**植酸酶对斜带石斑鱼幼鱼生长性能和生理指标的影响**

张 涛1 ， 徐树德1 ， 卢玉标1 ， 唐启峰1 ， 孙大淇1 ， 李远友2

（1. 广东溢多利生物科技股份有限公司，广东 珠海 519060；

2. 汕头大学海洋生物研究所，广东 汕头 515063 ）

**资助项目: 广东省海洋生物技术重点实验室开放课题 (GPKLMB201302)。**

**摘要：**为了研究饲料中添加植酸酶对斜带石斑鱼幼鱼生长和体型等生理指标的影响，并探讨超量添加植酸酶对斜带石斑鱼生长的影响，本研究设计了添加植酸酶（2000 U/g）分别为0 g/kg、0.1 g/kg 、0.3 g/kg、0.5 g/kg、0.7 g/kg及1 g/kg共6组饲料的实验组。每个实验组设3个平行，每个平行为一个网箱，每个网箱放20尾鱼，初始鱼体重为12.01±0.23 g，养殖65天。结果显示：各组的增重率随着植酸酶添加量的增加而显著增长（*P*< 0.05）；各组存活率没有随植酸酶添加量的变化产生显著变化（*P*> 0.05）；饵料系数随着植酸酶添加量的增加而减小，添加量在0.5 g/kg、0.7 g/kg及1.0 g/kg时，饵料系数均显著高于对照组（*P*< 0.05），但三者之间没有显著差异（*P* > 0.05）；各组蛋白质及磷的转化率随着植酸酶添加量的增加而增长，添加量在0.3 g/kg及以上时，蛋白质转化率均显著高于对照组（*P*< 0.05），添加量在0.5 g/kg及以上时，磷转化率均显著高于对照组（*P*< 0.05）。对生理指标数据分析后得出：不同的植酸酶添加量对各组斜带石斑鱼的肥满度，脏体比和肝体比没有显著影响（*P* > 0.05）。各实验组主要鱼体成分数据显示：植酸酶的添加比列对鱼体水分含量没有显著影响（*P*> 0.05）；鱼体粗蛋白以及磷含量随着植酸酶添加比例的增加而增长，添加0.5 g/kg以上植酸酶的各组鱼体磷含量均显著高于对照组(*P*< 0.05)；各组鱼体的粗脂肪含量随植酸酶添加量的增加变化规律不明显，其中添加0.5 g/kg植酸酶的鱼体粗脂肪含量显著高于其它各组 (*P*< 0.05)；各组鱼体的灰分含量没有显著差异（*P*> 0.05）。以上实验表明，饲料中添加0.1g/kg以上植酸酶可起到促进石斑鱼生长的效果，且随着植酸酶添加量的增加这种效果更加显著。

**关键词：**斜带石斑鱼；植酸酶；生长；生理指标

**中图分类号：S 963 文献标志码：A**

近年来，随着动物性蛋白价格的不断升高，用植物性蛋白作为替代品得到广泛的关注和应用[1]，但是植物蛋白源中存在的多种抗营养因子严重阻碍营养物质的有效利用[2]。植酸学名六磷酸肌醇，是植物蛋白源中主要的抗营养因子之一，广泛存在于植物性饲料中。植酸能够无选择性的与蛋白质螯合，抑制动物体内关键酶如胃蛋白酶、胰蛋白酶和淀粉酶等的活力[3,4]；它还能与钙、铁、锰、锌等重要金属离子螯合，形成不溶性络合物，从而降低动物对这些矿物元素的利用率[5]。植酸酶是一种能有效水解植酸的磷酸酶类，它能促进植酸降解为肌醇和磷酸，在给动物增加可利磷的同时，释放被植酸螯合的蛋白酶及金属离子，即可改善动物的生长性能又可减少对环境的磷污染[6]。在草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*），大西洋鲑（*Salmo salar*），红鳍东方鲀（*Takifugu rubripes*），牙鲆（*aralichthy solivaceus*）和异育银鲫（*Carassius gibelio*）的养殖试验中已证明，植酸酶能够提高磷的利用率，促进鱼体的生长，提高饲料效率并影响体组成 [7-12]。

