

包被氧化锌对断奶仔猪腹泻指数及肠道发育的影响

申俊华¹, 周安国¹, 王之盛^{1*}, 邹华围¹, 贺 森¹, 吴世林², 吕 勇²

(1. 四川农业大学 动物营养研究所, 雅安 625014; 2. 广州智特奇生物科技有限公司, 广州 510663)

摘 要: 本试验旨在研究不同水平包被氧化锌对断奶仔猪腹泻情况和肠道发育的影响。选用 28 日龄“杜洛克×长白×约克夏(D×L×Y)”三元杂交断奶仔猪 72 头, 随机分为 6 组(每组 4 个重复, 每个重复 3 头); 设置 2 个对照组(低锌对照组和高锌对照组), 分别饲喂在基础饲料里添加 250 和 2 250 mg·kg⁻¹ ZnO 的日粮, 试验组分别饲喂添加 250、380、570 和 760 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌(以锌计)的试验饲料。试验期 28 d, 试验后 14 d 高锌组饲料锌降至低锌水平。结果表明: 1) 在断奶后的前 14 d, 饲料添加 380 和 570 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌显著降低了腹泻指数($P < 0.05$), 且与高锌对照组差异不显著($P > 0.05$); 饲料添加 510 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌, 仔猪腹泻指数最低。2) 饲料添加 250、380、570 和 760 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌, 仔猪肝和肾中的锌浓度增加均不显著($P > 0.05$); 饲料添加 380、570 和 760 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌, 粪便锌的浓度显著增加($P < 0.05$)。3) 饲料添加 250、380 和 570 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌显著增加了十二指肠绒毛高度($P < 0.05$), 且与高锌组差异不显著($P > 0.05$); 饲料添加 570 和 760 mg·kg⁻¹ 包被氧化锌显著提高了十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度与隐窝深度比值($P < 0.05$)。由此可见, 饲料添加 380~570 mg·kg⁻¹ 的包被氧化锌, 既能像高浓度氧化锌一样, 有效保护肠道形态、降低仔猪腹泻, 又能节约锌源、减少环境污染。

关键词: 包被氧化锌; 断奶仔猪; 腹泻指数; 肠道形态

中图分类号: S828; S816.32

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2013)06-0894-07

Effects of Various Levels of Coated ZnO on Diarrhea Index and Small Intestinal Morphology of Weaned Piglets

SHEN Jun-hua¹, ZHOU An-guo¹, WANG Zhi-sheng^{1*}, ZOU Hua-wei¹, HE Miao¹,
WU Shi-lin², LYU Yong²

(1. Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. Guangzhou Wisdom Bio-Technology Co., Ltd, Guangzhou 510663, China)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of various concentrations of coated ZnO on diarrhea index and intestinal morphology of weaned piglets. A total of 72 crossbred (Duroc×Landrace×Yorkshire) weaned piglets were allotted randomly, on initial BW((7.72 ± 0.65)kg), to six groups with 4 replicates per group and 3 pigs per replicate in a completely randomized design for 28 days. Groups consisted of a low-zinc control group (LZ) fed 250 mg·kg⁻¹ Zn of diet as ZnO, a high-zinc control group (HZ) fed 2 250 mg·kg⁻¹ Zn of diet as ZnO (during 15-28 d, Zn concentration of HZ reduced to 250 mg·kg⁻¹) and 4 experimental groups in which coated ZnO was added at 250, 380, 570 and 760 mg·kg⁻¹ Zn of basal diet, respectively. The results showed as follows: 1) In 1-14 days, adding 380 and 570 mg·kg⁻¹ coated ZnO significantly decreased diarrhea index ($P < 0.05$), and which had no significant differences with that of HZ;

收稿日期: 2012-09-17

基金项目: 广州智特奇生物科技有限公司与四川农业大学联合攻关项目; 四川农业大学“双支计划”项目

作者简介: 申俊华(1989-), 男, 陕西西安人, 硕士生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: bad_1989@126.com

* 通信作者: 王之盛, 教授, 博士生导师, E-mail: wangzs007@yahoo.com.cn

the diarrhea index, adding $510 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Zn of basal diet, was the lowest. 2) No significant increase in liver and kidney Zn concentrations were observed between groups adding 250, 380, 570 and $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO ($P > 0.05$); adding 380, 570 and $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO significantly increased fecal Zn concentrations ($P < 0.05$). 3) Adding 250, 380 and $570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO significantly increased duodenum villi height ($P < 0.05$), and which had no significant differences with that of HZ ($P > 0.05$); V/C values of duodenum, jejunum and ileum, compared with that of LZ, were greater ($P < 0.05$) when feeding the diets adding 570 or $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO. It is concluded that adding 380-570 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO, as pharmacological concentrations of ZnO does, can protect intestinal morphology and decrease diarrhea effectively, moreover, can save Zn source and reduce environmental pollution.

