

硅胶控释型丁酸对断奶仔猪生长性能和肠黏膜屏障的影响

胡彩虹 朱 康 钱仲仓 栾兆双 李卫芬

(浙江大学动物科学学院, 饲料科学研究所, 杭州 310058)

摘 要: 本试验以硅胶为控释载体, 制备和表征了硅胶控释型丁酸(SG-B), 并以丁酸钠为对照, 旨在研究 SG-B 对断奶仔猪生长性能和肠黏膜屏障的影响。选用平均体重为 (5.8 ± 0.2) kg 的 54 头 21 日龄“杜×长×大”断奶仔猪, 按胎次一致、体重相近的原则随机分为 3 组: 1) 对照组, 饲喂基础饲料; 2) 丁酸钠组, 饲喂基础饲料 + 0.10% 丁酸钠(丁酸含量为 0.078%); 3) SG-B 组, 饲喂基础饲料 + 0.19% SG-B(丁酸含量为 0.078%), 每组 3 个重复, 每个重复 6 头仔猪, 公母各占 1/2。试验期 10 d。结果表明: 1) 采用室温过量浸渍法制备和表征 SG-B, 热重分析表明丁酸负载量为 41.1%; 2) 和对照组相比, SG-B 组显著提高了断奶仔猪的平均日增重 ($P < 0.05$), 显著降低了料重比和腹泻率 ($P < 0.05$); 3) SG-B 组血浆 D-乳酸浓度和二胺氧化酶活性显著低于对照组 ($P < 0.05$), 和丁酸钠组相比, 差异不显著 ($P > 0.05$); 4) SG-B 组十二指肠、空肠、回肠绒毛高度和绒毛高度与隐窝深度比值显著高于对照组 ($P < 0.05$), 十二指肠和回肠隐窝深度显著低于对照组 ($P < 0.05$)。结果提示, 饲料中添加 0.19% SG-B 能降低断奶仔猪腹泻率, 提高生长性能, 保护肠黏膜屏障。

关键词: 硅胶控释型丁酸; 断奶仔猪; 生长性能; 肠黏膜屏障

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)12-2170-07

仔猪断奶应激综合征是养猪生产的世界性难题, 给养猪业造成了巨大经济损失。断奶应激状态下仔猪肠形态和肠黏膜屏障受损是造成仔猪断奶应激综合征的主要原因^[1]。丁酸是肠上皮细胞的首要能量来源, 研究表明饲料中添加丁酸钠可促进肠上皮细胞的增殖和发育, 有效保护肠黏膜屏障^[2]。但是, 由于大量丁酸钠在肠道前段被分解吸收, 难以到达肠道后段, 这大大降低了其肠道保护功效^[3]。如何控释丁酸使其能在肠道各段均匀释放, 尤其是能保护后段肠道成为了国内外研究的热点^[4]。

为了解决丁酸钠(有效成分为丁酸)在肠道前段被分解吸收不能达到后段肠道的问题, 目前主要采用包膜技术对丁酸钠进行控释, 但这种方法工艺复杂, 成本高昂^[3-4]。而硅胶价格低廉, 具有

物理化学性质稳定、比表面积大、吸附性能高、可形成不同的微孔结构、生物相容性及吸附脱附性能较好等优点^[5], 在药物、酶、生长因子等控缓释上已有大量应用和研究^[6-7]。因此, 本试验以硅胶为控释载体, 制备和表征了硅胶控释型丁酸(silica gel controlled-release butyrate, SG-B), 并以丁酸钠为对照, 研究 SG-B 对断奶仔猪的生长性能和肠黏膜屏障的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

粗孔硅胶(青岛海洋化工厂, 分析纯); 正丁酸($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$)(双香助剂厂, 分析纯)。

1.2 SG-B 的制备及表征

采用室温过量浸渍法制备 SG-B。将硅胶置

收稿日期: 2011-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(31072039); 浙江省自然科学基金(Z3100071); 农业部“948”项目(2011-G7-1)

作者简介: 胡彩虹(1972—), 女, 浙江东阳人, 副研究员, 从事动物营养和饲料科学研究。E-mail: chhu@zju.edu.cn

于 120 ℃ 恒温干燥箱中,干燥 6 h,至恒重。将干燥后的硅胶和正丁酸溶液按照固液比 1 g:1 mL 于室温下充分混合,并连续搅拌至吸附平衡。再将已吸附饱和的硅胶过滤,置于 50 ℃ 恒温干燥箱中,干燥 20 min。