斜带石斑鱼（*Epinephelus coioides*）是我国近十年来南方广泛养殖的海水鱼类，具有生长速度快、饲料利用率高和经济价值大等优点。目前研究已发现磷对斜带石斑鱼生长至关重要，低磷饵料会显著影响石斑鱼的生长[13-15]，而植酸酶的重要作用是转化植酸磷成为可被利用的无机磷。国内已有关于植酸酶对石斑鱼生长影响的报道[16]，研究表明在以70%的鱼粉为蛋白源的饲料中，添加200 U/kg 植酸酶可以提高鱼体的相对增重率并降低饵料系数；而用植物性蛋白替代20%鱼粉后，添加600 U/kg植酸酶可以显著的提高用鱼体的相对增重率并显著降低饵料系数（*P*< 0.05），该研究中，尽管添加600 U/kg 植酸酶明显优于添加200 U/kg 植酸酶的效果，但两者的配方中蛋白源不同，无法进行有效的比较；作者也只设计了4个实验组，无法找到植酸酶的最适宜添加量。本实验采用的植酸酶是广东溢多利生物科技股份有限公司研发的耐高温植酸酶（2000 U/g，商品名为威特磷），本研究以豆粕部分替代鱼粉以提高植酸磷的含量，植酸酶的添加量范围从0-1 g/kg，目的为观察植酸酶在石斑鱼营养实验中的效果，同时为石斑鱼饲料中植酸酶的最适添加量提供理论依据。

1 材料与方法

**1.1实验饲料**

实验饲料以鱼粉，豆粕，鸡肉粉和虾粉为蛋白源；鱼油和豆油为脂肪源；面粉为碳源，外加其它必要成分作为基础饲料配方，具体组分及营养成分见表1。本实验所使用的植酸酶由广东溢多利生物科技股份有限公司提供，酶活为2000 U/g（pH6.5, 25℃）。添加水平为0.1、0.3、0.5、0.7及1g/kg（以膨润土来调节配方空间），并以基础配方（未添加植酸酶）为对照组，共配制6组饲料。饲料加工成直径约3 mm大小颗粒，自然晾干，-4℃保存备用。

**表1 饲料基础配方及主要营养成分**

**Tab.1 Composition and nutrient level of basic diets （%）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 原料  Ingredient | 含量  Content | 营养成分  proximate composition | 含量  Content |
| 鱼粉 fish meal | 35 | 水分 moisture | 10.52 |
| 鸡肉粉chicken meal | 9 | 粗蛋白 crude protein | 49.63 |
| 明胶 gelatin | 5 | 粗脂肪 crude fat | 10.63 |
| 豆粕 soybean meal | 20.5 | 灰分 ash | 11.51 |
| 面粉 flour | 13 | 总磷 total [phosphorus](javascript:void(0);) | 1.11 |
| 虾粉 shrimp meal | 8 | 无机磷[inorganic](javascript:void(0);) [phosphorus](javascript:void(0);) | 0.60 |
| 鱼油 fish oil | 2 |  |  |
| 豆油 soybean oil | 3 |  |  |
| 磷酸二氢钙monocalcium phosphate | 0.7 |  |  |
| 膨润土 bentonite | 1.2 |  |  |
| 复合维生素compound vitamins | 1 |  |  |
| 复合矿物盐compound minerals | 1 |  |  |
| 氯化胆碱 chloride choline | 0.5 |  |  |
| VC磷酸酯 Vc phosphate | 0.05 |  |  |

**1.2 实验鱼及养殖管理**

斜带石斑鱼幼鱼购于广东省饶平县鱼苗场，养殖实验在广东省汕头大学南澳岛临海试验站的网箱（1.5 m×1 m×1 m）中进行。前期驯养15天以适应实验环境，期间只投喂未添加植酸酶的基础饲料，每日早晚投喂2次。实验正式开始后，挑选规格一致的健康试验鱼360尾，分成6个实验组，每组3个平行（每个平行一个网箱），每个平行20尾鱼（初体重为12.01±0.23 g），实验期间中采用自然光周期，养殖水温为22 - 29 ℃，盐度为27 - 32 ‰。各处理组每天7:00和17:00两次饱食投喂，每天观察鱼的摄食情况和死鱼的数量，实验过程中如有死鱼马上捞出，称重，做好记录，养殖期为65天。

