

苯甲酸对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、养分消化率和空肠食糜消化酶活性的影响

刁慧 郑萍 余冰 何军 毛湘冰 虞洁
黄志清 代腊 王曲圆 陈代文*

(四川农业大学动物营养研究所, 动物抗病营养教育部重点实验室, 雅安 625014)

摘要: 本试验旨在研究苯甲酸对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、养分消化率和空肠食糜消化酶活性的影响。选择 72 头 24 日龄断奶、初始体重为 (6.03 ± 0.78) kg 的健康“杜×长×大”三元杂交仔猪, 按体重相近、公母各占 1/2 的原则, 随机分为 2 个组, 即对照组和苯甲酸组 (5 000 mg/kg), 每个组 6 个重复, 每个重复 6 头仔猪, 试验期 42 d。结果表明: 与对照组相比, 饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著降低了仔猪全期的料重比 ($P < 0.05$), 显著或极显著提高了试验第 42 天仔猪血清中钙和三碘甲腺原氨酸的含量以及饲料干物质、粗蛋白质、能量、粗脂肪、钙、磷和粗灰分的消化率 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。与对照组相比, 饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著或极显著提高了试验第 14 天仔猪空肠食糜胰蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、麦芽糖酶、蔗糖酶和乳糖酶的活性及试验第 42 天仔猪空肠食糜乳糖酶和蔗糖酶的活性 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。综上所述, 在本试验条件下, 添加 5 000 mg/kg 苯甲酸可以提高断奶仔猪生长性能、养分消化率和空肠食糜消化酶活性, 并在一定程度上改善血清生化指标。

关键词: 苯甲酸; 生长性能; 养分消化率; 消化酶活性; 仔猪

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)04-0768-10

近年来, 许多科学研究阐述了饲料中抗生素与人类健康的关系, 公众关注焦点集中在病原微生物抵抗和动物产品药物残留的问题上, 从而使得寻求绿色、高效、无污染和无残留的抗生素替代品显得尤为迫切^[1-2]。有机酸具有促生长、抗菌等类似抗生素的作用, 已在生产中广泛应用^[3-6]。苯甲酸是有机酸中的一种, 研究表明, 苯甲酸能提高仔猪的生长性能, 改善养分消化率^[7-8]。目前国内有关苯甲酸作为抗菌促生长剂应用于仔猪饲料中的研究报道还很少, 其对仔猪血清生化指标及消化酶活性的影响国内还未见报道。且国内外关于饲料中添加苯甲酸对仔猪的生长性能、养分消化率影响的研究结果不一致^[7-10], 因此, 有必要作进一步系统地研究。本试验以苯甲酸作为添加剂,

以 24 日龄断奶的“杜×长×大”三元杂交仔猪为试验动物, 探讨苯甲酸对断奶仔猪的生长性能、血清生化指标、养分消化率和消化酶活性的影响, 旨在揭示苯甲酸在仔猪上的应用效果, 为苯甲酸生产上的合理应用提供参考。同时对于合理配制仔猪饲料、制定科学的营养管理方案来提高仔猪的健康和生长性能具有较大的实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

苯甲酸: 由帝斯曼中国有限公司生产并提供, 纯度 99.5%。

1.2 试验设计与动物

本试验选择 72 头 24 日龄断奶、初始体重为

收稿日期: 2012-11-21

基金项目: 国家生猪现代产业技术体系建设专项资金 (CARS-36); 生猪现代产业链关键技术研究集成与产业化示范 (2012NZ001)

作者简介: 刁慧 (1988—), 女, 四川内江人, 硕士研究生, 从事猪的营养研究。E-mail: diao_hui@hotmail.com

* 通讯作者: 陈代文, 教授, 博士生导师, E-mail: dwchen@sicau.edu.cn

(6.03 ± 0.78) kg 的健康“杜 × 长 × 大”三元杂交仔猪,按体重相近、公母各占 1/2 的原则,随机分为 2 个组,分别饲喂基础饲料(对照组)和在基础饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸的试验饲料(苯甲酸组),每个组 6 个重复,每个重复 6 头仔猪。试验期 42 d,于试验第 39 ~ 42 天,采用内源指示剂收粪法进行消化试验。

1.3 试验饲料

基础饲料为大麦 - 小麦型饲料,参考 NRC (1998) 5 ~ 10 kg、10 ~ 20 kg 断奶仔猪营养需要量配制,所有饲料均为颗粒料。试验分为 2 个阶段,分别为试验的第 1 ~ 14 天和第 15 ~ 42 天,基础饲料组成及营养水平见表 1。苯甲酸组用苯甲酸替代等量玉米构成试验饲料。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

