

# 氧化锌在动物生产中的作用和应用

齐慧<sup>1</sup>, 徐君<sup>1</sup>, 蔡景义<sup>2</sup>, 师筑俊<sup>2</sup>

(1. 成都农业科技职业学院, 四川 温江 611130; 2. 四川农业大学, 四川 温江 611130)

**摘要:** 高剂量氧化锌在幼龄动物生产中有着增加采食量、促进营养物质消化吸收、保护肠上皮屏障、影响肠道菌群等作用, 通过一系列生理作用可实现抑制幼龄动物腹泻, 提高增重效率。对于禽类来说, 氧化锌同样可以提高增重效率, 提高产蛋品质。高剂量氧化锌对动物的毒副作用和对环境的污染, 可通过多孔氧化锌、纳米氧化锌和包被氧化锌等不同形式来降低氧化锌的用量, 同时又能保证其生理作用。

**关键词:** 氧化锌; 腹泻; 高剂量; 多孔氧化锌; 纳米氧化锌; 包被氧化锌

**中图分类号:** S816 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)02-0078-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2021.02.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.02.020)

当今集约化养殖中, 为了提高母畜的繁殖效率, 通常采取早期断奶技术。早期断奶使生长发育不成熟, 特别是消化免疫功能不健全的动物产生接触心理、饲料及环境等多种应激, 引起采食量下降、消化不良、腹泻死亡率增加及生长性能降低等现象, 给养殖业带来巨大经济损失。锌是动物必需的微量元素之一, 具有广泛的生理生化功能。研究发现, 在断奶仔猪日粮中添加氧化锌 2 500 ~ 4 000 mg/kg 可显著降低断乳仔猪腹泻率, 并对仔猪生长有促进作用<sup>[1]</sup>。越来越多的研究都发现了高剂量氧化锌对缓解动物断奶应激的可靠效果。同时, 学者也对禽类生产性能与氧化锌的关系进行了研究, 我们就氧化锌对动物的生理作用和添加方式进行了探讨。

## 1 氧化锌对动物生长和健康的影响

### 1.1 增加动物采食量

早期断奶带来心理、饲料及环境等诸多应激时, 消化及免疫系统发育不完善的幼畜断奶后采食量下降, 并且引发一系列消化问

题, 由此造成的能量损失需要 8 ~ 14 d 才能恢复。Wang 等<sup>[2]</sup>研究证实, 日粮中添加 3 000 mg/kg 氧化锌可显著提高仔猪日采食量并提高日增重。Li 等<sup>[3]</sup>研究发现, 在仔猪日粮中添加 3 000 mg/kg 氧化锌可以增加断奶仔猪的平均日采食量, 并且提高了血清中的生长素 (GH) 的含量; 日粮中添加氧化锌可以通过提高血清中生长素含量来提高断奶仔猪采食量, 提高仔猪生长速度。可见日粮中添加高剂量氧化锌可显著缓解仔猪断奶应激, 提高早期断奶动物的采食量。

### 1.2 促进营养物质消化吸收

早期断奶的仔猪肠道内多种消化酶的活性降低, 同时小肠绒毛萎缩, 隐窝深度加深, 进而导致仔猪肠道内营养物质的吸收利用率降低, 产生腹泻。Hedemann 等<sup>[4]</sup>发现, 断奶仔猪日粮中添加 2 500 mg/kg 氧化锌可显著提高小肠中胰蛋白酶的活性。Li 等<sup>[5]</sup>指出, 高剂量的氧化锌不仅能提高仔猪血液中胰岛素样生长因子 IGF-1 和胰岛素样生长

收稿日期: 2020-12-07

基金项目: 四川农业科技职业学院院级项目(2018)“氧化锌在肉兔生产中的应用研究”(CNY17-06)。

作者简介: 齐慧(1984—), 女, 四川成都人, 讲师, 硕士, 主要从事农牧产品生产与加工研究工作。联系电话: (0)13882206992, Email: 502238171@qq.com

因子-1受体 IGF-IR 的含量和丰度,也能提高其在小肠黏膜和上皮细胞中的含量,IGF-1 有助于细胞的生长和成熟。Carlson 等<sup>[6]</sup>研究发现,饲喂 3 000 mg/kg 氧化锌可改善断奶仔猪肠道形态,使十二指肠和空肠隐窝深度变浅,绒毛增长。Li 等<sup>[3]</sup>也发现,添加 3 000 mg/kg 氧化锌可以提高小肠毛高度、降低隐窝深度,提高绒隐比。