Key words: coated ZnO; weaned piglets; diarrhea index; intestinal morphology

长期以来,腹泻是影响仔猪健康生长的一个重要因素,尤其是早期断奶仔猪,由于受到断奶应激及病原微生物的侵袭,腹泻症状更加普遍。据调查,我国有些规模化猪场的早期断奶仔猪腹泻率高于 50%,由腹泻引起的死亡占仔猪死亡总数的 40%^[1],仔猪腹泻是影响猪健康生长的重要难题。前人研究表明,在断奶仔猪饲料中添加药理剂量的氧化锌能有效降低腹泻率,促进仔猪生长^[2-3]。但氧化锌的生物利用率很低,其中大部分从粪中排出,造成锌源的浪费和环境污染^[4]。因此,如何能在保证减少仔猪腹泻的前提下,降低氧化锌的用量,节约锌源保护环境,已成为该行业亟待解决的问题。目前研究较多的是对氧化锌进行纳米化处理,虽然纳米化的氧化锌效果优于普通氧化锌^[5],但由于其生产及鉴定过程复杂,尚未在生产中大面积推广。如今,包被技术在饲料添加剂行业应用较为广泛,对氧化锌进行包被处理能有效降低氧化锌在胃中的解离度,使到达肠道发挥作用的有效成分显著增加^[6],因此可减少用量。但目前关于包被氧化锌在断奶仔猪上的深入研究还很少。

本试验旨在研究包被氧化锌对断奶仔猪腹泻情

况和肠道发育的影响,为其在生产中的应用提供基础数据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

普通氧化锌(饲料级,市售,锌含量 $\geq 78\%$),包被氧化锌(由广州智特奇生物科技有限公司提供,氧化锌含量 $\geq 50\%$)。

1.2 试验设计

选用健康且体重相近($(7.72 \pm 0.65) \text{ kg}$)的 28 日龄“D \times L \times Y”三元杂交断奶仔猪 72 头,随机分 6 组,每组 4 个重复,每个重复为 3 头猪,将每个重复的猪置于同栏中饲养。设置 2 个对照组:低锌对照组(LZ,基础饲料+ $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料级氧化锌)和高锌对照组(HZ,基础饲料+ $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料级氧化锌);4 个试验组:分别在基础饲料中添加 250、380、570 和 $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的包被氧化锌(以锌水平计),具体见表 1。基础饲料参照 NRC(1998)营养需要配制,其形态为粉状,饲料组成及营养水平见表 2。试验预饲期 5 d,正试期 28 d。HZ 组在试验后 14 d 中饲料锌改为低锌水平。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

项目 Item	低锌对照组 LZ	高锌对照组 HZ	试验 1 组 CZ250	试验 2 组 CZ380	试验 3 组 CZ570	试验 4 组 CZ760
锌的形态 Zinc form	氧化锌	氧化锌	包被氧化锌	包被氧化锌	包被氧化锌	包被氧化锌
锌水平/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ Zinc level	250	250	250	380	570	760

CZ250 表示在基础日粮中添加 $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌(锌水平),其他 3 个缩写依此类推

CZ250 meant that $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ coated ZnO is added into the basal diet, and others are similar

