

# 饲料中添加乳铁蛋白对早期断奶仔猪生长性能、肠道菌群及肠黏膜形态的影响

李美君<sup>1</sup> 方成堃<sup>2</sup> 张 凯<sup>1</sup> 李运虎<sup>1,3</sup> 方热军<sup>1\*</sup>

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学东方科技学院, 长沙 410128; 3. 湖南生物机电职业技术学院, 长沙 410127)

**摘要:** 本试验旨在研究在饲料中添加乳铁蛋白(lactoferrin, LF)对断奶仔猪生长性能、肠道菌群及肠黏膜形态的影响。试验选用96头体重相近的21日龄“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪,随机分为4组,分别饲喂基础饲料(对照组)、基础饲料+250 mg/kg乳铁蛋白、基础饲料+500 mg/kg乳铁蛋白和基础饲料+750 mg/kg乳铁蛋白,每组4个重复,每个重复6头仔猪。正试期21 d。结果表明,与对照组和750 mg/kg乳铁蛋白组相比,饲料中添加250和500 mg/kg乳铁蛋白可显著提高仔猪平均日增重( $P < 0.05$ );与对照组相比,不同水平乳铁蛋白可显著降低盲肠中大肠杆菌数量( $P < 0.05$ ),其中添加500 mg/kg乳铁蛋白显著提高了盲肠、结肠中乳酸杆菌的数量( $P < 0.05$ ),显著降低了结肠中大肠杆菌数量( $P < 0.05$ );添加250和500 mg/kg乳铁蛋白极显著提高了十二指肠、空肠、回肠的绒毛高度/隐窝深度比值( $P < 0.01$ )。结果提示,饲料中添加乳铁蛋白可刺激肠道有益菌生长、降低有害菌增殖,从而改善肠道功能,具有提高仔猪生长性能的作用,本试验条件下乳铁蛋白的适宜添加量为250 mg/kg。

**关键词:** 乳铁蛋白; 生长性能; 肠道菌群; 肠黏膜形态; 断奶仔猪

**中图分类号:** S828

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2012)01-0111-06

抗生素作为畜禽生长促进剂已有50多年的历史,其在动物饲养中发挥了巨大作用,极大地促进了畜牧业的发展。但是,近年来,随着人们生活水平的提高和健康意识的增强及饲料中抗生素的滥用所带来的负面影响不断涌现,使得食品安全问题受到人们高度的重视。因此,研究和开发绿色、无残留的抗生素替代品已成为当今动物营养研究领域的热点之一。乳铁蛋白(lactoferrin, LF)是乳汁中提取的一种天然物质,安全可靠,具有抗菌、杀菌、无副作用、无残留等特点<sup>[1]</sup>。目前,关于乳铁蛋白的研究多集中在小鼠、人以及鱼上,在鱼上则更侧重于对鱼先天免疫的影响,而在猪上的研究主要是对猪非特异性免疫功能的影响,对猪

肠道微生物及肠道发育的影响鲜见报道<sup>[2-5]</sup>。因此,本试验旨在探讨在饲料中添加乳铁蛋白对早期断奶仔猪生长性能、肠道菌群和肠黏膜形态的影响,对改善早期断奶仔猪肠道健康和发挥其遗传生长潜力具有实际意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

乳铁蛋白购于南京天淳贸易有限责任公司。其生产工艺为直接从新鲜牛奶中提取,经纯化、超滤、干燥而成。产物为淡粉色干燥粉末,蛋白质含量 $\geq 95\%$ (其中乳铁蛋白含量 $\geq 90\%$ ),铁饱和度为10%~12%。

收稿日期: 2011-07-14

基金项目: 湖南省高等学校科学研究重点项目(08A030); 大学生研究性学习和创新性实验计划重点项目(DFCXS201001)

作者简介: 李美君(1983—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 从事单胃动物营养及生理的研究。E-mail: 601619178@qq.com

\* 通讯作者: 方热军, 教授, 博士生导师, E-mail: fangrj63@126.com

## 1.2 基础饲粮

基础饲粮参照美国 NRC (1998) 5 ~ 10 kg 仔猪营养需要量配制, 其组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平 (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	59.20
鱼粉 Fish meal	3.00
豆粕 Soybean meal	24.00
次粉 Wheat middlings	3.00
磷酸氢钙 $\text{CaHPO}_4$	2.00
石粉 Limestone	1.00
乳清粉 Whey powder	3.00
食盐 NaCl	0.30
乳化脂肪粉 Emulsified fatty powder	3.00
氯化胆碱 Choline choride	0.10
赖氨酸 Lysine	0.34
蛋氨酸 Methionine	0.06
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	
消化能 DE/(MJ/kg)	14.46
粗蛋白质 CP	19.50
赖氨酸 Lysine	1.35
钙 Ca	0.80
磷 P	0.66