### 1.3 保护肠上皮屏障

早期断奶仔猪由于肠道损伤,导致肠道屏障功能降低,容易造成病菌感染引发腹泻及系统性疾病。Zhang 等<sup>[7]</sup>研究发现,日粮中添加 2 000 mg/kg 氧化锌可显著提高仔猪日增重,降低腹泻率,同时显著降低了仔猪尿液中乳果糖与甘露醇的比值,说明氧化锌提高了仔猪的肠道屏障功能。另有研究发现,添加氧化锌可以提高肠道黏膜紧密连接蛋白 Occludin 和 ZO-1 的基因表达量,Occludin 和 ZO-1 是构成肠上皮细胞间紧密连接的跨膜蛋白与胞质蛋白,它们对肠上皮细胞的屏障功能具有重要作用。肠道通透性是肠上皮屏障的直接反应指标,日粮中添加高剂量氧化锌可通过增强肠粘膜上皮细胞紧密连接蛋白基因的表达,维持肠道正常的屏障功能,降低肠道通透性<sup>[8]</sup>。因此,保护肠上皮屏障可能是高剂量氧化锌的抗腹泻促生长作用机制之一。

### 1.4 影响动物肠道菌群

抗生素能够杀灭肠道内有害菌,降低仔猪腹泻率,进而促进仔猪生长。添加高剂量氧化锌也可以起到类似抗生素的抑菌效果。Jensen 等<sup>[9]</sup>体外研究发现,100 mg/kg 氧化锌可使仔猪小肠食糜中的大肠杆菌数量显著降低,在断奶仔猪日粮中添加 2 500 mg/kg 氧化锌能够降低仔猪的腹泻率。但是 Li 等<sup>[3]</sup>发现日粮中添加 3 000 mg/kg 氧化锌对断奶 2、4、7、9、11 d 后的仔猪肠道内容物中大肠杆菌、乳酸菌、梭状芽孢杆菌均无显著影

响。Roselli 等<sup>[10]</sup>通过体外细胞试验没有发现,氧化锌对大肠杆菌 K88 有杀灭作用,但可以降低大肠杆菌在 caco-2 细胞膜上的黏附率。Broom 等<sup>[11]</sup>通过研究认为,氧化锌不是通过降低肠道内容物中有害菌数量来改善动物肠道健康,而是通过抑制细菌移位降低动物感染致病菌的几率。推测氧化锌并不是通过抑制肠道内有害菌的数量从而降低动物腹泻率的,而是  $Zn^{2+}$  减少了有害菌在肠道的黏附。

魏婧雅等<sup>[12]</sup>指出,不同水平氧化锌对新生犊牛生长性能、腹泻率没有显著影响,犊牛血清免疫球蛋白含量和直肠中乳酸菌含量增加,直肠中大肠杆菌含量有所降低。

综上所述,氧化锌对于奶动物的作用机理包括血清中生长素(GH)的含量,改善消化酶活性、增加小肠黏膜绒毛高度,增强肠道消化吸收功能,保护肠上皮屏障,降低有害菌群在细胞膜上的黏附率,从而达到增加采食量,抑制腹泻,提高增重效率等显著效果。其添加计量都比较高,一般为 2 500 ~ 3 000 mg/kg。

## 2 高剂量氧化锌添加存在的问题及解决方法

高浓度的氧化锌对于控制仔猪断奶腹泻具有非常好的效果,但高剂量氧化锌容易造成多方面的危害。大量研究显示,高剂量氧化锌会影响动物营养吸收功能和机体免疫力下降,过量的氧化锌通过粪便排泄到环境中,从而造成锌源的浪费和环境污染。我国农业部修订的《饲料添加剂安全使用规范》(中华人民共和国农业部公告第 2625 号)规定仔猪( $\leq 5$  kg)配合饲料中锌元素的最高限量为 110 mg/kg,但在仔猪断奶后前两周特定阶段允许在此基础上使用氧化锌或碱式氯化锌至 1 600 mg/kg(以锌元素计)。