**1.3样品的采集与测定**

实验开始和结束时全部鱼禁食24h。开始前从驯养鱼中随机捞取6尾鱼，用于全鱼的初始营养成分测定。实验结束时每组处理的全部称重，每个缸随机捞取9尾鱼，其中3尾用作全鱼水分、蛋白、脂肪和灰分及磷含量的分析，另外6尾鱼用MS-222 麻醉后，分别称量体重、体长、内脏重和肝重用于计算肥满度、脏体比、肝体比。

水分采用105℃烘干恒重法测定，粗蛋白采用采用凯氏定氮法测定，粗脂肪采用索氏提取法测定（以丙酮为抽提液），灰分采用马弗炉550 ℃灼烧恒重法测定，饲料及样品中磷含量的测定采用国标（GB/T 6437-2002）分光光度计法。

各指标计算方法如下：

增重率（WGR，%）=100×（末体重－始体重）**/**初体重

饵料系数（FCR）=总摄食量**/**（末体重－初体重）

成活率（SR，%）=100×（实验末鱼尾数/实验初鱼尾数）

蛋白沉积率（ProDR，%）=（末体重×末鱼蛋白含量－初体重×初鱼蛋白含量）**/**（摄食量×饲料粗蛋白含量）

磷沉积率（PDR，%）=（末体重×末鱼磷含量－初体重×初鱼磷含量）**/**（摄食量×饲料总磷含量）

肝体比（HSI，%）=100×（肝脏重/鱼体重）

脏体比（VSI，%）=100×（内脏重/鱼体重）

肥满度（CF，g/cm3）=100×鱼体重**/**(鱼体长)3

公式中，鱼体重、初始体重、终末体重、总摄食量、肝及内脏重的单位为g；体长的单位为cm。

**1.4数据分析**

采用Origin7.5软件对数据做单因素方差分析（One-way ANOVA），结果以平均值±标准差（Mean±SD）表示，若存在显著差异时，则采用Student-Newmnan-Keuls法进行多重比较，显著差异水平设置为*P*<0.05。

2结果

**2.1 不同植酸酶添加量对斜带石斑鱼幼鱼生长及饲料利用率的影响**

斜带石斑鱼幼鱼的生长性状及饲料利用率随着植酸酶添加量的增加而提高（表 2）。结果显示，各组的增重率随着植酸酶添加量的增加而显著增长（*P*< 0.05），但添加0.7 g/kg与添加0.5 g/kg及1.0 g/kg相比没有显著差异（*P*> 0.05）；植酸酶的添加量对各组存活率没有显著影响；各组的饵料系数随着植酸酶添加量的增加而减小，添加量在0.5 g/kg及以上时，饵料系数均显著高于对照组（*P*< 0.05），但三者之间没有显著差异（*P*> 0.05）；各组蛋白质及磷的转化率随着植酸酶添加量的增加而增长，添加量在0.3 g/kg及以上时，蛋白质转化率均显著高于对照组（*P*< 0.05），添加量在0.5 g/kg及以上时，磷转化率均显著高于对照组（*P*< 0.05）。

**表2 不同植酸酶含量对斜带石斑鱼幼鱼生长及饲料利用率的影响**

**Tab.2 Effects of dietary phytase content on growth performance**

**and feed utilization of juvenile *E. coioides***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组别 group | 0 g/kg | 0.1 g/kg | 0.3 g/kg | 0.5 g/kg | 0.7 g/kg | 1.0 g/kg |
| 末体重（g）final weight | 29.21±4.76a | 30.37±3.04b | 31.58±4.55c | 34.17±2.71d | 34.75±4.46de | 35.66±6.03e |
| 增重率（%）WGR | 142.7±6.0a | 153.2±4.2b | 162.9±5.3c | 184.5±3.4d | 189.2±6.4de | 195.6±8.8e |
| 存活率（%）SR | 90.0±5.0 | 93.3±7.6 | 95.0±5.0 | 96.7±2.9 | 100.0±0.0 | 98.3±2.9 |
| 饵料系数FCR | 1.62±0.11a | 1.50±0.12ab | 1.42±0.04abc | 1.33±0.04bc | 1.32±0.05bc | 1.28±0.04c |
| 蛋白质转化率ProDR（%） | 19.64±1.19a | 23.12±1.56a | 26.88±0.58b | 27.71±0.78b | 27.80±0.86b | 28.44±0.71b |
| 磷转化率PDR（%） | 40.17±3.73a | 40.93±4.85a | 59.61±8.56ab | 69.43±9.32b | 71.64±6.68b | 74.21±8.58b |