<sup>1)</sup> 预混料可为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 2 200 IU, VD<sub>3</sub> 200 IU, VE 16 mg, VK 1 mg, 胆碱 choline 200 mg, 泛酸 pantothenic acid 6 mg, VB<sub>2</sub> 2 mg, 叶酸 folic acid 0.3 mg, 烟酸 nicotinic acid 25 mg, VB<sub>1</sub> 1.6 mg, VB<sub>6</sub> 6 mg, 生物素 biotin 0.08 mg, VB<sub>12</sub> 0.01 mg, Cu (as copper sulfate) 6 mg, Fe (as ferrous sulfate) 100 mg, Zn (as zinc sulfate) 100 mg, Mn 20 mg, I 0.14 mg, Se 0.3 mg。

<sup>2)</sup> 消化能为计算值, 其余为实测值。DE was a calculated value. The other nutrient levels were measured values.

## 1.3 试验设计

试验采用单因素试验设计, 选用 96 头体重相近的 21 日龄“杜 × 长 × 大”三元杂交断奶仔猪, 随机分为 4 组, 分别饲喂基础饲粮 (对照组)、基础饲粮 + 250 mg/kg 乳铁蛋白、基础饲粮 + 500 mg/kg

乳铁蛋白和基础饲粮 + 750 mg/kg 乳铁蛋白, 每组 4 个重复, 每个重复 6 头仔猪。预试期 7 d, 正试期 21 d。

## 1.4 饲养管理

饲养试验在长沙牧源生态养殖有限公司路口种猪场进行。试验前 1 周对圈舍进行消毒。仔猪饲养于封闭栏舍内, 试验前驱虫, 饲喂时间分别为每天 08:00、14:30、18:00, 共饲喂 3 次, 自由采食与饮水。每日对圈舍清扫 2 次, 每隔 3 d 进行喷雾消毒 1 次, 仔猪免疫、驱虫以及其他饲养管理按猪场常规程序进行。

## 1.5 测定指标

### 1.5.1 生长性能

分别于试验开始和结束时, 早晨空腹称重, 称取余料量, 按如下公式计算仔猪的平均日增重 (ADG)、平均日采食量 (ADFI) 以及料重比 (F/G):

$$\text{平均日增重 (kg/d)} = (\text{末重} - \text{始重}) / \text{试验天数};$$

$$\text{平均日采食量 (kg/d)} = (\text{投料重} - \text{余料重}) / \text{试验天数};$$

$$\text{料重比} = \text{总采食量} / \text{总增重}。$$

### 1.5.2 肠道菌群数量

试验结束时, 从每个重复中随机选取 1 头体重接近平均体重、健康状况较好的仔猪屠宰, 解剖, 分别截取结肠、盲肠段, 用手术线将两端扎紧, 立即送入实验室进行大肠杆菌、乳酸杆菌数量的测定。用 1 g 肠道内容物中细菌数量的对数 [lg (CFU/g)] 表示。

### 1.5.3 肠黏膜形态

试验结束时, 从每个重复中随机选取 1 头体重接近平均体重、健康状况较好的仔猪进行屠宰。从十二指肠、空肠和回肠中段剪取约 1 cm 组织样, 10% 中性福尔马林固定, 常规酒精脱水, 石蜡切片包埋, 切片厚度 4 ~ 6  $\mu\text{m}$ , 苏木精 - 伊红 (HE) 染色。采用 DT 2000 通用图像分析处理系统, 每个样品观察 3 张不连续性切片, 每个样品选 10 个典型视野, 测量小肠绒毛高度与隐窝深度, 取其平均值。

## 1.6 数据统计分析

原始数据经 Excel 初步处理, 再利用 SPSS 13.0 统计软件中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 程序进行分析, 用 Duncan 氏法进行多重比较,  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著。结果以平均值  $\pm$  标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 乳铁蛋白对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可以看出,在饲料中添加不同水平的乳铁蛋白,可促进仔猪生长。与对照组相比,250

