

复合有机酸对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、营养物质表观消化率的影响

何荣香¹ 吴媛媛² 韩延明² 马玉静¹ 杨玲¹ 欧阳富龙¹ 贺建华^{1*}

(1.湖南农业大学动物科学技术学院,长沙 410128;2.泰高集团研发中心,博克斯梅尔 5854)

摘要: 本试验旨在研究饲料及饮水中添加复合有机酸对断奶仔猪生长性能、胃肠道内容物 pH、血清生化指标、营养物质表观消化率以及空肠黏膜中分泌型免疫球蛋白 A (SIgA) 含量的影响。试验选取 21 日龄、体重为 (6.0±1.0) kg 的健康“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪 120 头,随机分成 I、II、III、IV 组,每组 5 个重复,每个重复 6 头。I 组为对照组,饲喂基础饲料;II 组为抗生素组,在基础饲料中添加 0.05% 的弗吉尼亚霉素预混料(弗吉尼亚霉素含量为 50%);III 组为有机酸化剂组,在基础饲料中添加 0.2% 的复合有机酸 B,且在饮水中添加 0.1% 的复合有机酸 A;IV 组为有机酸化剂组,在基础饲料中添加 0.2% 的复合有机酸 B 和 0.3% 的复合有机酸 C。试验期为 21~35 日龄(断奶后前 2 周)。结果表明:1) 与 I、II 组相比,III 组的平均日采食量 (ADFI) 显著提高 ($P<0.05$); III、IV 组的料重比有一定程度的降低,但差异不显著 ($P>0.05$); 4 组间的腹泻率和死亡率无显著差异 ($P>0.05$)。2) 与 I、II 组相比,III、IV 组胃、十二指肠肠道内容物 pH 显著降低 ($P<0.05$),空肠、回肠、结肠肠道内容物 pH 虽无显著差异 ($P>0.05$),但有降低的趋势。3) II、III、IV 组仔猪肠道对饲料中粗脂肪、粗纤维、粗蛋白质表观消化率较 I 组虽无显著的差异 ($P>0.05$),但有一定程度的提高。4) III、IV 组血清中碱性磷酸酶活性较 I、II 组显著降低 ($P<0.05$); 与 II 组相比,III 组血清谷丙转氨酶活性也显著降低 ($P<0.05$); III 组血清总蛋白含量较 I、II 组有一定程度的提高 ($P>0.05$); IV 组血清谷草转氨酶活性、肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 含量较 I、II 组有降低的趋势 ($P>0.05$)。5) III、IV 组空肠黏膜中 SIgA 含量与 I、II 组相比显著提高 ($P<0.05$)。综上所述,在断奶仔猪的饮水和饲料中组合或单独添加复合有机酸都可以提高断奶仔猪的生长性能和改善仔猪肠道健康状况。

关键词: 有机酸;断奶仔猪;胃肠道内容物 pH;养分消化率;SIgA

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)07-3118-09

断奶早期仔猪的胃肠道尚未发育完全,胃内泌酸能力较弱,导致仔猪肠道内 pH 显著升高,抑制了胃蛋白酶的激活。这不仅影响了饲料中营养物质的消化吸收,还会引起仔猪营养性腹泻,降低断奶仔猪的生长速度。此外,仔猪肠道 pH 的升高为肠道中的致病微生物提供了适宜的环境,同时饲料中未消化完全的蛋白质等营养物质也为其繁

殖提供了条件。这些都将导致有害微生物的大量繁殖,最终引起仔猪的持续性腹泻及影响仔猪生长。对于断奶仔猪腹泻及保障生长性能的问题,在生产实际中多是通过在饲料中添加氧化锌或者兼备促生长功效的抗生素来进行治疗。而随着人们对环境保护意识的增强、对食品健康问题的日益关注,以及我国在饲料中全面禁止添加抗生素

收稿日期: 2020-02-14

基金项目: 湖南省双一流建设专项(kxk201801004)