| 项目 Items | 第 1 ~ 14 天 Days 1 to 14 | 第 15 ~ 42 天 Days 15 to 42 |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 原料 Ingredients | | |
| 大麦 Barley | 31.00 | 31.50 |
| 小麦 Wheat | 16.40 | 16.20 |
| 玉米 Maize (CP 7.8%) | 14.23 | 18.36 |
| 膨化大豆 Extruded soybean meal (CP 35.5%) | 25.20 | 23.40 |
| 乳清粉(低蛋白质) Whey powder (low protein) | 6.00 | 4.00 |
| 鱼粉 Fish meal (CP 60.2%) | 5.50 | 5.40 |
| L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys · HCl (78.0%) | 0.28 | 0.12 |
| DL-蛋氨酸 DL-Met | 0.08 | |
| 色氨酸 Trp (98.0%) | 0.04 | 0.01 |
| 苏氨酸 Thr (98.5%) | 0.13 | 0.05 |
| 氯化胆碱 Choline chloride | 0.10 | 0.10 |
| 磷酸氢钙 CaHPO ₄ | 0.40 | 0.22 |
| 食盐 NaCl | 0.20 | 0.20 |
| 维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾ | 0.04 | 0.04 |
| 矿物质预混料 Mineral premix ²⁾ | 0.40 | 0.40 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels ³⁾ | | |
| 消化能 DE/(MJ/kg) | 14.29 | 14.29 |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 13.11 | 13.13 |
| 粗蛋白质 CP | 19.44 | 19.02 |
| 钙 Ca | 0.82 | 0.74 |
| 总磷 TP | 0.62 | 0.57 |
| 有效磷 AP | 0.42 | 0.36 |
| 赖氨酸 Lys | 1.36 | 1.17 |
| 蛋氨酸 Met | 0.43 | 0.34 |
| 苏氨酸 Thr | 0.91 | 0.80 |
| 蛋氨酸 + 胱氨酸 Met + Cys | 0.73 | 0.63 |
| 精氨酸 Arg | 1.23 | 1.19 |

¹⁾ 维生素预混料可为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 6 000 IU, VD₃ 400 IU, VE 10 IU, VK₃ 2 mg, VB₁ 0.8 mg, VB₂ 6.4 mg, VB₆ 2.4 mg, VB₁₂ 12 μg, 叶酸 folic acid 0.2 mg, 烟酸 nicotinic acid 14 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 10 mg。

²⁾ 矿物质预混料可为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets: Fe (as ferrous sulfate) 120 mg, Cu (as copper sulfate) 6 mg, Mn 40 mg, Zn (as zinc sulfate) 100 mg, I 0.3 mg, Se 0.3 mg。

³⁾ 营养水平为计算值,代谢能值通过中国饲料数据库提供的数值进行计算。Nutrient levels were calculated values, and ME value was calculated according to the values provided by Chinese feed database.

1.4 饲养管理

试验在四川农业大学动物营养研究所教学科研试验基地进行。预试 3 d 后进入正式试验。自由饮水,每日饲喂 4 次(08:00、12:00、16:00、20:00),少喂勤添,喂料量以料槽内略有剩余为度。试验期间不对猪只使用任何抗生素类药物,准确记录猪只日常情况。

1.5 样品采集与处理

饲料样:采用四分法收集样品各 250 g,4 ℃ 保存待测。

粪样:于试验第 39~42 天,采用内源指示剂收粪法进行消化试验。每次收集粪样后加 10% 盐酸和甲苯进行固氮。每个重复收集的粪样经充分混合后,于 60~65 ℃ 烘至恒重。样品干燥后粉碎,过 40 目筛,用以测定常规营养成分。

血样:于试验第 14 天和第 42 天,每个重复选 1 头接近平均体重的仔猪,空腹,前腔静脉采血 10 mL 制备血清,用以测定血清生化指标。

食糜与组织样品:于试验第 14 天和第 42 天,每个重复选 1 头接近平均体重的仔猪,用盐酸氯丙嗪按照 2 mg/kg BW 的剂量对取样猪只进行耳缘静脉注射,麻醉处死,打开腹腔,迅速分离肠段,取空肠食糜 4 份,分装于灭菌的 EP 管中,液氮速冻,-70 ℃ 保存,用以测定空肠食糜中的消化酶活性。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 生长性能

试验期间准确记录每天每栏采食量,并分别在试验第 1、15、29 和 43 天早上对仔猪进行空腹称重,计算试验第 1~14 天、第 15~28 天、第 29~42 天和第 1~42 天平均日增重、平均日采食量和料重比。

1.6.2 腹泻总评分

试验期间每天 08:00 和 20:00 记录腹泻情况,并进行评分。腹泻评分由同一个人观察记录,计算试验第 1~14 天、第 15~28 天、第 29~42 天和第 1~42 天的腹泻总评分。评分的依据如下:0 分,无腹泻;1 分,每栏腹泻猪头数小于该栏猪总头数的 20%;2 分,每栏腹泻猪头数为该栏猪总头数的 20%~40%;3 分,每栏腹泻猪头数大于该栏猪总头数的 40%。

腹泻总评分 = 每个组早晚腹泻评分总和/重复数。

1.6.3 血清生化指标

血清尿素氮、总蛋白、白蛋白、球蛋白、胆固醇、甘油三酯、钙、磷、甲状腺素、三碘甲腺原氨酸含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定,按照试剂盒说明书严格操作。