表 2 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

组成 Ingredient	比例 Proportion
玉米 Corn	51.45
菜籽油 Rapeseed oil	2.00
大豆粕 Soybean	22.50
鱼粉 Fish meal	3.80
酸化乳清粉 Acid whey powder	6.00
蔗糖 Sucrose	2.00
葡萄糖 Glucose	3.00
小麦麸 Wheat bran	2.00
血浆蛋白粉 Plasma protein powder	4.00
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.00
碳酸钙 CaCO_3	0.65
小苏打 NaHCO_3	0.50
食盐 NaCl	0.20
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys · HCl	0.31
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.02
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
复合多维 Compound vitamin	0.08
矿物质添加剂 Mineral	0.40
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient level	含量 Content
消化能/(MJ · kg ⁻¹)DE	14.29
粗蛋白质 CP	20.19
赖氨酸 Lys	1.36
蛋氨酸 Met	0.35
钙 Ca	0.80
总磷 TP	0.65
锌/(mg · kg ⁻¹) Zn	29.39

复合多维为每千克饲料提供: VA 32 000 IU, VD₃ 8 000 IU, VE 200 IU, VK₃ 40 mg, VB₁ 16 mg, VB₂ 128 mg, VB₆ 4.8 mg, VB₁₂ 0.24 mg, D-泛酸钙 200 mg, 烟酸 280 mg, 叶酸 4 mg。矿物质添加剂为每千克饲料提供: Fe 100 mg · kg⁻¹, Cu 10 mg · kg⁻¹, Mn 10 mg · kg⁻¹, Se 0.3 mg · kg⁻¹, I 0.3 mg · kg⁻¹。各营养成分除锌含量外,其他为计算值
Compound vitamin provided the following per kg of diet: VA 32 000 IU, VD₃ 8 000 IU, VE 200 IU, VK₃ 40 mg, VB₁ 16 mg, VB₂ 128 mg, VB₆ 4.8 mg, VB₁₂ 0.24 mg, D-calcium d-pantothenate 200 mg, nicotinic acid 280 mg, folic acid 4 mg. Minerals provided the following per kg of diet: Fe 100 mg · kg⁻¹, Cu 10 mg · kg⁻¹, Mn 10 mg · kg⁻¹, Se 0.3 mg · kg⁻¹, I 0.3 mg · kg⁻¹. Zn is a measured value and others are calculated values

1.3 试验管理

试验在四川农业大学动物营养研究所试验场进

行,室温控制在 25 ℃左右,并保持室内干燥通风。饲喂时间在每天 8:00、12:00、16:00、20:00,自由采食,自由饮水。每日清扫圈 1 次,每隔 2 d 对周围圈舍消毒。

1.4 样品采集

1.4.1 粪样采集 采用全收粪法,在试验第 12~14 天,每天早上 7:00 收取各重复组仔猪排出的粪便,混合均匀后按一定比例取样,装入样品袋, -20 ℃保存,用于测定各处理组粪便中锌的含量。

1.4.2 屠宰试验 在试验第 14 天,从每个处理组中选取 4 头试验猪屠宰。分别取左侧肝小叶中部和肾脏中部各 50 g,用生理盐水冲洗干净,装入样品袋中,在 -20 ℃冰箱中保存,同时从屠宰猪的胃、空肠及结肠中取消化道内容物若干,保存方法同上,以便测定其中锌水平;从十二指肠、空肠和回肠取约 2~3 cm 大小的组织样,置于含 3.8% 甲醛的液中固定;在试验第 28 天,再从每处理组中各自选取 4 头试验猪,称重后屠宰,分别取左侧肝小叶中部和肾脏中部各 50 g,处理方法同第 14 天。

1.5 指标测定

1.5.1 腹泻指数的测定 每日固定时间观察各组仔猪的粪便情况,按正常、稀软、粘稠、水样 4 个等级进行划分,分别用 0、1、2、3 分表示,具体参照 M. Castillo 等^[7]的方法,最后统计各组腹泻指数。

1.5.2 肝、肾、肠道内容物及粪样中锌水平的测定 肝、肾(鲜重基础)、肠道内容物及粪样(风干基础),经预处理后,采用湿法消化,定溶稀释,用火焰原子吸收仪(nov-AA400)测定。具体操作参照李岩松^[8]的方法。

1.5.3 小肠肠道形态观察 各肠段经脱水、浸蜡、包埋、切片等处理步骤,再经苏木精-伊红染色,在光学显微镜下进行观察、取图和拍照,测量小肠绒毛高度和隐窝深度,检测肠绒毛高度和隐窝深度,计算绒毛高度/隐窝深度比值(V/C)。