和 500 mg/kg 的乳铁蛋白可显著提高断奶仔猪平均日增重 ( $P < 0.05$ );与对照组相比,添加乳铁蛋白能提高断奶仔猪的平均日采食量和降低料重比,但差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 2 乳铁蛋白对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of lactoferrin supplementation on growth performance of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	乳铁蛋白添加水平 Lactoferrin supplemental level/(mg/kg)		
		250	500	750
始重 Initial weight/kg	7.89 ± 0.21	7.90 ± 0.52	7.88 ± 0.27	7.88 ± 0.20
末重 Final weight/kg	13.56 ± 0.19 <sup>a</sup>	14.23 ± 0.28 <sup>ab</sup>	14.45 ± 0.35 <sup>b</sup>	13.79 ± 0.16 <sup>ab</sup>
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.27 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>a</sup>
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	0.44 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.45 ± 0.01
料重比 F/G	1.62 ± 0.05	1.51 ± 0.03	1.48 ± 0.04	1.59 ± 0.05

同行数据肩标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 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.

### 2.2 乳铁蛋白对断奶仔猪肠道菌群数量的影响

由表 3 可知,与对照组相比,添加乳铁蛋白显著降低盲肠中大肠杆菌的数量 ( $P < 0.05$ ),其中 500 mg/kg 乳铁蛋白组达到极显著水平 ( $P < 0.01$ );添加乳铁蛋白能提高盲肠中乳酸杆菌的数量,500 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,达到显著水平 ( $P < 0.05$ );添加乳铁蛋白降低了结肠中大肠杆菌的数量,其中 500 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,达到显著水平 ( $P < 0.05$ ),250 和

750 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,差异不显著 ( $P > 0.05$ ),各试验组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ );添加乳铁蛋白能提高结肠中乳酸杆菌的数量,250 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,达到显著水平 ( $P < 0.05$ ),500 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),750 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,差异不显著 ( $P > 0.05$ ),各试验组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 乳铁蛋白对断奶仔猪肠道菌群数量的影响

Table 3 Effects of lactoferrin supplementation on intestinal microflora of weaned piglets lg(CFU/g)

项目 Items	对照组 Control group	乳铁蛋白添加水平 Lactoferrin supplemental level/(mg/kg)		
		250	500	750
盲肠 Cecum				
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	7.69 ± 0.28 <sup>Bb</sup>	6.77 ± 0.20 <sup>ABa</sup>	6.51 ± 0.22 <sup>Aa</sup>	6.84 ± 0.24 <sup>ABa</sup>
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i>	7.53 ± 0.25 <sup>a</sup>	8.23 ± 0.23 <sup>ab</sup>	8.55 ± 0.21 <sup>b</sup>	8.23 ± 0.22 <sup>ab</sup>
结肠 Colon				
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	8.03 ± 0.06 <sup>b</sup>	7.55 ± 0.21 <sup>ab</sup>	7.28 ± 0.28 <sup>a</sup>	7.62 ± 0.25 <sup>ab</sup>
乳酸杆菌 <i>Lactobacillus</i>	7.54 ± 0.23 <sup>Aa</sup>	8.15 ± 0.04 <sup>ABb</sup>	8.61 ± 0.29 <sup>Bb</sup>	8.06 ± 0.07 <sup>ABab</sup>

### 2.3 乳铁蛋白对断奶仔猪肠黏膜形态的影响

由表 4 可知,从十二指肠来看,与对照组相比,添加 250 和 500 mg/kg 乳铁蛋白极显著提高绒毛高度 ( $P < 0.01$ ),750 mg/kg 乳铁蛋白显著提高绒毛高度 ( $P < 0.05$ ),各试验组与对照组相比,

极显著提高绒毛高度/隐窝深度比值 ( $P < 0.01$ )。从空肠来看,250 和 500 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比,极显著提高绒毛高度及绒毛高度/隐窝深度比值 ( $P < 0.01$ ),750 mg/kg 乳铁蛋白组与对照组相比差异不显著 ( $P > 0.05$ )。从回肠来看,各试

验组绒毛高度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 其中 250 和 500 mg/kg 乳铁蛋白组极显著高于对照组

( $P < 0.01$ ), 各试验组绒毛高度/隐窝深度比值极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ )。