1.6.4 养分消化率

消化试验采用内源指示剂收粪法,使用盐酸不溶灰分(AIA)作为指示剂,测定方法参见 GB/T 23742—2009《饲料中盐酸不溶灰分的测定》。饲料及粪便中的干物质、粗灰分、粗蛋白质、钙、磷、粗脂肪和能量的检测参照张丽英^[11]的方法。养分消化率的计算公式为:

$$\text{某养分消化率}(\%) = 100 - 100 \times \frac{(A1 \times F2)}{(A2 \times F1)}$$

式中:A1 为饲料中 AIA 含量(%);A2 为粪中 AIA 含量(%);F1 为饲料中该养分含量(%);F2 为粪中该养分含量(%)。

1.6.5 空肠食糜消化酶活性

测定之前需对样品进行匀浆预处理,称取一定量(0.2~1.0 g)的空肠食糜内容物,按质量体积比 1:9(g/mL)加入匀浆介质,进行超声粉碎匀浆,然后将匀浆液用低温低速离心机离心 10 min(2 000 r/min),取上清液,按照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书操作,用紫外分光光度计测定上清液中的胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、乳糖酶、蔗糖酶和麦芽糖酶的活性。

1.7 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2007 进行整理,采用 SAS 8.2 软件的 *t* 检验进行 2 个组间试验数据的分析, $P < 0.05$ 时为差异显著, $P < 0.01$ 时为差异极显著。

2 结果

2.1 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪生长性能及腹泻总评分的影响

由表 2 可见,与对照组相比,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著降低了仔猪全期(第 1~42 天)的料重比($P < 0.05$),极显著降低了试验第 1~14 天仔猪的料重比($P < 0.01$),有降低试验第 15~28 天腹泻总评分的趋势($P = 0.08$)。

2.2 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

由表 3 可见,与对照组相比,饲料中添加

5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高了试验第 14 天仔猪血清中总蛋白的含量 ($P < 0.05$), 极显著提高了试验第 42 天仔猪血清中钙的含量 ($P < 0.01$), 显著提高了试验第 42 天仔猪血清中磷和三碘甲腺原

氨酸的含量 ($P < 0.05$), 显著降低了试验第 42 天仔猪血清中甘油三酯的含量 ($P < 0.05$)。苯甲酸对血清其他生化指标无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪生长性能及腹泻总评分的影响

Table 2 Effects of dietary benzoic acid on growth performance and diarrhea total score in weaner piglets

| 项目 Items | 对照组 Control group | 苯甲酸组 Benzoic acid group | SEM | <i>P</i> 值 <i>P</i> -value |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------|-------------------------------|
| 第 1~14 天 Days 1 to 14 | | | | |
| 平均日采食量 ADFI/g | 224.60 | 244.84 | 31.51 | 0.66 |
| 平均日增重 ADG/g | 150.99 | 186.81 | 24.25 | 0.32 |
| 料重比 F/G | 1.51 ^A | 1.32 ^B | 0.04 | <0.01 |
| 腹泻总评分 Diarrhea total score | 12.67 | 7.00 | 2.56 | 0.18 |
| 第 15~28 天 Days 15 to 28 | | | | |
| 平均日采食量 ADFI/g | 542.39 | 538.55 | 44.90 | 0.95 |
| 平均日增重 ADG/g | 355.71 | 373.08 | 29.86 | 0.69 |
| 料重比 F/G | 1.52 | 1.44 | 0.03 | 0.12 |
| 腹泻总评分 Diarrhea total score | 13.17 | 2.50 | 3.41 | 0.08 |
| 第 29~42 天 Days 29 to 42 | | | | |
| 平均日采食量 ADFI/g | 758.64 | 785.70 | 50.48 | 0.71 |
| 平均日增重 ADG/g | 436.43 | 467.20 | 29.01 | 0.47 |
| 料重比 F/G | 1.74 | 1.68 | 0.03 | 0.23 |
| 腹泻总评分 Diarrhea total score | 4.17 | 2.50 | 2.74 | 0.68 |
| 第 1~42 天 Days 1 to 42 | | | | |
| 平均日采食量 ADFI/g | 508.55 | 523.03 | 40.25 | 0.80 |
| 平均日增重 ADG/g | 314.38 | 342.36 | 25.58 | 0.46 |
| 料重比 F/G | 1.62 ^a | 1.53 ^b | 0.02 | 0.02 |
| 腹泻总评分 Diarrhea total score | 30.00 | 12.00 | 7.42 | 0.12 |

同行数据肩标无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。

In the same row, values with no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

2.3 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪养分消化率的影响

由表 4 可见, 与对照组相比, 饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高了仔猪粗脂肪消化率 ($P < 0.05$), 极显著提高了仔猪粗蛋白质、干物质、钙、磷、能量和粗灰分的消化率 ($P < 0.01$)。