红外光谱采用 KBr 压片法,Nexus-670 型傅里叶变换红外光谱(FT-IR)仪(美国 Nicolet 公司)表征 SG-B 红外吸收特征,扫描范围 400 ~ 4 000 cm⁻¹。ZRY-2P 型综合热分析仪(上海精密科学仪器有限公司)对 SG-B 进行热重分析(TG),升温速度为 10 ℃/min。

1.3 试验设计及饲粮

选用平均体重为 (5.8 ± 0.2) kg 的 54 头 21 日龄“杜 × 长 × 大”断奶仔猪,按胎次一致、体重相近的原则随机分为 3 组:1) 对照组,饲喂基础饲粮;2) 丁酸钠组,饲喂基础饲粮 + 0.10% 丁酸钠(丁酸含量为 0.078%);3) SG-B 组,饲喂基础饲粮 + 0.19% SG-B(丁酸含量为 0.078%),每组 3 个重复,每个重复 6 头仔猪,公母各占 1/2。试验期为 10 d。

基础饲粮参照 NRC(1998)断奶仔猪的营养需要量配制成颗粒料,基础饲粮组成及营养水平见表 1。

1.4 饲养管理

试验开始前,仔猪自由吮乳和饮水,按常程序进行免疫,从 7 日龄开始诱食并哺乳至 21 日龄断奶。试验过程中,仔猪自由采食和饮水,其余饲养管理均按养殖场的常规方案进行。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能测定

试验开始时,记录试猪空腹重;试验期内,每天记录并统计采食量和腹泻情况;试验结束时,试猪空腹称重。分别计算平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)、料重比(F/G)和腹泻率。腹泻率按如下公式计算:

腹泻率(%) = [(腹泻头数 × 腹泻天数) / (试验总头数 × 试验天数)] × 100。

1.5.2 肠屏障通透性及肠道黏膜形态的分析

在断奶后第 10 天,禁食 12 h(自由饮水),从每个重复中选取 2 头试猪(公母各占 1/2),称重后肌肉注射 4% 戊巴比妥钠溶液(40 mg/kg 体重)进行麻醉。待麻醉完全后前腔静脉取血,肝素抗凝,3 000 r/min 离心后制备血浆, - 70 ℃ 保存。参考

胡彩虹等^[8]分光光度法测定血浆 D-乳酸浓度和二胺氧化酶(DAO)活性,分析肠屏障通透性。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
玉米 Corn	58.00	
豆粕 Soybean meal	17.00	
膨化全脂大豆 Extruded full-fat soybean	7.00	
鱼粉 Fish meal	4.50	
乳清粉 Whey powder	4.50	
次粉 Wheat middlings	5.00	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.50	
食盐 NaCl	0.25	
石粉 Limestone	1.10	
预混料 Premix ¹⁾	1.00	
L-赖氨酸盐酸盐 L-lysine · HCl	0.15	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
消化能 DE/(MJ/kg)	13.90	
粗蛋白质 CP	20.10	
钙 Ca	0.90	
总磷 TP	0.75	
赖氨酸 Lysine	1.12	

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 1 500 IU, VD₃ 200 IU, VE 10 IU, VK₃ 0.5 mg, 生物素 biotin 0.05 mg, 叶酸 folic acid 0.3 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 10 mg, 烟酸 nicotinic acid 10 mg, VB₂ 3.6 mg, VB₁ 1.0 mg, VB₆ 1.5 mg, 胆碱 choline 500 mg, Cu 6.0 mg, Fe 100 mg, Zn 110 mg, Mn 3.0 mg, Se 0.3 mg, I 0.14 mg。

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

试猪采血后屠宰,取十二指肠,空肠和回肠肠段进行肠道黏膜形态分析。采用 RM2235 型组织切片机(德国 Leica 公司)整套设备,将肠段样品经固定、修整、冲洗、脱水、切片(厚度约 5 μm)和苏木精-伊红(HE)染色制成切片。每个样品制作 3 个非连续性的纵切片和横切片,每张纵切片测定 10 个绒毛高度和隐窝深度,取其平均值作为一个测定数据。利用 Leica Qwin 图像分析仪(德国 Leica 公司)对绒毛高度、隐窝深度、绒毛高度与隐窝深度比值进行显微测量和分析。

1.6 数据处理

采用 SAS 6.12 统计软件中的一般线性模式

(GLM)进行方差分析,采用 Duncan 氏法进行多重比较和显著性分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结 果