1.6 数据统计分析

试验数据经 Excel 2010 整理后,采用 SPSS 17.0 版统计软件中 one-way ANOVA 过程进行方差分析,并采用 Duncan 氏多重比较检验,结果以“平均数 ± 标准差”来表示。P < 0.05 表示差异显著。

2 结果

2.1 包被氧化锌对断奶仔猪腹泻指数的影响

从图 1 可看出,仔猪在刚断奶的前 14 d,腹泻指

数随包被氧化锌的增加而表现出先降低后升高的趋势,对其变化进行曲线拟合,得方程 $y = 5E-06x^2 - 0.0051x + 1.6249$, $R^2 = 0.9885$ 。该方程存在最小值,求解得:当 $x = 510$ 时, $y = 0.32$,即当包被氧化锌添加量为 $510 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以锌计)时,腹泻指数最低。另外,从断奶后 14 d 的腹泻指数变化规律中可发现,断奶仔猪的腹泻指数随包被氧化锌水平增加而增加,即添加量越少腹泻指数反而越低。

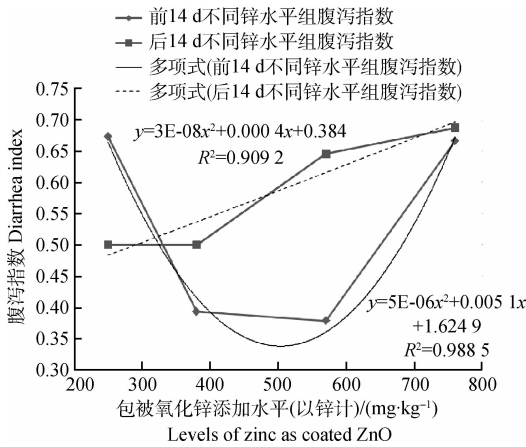


图 1 不同添加水平的包被氧化锌下断奶仔猪腹泻指数的影响

Fig. 1 Dynamic variation of diarrhea index of weaned piglets by adding various levels of zinc as coated ZnO

由表 3 可知,在试验前 14 d,与低锌对照组相比,饲料添加 380 和 $570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌显著降低了腹泻指数 ($P < 0.05$),分别低了 39.06% 和 40.63% ,但与高锌对照组差异不显著 ($P > 0.05$);而当饲料添加 250 和 $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌时,腹泻指数并未下降。在试验后 14 d 中,与低锌对照

表 3 不同水平包被氧化锌对断奶仔猪腹泻指数的影响

Table 3 Effects of various levels of coated ZnO on diarrhea index of weaned piglets

项目 Item	低锌对照组 LZ	高锌对照组 HZ	试验 1 组 CZ250	试验 2 组 CZ380	试验 3 组 CZ570	试验 4 组 CZ760
前 14 d 1-14 d	0.64 ± 0.04^a	0.46 ± 0.03^b	0.68 ± 0.07^a	0.39 ± 0.05^b	0.38 ± 0.03^b	0.67 ± 0.13^a
后 14 d 15-28 d	0.38 ± 0.05^b	0.66 ± 0.16^a	0.50 ± 0.01^b	0.50 ± 0.01^b	0.65 ± 0.06^a	0.69 ± 0.13^a
全期 1-28 d	0.51 ± 0.02^{bc}	0.56 ± 0.07^b	0.59 ± 0.03^{ab}	0.45 ± 0.03^c	0.51 ± 0.03^{bc}	0.68 ± 0.13^a

同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同

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

2.3 包被氧化锌对断奶仔猪十二指肠、空肠和回肠形态的影响

从表 6 中的十二指肠的数据来看,与低锌对照

组相比,饲料添加 570 和 $760 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌时,腹泻指数显著升高 ($P < 0.05$);而 250 和 $380 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌组的腹泻指数,与低锌对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。另外,在后 14 d 中由于高锌对照组的饲料改为低锌饲料,此时高锌对照组的腹泻指数显著增加,超过了低锌对照组 ($P < 0.05$)。从全期看,试验组的腹泻指数的变化趋势为先下降后升高,与前 14 d 相似,但整体上包被氧化锌的防腹泻效果并未体现出来,除了试验 4 组 (CZ760) 的腹泻指数显著高于低锌对照组外 ($P < 0.05$),其他各试验组与低锌对照组差异均不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 包被氧化锌对断奶仔猪肝、肾、消化道内容物及粪便中锌水平的影响

