

吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼日粮中添加植酸酶替代磷酸二氢钙的效果研究*

冯 健 吴 彬 王 斐 彭 淇 陈 斌 李 晓

(广西大学海洋研究中心 南宁 530004)

提要 本实验研究了吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)大豆粕日粮中添加植酸酶替代磷酸二氢钙的养殖效果。实验设计了共 7 组实验组日粮, 其中实验组 1 日粮主要蛋白原料为鱼粉; 其它 6 个实验组日粮以大豆粕为主要蛋白原料, 植酸酶添加量为日粮的 0.1%(酶活性为 2000U/g), 日粮中分别添加 2.5%、2.0%、1.5%、1.0%、0.5%和 0%的磷酸二氢钙。每组日粮设计 3 个平行, 每个平行 20 尾鱼[(1.9±0.1)g], 随机饲养于室内水泥池网箱中, 实验期为 60d。实验结果表明, 7 个实验组鱼存活率之间没有显著性差异($P>0.05$); 鱼粉日粮组鱼的生长效果与饲料效益、全鱼、鳞片、骨钙、磷含量和粪便磷含量均显著高于大豆粕组鱼($P<0.05$); 实验组 2、3、4 鱼的特定生长率、脏体指数、肠脂指数、肥满度、鱼体近似值成分无显著性差异($P>0.05$); 实验组 2、3、4 鱼的全鱼、鳞片和鱼骨钙、磷含量无显著性差异($P>0.05$), 但均显著高于实验组 5、6、7 鱼($P<0.05$)。实验结果表明, 在以大豆粕为主植物蛋白原料的吉富罗非鱼日粮中添加植酸酶能够增加日粮中的有效磷, 减少日粮中 40%左右的磷酸二氢钙添加。

关键词 吉富罗非鱼; 植酸酶; 磷酸二氢钙; 植物蛋白; 钙磷沉积

中图分类号 S963.73 **doi:** 10.11693/hyh20140600168

在水产饲料中蛋白质原料为主要成分与成本支出, 鱼粉为传统的蛋白质主要原料, 具有营养全面均衡、诱食性好、养殖效果好的特点。但世界鱼粉资源有限、价格昂贵, 已经成为影响全球水产养殖的一个主要问题。以大豆粕为代表的植物性蛋白原料, 具有资源丰富、价格低廉的特点, 目前在水产饲料蛋白质原料中广泛用于替代鱼粉等动物性原料(Chen *et al.*, 2013)。但大豆粕等植物蛋白原料的主要不足之一, 为植物蛋白原料中存在着一些营养抑制成分, 影响饲料的消化利用。其中植酸为主要的营养抑制成分之一, 植物性蛋白原料中的磷大多数与植酸螯合为植酸磷, 导致植物性蛋白质原料中磷的利用低下, 植酸还能与钙、镁、锌、氨基酸和淀粉等形成难以消化的络合物, 导致饲料中多种营养消化率下降(Kaushik *et al.*, 1995; 黄遵锡等, 1999; Francis *et al.*, 2001)。在一些动物的植物性为主的饲料中添加植酸酶分解植酸磷, 可以明显提高磷的利用率和生长效益, 减少饲料中

磷矿物质添加, 减少对环境的污染, 目前植酸酶已经广泛应用于畜禽饲料(Madrid *et al.*, 2013; Lalpanmawia *et al.*, 2014; Rutherford *et al.*, 2014)。

罗非鱼系鲈形目(Perciformes)、丽鱼科(Cichlidae)、罗非鱼属(*Tilapia*), 属热带性鱼类, 为世界性的主要养殖鱼类之一, 我国产量已达约 150 万 t, 占世界总量的 40%左右。在罗非鱼饲料中, 较多添加大豆粕等植物性蛋白原料, 全面研究在罗非鱼植物性蛋白质原料为主的饲料中添加植酸酶的效果, 对于提高饲料中磷的利用率和养殖效益, 减少养殖水域的磷排放量与污染具有重要意义。为此, 作者进行了相关研究, 目的为在植酸酶在罗非鱼等水产饲料中的应用提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验用鱼与管理