注：表中数据以平均值±标准误表示(n=3)；同行数值后不同上标英文字母表示差异显著(*P*< 0.05)

Notes: Data are presented as means ± SE (n=3); means values in same row with different superscript letters

are significantly different (*P*< 0.05)

**2.2 不同植酸酶添加量对斜带石斑鱼幼鱼体型等生理指标的影响**

表3为各组斜带石斑鱼在不同植酸酶添加量下的肥满度、肝体比和脏体比。结果显示，不同的植酸酶添加量对斜带石斑鱼的肥满度，脏体比和肝体比等生理指标没有显著影响（*P*> 0.05）。

**表3 不同植酸酶含量对斜带石斑鱼幼鱼表型性状的影响**

**Tab.3 Effects of dietary phytase content on biometric parameters of juvenile *E. coioides***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组别 group | 0 g/kg | 0.1 g/kg | 0.3 g/kg | 0.5 g/kg | 0.7 g/kg | 1.0 g/kg |
| 肥满度 CF | 2.46±0.11 | 2.56±0.09 | 2.51±0.13 | 2.57±0.05 | 2.54±0.04 | 2.58±0.08 |
| 脏体比VSI | 7.85±0.49 | 8.42±037 | 8.15±0.29 | 8.28±0.19 | 8.37±0.29 | 8.68±0.29 |
| 肝体比 HSI | 2.81±0.21 | 2.69±0.11 | 2.95±0.09 | 2.88±0.07 | 3.02±0.17 | 2.94±0.12 |

**2.3不同植酸酶添加量对斜带石斑鱼幼鱼体成分的影响**

表4 为各实验组的斜带石斑鱼在不同植酸酶添加量下主要体成分组成的数据。结果显示，植酸酶的添加量对鱼体水分没有显著影响；鱼体粗蛋白含量以及磷含量随着植酸酶添加量的增加而增长，添加0.3 g/kg及以上植酸酶的各组鱼体粗蛋白含量均显著高于对照组(*P*< 0.05)，添加0.5 g/kg以上植酸酶的各组鱼体磷含量均显著高于对照组(*P*< 0.05)；各组鱼体的粗脂肪含量随植酸酶添加量的增加变化规律不明显，其中添加0.5 g/kg植酸酶的鱼体粗脂肪含量显著高于其它各组 (*P*< 0.05)；各组鱼体的灰分含量没有显著差异（*P*> 0.05）。

表4不同植酸酶含量对斜带石斑鱼幼鱼体成分的影响

Tab.4 **Effects of dietary phytase content** on body content of juvenile ***E. coioides***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组别 group | 0 g/kg | 0.1 g/kg | 0.3 g/kg | 0.5 g/kg | 0.7 g/kg | 1.0 g/kg |
| 水分（%）moisture | 78.71±1.74 | 76.27±1.83 | 74.93±1. 89 | 75.03±1.28 | 75.23±0.79 | 74.89±1.19 |
| 粗蛋白（%）crude protein | 14.52±0.06a | 15.37±0.09a | 16.39±0.08b | 16.60±0.05b | 16.45±0.04b | 16.21±0.08b |
| 粗脂肪（%）crude fat | 3.72±0.16a | 4.10±028a | 3.98±0.31a | 5.62±0.79c | 4.57±0.19ab | 4.88±0.23b |
| 灰分（%）ash | 4.72±0.03 | 4.81±0.03 | 5.11±0.08 | 5.27±0.04 | 5.02±0.07 | 5.14±0.03 |
| 磷（干重%）phosphorus (dry weight %) | 3.04±0.21a | 3.09±0.12a | 3.12±0.15a | 3.69±0.09b | 3.68±0.12b | 3.76±0.13b |

注：表中数据以平均值±标准误表示(n=6)，同行数值后不同上标英文字母表示差异显著(*P*< 0.05)

Notes: Data are presented as means ± SE (n=6); means values in same row with different superscript letters

are significantly different (*P*< 0.05)

