

# 植酸酶在畜禽营养中的应用研究

邝声耀, 唐凌, 张纯, 曾礼华

(四川省饲料科技研发中心, 四川省畜科院动物营养研究所, 成都 610066)

**摘要:** 植酸酶能提高畜禽饲料中植酸磷的消化利用率, 降解植酸的抗营养因子, 改善畜禽的生产性能, 对日粮具有潜在营养价值作用, 减少氮、磷的排放量, 保护生态环境。作者综述了植酸酶在畜禽营养中的应用进展。

**关键词:** 植酸酶; 畜禽营养; 应用研究

中图分类号: S816.79

文献标识码: B

文章编号: 1671-7236(2007)10-0016-03

植酸酶是一种新型的微生物饲料添加剂, 具有生物活性通过催化和水解将饲料中丰富的植酸及其络合物分解为能被畜禽利用的无机磷和肌醇, 取代或减少在配合饲料中需要添加的无机磷。从而提高饲料中磷的利用率, 节约大量无机磷资源, 并大幅度减少畜禽粪便中磷的排放量, 降低磷对环境的污染; 又通过分解植酸, 解除了对磷、钙、蛋白质、能量、微量元素、氨基酸和维生素等营养物质的络合作用, 提高了饲料潜在的营养价值, 相对降低了饲料成本, 使植酸酶在畜禽生产中得到了广泛应用。

## 1 植酸酶的酶学性质

植酸酶(phytase)属于磷酸单酯水解酶, 是一类特殊的酸性磷酸酶, 能催化植酸及植酸盐水解成肌醇与磷酸(磷酸盐)的酶类总称。植酸酶根据对植酸的作用方式分为2种类型: ①3-植酸酶(3-phytases, EC3.1.3.8), 肌醇六磷酸3-磷酸水解酶。3-植酸酶作用于植酸时, 首先从第3碳位点开始水解酯键而释放出无机磷, 然后依次释放出其它碳位点的无机磷, 最终酯解整个植酸分子。这种植酸酶存在于真菌、细菌和植物中, 镁离子参与催化过程。②6-植酸酶(6-phytases, EC3.1.3.26), 肌醇六磷酸6-磷酸水解酶, 它首先从植酸的6碳位点催化水解而释放出无机磷。

植酸酶有3种来源, 微生物、动物、植物。①微生物产植酸酶, 其特点是生产周期短、酶产量和活性高, 且其pH范围广(2.0~7.0), 以及分离提纯比较容易, 是获得植酸酶的主要来源。目前研究最多的

是真菌, 特别是各种曲霉, 如米曲霉(*A. oryzae*)、土曲霉(*A. terreus*)、黑曲霉(*A. niger*)、无花果曲霉(*A. ficuum*)等, 它们能分泌出具有高度活力的胞外植酸酶, 为研究工作提供了极大的方便。近年来, 发酵工程和生物技术的发展非常迅速, DNA重组技术使微生物产生植酸酶活性大幅度提高, 大大降低了植酸酶生产成本, 从而使之得到广泛应用。②动物植酸酶, 是指肠道分泌物中的植酸酶, 但是肠道粘膜中的植酸酶是否在植酸的水解中发挥作用还不清楚, 目前也没有足够的证据表明畜禽肠道粘膜分泌物中具有植酸酶活性。③植物植酸酶, 存在于大多数禾本科谷物中, 其活性有很大差异, 由于其因加工、储藏等因素而被破坏, 所以难以获得大量的植酸酶。

## 2 植酸的抗营养特性

植酸(亦称六磷酸肌醇)或植酸盐广泛存在于植物体内, 约占日粮的0.26%~1.37%, 在植物性饲料中有50%~80%的磷是以植酸磷形式存在的。畜禽要利用植酸磷, 首先必须在消化道内使植酸水解成含磷的无机物。它的利用效率取决于畜禽种类、年龄、小肠中植酸酶含量等因素。单胃动物(猪、鸡、鱼等)因缺乏内源性植酸酶, 饲料中的植酸基本不能被利用而随粪便排除体外, 造成磷的大量浪费和对土壤及水源的严重污染。

植酸还会影响多种营养物质的消化吸收, 它常和二价或三价阳离子、蛋白质、胃蛋白酶、胰蛋白酶和 $\alpha$ -淀粉酶等络合, 形成不溶性的盐, 降低它们的生物利用率, 所以植酸对畜禽而言是一种抗营养因子。

植酸不仅难以被单胃动物利用, 它还影响动物对矿物元素和蛋白质的利用率。植酸与铜可形成稳定络合物而影响铜的生物学效价。在pH为6时, 植酸同时与多种离子结合, 其中以Zn-Ca-Cu植酸