与低锌对照组相比,14 和 28 d 各试验组肝和肾的锌含量 (表 4) 无明显增加,且各包被氧化锌组间差异同样不显著 ($P > 0.05$)。在两期中,高锌对照组的肝锌含量均显著高于低锌对照组和各试验组 ($P < 0.05$),虽然该组在后 14 d,饲料中的包被氧化锌降至低锌组的水平,28 d 的肝锌含量较 14 d 也降低了 40.70% ,但其后期肝锌含量仍未下降至正常水平;肾的锌含量随饲料锌水平变化较为明显,高锌对照组锌水平从 14 d 的 $39.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低至 28 d 的 $28.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,该值与低锌组和试验组无显著差异 ($P > 0.05$)。

从表 5 中可看出,随包被氧化锌添加水平的增加,断奶仔猪消化道不同部位内容物及粪便锌浓度显著提高 ($P < 0.05$)。与低锌对照组相比,除了 CZ250 组外,其他各试验组粪便锌浓度显著升高 ($P < 0.05$),但各试验组粪便锌含量浓度均显著低于高锌对照组 ($P < 0.05$)。

组 (LZ) 相比,各试验组的绒毛高度分别增加了 7.91% 、 14.81% 、 15.13% 和 37.29% ($P < 0.05$),试验 1 组 (CZ250) 的隐窝深度降低不明显 ($P > 0.05$),

而其他 3 个试验组的隐窝深度依次降低了 4.61%、8.36% 和 4.10% ($P < 0.05$)。绒毛高度与隐窝深度比值(V/C), CZ250 组提高仍不显著, 其他 3 组的比值显著高于 LZ 组。与高锌对照组(HZ)相比, 试验 4 组(CZ760)的绒毛高度显著增加($P < 0.05$), 其他 3 个试验组变化不明显($P > 0.05$)。从空肠数据看, 除 CZ760 组的绒毛高度低于 LZ 组外, 其他 3 个试

验组的绒毛高度, 与 LZ 组相比都显著增加($P < 0.05$)。各试验组的隐窝深度均低于 LZ 组($P < 0.05$), 而且除了试验 2 组(CZ380)外, 其他 3 组的隐窝深度还显著低于 HZ 组($P < 0.05$)。CZ250 组的 V/C 值显著高于 HZ 组($P < 0.05$)。从回肠数据中可发现, CZ250 和 CZ760 组的 V/C 值高于 LZ 组, 而与 HZ 组无显著差异($P > 0.05$)。

表 4 不同水平包被氧化锌对断奶仔猪肝、肾锌水平的影响

项目 Item	低锌对照组 LZ	高锌对照组 HZ	试验 1 组 CZ250	试验 2 组 CZ380	试验 3 组 CZ570	试验 4 组 CZ760
14 d 肝 Liver	91.21 ± 20.25 ^b	248.91 ± 19.95 ^a	86.02 ± 2.08 ^b	97.75 ± 10.15 ^b	101.96 ± 6.75 ^b	98.50 ± 10.06 ^b
28 d 肝 Liver	78.05 ± 15.39 ^b	147.61 ± 42.35 ^a	87.67 ± 14.40 ^b	94.38 ± 25.52 ^b	91.81 ± 7.24 ^b	80.62 ± 19.67 ^b
14 d 肾 Kidney	25.54 ± 6.40 ^b	39.61 ± 9.03 ^a	27.47 ± 8.03 ^b	18.14 ± 1.41 ^b	20.74 ± 3.94 ^b	19.53 ± 2.25 ^b
28 d 肾 Kidney	24.03 ± 3.81	28.20 ± 6.29	23.87 ± 2.33	24.05 ± 4.07	27.45 ± 1.03	24.54 ± 3.23