2.1 SG-B 傅里叶变换红外光谱分析

从图 1 中可以看出,硅胶吸附丁酸前, $3\,459\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰对应于 SiO—H 键和物理吸附水中 HO—H 键的伸缩振动; $1\,633\text{ cm}^{-1}$ 处是表面吸附水的吸收峰^[9]; $1\,097$ 、 798 和 466 cm^{-1} 处的吸收峰分别代表 Si—O—Si 键的反对称伸缩振动、对称伸缩振动和弯曲振动吸收峰^[10]。硅胶吸附丁酸后,在 $1\,717$ 和 $2\,973\text{ cm}^{-1}$ 处出现了 2 个吸收峰,分别归因于羰基的伸缩振动和饱和的 C—H 键伸缩振动^[11],说明有丁酸吸附于硅胶。

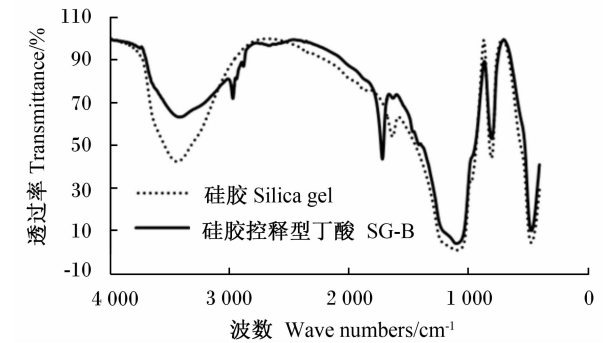


图 1 硅胶吸附丁酸前后的傅里叶变换红外光谱图
Fig. 1 FT-IR image of silica gel and SG-B

2.2 SG-B 热重分析

从图 2 中可以看出,样品在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下均有一个明显的质量损失阶段,吸附丁酸后的硅胶质量明显减少。这一阶段的质量损失为样品吸附的

丁酸脱附引起的,说明脱附前硅胶中存在大量的吸附丁酸。热重分析表明,SG-B 中丁酸的含量为 41.1% 。同时也说明有机基团被引入,这与傅里叶变换红外光谱的分析结果相一致,推测丁酸负载在硅胶上,以表面吸附和形成氢键的形式存在^[12]。硅胶本身的结构和吸附后新键的产生保证了丁酸的控释效果。

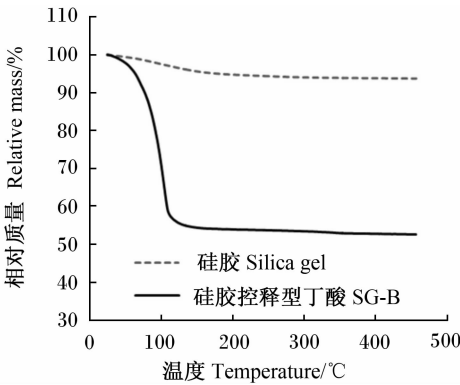


图 2 硅胶吸附丁酸前后的热重分析图
Fig. 2 TG image of silica gel and SG-B

2.3 SG-B 对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可知,和对照组相比,SG-B 组和丁酸钠组平均日增重分别显著提高了 12.30% ($P < 0.05$) 和 14.60% ($P < 0.05$)。平均日采食量 3 组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。SG-B 组和丁酸钠组料重比分别比对照组显著降低了 10.83% ($P < 0.05$) 和 9.55% ($P < 0.05$)。丁酸钠和 SG-B 的添加降低了腹泻率,分别比对照组显著降低了 36.97% ($P < 0.05$) 和 46.17% ($P < 0.05$)。

表 2 控释型丁酸对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of SG-B on growth performance in weaned piglets				
项目 Items	对照组 Control group	丁酸钠组 Sodium butyrate group	SG-B 组 SG-B group	SEM
初重 Initial weight/kg	5.85	5.83	5.88	0.04
末重 Final weight/kg	9.26 ^b	9.67 ^{ab}	9.79 ^a	0.16
平均日增重 ADG/g	341.42 ^b	383.53 ^a	391.25 ^a	12.46
平均日采食量 ADFI/g	537.54	543.37	548.49	23.85
料重比 F/G	1.57 ^a	1.42 ^b	1.40 ^b	0.04
腹泻率 Diarrhea rate/%	13.58 ^a	8.56 ^b	7.31 ^b	0.55

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。
In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.4 SG-B 对断奶仔猪肠屏障通透性的影响