3 讨论

**3.1 植酸酶可以提高饲料中可被利用的磷含量，并改善鱼的生长性状**

余丰年和王道遵[17]对异育银鲫的研究表明：在饲料中添加500 U/kg的植酸酶可以分解60 %的植酸磷，添加1000 U/kg的植酸酶可以分解80％的植酸磷；Lawrence 等[18]在鲤鱼的饲料中添加1000 U/kg植酸酶，血清中磷含量可提高14％，粪磷含量降低了9％；Schaefer 和 Koppe[19]以鲤作为研究对象，添加1000 U/kg的植酸酶分别与添加9 g/kg和8.12 g/kg的磷酸二氢钙效果相当。曾虹等[20]报道，在豆粕含量为65％的饲料中添加1000 U/kg的中性植酸酶对鲤日增重的影响与添加8.5 - 12.8 g/kg的磷酸二氢钙相近。罗琳等[21]的研究结果显示，在豆粕含量为30.5％的饲料中用1000 U/kg和1500 U/kg的中性植酸酶替代了9 - 15 g/kg的磷酸二氢钙后，各试验组花鲈的生长与对照组相似。我们的研究结果显示随着饲料中植酸酶含量的增加，鱼体内磷含量占干体重比例由3.04%上升到3.76%，表明植酸酶可以提高饲料中可被利用磷的含量，从而提高鱼体内磷含量。

Zhou等[16]通过添加不同含量的磷酸二氢钙来研究磷对斜带石斑鱼的影响，经过8周的养殖，结果显示饵料中磷含量达到0.86 %为磷最适添加量，低于或超过0.86 %时鱼体的生长性状均会降低。磷含量为0.86%的实验组分别是磷含量为0.68%和1.21%的实验组相对增重率的1.61倍和1.68倍。Ye等[15]对斜带石斑鱼钙磷的需求量的实验结果与此相似。本研究的饵料基础配方中无机磷含量为0.6%，而总磷含量为1.11%，即有大约含有0.5%左右的植酸磷，在没添加植酸酶的情况下，只有少量无机磷可被利用，达不到石斑鱼对磷的最佳需求量，但随着植酸酶含量的增加，越来越多的植酸磷被转化为可被利用的无机磷，逐渐达到石斑鱼对磷的最佳需求量，如果所有的植酸磷都能够被释放，可利磷含量将达到为1.11%，若超过石斑鱼的最适磷含量，生长效果会降低。可我们的研究中添加1 g/kg的植酸酶的生长效果最好，可能有如下三点原因（1）植酸酶可能不会把所有的植酸磷转化成可利用的无机磷；（2）对于斜带石斑鱼的幼鱼，饵料中1.11%磷含量可能没有超过其最适含量；（3）植酸酶可以释放被植酸螯合的蛋白及钙、铁、锰、锌等金属离子，从而增加鱼体需求的营养物质水平，随着植酸酶添加量的增加，这种促生长效果会越发明显。因此，植酸酶的作用直接体现在将植酸磷转化成可被利用的无机磷，间接体现在可以释放被植酸螯合的金属离子和蛋白质等营养物质，两者都可以改善养殖鱼类的生长性能。

**3.2 植酸酶在斜带石斑鱼饲料中的最适添加量**

阮成旭等[16]研究表明，在以70%的鱼粉为蛋白源的饲料中添加200 U/kg植酸酶，相比对照组，斜带石斑鱼的相对增重率提高了14.1%，饵料系数下降了0.22；而用植物性蛋白源替代20%鱼粉后，添加600 U/kg的植酸酶，相比对照组，斜带石斑鱼的相对增重率提高了38.9%，饵料系数下降了3.13，因此在饲料配方中不同的蛋白源的含量会影响植酸酶的作用效果。本研究表明在含有20.5%的豆粕的饲料中，植酸酶在0-1 g/kg添加范围内，添加量越多，效果越好，但是添加量超过0.5 g/kg后效果的提升度已经开始下降，并且在植酸酶含量超过0.5 g/kg的实验组中，尽管饵料系数仍在逐渐降低，但与含量为0.5 g/kg的实验组相比已经没有显著差异（*P*> 0.05）。由于植酸酶在天然材料中的含量低，生产成本昂贵，并且植酸酶的抗逆性，尤其是热稳定性差，在饲料高温制粒的过程中酶活保留率低，因此植酸酶添加量越多饲料成本越高，相对效益不一定会更好。广东溢多利生物科技股份有限公司针对水产动物推出的植酸酶，在水产沉性饲料中酶活保留率可达到60%以上。根据本研究中超量添加植酸酶的效果并考虑植酸酶的成本，我们认为每吨斜带石斑鱼饲料中添加植酸酶400 - 600 g最合适。

**参考文献**

[1] Elangovan A，Shim K F．The influence of replacing fishmeal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb *Barbodes altus* [J]. Aquaculture, 2000, 189: 133 - 144.

