术体系北京市创新团队建设项目(BAIC02-2018);北京市农林科学院青年科研基金(QNJJ201812);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20161503)

作者简介:刘 辉(1978—),男,山东济南人,副研究员,硕士,研究方向为动物营养与饲料。E-mail: liuh1860@sina.com

\* 通信作者:季海峰,研究员,E-mail: jhf207@126.com

清免疫指标的影响,为研发安全、高效的乳酸菌发酵饲料提供科学的指导和依据。

## 1 材料与方

### 1.1 试验材料

试验用乳酸菌制剂为副干酪乳杆菌制剂,活菌数为  $5 \times 10^{10}$  CFU/g,由北京市农林科学院畜牧兽医研究所动物营养研究室制备。

### 1.2 试验饲料

基础饲料为参照 NRC(2012) 20~50 kg 生长猪营养需要配制的粉状配合饲料。以基础饲料为底物,料水比为 1.0:0.8,副干酪乳杆菌接种比例为 0.01%,混合均匀后分装入发酵桶中密封,37℃ 发酵 24 h 后制成副干酪乳杆菌发酵饲料。经检测,副干酪乳杆菌发酵饲料中乳酸菌数量为  $2.07 \times 10^9$  CFU/g。试验饲料由 95% 基础饲料和 5% 副干酪乳杆菌发酵饲料组成。饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)

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

项目 Items	基础饲料 Basal diet	试验饲料 Experimental diet	%
原料 Ingredients			
玉米 Corn	64.00	60.80	
豆粕 Soybean meal	25.00	23.75	
小麦麸 Wheat bran	6.00	5.70	
大豆油 Soybean oil	1.60	1.52	
石粉 Limestone	1.20	1.14	
磷酸氢钙 $\text{CaHPO}_4$	0.80	0.76	
食盐 NaCl	0.40	0.38	
副干酪乳杆菌发酵饲料 <i>Lactobacillus paracasei</i> -fermented feed		5.00	
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	0.95	
合计 Total	100.00	100.00	
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>			
消化能 DE/(MJ/kg)	13.58	13.28	
干物质 DM	89.50	87.70	
粗蛋白质 CP	17.29	16.91	
钙 Ca	0.77	0.75	
总磷 TP	0.42	0.41	
赖氨酸 Lys	1.05	1.03	
蛋氨酸 Met	0.32	0.31	

<sup>1)</sup> 每千克预混料含有 Contained the following per kilogram of premix: VA 300 000 IU, VD<sub>3</sub> 30 000 IU, VE 3 850 mg, VK<sub>3</sub> 135 mg, VB<sub>1</sub> 250 mg, VB<sub>2</sub> 650 mg, VB<sub>6</sub> 300 mg, VB<sub>12</sub> 2.5 mg, 烟酸 nicotinic acid 2 500 mg, 泛酸 pantothenic acid 1 500 mg, 生物素 biotin 75 mg, Cu (as copper sulfate) 500 mg, Fe (as ferrous sulfate) 10 000 mg, Zn (as zinc sulfate) 8 000 mg, Mn (as manganese sulfate) 2 000 mg, I (as potassium iodide) 50 mg, Se (as sodium selenite) 30 mg。

<sup>2)</sup> 干物质、粗蛋白质、钙、总磷为实测值,其余为计算值。DM, CP, Ca and TP were measured values, while the others were calculated values.

### 1.3 试验设计

选取 140 头平均体重为  $(20.86 \pm 0.62)$  kg 的健康“长×大”二元生长猪,按性别、体重随机分为对照组和试验组,每组 5 个重复,每个重复 14 头。对照组生长猪饲喂不含抗生素的基础饲料,试验组生长猪饲喂由 95% 基础饲料和 5% 副干酪乳杆菌发酵饲料组成的试验饲料。试验按猪场常规管

理程序进行。预试期 5 d,正试期 31 d。试验期间猪只自由采食、饮水,常规免疫。

### 1.4 测定指标与方法

#### 1.4.1 生长性能

分别于试验开始和结束时对试验猪进行空腹称重,每天记录各组的饲料消耗情况,由此计算生长猪的平均日增重(ADG)、平均日采食量

(ADFI)、料重比(F/G)。

#### 1.4.2 粪便菌群数量与挥发性脂肪酸含量

粪便菌群数量的测定:试验结束当天,每个重复随机选择3头生长猪采集新鲜粪样,分别采用改良MRS培养基、伊红美蓝培养基和Baird-Parker培养基培养,并计算粪样中乳酸菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量。菌群数量以每克粪便中所含细菌群落总数的对数 $[\lg(\text{CFU/g})]$ 表示。