2.4 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪空肠食糜消化酶活性的影响

由表 5 可见, 与对照组相比, 饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高了试验第 14 天仔猪空肠食糜蔗糖酶的活性 ($P < 0.05$), 极显著提高了

仔猪空肠食糜胰蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、麦芽糖酶和乳糖酶的活性 ($P < 0.01$)。饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸极显著提高了试验第 42 天仔猪空肠食糜乳糖酶和蔗糖酶的活性 ($P < 0.01$), 对空肠食糜淀粉酶活性有提高的趋势 ($P = 0.07$)。

3 讨论

3.1 试验中苯甲酸的添加量

随着饲料中添加抗生素所导致的抗药性和药物残留问题日益引起人们的重视, 新型抗菌促生长剂的开发和利用成为饲料添加剂研究的热点之

一。2003 年欧盟正式允许在生长肥育猪饲料中添加 0.5% ~ 1.0% 的苯甲酸作为酸化剂,有关苯甲酸作为抗菌促生长剂应用于饲料中的研究也越来越受到人们的关注。相关研究表明,在仔猪饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸,不仅能够有效抑制病原微生物的生长繁殖,均衡胃肠道的微生物菌系,而且可以明显改善仔猪对养分的消化吸收,提高仔猪的生长性能^[7-8,10,12]。蔡锐芳等^[9]和 Kluge 等^[13]用 0、5 000 和 10 000 mg/kg 苯甲酸对断奶仔

猪进行考察,结果表明与 5 000 mg/kg 苯甲酸相比,10 000 mg/kg 苯甲酸在提高断奶仔猪平均日采食量、平均日增重、饲料转化率方面具有更好的效果;但是,在提高养分消化率和调节肠道菌群方面却不如 5 000 mg/kg 苯甲酸,高剂量添加苯甲酸会降低断奶仔猪肠道有益菌(如乳酸杆菌)的含量。因此,本试验选择 5 000 mg/kg 这个剂量展开研究。

表 3 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of dietary benzoic acid on serum biochemical parameters in weaner piglets

| 项目 Items | 对照组 Control group | 苯甲酸组 Benzoic acid group | SEM | P 值 P-value |
|---|----------------------|----------------------------|-------|----------------|
| 第 14 天 Day 14 | | | | |
| 白蛋白 ALB/(g/L) | 30.18 | 33.05 | 1.05 | 0.08 |
| 胆固醇 CHOL/(mmol/mL) | 2.20 | 2.09 | 0.14 | 0.58 |
| 甘油三酯 TG/(mmol/mL) | 0.57 | 0.53 | 0.04 | 0.47 |
| 尿素氮 UN/(mg/dL) | 3.16 | 2.99 | 0.39 | 0.76 |
| 球蛋白 GLOB/(g/L) | 20.47 | 25.17 | 1.61 | 0.07 |
| 磷 P/(mmol/mL) | 2.74 | 3.06 | 0.11 | 0.07 |
| 钙 Ca/(mmol/mL) | 2.36 | 2.44 | 0.05 | 0.26 |
| 总蛋白 TP/(g/L) | 50.65 ^b | 58.22 ^a | 1.96 | 0.02 |
| 甲状腺素 T ₄ /(ng/mL) | 63.51 | 69.93 | 2.92 | 0.15 |
| 三碘甲腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL) | 1.59 | 1.84 | 0.12 | 0.16 |
| 三碘甲腺原氨酸/甲状腺素 T ₃ /T ₄ | 0.03 | 0.03 | <0.01 | 0.61 |
| 第 42 天 Day 42 | | | | |
| 白蛋白 ALB/(g/L) | 32.03 | 32.92 | 0.65 | 0.36 |
| 胆固醇 CHOL/(mmol/mL) | 2.34 | 2.16 | 0.16 | 0.44 |
| 甘油三酯 TG/(mmol/mL) | 0.63 ^a | 0.38 ^b | 0.07 | 0.02 |
| 尿素氮 UN/(mg/dL) | 3.80 | 3.01 | 0.56 | 0.34 |
| 球蛋白 GLOB/(g/L) | 25.27 | 27.23 | 1.33 | 0.32 |
| 磷 P/(mmol/mL) | 3.41 ^b | 3.65 ^a | 0.08 | <0.05 |
| 钙 Ca/(mmol/mL) | 2.27 ^B | 2.49 ^A | 0.05 | <0.01 |
| 总蛋白 TP/(g/L) | 28.77 | 30.73 | 1.36 | 0.33 |
| 甲状腺素 T ₄ /(ng/mL) | 80.27 | 81.56 | 4.32 | 0.84 |
| 三碘甲腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL) | 2.00 ^b | 2.21 ^a | 0.07 | 0.04 |
| 三碘甲腺原氨酸/甲状腺素 T ₃ /T ₄ | 0.02 | 0.03 | <0.01 | 0.43 |

3.2 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪生长性能及腹泻总评分的影响

苯甲酸是一种生物调节剂,对动物的健康具有广泛的作用。在目前的研究中针对有机酸的报道比较多,而对纯的苯甲酸研究报道较少。本试验发现,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著降低了仔猪全期的料重比,极显著降低了试验第 1 ~ 14