表 5 不同水平包被氧化锌对断奶仔猪消化道不同部位内容物及粪便锌水平的影响

项目 Item	低锌对照组 LZ	高锌对照组 HZ	试验 1 组 CZ250	试验 2 组 CZ380	试验 3 组 CZ570	试验 4 组 CZ760
饲料 Feed	241.44 ± 5.92 ^f	2 194.17 ± 15.42 ^a	297.96 ± 7.57 ^e	402.41 ± 6.96 ^d	538.58 ± 10.88 ^c	754.45 ± 9.96 ^b
胃内容物 Digesta samples in stomach	305.14 ± 33.04 ^e	1 851.02 ± 206.86 ^a	337.06 ± 44.47 ^c	413.29 ± 60.10 ^c	615.04 ± 52.46 ^b	734.38 ± 75.87 ^b
空肠内容物 Digesta samples in jejunum	387.85 ± 75.35 ^d	2 593.61 ± 204.83 ^a	337.92 ± 5.22 ^e	436.40 ± 64.41 ^{cd}	601.04 ± 87.29 ^c	881.14 ± 67.86 ^b
结肠内容物 Digesta samples in colon	1 381.35 ± 275.92 ^e	9 017.57 ± 455.23 ^a	1 882.95 ± 280.91 ^d	2 004.19 ± 25.65 ^d	2 951.69 ± 65.50 ^c	5 124.07 ± 91.29 ^b
粪便 Feces	1 192.96 ± 70.10 ^e	9 518.24 ± 649.71 ^a	1 702.20 ± 67.56 ^{de}	2 838.55 ± 406.01 ^c	1 988.56 ± 153.70 ^d	4 077.09 ± 516.51 ^b

3 讨论

3.1 包被氧化锌对断奶仔猪腹泻指数的影响

断奶仔猪由于各消化、免疫器官未完全发育, 而导致对营养物质消化吸收能力弱、对外界病原菌抵抗力低, 再加上断奶应激及生活环境变化等综合因素影响, 常常会出现采食量下降、腹泻率升高、生长缓慢、甚至体重下降或死亡等一系列现象, 该现象被称为仔猪断奶应激综合征^[9]。大量研究表明, 高剂量氧化锌能有效减少腹泻^[10-11], 这与本试验结果一致。在试验前 14 d, 与低锌对照组相比, 高锌对照组(HZ)腹泻指数显著降低, 而试验 2(CZ380)和 3 组

(CZ570)与 HZ 组差异不显著。可能原因是包被氧化锌在通过胃时, 由于有包衣材料的保护而最大限度减少胃酸破坏, 到达肠道的有效成分相比于普通氧化锌显著增加, 因此添加量可以减少^[6]。从腹泻指数的曲线方程结果可推测, 当饲料中包被氧化锌添加到 510 mg · kg⁻¹时, 仔猪在断奶后的 2 周内腹泻指数最低(0.32)。此外, 从试验后 2 周的结果看, 与低锌对照组相比, CZ250 和 CZ380 组的腹泻指数没有降低, 而 CZ570、CZ760 和 HZ 组的腹泻指数反而显著升高。这说明在仔猪断奶后的前 2 周, 较低浓度的包被氧化锌(380~570 mg · kg⁻¹)同药理剂量的氧化锌一样, 都能起到防腹泻的效果, 但后 2 周

基本无效,这可能与氧化锌防腹泻的作用机理有关。目前,研究认为,氧化锌防腹泻并非通过抑制大肠杆菌生长而实现的^[12],而是通过降低细菌对肠细胞的

粘附和入侵、防止紧密连接渗透性增加的方式来实现^[13]。但氧化锌对肠细胞的保护作用是否存在时间限制,还有待进一步研究。

表 6 不同水平包被氧化锌对断奶仔猪小肠形态的影响

Table 6 Effects of various levels of coated ZnO on small intestinal morphology of weaned piglets