挥发性脂肪酸含量的测定:取1g粪样加入3mL 50 mmol/L的硫酸溶液,混合均匀后4℃静置30 min,20 000×g离心10 min,取上清液,在安捷伦GC-6890型气相色谱仪上测甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸和异戊酸含量,并计算总挥发性脂肪酸的含量。色谱柱长30 m,内径0.32 mm,膜厚度0.5 μm,进样器和探测器温度分别为260和280℃,载气为氦气,流速为2.5 mL/min。

#### 1.4.3 血清生化和免疫指标

试验结束后,每个重复随机选择2头生长猪,前腔静脉采血5 mL,3 000 r/min离心10 min,分离血清后-20℃保存备用。采用日立7020型自动生化分析仪测定血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿素氮(UN)的含量和谷

丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)的活性,测定所用试剂盒购自中生北控生物科技股份有限公司;采用免疫比浊法测定血清中结合珠蛋白(HP)的含量,采用酶联免疫吸附测定(ELISA)法测定血清中免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白M(IgM)的含量,结合珠蛋白含量测定所用试剂盒购自美国ADI公司,免疫球蛋白含量测定所用试剂盒购自美国Bethyl公司。

#### 1.5 数据处理与分析

试验结果用平均值±标准误表示,数据经Excel 2016初步处理后,采用SPSS 19.0软件中的独立样本 $t$ 检验方法进行分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著的标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪生长性能的影响

由表2可知,对照组与试验组生长猪的始重和平均日采食量差异不显著( $P>0.05$ )。与对照组相比,试验组生长猪的末重提高了6.32% ( $P<0.05$ ),平均日增重提高了12.23% ( $P<0.05$ ),料重比降低了8.58% ( $P<0.05$ )。

表2 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪生长性能的影响

Table 2 Effects of *Lactobacillus paracasei*-fermented feed on growth performance of growing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
始重 Initial weight/kg	20.69±0.95	21.04±0.94
末重 Final weight/kg	36.89±1.36 <sup>a</sup>	39.22±1.84 <sup>b</sup>
平均日增重 ADG/g	522.75±14.58 <sup>a</sup>	586.69±17.27 <sup>b</sup>
平均日采食量 ADFI/g	1 218.32±12.55	1 246.26±22.27
料重比 F/G	2.33±0.05 <sup>b</sup>	2.13±0.04 <sup>a</sup>

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below.

### 2.2 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便中菌群数量的影响

由表3可知,与对照组相比,试验组生长猪粪便中乳酸菌的数量显著提高( $P<0.05$ ),大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量显著降低( $P<0.05$ )。

### 2.3 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便中挥发性脂肪酸含量的影响

由表4可知,与对照组相比,试验组生长猪粪便中乙酸、丁酸和总挥发性脂肪酸的含量分别提

高了13.44% ( $P<0.05$ )、20.51% ( $P<0.05$ )和11.01% ( $P<0.05$ ),甲酸、丙酸、异丁酸、戊酸和异戊酸的含量无显著变化( $P>0.05$ )。

### 2.4 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪血清生化和免疫指标的影响

由表5可知,与对照组相比,试验组生长猪血清中总蛋白、球蛋白、免疫球蛋白G和免疫球蛋白A的含量分别提高了18.85% ( $P<0.05$ )、33.31% ( $P<0.05$ )、15.85% ( $P<0.05$ )和45.86% ( $P<$

0.05),血清中尿素氮和结合珠蛋白的含量分别降低了19.29% ( $P<0.05$ )和52.72% ( $P<0.05$ )。血

清白蛋白、免疫球蛋白M含量与谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性2组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

表3 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便菌群数量的影响

Table 3 Effects of *Lactobacillus paracasei*-fermented feed on fecal bacteria populations of growing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
乳酸菌 Lactic acid bacteria	8.80±0.15 <sup>a</sup>	9.29±0.07 <sup>b</sup>
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	6.54±0.10 <sup>b</sup>	5.98±0.14 <sup>a</sup>
金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	5.80±0.31 <sup>b</sup>	4.89±0.21 <sup>a</sup>