为解决保证氧化锌对畜禽的作用,又确保低毒副作用以及减轻对环境的污染,学者研究了氧化锌的不同形式和添加方式。

### 2.1 多孔氧化锌替代传统氧化锌

张津校等<sup>[13]</sup>研究指出,用多孔氧化锌部分替代常规氧化锌对断奶仔猪生长和腹泻的效用与添加 3 000 mg/kg 氧化锌相当,而锌的添加量却大大减少。李小强等<sup>[14]</sup>指出,日粮添加多孔氧化锌可以提高断奶仔猪肠道有益微生物数量和改善肠道形态,对黏膜屏障的完整性起到防护作用,多孔氧化锌具有替代药物剂量普通氧化锌的潜力。彭鹏等<sup>[15]</sup>研究认为,在断奶仔猪饲料中添加多孔氧化锌能够提高盲肠内容物中短链脂肪酸含量,有利于提高肠道菌群多样性并改善肠道微生态环境。

### 2.2 纳米氧化锌替代传统氧化锌

纳米技术是指在 1 ~ 100 nm 范围内研究原子、分子的结构及相互作用的技术,氧化锌通过纳米技术改良后将表现出新的物理、化学和生物学特性<sup>[16]</sup>。纳米氧化锌在猪等单胃动物体内的效果明显优于普通氧化锌。王彬等<sup>[17]</sup>发现,纳米氧化锌比传统氧化锌对仔猪断奶应激更有效,纳米氧化锌更容易吸收并且吸收快,而且能够提高断奶仔猪日增重、降低腹泻率,且添加量明显降低。仲召鑫等<sup>[18]</sup>指出,在断奶仔猪饲料中添加凹凸土纳米氧化锌一定程度上有利于仔猪肝脏免疫功能和脂代谢,且以 700 mg/kg 的添加量效果最佳。添加纳米氧化锌能够增加仔猪血清高密度脂蛋白(HDL)含量,并促进脂代谢。喻兵权等<sup>[19]</sup>等研究发现,纳米氧化锌对金黄色葡萄球菌的抑制作用高于对大肠杆菌的抑菌作用,且纳米氧化锌的抑菌性能强于普通氧化锌。

在禽类养殖中,纳米氧化锌相比普通氧化锌也已有较深入的研究。纳米氧化锌可影响肉仔鸡血清谷草转氨酶活性和胆固醇含量<sup>[20]</sup>。田丽娜等<sup>[21]</sup>发现,纳米氧化锌在 40 mg/kg 的添加水平下对提高肉鸡生长性能和屠宰性能效果最佳。纳米氧化锌在 40 ~ 80

mg/kg 添加水平时能较显著的增强肉鸡的免疫能力,提高组织中锌含量<sup>[22]</sup>。陈伟等<sup>[23]</sup>研究认为,饲料中添加纳米氧化锌能提高产蛋鸡锌的沉积、蛋壳厚度、血浆碳酸酐酶活性以及血浆生长激素浓度。相比常规氧化锌,纳米氧化锌能增强锌在蛋鸡小肠中的吸收。

对纳米氧化锌和常规氧化锌比较,由于纳米氧化锌粒度更小,更容易被动物吸收利用,从而降低腹泻,提高增重和产蛋效率,对免疫力和脂代谢都有明显提升,同时其抑菌作用也明显提高,对环境污染也大大减少。

### 2.3 包被氧化锌替代传统氧化锌

包被技术是一种成膜材料把固体或液体包覆起来,使其有效活性成分受到保护并且提升使用效果的新型技术。由于氧化锌发挥抗腹泻作用主要位点是在肠道,因此可以通过包被技术让氧化锌到达动物肠道后才开始发挥作用。申俊华等<sup>[24]</sup>指出,适宜用量包被氧化锌(250 ~ 570 mg/kg)可显著降低粪便锌含量,且不影响肝、肾锌水平。包被氧化锌与高剂量氧化锌一样,可促进肠上皮细胞生长发育,显著增加十二指肠、空肠、回肠肠绒毛高度,降低隐窝深度,增加绒毛高度隐窝深度比值。

陈炳钿等<sup>[25]</sup>研究指出,海藻胶复配其他植物胶作为凝胶物,氧化锌作为填充物制备的肠溶氧化锌,在仔猪日粮中只需添加 500 mg/kg 便可显著提高断奶仔猪生长性能,降低腹泻率,可替代 1 600 mg/kg 氧化锌使用。赵必迁等<sup>[26]</sup>指出,添加 500 mg/kg 的肠溶型氧化锌,采用低温制粒和高剂量的普通氧化锌都能显著提高断奶仔猪的日增重、降低料重比,极显著降低腹泻率、腹泻频率和腹泻指数,且低剂量肠溶型氧化锌比普通氧化锌改善断奶仔猪生产性能的效果好,用量少。