[2] Francis G，Makkar H P S，Becker K．Anti-nutritional factors present in plant derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish[J]. Aquaculture，2001，199：197 - 227．

[3] 于旭华．植酸的抗营养特性和植酸酶的应用. 中国饲料，2003，9：16-18．

[4] Mahgoub S E O，Elhag S A．Effect of milling，soaking，malting，heat-treatment and fermentation on phytate level of four Sudanese sorghum cultivars [J]. Food Chemistry，1998，61：77 - 80.

[5] National Research Council. Nutrient requirement of fish [M]. Washington DC: National Academy Press， 1993: 46 - 51；71 - 78.

[6] Ketola H G，Harland B F．Influence of phosphorus in rainbow trout diets on phosphorus discharges in effluent water [J]．Transactions of the American Fisheries Society，1993，122：1120 - 1126．

[7] Liu L Y，Zhou Y，Wu J J，*et al*. Supplemental graded levels of neutral phytase using pretreatment and spraying methods in the diet of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [J]．Aquaculture Research，2014，10（1）：111 - 145．

[8] Storebakken T, Shearer K D, Roem A J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal soy-protein concentrate and phytase treated soy protein concentrat based diets to Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 1998, 161: 365 - 379.

[9] 孟祥科，孙阳，屈菲，等. 植酸酶对红鳍东方纯幼鱼生长、消化酶及消化率的影响. 大连海洋大学学报，2013，28（4）：323 - 328.

[10] Liu L W，Luo Y L，Hou H L，*et al*．Effects of Neutral Phytase Supplementation on Biochemical Parametersin Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) and Gibel Carp(*Carassius auratus gibelio*) Fed Different Content of Monocalcium Phosphate [J]. Journal of the World Aquaculture Society，2013，44（3）：56 - 65.

[11] 吕林兰，王爱民，殷玉岗等．植酸酶对异育银鲫鱼种生长及内源酶的影响．粮食与饲料工业，2007，12（3）：36 - 37.

[12] 陈京华，麦康森. 不同添加方式植酸酶处理豆粕对牙鲆生长和饲料利用率的影响. 水生生物学报，2010，34（3）：81-88.

[13] Zhou Q C，Liu Y J，Mai K S，*et al*. Effect of Dietary Phosphorus Content on Growth, Body Composition, Muscle and Bone Mineral Concentrations for Orange-Spotted Grouper *Epinephebs coioides* Reared in Floating Cages [J]. Journal of the World Aquaculture Society，2004，35（4）：427 - 435.

[14] Ye C X，Liu Y J，Tian L X，*et al*. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper *Epinephelus coioides* [J]. Aquaculture，2006，255：263 - 271.

[15] 叶超霞. 斜带石斑鱼的矿物质营养研究. 中山大学博士论文，2008.

[16] 阮成旭，袁重桂，石祥柱. 植酸酶在点带石斑鱼配合饲料中的应用. 福建水产，2005，3（1）：14-15.

[17] 余丰年，王道遵. 植酸酶对异育银鲫生长及饲料中磷利用率的影响．中国水产科学，2000，7（2）：106 - 109．

[18] Lawrence C. The husbandry of zebrafish (Danio rerio)：a review [J]．Aquaculture，2007，269：1 - 20．

[19] Schafer A，Koppe W M．Effects of amicrobial phytase on the utilization of native phosphorus by carp in a diet based on soybean meal[J]．Water Science and Technology，1995，31(10)：149-155．

[20] 曾虹，姚斌，任泽林．中性植酸酶NPHYA的酶学性质及其在鲤鱼饲料中的应用效果．水生生物学报，2002，26（增刊）：67 - 74．

[21] 罗琳，吴秀峰，薛敏，等．中性植酸酶在豆粕型饲料中替代磷酸二氢钙对花鲈生长及磷代谢的影响．动物营养学报，2007，19（1）：33 - 39．