表4 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便中挥发性脂肪酸含量的影响

Table 4 Effects of *Lactobacillus paracasei*-fermented feed on fecal VFA contents of growing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
甲酸 Formic acid	407.58±13.74	428.41±8.48
乙酸 Acetic acid	4 418.22±120.63 <sup>a</sup>	5 012.15±151.98 <sup>b</sup>
丙酸 Propionic acid	2 956.12±169.19	3 252.34±134.37
丁酸 Butyric acid	1 880.23±134.13 <sup>a</sup>	2 265.87±63.04 <sup>b</sup>
异丁酸 Isobutyric acid	356.96±33.65	306.99±16.25
戊酸 Valeric acid	602.62±63.18	563.78±55.60
异戊酸 Isovaleric acid	272.43±37.69	294.12±22.55
总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acid	10 932.45±251.94 <sup>a</sup>	12 135.67±264.46 <sup>b</sup>

表5 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪血清生化和免疫指标的影响

Table 5 Effects of *Lactobacillus paracasei*-fermented feed on serum biochemical and immune indexes of growing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental group
总蛋白 TP/(g/L)	58.72±2.16 <sup>a</sup>	69.79±1.81 <sup>b</sup>
白蛋白 ALB/(g/L)	23.14±1.55	22.36±1.16
球蛋白 GLB/(g/L)	35.58±1.34 <sup>a</sup>	47.43±1.22 <sup>b</sup>
尿素氮 UN/(mmol/L)	4.77±0.18 <sup>b</sup>	3.85±0.42 <sup>a</sup>
谷草转氨酶 AST/(U/L)	38.27±3.31	37.41±4.24
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	34.20±2.55	28.94±4.05
结合珠蛋白 HP/(mg/mL)	1.84±0.04 <sup>b</sup>	0.87±0.28 <sup>a</sup>
免疫球蛋白 G IgG/(mg/mL)	4.67±0.38 <sup>a</sup>	5.41±0.04 <sup>b</sup>
免疫球蛋白 A IgA/(mg/mL)	1.33±0.18 <sup>a</sup>	1.94±0.04 <sup>b</sup>
免疫球蛋白 M IgM/(mg/mL)	0.86±0.14	0.95±0.07

### 3 讨论

#### 3.1 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪生长性能的影响

研究认为,饲料中添加乳酸菌能够促进仔猪肠道发育,增加机体对营养物质的消化吸收,从而提高猪的生长性能<sup>[12-14]</sup>。目前有关乳酸菌发酵饲

料在断奶仔猪生产中应用的研究较多,而在生长猪阶段应用的研究还较少。何谦等<sup>[15]</sup>研究发现,断奶仔猪饲喂嗜酸乳杆菌发酵饲料可以显著提高仔猪的平均日增重,降低料重比;张铮等<sup>[16]</sup>报道,在断奶仔猪饲料中添加20%的唾液乳杆菌发酵饲料,可以显著提高断奶仔猪的平均日采食量和平均日增重。此外,Russell等<sup>[17]</sup>、Jensen等<sup>[18]</sup>也分

别报道了乳酸菌液体发酵饲料能显著提高断奶仔猪的采食量和生长速度。本试验结果显示,在生长猪饲料中添加5%副干酪乳杆菌发酵饲料,能够显著提高生长猪的平均日增重,显著降低料重比。这说明采用副干酪乳杆菌对饲料进行固态发酵,可以增加饲料的营养价值,易于消化吸收,从而有利于生长猪群的健康和生长性能的改善。

### 3.2 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便中菌群数量的影响

饲料经乳酸菌发酵后产生的乳酸菌和有机酸能够增加消化道内乳酸菌数量,降低消化道pH,抑制其他病原性微生物的生长和繁殖,从而改善动物肠道的微生态平衡<sup>[19-20]</sup>。刘金萍<sup>[21]</sup>使用植物乳杆菌A6发酵饲料饲喂断奶仔猪后发现,空肠和盲肠内容物中乳酸菌的数量有提高趋势,大肠杆菌和沙门氏菌的数量有降低趋势。Yin等<sup>[22]</sup>和van Winsen等<sup>[23]</sup>的研究结果表明,乳酸菌发酵饲料中的乳酸、乙酸和其他一些抑菌物质可以有效减少仔猪肠道中沙门氏菌和大肠杆菌的数量。张铮等<sup>[16]</sup>的研究也表明,饲喂乳酸菌发酵饲料显著降低了仔猪粪便中大肠杆菌的数量,提高了乳酸菌的数量。此外,陈鲜鑫等<sup>[24]</sup>使用乳酸菌液体发酵饲料饲喂生长猪后发现,粪便中乳酸菌的数量显著提高,大肠杆菌和沙门氏菌的数量显著降低。本试验中,生长猪饲喂副干酪乳杆菌发酵饲料后,粪便中乳酸菌的数量显著提高,大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量显著降低,这与以上研究结果相似。由此可见,副干酪乳杆菌发酵饲料能够抑制肠道内有害菌的繁殖,在调节生长猪肠道菌群平衡、促进肠道健康等方面具有积极作用。