天仔猪的料重比,降低腹泻总评分,与前人研究结果一致。Halas 等^[12]研究表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸能显著提高 21 日龄断奶仔猪第 3 周及 1 ~ 3 周的平均日增重和平均日采食量。Papatsiros 等^[14]在 28 日龄断奶仔猪上的研究结果也表明,5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高试验结束时仔猪的体重,显著提高试验全期平均日增重和平

均日采食量,并能显著降低试验全期腹泻总评分。Guggenbuhl 等^[7]、Tobias 等^[15]和 Halas 等^[16]在断奶仔猪上的研究都得到了类似的结果。但也存在显著性相对不一致的结果,Kluge 等^[13]研究表明,饲料中添加苯甲酸能提高断奶仔猪生长性能,但只有当添加水平达到 10 000 mg/kg 才表现出显著

的差异。Kathrin^[8]在生长猪上的研究和蔡锐芳等^[9]在断奶仔猪上的研究结果都表明苯甲酸没有显著提高平均日增重、平均日采食量和料重比,造成这种差异的原因可能是由于猪的断奶日龄、品种、饲养时间、饲料配方及猪只所处的生理阶段不同所致。

表 4 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪养分消化率的影响

Table 4 Effects of dietary benzoic acid on nutrient digestibility in weaner piglets

%

| 项目 Items | 对照组 Control group | 苯甲酸组 Benzoic acid group | SEM | P 值 P-value |
|-------------|----------------------|----------------------------|------|----------------|
| 粗蛋白质 CP | 82.27 ^B | 86.71 ^A | 0.40 | <0.01 |
| 干物质 DM | 86.28 ^B | 87.48 ^A | 0.25 | <0.01 |
| 粗脂肪 EE | 79.67 ^b | 81.79 ^a | 0.64 | 0.04 |
| 钙 Ca | 59.69 ^B | 66.56 ^A | 1.13 | <0.01 |
| 磷 P | 44.68 ^B | 54.68 ^A | 1.00 | <0.01 |
| 能量 Energy | 85.75 ^B | 87.88 ^A | 0.28 | <0.01 |
| 粗灰分 Ash | 53.32 ^B | 62.22 ^A | 0.77 | <0.01 |

表 5 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪空肠食糜消化酶活性的影响

Table 5 Effects of dietary benzoic acid on digestive enzyme activities of jejunal digesta in weaner piglets

| 项目 Items | 对照组 Control group | 苯甲酸组 Benzoic acid group | SEM | P 值 P-value |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|----------|----------------|
| 第 14 天 Day 14 | | | | |
| 胰蛋白酶 Trypsin/(U/mg prot) | 42 742.00 ^B | 64 798.00 ^A | 4 247.48 | <0.01 |
| 淀粉酶 Amylase/(U/mg prot) | 293.48 ^B | 381.59 ^A | 13.58 | <0.01 |
| 脂肪酶 Lipase/(U/g prot) | 1 247.10 ^B | 2 041.10 ^A | 110.71 | <0.01 |
| 麦芽糖酶 Maltase/(U/mg prot) | 813.49 ^B | 1 239.11 ^A | 33.64 | <0.01 |
| 乳糖酶 Lactase/(U/mg prot) | 33.77 ^B | 81.50 ^A | 7.54 | <0.01 |
| 蔗糖酶 Sucrase/(U/mg prot) | 82.75 ^b | 172.73 ^a | 24.75 | 0.03 |
| 第 42 天 Day 42 | | | | |
| 胰蛋白酶 Trypsin/(U/mg prot) | 39 246.00 | 50 803.00 | 4 726.41 | 0.11 |
| 淀粉酶 Amylase/(U/mg prot) | 301.33 | 356.47 | 19.32 | 0.07 |
| 脂肪酶 Lipase/(U/g prot) | 2 163.00 | 2 576.40 | 199.24 | 0.17 |
| 麦芽糖酶 Maltase/(U/mg prot) | 391.82 | 465.21 | 47.95 | 0.30 |
| 乳糖酶 Lactase/(U/mg prot) | 32.83 ^B | 66.37 ^A | 2.88 | <0.01 |
| 蔗糖酶 Sucrase/(U/mg prot) | 109.92 ^B | 234.29 ^A | 13.25 | <0.01 |

3.3 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪血清生化指标的影响

血液的化学成分主要来自消化道的消化分解产物和组织细胞释放的代谢产物。尿素氮是猪蛋白质分解代谢的终产物,血清尿素氮的含量直接反映机体的营养状况和蛋白质的代谢水平。有机酸对血清总蛋白和尿素氮含量的影响主要与有机酸提高饲料组分的溶解性,降低消化道有害微生

