

文章编号: 1674 - 5566(2011)06 - 0845 - 08

## 饲料中添加植酸酶对草鱼生长、体组成及各组织磷含量的影响

马恒甲<sup>1,2</sup>, 叶金云<sup>1</sup>, 郭建林<sup>3</sup>, 王友慧<sup>3</sup>, 沈斌乾<sup>3</sup>, 陈建明<sup>3</sup>, 潘 茜<sup>3</sup>

(1. 湖州师范学院 生命科学学院, 浙江 湖州 313000; 2. 大连海洋大学 水产与生命学院, 辽宁 大连 116023; 3. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

**摘要:** 选用初重为(39.68 ± 3.05) g 的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) 幼鱼作为试验对象, 在全植物蛋白基础饲料中添加植酸酶, 设5种不同的植酸酶添加水平(500 U/kg、750 U/kg、1 000 U/kg、1 250 U/kg、2 500 U/kg), 另设2个对照组, 对照组1: 全植物蛋白基础饲料中只添加1.5%的无机磷; 对照组2: 全植物蛋白基础饲料不添加植酸酶和无机磷, 通过60 d的试验, 探讨和研究植酸酶对草鱼生长、体组成及各组织磷含量的影响。结果表明, 对照组1鱼体的特定生长率最大, 饲料系数显著低于其它各组( $P < 0.05$ ); 与对照组2相比较, 全植物蛋白饲料中添加植酸酶后, 当植酸酶添加水平大于1 000 U/kg时, 草鱼的饲料系数显著降低、蛋白质效率得到显著提高; 植酸酶对草鱼的形体指标没有显著影响; 当植酸酶添加水平大于1 000 U/kg时鱼体粗脂肪含量有所降低; 当植酸酶添加水平为1 000 U/kg时, 其肌肉粗脂肪含量显著提高; 添加植酸酶后鱼体、肌肉和脊椎骨中的磷含量有一定提高, 且当植酸酶添加水平为1 250 U/kg时, 肌肉和脊椎骨中的磷含量显著提高。结果表明, 当植酸酶添加水平在1 000 U/kg ~ 1250 U/kg时, 与对照组2相比较, 全植物蛋白饲料中添加植酸酶可提高草鱼的特定生长率和蛋白质效率、降低饲料系数, 并显著提高草鱼磷的积累。若欲减少无机磷添加量, 建议植酸酶添加水平为1 000 U/kg ~ 1 250 U/kg。

**研究亮点:** 试验以全植物蛋白饲料为基础, 不添加鱼粉。植物性饲料原料中含有大量植酸磷, 试验设一个正对照和一个负对照。正对照添加有无机磷, 负对照无机磷与植酸酶, 试验组添加不同量植酸酶。研究添加植酸酶后草鱼的生长、体组成、组织磷含量等与正负对照之间进行对比, 从而确定出植酸酶对草鱼生长、磷积累等的影响。通过比较得出植酸酶与添加无机磷组及不添加无机磷和植酸酶组是否有差异。最终得出草鱼饲料中植酸酶的添加量, 以利于节约无机磷, 或彻底替代无机磷。

**关键词:** 草鱼; 植酸酶; 生长; 体成分; 磷含量

**中图分类号:** S 963.71

**文献标志码:** A

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) 属鲤形目, 鲤科, 雅罗鱼亚科, 草鱼属, 是我国重要的淡水鱼类之一, 其饲料蛋白源主要为植物性蛋白源<sup>[1]</sup>。近几年, 由于鱼粉供应不足, 价格不断上涨, 人们广泛研究用廉价的植物蛋白来替代鱼粉作为蛋白源, 但植物中的磷主要以植酸及其盐的形式存在<sup>[2]</sup>, 植酸(phytic acid) 化学名称是环己六醇六磷酸酯, 分子式为  $C_6H_{18}O_{24}P_6$ , 分子量为 660.08, 是一种黄色液体, 呈强酸性, 易溶于水, 其化学结构决定了它对其它离子有很强的络合性, 能够与

营养物质、无机盐等形成络合物从而阻碍鱼类对营养物质的吸收和利用<sup>[3]</sup>, 是饲料中重要的抗营养因子。

植酸酶(phytase) 属磷酸单酯水解酶, 可将植酸分解为可利用的无机磷酸盐和肌醇<sup>[4]</sup>, 有研究表明植酸酶能够提高鱼类的生长性能、植酸磷和矿物质的利用率, 同时提高蛋白质的消化率<sup>[5]</sup>。但鱼类消化系统内缺乏内源性植酸酶<sup>[6]</sup>, 使其对植物饲料源中的营养物质利用率降低, 大量有机磷排入养殖水体, 并导致养殖环境富营养化, 所

