

文章编号:1008-830X(2005)04-0324-06

# 木聚糖酶和复合酶制剂 PS 对尼罗罗非鱼 生长性能、消化率以及肌肉营养成分的影响

钟国防,周洪琪

(上海水产大学生命科学与技术学院,上海 200090)

**摘要:**2003 年 8 月 10 到 10 月 10 日,在上海水产大学南汇养殖场室内水泥池内采用单因子浓度梯度法,以基础饲料为对照组,分别以 0.05%、0.10%、0.15% 剂量的木聚糖酶或复合酶制剂 PS 添加到基础饲料中,饲养尼罗罗非鱼(32.65±4.16 g),60 d 后测定鱼体的生长性能指标、蛋白质消化率和鱼体背肌的基本营养成分。结果表明:(1)随着木聚糖酶添加浓度的增加,尼罗罗非鱼的生长性能、蛋白质消化率先上升后略有下降,0.1% 时达到最大值;(2)随着复合酶制剂 PS 添加浓度的增加,尼罗罗非鱼的生长性能、蛋白质消化率呈上升趋势,但当添加量达 0.15% 时上升缓慢。(3)饲料中添加木聚糖酶或复合酶制剂 PS 对鱼体肌肉营养成分没有影响。因此,饲料中添加木聚糖酶和复合酶制剂 PS 能显著促进尼罗罗非鱼的生长和营养物质的利用,但并未改变鱼体肌肉的营养组成。木聚糖酶或复合酶制剂 PS 在尼罗罗非鱼饲料中的的适宜添加量是 0.1% 或 0.15%。

**关键词:**尼罗罗非鱼;酶制剂;生长性能;消化率;营养成分

**中图分类号:**A965.125\*2

**文献标识码:**A

## The Effects of Xylanase and Multi-enzyme PS on the Production Performance, Digestibility and the Nutrient Ingredients of Muscles of *Oreochromis niloticus*

ZHONG Guo-fang, ZHOU Hong-qi

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:**This study was conducted to evaluate the effect of xylanase and Multi-enzyme PS on *Oreochromis niloticus*. *Oreochromis niloticus* (32.65±4.16 g) were fed the basal diet supplemented with 0.05%, 0.10%, 0.15% xylanase and 0.05%, 0.10%, 0.15% Multi-enzyme PS, respectively. The trial lasted 60 days. Fish fed the diet containing xylanase from 0.05% to 0.15%, the growth performance, the protein digestibility and nutrient utilization have been surveyed. The results showed that they fluctuated with ascending of xylanase, firstly upswing and then descended and 0.1% was the optimal. With the density of the Multi-enzyme PS increasing, the results rose and when the density got to 0.15%, the effect was not significant. In conclusion, the addition of xylanase or Multi-enzyme PS had significant positive effects on growth performance, the protein digestibility and nutrient utilization, but had no effect on fish muscle composition of *Oreochromis niloticus*. Inclusion of xylanase and Multi-enzyme from 0.10% or 0.15% might be sufficient for optimal

**收稿日期:**2005-08-20

**基金项目:**上海市水产养殖重点学科项目(2002156)

**作者简介:**钟国防(1974-),男,湖南临武人,硕士,助理研究员,研究方向:鱼类营养与饲料科学。

performance of *Oreochromis niloticus*.

**Key words:** *Oreochromis niloticus*; enzyme; production performance; digestibility; nutrient ingredients

酶是活细胞产生的一类具有特殊催化能力的蛋白质,是促进生化反应的高效物质。从20世纪80年代以来酶制剂已成为畜禽养殖业应用的热点。一些研究者报道了葡聚糖酶<sup>[1]</sup>、木聚糖酶<sup>[2]</sup>对肉鸡的影响以及β-甘露糖酶对肉鸡和蛋鸡的影响<sup>[3,4]</sup>,这些酶能显著提高单胃动物的饲料转化率和营养物质的利用率。但酶制剂在水产上的应用报道还不多,仅见于中华鳖 *Trionyx sinensis*<sup>[16]</sup>、对虾 *Shrimp*<sup>[17]</sup>、鲤鱼 *Cyprinus carpio*<sup>[7,11]</sup>、鲫鱼 *Carassius auratus*<sup>[9,10]</sup>、黄颡鱼 *Pseudobagrus fulvidraco*<sup>[12]</sup>等少数品种。鱼类基础日粮中的谷物及饼粕类饲料含有多种抗营养因子降低饲料利用率,本试验在基础饲料中分别添加木聚糖酶和复合酶制剂 PS,研究其对尼罗罗非鱼生长的影响,从营养物质的消化吸收来探讨2种酶制剂的作用机理,为其在尼罗罗非鱼饲料中的应用提供依据。