物的数量,减少养分的消耗和提高蛋白质消化利用率有关。血脂的水平可以较好地反映机体的脂肪代谢状况,血清胆固醇、甘油三酯含量呈下降趋势说明有机酸有提高机体抗脂肪肝的作用,增强脂肪代谢,为仔猪的快速生长提供较为充足的能量需要。血清钙、磷含量的升高表明机体内钙磷的沉积作用加强,骨骼生长加快,而某些常量元素和微量元素在碱性环境中易形成不溶性的盐类而

极难被动物机体吸收,有机酸在降低胃肠内容物 pH 的同时,还可以提高矿物饲料溶解性,充当各种阳离子络合剂,与它们形成易吸收利用的螯合物,促进机体对这些矿物质元素的吸收利用。甲状腺素、三碘甲腺原氨酸是动物体内的主要代谢激素,反映机体代谢情况。

本试验研究结果显示,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高了试验第 14 天仔猪血清中总蛋白的含量,极显著提高了试验第 42 天仔猪血清中钙的含量,显著提高了血清中磷和三碘甲腺原氨酸的含量,显著降低了血清中甘油三酯的含量。程金荣^[17]在考察不同的有机酸对广西飞凤土鸡血液理化指标的研究结果表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 的柠檬酸、延胡索酸或乳酸能显著提高血清总蛋白、钙、磷的含量,显著降低血清中尿酸、胆固醇和甘油三酯的含量。Gutzwiller 等^[18]研究显示,5 000 mg/kg 苯甲酸能提高生长猪血清中磷的含量。Halas 等^[16]研究结果显示,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸对断奶仔猪血清中尿素含量无显著影响,Li 等^[19]用有机酸在仔猪上的研究结果与之一致。孙喜伟^[20]在酸化剂对雪山鸡血液生化指标的影响研究结果表明,在饮水中添加以乳酸、甲酸为主的复合酸化剂能提高血清中白蛋白、总蛋白、球蛋白及钙的含量。然而也存在不一致的报道,Papadomichelakis 等^[21]在育肥兔上的研究表明,添加苯甲酸对血清中钙的含量无显著影响,但显著降低血清中磷的含量,这可能是由于矿物元素在血清中的含量被瞬间标记,还需要更深入的研究来解释造成这种不同结果的原因。而三碘甲腺原氨酸含量的增加,一方面可能是由于大麦-小麦型饲料含有大量的非淀粉多糖,添加苯甲酸促使机体动员激素分泌来达到降解养分的目的,导致血清代谢水平升高;另一方面可能是由于苯甲酸的添加提高了畜禽的消化吸收能力,改善了机体营养状况,间接影响了血清激素含量。有机酸对血清中蛋白的影响可能是由于其降低胃肠道 pH,弥补胃肠道酸度的不足,降低消化道有害微生物的数量,减少对养分的消耗,从而有利于各种蛋白酶原的激活,被激活的蛋白酶又进一步激活蛋白酶原,提高胃肠道蛋白酶分泌量及其活性,提高蛋白质利用率,从而使血清中蛋白含量维持在一个较高的水平。

3.4 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪养分消化率的影响

正常情况下,配合饲料中难免会含有某些细菌、霉菌和酵母菌。如果储存不当,病原微生物会大量繁殖,不断消耗饲料中的养分,产生某些毒素,这不仅会降低饲料的适口性和营养价值,甚至会导致饲料的霉变,降低饲料消化率,严重影响仔猪的健康。因此,在饲料中添加苯甲酸作为酸化剂,可以抑制饲料中病原微生物的繁殖,防止发生霉变,改善卫生状况,降低饲料本身的 pH 和酸结合力,改善其适口性,促进仔猪采食,加快仔猪生长,改善养分消化率,继而提高断奶猪生长性能。本试验研究结果表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸能显著或极显著提高断奶仔猪干物质、粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷、能量和粗灰分的消化率。Guggenbuhl 等^[7]在断奶仔猪上的研究表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸显著提高回肠能量和粗蛋白质的表观消化率。Halas 等^[16]研究表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸能显著提高断奶仔猪回肠总氮的表观消化率。Kluge 等^[22]在母猪上的研究也得出一致的结果,苯甲酸能提高粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和干物质的表观消化率。可以推断表观消化率的提高可能是由于肠道 pH 的降低,进而有益于特定共生的微生物区系平衡。饲料中添加有机酸降低食糜的黏度,增加养分的溶解性,这可能是导致养分消化率提高的另一个原因。

但也存在不一致的报道,Kathrin^[8]在生长猪上的研究结果表明,5 000 mg/kg 苯甲酸对粗蛋白质、能量、钙和磷的表观消化率无显著影响。Kluge 等^[13]研究结果显示,苯甲酸的添加并不影响断奶仔猪有机物、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物的表观消化率。Gianluca 等^[23]在生长育肥猪上和 Tobias 等^[15]在断奶仔猪上的研究也得出一致的结果。Papadomichelakis 等^[21]在兔上得研究结果表明,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸对表观消化率无显著影响,添加 2 g/kg 苯甲酸有降低表观消化率的趋势。在众多影响消化率不一致结果的因素中,可能最重要的因素是饲料组成成分。本试验采用的是大麦-小麦型饲料,与玉米-豆粕型饲料相比,大麦-小麦型饲料含有更多的抗营养因子,更容易造成肠道功能的紊乱,因此,添加苯甲酸能促使机体动员激素分泌来降解养分,

