

# 高剂量氧化锌的替代策略：凹凸棒石与益生菌在仔猪断奶期的应用

牛子青 李燕 付秀玲

天康生物股份有限公司

DOI:10.12238/as.v8i9.3311

**[摘要]** 仔猪断奶后两周内常因生理、环境及日粮变化引发断奶应激综合征,表现为采食量下降、生长阻滞和腹泻率高发。长期以来,高剂量(通常为2500–3000mg/kg)的氧化锌被广泛应用于防治仔猪腹泻、促进生长。然而,高剂量锌的长期使用导致环境污染、细菌耐药性及动物体内微量元素代谢紊乱等问题,使其在全球范围内面临禁用或限用。因此,开发高效、安全、环保的替代方案成为当前畜牧业研究的迫切需求。本文综述了矿物吸附剂凹凸棒石与复合益生菌联合使用,作为一种潜在的协同替代策略,在缓解断奶应激、维持肠道健康、促进生长性能方面的作用机理与应用前景,以期为绿色健康养殖提供理论依据。

**[关键词]** 断奶仔猪; 氧化锌替代; 凹凸棒石; 复合益生菌; 协同效应; 肠道健康

中图分类号: R378.2 文献标识码: A

## Alternative Strategies to High-Dose Zinc Oxide: Application of Attapulgite and Compound Probiotics in Weaned Piglets

Ziqing Niu Yan Li Xiuling Fu

Tiankang Biotechnology Co., LTD.

**[Abstract]** During the two weeks after weaning, piglets often suffer from weaning stress syndrome due to physiological, environmental, and dietary changes, manifested as reduced feed intake, growth retardation, and high incidence of diarrhea. For a long time, high doses (typically 2500–3000 mg/kg) of zinc oxide have been widely used to prevent diarrhea and promote growth in weaned piglets. However, the long-term use of high-dose zinc has led to environmental pollution, bacterial resistance, and disruption of trace element metabolism in animals, resulting in its impending ban or restriction worldwide. Therefore, developing efficient, safe, and environmentally friendly alternatives has become an urgent need in animal husbandry research. This review discusses the combined use of the mineral adsorbent attapulgite and compound probiotics as a potential synergistic alternative strategy, focusing on its mechanism and application prospects in alleviating weaning stress, maintaining intestinal health, and improving growth performance, aiming to provide a theoretical basis for green and healthy farming.

**[Key words]** Weaned piglets; Zinc oxide alternative; Attapulgite; Compound probiotics; Synergistic effect; Intestinal health

## 引言

仔猪断奶是生猪生产中的关键环节,同时也是巨大的挑战。此时,仔猪消化系统、免疫系统尚未发育完全,突然从易消化的液体母乳转变为复杂的固体饲料,极易引发严重的肠道功能紊乱,主要表现为肠道形态结构改变、消化酶活性降低、肠道菌群失衡及炎症反应加剧,最终导致采食量下降、生长性能受阻和渗

出性腹泻(俗称“断奶腹泻”),给养猪业造成巨大的经济损失。

为解决这一问题,自上世纪九十年代起,在断奶后两周内的日粮中添加高剂量氧化锌(ZnO)成为行业内的普遍做法。其作用机制主要归因于锌离子的收敛作用(减少肠道分泌)、一定的抗菌活性以及潜在的免疫调节和促进屏障功能修复的作用。然而,高剂量锌的弊端日益凸显:绝大部分锌(约85%以上)随粪便排出

体外,造成土壤和水体的重金属污染,破坏生态平衡;长期暴露于氧化锌的亚抑制浓度环境下,会对肠道及环境微生物施加强大的选择性压力,促进诸如大肠杆菌等病原菌的耐药性基因的传播与流行;过量锌还会干扰铜、铁等其他微量元素的吸收代谢,影响动物长期健康。基于这些严峻挑战,欧盟已于2022年全面禁止在饲料中添加治疗剂量氧化锌,中国也正积极寻求和推广替代方案。

在此背景下,单一添加剂往往难以完全复制氧化锌的多重功效。因此,组合多种具有不同作用模式的添加剂,通过协同效应来综合解决断奶问题,已成为最具前景的研究方向。其中,凹凸棒石的强大吸附与屏障保护功能,与复合益生菌的微生态调节与免疫刺激功能相结合,显示出巨大的应用潜力。本文旨在深入探讨二者协同替代高锌的生物学基础与可行性。

## 1 凹凸棒石在断奶仔猪生产中的应用与作用机制

凹凸棒石因其巨大的比表面积、独特的孔道结构和优异的阳离子交换能力,在畜牧生产中主要作为饲料添加剂,用于吸附毒素、改善腹泻、提高养分利用率。

### 1.1 吸附病原、毒素及过量水分

断奶仔猪肠道内病原菌(如ETEC)及其产生的毒素(如内毒素、肠毒素)是诱发腹泻和炎症的关键因素。凹凸棒石的纳米级孔隙结构能够像“分子筛”一样,通过物理吸附作用有效结合并固定这些大分子有害物质,阻止其与肠粘膜上皮细胞接触,从而减轻其对肠道的侵害。研究表明,饲粮中添加凹凸棒石可显著降低ETEC攻毒仔猪的腹泻率和肠道中病原菌的数量。同时,其强大的吸水性(可达自身体积的2~3倍)能够吸附消化道中过多的水分,使粪便成形,直接改善腹泻症状。