## 1.1 实验材料

### 1.1.1 试验鱼

本试验尼罗罗非鱼来自上海宝山区水产推广站试验场,先暂养在上海渔业机械研究所室内水泥池中20 d,2003年7月30日运至上海水产大学南汇养殖场。

### 1.1.2 实验酶制剂

本试验采用的2种酶制剂是木聚糖酶和复合酶制剂 PS。木聚糖酶是单酶,酶活力为18 000 nmol/sg,来自河南师范大学,复合酶制剂 PS 主要由α-淀粉酶、纤维素分解酶和蛋白酶3种酶组成(α-淀粉酶>200 BAU/g、纤维素分解酶>25 CMCV/g、蛋白酶>2 400 HUT/g),由上海润通生物技术有限公司提供。

### 1.1.3 实验设计

本实验采用单因子浓度梯度法,在基础饲料(表1)中分别添加0.05%,0.10%,0.15%的复合酶 PS 制成 A、B、C3种实验饲料,基础饲料中分别添加0.05%,0.10%,0.15%的木聚糖酶制成 D、E、F 3种实验饲料。以基础饲料为对照组的饲料,实验组和对照组各设3个平行组。

### 1.1.4 试验饲料

按实验设计,在基础饲料中分别添加不同剂量的木聚糖酶和复合酶 PS。用逐级扩大法将酶制剂和各种原料混合,在消化率实验中各组饲料中添加0.35%的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,用逐级扩大法将饲料混匀,加工成直径为1.5 mm的颗粒,晒干备用。饲料主要营养成分含量见表1~2。

表1 基础饲料主要成分含量

Tab.1 Main Composition of the basic diet

组分	含量/%	组分	含量/%
大豆粕	34	面粉	6
次粉	27	大豆油	3.6
鱼粉	15	维生素	1
肉粉	10	磷酸二氢钙	1.7
氯化胆碱	0.5	蛋氨酸	0.18
混合无机盐	1		

表2 试验饲料营养物质的含量

Tab.2 Nutrition composition of the experimental diets

饲料	复合酶 制剂 PS/%	木聚糖酶/%	蛋白质/%	脂肪/%	水分/%	灰分/%
G(对照)	0.00	0.00	37.265±0.169	6.000±0.014	11.355±0.163	8.360±0.028
A	0.05		36.260±0.487	5.895±0.035	11.380±0.481	8.580±0.042
B	0.10		37.485±0.516	6.215±0.403	10.935±0.106	8.625±0.021
C	0.15		37.375±0.205	6.335±0.077	10.925±0.233	8.940±0.382
D		0.05	37.050±0.042	6.305±0.035	10.940±0.071	8.470±0.297
E		0.10	36.560±0.622	6.400±0.056	11.420±0.523	8.595±0.262
F		0.15	37.055±0.035	6.710±0.296	10.955±0.021	8.700±0.127

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 生长性能试验

将鱼饲养在规格为 4 m×2 m×1.5 m 的网箱内,水深为 70 cm,每个网箱内放鱼 16 尾。实验开始前用基础饲料驯养 10 d,8 月 10 日开始投实验饲料,日投喂量为实验鱼体重的 2%~3%,每天定时投饵 2 次(9:00、17:00)。根据摄食情况适当调整投饵量。每次投饵后,观察摄食情况,1 h 后用小捞网取出残饵,晾干后称重。养殖期间水温为 23.0℃~29.7℃。试验时间为 2003 年 8 月 10 日至 2003 年 10 月 10 日。

### 1.2.2 消化吸收率试验

在上海水产大学南汇养殖场,将试验尼罗罗非鱼饲养在 90 cm×50 cm×40 cm 的周转箱中。每个周转箱中放鱼 5 尾,充气,每天投饵 2 次,使之饱食。为保证水质清新,每天用虹吸法排污并换水 1/3~1/4,保持水中氧大于 5 mg/L,NH<sub>3</sub>-N 小于 0.5 mg/L,pH 7.0~7.5,水温为 23~28℃。各组水质基本上保持一致。

