

# 植酸酶在水产动物中作用机制及其应用研究\*

王爱民<sup>1</sup>, 殷玉岗<sup>2</sup>, 刘文斌<sup>3</sup>

(1. 盐城工学院 化学与生物工程学院, 江苏 盐城 224003 ;  
2. 盐城地区广和饲料厂, 江苏 盐城 224003  
3. 南京农业大学 动物科技学院, 江苏 南京 210095 )

**摘 要** 植酸酶是一种新型饲料添加剂, 它能提高动物对饲料中植酸磷的利用率, 降低粪便中磷的排泄量, 因而开发和研究水产专用植酸酶具有重要的生产和环保意义。综述了植酸酶对水产动物的作用机制、研究现状, 并对植酸酶在水产饲料中应用所面临的问题及前景进行分析。

**关键词** 植酸酶; 水产饲料; 磷; 作用机制; 前景

中图分类号 S963

文献标识码 A

文章编号 :1671 - 532X(2005)01 - 0052 - 04

开发植物性蛋白原料是人们研究的一个热点, 而制约植物性原料在畜禽及水产饲料中应用的主要障碍是在这些原料中, 磷主要以植酸及其盐的形式存在<sup>[1]</sup>, 单胃及水产动物缺乏分解植酸的植酸酶, 因此植酸磷基本上不能被单胃动物所利用<sup>[2]</sup>, 添加植酸酶成为解决此问题的一个有效方法。许多研究表明在猪、鸡和鸭的植物性饲料中添加植酸酶, 能提高这些动物对植酸磷的利用率, 降低磷的排泄<sup>[3~4]</sup>。近年来, 在水产动物中, 国内外对植酸酶做了一些研究<sup>[5~7]</sup>, 本文就植酸酶在水产动物中作用机制及其应用作一综述。

## 1 植酸、植酸酶

植酸(phytic acid)的化学名称是 6-磷酸肌醇, 分子式为  $C_6H_{18}O_{24}O_6$ , 分子量 660.08, 植酸广泛存在于植物体中<sup>[1]</sup>。

植酸与磷结合形成有机磷化合物植酸磷(phytate phosphorus)。植酸酶(phytase)是可将植酸分解为可利用的无机磷酸盐和肌醇的统称, 它可提高植物性原料中磷的利用率并减少粪便中磷的含量。植酸酶广泛存在于植物、动物组织, 一些真菌和细菌中<sup>[2]</sup>。自然界存在两类植酸酶, 一类为

6-植酸酶, 另一类为 3-植酸酶。前者存在与植物的籽实中, 在种子发芽时被激活并水解种子中的植酸; 后者存在于植物、霉菌和细菌中, 且需要二价镁离子参加反应, 而且前者作为商品酶的应用, 主要是纯化的微生物植酸酶, 有两种类型, 粉状饲用酶和液态饲用酶<sup>[7]</sup>。

## 2 植酸酶在水产动物中的作用机制

### 2.1 分解植酸磷, 释放磷元素, 提高动物对磷的利用率

水产动物体内几乎无植酸酶存在, 无法利用饲料中的植酸磷<sup>[2]</sup>。添加植酸酶, 在消化道分解植酸磷, 这样水产动物才能利用植酸磷中的有机磷。

水产动物饲料原料要求粗蛋白含量高, 一般大于 30%。符合条件的鱼粉供应紧张, 人们不得不开发利用原料来源丰富、价廉的植物性蛋白质饲料原料, 而植物性蛋白质原料如豆粕、菜粕等含有植酸磷<sup>[8]</sup>, 不能为水产动物直接利用。添加植酸酶能够分解植酸磷, 释放磷元素, 促进水产动物对磷的消化吸收, 大大提高了磷的利用率。近年来国内外许多研究证明了这一点: Richo 和