实验用鱼为从广西水产研究所国家罗非鱼良种

*广西科技厅攻关项目资助, 122201-3 号。冯健, 教授, 德国慕尼黑大学博士(VMD), E-mail: fengjian08@163.com

收稿日期: 2013-10-29, 收修改稿日期: 2014-03-06

繁育场购得 1500 尾吉富罗非鱼鱼苗, 用 5%左右的生理盐水消毒后, 放暂养池暂养, 暂养期间投喂普通商业罗非鱼鱼苗饲料。暂养一周后, 挑选活力好、体质健壮、规格大小均匀的 420 尾鱼苗为实验鱼, 平均体重为 (1.9 ± 0.1) g, 每个实验组分 3 个平行, 7 个组, 共 21 个尼龙网箱, 每个尼龙网箱里放 20 尾鱼苗, 网箱规格为 $1\text{m} \times 0.5\text{m} \times 1\text{m}$, 网箱放置在规格为 $12.0\text{m} \times 3.0\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的室内水泥池中。在网箱中架设食台, 食台直径为 15cm, 高 3cm。

整个养殖期间采用微流水模式进行水交换, 水泥池每天换水量不超过三分之一, 养殖期间通过每天测 3 次水温对水温进行实时监测, 通过每周测一次水质对水体状况进行监测。养殖期间水质监测情况如下: 水温 $(31.4 \pm 3.3)^{\circ}\text{C}$, pH 7.1 ± 0.2 , 溶解氧 $(8.33 \pm 0.29)\text{mg/L}$, 氨氮 $(0.51 \pm 0.02)\text{mg/L}$, 亚硝酸盐 $(0.159 \pm 0.03)\text{mg/L}$, 硝酸盐 $(0.100 \pm 0.011)\text{mg/L}$ 。

养殖期间, 通过鱼体体重估算投喂量, 以鱼体重的 10%—6%称每天的投料量, 投喂时间为 9:00、

18:00, 每天两次, 每天投喂前把饲料平均分成两份, 投饲时采取由慢到快再逐渐变慢的投料方式将饲料投入食台内, 认真观察实验鱼的活力和摄食情况, 投料后 3min 后, 若食台上仍有残余的饲料, 则立即结束投喂, 捞出食台上的残饵, 记录残饵数量与每天的余料量, 然后进行统计。养殖期间, 每隔 2 周对所有鱼进行称重, 调整投喂量。养殖实验持续 60d, 为室内水泥池养殖, 屋顶为透明塑料, 光周期为自然周期。

1.2 各试验组基础日粮组成

鱼粉、鱼油、大豆粕、次粉、复合多维、复合多矿、磷酸二氢钙、氯化胆碱由广西百洋饲料公司提供; 微晶纤维素为郑州博轩化工产品有限公司提供; 植酸酶为北京华农生物工程有限公司提供, 酶活力为 2000U/g。

各个实验组的日粮组成和近似成分见表 1, 实验日粮的营养标准、复合多维、复合矿物含量是参考 NRC 罗非鱼的营养标准进行设定的(NRC, 1993)。对

表 1 实验日粮组成和近似成分(%)¹⁾
Tab.1 Composition of the experimental diets and proximate constituent (%)

原料名称	实验组 1	实验组 2	实验组 3	实验组 4	实验组 5	实验组 6	实验组 7
次粉(%)	30.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
鱼粉(%)	48.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
大豆粕(%)	0.00	69.90	69.90	69.90	69.9	69.90	69.90
磷酸二氢钙(%)	0.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.00
微晶纤维素(%)	18.8	0.60	1.10	1.60	2.10	2.60	3.10
鱼油(%)	1.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
食盐(%)	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
植酸酶(%)	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱(%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
复合矿物质(%) ²⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
复合维生素(%) ³⁾	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
合计(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
近似成分							
粗蛋白(%)	35.23	35.42	35.34	35.13	35.31	35.16	35.19
粗脂肪(%)	7.63	7.23	7.18	7.25	7.13	7.34	7.56
粗灰分(%)	5.32	4.85	4.45	4.67	4.75	4.47	4.54
水分(%)	11.97	12.86	12.32	12.34	12.54	12.74	12.54
总磷(%)	1.94	1.41	1.24	1.17	1.04	0.86	0.77
植酸磷(%)	0.14	0.59	0.54	0.59	0.58	0.52	0.57

1) 平均 2 个重复;

2) 复合矿物质组成(每 kg 饲料): 硫酸亚锰(32.5% Mn), 50mg; 硫酸亚铁(20.1% Fe), 40mg; 硫酸铜(25.4% Cu), 5mg; 硫酸锌(22.7% Zn), 90mg; 亚硒酸钠(45.6% Se), 1mg; 氯化钴(24.8% Co), 3.0mg; 氟化钠(42.5% F), 5mg;