### 1.2.3 收粪

每天在投饵后 1 h 收粪。每 5 d 换一批鱼,共做 4 个重复。收集好的粪便先在太阳下晒干,然后放置恒温干燥箱中(80℃)烘干,保存于干燥器中备用。

### 1.2.4 样品的处理

饲养 60 d 后每组随机取 8 尾鱼,将鱼去鳞、去皮,取背部骨肉切成小块,装入保鲜袋内,-18℃保存备用。

## 1.3 数据处理

### 1.3.1 生长试验测定

在试验开始及试验结束的前 1 d 停止投饵,将鱼饥饿 1 d,然后用电子天平称鱼体重(精确到 0.01 g),计算相对增重率、饲料效率、蛋白质效率。

相对增重率(%)=[(试验末鱼体重-试验初鱼体重)/试验初鱼体重]×100

饲料系数=(投饵量-残饵量)/(试验末鱼总体重+试验中死亡鱼体重-试验初鱼体重)

蛋白质效率=[(W<sub>2</sub>-W<sub>1</sub>)/P×F]×100

成活率=实验后鱼尾数/实验前鱼尾数

其中 W<sub>2</sub> 为试验末鱼总体重(g),W<sub>1</sub> 为试验初鱼总体重(g),P 为饲料中的蛋白质含量(%),F 为摄取的饲料总重量(g)。

### 1.3.2 消化率试验测定

饲料和粪便中的蛋白质用凯氏定氮法。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 用湿式灰化定量法。

计算公式:饲料总消化率:D%=(1-B/B')×100

蛋白质消化率:D%=[1-(A'/A)×(B/B')]×100

其中 A、A' 分别为饲料和粪便中的粗蛋白含量。B、B' 分别为饲料和粪便中的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量。

### 1.3.3 肌肉营养成分测定

水分按重量法测定。

用 KDN-04A 型定氮仪采用凯氏微量定氮法测定粗蛋白含量。

用索氏抽提法测定肌肉的粗脂肪含量。

用高温灼烧法测定粗灰分。

### 1.3.4 数据分析

数据处理采用 SAS 分析软件进行单因子方差分析 (One-way ANOVA) 和 Duncan's Multiple Range Test。

## 2 结果

### 2.1 复合酶制剂 PS 对尼罗罗非鱼生长性能的影响

对照组的相对增重率为 153.75%(表 3),0.10%、0.15% 复合酶 PS 组的增重率比对照组分别提高了

46.78 %、54.97 % ( $P < 0.05$ ), 而 0.05 % 复合酶 PS 组的增重率与对照组没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。0.10 %、0.15 % 复合酶 PS 组的饲料系数分别比对照组下降了 30.99 %、32.16 % ( $P < 0.05$ ), 大大地提高了饲料的利用率。0.05 % 复合酶 PS 组的饲料系数比对照组下降了 14.62 % ( $P < 0.05$ ), 亦提高了饲料的利用率。从蛋白质效率来看, 0.10 %、0.15 % 复合酶 PS 饲料组的蛋白质效率分别比对照组提高了 43.97 %、47.79 % ( $P < 0.05$ ), 0.05 % 复合酶 PS 试验组的蛋白质效率比对照组提高了 19.27 % ( $P < 0.05$ )。

表 3 尼罗罗非鱼的生长性能与饲料中复合酶制剂 PS 添加量的关系

Tab.3 Growth performance of *Oreochromis niloticus* fed with the diets supplemented with Multi-enzyme PS

组别	复合酶制剂 /PS%	初始尾重/g	试验末尾重/g	增重率/%	饲料系数	蛋白质效率
G	0.00	32.65±4.16	82.31±7.13	153.75±25.28 <sup>b</sup>	1.71±0.17 <sup>a</sup>	1.58±0.16 <sup>c</sup>
A	0.05	29.89±3.61	90.00±8.66	201.61±6.95 <sup>a<sup>b</sup></sup>	1.46±0.06 <sup>b</sup>	1.89±0.10 <sup>b</sup>
B	0.10	32.75±3.48	105.85±11.10	225.68±47.59 <sup>a</sup>	1.18±0.09 <sup>c</sup>	2.28±0.16 <sup>a</sup>
C	0.15	31.96±5.51	106.85±10.98	238.27±41.56 <sup>a</sup>	1.16±0.08 <sup>c</sup>	2.31±0.15 <sup>a</sup>