收稿日期: 2010-11-23 修回日期: 2011-07-03

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-49-20); 浙江省重大科技专项(2010C02001); 浙江省教育厅重大项目(ZD2009009)

作者简介: 马恒甲(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: hengjiam2003@hotmail.com

通讯作者: 叶金云, E-mail: ziff2006@163.com

以人们广泛研究植酸酶在饲料中的应用。

本试验通过在全植物蛋白饲料中添加酸性植酸酶,研究和探讨植酸酶对草鱼生长、体组成及各组织中磷含量的影响,旨在为草鱼无鱼粉环保饲料配方和草鱼环境友好型养殖技术提供一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验饲料

试验共设5个试验组:分别在全植物蛋白基础饲料中添加500 U/kg(S1)、750 U/kg(S2)、1 000 U/kg(S3)、1 250 U/kg(S4)、2 500 U/kg(S5)的植酸酶,2个对照组,对照组1(D1):全植物蛋白基础饲料中只添加无机磷 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;对照组2(D2):全植物蛋白基础饲料中不添加植酸酶和无机磷,饲料配方及营养成分(干物

质)含量见表1、2。

### 1.2 试验鱼和饲养管理

试验鱼采用健康的一冬龄草鱼鱼种,平均初体重为 $(39.68 \pm 3.05)$  g。

养殖试验在浙江省淡水水产研究所特种水产苗种基地静水养殖系统中进行,共21个玻璃纤维缸(直径150 cm)。将试验鱼随机分成7组,每组3个重复,每个重复15尾鱼,每天8:30、13:00、17:00定时换水,饱食投饲,保持鱼缸中无剩余残饵。每天投饲前换水约30%,连续充氧,暂养2周后进行养殖试验,试验时间为60 d,试验用水为自然曝气的自来水,试验期间水温控制在20~25℃,pH为6.9~7.6,溶氧量为5~6 mg/L,氨氮含量为0.15~0.20 mg/L;养殖试验结束后禁食2 d称重,并采集试验样品。

表1 试验饲料组成  
Tab.1 Composition of the experimental diets

成分	组别							%
	D1	D2	S1	S2	S3	S4	S5	
豆粕	10	10	10	10	10	10	10	10
菜粕	25	25	25	25	25	25	25	25
棉粕	22	22	22	22	22	22	22	22
面粉	19.200	20.700	20.690	20.685	20.680	20.675	20.650	20.650
豆油	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.5	0	0	0	0	0	0	0
多维多矿	1	1	1	1	1	1	1	1
米糠	8	8	8	8	8	8	8	8
玉米	5	5	5	5	5	5	5	5
玉米胚芽粕	5	5	5	5	5	5	5	5
膨润土	1	1	1	1	1	1	1	1
胆碱 $[\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3]\text{OH}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
赖氨酸	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
植酸酶	0	0	0.010	0.015	0.020	0.025	0.050	0.050
甲硫氨酸	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
植酸酶水平/(U/kg)	0	0	500	750	1 000	1 250	2 500	2 500

注:多维多矿中维生素预混料配方和矿物质预混料(磷酸盐用纤维素替代)配方参考文献[7]。

表2 试验饲料营养成分含量  
Tab.2 Nutrient levels of the experimental diets

营养成分含量	组别							%
	D1	D2	S1	S2	S3	S4	S5	
水分	8.32	8.30	8.14	7.85	8.38	8.34	8.57	8.57
粗脂肪	2.66	3.28	3.22	2.79	2.96	2.94	2.84	2.84
粗蛋白	32.41	32.66	32.52	32.42	32.57	32.48	32.56	32.56
粗灰分	8.91	8.80	8.78	8.73	8.76	8.80	8.61	8.61
总磷	1.03	0.88	0.86	0.85	0.85	0.85	0.83	0.83

### 1.3 样品采集

每个缸随机取 8 尾鱼,其中 3 尾用于测定全鱼化学组成;5 尾测定体重、体长后取鳞片、两侧白肌、脊柱骨,分离出内脏和肝胰脏并称重;鳞片、脊柱骨样品放入  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱保存备用,全鱼、肌肉称重后放入烘箱中烘干后待测。

