

有机锌因其形态更接近于锌在畜禽体内的存在和功能形态，其生物学利用率高于无机锌。近年来许多动物营养学家和饲料科技工作者一直都在探求效率高、安全副作用小、营养价值好、利于环保的有机锌制剂，其中乳酸锌已成为饲料中有效、经济的锌源，尤其用于生产有机畜产品具有广阔的应用前景。

■文 / 四川省饲料科技研发中心
四川省畜科院动物营养研究所
邝声耀 唐凌 张纯 曾礼华

有机锌在动物营养中的研究与应用

1. 生物特性

1.1 化学结构稳定

无机态的锌仅仅是阴阳离子间形成离子键结构，而螯合物的锌离子不但和氨基酸形成配位键，而且与其羧基构成离子键形成五元或六元环，由于这种离子键和配位键共存的独特结构，分子内电荷趋于中性，因此氨基酸螯合锌不易与其他物质结合成不溶性化合物或被吸附在不溶性胶体上，具有良好的化学稳定性。

1.2 生物学效价高

氨基酸螯合锌既是机体吸收金属离子的主要形式，又是动物体内合成蛋白质的中间物质，因此不仅吸收快、而且可以减少许多生化过程，节约体内能量消耗，具有较高的生物学效价。

1.3 增强免疫力，提高抗病及抗应激能力

氨基酸螯合锌具有增强抗菌能力，提高免疫应答反应、促进动物细胞和体液免疫力的功效，对某些肠炎、皮炎、痢疾和贫血也有治疗作用，氨基酸螯合锌还具有良好的抗应激功能，在接种、去势、气温过高和变更日粮等应激条件下，有良好的作用效果。

1.4 适口性好，不良作用少

一般无机锌因具有特殊的味道而影响动物的适口性，同时又因其性质不稳定、易与其他营养物质产生颞颥作用，并在消化吸收过程中还会影响胃肠道的酸碱平衡，对机体产生不良影响，氨基酸螯合物锌作为体内生化过程的中间产物，很少对机体产生上述的不良作用。适口性好，有利于动物采食和胃肠的吸收，同时可以增强体内酶的活性，提高蛋白质、脂肪和维生素的利用率，从而促进动物生长性能的发挥，比较而言，复合氨基酸螯合锌（特别是用角质蛋白及其他

下脚料蛋白为原料合成的复合氨基酸螯合锌）的适口性不如单一氨基酸螯合锌。

2. 效价作用

2.1 锌在动物机体各组织器官中的作用

锌是影响维生素 A 代谢的重要金属离子，维持组织的正常形态及视觉功能。锌缺乏时导致维生素 A 的合成障碍，引起动物的暗适应能力降低、夜盲症和视力障碍；锌还可抑制脂质过氧化和组织胺的释放，具有稳定细胞膜和溶酶体膜的作用。低锌时各种生物酶的稳定性改变，从而使膜的通透性增加、心肌损伤加重；此外，锌对动物骨骼也有很大的影响，幼年动物缺锌时，常发生骨骼异常，成年动物则常见肢蹄炎病变。

2.2 锌对动物免疫的影响

适量的锌可提高血粒细胞和腹腔吞噬细胞的杀菌作用，淋巴细胞特别是 T 淋巴细胞对缺锌特别敏感，而高锌则使胸腺激素活性受到抑制，从而抑制了 T 淋巴细胞的增殖和分化的功能，使 T 淋巴细胞的分化出现了障碍，缺锌的动物免疫脏器多明显萎缩，在缺锌的条件下，动物胸腺素活性下降，同时伴随着 T 细胞亚群、淋巴因子活性的变化，高锌则使动物出现生理紊乱，如胸腺重量减轻、胸腺肽含量及活性降低，T 细胞分化障碍等。

2.3 锌对动物生长性能的影响

加适量的锌可提高动物的生长性能，如显著提高猪的日增重、降低料重比和腹泻率；提高蛋鸡的产蛋量和蛋壳厚度；提高奶牛的产奶量而不影响其乳脂率等。

2.4 锌对动物应激的影响

锌缺乏症常出现在应激、创伤和感染的动物群

中, 应激对锌代谢的影响很明确, 如血清锌浓度下降, 与蛋白质结合的锌量改变, 尿锌排除增多等。因此, 机体中的锌含量是动物能否抵抗应激的重要因素。

3. 吸收机理

3.1 有关络合锌或螯合锌对动物产生效应的作用机制尚处于探讨阶段, 已有的假说认为, 蛋氨酸锌可能在消化道内的存在状态或吸收方式上及组织代谢方面不同于无机锌, 从而发挥其特有的生物学作用。蛋氨酸锌在瘤胃和真胃环境中稳定, 这样可防止锌和日粮中妨碍吸收的其余成分形成络合物, 达到小肠后更易吸收。有关证实络合锌或螯合锌比无机锌更易于吸收的资料并不多。Neathery 等 (1972) 发现, 牛吸收锌后有机锌和无机锌的代谢不同。在他的研究中, 饲喂牛以锌不足的日粮 (日粮中的锌是氯化锌中的 Zn^{65}) 或是在生长阶段饲喂结合标记锌的玉米秸, 两种标记锌的吸收相似, 但是玉米秸锌组饲喂后 7 d, 肝、心、肺和小肠中 Zn^{65} 的沉积比氯化锌中要高。