注:表中同列小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 木聚糖酶对尼罗罗非鱼生长性能的影响

0.10 % 木聚糖酶组的增重率比对照提高了 53.30 %、显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ) (表 4); 而 0.05 %、0.15 % 木聚糖酶组的增重率虽然分别比对照组提高了 30.40 %、17.30 %, 但与对照组没有显著差异。从饲料利用上来看, 0.05 %、0.10 %、0.15 % 木聚糖酶组的饲料系数分别比对照组下降了 27.49 %、31.58 %、18.13 %, 显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 大大地提高了饲料的利用率。从蛋白质效率来看, 0.05 %、0.10 %、0.15 % 木聚糖酶组的蛋白质效率比对照组分别提高了 37.40 %、47.38 % 和 22.30 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

表 4 尼罗罗非鱼的生长性能与饲料中木聚糖酶添加量的关系

Tab.4 Growth performance of *Oreochromis niloticus* fed with the diets supplemented with xylanase

组别	木聚糖酶	初始尾重/g	试验末尾重/g	增重率/%	饲料系数	蛋白质效率
G	0.00 %	32.65±4.16	82.31±7.13	153.75±25.28 <sup>b</sup>	1.71±0.17 <sup>a</sup>	1.58±0.16 <sup>c</sup>
D	0.05 %	31.66±3.65	94.75±5.40	200.52±17.11 <sup>a<sup>b</sup></sup>	1.24±0.05 <sup>b<sup>c</sup></sup>	2.18±0.08 <sup>a</sup>
E	0.10 %	32.08±3.00	107.00±1.14	235.44 ±31.19 <sup>a</sup>	1.17±0.06 <sup>c</sup>	2.33±0.11 <sup>a</sup>
F	0.15 %	37.33±2.12	104.60±9.79	180.34±23.37 <sup>b</sup>	1.40±0.01 <sup>b</sup>	1.94±0.13 <sup>b</sup>

注:表中同列小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 木聚糖酶对尼罗罗非鱼蛋白质消化率和总消化率的影响

对照组的蛋白质消化率和总消化率分别为 77.07 % 和 67.11 % (表 5)。饲料中添加 0.05 %、0.10 % 和 0.15 % 的木聚糖酶后, 蛋白质消化率比对照组分别提高了 3.10 %、13.53 % 和 7.16 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 以 0.10 % 木聚糖酶添加量的试验组最好。总消化率也是 0.10 % 添加组效果最佳, 比对照组提高了 17.69 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 0.05 % 的木聚糖酶添加组总消化率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 而 0.15 % 添加组总消化率与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.4 复合酶制剂 PS 对尼罗罗非鱼蛋白质消化率和总消化率的影响

添加复合酶制剂 PS 的实验结果 (表 5) 表明, 蛋白质消化率以 0.15 % 添加量的试验组最好, 比对照组提高了 7.19 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 0.05 %、0.10 % 添加组分别比对照组提高了 3.27 % 和 5.98 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。0.10 % 和 0.15 % 复合酶制剂组的总消化率分别比对照组提高了 6.29 % 和 5.44 %, 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 而 0.05 % 添加组与对照组没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 5 消化率与不同酶制剂及其添加量的关系

Tab.5 Digestibility of *Oreochromis niloticus* fed with different dietary enzyme

木聚糖酶			复合酶制剂 PS		
添加量/%	蛋白质消化率	总消化率	添加量/%	蛋白质消化率	总消化率
0.00	77.07±2.12 <sup>d</sup>	67.11±2.37 <sup>c</sup>	0.00	77.07±2.12 <sup>c</sup>	67.11±2.37 <sup>b</sup>
0.05	79.46±0.74 <sup>c</sup>	68.97±0.72 <sup>b</sup>	0.05	79.59±1.12 <sup>b</sup>	67.19±1.31 <sup>b</sup>
0.10	87.50±0.42 <sup>a</sup>	78.98±0.43 <sup>a</sup>	0.10	81.68±1.75 <sup>a</sup>	71.33±3.95 <sup>a</sup>
0.15	82.59±0.70 <sup>b</sup>	68.63±0.82 <sup>bc</sup>	0.15	82.61±0.67 <sup>a</sup>	70.76±1.17 <sup>a</sup>

注:表中同列小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ ).