### 1.4 草鱼生长指标和形体指标测定

试验过程中记录饲料消耗量,根据末重、初重及摄食量等分别计算下面指标:

$$R_{\text{SG}}(\%/d) = 100 \times (\ln B_1 - \ln B_0) / t \quad (1)$$

$$R_{\text{FC}} = F_1 / (B_1 + D_w - B_0) \quad (2)$$

$$R_{\text{PE}}(\%) = (B_1 - B_0) \times 100 / (F_1 \times P_c) \quad (3)$$

$$R_s(\%) = N_t \times 100 / N_0 \quad (4)$$

$$I_{\text{HS}}(\%) = V_w \times 100 / W_t \quad (5)$$

$$I_{\text{VS}}(\%) = L_w \times 100 / W_t \quad (6)$$

$$F_c(\text{g/cm}) = 100 B_w / (B_L)^3 \quad (7)$$

式中:  $R_{\text{SG}}$  为特定生长率;  $R_{\text{FC}}$  为饲料系数;  $R_{\text{PE}}$  为蛋白质效率;  $R_s$  为存活率;  $I_{\text{HS}}$  为肝体比;  $I_{\text{VS}}$  为脏体比;  $F_c$  为肥满度;  $B_0$  为总初体重;  $B_1$  为总末体重;  $D_w$  为死亡鱼重;  $F_1$  为摄食量;  $P_c$  为蛋白质含量;  $N_0$  和  $N_t$  分别为初尾数和末尾数;  $V_w$  为内脏重;  $W_t$  为鱼体重;  $L_w$  为肝脏重;  $B_w$  和  $B_L$  分别为空壳体重和体长。

### 1.5 草鱼体和肌肉组成测定

将样品放入  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干,然后放入  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘至恒重测定水分含量。称取  $0.3 \sim 0.5\text{ g}$  左右干试样充分消化后稀释,用半微量水

蒸汽蒸馏法测定粗蛋白含量;称取  $2.0\text{ g}$  左右的干样试样,用已称量恒重的滤纸包好,烘干后放入索氏提取仪中利用乙醚充分抽提,最后测定出样品粗脂肪含量;将坩埚烘干称重后,称取适量干样品于坩埚中,然后于  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  马福炉中灼烧后测定其粗灰分含量。

### 1.6 磷含量的测定

试验饲料用湿法预处理,草鱼各组织经干法预处理后,采用钒钼酸铵法测定总磷含量。

### 1.7 数据统计分析

试验数据用平均数  $\pm$  标准偏差 ( $X \pm SD$ ) 表示,分析采用 SPSS 16.0 统计分析软件,做单因素方差分析(One way-ANOVA),有显著差异后再做组间 Duncan's 多重比较,显著性水平  $P$  为 0.05。

## 2 结果

### 2.1 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼生长性能的影响

从表 3 可以看出,当植酸酶添加水平大于  $1\ 000\text{ U/kg}$ (S3)时,草鱼的特定生长率和蛋白质效率明显大于对照组 2(D2)、饲料系数则显著低于 D2( $P < 0.05$ ),但特定生长率和蛋白质效率显著低于 D1,饲料系数则明显高于 D1( $P < 0.05$ );当植酸酶添加水平小于  $1\ 000\text{ U/kg}$  时,试验组的特定生长率、饲料系数和蛋白质效率与 D2 之间没有显著性差异( $P > 0.05$ );各组之间存活率无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 3 各饲料组草鱼的特定生长率、饲料系数、蛋白质利用率和存活率

Tab.3 Specific growth rate, feed conversion ratio, protein efficiency ratio and survival ratio of grass carp fed on experimental diets

组号	初重/g	末重/g	特定生长率/(%/d)	饲料系数	蛋白质效率/%	存活率/%
D1	580.31 $\pm$ 18.94	1070.17 $\pm$ 78.05 <sup>a</sup>	1.02 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	1.73 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.76 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	94.44 $\pm$ 1.92
D2	597.67 $\pm$ 8.08	931.67 $\pm$ 8.58 <sup>bc</sup>	0.74 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>	2.62 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	1.15 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	100.00 $\pm$ 0.00
S1	591.83 $\pm$ 5.13	900.50 $\pm$ 11.76 <sup>b</sup>	0.70 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.72 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	1.16 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	100.00 $\pm$ 0.00
S2	598.67 $\pm$ 10.26	936.33 $\pm$ 23.18 <sup>cb</sup>	0.75 $\pm$ 0.02 <sup>cb</sup>	2.62 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	1.18 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	100.00 $\pm$ 0.00
S3	597.33 $\pm$ 10.26	1005.50 $\pm$ 5.33 <sup>ca</sup>	0.87 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>	2.14 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	1.43 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	93.33 $\pm$ 6.67
S4	604.00 $\pm$ 2.00	977.83 $\pm$ 25.36 <sup>cb</sup>	0.80 $\pm$ 0.04 <sup>cd</sup>	2.30 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	1.30 $\pm$ 0.05 <sup>cb</sup>	97.78 $\pm$ 3.58
S5	596.50 $\pm$ 6.36	1001.75 $\pm$ 75.31 <sup>ca</sup>	0.86 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>	2.14 $\pm$ 0.39 <sup>c</sup>	1.46 $\pm$ 0.26 <sup>c</sup>	90.00 $\pm$ 14.14