项目 Item		低锌对照组 LZ	高锌对照组 HZ	试验 1 组 CZ250	试验 2 组 CZ380	试验 3 组 CZ570	试验 4 组 CZ760
	绒毛高度/ μm	332.4 \pm	366.19 \pm	358.69 \pm	381.62 \pm	382.70 \pm	456.36 \pm
	Villus height	15.64 ^c	13.15 ^b	7.99 ^b	25.24 ^b	19.67 ^b	14.95 ^a
十二指肠 Duodenum	隐窝深度/ μm	472.09 \pm	339.37 \pm	468.90 \pm	450.33 \pm	432.60 \pm	452.73 \pm
	Crypt depth	9.13 ^a	5.82 ^d	13.64 ^a	12.16 ^b	8.62 ^c	8.27 ^b
	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C	0.70 \pm 0.04 ^c	1.08 \pm 0.04 ^a	0.77 \pm 0.02 ^{de}	0.85 \pm 0.05 ^{cd}	0.89 \pm 0.06 ^c	1.01 \pm 0.04 ^b
	绒毛高度/ Villus height	305.43 \pm 19.98 ^d	426.53 \pm 9.55 ^a	328.68 \pm 15.86 ^c	333.02 \pm 8.63 ^c	371.15 \pm 14.10 ^b	267.04 \pm 13.41 ^e
空肠 Jejunum	隐窝深度/ μm	342.21 \pm	322.23 \pm	224.57 \pm	313.74 \pm	305.79 \pm	270.23 \pm
	Crypt depth	3.58 ^a	13.00 ^b	8.50 ^c	7.23 ^{bc}	9.84 ^c	14.35 ^d
	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C	0.89 \pm 0.06 ^c	1.33 \pm 0.08 ^b	1.47 \pm 0.10 ^a	1.06 \pm 0.04 ^d	1.22 \pm 0.04 ^c	0.99 \pm 0.05 ^d
	绒毛高度/ Villus height	311.60 \pm 4.84 ^{cd}	332.09 \pm 9.96 ^b	328.68 \pm 10.65 ^{bc}	271.19 \pm 14.46 ^c	299.26 \pm 10.52 ^d	374.45 \pm 12.16 ^a
回肠 Ileum	隐窝深度/ μm	323.45 \pm	245.72 \pm	224.57 \pm	297.37 \pm	253.57 \pm	260.89 \pm
	Crypt depth	11.11 ^a	6.50 ^c	6.50 ^d	8.75 ^b	12.81 ^c	16.89 ^c
	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C	0.96 \pm 0.04 ^c	1.35 \pm 0.04 ^a	1.46 \pm 0.08 ^a	0.91 \pm 0.06 ^c	1.18 \pm 0.04 ^b	1.44 \pm 0.10 ^a

3.2 包被氧化锌对断奶仔猪体组织锌、消化道内容物及粪锌的影响

锌吸收入血后,随血液循环到达各组织器官,而肝、肾的代谢周转速率快,因此肝肾锌含量能很好的反映外源锌在动物体内的沉积情况^[14]。高锌虽有很好的防腹泻效果,但其在动物体内残留量严重超标^[15]。本试验 14 d 中高锌组中肝、肾锌浓度分别是低锌组组的 2.73 和 1.55 倍,而各试验组的锌水平均与低锌组无差异。这说明,可能在一定饲料锌浓度范围内,动物可通过自身调节作用,维持体内锌含量,当摄入的锌超过这个范围,机体锌沉积将显著增加^[16]。

另外,高锌带来的另一个问题是锌源的浪费和环境污染,由于氧化锌的生物利用率低,其在消化道中大部分都未被吸收,导致大量未被利用的锌随粪

便排出,对土壤环境造成严重污染^[17]。本试验中高锌组(HZ)的粪便锌浓度高达 9 518.24 mg·kg⁻¹,是低锌组(LZ)的 7.98 倍;各试验组粪锌浓度,分别比 HZ 组低了 82.12%、70.18%、79.11%、57.17%。由此可知,用较低浓度包被氧化锌替代高浓度普通氧化锌,是一种节约锌源、减少环境污染的有效手段。

3.3 包被氧化锌对断奶仔猪小肠形态的影响

仔猪早期断奶会造成绒毛萎缩、隐窝深度增加,导致营养物质消化吸收受阻,进而很容易引发腹泻^[18]。研究表明,饲料中添加高剂量氧化锌可保护肠道形态,促进肠绒毛生长,降低隐窝深度。绒毛高度是反映绒毛生长的重要指标,其值越高说明吸收能力越强。X. Li 等^[19]发现,3 000 mg·kg⁻¹氧化锌能显著增加小肠黏膜的绒毛高度及相关基因在

mRNA 和蛋白水平的表达量。本试验高锌组(HZ)的十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度,相比低锌组均显著增加,这与前人的研究结果一致。试验组中 CZ250、CZ380 和 CZ570 组的十二指肠绒毛高度与 HZ 组差异不显著,而 CZ760 显著高于 HZ 组,表明低浓度的包被氧化锌在促进肠绒毛生长方面,能达到高锌的效果。绒毛高度/隐窝深度(V/C)能综合反映肠道发育情况,比值升高表明肠道吸收能力增强^[20]。本试验中,CZ570 和 CZ760 组的十二指肠、空肠和回肠的 V/C 值相比于低锌组(LZ),均显著增加。总之,较低浓度包被氧化锌同高浓度氧化锌一样,可起到保护肠道形态的作用,可能原因是包被氧化锌由于其包衣材料的保护,到达肠道的有效成分远远大于普通氧化锌,因此添加量能显著降低。