表 4 乳铁蛋白对断奶仔猪肠黏膜形态的影响

Table 4 Effects of lactoferrin supplementation on intestinal mucosal morphology of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	乳铁蛋白添加水平 Lactoferrin supplemental level/(mg/kg)		
		250	500	750
十二指肠 Duodenum				
绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	185.31 $\pm$ 13.14 <sup>Aa</sup>	238.72 $\pm$ 9.93 <sup>Bc</sup>	241.45 $\pm$ 8.33 <sup>Bc</sup>	205.28 $\pm$ 6.88 <sup>ABb</sup>
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	133.58 $\pm$ 4.72 <sup>b</sup>	121.63 $\pm$ 3.51 <sup>b</sup>	117.93 $\pm$ 8.43 <sup>a</sup>	123.61 $\pm$ 5.87 <sup>b</sup>
绒毛高度/隐窝深度比值 V/C	1.49 $\pm$ 0.48 <sup>Aa</sup>	1.96 $\pm$ 0.29 <sup>Cc</sup>	2.05 $\pm$ 0.22 <sup>Cc</sup>	1.71 $\pm$ 0.34 <sup>Bb</sup>
空肠 Jejunum				
绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	155.13 $\pm$ 14.18 <sup>Aa</sup>	196.68 $\pm$ 15.92 <sup>Bb</sup>	204.18 $\pm$ 8.78 <sup>Bb</sup>	182.11 $\pm$ 9.18 <sup>ABab</sup>
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	101.93 $\pm$ 3.19 <sup>c</sup>	92.78 $\pm$ 8.81 <sup>bc</sup>	90.25 $\pm$ 4.76 <sup>ab</sup>	100.27 $\pm$ 1.77 <sup>bc</sup>
绒毛高度/隐窝深度比值 V/C	1.52 $\pm$ 0.10 <sup>Aa</sup>	2.12 $\pm$ 0.57 <sup>Bb</sup>	2.27 $\pm$ 0.45 <sup>Bb</sup>	1.82 $\pm$ 0.36 <sup>ABab</sup>
回肠 Ileum				
绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	170.51 $\pm$ 9.21 <sup>Aa</sup>	205.52 $\pm$ 14.58 <sup>Bb</sup>	206.35 $\pm$ 8.89 <sup>Bb</sup>	194.93 $\pm$ 13.23 <sup>ABb</sup>
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	117.50 $\pm$ 4.15 <sup>Bb</sup>	110.25 $\pm$ 3.73 <sup>ABa</sup>	96.12 $\pm$ 5.73 <sup>Aa</sup>	110.55 $\pm$ 3.31 <sup>ABa</sup>
绒毛高度/隐窝深度比值 V/C	1.45 $\pm$ 0.25 <sup>Aa</sup>	1.87 $\pm$ 0.46 <sup>Bb</sup>	2.15 $\pm$ 0.54 <sup>Cc</sup>	1.77 $\pm$ 0.72 <sup>Bb</sup>

### 3 讨论

#### 3.1 乳铁蛋白对断奶仔猪生长性能的影响

仔猪断奶后受到营养、环境、心理等各个方面的应激, 导致机体机能下降, 抵抗力降低, 从而引发仔猪肠道菌群失调, 进而引起不同程度的腹泻, 严重时导致仔猪死亡。乳铁蛋白能通过抗菌、抗病毒、调节免疫、促进肠道铁离子吸收、刺激肠道双歧杆菌生长、保护肠黏膜等途径来降低腹泻率、提高断奶仔猪的生长性能。

伍喜林<sup>[5]</sup>研究表明, 在饲料中添加乳铁蛋白能提高仔猪日增重, 改善饲料转化率, 降低腹泻率。添加 100、230 和 400 mg/kg 乳铁蛋白的仔猪平均日增重显著高于对照组和添加 50 mg/kg 乳铁蛋白组 ( $P < 0.05$ ), 各试验组之间料重比差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但是以添加 230 mg/kg 组最低。本试验中, 在饲料中添加 250 和 500 mg/kg 乳铁蛋白能显著提高仔猪平均日增重 ( $P < 0.05$ ), 提高平均日采食量, 降低料重比 ( $P > 0.05$ ), 与伍喜林<sup>[5]</sup>研究结果一致。

#### 3.2 乳铁蛋白对断奶仔猪肠道菌群数量的影响

大量研究表明, 乳铁蛋白能通过抑菌以及杀菌作用, 减少或限制特定微生物的生长, 间接起到调节动物肠道菌群的作用。Teraguchi 等<sup>[6]</sup>研究牛乳铁蛋白对 SPF 鼠肠道内细菌的影响, 试验结果

