

# 饮水中添加功能性复合添加剂对断奶仔猪生长性能、养分消化利用和血液指标的影响

巫丽娟, 陈代文\*, 毛湘冰, 余冰, 何军, 黄志清, 虞洁, 郑萍, 罗钧秋

(四川农业大学动物营养研究所, 成都 611130)

**摘要:** 旨在考察自主研发的功能性复合添加剂添加到饮水中对断奶仔猪生长性能、养分消化率和血液指标的影响。试验选取 32 头初始体重为  $(7.08 \pm 0.47)$  kg 的 21 日龄断奶健康的“杜×长×大”三元杂交仔猪, 按体重相近的原则, 随机分为 2 个处理, 每个处理 16 个重复, 饲喂相同的饲料, 分别给予普通的水(对照组)和添加了功能性复合添加剂的水(添加剂组), 添加剂与饮水比例为 1 g : 4 L。试验期 14 d。结果表明: 1) 饮水中添加功能性复合添加剂显著降低仔猪第 8~14 天的料重比 ( $P < 0.05$ ), 有降低仔猪第 1~14 天料重比的趋势 ( $P = 0.07$ ); 2) 饮水中添加功能性复合添加剂显著提高仔猪对饲料中粗蛋白质、粗灰分和钙的消化率 ( $P < 0.05$ ); 3) 饮水中添加功能性复合添加剂显著降低了仔猪血清中尿素氮、甘油三酯、白介素-6 和白介素-1 的含量 ( $P < 0.05$ )。综上所述, 饮水中添加功能性复合添加剂有提高断奶仔猪生长性能的趋势, 这可能与改善仔猪营养物质的消化利用和仔猪免疫状态有关。

**关键词:** 断奶仔猪; 功能性复合添加剂; 生长性能; 养分消化率; 血液指标

中图分类号: S828; S816.7

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2017)07-1365-08

## Effects of Supplementing the Functional Compound Additive in Drinking Water on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Blood Parameters in Weaned Piglets

WU Li-juan, CHEN Dai-wen\*, MAO Xiang-bing, YU Bing, HE Jun,

HUANG Zhi-qing, YU Jie, ZHENG Ping, LUO Jun-qiu

(Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** The aim of this experiment was to study the effects of the self-developed functional compound additive on the growth performance, nutrient digestibility and blood parameters of weaned piglets. According to the initial body weight, thirty-two Duroc × Landrace × Yorkshire piglets weaned at 21 days of age with an initial body weight of  $(7.08 \pm 0.47)$  kg were randomly divided into two groups ( $n = 16/\text{group}$ ) gave ordinary water (control group) and water added functional compound additive (additive group, additive : water was 1 g : 4 L), respectively for 14 days. The results showed that: 1) Supplementing the functional compound additive in the drinking water significantly reduced the F/G in 8-14 days ( $P < 0.05$ ), tended to decrease F/G in 1-14 days ( $P = 0.07$ ). 2) Supplementing the functional compound additive in the drinking water significantly increased the digestibility of crude protein, calcium and ash ( $P < 0.05$ ). 3) Supplementing the functional compound additive in the drinking water significantly reduced urea nitrogen, interleukin 6, interleukin 1 and triglycerides levels in serum on day 14 ( $P < 0.05$ ). These results suggest that supplementing the functional compound additive in the drinking water tend to increase growth performance via improving nutrient digestion and utilization, and adjusting immune status of piglets.

**Key words:** weaned piglets; functional compound additive; growth performance; nutrient digestibility; blood parameters

收稿日期: 2017-01-09

基金项目: 现代农业产业技术体系(CARS-36); 四川省科技支撑项目(2013NZ005); 四川省科技成果转化项目(2014NC0018)

作者简介: 巫丽娟(1989-), 女, 四川眉山人, 硕士生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: 646687600@qq.com

\* 通信作者: 陈代文, 教授, 博士生导师, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: dwchen@sicau.edu.cn