### 2.5 肌肉成分结果

从表 6 可知,尼罗罗非鱼背肌的水分为 82.74%,蛋白质、脂肪和灰分含量分别为背肌干重的 87.12%、3.28%和 4.424%。方差分析表明,添加酶制剂后对尼罗罗非鱼背肌的营养成分没有显著性的差异( $P > 0.05$ )。

表 6 木聚糖酶和复合酶 PS 对尼罗罗非鱼肌肉营养成分的影响

Tab.6 Effects of xylanase and Multi-enzyme on the composition of muscle in *Oreochromis niloticus*

组别	复合酶制剂 PS/%	木聚糖酶/%	水分/%	干物质/%		
				蛋白质	脂肪	灰分
G (对照)	0.00	0.00	82.74±2.30	87.12±3.61	3.28±0.25	4.42±0.43
A	0.05		81.51±1.48	87.40±1.39	3.68±0.55	4.39±0.29
B	0.10		80.08±1.17	89.17±1.32	3.21±0.05	4.62±0.44
C	0.15		82.34±1.37	86.48±2.54	3.53±0.46	4.28±0.08
D		0.05	81.88±2.08	87.99±1.70	3.46±0.51	4.36±0.21
E		0.10	83.90±2.75	89.97±2.16	3.12±0.17	4.38±0.25
F		0.15	81.22±1.52	85.97±1.23	3.37±0.36	4.99±0.18

### 3 讨论

木聚糖酶类是专一降解木聚糖的一种复合酶,在畜禽中的研究表明,木聚糖酶能够降低肠道内容物的粘度,发挥促生长作用和提高饲料转化效率的作用<sup>[5,6]</sup>。木聚糖酶在水产养殖中的应用还未见有报道,本实验采用的木聚糖酶是属于黑曲霉产木聚糖酶,酶活力为 18 000 nmol/sg。本实验的基础饲料中大豆粕、次粉含量较多,含有非淀粉多糖,而鱼类的消化道不能分泌木聚糖酶,所以补充外源木聚糖酶能有效降解木聚糖,降低碳水化合物的粘稠度、降低食糜的胶化作用,从而降低肠道内容物的粘度,改善营养物质的消化率和吸收率,改善饲料的能值和适口性,提高增重率和饲料利用率,这与 Daskiran 等<sup>[3]</sup>、Leslie 等<sup>[1]</sup>、Wu 等<sup>[4]</sup>报道的葡萄糖酶和  $\beta$ -甘露糖酶能提高单胃动物的饲料转化率相似。

复合酶制剂是一种含有生物活性的酶,能全面促进饲料中营养成分的消化分解,解除日粮中的多种抗营养因子,补充内源性酶的不足,提高动物对营养成分的消化吸收,提高饲料效率<sup>[7,8]</sup>。本试验复合酶 PS 主要含有淀粉酶、纤维素酶和蛋白酶,在尼罗罗非鱼的饲料中适量添加,能有效降解饲料原料中的纤维素、半纤维素、果胶、芥子苷等抗营养物质和难以消化的物质,使之转化为消化道能吸收的营养物质,提高饲料效率和有助于改善其他主要营养物质的消化吸收,起到了间接营养的作用。

0.10%木聚糖酶或复合酶制剂 PS 是尼罗罗非鱼饲料的适宜添加量。在一定的范围内随酶制剂添加量的增加尼罗罗非鱼的生长加快,过量添加后生长速度不能够进一步增加,酶制剂的最佳添加水平因鱼的种

类和酶制剂的种类而异。异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* 的酶制剂适宜添加量为 0.75 %<sup>[10]</sup>, 彭泽鲫 *Carassius auratus Pengze* 的酶制剂适宜添加量为 0.2 %<sup>[9]</sup>, 鲤鱼的酶制剂适宜添加量为 550 g/t<sup>[11]</sup>, 与本试验的结果适宜添加量 0.10 % 有一定差异, 这除了各自试验所用的酶不同而造成的差异外, 同时也说明不同鱼种对外源性酶的需求量是不一样的。

本试验研究酶制剂作为一种添加剂对消化率的影响, 利用了外源酶来破坏植物细胞的细胞壁加快蛋白质的释放速度和提高消化酶活力促进蛋白质的酶解速度来提高消化率。肉食性鱼类的消化率变幅为 68 %~99 %, 植食性和碎食性鱼类的消化率要相对低一些, 一般在 22 %~87 % 之间<sup>[9]</sup>, 其主要原因在于植物性食物中纤维素和灰分的含量高。本试验的结果可知, 添加酶制剂后, 蛋白质消化率明显提高, 而且都在上述范围内。在影响鱼类消化率的诸多因素中, 非淀粉多糖(NSP)是存在于饲料中的主要抗营养因子。其中阿拉伯木聚糖和  $\beta$ -葡聚糖一般占 NSP 的 30 %。NSP 不被消化道中的酶所降解, 遇水形成胶态溶液, 使食糜粘度升高, 阻碍消化酶与营养成分的充分混合, 从而影响了营养物质的吸收。在饲料中添加木聚糖酶后, 可大大降低这些影响营养物质吸收的抗营养作用, 提高饲料的消化率。