3.2 许多研究者用离体肠段灌注法, 饲养屠宰试验法。研究表明, 饲料中添加氨基酸和小肽等可促进肠黏膜对锌的吸收, 一般认为氨基酸或小肽在可与锌小肠内形成可溶的锌-氨基酸或小肽络合物, 以氨基酸和小肽的吸收模式转运, 提高锌的利用率。有研究表明, 四种氨基酸 (色氨酸、组氨酸、脯氨酸、半胱氨酸) 在空肠与回肠 (锌吸收的主要部位), 可有效促进锌的吸收, 脯氨酸与组氨酸不能通过结肠黏膜, 但可与微量元素结合, 以一种更易于吸收的形式到达吸收位点, 然后与锌发生解离, 锌通过内化作用被吸收, 氨基酸仍留在肠腔内, 而且该过程主要通过扩散作用完成, 且无需钠离子的协同运输作为条件, 当饲料蛋白质水平增加或添加多量的氨基酸时, 肠道内与锌结合的分子有机配位体 (氨基酸、二肽、多肽等) 浓度增大, 增加了锌与之结合形成可吸收状态螯合物的机会, 从而有利于肠黏膜细胞对锌的吸收。蛋氨酸锌本身符合肠黏膜的吸收机制, 节约代谢过程中的耗能, 因此可比无机锌源更快的转运。

Found (1974) 综述指出, 具有五元环或六元环螯合物的中心金属元素可以通过小肠绒毛的刷状缘, 而且所有螯合物都可能以氨基酸形式被机体直接吸收, 有研究证实, 氨基酸锌可以以完整螯合物形式被盲肠

细胞吸收并参加代谢, 但利用同位素双标记研究证实, $Zn-Met$ 并不能被完整吸收, 因为 ^{14}C 与 ^{66}Zn 的摄入比例与螯合物中的比例不一致; $Zn-Met$ 首先解离而后转运至体内参加代谢。

$Zn-Met$ 可减少锌与其他微量元素的颉颃 Rojas 研究证实, 日粮中添加高水平 $Zn-Met$ 对血清铜及组织 (肝、肾) 铜浓度没有影响, 这表明 $Zn-Met$ 与 $CuSO_4$ 之间不存在颉颃, $Zn-Met$ 被动物食入以后, 首先由于其难溶解和适中的化学稳定性, 使锌免受日粮中或胃肠道中其他成分的影响; 更主要的是, 具有高亲脂性的蛋氨酸为阳离子锌提供了脂溶性表面, 而且有两个螯环的螯合物有类似二肽的作用, 使锌螯合物能够顺利通过细胞膜。

3.3 有机锌受到配位体的保护, 不易受到胃肠道内的不利于金属吸收的物理化学因素的影响。胃肠道 PH 值对金属复合物的稳定性和溶解性的影响较大, 试验证实有机锌产品的溶解性受到 PH 值的影响, 认为氨基酸或肽的螯合物的稳定常数适中, 既有利于与金属元素结合成螯合物被运输, 需要时又能有效地从螯合物 (载体) 中释放出来。有机锌分子内电荷趋于中性, 在体内 PH 值环境下溶解度好, 吸收率高, 易于被小肠粘膜吸收进入血液, 供给周身细胞需要。

4. 应用效果

4.1 猪

4.1.1 母猪和乳猪

Hoover 在母猪日粮中添加蛋氨酸锌, 初产母猪首次配种受胎率平均提高 7.2%, 胎产活仔数平均增加 0.37 头, 初产死胎率平均下降 2.1%, 断奶仔猪成活率平均提高 2.9%, 第 2-8 胎经产母猪的胎产死胎率降低了 7.1%—29.6%, 断奶仔猪成活率提高了 3.1%—6.2%。

4.1.2 断奶仔猪

有机锌应用于断奶仔猪有显著效果, Ward 试验证实, 添加 250mg/kg 蛋氨酸锌可使断奶仔猪生长速度, 采食量与饲料转化率分别提高 5—8%, 3—4% 与 1—11%, 保育期末体重增加 0.63—0.90kg。据四川省畜科院动物营养研究所研制, 省畜科公司生产的中华富锌康 (乳酸锌), 取代 $ZnSO_4$ 试验, 结果日增重提高 6.14%, 料肉比降低 7.04%, 皮毛状况有所改观, 增重成本降低经济上可行。