由表 3 可知,和对照组相比,SG-B 组和丁酸钠组血浆 D -乳酸浓度分别显著降低了 31.01% ($P<0.05$) 和 23.61% ($P<0.05$);二胺氧化酶活

性分别显著降低了 34.18% ($P<0.05$) 和 29.10% ($P<0.05$)。SG-B 组和丁酸钠组间 2 个指标均无显著差异($P>0.05$)。

表 3 SG-B 对断奶仔猪肠屏障通透性的影响
Table 3 Effects of SG-B on intestinal barrier permeability in weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	丁酸钠组 Sodium butyrate group	SG-B 组 SG-B group	SEM
D -乳酸 D -lactate/($\mu\text{g/mL}$)	4.87 ^a	3.72 ^b	3.36 ^b	0.17
二胺氧化酶 DAO/(U/L)	3.54 ^a	2.51 ^b	2.33 ^b	0.13

2.5 SG-B 对断奶仔猪肠黏膜形态的影响

由表 4 可知,丁酸钠组和 SG-B 组的十二指肠绒毛高度和绒毛高度与隐窝深度比值显著高于对照组($P<0.05$),隐窝深度显著低于对照组($P<0.05$)。丁酸钠组空肠绒毛高度高于对照组,但差异不显著($P>0.05$);SG-B 组绒毛高度显著高于

丁酸钠组和对照组($P<0.05$)。丁酸钠组回肠绒毛高度及绒毛高度与隐窝深度比值均高于对照组,但差异不显著($P>0.05$);SG-B 组绒毛高度及绒毛高度与隐窝深度比值均显著高于对照组和丁酸钠组($P<0.05$),隐窝深度显著低于对照组和丁酸钠组($P<0.05$)。

表 4 SG-B 对断奶仔猪肠黏膜形态的影响
Table 4 Effects of SG-B on intestinal mucosal morphology in weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	丁酸钠组 Sodium butyrate group	SG-B 组 SG-B group	SEM
十二指肠 Duodenum				
绒毛高度 Villus height/ μm	332.15 ^b	372.36 ^a	380.81 ^a	9.13
隐窝深度 Crypt depth/ μm	307.64 ^a	279.23 ^b	274.37 ^b	8.08
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.08 ^b	1.33 ^a	1.39 ^a	0.06
空肠 Jejunum				
绒毛高度 Villus height/ μm	422.41 ^b	434.85 ^b	467.33 ^a	10.21
隐窝深度 Crypt depth/ μm	325.17	304.82	299.28	9.24
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.30 ^c	1.43 ^b	1.56 ^a	0.04
回肠 Ileum				
绒毛高度 Villus height/ μm	378.42 ^b	389.26 ^b	424.79 ^a	11.32
隐窝深度 Crypt depth/ μm	263.75 ^a	258.09 ^a	229.96 ^b	8.07
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.43 ^b	1.51 ^b	1.85 ^a	0.05

3 讨 论

硅胶是由硅酸凝胶 $\text{mSiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ 适当脱水而成的颗粒大小不同的多孔物质,具有开放的多孔结构,比表面积大,能吸附许多物质,常作为干燥剂、吸附剂和催化剂载体。由于具有良好的生物相容性,硅胶或者改性硅胶作为载体广泛应用于催化和药物控缓释领域^[13]。Radin 等^[14]利用硅胶作为载体控释万古霉素,发现硅胶作为药物载

体无生物毒性,且脱附效果良好,6 周累积脱附率为 90%。陈禹银等^[15]研究了硅胶吸附丁酸的计量置换吸附模型,发现丁酸在硅胶上的吸附是自发的过程,随着温度的升高,吸附量减少。本研究发现,在常温下,粗孔硅胶对丁酸的负载量为 41.1%,和陈禹银等^[15]的研究结果基本一致。

D -乳酸是胃肠道内固有菌,如大肠杆菌、乳酸杆菌等代谢、裂解的产物。当肠黏膜屏障受损时, D -乳酸即可透过肠黏膜进入血液中,使得血

浆 D -乳酸浓度升高。二胺氧化酶是小肠黏膜上皮细胞浆内具有高度活性的细胞内酶。断奶应激后,细胞受到损伤,胞内释放二胺氧化酶增加,进入肠细胞间隙、淋巴管和血液,使得血浆二胺氧化酶活性升高^[8]。丁酸能够为肠上皮细胞提供能量,促进肠黏膜的发育和修复,增加肠道淋巴细胞数量。有大量研究表明,饲粮中添加丁酸钠可有效保护断奶仔猪肠黏膜屏障^[16-17]。本试验中,SG-B 组和丁酸钠组的血浆 D -乳酸浓度和二胺氧化酶活性较对照组均有显著降低,SG-B 组和丁酸钠组相比,血浆 D -乳酸浓度和二胺氧化酶活性无显著差异,说明饲粮中添加丁酸钠和 SG-B 能保护肠黏膜屏障,添加 0.10% 丁酸钠和添加 0.19% SG-B 对肠黏膜保护作用相当。