修回日期: 2007-07-25

作者简介: 邝声耀(1955-), 男, 四川人, 主要从事安全饲料添加剂的研究与应用。

和  $\text{Cu-Ca}$  植酸形式最多。在肠道 pH 条件下, 饲料中植酸含量高时可使单胃动物对钙的吸收率降低 35%。在酸性或近中性环境中植酸可与蛋白质分子发生很强的螯合作用, 形成难溶物。当 pH 低于蛋白质的等电点时, 蛋白质中赖氨酸的  $\alpha$  或  $\epsilon$  氨基、精氨酸和组氨酸的胍基带正电荷, 由于强烈的静电作用, 它们易与带负电的植酸形成不溶性植酸-蛋白二元复合物; 当 pH 高于蛋白质等电点时, 蛋白质的游离羧基和组氨酸上未质子化的咪唑基带上负电荷, 此时蛋白质就以多价阳离子如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  等为桥, 与植酸形成三元复合物(Nyman 等, 1989)。植酸蛋白二元或三元复合物的形成使蛋白质结构改变, 溶解度降低, 导致其消化率降低。植酸还能与动物消化道中的胃蛋白酶、胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶等结合, 使酶活性降低, 它也能抑制  $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶活性(Nyman, 1989), 使饲料营养物质消化利用率降低。

### 3 植酸酶的作用机理

植酸酶能将肌醇六磷酸(植酸)分解成为肌醇和磷酸。不同来源植酸酶作用机理有所不同。植酸的水解反应可在消化道内发生也可在饲料被采食前发生。在消化道作用的植酸酶有 4 个可能来源: ①小肠内分泌; ②肠道微生物产生; ③饲料中的内源性植酸酶; ④外源微生物产生的植酸酶。外源植酸酶是植酸水解的主要的催化剂。

植酸酶水解植酸是分步进行的, 它将植酸分子上的磷酸基团逐个切下, 分解产物有肌醇一磷酸脂、肌醇二磷酸脂、肌醇三磷酸脂、肌醇四磷酸脂、肌醇五磷酸脂, 最终产物是分子量为 351 的肌醇二磷酸脂与一些无机磷分子。这些磷酸基团还能与未水解的植酸以“-O-P”或“-O”键形成肌醇多磷酸脂这样更复杂的分子。

## 4 植酸酶对畜禽的应用效果

**4.1 生产性能提高** 大量试验结果表明, 在畜禽日粮中添加植酸酶有明显的增重效果, 改善饲料利用率, 并降低肉料比。Qian(1996)报道: 在 TP 为 0.38%, 含 0.20% AP 的日粮中加 800 U/kg 植酸酶, 使肉仔鸡体重较低磷无酶组提高了 8.2%, 高于正常磷组水平。Lin 等(2002)报道, 在蛋鸡日粮中添加 300 U/kg 微生物植酸酶, 可提高产蛋量, 降低破蛋率和软蛋率, 降低磷排出。

Sefer 等(2000)在断奶仔猪可利用磷含量为

0.36% 或 0.24% 的日粮中添加 1000 U/kg 植酸酶, 仔猪平均日增重比对照组(含可利用 P 0.36%) 分别提高了 11% 和 12%; 据 Biehl 等(1996)在猪低蛋白氨基酸缺乏日粮中添加植酸酶, 使饲料效率提高 6.8%, 其(1997)研究证实, 植酸酶对玉米-豆饼型日粮, 则能显著提高增重/耗料比。张若寒(1995)报道, 通过 11 个试验发现植酸酶能提高猪日增重 6%, 采食量提高 3%, 饲料报酬提高 4.3%。

**4.2 提高植酸磷的利用率** 在猪饲料中添加植酸酶, 可使磷的利用率提高 50%~70%, 粪磷含量降低 30%~50%; 鸡饲料添加植酸酶可使磷的利用率提高 20%~40%。在豆饼型日粮中添加植酸酶, 粪尿中排磷量减少 17%~42%; 蒋守群在蛋鸭上的饲养试验结果表明, 饲料中添加 500 U/kg 植酸酶可使磷的存留率提高 36.8%, 排泄物中氮和磷含量分别降低 61.6% 和 42%; 既提高了植酸磷的利用程度, 又对环境有保护效应。

**4.3 提高微量元素的利用率** 植酸在植物性饲料中往往与矿物质相结合, 形成钙、镁、钾盐的复合物, 称为菲丁, 植酸酶可水解破坏这种结合作用, 释放被络合的大量矿物质元素。在鸡的低水平无机磷日粮中添加植酸酶能释放一些微量元素与营养物质, 提高了饲料品质, 增加了磷、钙、铜、锌的沉积, 有利于骨骼的矿物化, 促进了肉仔鸡生长。大量试验结果表明, 日粮添加植酸酶可使  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  等阳离子利用率提高(Qian 等, 1996; Schoner, 1994; 徐奇友等, 1999)。Aoyagi 等(1995)对雏鸡玉米-豆粕日粮中添加 600~1200 U/kg 植酸酶、VD 35  $\mu\text{g}$  或 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$  显著提高了磷、锌、锰的利用率。但是矿物质利用率的提高程度受日粮中含量的影响, 如果日粮中某种元素含量已满足要求或超量, 则添加植酸酶无作用。