断奶是养猪生产中的重要部分,它会使得仔猪胃肠道及其微生物、免疫等发生显著性改变,从而增加仔猪对疾病的易感性<sup>[1]</sup>。断奶仔猪的这些改变与仔猪遭受到的应激原有关,包括环境应激、心理应激和营养应激<sup>[2]</sup>。而解决这个问题的办法主要是在饲料中添加抗生素。但是,公众的焦点却又集中到耐药性和抗生素残留上,因此,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<sup>[3]</sup>。当仔猪断奶面对这些应激时,大约 50% 会在 24 h 后采食,而 10% 仔猪会在 48 h 以后才会进食<sup>[4]</sup>。与少而多变的采食量相比,在断奶后 24 h,断奶仔猪的饮水量多于采食量,所以可能通过饮水添加会比饲料添加的效果更好<sup>[5]</sup>。由于断奶仔猪面临的应激是多方面的,与单一添加剂相比,复合添加剂可以相互作用,循环再利用,周显青等<sup>[6]</sup>研究表明,VC 与 VE 两者抗免疫应激的作用具有协同效应,VC 的强还原性阻止了氧自由基的生成,在保证 VE 活性的同时提高它的含量,同样 VE 也能反过来保证机体内 VC 的正常含量。而关于复合添加剂添加到饮水中对断

奶仔猪的抗应激作用罕见报道。

本研究旨在揭示通过饮水补充一种主要含维生素 C(VC)、维生素 E(VE)、维生素 D(VD)、黄芪多糖和叶酸等成分的功能性复合添加剂对断奶仔猪生长性能、血液指标和养分消化率的影响。为该添加剂应用于生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验采用单因子设计,选取 32 头平均体重为 (7.08±0.47)kg 的 21 日龄断奶的健康“杜×长×大”三元杂交仔猪,按体重相近的原则,随机分为 2 个处理,每个处理 16 个重复,每个重复 1 头猪,饲喂相同的饲料,分别给予普通的水(对照组)和添加了功能性复合添加剂的水(添加剂组),添加剂与饮水比例为 1 g : 4 L。试验期 14 d。

### 1.2 试验饲料

试验饲料为玉米-豆粕型,参考 NRC(2012)7~11 kg 仔猪营养需要量配制。饲料组成及营养水平见表 1。

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)

饲料组成 Diet composition	含量 Content	营养成分 Nutrient	水平 Level <sup>2)</sup>
玉米 Corn	34.50	消化能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) DE	14.86
膨化玉米 Extruded corn	20.30	粗蛋白质 CP	19.97
去皮豆粕 Soybean meal	8.25	钙 Ca	0.80
膨化大豆 Extruded soybean meal	5.05	总磷 TP	0.57
进口鱼粉 Imported fish meal	4.75	有效磷 AP	0.39
低蛋白乳清粉 Low protein whey powder	8.30	赖氨酸 Lys	1.35
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	9.85	蛋氨酸 Met	0.39
豆油 Soybean oil	2.00	苏氨酸 Thr	0.80
蔗糖 Sucrose	4.85	色氨酸 Trp	0.21
石粉 Limestone	0.82		
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.30		
食盐 NaCl	0.25		
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.31		
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.07		
L-苏氨酸 L-Thr	0.05		
氯化胆碱 Choline chloride(50%)	0.10		
预混料 Premix <sup>1)</sup>	0.05		
合计 Total	100.00		

<sup>1)</sup> 预混料为每千克饲料提供:VA 9 000 IU,VD<sub>3</sub> 3 000 IU,VE 20.0 IU,VK<sub>3</sub> 3.0 mg,VB<sub>1</sub> 1.5 mg,VB<sub>2</sub> 4.0 mg,VB<sub>6</sub> 3.0 mg,VB<sub>12</sub> 0.2 mg,烟酸 30.0 mg,泛酸 15.0 mg,叶酸 0.75 mg,生物素 0.1 mg,Fe 96.0 mg,Cu 5.6 mg,Zn 93.0 mg,Mn 3.7 mg,I 0.13 mg,Se 0.28 mg。<sup>2)</sup> 营养水平为计算值

<sup>1)</sup> The premix provide the following per kg of diets:VA 9 000 IU,VD<sub>3</sub> 3 000 IU,VE 20.0 IU,VK<sub>3</sub> 3.0 mg,VB<sub>1</sub> 1.5 mg,VB<sub>2</sub> 4.0 mg,VB<sub>6</sub> 3.0 mg,VB<sub>12</sub> 0.2 mg,nicotinic acid 30.0 mg,pantothenic acid 15.0 mg,folic acid 0.75 mg,biotin 0.1 mg,Fe 96.0 mg,Cu 5.6 mg,Zn 93.0 mg,Mn 3.7 mg,I 0.13 mg,Se 0.28 mg。<sup>2)</sup> Nutrient levels are calculated values