4.1.3 生长育肥猪

添加有机锌使生长育肥猪提高了日增重和饲料利用率,改善了胴体品质,四川农大营养所将硫酸锌($ZnSO_4$)和乳酸锌(中华富锌康)进行对比试验,以评定它们对猪的生产性能和锌的排泄的影响。结果表明,生长育肥猪日粮中添加中华富锌康可提高日增重5.35%,提高饲料报酬3.3%。

4.1.4 改善猪肉质量

现正在开发的营养增强产品包括,改变猪肉中脂肪酸的组成,增加肌肉间的脂肪,减少猪肉中的含水量,提高 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 脂肪酸的含量;富含维生素和有机锌猪肉,如四川省畜科院正在研究开发的风味猪。

4.2 家禽

4.2.1 有机锌应用于肉禽,对改善肉禽的生产性能,增强免疫力,提高饲料转化率,改善禽肉质量有显著效果。李德发(1994)用0.3%氨基酸锌、锰代替无机盐饲喂肉仔鸡,使日增重提高6.6%,饲料消耗降低5.7%,腿病发生率下降9.9%。

4.2.2 有机锌应用于蛋禽,可以改善蛋壳质量,提高产蛋量与产蛋率以及种蛋的孵化率和健雏率。试验组的总产蛋率比对照组分别提高21.02%和12.8%,其中鸡蛋的锌含量显著提高,据南通医学院实验和检测表明,高锌蛋内有机锌含量为普通鸡蛋的2.6倍。

4.2.3 水产

促进水产养殖的生产性能,提高饲料转化率和水产的成活率。在鲤鱼日粮中试验增重提高37.2~61.8%,饵料系数由2.4下降为1.4-1.7(赵元风1994)。用尼罗罗非鱼试验,日增重提高35.5%,饲料利用率提高24.2%,成活率提高8.3%,饲料成本下降24.3%(李家成1994)。

4.2.4 反刍动物

马牛羊饲料中添加有机锌可提高其生产性能,减少疾病的发生。在肥育牛中添加蛋氨酸锌可使牛日增重提高8.6%,饲料利用率提高10%(张照熙1996)。Puchala等用蛋氨酸锌饲喂安哥拉山羊来研究蛋氨酸锌的作用效果。结果表明,蛋氨酸锌可避免反刍动物瘤胃微生物的降解提高蛋氨酸在血液中的浓度,蛋氨酸锌组的山羊日增重高于对照组。添加蛋氨酸锌的乳牛产奶量显著高于氧化锌加蛋氨酸,产奶量平均增加幅度为4.1%,其范围为1.0%-7.0%,并且在干奶期给奶

牛补充蛋氨酸锌可以显著促进蹄的生长,即使高产奶牛添加蛋氨酸锌也同样可以提高产奶量,科罗拉多州立大学的实验表明:饲喂蛋氨酸锌与氧化锌加蛋氨酸相比,产奶量由35.4kg增到37.9kg/头·日,平均提高7.1%,饲喂蛋氨酸锌,既增加了产奶量,且乳脂率也略有提高。

5. 问题与对策

有机锌作为新一代高效的绿色营养添加剂,有其自身的功能作用,是有良好的市场应用领域。但从实际使用情况看还存在一些问题,有待今后进一步研究和生产应用上解决。

5.1 降低生产成本 现市场上进口的有机锌产品售价是无机盐的10倍以上,难以在实际生产中大量应用;国内生产厂家如氨基酸螯合物还没有研制出降低生产成本的新工艺新方法,生产出市场能接受经济可行的有机锌产品,应改进产品配方,工艺设计,选择合适的生产工艺路线,降低生产成本。

5.2 提高产品质量 有机锌产品的质检方法(乳酸锌除外)还没有得到很好解决。当前有机锌产品的定性定量分析尚待研究解决,通常采用的分光光度法,电位法等不适应其产品的定性定量分析;难以确定其有机的螯合度或络合度的质量,很难规范有机锌的生产、销售和应用。为了利用廉价的螯合剂生产有机锌,优化合成方法和新工艺,建立定性、定量的检测新技术,是今后研究工作的重点。

5.3 研究作用机理 有机锌在动物体内的吸收机制及代谢原理仍不清楚,有待进一步研究。近年来虽然越来越多的人接受金属氨基酸螯合物和蛋白盐利用肽与氨基酸的吸收机制,而并非小肠中普通金属的吸收机制,但这只是推测,还需要进一步研究证实。

5.4 探讨最佳剂型 继续研究适合动物机体的最佳螯合物(络合物)结构形式,最佳添加时间和剂量。不同的螯合剂组成的有机微量元素、不同的动物、不同日粮营养水平、不同生理条件,都影响有机锌需要量,因此需要继续深入研究阐明。

5.5 强化宣传推广 加大对有机锌的宣传,终有一天,它将成为常规的矿物质元素添加到动物饲料中,一旦在生产上大面积推广普及使用,将会给饲料工业和畜牧业带来一场新的变革。