注:表中数据为平均值  $\pm$  标准差,同列标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ );没有字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),下表同。

表 4 中,各组之间的肝体比、脏体比、肥满度 无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 4 各饲料组草鱼的肝体比、脏体比和肥满度  
Tab. 4 Hepatopancreasomatic index, viscerasomatic index and condition factor of grass carp fed on experimental diets

组号	肝体比均值	脏体比均值	肥满度均值
D1	3.06 ± 0.35	12.19 ± 0.11	1.62 ± 0.11
D2	3.26 ± 0.33	12.61 ± 0.25	1.74 ± 0.25
S1	2.94 ± 0.20	12.33 ± 0.32	1.74 ± 0.32
S2	3.16 ± 0.09	12.99 ± 0.19	1.67 ± 0.19
S3	3.11 ± 0.20	10.91 ± 0.40	1.70 ± 0.40
S4	2.94 ± 0.20	11.76 ± 0.12	1.72 ± 0.12
S5	3.12 ± 0.04	11.89 ± 0.54	1.65 ± 0.35

## 2.2 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼体成分(湿重)的影响

表 5 表明,草鱼体成分中试验组与对照组之间粗蛋白含量差异都不显著( $P > 0.05$ ), S2 和 S5 之间的粗蛋白含量有显著性差异( $P < 0.05$ ); D1

和 S5 的粗脂肪含量显著低于 D2 ( $P < 0.05$ ), 其它各组之间没有显著性差异( $P > 0.05$ ); 各组之间粗灰分含量没有显著性差异( $P > 0.05$ ); D1、S2 及 S5 之间的水分含量无显著性差异( $P > 0.05$ ), 其中 S5 的水分含量最高。

表 5 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼体成分的影响  
Tab. 5 Effect of plant based diets containing different levels of phytase on whole-body composition of grass carp

组号	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	水分
D1	14.79 ± 0.59 <sup>ab</sup>	7.54 ± 0.41 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.08	73.35 ± 0.51 <sup>ab</sup>
D2	14.47 ± 0.79 <sup>ab</sup>	10.05 ± 0.88 <sup>b</sup>	3.13 ± 0.11	70.55 ± 0.76 <sup>c</sup>
S1	15.36 ± 2.00 <sup>ab</sup>	9.34 ± 1.94 <sup>ab</sup>	3.30 ± 0.21	71.07 ± 1.97 <sup>c</sup>
S2	16.50 ± 0.51 <sup>b</sup>	8.32 ± 0.83 <sup>ab</sup>	3.39 ± 0.29	71.96 ± 0.20 <sup>abc</sup>
S3	14.64 ± 0.28 <sup>ab</sup>	8.79 ± 1.34 <sup>ab</sup>	3.36 ± 0.10	71.61 ± 1.26 <sup>bc</sup>
S4	14.93 ± 0.29 <sup>ab</sup>	8.44 ± 0.31 <sup>ab</sup>	3.28 ± 0.17	71.78 ± 0.17 <sup>bc</sup>
S5	14.51 ± 1.01 <sup>a</sup>	8.05 ± 0.37 <sup>a</sup>	3.34 ± 0.32	74.02 ± 1.83 <sup>a</sup>

## 2.3 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼肌肉成分(湿重)的影响

从表 6 可看出, 各组之间肌肉中粗蛋白、粗灰分和水分含量没有显著性差异( $P > 0.05$ ); S1

与 S3 的粗脂肪含量无显著性差异( $P > 0.05$ ), S1 的粗脂肪含量显著高于 D2, S3 的粗脂肪含量显著高于其它各组( $P < 0.05$ ), 除 S1、S3 外, 其它各组之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 6 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼肌肉成分的影响  
Tab. 6 Effect of plant based diets containing different levels of phytase on muscle composition of grass carp