本试验所使用的功能性复合添加剂成分及含量:维生素 C 10.75%, 叶酸 0.21%, 维生素 A 0.67%, 维生素 D 3.77%, 维生素 E 6%, 维生素 B<sub>2</sub> 0.56%, 黄芪多糖 7.14%, 碳酸氢钠 10.1%, 葡萄糖 60.8%。将添加剂各成分按百分含量充分混合均匀, 再按照添加剂与饮水比例为 1 g : 4 L, 将功能性复合添加剂加入仔猪饮水中。添加剂所用维生素 A 为水溶性维生素 A, 购自帝斯曼(中国)有限公司(产品代码 5002486), 维生素 A 含量  $\geq 500\ 000\ \text{IU} \cdot \text{g}^{-1}$ , 以维生素 A 醋酸酯计, 则 1 IU 维生素 A = 0.344  $\mu\text{g}$  维生素 A 醋酸酯; 所用维生素 D<sub>3</sub> 为水溶性维生素 D<sub>3</sub>, 购自帝斯曼(中国)有限公司(产品代码 0440140), 维生素 D<sub>3</sub> 含量  $\geq 500\ 000\ \text{IU} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 所用维生素 E 为水溶性维生素 E, 购自帝斯曼(中国)有限公司(产品代码 5002575), DL- $\alpha$ -醋酸生育酚含量  $\geq 50\%$ 。

### 1.3 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, 试验猪只单笼饲养(1.5 m × 0.7 m × 1.0 m)。试验期间, 定期检查饮水器, 按照添加剂与饮用水的用量比为 1 g : 4 L, 保障试验猪自由饮水, 每日饲喂 4 次(08:00、12:00、16:00、20:00), 少喂勤添, 喂量以料槽内略有剩余为度。猪舍温度控制在 27~28 °C, 相对湿度控制在 80% 左右。定期冲洗圈舍, 保持圈舍通风、清洁、干燥、卫生。

### 1.4 样品采集

1.4.1 饲料样品采集 采用四分法收集饲料样品 250 g, 粉碎完全后, 全部收集于样品袋中, 4 °C 保存待测。

1.4.2 粪样采集 于试验第 12~14 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 °C 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消化率。

1.4.3 血样采集 于试验结束当天对空腹仔猪进行前腔静脉采血 10 mL, 在室温下放置 45 min 后, 3 000 r · min<sup>-1</sup> 离心 10 min, 分离血清, 放于 -20 °C 保存待测。

### 1.5 测定指标与方法

1.5.1 生长性能 试验期间每天计算采食量, 计算各阶段平均日采食量(Average daily feed intake, ADFI), 于试验第 1、8 和 15 天早上空腹称重, 计算试验第 1~7 天、第 8~14 天和第 1~14 天的平均日

增重(Average daily gain, ADG), 并由 ADFI 和 ADG 计算料重比(feed/gain, F/G)。

1.5.2 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/T23742-2009《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<sup>[7]</sup>的方法。养分消化率的计算公式: 某养分消化率(%) = 100 - (A1 × F2) / (A2 × F1) × 100%。

式中, A1 为饲料盐酸不溶灰分(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(%).

1.5.3 血液指标 血清血糖(Glucose)、尿素氮(Blood urea nitrogen, BUN)和甘油三酯(Total triglycerides, TG)采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定, 严格按照试剂盒说明操作。血清免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)、免疫球蛋白 A(IgA)、白介素-1(Interleukin-1, IL-1)和白介素-6(Interleukin-1, IL-6)采用上海诺渊实业有限公司 ELISA 试剂盒进行测定。

### 1.6 数据处理与分析

所有数据用 Excel 2007 进行初步整理, 并采用 SPSS 17.0 软件进行 *t* 检验, 所有测定结果以每头猪为统计单位, *P* < 0.05 时表示差异显著, *P* < 0.10 时为有差异趋势。

## 2 结果

### 2.1 饮水中补充功能性复合添加剂对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可见, 饮水补充功能性复合添加剂显著降低仔猪第 8~14 天的 F/G (*P* < 0.05), 有降低仔猪第 1~14 天 F/G 的趋势 (*P* = 0.07)。