3) 复合多维(每 kg 饲料): 维生素 A, 10000 IU; 维生素 D₃, 4000 IU; 维生素 E, 400 IU; 维生素 K₃, 50mg; 盐酸硫胺素, 60mg; 核黄素, 70mg; 泛酸钙, 200mg; 生物素, 2.0mg; 叶酸, 20mg; 维生素 B₁₂, 0.20mg; 烟酸, 300mg; 盐酸吡哆醇, 20mg; 维生素 C, 300mg; 肌醇, 400mg

照组以鱼粉作为主要蛋白源, 不添加磷酸二氢钙; 其它实验组以大豆粕为主要蛋白源, 分别添加 2.5%、2.0%、1.5%、1.0%、0.5%、0% 磷酸二氢钙制作 6 组实验日粮, 共设计 7 组等氮(35.69%)、等能量(15.95kJ/g)的半纯合日粮, 记为实验组 1(对照组)、实验组 2(替代 0% 磷酸二氢钙)、实验组 3(替代 20% 磷酸二氢钙)、实验组 4(替代 40% 磷酸二氢钙)、实验组 5(替代 60% 磷酸二氢钙)、实验组 6(替代 80% 磷酸二氢钙)、实验组 7(替代 100% 磷酸二氢钙)。本实验日粮总磷为 0.77% 以上, 设计目的是研究植酸酶分解日粮中植酸磷与利用效果。

饲料原料经过粉碎后, 过 40 目筛, 随后按照饲料配方设计的比例和实际制作量进行称重, 复合多维、复合多矿、氯化胆碱等微量成分采取逐级扩大法添加, 待混合均后, 逐一加入微晶纤维素和磷酸二氢钙、鱼粉等大宗饲料原料搅拌均匀, 植酸酶先用微晶纤维素混合扩大法添加, 最后加入鱼油和水, 再次均匀混合, 用小型饲料颗粒机进行制粒, 制成的颗粒饲料直径为 2.5mm, 于鼓风干燥箱中 65℃ 恒温烘干, 用密封塑料袋进行密封存放, 并置冰箱-20℃ 中保存直至投喂。

1.3 样品的采集与检测方法

实验开始前, 分别从每种饲料原料和每组实验日粮中抽取部分样品用于测定主要营养成分。对各个网箱的鱼进行计数和称重。实验结束时, 对各个网箱的鱼记数、称重, 计算其存活率和特定生长率。通过每天的余料量和残饵量, 计算每个网箱的投喂量和饲料效益。试验结束前两周采用虹吸法将粪便粒吸出移到培养皿, 然后用镊子将包膜完整的粪便转移到另一干净的培养皿中, 用滤纸滤去水分, 75℃ 烘干粉碎后置于-20℃ 冰箱保存以测定各组实验鱼粪便中的总磷含量。

实验结束后, 从每个实验组 3 个平行网箱中随机各取 2 尾鱼, 共 6 尾鱼, 分别称重, 烘干, 用于全鱼组分分析; 从每实验组 3 个平行网箱中随机取 3 尾鱼, 共 9 尾鱼, 分别称鱼重, 量体长, 然后解剖取整个内脏团称重, 取肝脏和剥离肠脂称重, 用于计算肝体指数和肠脂指数。分别从每个实验组 3 个平行网箱中随机各取 2 尾鱼, 共 6 尾鱼, 剥取鱼的鳞片和鱼骨, 用于测定钙磷的沉积。取鱼的骨时, 在解剖鱼之后将鱼体放入沸腾的开水中煮 10min 左右, 以鱼肉可以从鱼体剥离为准, 把肌肉剥尽, 洗刷干净鱼骨上的肌肉, 干燥后称重保存待用。相关计算公式如下(Halver *et al*,

2002):

成活率(SR, %) = 试验结束鱼尾数/试验开始鱼尾数 × 100;

摄食量(FI, g) = 投喂量 - 残留量;

特定生长率(SGR, %/t) = $(\ln W_f - \ln W_i) \times 100 / t$;

饲料效率(FER, %) = $(W_f - W_i) / FI \times 100$ 。

式中, W_i 试验开始时鱼体重(g); W_f 试验结束时鱼体重(g); t 养殖试验天数(d); FI 摄食量; W_i 鱼体重; W_b 内脏质量; W_h 肝脏质量; W_l 肠系膜脂肪质量。