在饲养环境十分相近的条件下, 同一种鱼类, 鱼体背部肌肉的营养成分是比较稳定的。本实验结果表明, 各组间蛋白质含量和脂肪含量皆没有显著性差异 ( $P>0.05$ ), 因此, 饲料中添加酶制剂对尼罗罗非鱼的肌肉常规的营养成分没有不良影响。

因此, 在罗非鱼饲料中添加木聚糖酶或者复合酶制剂 PS 能显著促进尼罗罗非鱼的生长和饲料营养物质的利用, 但是并不改变鱼体肌肉营养成分。0.10 %~0.15 % 的木聚糖酶或复合酶制剂 PS 添加量就能满足尼罗罗非鱼的最佳生长。

#### 参考文献:

- [1] Leslie M A, Moran E T, Bedford M R. The effect of phytase and glucanase supplementation to corn soy diets on AME[J]. International Poultry Scientific Forum Abstract, 2005,16.
- [2] Ponte P I P, Ferreira L M A, Soares M A C, et al. Use of cellulases and xylanases to supplement diets containing alfalfa for broiler chicks: effects on bird performance and skin color[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2004,13:412-420.
- [3] Daskiran M, Teeter R G, Fodge D, et al. An evaluation of endo- $\beta$ -D-mannanase (Hemicell) effects on broiler performance and energy use in diets varying in  $\beta$ -mannan content[J]. Journal of Poultry Science, 2004,83:662-668.
- [4] Wu G, Bryant M M, Voitle R A, et al. Effects of  $\beta$ -mannanase in corn-soy diets on commercial leghorns in second-cycle hens [J]. Journal of Poultry Science, 2005,84:894-897.
- [5] 王海英, 冯于明, 袁建敏. 小麦日粮中添加木聚糖酶对肉仔鸡生产性能的影响[J]. 饲料研究, 2003,12:1-5.
- [6] Inborr J. Practical application of feed Enzyme[J]. Feed compounder, 1993,(10):41-49.
- [7] 乔秀亭, 白东清, 郭立, 等. 复合酶制剂对鲤鱼消化酶活性的影响[J]. 中国水产, 2002,9:67-77.
- [8] 赵林果, 王传槐, 叶汉玲. 复合酶制剂解除植物性饲料的研究[J]. 饲料研究, 2001, 1:2-5.
- [9] 陈应华. 复合酶制剂对彭泽鲫生长性能的影响试验[J]. 饲料工业, 2001, 22(3):27-28.
- [10] 刘文斌, 周岩民. 饲料中添加酶制剂对异育银鲫消化和增重的影响[J]. 南京农业大学学报, 1999,22(3):57-60.
- [11] 周小秋, 王若军. 复合酶制剂在鲤鱼饲料中适宜添加量研究[J]. 饲料广角, 2001, 12:24-25.
- [12] 韩庆, 夏维福, 罗玉双, 等. 酶制剂对黄颡鱼生产性能的影响[J]. 水产学杂志, 2002, 15(1):84-87.
- [13] 余丰年, 王道尊. 纤维素酶对团头鲂生长及饲料利用率的影响[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(1):90-92.
- [14] 彭玉麟, 冯于明, 袁建敏. 小麦日粮中木聚糖酶和植酸酶对肉仔鸡生长和养分消化率的影响[J]. 动物营养学报, 2003, 15(3):48-52.
- [15] Cui Y, Liu S, Wang S. Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* val. fed plant and animal diets [J]. Fish Biol, 1992,41:231-238.
- [16] 刘文斌, 周岩民. 中华鳖饲料中添加复合酶制剂的效果影响[J]. 饲料工业, 1997, 18(11):38-39.
- [17] 仲军, 王健鹏, 马梦瑞, 等. 用酶制剂在对虾饲料中的应用研究[J]. 齐鲁渔业, 1994, 11(3):30-32.