4 结 论

4.1 包被氧化锌的防腹泻效果主要体现在断奶后的 14 d 内,且饲料中添加 $510 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 包被氧化锌,断奶仔猪的腹泻指数最低。

4.2 适宜用量包被氧化锌($250 \sim 570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)可显著降低粪便锌含量,且不影响肝、肾锌水平。

4.3 包被氧化锌可促进肠上皮细胞生长发育,显著增加十二指肠、空肠、回肠绒毛高度,降低隐窝深度,增加绒毛高度隐窝深度比值。

参 考 文 献:

[1] 王红宁. 仔猪腹泻成因及综合防治技术措施[J]. 中国畜牧杂志,2006, 42(6): 58.

[2] CARLSON M S, HOOVER S L, HILL G M. Effect of pharmacological zinc on intestinal metallothionein concentration and morphology in the nursery pig [J]. *J Anim Sci*, 1998,76:53.

[3] HILL G M, MAHAN D C, CARTER S D, et al. Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of an antibacterial agent on nursery pig performance[J]. *J Anim Sci*, 2001,79: 939-941.

[4] POULSEN H D. Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors [J]. *J Anim Feed Sci*, 1998,7:135-142.

[5] 王之盛. 纳米氧化锌的营养生理效应研究[D]. 雅安: 四川农业大学,2005.

[6] 刘连龙,李浙烽,陈 强,等. 包膜氧化锌体外稳定性试验及其对断奶仔猪生长性能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47(23): 54-57.

[7] CASTILLO M, MARTIN-ORUE S M, TAYLOR-

PICKARD J A, et al. Use of mannan- oligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs; Effects on microbiota and gut function[J]. *J Anim Sci*, 2008, 86: 94-101.

[8] 李岩松. 猪饲料中高剂量的铜锌对环境的影响及其控制[D]. 南京:南京农业大学,2005.

[9] 胡彩虹,钱忠仓,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.

[10] HOLM A. E. *coli* associated diarrhea in weaner pigs; Zinc oxide added to the feed as a preventative measure [J]. *Dansk Veterinaertidsskrift*, 1988, 72 (21):11-18.

[11] POULSEN H D. Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors [J]. *J Anim Feed Sci*, 1998,7:135-142.

[12] JENSEN-WAERN M. Dietary zinc oxide in weaned pigs--effects on performance, tissue concentrations, morphology, neutrophil functions and faecal microflora[J]. *Res Vet Sci*, 1998, 64:225-231.

[13] ROSELLI M, FINAMORE A, GARAGUSO I, et al. Zinc oxide protects cultured enterocytes from the damage induced by *Escherichia coli* [J]. *J Nutr*, 2003,133:4077-4082.

[14] 杨 凤. 动物营养学[M]. 北京:中国农业出版社, 1999:114-116.

[15] RINCKER M J, HILL G M, LINK J E, et al. Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs [J]. *J Anim Sci*, 2005, 83: 2762-2774.

[16] HILL G M, CROMWELL G L. Growth promotion effects and plasma change from feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weaning pigs [J]. *J Anim Sci*, 2000, 78:1010-1016.

[17] 辜玉红,童晓莉,钟正泽. 不同剂量锌水平对仔猪养分消化率、血液生理生化指标的影响及对环境的污染[J]. 饲料博览,2004,6:1-3.

[18] CERA K, MAHAN D, CROSS R, et al. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine[J]. *J Anim Sci*, 1988, 66:574-584.

[19] LI X, YIN J, LI D, et al. Dietary supplementation with zinc oxide increases IGF-I and IGF-I receptor gene expression in the small intestine of weaning piglets[J]. *J Nutr*, 2006,136:1786-1791.

[20] 李德发. 猪的营养[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003:7-8.