\* 收稿日期 2004 - 12 - 08

作者简介: 王爱民(1975 - )男, 湖南武冈人, 盐城工学院助教, 硕士, 主要研究方向为水产动物生理、营养与饲料的教学与科研工作。

Brown(1996)在虹鳟饲料中添加 1000 FIU/kg 饲料的植酸酶,结果可使豆粕中磷的利用率从 25% 增加到 57%,提高了 128%<sup>[9]</sup>;Papatriphons(2001)报道,在条纹狼鲈饲料中喷洒植酸酶溶液 1000 FIU/kg,试验结果表明,植酸酶提高条纹狼鲈对豆粕中磷的利用率 23%<sup>[10]</sup>。

## 2.2 破坏植酸-金属离子络合物,释放 $Zn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 等微量元素

植酸在 pH 3.5 ~ 10 之间能与  $Zn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$  等螯合形成稳定的不溶性络合物<sup>[11]</sup>,从而降低了鱼类对这些矿物质元素的生物利用率,添加植酸磷能破坏植酸与金属离子络合物,释放金属离子,提高水产动物对微量元素的利用率。

Sugiura 等(2001)在虹鳟饲料及大豆粉为基础原料添加植酸酶,提高了虹鳟对 Ca、Mg、Cu、Fe、Sn 和 Zn 的表观消化率。

## 2.3 破坏植酸与蛋白质络合,提高水产动物对蛋白质的利用率

在适宜的 pH 条件下,植酸在消化道中可与蛋白质形成难溶的植酸-蛋白质络合物,降低鱼类对蛋白质的利用率<sup>[12]</sup>,添加植酸酶可部分地释放被植酸络合的蛋白质,从而提高蛋白质的利用率,促进水产动物的生长。Storebakken 等(1998)在均重 0.1 kg 大西洋鳟豆粕、鱼粉为基础饲料原料中添加植酸酶,试验结果表明添加植酸酶明显改善了对蛋白质的表观消化率<sup>[13]</sup>。

## 2.4 补充水产动物内源酶不足及分泌,促进营养物质分解

水产动物体内几乎无植酸酶,这与单胃动物及禽类大致相同,添加植酸酶能补充内源酶不足,同时因为有植酸的存在可以导致消化酶的失活,如植酸对胃蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶的活性有抑制作用,从而降低了蛋白质、淀粉、脂肪这些营养物质的消化吸收<sup>[14]</sup>。

添加植酸酶有可能部分解除植酸对内源酶的抑制作用,促进内源酶分泌,提高动物对营养物质的消化分解,促进水产动物生长。Zi - sayedAFM(2000)用植酸酶处理豆粉饲喂罗非鱼测定内源酶活性,与对照组比较,植酸酶处理组内源蛋白酶活性显著高于对照组<sup>[15]</sup>。

## 2.5 植酸酶能提高总能利用率,促进动物生长

鱼类是变温动物,对能量的利用比畜禽动物低,仅为陆上动物的 50% ~ 67%,添加植酸酶可以改善鱼类对总能的利用率,促进水产动物的生

长。Cheng 和 Hardy(2002)在玉米烧酒糟残液干燥物的饲料中添加 0、750、1500、和 2250 FIU/kg 的微生物植酸酶,以三氧化二铬(0.5%)作为内源指示剂,虹鳟对各组的表观消化率,干物质 65.5% ~ 76.9%,粗蛋白质 90.7% ~ 93.2%,粗脂肪 83.8% ~ 90.9%,总能 71.8% ~ 78.9%<sup>[16]</sup>,由于总能利用率的提高,因而增加了消化能,Forster(1999)在含菜籽粕的蛋白浓缩饲料中添加植酸酶,可以增加虹鳟的消化能。

## 3 植酸酶在水产饲料中的研究与应用

### 3.1 改善生产性能,促进动物生长

国内外对植酸酶用于畜禽饲料的研究较多<sup>[4,16]</sup>,而在水产饲料中的研究较少。研究表明,在水产动物饲料中,添加适宜的酶制剂,可明显提高饲料中磷的利用率,提高蛋白质的利用率,促进动物生长。