### 3.3 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪粪便中挥发性脂肪酸含量的影响

仔猪后肠中的菌群能够发酵碳水化合物,代谢产生多种挥发性脂肪酸(如乙酸、丙酸、丁酸等),这些小分子的脂肪酸可被肠上皮细胞吸收作为能源利用,并且在抑制有害菌生长、提高饲料利用率和维持肠道健康等方面具有重要作用<sup>[25-27]</sup>。大量研究已经证实,饲料中添加益生菌制剂能够提高仔猪肠道和粪便中挥发性脂肪酸的含量<sup>[28-30]</sup>。本试验也得到了相似的结果,在生长猪饲料中添加副干酪乳杆菌发酵饲料后,粪便中乙酸、丁酸和总挥发性脂肪酸的含量显著升高,表明乳酸菌发酵饲料改善了肠道菌群对碳水化合物的

代谢,促进了肠道内挥发性脂肪酸的产生。这可能也是本试验中乳酸菌发酵饲料能够改善生长猪肠道健康、促进生长性能的机理所在。

### 3.4 副干酪乳杆菌发酵饲料对生长猪血清生化和免疫指标的影响

血清生化指标可以反映机体营养代谢情况和各组织器官功能,从而间接反映动物的生产性能。血清总蛋白由白蛋白和球蛋白组成,血清总蛋白、白蛋白与机体蛋白质的吸收和代谢状况有关,其含量的升高表明肝脏的蛋白质合成代谢增强,而血清球蛋白与机体的体液免疫有关,其含量的升高是免疫力提高的表现<sup>[31]</sup>。已有研究表明,益生菌能够提高仔猪血清中球蛋白和总蛋白的含量<sup>[32-34]</sup>。本试验结果显示,试验组血清中总蛋白和球蛋白的含量较对照组显著升高,说明副干酪乳杆菌发酵饲料能够改善生长猪肝脏的蛋白质合成,促进蛋白质吸收,并提高机体的免疫力。

血清尿素氮是动物体内蛋白质、氨基酸代谢的终产物,其含量可以较准确地反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸之间的平衡状况,较低的血清尿素氮含量表明氨基酸平衡好,机体蛋白质合成率较高<sup>[35-36]</sup>。本试验结果表明,生长猪饲喂含副干酪乳杆菌发酵饲料的饲料后,血清中尿素氮含量显著低于对照组,表明副干酪乳杆菌发酵饲料可以促进生长猪的蛋白质合成,增加机体氮沉积,从而提高生长速度,这可能与副干酪乳杆菌发酵后饲料中蛋白质、氨基酸的含量提高有关<sup>[37]</sup>。

结合珠蛋白是一种急性期蛋白,与动物的疾病感染、炎症发生、免疫发挥、应激效应及药物治疗等影响健康的因素密切相关,被认为是检测猪体内急性期蛋白最具有敏感性和特异性且最为有效的指标<sup>[38-39]</sup>,其含量越高,说明机体健康状态越差。本研究室已有研究表明,在断奶仔猪饲料中添加罗伊氏乳杆菌或在生长猪饲料中添加短乳杆菌,均能够降低猪血清中结合珠蛋白的含量<sup>[33-34]</sup>。本试验中,试验组生长猪饲料中添加副干酪乳杆菌发酵饲料后,其血清中结合珠蛋白的含量显著降低,说明副干酪乳杆菌发酵饲料能够降低生长猪体内急性期蛋白含量,在促进动物健康方面具有积极作用。

免疫球蛋白是体液免疫的主要成分,是反映机体免疫功能的重要指标,其含量的高低可反映机体对疾病的抵抗能力<sup>[40]</sup>。Kunavue等<sup>[41]</sup>研究