组号	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	水分
D1	12.09 ± 1.54	1.17 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.89 ± 0.12	84.94 ± 1.90
D2	10.87 ± 1.05	0.97 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.08	86.39 ± 1.42
S1	11.82 ± 0.74	1.27 ± 0.23 <sup>bc</sup>	0.83 ± 0.04	85.24 ± 0.77
S2	12.03 ± 0.99	1.18 ± 0.12 <sup>ab</sup>	0.88 ± 0.10	85.01 ± 1.23
S3	12.53 ± 0.34	1.45 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.88 ± 0.04	84.90 ± 0.18
S4	11.41 ± 0.38	1.09 ± 0.09 <sup>ab</sup>	0.82 ± 0.03	85.99 ± 0.30
S5	11.72 ± 0.70	1.14 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.84 ± 0.03	85.84 ± 0.70

## 2.4 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼鱼体及各组织中(干物质基础)磷含量的影响

表 7 中全鱼 D2 的磷含量与 S5 和 D1 有显著

性差异( $P < 0.05$ ), 与其它各组之间差异不显著( $P > 0.05$ ), D1 和试验组无显著性差异( $P > 0.05$ )。试验组肌肉磷含量中 S2、S4 和 S5 显著

大于对照组( $P < 0.05$ )。在脊柱骨中,D2 的磷含量明显小于 S1、S2 和 S4,且有显著性差异( $P < 0.05$ ),D1 和试验组之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。鳞片 D1 的磷含量显著大于其它各组

( $P < 0.05$ ),D2 的磷含量与 D1、S1、S5 有显著性差异( $P < 0.05$ ),但与 S4 无显著性差异( $P > 0.05$ )。

表 7 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼鱼体及各组织中磷含量的影响

Tab.7 Effect of plant based diets containing different levels of phytase on phosphorus content in body and tissues of grass carp

组号	磷含量				%
	全鱼	肌肉	脊柱骨	鳞片	
D1	2.37 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.11 ± 0.03 <sup>a</sup>	7.18 ± 0.45 <sup>a</sup>	6.61 ± 0.15 <sup>a</sup>	
D2	1.94 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.12 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	5.77 ± 0.05 <sup>c</sup>	
S1	2.12 ± 0.26 <sup>ab</sup>	1.14 ± 0.04 <sup>ab</sup>	7.19 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.12 ± 0.10 <sup>b</sup>	
S2	2.19 ± 0.11 <sup>ab</sup>	1.18 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.12 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.87 ± 0.23 <sup>bc</sup>	
S3	2.10 ± 0.20 <sup>ab</sup>	1.13 ± 0.01 <sup>ab</sup>	6.87 ± 0.21 <sup>ab</sup>	6.02 ± 0.14 <sup>b</sup>	
S4	2.15 ± 0.10 <sup>ab</sup>	1.17 ± 0.02 <sup>b</sup>	7.23 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.80 ± 0.07 <sup>c</sup>	
S5	2.36 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.17 ± 0.02 <sup>b</sup>	6.93 ± 0.28 <sup>ab</sup>	6.13 ± 0.00 <sup>b</sup>	

### 3 讨论

#### 3.1 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼生长性能和形体指标的影响

本试验中,添加无机磷组的蛋白质效率最高、饲料系数最低,且与其它各组有明显差异( $P < 0.05$ ),说明磷对草鱼生长性能的提高十分重要。植酸酶的功能在于其对植酸磷的分解作用,从而对鱼体的生长产生影响。有研究表明,在饲料中添加植酸酶可以提高奥尼罗非鱼<sup>[5]</sup>、点带石斑鱼<sup>[8]</sup>、尼罗罗非鱼<sup>[9]</sup>等的平均日增重和蛋白质效率,降低饵料系数和死亡率。但也有研究发现植酸酶对韩国石斑鱼<sup>[10]</sup>、大西洋鲑<sup>[11]</sup>等的生长没有显著影响。刘晓侠等<sup>[12]</sup>研究表明,添加 1 000 U/kg 植酸酶能够有效降低鲫饵料系数;吕林兰和王爱民<sup>[13]</sup>研究也发现饲料中植酸酶添加量为 1 000 U/kg 时,异育银鲫的平均增重率最大( $P < 0.05$ ),这些研究虽然都添加相同或不同量的植酸酶,彼此的基础配方、鱼种、植酸酶质量与种类、试验条件等之间的差异对实验结果有很大影响。本试验中添加的是酸性植酸酶,且当植酸酶添加水平大于 1 000 U/kg 时,饲料系数显著低于 D2 组,蛋白质效率显著提高,表明饲料中添加植酸酶后,草鱼的生长性能得到提高。其原因可能是添加植酸酶后,饲料中部分植酸磷中的磷得到释放或鱼类消化道中的某些消化酶被从螯合状态中释放出来,从而提高鱼体的生长。表 2 中可以看出 D1 的总磷含量远大于其它各组,这可