### 2.2 饮水中补充功能性复合添加剂对断奶仔猪养分消化率的影响

由表 3 可见, 饮水补充功能性复合添加剂显著提高断奶仔猪粗蛋白、粗灰分和钙的消化率 (*P* < 0.05), 有提高断奶仔猪干物质 (*P* = 0.09) 和磷 (*P* = 0.06) 消化率的趋势。

### 2.3 饮水中补充功能性复合添加剂对断奶仔猪血液指标的影响

由表 4 可见, 与对照组相比, 添加剂组仔猪血清中 IL-6、IL-1、TG 和 BUN 的含量显著降低 (*P* < 0.05)。

表 2 饮水中补充功能性复合添加剂对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effect of supplementing the functional compound additive in the drinking water on growth performance of weaned piglets

项目 Item	对照组 Control group	添加剂组 Additive group	SEM	P 值 P-value
第 1~7 天 Days 1 to 7				
日增重/(g · d <sup>-1</sup> ) ADG	189.61 ± 24.36	187.27 ± 17.84	14.74	0.90
日采食量/(g · d <sup>-1</sup> ) ADFI	282.96 ± 18.40	271.70 ± 15.06	11.67	0.60
料重比 F/G	1.65 ± 0.14	1.54 ± 0.11	0.09	0.52
第 8~14 天 Days 8 to 14				
日增重/(g · d <sup>-1</sup> ) ADG	276.88 ± 24.33	280.39 ± 15.47	14.07	0.94
日采食量/(g · d <sup>-1</sup> ) ADFI	414.15 ± 27.43	379.74 ± 16.61	16.09	0.30
料重比 F/G	1.54 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.04	0.04
第 1~14 天 Days 1 to 14				
日增重/(g · d <sup>-1</sup> ) ADG	233.25 ± 22.40	226.95 ± 14.20	12.96	0.30
日采食量/(g · d <sup>-1</sup> ) ADFI	348.56 ± 22.22	320.51 ± 15.78	13.66	0.80
料重比 F/G	1.55 ± 0.08	1.36 ± 0.07	0.07	0.07

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 means significant difference ( $P < 0.05$ ). The same as below

表 3 饮水中补充功能性复合添加剂对仔猪养分消化率的影响

Table 3 Effect of supplementing the functional compound additive in the drinking water on nutrient digestibility of weaned piglets %

项目 Item	对照组 Control group	添加剂组 Additive group	SEM	P 值 P-value
粗蛋白质 CP	70.39 ± 2.0 <sup>a</sup>	77.38 ± 1.6 <sup>b</sup>	1.70	0.03
粗脂肪 EE	70.73 ± 3.33	74.55 ± 2.08	1.82	0.33
干物质 DM	79.76 ± 1.45	83.51 ± 1.22	1.09	0.09
粗灰分 ASH	38.68 ± 2.21 <sup>a</sup>	50.04 ± 2.35 <sup>b</sup>	2.52	0.01
钙 Ca	30.96 ± 2.86 <sup>a</sup>	39.41 ± 1.61 <sup>b</sup>	2.07	0.03
磷 P	29.45 ± 3.25	40.14 ± 3.46	2.94	0.06
能量 Energy	77.89 ± 1.73	81.94 ± 1.42	1.25	0.11

表 4 饮水中补充功能性复合添加剂对仔猪第 14 天血液指标的影响

Table 4 Effect of supplementing the functional compound additive in the drinking water on blood parameters of weaned piglets on day 14 %

项目 Item	对照组 Control group	添加剂组 Additive group	SEM	P 值 P-value
血糖/(mmol · L <sup>-1</sup> ) Glucose	6.38 ± 1.04	6.65 ± 0.84	0.23	0.58
尿素氮/(mmol · L <sup>-1</sup> ) UN	2.95 ± 0.51 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.19 <sup>b</sup>	0.14	0.02
甘油三酯/(mmol · L <sup>-1</sup> ) TG	48.92 ± 1.96 <sup>a</sup>	41.57 ± 0.81 <sup>b</sup>	1.40	0.004
免疫球蛋白/(μg · mL <sup>-1</sup> ) M IgM	48.25 ± 3.64	42.18 ± 2.25	2.21	0.17
免疫球蛋白 A/(μg · mL <sup>-1</sup> ) IgA	47.18 ± 6.46	48.40 ± 5.77	4.19	0.89
免疫球蛋白 G/(μg · mL <sup>-1</sup> ) IgG	426.74 ± 26.13	401.52 ± 32.62	20.45	0.56
白介素 1/(ng · L <sup>-1</sup> ) IL-1	180.58 ± 7.51 <sup>a</sup>	152.93 ± 4.50 <sup>b</sup>	5.53	0.007
白介素 6/(ng · L <sup>-1</sup> ) IL-6	1 389.27 ± 83.92 <sup>a</sup>	1 095.11 ± 63.38 <sup>b</sup>	63.42	0.01