表明,饲料中添加益生菌制剂能够显著提高生长猪血清中免疫球蛋白 M 和免疫球蛋白 G 的含量。Mizumachi 等<sup>[42]</sup>试验发现,植物乳杆菌液体发酵饲料可以提高断奶仔猪血清中免疫球蛋白 M 和免疫球蛋白 G 的含量。王娟娟等<sup>[43]</sup>也报道了饲料添加发酵饲料可提高仔猪血清中免疫球蛋白 A 的含量。本试验结果表明,与对照组相比,试验组生长猪血清中免疫球蛋白 G 和免疫球蛋白 A 的含量显著升高,表明饲料中添加副干酪乳杆菌发酵饲料有助于提高生长猪的免疫功能,从而提高猪群的健康状况。这可能是因为,乳酸菌可以通过调节肠道菌群平衡和刺激肠道组织产生免疫球蛋白,促进淋巴细胞增殖,增强免疫应答,提高机体的免疫力<sup>[44-45]</sup>。

## 4 结 论

在饲料中添加副干酪乳杆菌发酵饲料能够改善生长猪的肠道菌群平衡,增加粪便中挥发性脂肪酸的含量,增强机体免疫功能,从而提高生长猪的生长性能。

## 参考文献:

- [ 1 ] 李永凯,毛胜勇,朱伟云.益生菌发酵饲料研究及应用现状[J].畜牧与兽医,2009,41(3):90-93.
- [ 2 ] 李慧芬,曾亚均.乳酸菌在固态发酵饲料中的应用[J].中国饲料,2018(17):86-89.
- [ 3 ] CANIBE N, HØJBERG O, BADSBERG J H, et al. Effect of feeding fermented liquid feed and fermented grain on gastrointestinal ecology and growth performance in piglets[J]. Journal of Animal Science, 2007, 85(11):2959-2971.
- [ 4 ] MISSOTTEN J A M, MICHIELS J, DEGROOTE J, et al. Fermented liquid feed for pigs: an ancient technique for the future[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2015, 6(1):4.
- [ 5 ] 张秀林,魏小兵,欧长波,等.益生菌发酵饲料对仔猪生长和免疫功能影响的研究进展[J].中国畜牧兽医,2017,44(2):476-481.
- [ 6 ] 魏爱彬,于洁,王鑫,等.益生乳酸菌 *Lactobacillus casei* Zhang 和 *Lactobacillus plantarum* P8 对全价饲料 pH 及微生物类群变化的研究[J].微生物学杂志,2012,32(2):1-8.
- [ 7 ] 涂小丽,钟芳,邓伏清,等.微生物发酵饲料对生长猪生产性能和营养物质利用率的影响[J].饲料工业,2015,36(4):36-38.
- [ 8 ] WANG C, SHI C Y, ZHANG Y, et al. Microbiota in fermented feed and swine gut[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(7):2941-2948.
- [ 9 ] HU J K, LU W Q, WANG C L, et al. Characteristics of solid-state fermented feed and its effects on performance and nutrient digestibility in growing-finishing pigs [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2018, 21(11):1635-1641.
- [ 10 ] CANANI R B, CORSELLO G, NOCERINO R, et al. Effect of fermented milk with *Lactobacillus paracasei* CBA L74 on gastrointestinal and respiratory infections in children: multicenter randomized controlled trial [J]. Digestive and Liver Disease, 2016, 48(Suppl.4):e280-e281.
- [ 11 ] FRANKO B, VAILLANT M, RECULE C, et al. *Lactobacillus paracasei* endocarditis in a consumer of probiotics[J]. Médecine et Maladies Infectieuses, 2013, 43(4):171-173.
- [ 12 ] QIAO J Y, LI H H, WANG Z X, et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* dietary supplementation on the performance, intestinal barrier function, rectal microflora and serum immune function in weaned piglets challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide [J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2015, 107(4):883-891.
- [ 13 ] CANIBE N, JENSEN B B. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance [J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(8):2019-2031.
- [ 14 ] 王志祥,乔家运,王自恒,等.乳酸杆菌对断奶仔猪生长性能、养分表观消化率和消化酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):23-27.
- [ 15 ] 何谦,吴同山,胡文锋,等.发酵饲料对规模化猪场断奶仔猪生产性能的影响[J].畜牧与兽医,2008,40(6):62-64.
- [ 16 ] 张铮,石青松,朱伟云,等.乳酸菌发酵饲料对断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响[J].江苏农业科学,2018,46(19):170-173.
- [ 17 ] RUSSELL P J, GEARY T M, BROOKS P H, et al. Performance, water use and effluent output of weaner pigs fed *ad libitum* with either dry pellets or liquid feed and the role of microbial activity in the liquid feed[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 72(1):8-16.
- [ 18 ] JENSEN B B, MIKKELSEN L L. Feeding liquid diets to pigs [M]//GARNSWORTHY P C, WISEMAN J.