作者简介: 何荣香(1990—),女,湖南永州人,硕士研究生,研究方向为单胃动物营养与饲料科学。E-mail: 910231948@qq.com

* 通信作者: 贺建华,教授,博士生导师, E-mail: 895732301@qq.com

政策的实施,绿色、安全饲料添加剂的研发成为了当今畜牧生产中亟待解决的重点和热点问题。而有机酸是一类天然的、无毒的酸性有机化合物,包括了如甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、辛酸、癸酸等中短链脂肪酸以及月桂、柠檬酸、乳酸、苯甲酸、富马酸等在内的多种酸性化合物^[1]。研究发现,有机酸制剂具有降低饲料酸力和动物肠道 pH、抑制肠道有害菌繁殖、促进饲料中营养物质消化、提高肠道消化酶活性等多种生物学作用,且多种有机酸复合使用具有增益效果^[2]。本试验以断奶仔猪为研究对象,通过在其饮水和饲料中组合或单独添加复合有机酸这 2 种添加方式,研究复合有机酸对断奶仔猪生长性能、胃肠道内容物 pH、血清生化指标、营养物质表观消化率及空肠黏膜中分泌型免疫球蛋白 A (SIgA) 含量的影响,为复合有机酸制剂在无抗饲料添加剂的研发和实际生产中的科学应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用抗生素为 50% 弗吉尼亚霉素预混料;复合有机酸 A 主要成分为甲酸 31%、甲酸铵 23%、乙酸 \geq 31%;复合有机酸 B 主要成分为丁酸钠 \geq 4.4%、脂肪酸(己酸、辛酸、癸酸) \geq 26%、山梨酸 \geq 6.2%;复合有机酸 C 主要成分为甲酸 \geq 11%、甲酸铵 \geq 13%、乙酸 \geq 5.1%、丙酸 \geq 10%。

1.2 试验设计及试验饲料

试验采用单因素试验设计。试验选取 21 日龄、体重为(6.0 \pm 1.0) kg 的健康“杜 \times 长 \times 大”三元杂交断奶仔猪 120 头,随机分成 I、II、III、IV 组,每组 5 个重复,每个重复 6 头。I 组为对照组,饲喂基础饲料;II 组为抗生素组,在基础饲料中添加 0.05% 的弗吉尼亚霉素预混料(弗吉尼亚霉素含量为 50%);III 组为有机酸化剂组,在基础饲料中添加 0.2% 的复合有机酸 B,且在饮水中添加 0.1% 的复合有机酸 A;IV 组为有机酸化剂组,在基础饲料中添加 0.2% 的复合有机酸 B 和 0.3% 的复合有机酸 C。试验期为 21~35 日龄(断奶后前 2 周)。

基础饲料参照 NRC(2012) 猪的营养需要标准,并根据断奶仔猪的生长特点进行配制,其组成及营养水平见表 1,基础饲料中不添加抗生素。

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)

项目 Items	含量 Content	%
原料 Ingredients		
玉米 Corn	56.30	
豆粕 Soybean meal	12.70	
膨化大豆 Extruded soybean	9.60	
发酵豆粕 Fermented soybean meal	6.00	
麦麸 Wheat bran	4.76	
油粉 Oil-bound distemper	1.90	
豆油 Soybean oil	1.90	
鱼粉 Fish meal	1.50	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.68	
碳酸钙 CaCO ₃	1.43	
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10	
食盐 NaCl	0.40	
赖氨酸 Lys	0.60	
蛋氨酸 Met	0.13	
预混料 Premix ¹⁾	2.00	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
消化能 DE/(MJ/kg)	14.80	
粗蛋白质 CP	20.00	
赖氨酸 Lys	1.50	
蛋氨酸 Met	0.42	
钙 Ca	0.85	
总磷 TP	0.70	
有效磷 AP	0.41	

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: 植酸酶 phytase 500 FTU, Fe (as ferrous sulfate) 80 mg, Zn (as manganese sulfate) 80 mg, Cu (as copper sulfate) 5 mg, Mn (as manganese sulfate) 3 mg, S (as sodium selenite) 0.25 mg, I (as potassium iodide) 0.14 mg, VA 2 250 IU, VD₃ 220 IU, VE 16 IU, VK₃ 0.5 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 4.5 mg, VB₆ 7 mg, VB₁₂ 0.03 mg, 生物素 biotin 0.2 mg, 叶酸 folic acid 0.3mg, 烟酸 nicotinic acid 30 mg, 泛酸 pantothenic acid 25 mg, VC 20 mg。

2) 消化能为计算值,其余为实测值。DE was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

试验在湖南百宜原种猪场进行。试验仔猪采用地面饲养,自然通风,仔猪自由采食和饮水。试验期间猪只进行正常的免疫,驱虫程序按猪场常规同步进行。试验过程中随时观察、记录仔猪采食和健康状况,如果出现异常猪只,及时进行淘汰

并记录淘汰时重量。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能

准确记录各组试验猪的喂料量与余料量,计算每头仔猪平均日采食量(ADFI)。试验猪于21和35日龄,以栏为单位空腹称重,计算每头仔猪试验期间的平均日增重(ADG)。根据仔猪的ADFI和ADG计算料重比(F/G)。