改善机体营养状况,降低胃肠道 pH,降低消化道有害微生物的数量,改善小肠形态,减少对养分的消耗从而提高养分消化率,其效果也优于玉米-豆粕型饲料。此外,饲料的缓冲能力、形态及适口性、苯甲酸的生产工艺及制造商、动物的品种、日龄、性别、是否使用抗生素、是否使用高铜高锌和环境条件等也可能是造成消化率不一致的因素。

3.5 饲料中添加苯甲酸对断奶仔猪空肠食糜消化酶活性的影响

由于断奶仔猪的胃酸分泌不足,若饲料酸结合力较高,饲料进入仔猪胃后导致胃酸消耗过多,胃内容物 pH 过高,不利于胃蛋白酶原激活和胃蛋白酶消化。而在饲料中添加苯甲酸作为酸化剂,可以降低饲料本身的 pH 和酸结合力,提高消化酶活性。本试验研究结果表明,5 000 mg/kg 苯甲酸显著或极显著提高了试验第 14 天仔猪空肠食糜胰蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、麦芽糖酶、乳糖酶和蔗糖酶的活性,极显著提高了试验第 42 天仔猪空肠食糜乳糖酶和蔗糖酶的活性,苯甲酸对试验第 42 天仔猪空肠食糜淀粉酶活性都有提高的趋势。

虽然苯甲酸对肠道食糜消化酶活性的影响没有可以比较的相关参考文献,但是有大量有机酸的相关研究报道。晏家友^[24]研究表明,复合有机酸化剂能提高断奶仔猪断奶后第 2 周和第 5 周小肠食糜蔗糖酶和乳糖酶的活性。Risley 等^[25]报道,在断奶仔猪饲料中添加柠檬酸或延胡索酸,仔猪胃内容物 pH 下降,胃蛋白酶活性提高。消化酶是消化营养物质的重要基础,消化酶活性高低可以反映动物消化能力强弱。很多消化酶在酸性环境下活性最强,如仔猪胃蛋白酶最适 pH 一般在 2.0~3.5。蔗糖酶和乳糖酶是仔猪小肠中重要的碳水化合物分解酶,而小肠内容物的酸度会影响小肠消化酶的分泌量和活性。这提示有机酸可以通过降低断奶仔猪肠道 pH,提高小肠消化酶活性,增强仔猪消化能力,从而降低仔猪腹泻率,进而促进仔猪生长。

4 结 论

本试验条件下,饲料中添加 5 000 mg/kg 苯甲酸可以提高断奶仔猪生长性能、养分消化率和空肠食糜消化酶活性。

参考文献:

- [1] ZDZISLAW M. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs [J]. *Advances in Pork Production*, 2005, 16: 169 - 182.
- [2] KIRSI H P, ZDZISLAW M. Organic acids for performance enhancement in pig diets [J]. *Nutrition Research Reviews*, 1999, 12: 117 - 145.
- [3] TSILOYIANNIS V K, KYRIAKIS S C, VLEMMAS J, et al. The effect of organic acids on the control of porcine post-weaning diarrhea [J]. *Research in Veterinary Science*, 2001, 70: 287 - 293.
- [4] KASPROWICZ P M, FRANKIEWICZ A, SELWET M, et al. Effect of salts and organic acids on metabolite production and microbial parameters of piglets' digestive tract [J]. *Livestock Science*, 2009, 126: 310 - 313.
- [5] PARTANEN K, JALAVA T, VALAJA J. Effects of a dietary organic acid mixture and of dietary fibre levels on ileal and faecal nutrient apparent digestibility, bacterial nitrogen flow, microbial metabolite concentrations and rate of passage in the digestive tract of pigs [J]. *Animal*, 2007, 1 (3): 389 - 401.
- [6] TSILOYIANNIS V K, KYRIAKIS S C, VLEMMAS J. The effect of organic acids on the control of post-weaning oedema disease of piglets [J]. *Research in Veterinary Science*, 2001, 70: 281 - 285.
- [7] GUGGENBUHI P, SÉON A, PIÑÓN A, et al. Effects of dietary supplementation with benzoic acid (Vevo-Vitall[®]) on the zootechnical performance, the gastrointestinal microflora and the ileal digestibility of the young pig [J]. *Livestock Science*, 2007, 108: 218 - 221.
- [8] KATHRIN B. Benzoic acid as feed additive in pig nutrition: effects of diet composition on performance, digestion and ecological aspects [D]. Ph. D. Thesis. Zurich: The Eidgenoessische Technische Hochschule Zuerich, 2009: 39 - 43.
- [9] 蔡锐芳, 李鹏, 张亚智, 等. 苯甲酸对断奶仔猪生长性能的影响 [J]. *当代畜牧*, 2011 (5): 34 - 35.
- [10] TORRALLARDONA D, BADIOLA I, BROZ J. Effects of benzoic acid on performance and ecology of gastrointestinal microbiota in weanling piglets [J]. *Livestock Science*, 2007, 108: 210 - 213.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [12] 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, 160:137-147.
- [13] KLUGE H, BROZ J, EDER K. Effect of benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen balance, gastrointestinal microflora and parameters of microbial metabolism in piglets[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2006, 90: 316-324.
- [14] PAPATSIROS V G, TASSIS P D, TZIKA E D, et al. Effect of benzoic acid and combination of benzoic acid with a probiotic containing *Bacillus Cereus* var. toyoi in weaned pig nutrition[J]. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 2011, 14:117-125.
- [15] TOBIAS G, HOLGER K, FRANK H, et al. Effects of dietary benzoic acid and sodium-benzoate on performance, nitrogen and mineral balance and hippuric acid excretion of piglets[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2012, 66(3):227-236.
- [16] HALAS D, CHRISTIAN F H, DAVID J H, et al. Effect of dietary supplementation with inulin and/or benzoic acid on the incidence and severity of post-weaning diarrhoea in weaner pigs after experimental challenge with enterotoxigenic *Escherichia coli* [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2009, 63(4):267-280.
- [17] 程金荣. 不同有机酸对广西飞凤土鸡营养物质代谢、血液理化指标及肠道微生态效应的影响[D]. 硕士学位论文. 南宁:广西大学, 2006:20-33.
- [18] GUTZWILLER A, HESS H D, ADAM A. Effects of a reduced calcium, phosphorus and protein intake and of benzoic acid on calcium and phosphorus metabolism of growing pigs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 168:113-121.
- [19] 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]. *Journal of Asian-Australian Animal Science*, 2008, 21(2):252-261.
- [20] 孙喜伟. 酸化剂对雪山鸡种鸡繁殖性能和血液生化指标的影响研究[D]. 硕士学位论文. 合肥:安徽农业大学, 2009:24-26.
- [21] PAPADOMICHELAKIS G, MOUNTZOURIS K C, ZOIDIS E. Influence of dietary benzoic acid addition on nutrient digestibility and selected biochemical parameters in fattening rabbits[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 163:207-213.
- [22] KLUGE H, BROZ J, EDER K. Effects of dietary benzoic acid on urinary pH and nutrient digestibility in lactating sows [J]. *Livestock Science*, 2010, 134:119-121.
- [23] GIANLUCA G, LUCA M, STEFANIA C, et al. Effects of benzoic acid on nitrogen, phosphorus and energy balance and on ammonia emission from slurries in the heavy pig[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2011, 10:e38.
- [24] 晏家友. 缓释复合酸化剂对断奶仔猪消化道酸度及肠道形态和功能的影响[D]. 硕士学位论文. 雅安:四川农业大学, 2009:18-20.
- [25] RISLEY C R, KORNEGAY E T, LINDEMANN M D. Effects of organic acids with and without a microbial culture on performance and gastrointestinal tract measurements of weanling pigs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1991, 35:259-270.

Effects of Benzoic Acid on Growth Performance, Serum Biochemical Parameters, Nutrient Digestibility and Digestive Enzyme Activities of Jejunal Digesta in Weaner Piglets

DIAO Hui ZHENG Ping YU Bing HE Jun MAO Xiangbing YU Jie HUANG Zhiqing
DAI La WANG Quyuan CHEN Daiwen*

(Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition,
Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary benzoic acid on the growth performance, serum biochemical parameters, nutrient digestibility and digestive enzyme activities of jejunal digesta in weaner piglets. A total of 72 healthy weaner piglets (Duroc × Landrace × Yorkshire, weaned at 24 days of age) with an initial body weight of (6.03 ± 0.78) kg were randomly divided into 2 groups with 6 replicates (pens) per group and 6 piglets per pen. The piglets were fed a basal diet (control group) and the basal diet + 5 000 mg/kg benzoic acid (benzoic acid group), respectively. The whole trial lasted for 42 days. The results showed as follows: compared with the control group, diets supplemented with 5 000 mg/kg benzoic acid significantly decreased the feed/gain during the whole trial period ($P < 0.05$), and significantly increased calcium and triothyronine contents in serum on day 42 and the digestibility of dry matter, crude protein, ether extract, calcium, phosphorus, energy and ash ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). Compared with the control group, diets supplemented with 5 000 mg/kg benzoic acid significantly increased the activities of trypsin, lipase, amylase, maltase, sucrase and lactase of digesta in jejunum on day 14 and activities of lactase and sucrase of digesta in jejunum on day 42 ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). In conclusion, diets supplemented with 5 000 mg/kg benzoic acid can improve the growth performance, serum biochemical parameters, nutrient digestibility and digestive enzyme activities of digesta in jejunum of piglets. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(4):768-777]

Key words: benzoic acid; growth performance; nutrient digestibility; digestive enzyme activities; piglets