- Recent advance in animal nutrition. Nottingham; Nottingham University Press, 1998: 107-126.
- [19] LESCHIED D W. Probiotics as regulators of inflammation; a review [J]. *Functional Foods in Health and Disease*, 2014, 4(7): 299-311.
- [20] VAN WINSEN R L, KEUZENKAMP D, URLINGS B A P, et al. Effect of fermented feed on shedding of Enterobacteriaceae by fattening pigs [J]. *Veterinary Microbiology*, 2002, 87(3): 267-276.
- [21] 刘金萍. 植物乳杆菌 A6 (*Lactobacillus plantarum* A6) 生物学特性及在发酵饲料中应用的研究 [D]. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学, 2004.
- [22] YIN F G, FARZAN A, WANG Q, et al. Reduction of *Salmonella enterica* serovar typhimurium DT104 infection in experimentally challenged weaned pigs fed a *Lactobacillus*-fermented feed [J]. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2014, 11(8): 628-634.
- [23] VAN WINSEN R L, URLINGS B A P, LIPMAN L J A, et al. Effect of fermented feed on the microbial population of the gastrointestinal tracts of pigs [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(7): 3071-3076.
- [24] 陈鲜鑫, 王金全, 王春阳, 等. 乳酸菌发酵液体饲料对生长猪生长性能和粪中微生物区系的影响 [J]. *饲料工业*, 2010, 31(4): 40-42.
- [25] HÖGBERG A, LINDBERG J E. The effect of level and type of cereal non-starch polysaccharides on the performance, nutrient utilization and gut environment of pigs around weaning [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 127(3/4): 200-219.
- [26] LOH T C, VAN THU T, FOO H L, et al. Effects of different levels of metabolite combination produced by *Lactobacillus plantarum* on growth performance, diarrhoea, gut environment and digestibility of postweaning piglets [J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2013, 41(2): 200-207.
- [27] MISSOTTEN J A M, MICHIELS J, OVYN A, et al. Fermented liquid feed for pigs [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2010, 64(6): 437-466.
- [28] LIU X T, HOU C L, ZHANG J, et al. Fermentation conditions influence the fatty acid composition of the membranes of *Lactobacillus reuteri* I5007 and its survival following freeze-drying [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2014, 59(4): 398-403.
- [29] GIANG H H, VIET T Q, OGLE B, et al. Growth performance, digestibility, gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with potentially probiotic complexes of lactic acid bacteria [J]. *Livestock Science*, 2010, 129(1/2/3): 95-103.
- [30] 金三俊, 董佳琦, 任红立, 等. 复合微生态制剂对断奶仔猪生长性能、血清生化和免疫指标及粪便中挥发性脂肪酸含量的影响 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(12): 4477-4484.
- [31] 斯文森. 家畜生理学 [M]. 华北农业大学, 译. 北京: 科学出版社, 1978.
- [32] 崔艳红, 韩庆功, 崔艺佳, 等. 益生菌复合发酵料对断奶仔猪消化环境、血清生化指标和代谢激素水平的影响 [J]. *西北农业学报*, 2018, 27(1): 16-23.
- [33] 张董燕, 季海峰, 王晶, 等. 猪源罗伊氏乳酸杆菌对断奶仔猪生长性能和血清指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(9): 1553-1559.
- [34] 刘辉, 季海峰, 张董燕, 等. 饲料添加短乳杆菌对生长猪生长性能和血清生化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2013, 25(1): 182-189.
- [35] MALMOLF K. Amino acid in farm animal nutrition metabolism, partition and consequences of imbalance [J]. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 1988, 18(4): 191-193.
- [36] BORG B S, LIBAL G W, WAHLSTROM R C. Tryptophan and threonine requirements of young pigs and their effects on serum calcium, phosphorus and zinc concentrations [J]. *Journal of Animal Science*, 1987, 64(4): 1070-1078.
- [37] 胡新旭, 周映华, 卞巧, 等. 无抗发酵饲料对生长育肥猪生产性能、血液生化指标和肉品质的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2015, 34(1): 72-77.
- [38] PETERSEN H H, NIELSEN J P, HEEGAARD P M. Application of acute phase protein measurements in veterinary clinical chemistry [J]. *Veterinary Research*, 2004, 35(2): 163-187.
- [39] FRANCISCO C J, BANE D P, WEIGEL R M, et al. The influence of pen density, weaning age, and feeder space on serum haptoglobin concentration in young growing swine [J]. *Journal of Swine Health and Production*, 1996, 4(2): 67-71.
- [40] AI W Q, YUE Y, XIONG S D, et al. Enhanced protection against pulmonary mycobacterial challenge by chitosan-formulated polyepitope gene vaccine is associated with increased pulmonary secretory IgA and gamma-interferon+ T cell responses [J]. *Microbiology and Immunology*, 2013, 57(3): 224-235.
- [41] KUNAVUE N, LIEN T F. Effects of fulvic acid and probiotic on growth performance, nutrient digestibility, blood parameters and immunity of pigs [J]. *Journal*