1.4.2 腹泻率和死亡率

准确记录每组每天腹泻仔猪的头数及试验期间每组死亡猪只数,试验结束时统计腹泻率及死亡率,计算公式如下:

腹泻率(%) = $100 \times \text{总腹泻头次数} / \text{总试验天数}$;

死亡率(%) = $100 \times \text{死亡猪只数} / \text{总试验猪只数}$ 。

1.4.3 胃肠道内容物 pH

试验结束当天从每组随机选取1头仔猪,禁食12h后处死。无菌条件下迅速打开腹腔,取胃、十二指肠、空肠、回肠、结肠内容物各5mL,待测pH。

1.4.4 营养物质表观消化率

试验第12~14天,以栏为单位收集粪便,固定收粪时间在每天14:00—15:00,连收3d,用酸不溶灰分(AIA)作为内源指示剂测定粗纤维、粗蛋白质、粗脂肪表观消化率。

营养物质表观消化率(%) = $100 - \left(\frac{N2}{N1} \times \frac{M1}{M2} \right) \times 100$ 。

式中:M1为饲料中指示剂含量;M2为粪中指示剂含量;N1为饲料中营养物质含量;N2为粪中营养物质含量。

1.4.5 血清生化指标

试验结束当天,每组随机选择1头仔猪,空腹12h后前腔静脉采血,低温条件下3000 r/min离心15 min制备血清,于-20℃冰箱中保存待测。

血清中碱性磷酸酶、谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性及总蛋白、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)含量按相应试剂盒说明书进行测定,试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4.6 空肠黏膜中 SIgA 含量

截取空肠中间部位1段,剪开后用生理盐水轻轻洗去内容物后置于冰上,用无菌的载玻片轻轻刮取空肠内表层黏膜组织,用无菌的锡箔纸包裹并用液氮速冻,转移至-80℃冰箱中保存待测。空肠黏膜中SIgA含量按南京建成生物工程研究所的试剂盒说明书进行测定。

1.5 数据统计与分析

试验所得数据用Excel 2019进行处理,再用SPSS 20.0软件进行单因素方差分析,采用Duncan氏法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 复合有机酸对断奶仔猪生长性能的影响

由表2可知,断奶仔猪21~35日龄期间,Ⅲ组与Ⅰ、Ⅱ组相比,ADFI分别提高了20.86%、31.86% ($P < 0.05$),ADG分别提高了28.97%、26.01% ($P > 0.05$)。Ⅳ组的ADFI、ADG与Ⅰ、Ⅱ组相比均无显著差异 ($P > 0.05$);Ⅲ、Ⅳ组的F/G呈现相同趋势,与Ⅰ、Ⅱ组相比有一定程度的降低,但无显著差异 ($P > 0.05$)。

表2 复合有机酸对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of composite organic acids on growth performance of weaning piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值
	I	II	III	IV	P-value
21日龄体重 BW at 21 days of age/kg	5.72±0.84	5.89±0.27	5.79±0.15	5.88±0.15	0.882
35日龄体重 BW at 35 days of age/kg	7.06±0.20	7.27±0.26	7.52±0.24	7.03±0.18	0.396
平均日增重 ADG/g	191.91±24.70	196.13±32.00	247.15±22.02	164.86±25.52	0.211
平均日采食量 ADFI/g	268.76±26.16 ^b	246.33±13.28 ^b	324.81±7.82 ^a	222.61±12.72 ^b	0.005
料重比 F/G	1.42±0.07	1.33±0.16	1.33±0.09	1.27±0.09	0.797

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 复合有机酸对断奶仔猪腹泻率和死亡率的影响

由表 3 可知,4 组间腹泻率及死亡率无显著差

异 ($P>0.05$),其中 III 组的死亡率、腹泻率最低,III 组的腹泻率比 I、II 组分别降低了 39.85%、17.53%。

表 3 复合有机酸对断奶仔猪腹泻率和死亡率的影响

Table 3 Effects of compound organic acids on diarrhea rate and mortality of weaning piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
死亡率 Mortality	3.33±3.33	6.67±6.67	0.00±0.00	3.33±3.33	0.054
腹泻率 Diarrhea rate	1.33±0.31	0.97±0.24	0.80±0.17	1.07±0.18	0.444

2.3 复合有机酸对断奶仔猪胃肠道内容物 pH 的影响

由表 4 可知,III 组胃、十二指肠内容物 pH 较 I 组降低了 30.60%、7.09% ($P<0.05$),较 II 组降低了 32.10%、9.01% ($P<0.05$)。IV 组胃、十二指