从每个试验组随机各取 12 尾鱼, 分别称重, 解剖, 剥离肝脏称重, 计算肝体指数, 剥离肠脂称重, 计算肠脂指数。基础饲料与鱼体(每组 6 尾)中的近似成分分析(水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量)按 AOAC(1990)有关标准方法测定, 磷与植酸磷含量按国家标准(GB/T 18634, 2009)方法测定, 饲料总糖含量采用减量法(总干重减去蛋白质、脂肪和灰分含量)计算而得。肝体指数与肠脂指数相关计算公式如下(Halver *et al*, 2002):

肝体指数(HSI, %) = $W_h / W_t \times 100$; 肠脂指数(ISI, %) = $W_l / W_t \times 100$

式中, W_f 试验结束时鱼体体重; W_h 试验结束时鱼体肝脏质量; W_l 试验结束时鱼体肠系膜脂肪质量。

1.4 实验数据处理和分析

采用 SPSS19.0 数据统计软件包对实验各组间数据进行统计分析, 试验结果经过一元方差分析(One-way ANOVA)后, 用平均数 ± 标准差表示。先进行方差齐性分析, 方差齐性则运用 LSD 法进行单因素方差多重比较, 方差非齐性则采用 Tamhane's T_2 法进行单因素方差分析, 显著水平采用 0.05。然后进行 Duncan's 多重比较各实验组间差异的显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 实验各组鱼的存活率、饲料摄食量、生长性能和饲料效率

实验各组的末体重、体长、存活率、特定生长率和饲料效益见表 2。从表 2 中可以看出, 各实验组鱼的存活率之间均无显著性差异($P > 0.05$), 日粮中不同有效磷对其成活率无明显影响。在特定生长率与饲料效益方面, 实验组 1 鱼显著高于其它实验组($P < 0.05$), 表明日粮中添加鱼粉的生长效果与饲料效益明显高于大豆粕; 实验组 2 与 3、4 鱼组间无显著差异($P > 0.05$), 均显著性高于实验组 5、6、7 组鱼($P < 0.05$), 表明在

表 2 实验各组鱼的体重、摄食量、存活率、特定生长率和饲料效益

Tab.2 The weight, feed intake (FI), survival ratio, specific growth rate (RGR) and feed effectiveness rate (FER) in fish

组别	末体重(g)	摄食量(g)	存活率(%)	特定生长率(%)	饲料效益(%)
实验组 1	37.7 ± 10.21 ^d	38.83 ± 2.43 ^d	98.33 ± 2.89	6.24 ± 0.53 ^c	92.19 ± 1.32 ^d
实验组 2	26.61 ± 6.94 ^{bc}	31.40 ± 4.32 ^c	98.33 ± 2.89	5.50 ± 0.55 ^b	78.69 ± 2.87 ^c
实验组 3	28.42 ± 8.58 ^c	32.97 ± 3.87 ^c	98.33 ± 2.89	5.62 ± 0.70 ^b	80.44 ± 1.84 ^c
实验组 4	25.97 ± 7.82 ^b	30.32 ± 4.49 ^{bc}	100 ± 0.00	5.42 ± 0.73 ^b	79.49 ± 3.23 ^c
实验组 5	21.58 ± 6.43 ^{ab}	26.54 ± 5.34 ^a	100 ± 0.00	4.82 ± 0.88 ^a	74.14 ± 4.72 ^b
实验组 6	19.74 ± 6.24 ^a	26.65 ± 3.37 ^a	100 ± 0.00	4.80 ± 0.72 ^a	66.94 ± 5.73 ^a
实验组 7	18.98 ± 5.87 ^a	29.87 ± 5.68 ^b	100 ± 0.00	4.71 ± 0.61 ^a	64.56 ± 3.20 ^a

*同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)

日粮中添加植酸酶一定程度上提高了日粮中磷的利用率,一定程度上减少了日粮中磷酸二氢钙的添加。

2.2 实验各组鱼体的脏体指数、肝体指数、肠脂指数和肥满度

实验各组鱼体的脏体指数、肝体指数、肠脂指数和肥满度结果见表 3。从表 3 中可以看出,在肥满度方面,实验组 1 与其它 6 个实验组之间存在显著性差异($P < 0.05$),显著高于其它 6 个实验组,而其它 6 个实验组相互之间没有显著性差异($P > 0.05$)。在肝体指数方面,实验各组组间无显著性差异($P > 0.05$)。在肠脂指数方面,实验组 1、2、3 与实验组 4 组间无显著性