Schafer 等(1995)用鲤鱼作试验,在以大豆粉、鱼粉和大麦为基础的饲料中添加 500 FIU/kg 和 1000 FIU/kg 植酸酶日粮,结果鱼体增重加快,鱼体灰分含量显著提高<sup>[17]</sup>;Jackson 等(1996)在斑点叉尾鱼饲料中用喷涂法添加植酸酶进行试验,结果也表明添加植酸酶能促进鱼体增重和骨骼中磷的沉积<sup>[18]</sup>。

### 3.2 降低磷的排泄,减少对环境的污染

水产动物饲料原料中含有豆饼、菜粕等植物性原料,由于植物性原料含有不能为水产动物利用的植酸磷,一方面造成原料的浪费,另一方面排出大量未被消化的磷,污染水质,破坏生态环境。近年来,人们做了许多研究表明,在水产动物中添加植酸酶大大降低了磷的排泄,减少了对环境的污染。

Sugiura SH 等(2001)报道:在以大豆粉为基础原料的虹鳟饲料中添加植酸酶,鱼类粪便中的排泄量消耗 1 kg 饲料排泄磷 0.32 g,比投喂商品鱼饲料磷的排泄量减少了 95% ~ 98%<sup>[12]</sup>。Leixu. kupk 等(1993)在畜禽中添加植酸酶能减少磷的排放量达 50%,减少环境污染<sup>[19]</sup>;Sain KD 等(1995)通过植酸酶预处理豆粕作为鲤鱼饲料以降低孵化场流出水的磷浓度,投喂商品饲料的幼鱼(1.9 g),每 kg 增重排泄 4.54 g,而投喂植酸磷预处理豆粕饲料的幼鱼每 kg 增重仅排泄磷 1.61 g,饲料中磷含量较低使水中浓度降低了 65% ~ 88%<sup>[20]</sup>。

### 3.3 部分替代无机磷,拓展饲料资源

在水产饲料添加植酸酶,由于其释放植酸磷中磷元素,破解植酸与蛋白质、金属元素的络合物,因此减少了无机磷、微量元素及饲料蛋白源在水产饲料中的添加,节约饲料原料,拓展了饲料资源的开发与利用。国内外的研究也逐步证明了这一方法的初步效果,Soares(1994)在带纹白鲈饲料中添加 2400 FIU/kg 植酸酶,鱼的生长与添加 1.3%的磷酸二氢钙的生长效果相同<sup>[21]</sup>,这说明添加植酸酶确实能起到节约无机磷的作用。

## 4 面临的问题及前景

### 4.1 面临的问题

#### 4.1.1 最佳添加量

目前在这方面的研究较少,由于受不同水产动物、动物生长阶段饲料基础原料等因素影响,很难确定一个最佳添加量。Li - MH 等(1997)报道在斑点叉尾鱼鱼种饲料中分别添加 250、500、750 FIU/kg 植酸酶,结果证明,添加 250 FIU/kg 试验组增长率、饲料转化率最高,且差异显著<sup>[22]</sup>。今后应进一步加大对植酸酶最佳添加量的研究,节约成本,促进水产动物生长。

#### 4.1.2 热不稳定性

植酸酶一般不能耐受 70℃以上的高温<sup>[23]</sup>,在饲料加工过程中添加植酸酶容易失活,目前解决此矛盾有两种办法:一是用植酸酶对饲料原料进行制粒前预处理;二是待饲料颗粒出模后,冷却到安全温度时把液态植酸酶喷洒到颗粒表面。考虑到植酸酶产品酶活性的不稳定性,因此为防止酶失活,把植酸酶保存在干燥、低温下保藏。

### 4.1.3 植酸酶活性

酶活性是评价植酸酶作用的一个重要指标,而目前,植酸酶活性单位各异,不易比较,不利于科研与学术交流,从而限制了植酸酶的开发与应用。而且体外酶活性的测定不能真实地反映水产动物体内的情况,因为影响酶活性的因素很多,比如温度、PH、饲料类型等等<sup>[24]</sup>。