### 1.2 保护和修复肠道机械屏障

肠道机械屏障是抵御外来有害物质的第一道防线。研究发现,凹凸棒石能够显著提高断奶仔猪空肠和回肠的绒毛高度,降低隐窝深度,增加绒毛高度/隐窝深度(V/C)值,这表明其能促进肠道上皮细胞的增殖与分化,增强营养物质的消化吸收面积。此外,凹凸棒石可能通过吸附作用减少对紧密连接蛋白(如Occludin、ZO-1)的损害,从而维持肠道上皮细胞间紧密连接的完整性,降低肠道通透性,防止细菌和内毒素移位。

### 1.3 调节肠道微生物区系

凹凸棒石对微生物的调节作用可能是有选择性的。它虽能吸附病原菌,但对有益菌的吸附影响较小。相关研究发现,饲喂凹凸棒石的仔猪,其盲肠和结肠内容物中乳酸菌等有益菌的数量有所增加,而大肠杆菌的数量减少。这种调节作用可能源于其改善了肠道环境(减少了毒素和病原菌),间接为有益菌的定植和增殖创造了有利条件。

## 2 复合益生菌在断奶仔猪生产中的应用与作用机制

复合益生菌通过提供多种有益活菌,从微生态平衡和宿主免疫调控的角度发挥作用,其效果通常优于单一菌株。

### 2.1 竞争性排斥病原菌

益生菌通过竞争性占位和竞争性消耗营养物质,有效地抑

制了病原菌的定植与繁殖。例如,乳酸菌通过产生乳酸、乙酸等短链脂肪酸降低肠道pH,创造不利于病原菌生长的酸性环境。枯草芽孢杆菌等需氧菌在生长过程中消耗肠道内的氧气,营造有利于专性厌氧有益菌(如双歧杆菌)生长的厌氧环境,从而进一步优化菌群结构。

### 2.2 增强肠道免疫与抗炎功能

益生菌及其代谢产物可作为免疫调节剂,刺激肠道粘膜免疫系统发育。它们能够促进肠上皮细胞分泌粘液素(MUC2),加固粘膜屏障;还能刺激巨噬细胞活性和自然杀伤(NK)细胞活性,调节细胞因子(如增加抗炎因子IL-10,减少促炎因子TNF- $\alpha$ 、IL-6)的分泌,从而缓解断奶后的过度炎症反应,维持免疫稳态。研究表明,复合益生菌能显著提高断奶仔猪血清中IgG、IgA水平及肝脏中抗氧化酶活性,增强机体整体免疫力和抗氧化能力。

### 2.3 改善营养物质消化代谢

许多益生菌本身就是“微型发酵厂”,能够分泌多种消化酶(如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、非淀粉多糖酶),辅助降解饲料中难以消化的成分,提高饲料转化率。此外,益生菌代谢产生的有机酸(如乳酸、丁酸)是肠上皮细胞偏好的能量来源,有助于屏障功能的维持和修复。

## 3 凹凸棒石与复合益生菌的协同效应

单独使用凹凸棒石或益生菌均显示出一定的替代潜力,但二者联用可能产生“1+1>2”的协同增效作用,这正是替代高锌方案的核心优势所在。

### 3.1 物理保护与微生态定植的协同

这是最直接的协同机制。断奶仔猪肠道内积聚的大量病原菌、毒素及其引发的炎症反应,构成了一个不利于外源益生菌定植的“恶劣环境”。益生菌口服后,在到达肠道定植前,需先经受胃酸、胆盐的考验,并可能被病原菌或其毒素抑制。凹凸棒石的首要作用即是作为“清道夫”和“盾牌”:它优先吸附和清除这些有害因子,为后续益生菌的存活、定植和增殖“扫清障碍”,创造一个相对“洁净”和安全的肠道微环境。研究证实,粘土与益生菌联用比单独使用更能有效改善仔猪肠道形态和菌群结构。

### 3.2 双向调节菌群结构的协同

凹凸棒石和益生菌从不同角度共同促进肠道微生态平衡。凹凸棒石主要通过“减法”:选择性吸附和减少病原菌数量。益生菌则主要通过“加法”:直接补充有益菌群,并通过其代谢产物抑制病原菌。二者结合,实现了对肠道菌群更为精准和高效的双向调控。功能性矿物质与益生菌协同,可更显著地增加肠道内乳酸菌、双歧杆菌等有益菌的丰度,降低大肠杆菌等潜在致病菌的丰度。