## 3 讨论

### 3.1 功能性复合添加剂对断奶仔猪生长性能的影响

仔猪断奶后必须适应突然从母猪的美味易消化的液态母乳转变为口感差且不易消化的固体饲料,因此,仔猪在断奶后都会出现采食量降低<sup>[8]</sup>。除了降低采食量以外,消化酶的活性、肠道的形态结构和消化分泌功能都会改变,这些都会影响小肠的吸收能力,从而影响饲料利用率<sup>[9]</sup>。大量研究表明,VC、VD、黄芪多糖都具有提高断奶仔猪生长性能的作用<sup>[10-12]</sup>。本研究也表明,饮水中补充功能性复合添加剂显著提高了断奶仔猪前两周的饲料利用率,表明复合添加剂发挥作用主要在应激前期,仔猪生长性能最容易受影响的时候。这可能与添加剂某种有效成分的作用时间有关。S. Fragou 等<sup>[13]</sup>研究表明,VE 只适合在断奶后两周内添加,可能是后期产生了不确定的因子与 VE 相互作用,限制了它的效应或者是因为前两周产生某种与 VE 有协同作用的因子。石雨等<sup>[14]</sup>研究发现,添加 VC 在断奶后 0~7 d 内对日增重或料重比没有明显影响,而 7~17 d 内,猪只的平均日增重呈线性增加,这可能是源于仔猪刚开始自身合成的 VC 不够,所以添加的 VC 只能满足仔猪正常的需要,当 VC 含量达到一定值才能提高仔猪的生长性能。但本研究发现,饮水中添加复合添加剂在降低仔猪饲料利用率的同时对仔猪采食量有一定影响,推测其可能是仔猪饮水量不同导致的,复合添加剂中含有葡萄糖,饮水带有一定甜味和能量,可能导致仔猪的饮水量提高,而采食量相对减少<sup>[15]</sup>。

### 3.2 功能性复合添加剂对断奶仔猪养分消化率的影响

通常情况下,仔猪对营养成分的消化吸收取决于仔猪消化功能的强弱、消化道状况等因素<sup>[16]</sup>。仔猪早期断奶,其出生日期较短,相应的消化能力尚未成熟,易发生营养不良和生长停滞<sup>[17]</sup>。研究表明,黄芪多糖可以通过调节肠道微生物的数量、组成和活性来提高仔猪对营养物质的消化吸收功能<sup>[18]</sup>。张拴林等<sup>[19]</sup>研究表明,肉牛添加 VE 和硒会增加饲料的养分表观消化率,可能与 VE 消除自由基对消化道黏膜的伤害有关。VD<sub>3</sub> 可以通过调节激素的释放和钙的流动,从而提高獭兔钙磷的表观消化率<sup>[20]</sup>。VC 可以通过提高消化酶活性来提高水生动物

对营养物质的利用率<sup>[21]</sup>。本研究也得到与前人一致的结果,饮水中补充功能性复合添加剂显著提高了断奶仔猪粗蛋白、粗灰分、钙的消化率,对断奶仔猪干物质和磷的消化率也有提高趋势。