能是由于 D1 的总磷含量大于其它各组,饲料中磷的含量较高所致。鱼类在利用磷时通常先利用易于利用的无机磷,当无机磷不足时,植酸酶的作用才得以体现<sup>[14]</sup>。试验组中 S3、S4 和 S5 的特定生长率高于 D2,而饲料系数显著低于 D2( $P < 0.05$ ),且当植酸酶添加水平为 1 000 U/kg 时,草鱼的特定生长率、蛋白质效率较 D2 得到明显提高,饲料系数显著降低( $P < 0.05$ )。

肝体比和脏体比是评价鱼体营养价值的一项指标<sup>[15]</sup>,胰腺是分泌消化酶的主要器官,肝脏是营养物质重要的代谢和贮存器官,所以肝胰脏在养分的消化中起着重要作用,而饲料中的营养物质通常对肝胰脏的生长发育产生影响,仇明等研究发现,随着饲料中中性植酸酶浓度的增加,异育银鲫的肝体比都显著提高( $P < 0.05$ ),其中添加 1 000 U/kg 浓度的中性植酸酶组肝体比最大<sup>[16]</sup>。但在本实验结果中,植酸酶对草鱼的肝体比、脏体比、肥满度指标没有显著性影响。但当植酸酶添加水平大于 1 000 U/kg 时,对照组 2 的肝体比、脏体比都较添加植酸酶组高,而对照组 1 的 VSI 较添加植酸酶组高,说明饲料中添加植酸酶对防止草鱼肝脏肿大,降低肝脏病变的几率有一定的作用<sup>[17]</sup>,但效果不显著。

#### 3.2 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼鱼体和肌肉成分的影响

本试验研究结果中,虽然 S2 和 S5 的粗蛋白含量有显著性差异( $P < 0.05$ ),总的来看,对照组和试验组之间的蛋白含量差异不显著,例如,

LIEBER 和 PORTZ<sup>[9]</sup>、YOO 等<sup>[10]</sup>、SAJJADI 和 CARRIER<sup>[11]</sup>等研究发现,植酸酶对尼罗罗非鱼、韩国石斑鱼和大西洋鲑的体成分没有显著性影响;但也有研究表明添加植酸酶能够提高鲫鱼<sup>[12]</sup>、虹鳟<sup>[18]</sup>、对虾<sup>[19]</sup>等的粗蛋白和粗脂肪含量;本试验中,草鱼鱼体的粗脂肪含量却在添加植酸酶后降低,其原因可能是饲料中磷缺乏时,抑制了脂肪酸的 $\beta$ -氧化过程,而使鱼体脂肪含量维持在较高水平<sup>[20]</sup>。郑涛等<sup>[6]</sup>研究也发现植酸酶具有降低鱼体脂肪含量的作用。张璐等<sup>[21]</sup>研究植酸酶对大黄鱼鱼体的灰分含量影响发现添加植酸酶后大黄鱼的鱼体灰分含量得到提高,本试验研究发现各组草鱼鱼体灰分含量没有显著性差异( $P > 0.05$ ),但添加植酸酶后鱼体粗灰分有所提高,这可能与植酸酶能够打开植酸和矿物质之间的螯合键从而提高鱼体对矿物质(Ca、Mg、Zn、等)的吸收和利用有关<sup>[22]</sup>。

关于植酸酶对鱼类肌肉成分的影响的研究报道很少,BISWAS 等<sup>[19]</sup>研究发现植酸酶能够提高对虾肌肉粗蛋白和粗脂肪含量,本试验研究结果表明,植酸酶能够提高草鱼肌肉粗脂肪含量,且当植酸酶添加水平为 1 000 U/kg 时有显著性差异,这一结果与鱼体中脂肪含量的降低相反,这可能与脂肪代谢积累的分布有关,植酸酶对草鱼肌肉蛋白质、灰分及水分含量没有显著性差异。