#### 4.1.4 开发种类与市场潜力

在水产饲料中,植酸酶的开发与研究比较滞后,目前无成熟的专用水产植酸酶,很多都是应用畜禽上的产品,主要有两方面原因,一是影响植酸酶对水产动物的作用因素很多,诸如热稳定性、PH、动物种类、水产动物肠道消化能力、酶的失活等;二是目前商品植酸酶价格比较高,添加植酸酶所获得的养殖效益不能弥补成本的投入,因此水产专用植酸酶产品的研究与开发受到影响。

### 4.2 发展前景

近年来对植酸酶在水产饲料中应用做了一些研究,但大多停留在研究其对动物改善生产性能,降低磷排泄,减少对环境污染等方面,而对诸如植酸酶对水产动物生理等深层次的研究很少,在生产中应用和推广植酸酶还有一定距离。今后应在植酸酶对水产动物的作用机制,植酸酶分子和基因结构,植酸酶的添加工艺等作深入研究,开发耐热而环保的专用水产植酸酶。随着基因工程等生物技术的发展,对植酸酶的研究及应用目前面临的问题将逐步得到解决,相信植酸酶在降低饲料成本,促进水产养殖业的发展、保护生态环境及拓展饲料市场等多方面将有着广阔的前景。

### 参考文献:

[1] 白元生. 饲料原料学[M]. 北京:中国农业出版社,1999.

[2] Leslie A J. The ever - increasing role of biotechnology in the poultry industry ,Lessons from past and thoughts for the future[A] , Alltech 's 10th Annual Asia - Pacific Lecture Tour[c] ,Nicholaasville. KY : Alltech Technical publication. 1996 ,65 - 84.

[3] 徐建雄,叶陈梁,谢爱纯. 植酸酶和酶制剂对断奶仔猪日粮消化率和生产性能的影响[J]. 饲料研究, 2001(7) 23 - 25.

[4] 吴建良,楼洪兴等. 不同类型日粮添加植酸酶对肉鸡生长性能和磷利用率的影响[A]. 饲料毒物与抗营养因子研究进展[c]. 西安:西北大学出版社,1997,198 - 201.

[5] V - ielma J, Makinen T. Influence of dietary soyeam and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout [J].( oncorbynchus mykiss ) and algal availability of phosphorus load. Aquaculture. 2000 ,185( 74 ) 349 - 362.

[6] 曾虹,姚斌,周文豪等. 中性植酸酶在鲤鱼饲料中的应用效果[J]. 中国水产, 2001(5) 87 - 88.

[7] 朱钦龙. 植酸酶的研究动向和应用[J]. 国外畜牧学饲料, 1996( 1 ):15 - 18.

[8] 郑宗林,黄朝芳,尹志原等. 植酸酶在水产上的应用[J]. 科学养鱼, 2002 ( 10 ) 51 - 52.

[9] Riche M, Brown P B. Availability of phosphorus form feed stuffs fed to rainbow trout ( on corhynchus mykis [ J ]. Aquaculture ,1996 , ( 142 ) 269 - 282.