### 3.3 功能性复合添加剂对断奶仔猪血液指标的影响

血液生化指标可反映动物体内物质代谢和某些组织器官机能的变化,也可反映动物体内营养物质的沉积情况<sup>[22]</sup>。尿素氮水平反映了动物机体内蛋白质代谢与氨基酸之间的平衡状况,蛋白质代谢与氨基酸平衡良好时血液中尿素氮浓度下降<sup>[23]</sup>。彭宏刚等<sup>[24]</sup>报道,断奶仔猪添加黄芪多糖,可以显著降低 BUN 水平,改善应激导致的仔猪氮平衡失调。杨光波等<sup>[25]</sup>研究表明,在仔猪日粮中添加叶酸,可以降低 BUN 含量,通过调节蛋白质代谢进而提高仔猪的生长性能。本研究使用的功能性复合添加剂也与人得到了类似的结果,即该功能性复合添加剂补充到饮水中降低了仔猪的 BUN 水平。推测,功能性复合添加剂的补充可以提高仔猪对氨基酸的利用率,促进机体蛋白质的沉积。

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脂肪代谢增强,为仔猪的快速生长提供较为充足的能量需要<sup>[26]</sup>。有研究表明,VD<sub>3</sub> 可以调节靶基因,促进胰岛素抵抗或者间接调节钙离子浓度,使脂肪细胞内钙离子浓度升高,促进脂肪酸的 $\beta$ 氧化,加强脂肪分解代谢<sup>[27]</sup>。杨秋霞<sup>[28]</sup>研究发现,饲料中添加 VE 会降低鸡血清中的甘油三酯水平,促进脂肪分解。与前人对本研究中使用的功能性复合添加剂组成成分的试验结果一致,本研究发现,功能性复合添加剂的补充显著降低了仔猪血清甘油三酯水平,提高了脂质的利用率。因此,功能性复合添加剂可以提高仔猪对脂质的利用。

机体的体液免疫功能的高低可通过血液中免疫球蛋白(Immunoglobulin, Ig)水平来衡量,研究表明,不同日龄断奶均能降低仔猪的循环抗体水平<sup>[29]</sup>,前人对本研究中功能性复合添加剂的成分研究表明,饲料中添加 VD、VE、VC 均可以提高仔猪血清免疫球蛋白<sup>[30-32]</sup>,而本试验研究表明,功能性复合添加剂补充到饮水中对断奶仔猪血清中 IgA、IgG、IgM 无显著影响,可能与添加剂的添加方式有关。

断奶仔猪在应激原的刺激下,单核细胞和巨噬

细胞分泌 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$  和 IL-6 等炎性细胞因子, 促炎性细胞因子的表达会影响断奶仔猪的免疫功能、生长或代谢过程<sup>[33]</sup>。前人研究表明, 维生素 C 可以通过抑制 LPS 诱导的 IL-6 和 TNF- $\alpha$  的表达来发挥免疫调节作用<sup>[34]</sup>。C. P. Fischer 等<sup>[35]</sup> 也研究表明, 补充维生素 E 和维生素 C 可以使连续做屈关节运动的青年人血清中的 IL-6 降低。本研究使用功能性复合添加剂也得到和前人一致的结果, 即饮水中补充功能性复合添加剂显著降低了血清中促炎细胞因子 IL-1 和 IL-6 的含量, 这一结果表明, 补充复合添加剂可通过调节炎性因子分泌改善机体的免疫状态。