表明, 饲喂含 0.5% ~ 2.0% 乳铁蛋白的牛乳, 小鼠消化道内大肠杆菌的生长受到抑制, 且抑制效果和乳铁蛋白的铁螯合能力无关。刘红云等<sup>[7]</sup>报道, 母乳喂养的婴儿其肠道内双歧杆菌和乳酸杆菌数量明显比配方奶粉喂养的婴儿多, 这种差异与正常母乳中乳铁蛋白含量有直接关系。Hellweg 等<sup>[8]</sup>在成年比格犬饲料中添加不同水平乳铁蛋白, 分别为 0、120 和 1 800 mg/kg, 结果表明, 添加乳铁蛋白各组粪便中大肠杆菌数量有降低的趋势。Wang 等<sup>[9]</sup>在断奶仔猪饲料中添加 1.0 g/kg 乳铁蛋白, 饲喂 1 个月后, 与对照组相比, 可以减少大肠杆菌和沙门氏杆菌的数量 ( $P < 0.05$ ), 增加结肠中乳酸杆菌和小肠双歧杆菌的数量 ( $P < 0.05$ )。本试验也得到相似结果, 在断奶仔猪饲料中添加乳铁蛋白, 能显著降低肠道大肠杆菌的数量, 提高乳酸杆菌的数量 ( $P < 0.05$ )。其原因是乳铁蛋白属于广谱抗菌剂, 既抑制革兰氏阴性菌, 如大肠杆菌、志贺氏菌和沙门氏菌等, 也抑制革兰氏阳性菌, 如单细胞李斯特菌、金黄色葡萄球菌以及胃幽门螺旋杆菌<sup>[6,10-12]</sup>。但对铁需求不多的微生物(如乳酸杆菌), 则基本上不抑制。

#### 3.3 乳铁蛋白对断奶仔猪肠黏膜形态的影响

小肠是断奶仔猪营养物质吸收和转运的主要部位, 小肠黏膜形态结构正常与否是保证仔猪消化吸收功能的关键。小肠绒毛高度与隐窝深度以

及绒毛高度/隐窝深度的比值是反映小肠黏膜形态结构及功能最直接的指标。

大量试验证明,乳铁蛋白能增加小肠绒毛高度,降低隐窝深度。张祥<sup>[13]</sup>在犊牛代乳料中添加乳铁蛋白 250 和 1 000 mg/d,其空肠前段、空肠中段和空肠后段绒毛高度显著高于对照组( $P < 0.05$ );十二指肠、空肠前段、空肠中段绒毛高度/隐窝深度的比值显著高于对照组( $P < 0.05$ )。Humphrey 等<sup>[14]</sup>在肉鸡饲料中添加含有表达乳铁蛋白基因的大米,并与添加了抗生素的组作对比,结果表明乳铁蛋白组十二指肠绒毛高度显著高于抗生素组( $P < 0.05$ )。本试验结果表明,在饲料中添加乳铁蛋白后,各试验组肠道组织切片中绒毛高度显著增加( $P < 0.05$ ),隐窝深度降低。其原因是乳铁蛋白能增强肠道中铁的溶解和吸收,避免其对肠道的直接刺激作用,进而降低肠道的损伤。同时,乳铁蛋白还能刺激肠道细胞的生长,增加肠道中有益菌群,如双歧杆菌和乳酸杆菌等数量,减少大肠杆菌等有害菌群的繁殖,从而保障仔猪肠道健康发育,增强仔猪肠道对营养物质的消化、吸收能力,降低腹泻率,提高其生长性能。

## 4 结 论

① 乳铁蛋白通过显著促进肠道中乳酸杆菌等有益菌的增殖,抑制大肠杆菌的增殖,改善肠道黏膜形态结构,提高肠道功能,从而提高断奶仔猪的生长性能。

② 本试验条件下,乳铁蛋白的适宜添加量为 250 mg/kg。

## 参考文献:

[1] WANG W P, IIGO M, SATO J, et al. Activation of intestinal mucosal immunity in tumor-bearing mice by lactoferrin[J]. Japanese Journal of Cancer Research, 2000, 91(10):1022-1027.

[2] SFEIR R M, DUBARRY M, BOYAKA P N, et al. The mode of oral bovine lactoferrin administration influences mucosal and systemic immune responses in mice[J]. The Journal of Nutrition, 2004, 134(2):403-409.