- [ 10 ] Papatryphon S. The effects of phytase on apparent digestibility of four practical plant feed stuffs fed to striped bass morone saxatilis [ J ]. *Aquaculture Nutrition* 2001 , 7 ( 3 ) : 161 – 167 .
- [ 11 ] Lei X G , Kupk Miller E R , Allrey D I , Yokoyama M T. Supplemental microbial phytase improves bioavailability of dietary zinc to weanling pig [ J ]. *Nutrition* , 1993 ( 123 ) : 1117 – 1123 .
- [ 12 ] Sugiura SN , Labuadan J , Dong F M. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus , trace minerals and protein by rainbow trout and soybean meal – based diets [ J ]. *Aquaculture Research* 2001 , 32 ( 7 ) : 583 – 592 .
- [ 13 ] Knuckles BI , Kelz micky DD , Berschat AA. Effect of phytase and partially hydrolyzed phytase in Vitro protein digestibility [ J ]. *Food Science* , 1985 , 50 : 1080 – 1086 .
- [ 14 ] Bitar k , Reinhold JG . Phytase and alkaline phosphates activities in intestinal mucosae of rat , chicken , calf , and man [ J ]. *Biochim , Biophys Acta* , 1972 , 268 : 442 – 452 .
- [ 15 ] 曾虹 . 植酸酶的研究及在鱼饲料中应用前景 [ J ]. *上海水产大学学报 ( 增刊 )* , 1998 , 39 – 43 .
- [ 16 ] Martin. The additional of microdiet phytase to duckling diet [ J ]. *Proceedings of 9th international symposium on water flow* . Pisa , 1002 ( 9 ) : 16 – 18 .
- [ 17 ] Schater A , Koppe WM. Effects of a microbial phytase on the utilization of native phosphorus by carp in a diet based on soybean meal [ J ]. *Water Science and Technology* , 1995 ( 31 ) : 149 – 155 .
- [ 18 ] Jackson – LS , Li – MH , Robinson – EH. Use of microbial phytase in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets to improve utilization of phytase phosphorus [ J ]. *Journal of the World Aquaculture Society* , 1996 , 27 ( 3 ) : 309 – 313 .
- [ 19 ] Lei XG , Kupk , Miller EK , et al. Supplementing corn – soybean meal diets with microbial phytase linearly improves phytase phosphorus utilization by weanling pig [ J ]. *Animal Science* , 1993 , 71 : 3359 – 3367 .
- [ 20 ] Cain KD , Gatling DL. Diets to reduce phosphorus concentrations in hatchery effluents , part 1 [ J ]. *Fishcult* , 1995 , 57 ( 2 ) : 114 – 119 .
- [ 21 ] Soares JH. Effect of phytase on phosphorus utilization [ J ]. *Proc of MARYLANP Nutrition Conf* , 1994 ( 53 ) : 76 – 79 .
- [ 22 ] Li – MH , Robinson – EH. Microbial phytase can replace inorganic phosphorus supplements in channel catfish *Ictalurus punctatus* diet [ J ]. *Journal of the World Aquaculture Society* , 1997 , 28 ( 4 ) : 402 – 406 .
- [ 23 ] 邢自力 , 陈华友 , 谢芳等 . 植酸酶及其热稳定性研究进展 [ J ]. *中国生物工程技术杂志* , 2003 , 23 ( 5 ) : 31 – 35 .
- [ 24 ] 尾崎久雄 . 鱼类消化生理 [ M ]. 上海 : 上海科技出版社 . 1983 .

## Research on the Mechanism of Phytase in Aqua – animal And its Application

WANG Ai – min<sup>1</sup> , YIN Yu – gang<sup>2</sup> , LIU Wen – bin<sup>3</sup>

( 1. College of Chemistry and Biology Engineering , Yancheng Institute of Tehnology , Jiangsu Yancheng 224003 , China )  
 ( 2. Chengqu Guanghe Feed Company of Yancheng area , Jiangsu Yancheng 224003 , China )  
 ( 3. College of Animal Science and Technology , Nanjing Agricultural University , Jiangsu Nanjing 210095 , China )

**Abstract** : Phytase preparation is a new type of feed additive , which can enhance the digestibility and availability of phytate phosphorus , and reduce phosphorus excretion from faeces . It is of great significance to exploit and study phytase preparation of aquafeed on the production and environment – protection . The mechanism and condition of study and application on phytase preparation in aquafeed were overviewed and its problem to be faced at present and prospect were analyzed in this paper .

**Keywords** : phytase preparation ; aquafeed ; phosphorus ; mechanism ; prospect .