肠内容物 pH 较 I 组降低了 32.82%、6.18% ($P<0.05$),较 II 组降低了 34.27%、8.12% ($P<0.05$); III、IV 组空肠、回肠、结肠内容物 pH 与 I、II 组相比有降低的趋势,但无显著差异 ($P>0.05$)。

表 4 复合有机酸对断奶仔猪胃肠道内容物 pH 的影响

Table 4 Effects of composite organic acids on pH in gastrointestinal tract of weaning piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
胃 Stomach	4.51±0.40 ^a	4.61±0.45 ^a	3.13±0.45 ^b	3.03±0.44 ^b	0.034
十二指肠 Duodenum	6.63±0.07 ^a	6.77±0.11 ^a	6.16±0.10 ^b	6.22±0.21 ^b	0.035
空肠 Jejunum	6.67±0.15	6.51±0.20	6.46±0.17	6.46±0.15	0.793
回肠 Ileum	6.92±0.04	6.83±0.12	6.69±0.17	6.76±0.16	0.691
结肠 Colon	6.48±0.20	6.35±0.18	6.28±0.16	6.26±0.31	0.893

2.4 复合有机酸对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响

由表 5 可知,与 I、II 组相比,III 组粗脂肪表观消化率分别提高了 25.72%、22.05% ($P>0.05$),粗纤维表观消化率分别提高了 9.05%、5.43% ($P>0.05$),粗蛋白质表观消化率分别提高了 9.40%、

6.39% ($P>0.05$)。与 I、II 组相比,IV 组粗脂肪表观消化率分别提高了 26.40%、22.72% ($P>0.05$),粗纤维表观消化率分别提高了 4.16%、0.70% ($P>0.05$),粗蛋白质表观消化率分别提高了 10.52%、7.48% ($P>0.05$)。III、IV 组营养物质表观消化率均呈现升高趋势,但无显著差异 ($P>0.05$)。

表 5 复合有机酸对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响

Table 5 Effects of composite organic acids on nutrient apparent digestibility of weaning piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
粗脂肪 EE	29.32±1.59	30.20±5.67	36.86±2.64	37.60±1.91	0.252
粗纤维 CF	22.09±1.07	22.85±1.51	24.09±1.73	23.01±1.84	0.840
粗蛋白质 CP	56.94±1.85	58.55±2.62	62.29±2.59	62.93±2.43	0.295

2.5 复合有机酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

由表 6 可知,与 I 组相比,III、IV 组血清中碱

性磷酸酶活性降低了 58.59% 和 58.37% ($P<0.05$),与 II 组相比,III、IV 组血清中碱性磷酸酶活

性降低了25.87%、25.70% ($P < 0.05$), 且与 I 组相比, II 组血清中碱性磷酸酶活性也显著降低 ($P < 0.05$); III 组血清中谷丙转氨酶活性与 I 组相比降低了86.01% ($P < 0.05$), 与 II、III 组相比也有一定

程度的降低 ($P > 0.05$); IV 组血清中 TNF- α 含量与 I、II、III 组相比虽无显著差异 ($P > 0.05$), 但有降低的趋势; III 组血清中总蛋白含量与 I、II、IV 组相比有升高的趋势 ($P > 0.05$)。

表 6 复合有机酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 6 Effects of composite organic acids on serum biochemical indicators of weaning piglets

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
碱性磷酸酶 ALP/(金氏单位/dL)	35.00±2.60 ^a	27.78±0.77 ^b	22.07±1.55 ^c	22.10±0.86 ^c	<0.001
谷草转氨酶 AST/(U/L)	31.20±6.61	29.68±4.49	28.98±2.39	24.77±1.79	0.744
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	16.09±2.17 ^a	11.66±1.73 ^{ab}	8.65±1.68 ^b	11.66±1.69 ^{ab}	0.012
总蛋白 TP/(g/L)	44.49±1.88	45.56±2.74	51.07±1.81	44.76±1.79	0.133
肿瘤坏死因子- α TNF- α /(ng/L)	210.91±24.86	191.78±26.30	206.33±11.66	145.07±12.62	0.051

2.6 复合有机酸对断奶仔猪空肠黏膜中 SIgA 含量的影响

由表 7 可知, III 组空肠黏膜中 SIgA 含量较 I、II 组提高了51.27%、37.86% ($P < 0.05$); IV 组

空肠黏膜中 SIgA 含量较 I、II 组提高了50.14%、36.83% ($P < 0.05$), 上述结果说明复合酸化剂对仔猪空肠黏膜中 SIgA 的分泌均有促进作用。

表 7 复合有机酸对断奶仔猪空肠黏膜中 SIgA 含量的影响

Table 7 Effects of composite organic acids on SIgA content in jejunal mucosa of weaning piglets