### 3.3 全植物蛋白饲料中添加植酸酶对草鱼鱼体及各组织中磷含量的影响

磷是核酸、细胞膜和骨骼的重要组成部分,也在细胞能量代谢产生过程中发挥着重要作用<sup>[10]</sup>,所以磷的吸收量对鱼类生长、骨骼发育和繁殖产生重要影响<sup>[22]</sup>研究表明,植酸酶能够提高鱼类对植酸磷的吸收和利用<sup>[23]</sup>。本试验研究结果表明植酸酶能够提高磷在鱼体及各组织的积累,SCHAFER 和 KOPPA 研究表明,在以豆粕为基础料的鲤饲料中分别添加 500 和 1 000 U/kg 植酸酶,能够释放出 20%~40%的植酸磷<sup>[22]</sup>,余丰年和王道尊研究也发现植酸酶提高鱼体对磷的利用率<sup>[24]</sup>。陈建明等人研究饲料中添加植酸酶对青鱼生长、鱼体组成及组织中灰分和磷含量的影响是发现植酸酶有利于饲料磷在鱼体内的积累,并可以减少饲料中磷酸二氢钙的使用量<sup>[25]</sup>。SAJJADI 在研究以油菜籽为基础饲料中

添加植酸酶对大西洋鲑磷利用的影响时得出大西洋鲑对磷的沉积有显著的提高作用。本试验是以豆粕、菜粕、棉粕等为基础饲料中添加酸性植酸酶,从表 7 可以看出,与对照组 2(D2)相比较,鳞片中的磷的含量变化波动较大,这可能由于鳞片中的磷积累量比较少不足以反映积累程度。与对照组 1 和对照组 2 相比较,添加植酸酶后草鱼肌肉、全鱼、脊椎骨的磷含量得到一定提高,从而为鱼类的代谢和生长提供所需的磷,对减少无机磷添加有一定的作用,同时有效利用植物饲料源中的植酸磷,减少养殖水体中的磷排入量,降低水质污染。

### 参考文献:

- [1] 文华,高文,罗莉,等. 草鱼幼鱼的饲料苏氨酸需求量[J]. 中国水产科学,2009,16(2):236-246.
- [2] DENSTADLI V, SKREDE A, KROGDAHL A. Feed intake, growth, feed conversion, digestibility, enzyme activities and intestinal structure in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed graded levels of phytic acid [J]. Aquaculture, 2006,256(1/4):365-376.
- [3] 訾乃涛,常巧玲. 植酸酶在水产养殖中的应用研究[J]. 饲料研究,2005(4):52-55.
- [4] 王爱民,殷玉岗,刘文斌. 植酸酶在水产动物中作用机制及其应用研究[J]. 盐城工学院学报,2005,18(1):52-55.
- [5] 聂国兴,李学军. 植酸酶及其在鱼饲料中的应用[J]. 淡水渔业,2000,30(12):42-44.
- [6] 郑涛,潘庆,李桂峰,等. 无鱼粉饲料中添加磷和植酸酶对奥尼罗非鱼生长性能及体成分的影响[J]. 中国水产科学,2006,13(1):112-118.
- [7] 冷向军,孟晓林,李家乐,等. 杜仲叶对草鱼生长、血清非特异性免疫指标和肉质影响的初步研究[J]. 水产学报,2008,32(3):324-440.
- [8] 阮成旭,袁重桂. 植酸酶在点带石斑鱼配合饲料中的应用[J]. 福建水产,2005(1):13-16.
- [9] LIEBERT F, PORTZ L. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase [J]. Aquaculture, 2005, 248 (1/4): 111-119.
- [10] YOO G Y, WANG X J, CHOI S, et al. Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii* fed diets containing soybean meal [J]. Aquaculture, 2005, 243 (1/4): 315-322.
- [11] SAJJADI M, CARRIER C G. Dietary phytase supplementation and the utilization of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet [J]. Aquaculture, 2004,240: 417-431.