差异($P > 0.05$);但实验组鱼 6、7 组显著性高于实验组 1、2、3、4 鱼($P < 0.05$)。在脏体指数方面,实验组 1 鱼的脏体指数显著低于其它 6 个实验组($P < 0.05$),实验组 2 与实验组 3 之间无显著性差异($P > 0.05$);实验组 5、7 鱼显著性差异高于实验组 2、3、4 组鱼($P > 0.05$)。表明当日粮中有效磷不足时,肠脂指数上升,从而使脏体指数增加。

2.3 实验各组鱼的近似成分分析

实验各组鱼体的水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分结果见表 4。从表 4 中可以看出,各实验组鱼体的水分和粗灰分组间无显著性差异($P > 0.05$)。在粗蛋白含

表 3 实验各组鱼的肝体指数、肠脂指数、脏体指数和肥满度

Tab.3 The hepatosomatic indices (HSI), intestinalsomatic indices (ISI), viscerasomatic indices (VSI) and fatness in fish

组别	肝体指数(%)	肠脂指数(%)	脏体指数(%)	肥满度(%)
实验组 1	1.68 ± 0.31	0.51 ± 0.34 ^a	8.99 ± 0.80 ^a	4.48 ± 0.31 ^b
实验组 2	1.61 ± 0.45	0.56 ± 0.28 ^a	8.95 ± 1.10 ^b	3.30 ± 0.38 ^a
实验组 3	1.72 ± 0.40	0.62 ± 0.42 ^a	9.71 ± 1.14 ^{bc}	3.50 ± 0.49 ^a
实验组 4	1.82 ± 1.37	0.67 ± 0.56 ^a	9.56 ± 1.20 ^b	3.48 ± 0.29 ^a
实验组 5	1.65 ± 0.40	0.88 ± 0.60 ^{ab}	10.71 ± 1.32 ^d	3.38 ± 0.17 ^a
实验组 6	1.52 ± 0.33	1.14 ± 1.14 ^b	9.88 ± 1.71 ^c	3.51 ± 0.38 ^a
实验组 7	1.67 ± 0.43	0.92 ± 0.39 ^b	10.63 ± 1.79 ^d	3.50 ± 0.27 ^a

*同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)表 4 实验各组鱼鱼体的主要营养成分(%) ($n=6$)Tab.4 The main nutrients of fish in the experimental groups (%) ($n=6$)

组别	粗水分(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	粗灰分(%)
实验组 1	69.15 ± 0.47	18.96 ± 0.63 ^c	5.17 ± 0.56 ^a	4.67 ± 0.28
实验组 2	69.06 ± 1.48	17.78 ± 0.75 ^b	6.05 ± 0.47 ^b	4.81 ± 0.46
实验组 3	69.32 ± 2.00	18.08 ± 0.70 ^b	5.89 ± 0.28 ^b	4.62 ± 0.39
实验组 4	68.29 ± 1.26	17.72 ± 0.38 ^b	6.13 ± 0.40 ^b	4.40 ± 0.33
实验组 5	69.53 ± 0.58	17.03 ± 0.39 ^a	7.08 ± 0.31 ^c	4.54 ± 0.09
实验组 6	70.13 ± 1.59	17.43 ± 0.21 ^a	7.75 ± 0.84 ^c	4.53 ± 0.21
实验组 7	69.37 ± 1.57	17.47 ± 0.79 ^{ab}	6.92 ± 0.64 ^c	4.37 ± 0.67

*同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)

量方面, 实验组 1 鱼体显著性高于其它实验组; 而实验组 2、3、4 组显著性高于实验组 5、6 ($P<0.05$)。在粗脂肪方面, 实验组 1 鱼体显著性低于其它实验组; 而实验组 2、3、4 组显著性低于实验组 5、6、7 ($P<0.05$)。表明随着日粮中有效磷减少, 鱼体脂肪含量上升, 而蛋白质含量下降。

2.4 实验各组鱼全鱼中钙、磷的沉积

实验各组全鱼钙、磷含量结果见表 5。从表 5 可

表 5 实验各组鱼鱼体的磷含量和钙含量(%) ($n=6$)
Tab.5 The phosphorus and calcium contents of fish in experimental groups (%) ($n=6$)