项目 Item	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
分泌型免疫球蛋白 A SIgA	43.40±3.00 ^b	47.62±3.72 ^b	65.65±7.06 ^a	65.16±6.65 ^a	0.016

3 讨论

3.1 复合有机酸对断奶仔猪断奶早期生长性能的影响

仔猪的营养状态可以通过生长性能直观地展现出来。Grill 等^[3]报道, 在断奶仔猪的饲料中添加 0.3% 的有机酸, 可以显著提高仔猪的 ADG 和末重。同时, Li 等^[4]的试验结果表明, 在饲料中添加 0.3% 的有机酸, 可以显著降低断奶仔猪的腹泻率和 F/G, 且效果优于抗生素组。Walsh 等^[5]在断奶仔猪的饮水和饲料中添加酸化剂, 可以显著提高仔猪的 ADG、ADFI, 且可以降低粪便中的大肠杆菌含量。这与 Guggenbuhl 等^[6]、吴秋玉等^[7]试验结论相同。

本试验结果表明, 与 I 和 II 组相比, III 组中添加复合有机酸可以显著提高仔猪的 ADFI; 在饮水和饲料中组合添加有机酸或在饲料中单独添加有机酸, 都可以一定程度地降低 F/G。这与 Halas

等^[8]、阳巧梅等^[9]、池仕红等^[10]的试验结论一致。其原因可能是有机酸可以一定程度上改善饲料的适口性, 促进仔猪进食, 增加采食量, 进而促进仔猪的生长发育。

3.2 复合有机酸对断奶仔猪腹泻率的影响

李海兰等^[11]的研究发现, 基础饲料中单独添加 0.15% 的酸化剂或是与 0.03% 牛至油组合添加都可以降低仔猪腹泻率。刘圈炜等^[12]在文昌鸡的饲料中添加不同比例的复合酸化剂, 其结果显示, 饲料中添加 2 kg/t 复合酸化剂可显著提高文昌鸡的末重、ADG, 同时可以显著降低试验期间的 F/G, 即复合有机酸对热应激状态文昌鸡的生长性能有良好的改善作用。本试验结果显示, 4 组间腹泻率无显著差异, 但是与 I 和 II 组相比, 饮水和饲料中组合添加有机酸可以在一定程度上减少仔猪腹泻的发生。其原理可能是有机酸可以降低饲料的系酸力, 降低肠道 pH, 抑制肠道中有害菌群的繁殖, 从而降低仔猪的腹泻率。

3.3 复合有机酸对断奶仔猪胃肠道内容物 pH 及营养物质表观消化率的影响

仔猪胃肠道酸度是影响其消化功能的重要因素。卢娜等^[13]、王庆争等^[14]分别选用断奶仔猪、仔兔为试验对象,在饲料中添加一定量的复合有机酸化剂,结果显示有机酸可以显著降低动物胃肠道内容物 pH 和提高消化酶活性。李军等^[15]的研究发现,在爱拔益加肉鸡饲料中添加有机酸,可以显著提高饲料粗蛋白质、能量、干物质、钙和磷表观消化率。这与苏永腾等^[16]、王小建等^[17]、王阳等^[18]的试验结论相一致。

本试验结果显示,在饲料中单独添加有机酸或在饮水和饲料中组合添加有机酸都可以显著降低胃、十二指肠肠道内容物 pH。与 I 组相比,添加复合有机酸后可以显著提高饲料粗脂肪、粗纤维、粗蛋白质表观消化率。其原因:一方面,可能是在饮水、饲料中添加有机酸可以降低胃的 pH,酸性的胃肠道环境利于胃蛋白酶原的激活和饲料中蛋白质变性,进而促进饲料中营养物质的消化;另一方面,胃肠道酸性环境能减慢胃的排空速度,使饲料在胃内的停留时间延长,更利于营养物质的消化和吸收。此外,断奶仔猪的肠道未发育完全,泌酸能力较弱,断奶后胃肠道内容物 pH 会显著升高^[19]。张玲等^[20]的研究发现,添加酸化剂后,有机酸可通过释放 H⁺降低肠道 pH,抑制大肠杆菌、葡萄球菌、链球菌等致病菌的繁殖,从而起到维持肠道微生态平衡、改善肠道健康的作用^[21]。但 Li 等^[22]的研究显示,添加酸化剂在不影响仔猪胃肠道内容物 pH 和免疫指标的情况下,对断奶仔猪的生长性能仍有提高作用,这与先前的研究结果不一致,可能跟其选用的有机酸种类和含量不同有关。