梁恒之等<sup>[27]</sup>指出,低剂量添加的脂肪

包被氧化锌(包被氧化锌含量为 1 000 mg/kg, 锌添加量为 580 mg/kg)可以提高 35 ~ 49 日龄仔猪的生长性能和营养物质消化率。朱宇旌等<sup>[28]</sup>研究指出, 添加 2 400 mg/kg C-ZnO (包被氧化锌)可显著提高断奶仔猪的生长性能, 改善营养物质消化状况, 有效控制仔猪腹泻; 1 800 mg/kg C-ZnO 可替代 2 400 mg/kg ZnO。李方方等<sup>[29]</sup>指出, 饲料中添加复合抗菌肽(C-AMPs)与包被氧化锌(C-ZnO)可调节断奶仔猪相关免疫因子, 调节肠道菌群平衡。张晓明等<sup>[30]</sup>指出, 饲料添加 380 ~ 760 mg/kg 的包被氧化锌, 既能像高浓度氧化锌一样可显著提高仔猪肌肉脂肪含量以及 FAS、ACC、H-FABP、A-FABP 基因的表达水平, 又能节约锌源、减少环境污染。

### 3 结语

综上所述, 氧化锌不仅可以改善仔猪腹泻问题, 也可以促进增重, 改善肠道菌群, 保护肠上皮屏障。通过对氧化锌添加方式的改良, 可以在保证生产水平的前提下降低其添加量, 减少对环境污染和对动物的毒副作用。但是, 当前对氧化锌的生理作用和应用研究主要集中在断奶仔猪, 关于高剂量氧化锌在其他动物中的应用研究较少。例如, 家兔作为草食性单胃动物, 其消化特点与一般家畜有很大的差别。对于仔兔的研究目前仅见刘海江<sup>[31]</sup>报道。氧化锌在家兔等草食动物, 禽类和水产动物上的使用效果及添加剂量的试验数据依然比较少。

### 参考文献:

- [1] SCHELL T C, KORNEGAY E T, VEUM, T L, et al. Examines concentration of zinc in tissues and performance of pigs fed high levels of Zn from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine, or ZnSO<sub>4</sub>[J]. *Journal of Animal Sciences*, 1996, 74: 1584-1593.
- [2] WANG Y, TANG J W, HUNTINGTON C E, et al. Dietary zinc glycine chelate on growth performance, tissue mineral concentrations, and serum enzyme activity in weanling piglets [J]. *Biological Trace Element Research*, 2009, 133: 325-334.
- [3] B T LI, A G VAN KESSEL, W R CAINE, et al. Small intestinal morphology and bacterial populations in ileal digesta and feces of newly weaned pigs receiving a high dietary level of zinc oxide[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2001, 81: 511-516.
- [4] HEDEMANN M S, HOJSGAARD S, JENSEN B B, et al. Small intestinal morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*[J]. *The Journal of Nutrition*, 2003, 87(1): 32-41.
- [5] XILONG L I, JINGDONG YIN, DEFA LI, et al. Dietary supplementation with zinc oxide increases IGF-1 and IGF-1 receptor gene expression in the small Intestine of weanling piglets [J]. *Journal of Nutrition*, 2006, 136: 1786-1791.
- [6] CARLSON, M S, HILL G M, et al. Early and traditionally weaned nursery pigs benefit phase-feeding pharmacological concentrations of zinc oxide: Effect on metallothionein and mineral concentrations[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77: 1199-1207.
- [7] ZHANG B, GUO Y, TANG D L, et al. Supplemental zinc reduced intestinal permeability by enhancing occludin and zonula occludens protein (ZO-1) expression in weaning piglets[J]. *The Journal of Nutrition*, 2009, 102: 687-693.
- [8] FINAMORE A, MASSIMI M, DEVIRGILIIS L C, et al. Zinc deficiency induces membrane barrier damage and increases neutrophil transmigration in Caco-2 cells[J]. *The Journal of Nutrition*, 2008, 138: 1664-1670.
- [9] JENSEN-WAERN M, MELIN L, LINDBERG R, et al. Dietary zinc oxide in weaned pigs effects on performance, tissue concentrations, morphology, neutrophil functions and faecal mi-