组别	全鱼钙含量(%)	全鱼磷含量(%)
实验组 1	0.75 ± 0.01^d	0.26 ± 0.01^d
实验组 2	0.67 ± 0.03^c	0.21 ± 0.02^c
实验组 3	0.64 ± 0.01^c	0.20 ± 0.01^c
实验组 4	0.65 ± 0.01^c	0.20 ± 0.02^c
实验组 5	0.56 ± 0.02^b	0.17 ± 0.02^b
实验组 6	0.52 ± 0.01^b	0.15 ± 0.02^b
实验组 7	0.38 ± 0.01^a	0.11 ± 0.02^a

*同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

表 6 实验各组鱼脊椎骨中磷含量、钙含量和鳞片磷含量、钙含量(%) ($n=6$)
Tab.6 The phosphorus and calcium contents of fish vertebrae and scales in experimental groups (%) ($n=6$)

组别	骨钙含量(%)	骨磷含量(%)	鳞片钙含量(%)	鳞片磷含量(%)
实验组 1	16.61 ± 0.23^c	7.66 ± 0.12^d	10.82 ± 0.11^d	5.14 ± 0.25^d
实验组 2	15.10 ± 0.27^b	7.25 ± 0.31^c	10.24 ± 0.21^c	4.66 ± 0.12^c
实验组 3	15.05 ± 0.18^b	7.16 ± 0.22^c	10.39 ± 0.22^c	4.71 ± 0.21^c
实验组 4	14.99 ± 0.24^b	7.15 ± 0.17^c	10.11 ± 0.64^{bc}	4.59 ± 0.35^c
实验组 5	14.05 ± 0.51^a	6.65 ± 0.36^b	9.66 ± 0.53^b	4.22 ± 0.16^b
实验组 6	13.58 ± 0.46^a	6.14 ± 0.22^a	9.37 ± 0.23^b	4.17 ± 0.18^b
实验组 7	12.97 ± 0.93^a	6.05 ± 0.18^a	9.11 ± 0.16^a	4.01 ± 0.29^a

*同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

表 7 实验各组日粮植酸磷含量与粪便磷含量(%)
Tab.7 The phytate phosphorus and phosphorus contents of diets and feces in experimental groups (%)

组别	日粮植酸磷含量(%)	粪便磷含量(%)
实验组 1	0.14 ± 0.03^a	1.16 ± 0.17^c
实验组 2	0.59 ± 0.07^b	0.43 ± 0.02^b
实验组 3	0.54 ± 0.04^b	0.28 ± 0.03^a
实验组 4	0.59 ± 0.05^b	0.25 ± 0.02^a
实验组 5	0.58 ± 0.06^b	0.24 ± 0.04^a
实验组 6	0.52 ± 0.05^b	0.26 ± 0.02^a
实验组 7	0.57 ± 0.06^b	0.25 ± 0.04^a

* 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

3 讨论

3.1 日粮中添加植酸酶替代磷酸二氢钙对吉富罗非鱼养殖效果的影响

本实验结果表明, 日粮无论用鱼粉蛋白原料还

以看出实验组 1 全鱼钙、磷含量显著高于其它实验组鱼、实验组 2、3、4 鱼显著高于实验组 5、6、7 鱼, 实验组 5、6 鱼显著高于实验组 7($P<0.05$)。表明日粮中有效磷含量与全鱼钙、磷含量呈正比。

2.5 钙、磷在实验组鱼鳞片和鱼骨中的沉积

各实验组鱼骨和鳞片钙、磷含量结果见表 6。从表 6 中可以看出, 实验组 1 鱼骨和鳞片钙、磷含量显著高于其它实验组鱼、实验组 2、3、4 鱼显著高于实验组 6、7 鱼, 实验组 7 最低($P<0.05$)。表明日粮中有效磷含量也与鱼骨和鳞片钙、磷含量呈正比。

2.6 实验各组日粮植酸磷含量与粪便磷含量

实验各组日粮植酸磷含量与粪便磷含量见表 7。从表 7 中可以看出, 实验组 1 日粮中植酸磷含量显著低于其它实验组日粮, 而粪便磷含量显著高于其它实验组日粮($P<0.05$); 而其它实验组日粮中植酸磷含量组间无显著性差异($P>0.05$); 实验组 2 鱼粪便磷含量显著高于实验组 3—实验组 7。表明在日粮中添加植酸酶(2000U/kg 日粮), 能够有效分解日粮中的部分植酸磷, 降低了粪便中磷含量。