3.4 复合有机酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

血清生化指标可以反映细胞的通透性和机体新陈代谢机能的变化。血清总蛋白有维持血管内的渗透压及酸碱平衡和免疫的功能,还可以反映动物机体营养及健康状况。当机体营养状况良好时,机体内的蛋白质合成增加,总蛋白含量升高,反之亦然。谷草转氨酶和谷丙转氨酶是反映肝脏功能的重要指标,也是氨基酸代谢中的关键酶。血清中的碱性磷酸酶活性是反映成骨细胞成熟和骨骼代谢的重要指标,当动物骨骼未发育完全或患佝偻病、骨软症和维生素 D 缺乏时,血清中的碱

性磷酸酶活性通常会升高^[23]。罗曦等^[24]、高玉云等^[25]在鸡的饲料中添加有机酸,可以显著提高血清中总蛋白、白蛋白和球蛋白的含量。Kuang 等^[26]的研究显示,断奶仔猪饲料中添加复合有机酸,可以抑制空肠促炎细胞因子的表达。在 Han 等^[27]的有机酸替代金霉素的试验中,有机酸组血清中免疫球蛋白 A (IgA)、免疫球蛋白 G (IgG) 含量显著高于金霉素组,结果显示有机酸是金霉素的潜在替代品。这与 Long 等^[28]、Ahmed 等^[29]的试验结论相一致。Sauer 等^[30]的研究显示,在生长猪的饲料中添加苯甲酸,可以提高饲料中钙、磷和钾的利用率。

本试验结果显示,Ⅲ、Ⅳ组血清中碱性磷酸酶活性显著降低,Ⅲ组血清中谷丙转氨酶活性显著降低,且血清中总蛋白含量升高,Ⅳ组血清中谷草转氨酶活性、TNF- α 含量有降低趋势。这表明有机酸对断奶仔猪的营养状况、血清生化指标、免疫功能均有改善作用。这与汪晶晶等^[31]、Upadhaya 等^[32]、瞿蕾^[33]的研究结论一致。

3.5 复合有机酸对断奶仔猪空肠黏膜中 SIgA 含量的影响

SIgA 是消化道黏膜免疫的主要效应因子,可抵御病原菌在呼吸道黏膜、胃肠道黏膜的黏附作用,还可通过免疫清除、免疫调节等多种功能来提高黏膜局部抗感染及中和病毒的作用^[34]。张林江^[35]、曹婷婷^[36]的研究发现,小肠黏膜中的 SIgA 分泌浆细胞主要分布在肠绒毛基部的固有层中。当 SIgA 的分泌不足时会引起肠道菌群失调,导致胃肠道、呼吸道等部位发生感染性疾病^[37]。

本试验结果显示,有机酸可以显著提高空肠黏膜中 SIgA 的含量。这表明有机酸提高了仔猪胃肠道黏膜的免疫作用。钮海华^[38]的研究结果显示,在饲料中添加丁酸盐,可以提高 SIgA 分泌细胞的数量。晏家友等^[39]在断奶仔猪饲料中添加 0.1% 的微胶囊型复合酸化剂,可以显著提高十二指肠、空肠和回肠黏膜抗体 SIgA 分泌量,这与本试验结论相一致。

4 结论

试验结果表明,在断奶仔猪的饮水和饲料中组合添加复合有机酸或单独在饲料中添加有机酸均可以改善仔猪胃肠道的 pH、血清生化指标,同时对仔猪空肠黏膜免疫有促进作用。

参考文献:

- [1] LIU Y, ESPINOSA C D, ABELILLA J J, 等. 猪日粮中的非抗生素饲料添加剂(一)[J]. 中国饲料, 2018(12): 86-92.
- [2] PAPTASIROU V G, CHRISTODOULOPOULOS G, FILIPPOPOULOS L C. The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits) [J]. *Journal of Cell and Animal Biology*, 2012, 6(10): 154-159.
- [3] GRILLI E, MESSINA M R, TEDESCHI M, et al. Feeding a microencapsulated blend of organic acids and nature identical compounds to weaning pigs improved growth performance and intestinal metabolism [J]. *Livestock Science*, 2010, 133(1/2/3): 173-175.
- [4] LI S, ZHENG J, DENG K, et al. Supplementation with organic acids showing different effects on growth performance, gut morphology, and microbiota of weaned pigs fed with highly or less digestible diets [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(8): 3302-3318.
- [5] WALSH M C, SHOLLY D M, HINSON R B, et al. Effects of water and diet acidification with and without antibiotics on weanling pig growth and microbial shedding [J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(7): 1799-808.
- [6] GUGGENBUHL P, SÉON A, QUINTANA A P, et al. Effects of dietary supplementation with benzoic acid (VevoVital[®]) on the zootechnical performance, the gastrointestinal microflora and the ileal digestibility of the young pig [J]. *Livestock Science*, 2007, 108(1/2/3): 218-221.
- [7] 吴秋玉, 吴艺鑫, 郑远鹏. 有机酸对断奶仔猪生长性能及腹泻率的影响 [J]. 中国饲料, 2019(2): 81-84.
- [8] HALAS D, HANSEN C F, HAMPSON D J, et al. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 160(3/4): 134-147.
- [9] 阳巧梅, 尹秀娟, 廖娟娟. 日粮添加酸化剂替代抗生素对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及肠道形态的影响 [J]. 中国饲料, 2018(10): 37-41.
- [10] 池仕红, 叶润全, 何家豪, 等. 不同酸化剂对断奶仔猪生长性能的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(20): 122-124.
- [11] 李兰海, 陈丽玲, 游金明, 等. 酸化剂和牛至油替代硫酸黏杆菌素对断奶仔猪生长性能、腹泻率和盲肠微生物数量的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(5): 1864-1871.
- [12] 刘圈炜, 顾丽红, 邢漫萍, 等. 复合酸化剂对热应激文昌鸡生长性能及血清生化指标的影响 [J]. 中国家禽, 2018, 40(10): 27-30.
- [13] 卢娜, 李娜, 陈宝江, 等. 日粮中添加不同酸化剂对断奶仔猪的消化环境和生化指标的影响 [J]. 饲料研究, 2015(3): 52-55.
- [14] 王庆争, 郭志强, 谢晓红, 等. 酸化剂和血浆蛋白粉对哺乳仔猪生长性能、胃肠道 pH、胃蛋白酶活性及肠黏膜形态的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 713-720.
- [15] 李军, 卢玉飞, 邓波波, 等. 复合酸化剂的日粮酸化作用及对营养物质表观消化率的影响 [J]. 中国饲料, 2011(14): 23-25, 28.
- [16] 苏永腾, 陈丽媛. 复合酸化剂对断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响 [J]. 饲料工业, 2017, 38(1): 25-28.
- [17] 王小建, 李伟, 布登付, 王国强. 不同营养水平日粮添加包被有机酸对断奶仔猪生长性能、养分消化率及粪便有害气体含量的影响 [J]. 中国饲料, 2018(10): 25-30.
- [18] 王阳, 张家发, 李保明. 饮水系统添加微酸性电解水对蛋鸡肠道微生物的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(1): 113-119.
- [19] 夏双双. 二甲酸钾对断奶仔猪胃功能及相关功能基因表达的影响 [D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [20] 张玲, 李丽, 蒋月. 复合酸化剂对家禽饮水中细菌的抗菌活性试验 [J]. 中国家禽, 2013, 35(7): 42-43, 45.
- [21] LIU Y H, ESPINOSA C D, ABELILLA J J, et al. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: a review [J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4(2): 113-125.
- [22] LI Z J, YI G F, YIN J D, et al. Effects of organic acids on growth performance, gastrointestinal pH, intestinal microbial populations and immune responses of weaned pigs [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2008, 21(2): 252-261.
- [23] 王石莹, 闫素梅. 碱性磷酸酶在动物骨骼代谢中的研究进展 [J]. 饲料博览, 2009(4): 14-17.
- [24] 罗曦, 罗辉, 何健. 复合酸化剂对肉鸡生产性能、免疫功能及血清生化指标的影响 [J]. 中国家禽, 2019, 41(16): 65-69.
- [25] 高玉云, 张杏莉, 孔邱林, 等. 有机酸和精油复合微囊包被物对肉鸡生长性能、免疫器官指数、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(8): 2923-2930.