### 3.3 强化肠道屏障功能的协同

肠道屏障包括机械屏障、化学屏障、微生物屏障和免疫屏障。凹凸棒石主要强化机械屏障(改善绒毛形态、保护紧密连接)和化学屏障(吸附毒素)。益生菌则主要强化微生物屏障(竞争排斥)和免疫屏障(调节免疫反应)。二者协同,构成了对肠道四大

屏障的全面加固。凹凸棒石能上调肠道紧密连接蛋白的表达,而益生菌能促进粘液分泌和抗炎因子产生,联合使用可更有效地降低肠道通透性,防止“肠漏”,从根本上减少腹泻的发生。

### 3.4 可能存在的其他相互作用

有研究推测,益生菌代谢产生的有机酸可能轻微改变肠道pH值,从而影响凹凸棒石表面的电荷特性,增强其吸附能力。反之,凹凸棒石吸附的某些矿物质元素(如镁、锌)可能在局部微环境中缓慢释放,为益生菌的生长代谢提供必需的微量元素。这些潜在的互作机制仍需进一步深入研究证实。

## 4 应用前景、挑战与未来研究方向

凹凸棒石与复合益生菌的组合方案符合“替抗”、“减锌”背景下绿色、健康、可持续发展的养殖理念,应用前景广阔。然而,将其从理论推向大规模实践仍面临若干挑战:

**最佳配伍与剂量:**不同来源、纯度的凹凸棒石其吸附性能存在差异;不同菌种组合、活菌数量的益生菌效果也不同。二者之间是否存在最优的添加比例和配伍方案?这需要通过大量的体外和体内试验进行筛选和优化。

**作用效果的稳定性:**养殖环境、日粮组成、动物遗传背景等因素复杂多变,如何确保该组合方案在不同生产条件下都能表现出稳定且显著的效果,是实际推广的关键。

**成本效益分析:**高品质的益生菌和生产工艺良好的凹凸棒石成本较高,需与其带来的生产性能提升、兽药成本降低、环境效益等进行综合的经济学评估。

**长期效应与安全性:**长期使用该组合对仔猪后期生长、养分代谢及整体健康的影响如何?凹凸棒石会否吸附饲料中的维生素、抗生素或其他微量营养成分?这些长期安全性问题需要持续跟踪评估。

未来的研究应侧重于:利用宏基因组学、代谢组学等技术深入揭示其协同作用的具体分子机制;开展大规模、多中心的田间试验,验证其在实际生产条件下的效果;研发将益生菌负载于凹凸棒石载体上的功能性复合制剂,以提高益生菌的稳定性和靶向递送效率。

## 5 总结

综上所述,完全依赖单一添加剂来替代高剂量氧化锌面临巨大困难。凹凸棒石与复合益生菌的联合应用,通过物理吸附清除有害物质与生物调节改善肠道健康的有机结合,实现了功能

上的优势互补与协同增效。它们共同作用于病原控制、菌群平衡、屏障修复和免疫调节多个靶点,构建了一个多维度的肠道健康防御体系,从而能够有效缓解断奶应激,控制腹泻,促进生长。这种组合策略不仅为替代高锌提供了极具潜力的解决方案,也代表了未来动物营养调控由“治”转向“防”、由单一走向整合的发展方向。尽管仍需解决标准化和稳定性等问题,但其在推动畜牧业减抗、减锌,实现绿色转型方面的巨大潜力不容忽视。

### 参考文献

[1]Pluske J R,et al.Biological basis for the variability in post-weaning growth in pigs[J].Australian Journal of Agricultural Research,1997.

[2]EU Regulation 2022/1375 banning pharmacological ZnO in feed[J].Official Journal of the European Union,2022.

[3]Zha A,Tan B,Wang J,et al.Dietary supplementation modified attapulgite promote intestinal epithelial barrier and regulate intestinal microbiota composition to prevent diarrhea in weaned piglets[J].International Immunopharmacology,2023(117).

[4]Yang J,Xiong D,Long M. Zinc Oxide Nanoparticles as Next-Generation Feed Additives: Bridging Antimicrobial Efficacy, Growth Promotion, and Sustainable Strategies in Animal Nutrition[J].Nanomaterials,2025(15).

[5]Sarkar,G.;Mondal,S.;Bhattacharya,D.;Ponraj,P.;Sawhney,S.;Balaji,P.;Chakraborty, D.; Sunder,J.;De,A.K. Effect of a Multi-Strain Probiotic on Growth Performance, Lipid Panel, Antioxidant Profile, and Immune Response in Andaman Local Piglets at Weaning[J].Fermentation 2023,9,970.

[6]Wang C,Zhang L,Ying Z,He J,Zhou L,Zhang L,Zhong X, Wang T.Effects of Dietary Zinc Oxide Nanoparticles on Growth, Diarrhea, Mineral Deposition, Intestinal Morphology, and Barrier of Weaned Piglets[J].Biol Trace Elem Res.2018 Oct;185(2).

### 作者简介:

牛子青(1979--),男,汉族,河南济源人,硕士,毕业院校:河南农业大学,毕业专业:动物营养与饲料加工,工作单位:天康生物股份有限公司,研究方向:猪饲料营养。