#### 4 结 论

综上所述, 饮水中补充复合添加剂可以提高断奶仔猪的生长性能, 改善营养物质的消化利用, 调整仔猪的免疫状态。

#### 参考文献 (References):

- [1] CAMPBELL J M, CRENSHAW J D, POLO J. The biological stress of early weaned piglets[J]. *J Anim Sci Biotechnol*, 2013, 4(1): 19.
- [2] HEO J M, OPAPEJU F O, PLUSKE J R, et al. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 2013, 97(2): 207-237.
- [3] 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]. *J Anim Sci*, 2007, 85(7): 1799-1808.
- [4] BROOKS P H, MORAN C A, BEAL J D, et al. Liquid feeding for the young piglet[M]//VARLEY M A, WISEMAN J. The Weaner Pig, Nutrition and Management. Proceedings of a British Society of Animal Science Occasional Meeting. Nottingham, UK: University of Nottingham, 2000.
- [5] DE BUSSE E V, DEWULF J, DE ZUTTER L, et al. Effect of administration of organic acids in drinking water on faecal shedding of *E. coli*, performance parameters and health in nursery pigs[J]. *Vet J*, 2011, 188(2): 184-188.
- [6] 周显青, 牛翠娟, 孙儒泳. 维生素 C 和 E 混合饲喂对中华鳖幼鳖抗酸应激能力的影响[J]. *动物学研究*, 2004, 25(1): 37-42.
- ZHOU X Q, NIU C J, SUN R Y. Effects of the combination feeding of vitamin C and E on anti-acid stress ability in juvenile soft-shelled turtles (*Pelodiscus sinensis*)[J]. *Zoological Research*, 2004, 25(1): 37-42. (in Chinese)
- [7] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- ZHANG L Y. Feed and feed quality inspection technology[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)
- [8] 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]. *Anim Feed Sci Technol*, 2015, 208: 145-157.
- [9] PLUSKE J R, HAMPSON D J, WILLIAMS I H. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review[J]. *Livest Prod Sci*, 1997, 51(1-3): 215-236.
- [10] ZHAO J M, LI D F, PIAO X S, et al. Effects of vitamin C supplementation on performance, iron status and immune function of weaned piglets[J]. *Arch Anim Nutr*, 2002, 56(1): 33-40.
- [11] WITSCHI A K M, LIESEGANG A, GEBERT S, et al. Effect of source and quantity of dietary vitamin D in maternal and creep diets on bone metabolism and growth in piglets[J]. *J Anim Sci*, 2011, 89(6): 1844-1852.
- [12] YIN F G, LIU Y L, YIN Y L, et al. Dietary supplementation with *Astragalus* polysaccharide enhances ileal digestibilities and serum concentrations of amino acids in early weaned piglets[J]. *Amino Acids*, 2009, 37(2): 263-270.
- [13] FRAGOUE S, FEGEROS K, XYLOURI E, et al. Effect of vitamin E supplementation on various functional properties of macrophages and neutrophils obtained from weaned piglets[J]. *J Vet Med*, 2004, 51(4): 178-183.
- [14] 石雨, GOIHL J. 早期断奶仔猪需要额外供应维生素 C[J]. *饲料广角*, 1999(1): 13-15.
- SHI Y, GOIHL J. Early weaning piglets need additional supply vitamins[J]. *Feed China*, 1999(1): 13-15. (in Chinese)
- [15] BONTEMPO V, JIANG X R, CHELI F, et al. Administration of a novel plant extract product via drinking water to post-weaning piglets; effects on performance and gut health[J]. *Animal*, 2014, 8