小肠的绒毛高度和隐窝深度是衡量肠道健康的重要指标^[18]。丁酸是肠道绒毛生长主要的能量来源,可在肠上皮细胞内直接氧化供能^[19]。丁酸能促进干细胞增殖,通过增加小肠绒毛高度和降低隐窝深度而扩大营养物质吸收的表面积,尤其是在回肠近端与远端^[20]。Hu 等^[21]试验表明,丁酸钠增加了鸡空肠后段绒毛高度与隐窝深度比值,对十二指肠黏膜的 RNA、DNA 和蛋白质有影响,而对回肠黏膜的 RNA、DNA 和蛋白质没有影响。出现这种情况的原因可能是由于丁酸钠在进入回肠前大部分已被吸收利用或转化为其他物质(如乙酸)被吸收。而 SG-B 进入胃肠道后,丁酸在小肠的各个肠段是均匀释放的。和普通丁酸钠相比,SG-B 通过对丁酸的控缓释实现了对后段肠段(空肠和回肠)消化吸收功能的增强。沈建明等^[22]研究了包被技术处理的丁酸钠对仔猪生长性能的影响,和普通丁酸钠组相比,包膜丁酸钠显著提高了仔猪的生长性能,改善了肠黏膜形态,提高了饲料利用率,这和本研究结果一致。后段肠段是丁酸发挥其功效的主要部位,硅胶具有良好的吸附和脱附性能,通过硅胶对丁酸的控释作用解决了普通丁酸钠(有效成分为丁酸)不能到达动物后段肠段的问题,这是 SG-B 显著改善空肠和回肠肠黏膜形态,保护肠道功能的主要原因。

4 结 论

① 采用室温过量浸渍法制备和表征了 SG-B,热重分析表明其丁酸负载量为 41.1%。

② 添加 0.19% SG-B 降低了断奶仔猪腹泻

率,提高了生长性能,改善了肠黏膜形态,且效果略优于同剂量(丁酸根含量)的丁酸钠,可见 SG-B 是一种优良的仔猪肠道保护剂。

参考文献:

- [1] LALLES J P, BOSI P, SMIDT H, et al. Weaning-a challenge to gut physiologists[J]. *Livestock Science*, 2007, 108(1/2/3):82-93.
- [2] BIAGI G, PIVA A, MOSCHINI M, et al. Performance, intestinal microflora, and wall morphology of weanling pigs fed sodium butyrate[J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(5):1184-1191.
- [3] CLAUS R, GÜNTHER D, LETZGUB H. Effects of feeding fat-coated butyrate on mucosal morphology and function in the small intestine of the pig[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2007, 91(7/8):312-318.
- [4] LACORN M, GOERKE M, CLAUS R. Inulin-coated butyrate increases ileal MCT1 expression and affects mucosal morphology in the porcine ileum by reduced apoptosis[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2010, 94(5):670-676.
- [5] 丁静,杨晓西,杨建平,等.热处理对多微孔活性硅胶吸附特性的影响[J]. *华南理工大学学报:自然科学版*, 1999, 27(2):44-48.
- [6] RADIN S, CHEN T, DUCHEYNE P. The controlled release of drugs from emulsified, sol gel processed silica microspheres[J]. *Biomaterials*, 2009, 30(5):850-858.
- [7] VAN IMMERSEEL F, FIEVEZ V, DE BUCK J, et al. Microencapsulated short-chain fatty acids in feed modify colonization and invasion early after infection with salmonella enteritidis in young chickens[J]. *Poultry Science*, 2004, 83(1):69-74.
- [8] 胡彩虹,钱仲仓,刘海萍,等.高锌对早期断奶仔猪肠黏膜屏障和肠上皮细胞紧密连接蛋白表达的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2009, 40(11):1638-1644.
- [9] YU J G, ZHAO X J, YU J C, et al. The grain size and surface hydroxyl content of super-hydrophilic $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ composite nanometer thin films[J]. *Journal of Materials Science Letters*, 2001, 20(18):1745-1748.
- [10] 蒲玉英,方建章,彭峰,等.微乳法合成纳米 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 及其光催化性能[J]. *催化学报*, 2007, 28(3):251-256.
- [11] 黄军,熊华,熊小青,等.利用薄层色谱及柱色谱法对泔水油极性组分的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29