- [12] 刘晓侠,王玉洁,于建兴,等. 植酸酶对鲫鱼生长、营养及磷排放的试验[J]. 水生动物营养,2009(3):55-57.
- [13] 吕林兰,王爱民. 植酸酶对异育银鲫鱼种生长及内源酶的影响[J]. 粮食与饲料工业,2007(3):36-37.
- [14] CAO L, WANG W M, YANG C T, et al. Application of microbial phytase in fish feed [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2007(40):497-507.
- [15] 田娟,冷向军,李小勤,等. 复方中草药制剂对草鱼生长性能、肌肉成分和血清非特异性免疫的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(28):282-298.
- [16] 仇明,王爱民,吕林兰,等. 中性植酸酶对异育银鲫鱼种生长的影响及其在肠道中酶活分布状况[J]. 粮食与饲料工业,2010(2):38-41.
- [17] 牛纪锋,吴锐全,谢骏,等. 饲料中添加植酸酶对大口黑鲈生长和消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报,2010,25(2):132-136.
- [18] CHENG Z J, HARDY R W. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,2003,218(1/4):501-514.
- [19] BISWAS P, PAL A K, SAHU N P, et al. Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (*Fabricius*) juveniles: Efficacy on growth, body composition and lipid profile[J]. Aquaculture, 2007,265:253-260.
- [20] SKONBERG D I, YOGEV L, HARDY R W, et al. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,1997,157:15-24.
- [21] 张璐,麦康森,艾庆辉,等. 饲料中添加植酸酶和非淀粉多糖酶对大黄鱼生长和消化酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报,2006(36):923-928.
- [22] ASGARD T, SHEARER K D. Dietary phosphorus requirement of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. Aquaculture Nutrition,1997,3(1):17-23.
- [23] POWERS HUGHES K, SHARES Jr J H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis* [J] Aquaculture Nutrition,1998,4(2):133-140.
- [24] 余丰年,王道尊. 植酸酶对异育银鲫生长及饲料中磷利用率的影响[J]. 中国水产科学,2000,7(2):106-109.
- [25] 陈建明,沈斌乾,潘茜,等. 饲料中添加植酸酶对青鱼生长、鱼体组成及组织中灰分和磷含量的影响[J]. 饲料工业,2010(s):90-93.

## Effect of phytase on growth, body composition and phosphorus content in tissues of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed plant protein based diet

MA Heng-jia<sup>1,2</sup>, YE Jin-yun<sup>1</sup>, GUO Jian-lin<sup>3</sup>, WANG You-hui<sup>3</sup>, SHEN Bin-qian<sup>3</sup>, CHEN Jian-ming<sup>3</sup>, PAN Qian<sup>3</sup>

(1. Life Science College, Huzhou Normal University, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, Liaoning, China; 3. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China)

**Abstract:** An 8-week laboratory trial was designed to study the effect of phytase on growth, body composition and phosphorus content in tissues of juvenile grass carp (*C. idellus*) fed plant protein based diet. Seven trial diets were formulated to feed fish (with mean initial body weight of  $39.68 \pm 3.05$  g) that were divided into 5 experimental groups and 2 control groups. Five triplicate experimental groups were supplemented with five different levels of phytase (500 U/kg, 750 U/kg, 1 000 U/kg, 1 250 U/kg, 2 500 U/kg). The positive control group was supplemented with 1.5% monobasic calcium phosphate; and the negative control group was not supplemented with phytase and monobasic calcium phosphate. Through 60 d experiment, the effects of phytase were examined on growth, body composition and phosphorus content in tissues of juvenile grass carp (*C. idellus*) fed plant protein based diet. The results showed that, the feed conversion rate (FCR) was significantly lower, whereas protein efficiency ratio (PER) and specific growth rate (SGR) were significantly higher than those of other groups ( $P < 0.05$ ), when only monobasic calcium phosphate was supplemented. Compared with negative control group, after added phytase in diet, when the supplemented level of phytase was higher than 1 000 U/kg, the FCR of experimental group 3 (1 000 U/kg) was significantly lower than that of negative control group ( $P < 0.05$ ), and PER was significantly higher than that of negative control group ( $P < 0.05$ ); The phytase has no effects on the HSI, VSI, and CF of fish; the content of crude fat decreased in body, when the phytase content was higher than 1000U/kg, when the supplemented level of phytase content was 1 000 U/kg, the crude fat in muscle was significantly improved; The phosphorus content was enhanced to some degree in body, muscle and spine after added phytase, and when the content was 1 250 U/kg, the phosphorus content were significantly improved in muscle and spine. The result indicated that, when the supplemented level of phytase was 1 000 U/kg – 1 250 U/kg, the SGR, PER and phosphorus content of grass carp were enhanced, and FCR was improved compared with negative control group. If you want to reduce the supplemented level of monobasic calcium phosphate, the suitable supplemented level of phytase was 1 000 U/kg – 1 250 U/kg.

**Key words:** grass carp; phytase; growth; body composition; phosphorus content