- (5): 721-730.
- [16] 张世昌, 王志祥, 孙永刚, 等. 复方中草药饲料添加剂对断奶仔猪生长性能、养分消化率及肠道菌群的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(12): 166-169, 172. ZHANG S C, WANG Z X, SUN Y G, et al. Effects of compound Chinese medicine herb additives on growth performance, digestibility of main nutrients and intestinal bacteria of weaned piglets [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(12): 166-169, 172. (in Chinese)
- [17] 张莹, 孙景童, 张敏, 等. 断奶应激对仔猪生长和母猪繁殖性能影响的研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2013, 34(3): 77-79. ZHANG Y, SUN J T, ZHANG M, et al. Research progress on effects of weaning stress on the growth of piglets and reproductive performance of sows [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2013, 34(3): 77-79. (in Chinese)
- [18] 骆先虎, 倪以祥. 黄芪多糖对断奶仔猪生产性能的影响[J]. 中国饲料, 2012(3): 22-24. LUO X H, NI Y X. Effects of astragalus polysaccharide on growth performance of weaning piglets [J]. *China Feed*, 2012(3): 22-24. (in Chinese)
- [19] 张拴林, 袁霞, 徐亚光, 等. 硒和维生素 E 对肉牛养分表观消化率、氮平衡、能量代谢及血液生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(6): 1219-1228. ZHANG S L, YUAN X, XU Y G, et al. Effects of selenium and vitamin E on nutrient apparent digestibility, nitrogen balance, energy metabolism and blood biochemical indices of beef cattle [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(6): 1219-1228. (in Chinese)
- [20] 李万佳, 李福昌, 朱晓强, 等. 饲料维生素 D 添加水平对生长獭兔生长性能、钙磷代谢、血液指标和抗氧化功能的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(2): 389-396. LI W J, LI F C, ZHU X Q, et al. Effects of vitamin D supplemental level on growth performance, calcium and phosphorus metabolism, blood indices and antioxidant function of growing rex rabbits [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(2): 389-396. (in Chinese)
- [21] 池磊. 不同来源的维生素 C 对幼建鲤消化、免疫和抗氧化功能影响的比较研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2009. CHI L. Effects of vitamin C (ethylcellulose-coated ascorbic acid and ascorbyl polyphosphate) on growth performance, functions of digestion, absorption, immune and antioxidative of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [22] WANG J P, YOO J S, KIM H J, et al. Nutrient digestibility, blood profiles and fecal microbiota are influenced by chitooligosaccharide supplementation of growing pigs [J]. *Livest Sci*, 2009, 125(2-3): 298-303.
- [23] ROSEBROUGH R W, STEELE N C, MCMURTRY J P. Effect of protein level and supplemental lysine on growth and urea cycle enzyme activity in the pig [J]. *Growth*, 1983, 47(4): 348-360.
- [24] 彭宏刚, 郑伟, 潘晓亮. 黄芪多糖对断奶仔猪生长性能和血清生化指标的影响 [J]. 农村科技, 2015(9): 68-69. PENG H G, ZHENG W, PAN X L. Effects of astragalus polysaccharides on growth performance and serum biochemical indexes of weaning piglet [J]. *Rural Science and Technology*, 2015(9): 68-69. (in Chinese)
- [25] 杨光波, 陈代文, 余冰. 叶酸水平对断奶仔猪生长性能及血清组织中蛋白质代谢的指标影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47(5): 24-28. YANG G B, CHEN D W, YU B. Effects of dietary supplementation of folic acid on growth performance and indicators related with protein metabolism of serum and tissues in piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2011, 47(5): 24-28. (in Chinese)
- [26] 刁慧, 郑萍, 余冰, 等. 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 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(4): 768-777. DIAO H, ZHENG P, YU B, et al. Effects of benzoic acid on growth performance, serum biochemical parameters, nutrient digestibility and digestive enzyme activities of jejunal digesta in weaner piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(4): 768-777. (in Chinese)
- [27] MAJOR G C, ALARIE F, DORÉ J, et al. Supplementation with calcium + vitamin D enhances the beneficial effect of weight loss on plasma lipid and lipoprotein concentrations [J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(1): 54-59.
- [28] 杨秋霞. 维生素 E 对蛋种鸡生产性能、抗氧化、脂类代谢及 OBR 基因表达的影响 [D]. 保定: 河北农业

- 大学, 2012.
- YANG Q X. Effect of vitamin E on performance, antioxidant, lipid metabolism and OBR gene expression of breeding-hens [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [29] MCCRACKEN K, KELLY D. Development of digestive function and nutrition/disease interactions in the weaned pig [C]//Recent Advances in Animal Nutrition in Australia. New England: University of New England, 1993.
- [30] MEUTER A. 如何利用维生素 D 增强仔猪的免疫应答反应[J]. 贾良梁, 译. 国外畜牧学-猪与禽, 2015, 35(11): 1-4.
- MEUTER A. How to make use of vitamin D increase piglet immune response[J]. JIA L L, trans. *Animal Science Abroad-Pigs and Poultry*, 2015, 35(11): 1-4. (in Chinese)
- [31] BABINSZKY L, LANGHOUT D J, VERSTEGEN M W, et al. Effect of vitamin E and fat source in sows' diets on immune response of suckling and weaned piglets [J]. *J Anim Sci*, 1991, 69(5): 1833-1842.
- [32] 赵君梅, 李德发, 朴香淑, 等. 维生素 C 抗断奶应激及对仔猪免疫机能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2002, 38(2): 19-21.
- ZHAO J M, LI D F, PIAO X S, et al. Effect of vitamin C on the stress resistant in weanling pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2002, 38(2): 19-21. (in Chinese)
- [33] JOHNSON R W. Inhibition of growth by pro-inflammatory cytokines: an integrated view [J]. *J Anim Sci*, 1997, 75(5): 1244-1255.
- [34] HÄRTEL C, STRUNK T, BUCSKY P, et al. Effects of vitamin C on intracytoplasmic cytokine production in human whole blood monocytes and lymphocytes [J]. *Cytokine*, 2004, 27(4-5): 101-106.
- [35] FISCHER C P, HISCOCK N J, PENKOWA M, et al. Supplementation with vitamins C and E inhibits the release of interleukin-6 from contracting human skeletal muscle [J]. *J Physiol*, 2004, 558(2): 633-645.

(编辑 郭云雁)