- croflora[J]. *Journal of Natural Products*, 1998 (3): 244-246.
- [10] ROSELLI MARIANNA, FINAMORE ALBERTO, GARAGUSO IVANA, et al. Zinc oxide protects cultured Enterocytes from the damage induced by *Escherichia coli*[J]. *The Journal of Nutrition*, 2003, 133: 4077-4082.
- [11] BROOM L J, MILLER H M, KERR K G, et al. Effects of zinc oxide and *Enterococcus faecium* SF68 dietary supplementation on the performance, intestinal microbiota and immune status of weaned piglets[J]. *Research in Veterinary Science*, 2006, 80(1): 45-64.
- [12] 魏婧雅, 马峰涛, 单强, 等. 氧化锌对新生犊牛生长性能、免疫功能及直肠微生物菌群的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2693-2700.
- [13] 张津校, 穆会杰, Stephane Durosoy, 等. 多孔氧化锌部分替代常规氧化锌对断奶仔猪生长和腹泻的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(9): 166-170.
- [14] 李小强, 马红艳, 李辉, 等. 多孔氧化锌对断奶仔猪生长性能、绒毛形态及肠道微生物菌群的影响[J]. *中国饲料*, 2020(8): 76-79.
- [15] 彭鹏, 陈思佳, 蒋再慧, 等. 多孔氧化锌对断奶仔猪粪便中微量元素含量、盲肠内容物与粪便中短链脂肪酸含量及肠道菌群多样性的影响[J]. *动物营养学报*, 2018(12): 5221-5229.
- [16] 罗士津, 瞿明仁, 张铁鹰. 纳米氧化锌在断奶仔猪中的研究及应用进展[J]. *饲料与畜牧*, 2007(12): 18-21.
- [17] 王彬, 刘路杰, 祝佳, 等. 纳米氧化锌对断奶仔猪生长性能、血清免疫和生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(11): 3626-3633.
- [18] 仲召鑫, 董丽, 毛俊舟, 等. 凹土纳米氧化锌对断奶仔猪肝脏免疫功能和脂代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2605-2613.
- [19] 喻兵权, 张宏福, 陆伟纳, 等. 纳米氧化锌与普通氧化锌抑菌性能差异研究[J]. *饲料工业*, 2007, 28(24): 34-37.
- [20] 徐奇友, 刘立波, 侯奉雨, 等. 纳米氧化锌对肉仔鸡血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2007, 19(1): 76-80.
- [21] 田丽娜, 姜建阳, 朱风华, 等. 纳米氧化锌对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(2): 1-5.
- [22] 田丽娜, 姜建阳, 朱风华, 等. 纳米氧化锌对肉鸡免疫性能及组织锌含量的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 27(4): 315-318; 333.
- [23] 陈伟, 郑春田. 饲料中添加纳米氧化锌对产蛋鸡锌沉积、蛋壳质量、免疫反应及血液指标的影响[J]. *广东饲料*, 2016(4): 51.
- [24] 申俊华, 周安国, 王之盛, 等. 包被氧化锌对断奶仔猪腹泻指数及肠道发育的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2013, 44(6): 894-900.
- [25] 陈炳钿, 陈卓, 刘景, 等. 肠溶氧化锌微球在断奶仔猪养殖中的应用研究[J]. *研究家畜生态学报*, 2020, 41(9): 69-72.
- [26] 赵必迁, 周安国. 肠溶型氧化锌对断奶仔猪生产性能的影响[J]. *养猪*, 2012(3): 23-24.
- [27] 梁恒之, 胡涛, 黄雪新, 等. 包被氧化锌替代高剂量氧化锌对35~49日龄仔猪生长性能、腹泻率、营养物质消化利用的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49(3): 34-38.
- [28] 朱宇旌, 苏欣, 李方方, 等. 包被氧化锌对断奶仔猪生长性能、血清生化指标及营养物质表观消化率的影响[J]. *动物营养学报*, 2015(6): 1779-1786.
- [29] 李方方, 苏航, 张勇, 等. 饲料添加复合抗菌肽与包被氧化锌对断奶仔猪生长性能及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2015(9): 2811-2819.
- [30] 张晓明, 王之盛, 周安国, 等. 包被氧化锌对仔猪肌内脂肪合成相关基因表达的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2014(5): 41-46.
- [31] 刘海江. 家兔日粮添加氧化锌试验[J]. *饲料研究*, 1998(2): 33.

(本文责编: 陈伟)