- [26] KUANG Y, WANG Y, ZHANG Y, et al. Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids as a replacement of zinc oxide on growth, digestibility and immunity of weaned pigs [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 208: 145–157.
- [27] HAN Y S, TANG C H, ZHAO Q Y, et al. Effects of dietary supplementation with combinations of organic and medium chain fatty acids as replacements for chlortetracycline on growth performance, serum immunity, and fecal microbiota of weaned piglets [J]. *Live-stock Science*, 2018, 216: 210–218.
- [28] LONG S F, XU Y T, PAN L, et al. Mixed organic acids as antibiotic substitutes improve performance, serum immunity, intestinal morphology and microbiota for weaned piglets [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 235: 23–32.
- [29] AHMED S T, HWANG J A, HOON J, et al. Comparison of single and blend acidifiers as alternative to antibiotics on growth performance, fecal microflora, and humoral immunity in weaned piglets [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27 (1) : 93–100.
- [30] SAUER W, CERVANTES M, YANEZ J, et al. Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs [J]. *Livestock Science*, 2008, 122 (2/3) : 163–168.
- [31] 汪晶晶, 任红立, 董佳琦, 等. 微生态制剂和复合酸化剂对哺乳母猪生产性能、血清生化和免疫指标以及乳成分的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (2) : 685–695.
- [32] UPADHAYA S D, LEE K Y, KIM I H. Effect of protected organic acid blends on growth performance, nutrient digestibility and faecal micro flora in growing pigs [J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2016, 44 (1) : 238–242.
- [33] 瞿蕾. 复合酸化剂对肉鸡生长及免疫机能影响的初步研究 [D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [34] 赵雪, 张辉, 刘禹, 等. 分泌型 IgA 对肠道黏膜免疫的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2013, 40 (6) : 96–99.
- [35] 张林江. 双峰驼黏膜免疫效应分子 sIgA 分泌细胞在小肠分布规律的研究 [D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [36] 曹婷婷. IgA、IgG 和 IgM 分泌细胞在家兔胃肠道的分布规律及其与年龄的关系 [D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [37] 车传燕, 杨倩. 断奶仔猪胃肠道中 IgA 和 IgG 分泌细胞的分布 [J]. *畜牧兽医学报*, 2010, 41 (5) : 615–620.
- [38] 钮海华. 丁酸钠对断奶仔猪生长、免疫及肠道功能的影响及其机理研究 [D]. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [39] 晏家友, 贾刚, 王康宁, 等. 缓释复合酸化剂对断奶仔猪消化道酸度及肠道功能的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2009, 40 (12) : 1747–1754.

Effects of Compound Organic Acids on Growth Performance, Serum Biochemical Indicators and Nutrient Apparent Digestibility of Weaning Piglets

HE Rongxiang¹ WU Yuanyuan² HAN Yanming² MA Yujing¹ YANG Ling¹
OUYANG Fulong¹ HE Jianhua^{1*}

(1. Department of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Trouw Nutrition R & D, Boxmeer 5854, Netherlands)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary and drinking water supplemented compound organic acids on growth performance, gastrointestinal tract pH, serum biochemical indicators, apparent nutrient digestibility and secreted immunoglobulin A (SIgA) content in the jejunal mucosa of weaning piglets. In the test, a total of 120 healthy 21-day-old Duroc×Landrace×Yorkshire ternary weaning piglets with body weight of (6.0±1.0) kg were randomly divided into 4 groups, namely, groups I, II, III and IV. Each group contained 5 repetitions and each repetition with 6 heads. The group I was control group, and piglets were fed a basal diet; the group II was antibiotic group, and those were fed the basal diet added with 0.05% antibiotics (the content of virginiamycin was 50%); the group III was organic acidifier group, and those were fed the basal diet added with compound organic acid B and drinking water added with the compound organic acid A; the group IV was compound organic acidifier group, and those were fed the basal diet added with compound organic acids B and C. The trial lasted from 21 to 70 days of age (the two weeks after weaning). The results showed as follows: 1) compared with groups I and II, the average daily feed intake (ADFI) in group III was significantly increased ($P<0.05$); the ratio of feed to gain in groups III and IV was reduced to a certain extent, but the difference was not significant ($P>0.05$). Diarrhea rate and mortality were not significant among 4 groups ($P>0.05$). 2) Compared with groups I and II, the pH of stomach and duodenum in groups III and IV was decreased significantly ($P<0.05$). The pH of jejunum, ileum and colon was not significant ($P>0.05$), but there was a trend of decrease. 3) The apparent digestibility of crude fat, crude fiber and crude protein in the intestine of piglets in groups II, III and IV was not significantly different from that in group I ($P>0.05$), but it was improved to a certain extent. 4) The activities of alkaline phosphate in serum in groups III and IV were significantly lower than those in groups I and II ($P<0.05$). Compared with group II, the activity of alanine aminotransferase in serum in group III was also significantly reduced ($P<0.05$), and the total protein content in serum in group III showed a certain degree of improvement ($P>0.05$); the activity of aspartate aminotransferase and the content of tumor necrosis factor- α in group IV had a tendency to decrease compared with groups I and II ($P>0.05$). 5) The content of SIgA in the jejunum mucosa in groups III and IV was significantly increased compared with groups I and II ($P<0.05$). In summary, the combined addition of compound organic acids in drinking water and diets or the addition of compound organic acids in diets to weaning piglets can improve the growth performance and intestinal health of piglets. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(7):3118-3126]

Key words: organic acids; weaning piglets; gastrointestinal pH; nutrient digestibility; SIgA