- (12):568-571.
- [12] 赵振国. 硅胶自非极性溶剂中吸附苯甲酸[J]. 离子交换与吸附, 2000, 16(5):400-405.
- [13] QUINTANAR-GUERRERO D, GANEM-QUINTANAR A, NAVA-ARZALUZ M G, et al. Silica xerogels as pharmaceutical drug carriers [J]. Expert Opinion on Drug Delivery, 2009, 6(5):485-498.
- [14] RADIN S, DUCHEYNE P, KAMPLAIN T, et al. Silica sol-gel for the controlled release of antibiotics. I. Synthesis, characterization, and *in vitro* release [J]. Journal of Biomedical Materials Research, 2001, 57(2):313-320.
- [15] 陈禹银, 刘凡. 硅胶自水溶液中吸附丙酸和丁酸的计量置换吸附模型[J]. 物理化学学报, 2002, 18(1):62-65.
- [16] MAZZONI M, LE GALL M, DE FILIPPI S, et al. Supplemental sodium butyrate stimulates different gastric cells in weaned pigs[J]. The Journal of Nutrition, 2008, 138(8):1426-1431.
- [17] LE GALL M, GALLOIS M, SEVE B, et al. Comparative effect of orally administered sodium butyrate before or after weaning on growth and several indices of gastrointestinal biology of piglets[J]. British Journal of Nutrition, 2009, 102(9):1285-1296.
- [18] 钟翔, 黄小国, 陈莎莎, 等. 丁酸钠对断奶仔猪生长性能和肠道消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(5):719-726.
- [19] ROEDIGER W E. Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man[J]. Gut, 1980, 21(9):793-798.
- [20] SALMINEN S, BOULEY C, BOUTRON RUAULT M C, et al. Functional food science and gastrointestinal physiology and function [J]. British Journal of Nutrition, 1998, 80(Suppl. 1):S147-S171.
- [21] HU Z H, GUO Y M. Effects of dietary sodium butyrate supplementation on the intestinal morphological structure, absorptive function and gut flora in chickens [J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 13(2):240-249.
- [22] 沈建明, 唐亮, 周学光, 等. 包膜丁酸钠在保育仔猪生产中的应用研究[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(10):64-67.

Silica Gel Controlled-Release Butyrate Affects Growth Performance and Intestinal Mucosal Barrier in Weaned Piglets

HU Caihong ZHU Kang QIAN Zhongcang LUAN Zhaoshuang LI Weifen

(Institute of Feed Science, College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of silica gel controlled-release butyrate (SG-B) on growth performance and intestinal mucosal barrier in weaned piglets. SG-B was synthesized and characterized. A total of 54 piglets (Duroc \times Landrace \times Yorkshire) with an average body weight of (5.8 ± 0.2) kg were weaned at 21 d, and randomly allocated into 3 groups: control group (basal diet), sodium butyrate group (basal diet + 0.10% sodium butyrate), and SG-B group (basal diet + 0.19% SG-B), with 3 replicates in each group and 6 piglets per replicate. The experiment lasted for 10 days. The results showed as follows: 1) the butyrate content was 41.1% in the SG-B. 2) The average daily gain of the SG-B group was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$), and the feed/gain and diarrhea rate of the SG-B group were significantly lower than those of the control group ($P < 0.05$). 3) *D*-lactate concentration and diamine oxidase activity in plasma of the SG-B group were significantly lower than those of the control group ($P < 0.05$), and there was no significant difference between the SG-B group and sodium butyrate group ($P > 0.05$). 4) The villus height and villus height/crypt depth in the duodenum, jejunum, and ileum of the SG-B group were significantly higher than those of the control group ($P < 0.05$), and the crypt depth in the duodenum and ileum was significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$). The results indicate that supplementation with 0.19% SG-B can improve growth performance, decrease diarrhea rate and protect intestinal mucosal barrier. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(12):2170-2176]

Key words: silica gel controlled-release butyrate; weaned piglets; growth performance; intestinal mucosal barrier