是大豆粕蛋白原料对实验鱼的成活率均没有显著性影响。但鱼粉的养殖效果明显优于大豆粕, 大豆粕并不能完全替代鱼粉。作者在吉富罗非鱼稚鱼实用日粮中, 用大豆粕替代鱼粉的研究也表明, 大豆粕虽然能替代大部分的鱼粉, 但大豆粕中的营养抑制物质和必需氨基酸的含量偏低是影响养殖效果的主要原因(赵海祥等, 2011)。本实验结果表明, 日粮中有效磷含量与吉富罗非鱼稚鱼蛋白质合成率呈正比, 当日粮主要蛋白质原料为鱼粉时, 鱼体脂肪含量较低, 而蛋白质较高。另外, 鱼粉组吉富罗非鱼稚鱼的摄食量明显高于大豆粕, 说明大豆粕的适口性明显低于鱼粉, 导致生长较慢与饲料效益较低。实验 2 组日粮中有效磷高于实验 3、4 组 20%和 40%, 但与后两组鱼在特定生长率和饲料效益方面无显著性差异, 表明日粮

添加植酸酶对提高罗非鱼的生长率、饲料效益方面有好的效果,可以部分替代磷酸二氢钙,这也在一些报道中证实(贺建华, 2005; Biswas *et al*, 2007; Lim *et al*, 2009; 周金敏等, 2012)。实验组 3—实验组 7 的粪便磷含量较实验组 2 均有显著性下降,表明日粮中添加植酸酶可以在罗非鱼消化道中一定程度分解植酸磷,提高了植物原料中磷的消化率。Miranda 等(2000)也报道在无鱼粉饲料中添加植酸酶可以提高尼罗罗非鱼幼鱼生长和饲料利用效率。

3.2 添加植酸酶替代磷酸二氢钙对吉富罗非鱼钙、磷沉积与排泄的影响

钙和磷作为鱼体的必需常量元素,是鱼生长所必不可少的。研究钙、磷的沉积可以知道鱼体中钙、磷的利用情况。鱼骨和鳞片是鱼体钙磷沉积与代谢的主要组织。本实验结果表明,日粮中添加植酸酶增加了鱼体中钙、磷含量与鱼骨和鳞片磷沉积,起到了部分替代磷酸二氢钙的作用。黄峰等(2007)也认为,在饲料中添加植酸酶对草鱼全鱼鱼体的磷含量有显著的提高。Liebert 等(2007)的实验中表明添加植酸酶对钙、磷在鳞片和脊椎的成分中影响显著。由于磷的利用率增加,鳞片与脊椎的灰分和磷在鳞片与脊椎的灰分中的含量都增加。Yan 等(2002)也报道添加植酸酶对鱼鳞片和脊椎骨灰分有明显的提高。

鱼类肠道中缺少能分解植酸磷的植酸酶,故其基本上不能在其肠道中吸收利用,只能排到水体中,进而污染养殖水体。本实验结果表明,日粮中添加植酸酶后鱼粪便中磷含量下降了大约 35%—45%左右,明显减少了养殖水体富营养化,所以不仅可以节约无机磷的添加,还可以避免水体的污染。但是日粮中仍有 60%左右的植酸磷未被分解利用,这在其它一些研究中也报道,其原因值得进一步研究(Johanne *et al*, 2009; Hassaan *et al*, 2013; Zhu *et al*, 2014)。