**4.4 提高蛋白质、氨基酸的利用率** 植酸的抗营养作用主要指其与蛋白质形成植酸-蛋白质络合物抑制蛋白质水解酶, 从而降低动物对蛋白质的消化率。植酸与蛋白质的结合作用不但存在于饲料中, 还可与动物体内的蛋白质如淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和酸性磷酸酶等结合, 从而降低了这些酶的活性。

植酸酶的水解作用使植酸与蛋白质之间的化学键断裂, 释放出络合的蛋白质使其消化利用率得到提高, 并终止植酸对其他消化酶的抑制作用, 从而促

进氮的吸收。添加植酸酶可以释放部分被植酸络合的蛋白质,从而提高蛋白质利用率。在猪饲料中添加植酸酶,蛋白质和氨基酸的回肠消化率提高了7%~12%。可见,植酸酶对蛋白质和氨基酸利用率的促进作用具有重大意义。

**4.5 提高饲料中淀粉的消化率**  $\alpha$ -淀粉酶广泛存在于植物、动物和微生物,其作用和稳定性需要钙离子。植酸通过络合 $\alpha$ -淀粉酶需要的钙离子可降低日粮中 $\alpha$ -淀粉酶的活性,而植酸酶通过破坏植酸的这种络合结构,从而提高淀粉的消化率。

## 5 植酸酶的应用前景与发展方向

植酸酶在减少畜禽排泄物中磷对环境的污染和促进畜牧业可持续发展中起重要作用,但植酸酶在应用领域尚存在一些问题。①植酸酶具有酶和蛋白质双重特性,其活性与作用效果易受外界环境影响。②研究和开发高抗逆性的植酸酶及其最适作用条件是今后的主要研究方向。③植酸酶在产蛋鸡日粮中的应用已趋成熟,并在一定程度上降低生产成本,但植酸酶在肉仔鸡和猪的应用还存在一定的局限性。提高植酸酶在肉仔鸡和猪日粮中替代磷酸氢钙的比例与作用效果,也是植酸酶解决粪磷对环境污染问题的关键。④影响植酸酶作用效果的因素尚缺乏系统的研究,今后仍需加强植酸酶在实际生产中应用的研究。⑤开发能够在水产动物饲料中应用的植酸酶,即能够耐受较高的制粒温度,并能够在较低的温度条件下表现出高活性的植酸酶产品。⑥根据

反刍动物磷消化代谢特点及其影响磷利用的因素,开发和研制适合于反刍动物应用的植酸酶产品也是今后的发展方向。

目前的研究主要集中在通过基因工程手段克隆植酸酶基因,然后在生物反应器中高效表达植酸酶基因,以解决植酸酶在原始天然材料中含量太低而难以大量提取生产的问题;或在分子水平上改造植酸酶基因,从而改变植酸酶的酶学性质如耐温性、pH适应性、催化活性等,提高其在饲料中使用的有效性。随着植酸酶研究更深入地展开及人们环保意识的进一步加强,植酸酶产品在畜禽养殖中的应用将越来越广泛。当然植酸酶作为一种高效安全饲料添加剂产品,具有广阔的发展前景,在我国现代畜牧业的发展中将发挥重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 王红宁,黄勇,陈惠,等. 饲用高效生物植酸酶的研究进展[J]. 国外畜牧学,1998(5): 17~ 20.
- 2 王翔,陈代文. 植酸酶的研究与应用[J]. 饲料工业,2006(14): 20~ 23.
- 3 张若寒, A troescher, 石满仓, 等. 植酸酶替代产蛋鸡饲料中磷酸氢钙的研究. 中国饲料,1996(21): 15~ 19.
- 4 张铁鹰,周良娟. 植酸酶在畜禽日粮中应用研究进展[J]. 中国饲料,2005(4): 25~ 28.
- 5 庞学东,唐海翠,王恬,等. 植酸酶及其在畜禽生产中的最新应用研究[J]. 家禽生态学报,2007,28(1): 105~ 108.
- 6 郝振荣,高俊杰. 植酸酶的应用效果研究进展[J]. 饲料研究,2006(12): 12~ 15.

# Research and Application of Phytase in Nutrition of Animal and Poultry

KUANG Sheng-yao, TANG Ling, ZHANG Chun, ZENG Li-hua

(Sichuan Feed Science Research and Development Centre Animal Nutrition Institute,  
Sichuan Academy of Animal Science, Chengdu 610066, China)

**Abstract:** Phytase can improve the digestion and utilization of phosphorus in feed for animal and poultry, remove the anti-nutrition factors, improve the performance of animal and poultry. It has potential nutrition to the diets and can reduce the excretion of nitrogen and phosphorus, so it is environmentally beneficial. The application and development of phatase in nutrition of animal and poultry are discussed in this article.

**Key words:** phatase; nutrition of animal and poultry; application and research

## 书 讯

《饲料检验手册》每本 35 元,《饲料分析与检验》每本 34 元,如有订购者,请汇款到: 100094 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所 《中国畜牧兽医》编辑部收。