[3] 苏永藤,王恬. 乳铁蛋白对鱼类的免疫增强作用

[J]. 中国饲料,2006(12):28-29.

[4] 陈翠芳,常立文. 乳铁蛋白在新生儿中的研究进展[J]. 中华医学杂志,2008,32(2):156-157.

[5] 伍喜林. 乳铁蛋白对隔离早期断奶仔猪营养生理效应的研究[D]. 博士学位论文. 雅安:四川农业大学,2004.

[6] TERAGUCHI S, SHIN K, OZAWA K, et al. Bacteriostatic effect of orally administered bovine lactoferrin on proliferation of *Clostridium* species in the gut of mice fed bovine milk[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(2):501-506.

[7] 刘红云,富童淡. 乳铁蛋白生理功能研究现状[J]. 上海畜牧兽医通讯,2004(3):2-4.

[8] HELLWEG P, KRAMMER-LUKAS S, STRASSER A, et al. Effects of bovine lactoferrin on the immune system and the intestinal microflora of adult dogs[J]. Archives of Animal Nutrition, 2008, 62(2):152-161.

[9] WANG Y Z, SHAN T Z, XU Z R, et al. Effects of the lactoferrin (LF) on the growth performance, intestinal microflora and morphology of weanling pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 135(3/4):263-272.

[10] BULLEN J J. Iron-binding protein in milk and resistance to *Escherichia coli* infection in infants[J]. Proceedings of the Royal Society of Medicine, 1972, 65(12):1086.

[11] KAWAKAMI H, LÖNNERDAL B. Isolation and function of a receptor for human lactoferrin in human fetal intestinal brush-border membranes[J]. The American Journal of Physiology, 1991, 261(5):G841-G846.

[12] DI MARIO F, ARAGONA G, DALBÓ N, et al. Bovine lactoferrin for *Helicobacter pylori* eradication: an open, randomized, multicentre study[J]. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 2006, 23(8):1235-1240.

[13] 张祥. 不同乳铁蛋白含量的代乳粉对犊牛生长发育的影响[D]. 硕士学位论文. 扬州:扬州大学,2007.

[14] HUMPHREY B D, HUANG N, KLASSING K C. Rice expressing lactoferrin and lysozyme has antibiotic-like properties when fed to chicks[J]. The Journal of Nutrition, 2002, 132(6):1214-1218.

## Effects of Lactoferrin Supplementation on Growth Performance, Intestinal Microflora and Mucosal Morphology of Early Weaned Piglets

LI Meijun<sup>1</sup> FANG Chengkun<sup>2</sup> ZHANG Kai<sup>1</sup> LI Yunhu<sup>1,3</sup> FANG Rejun<sup>1\*</sup>

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

2. College of Orient Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

3. College of Hunan Biological and Electromechanical Polytechnic, Changsha 410127, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of lactoferrin (LF) on growth performance, intestinal microflora and mucosal morphology in early weaned piglets. Ninety-six piglets weaned at 21 days of age were randomly divided into four groups with four replicates in every group and 6 piglets in every replicate. The four groups were basal diet group, basal diet + 250 mg/kg LF group, basal diet + 500 mg/kg LF group and basal diet + 750 mg/kg LF group, respectively. The experiment lasted for 21 days. The results showed that compared with the control and 750 mg/kg LF group, diets supplemented with 250 and 500 mg/kg LF could significantly improve average daily gain ( $P < 0.05$ ); compared with the control group, LF could reduce the sum of *Escherichia coli* in caecum ( $P < 0.05$ ). The supplementation of 500 mg/kg LF was significantly increased *Lactobacillus* number in caecum and colon ( $P < 0.05$ ) as well as significantly reduced *Escherichia coli* number in colon ( $P < 0.05$ ). The supplementation of 250 and 500 mg/kg LF were extremely significantly increased villus height to crypt depth ratio in duodenum, jejunum and ileum ( $P < 0.01$ ). The results indicate that supplementation of LF can improve the growth performance and regulate intestinal microflora as well as mucosal morphology. The optimum supplemental level of LF is 250 mg/kg under this experimental condition. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(1):111-116]

**Key words:** lactoferrin; growth performance; intestinal microflora; intestinal mucosal morphology; weaned piglets

\* Corresponding author, professor, E-mail: fangrj63@126.com