- of Animal Science Advances, 2012, 2(8): 711–721.
- [42] MIZUMACHI K, AOKI R, OHMORI H, et al. Effect of fermented liquid diet prepared with *Lactobacillus plantarum* LQ80 on the immune response in weaning pigs[J]. Animal, 2009, 3(5): 670–676.
- [43] 王娟娟, 王顺喜, 陆文清, 等. 无抗生素微生物发酵饲料对仔猪免疫及抗氧化功能的影响[J]. 中国饲料, 2011(16): 25–27, 30.
- [44] SÁNCHEZ B, GUEIMONDE M, PEÑA A S, et al. Intestinal microbiota as modulators of the immune system [J]. Journal of Immunology Research, 2015, 2015: 159094.
- [45] GILL H S. Stimulation of the immune system by lactic cultures [J]. International Dairy Journal, 1998, 8(5/6): 535–544.

## Effects of *Lactobacillus paracasei*-Fermented Feed on Growth Performance, Fecal Bacteria Populations and Volatile Fatty Acid Contents, and Serum Biochemical and Immune Indexes of Growing Pigs

LIU Hui JI Haifeng\* WANG Sixin ZHANG Dongyan WANG Jing ZHANG Wei WANG Yamin  
(Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to evaluate the effects of *Lactobacillus paracasei*-fermented feed on growth performance, fecal bacteria populations and volatile fatty acid contents, and serum biochemical and immune indexes of growing pigs. A total of 140 Landrace×Yorkshire crossbred growing pigs with an average body weight of (20.86±0.62) kg were divided into 2 groups: control group and experimental group. Each group had 5 replicates with 14 pigs per replicate. Pigs in the control group were fed a basal diet, and pigs in experimental group were fed an experimental diet which consisted of basal diet (95%) and *Lactobacillus paracasei*-fermented feed (5%). The pre-experimental period was 5 days, and the experimental period was 31 days. The results showed that, compared with the control group: 1) the final weight and average daily gain were increased by 6.32% ( $P<0.05$ ) and 12.23% ( $P<0.05$ ), respectively, and the feed/gain was decreased by 8.58% ( $P<0.05$ ) in the experimental group; 2) the population of fecal lactic acid bacteria was significantly increased ( $P<0.05$ ), and the populations of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were significantly decreased ( $P<0.05$ ) in the experimental group; 3) the contents of acetic acid, butyric acid and total volatile fatty acid in feces in the experimental group were increased by 13.44% ( $P<0.05$ ), 20.51% ( $P<0.05$ ) and 11.01% ( $P<0.05$ ), respectively; 4) the contents of serum total protein, globulin, immunoglobulin G and immunoglobulin A were increased by 18.85% ( $P<0.05$ ), 33.31% ( $P<0.05$ ), 15.85% ( $P<0.05$ ) and 45.86% ( $P<0.05$ ), and the contents of serum urea nitrogen and haptoglobin were decreased by 19.29% ( $P<0.05$ ) and 52.72% ( $P<0.05$ ) in the experimental group, respectively. The results indicate that *Lactobacillus paracasei*-fermented feed can improve the growth performance, regulate the intestinal microbial balance, enhance the immune function and increase the contents of volatile fatty acids in feces of growing pigs. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(8): 3747-3754]

**Key words:** *Lactobacillus paracasei*-fermented feed; growing pig; growth performance; fecal microflora; volatile fatty acid; immune indexes