综上所述,在本实验条件下,日粮添加植酸酶(添加量为日粮 0.1%的植酸酶(酶活 2000U/kg 日粮))可以替代 40%左右的磷酸二氢钙。

参 考 文 献

- 周金敏, 刘行彪, 周 樱, 2012. 植酸酶替代磷酸二氢钙对斑点叉尾鲴饲料消化率和磷代谢的影响. 饲料工业, 14(1): 43—46
- 赵海祥, 冯 健, 宁 毅等, 2011. 大豆粕替代鱼粉在吉富罗非鱼稚鱼实用饲料中的效果评价. 动物营养学报, 10(12): 1840—1846
- 贺建华, 2005. 植酸磷和植酸酶研究进展. 动物营养学报, 5(1): 1—6
- 黄 峰, 刘 军, 胡先勤等, 2007. 饲料中添加植酸酶对草鱼鱼种生长性能和磷利用率的影响. 中国饲料, 16(1): 31—33
- 黄遵锡, 章克昌, 1999. 植酸酶基础与应用研究概况. 食品与发酵工业, (2): 56—60
- GB/T 18634, 2009. 中华人民共和国国家标准, GB/T 18634-2009
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official Methods of Analysis (15th edn.). Arlington, VA, USA: 65—72
- Biswas A K, Kaku H, Cheol S *et al*, 2007. Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major*. Aquaculture, 267(1—4): 284—291
- Chen R, Zhang C, Yao B *et al*, 2013. Corn seeds as bioreactors for the production of phytase in the feed industry. Journal of Biotechnology, 165(2): 120—126
- Francis G, Makkar H P S, Becker K, 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture, 199: 197—227
- Halver J E, Hardy R W, 2002. Fish Nutrition. third edition. Academic Press, London, 36—38
- Hassaan M S, Soltan M A, Agouz H M *et al*, 2013. Influences of calcium/phosphorus ratio on supplemental microbial phytase efficiency for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The Egyptian Journal of Aquatic Research, 39(3): 205—221
- Johanne D, Kim S E, Per B P *et al*, 2009. Effect of supplemented fungal phytase on performance and phosphorus availability by phosphorus-depleted juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and on the magnitude and composition of phosphorus waste output. Aquaculture, 286: 105—112
- Kaushik S J, Cravedi J P, Sumpter J *et al*, 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 133: 257—274
- Lalpanmawia H, Elangovan A V, Sridhar M *et al*, 2014. Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in broiler chicken. Animal Feed Science and Technology, 192: 81—89
- Liebert F, Portz L, 2007. Different sources of microbial phytase in plant based low phosphorus diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* may provide different effects on phytate degradation. Aquaculture, 267(1—4): 292—299
- Lim S J, Lee K J, 2009. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). Aquaculture, 290(3—4): 283—289
- Madrid J, Martínez S, López C *et al*, 2013. Effect of phytase on nutrient digestibility, mineral utilization and performance in growing pigs. Livestock Science, 154(1—3): 144—151
- Miranda E C, Pezzato A C, Pezzato L E *et al*, 2000. Availability of calcium: phosphorus ratio in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zoo Technology, 29:

2162—2171

NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, USA, 114

Rutherford S M, Chung T K, Moughan P J, 2014. The effect of dietary microbia phytase on mineral digestibility determined throughout the gastrointestinal tract of the growing pig fed a low-P, low-Ca corn-soybean meal diet. *Animal Feed Science and Technology*, 189: 130—133

Yan W, Reigh, R C, 2002. Effects of fungal phytase on utilization of dietary protein and minerals, and dephosphorylation of phytic acid in the alimentary tract of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed an all-plant-protein diet. *World Aquaculture Soc*, 33(1): 10—22

Zhu Y, Qiu X, Ding Q *et al*, 2014. Combined effects of dietary phytase and organic acid on growth and phosphorus utilization of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture*, 430: 1—8

EFFECT OF PHYTASE REPLACEMENT OF MONOCALCIUM PHOSPHATE IN DIETS FOR GIFT NILE TILAPIA *OREOCHROMIS NILOTICUS*

FENG Jian, WU Bin, WANG Fei, PENG Qi, CHEN Bin, LI Xiao

(Research Center of Marine, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract The experiment was performed to test the effect of using phytase to replace monocalcium phosphate in the soybean meal diets of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Seven formulae of diets were designed. Formula 1 was made with fish meal as the main protein supplement, and the other 6 groups were made with soybean meal as the main protein source with adding of 0.1% phytase (enzyme activity was 2000U/g), and 2.5%, 2.0%, 1.5%, 1.0%, 0.5%, and 0 of monocalcium phosphate in diets, respectively. Each diet was triplicated, each with 20 fish [(1.9±0.1)g] reared in indoor cement pool cage. The experiment lasted for 60 days. Results showed no significant difference in survival rate ($P>0.05$) among 7 experimental groups. The effects of growth, feed efficiency, calcium content and phosphorus content of whole fish, fish scales and vertebral bone, and the fecal phosphorus content of fish meal group were significantly higher than those of soybean meal groups ($P<0.05$). In addition, no significant difference was shown in specific growth rate, viscerasomatic indices, intestinalsomatic indices, condition factor and body approximation components among experimental Formulae 2—4 ($P>0.05$), and nor did in calcium, phosphorus content of whole fish, fish scales and vertebral bone ($P>0.05$), but significantly higher than those of Formulae 5—7 ($P<0.05$). Therefore, adding phytase in tilapia diets of soybean meal can increase effective phosphorus, and reduce for about 40% monocalcium phosphate adding into diet.

Key words *Oreochromis niloticus*; phytase; monocalciumphosphate; plant protein; calcium and phosphorus deposition