

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

郑涛, 潘庆, 李桂峰, 毕英佐

(华南农业大学 动物科学学院水产养殖系, 广东 广州 510642)

摘要:奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)幼鱼的初始体重约 5.0 g, 试验共设 5 组饲料, 以全鱼粉饲料为对照组(D0), 以豆粕和花生粕完全替代鱼粉为试验组, 其中两组为不补充磷酸二氢钙的情况下不添加植酸酶(D1)和添加植酸酶(D2), 另两组为在补充磷酸二氢钙的情况下不添加植酸酶(D3)和添加植酸酶(D4)。每一饲料组设 3 个重复, 每箱养鱼 30 尾, 在流水系统中饲养, 表现饱食投喂, 投喂率为 5%~6%。饲养实验周期为 8 周。试验结果表明, 添加磷组(D3、D4)和全鱼粉组(D0)的特定生长率和饲料系数在组间差异不显著($P>0.05$), 但显著高于不添加磷组(D1、D2)($P<0.05$); 磷的表现消化率在添加植酸酶组(D2、D4)均显著高于不添加植酸酶(D1、D3), 但与全鱼粉组(D0)差异不显著; 鱼体粗蛋白含量在不添加磷和植酸酶组(D1)显著低于其他 4 组; 体粗脂肪含量在不添加磷(D1、D2)组显著高于其他组; 体灰分含量由高到低依次为全鱼粉组(D0)、添加磷和植酸酶组(D4)、添加磷不添加植酸酶组(D3)、不添加磷添加植酸酶组(D2)和不添加磷不添加植酸酶组(D1), 且两组间差异显著; 体钙、磷、镁、锌含量和脱脂骨灰分、钙、磷含量在全鱼粉组(D0)最高。不添加磷组(D1、D2)血清磷含量显著低于其他 3 组, 而血清碱性磷酸酶活性显著地高。试验结果说明, 无鱼粉饲料中补充磷可保持奥尼罗非鱼幼鱼生长率, 饲料利用和全鱼可食部分营养成分含量; 同时添加植酸酶, 能显著提高饲料中磷的利用率, 促进磷、锌和镁在鱼体内沉积, 并有进一步提高奥尼罗非鱼幼鱼生长和饲料利用的趋势。[中国水产科学, 2006, 13(1): 112~118]

关键词:罗非鱼; 磷; 植酸酶; 生长性能; 体成分

中图分类号: S963.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2006)01-0112-07

磷是鱼类生长、骨骼发育和繁殖所必需的矿物元素。作为鱼类细胞核酸和磷脂的重要组成部分, 磷可以保证细胞膜结构的完整性, 维持各种细胞功能, 并直接参与细胞内所有产生能量的生化反应。磷还在碳水化合物、脂类和氨基酸 3 大营养物质代谢, 以及调节体液酸碱平衡的过程中发挥重要的作用。随着水产养殖业的规模化发展, 鱼粉的需求量逐年增加。鱼粉中磷的含量通常在 1.5%~2.5%, 其表现消化率为 20%~70%^[1]。饲料中过多地使用鱼粉, 会导致大量磷随粪排入水体, 造成养殖水环境污染, 进而加大病害发生风险和药物使用频率, 降低养殖水产品安全性。鱼类饲料所用植物性蛋白源中的磷有 40%~90% 以植酸磷的形式存在, 很少能被鱼类利用^[2]。为了发展使用植物蛋白替代鱼粉的经济环保型水产养殖业, 国内外从 20 世纪 90 年代中期起, 研究植酸酶在水产饲料中的应用。研究

证明, 植酸酶能够提高磷和其他营养物质的利用率^[3~8]。但时至今日, 植酸酶在奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)饲料中的应用还未见报道。通常要在罗非鱼实用饲料中添加 3%~10% 的鱼粉和 1%~2% 的无机磷以满足其对磷的需要量。本研究中使用植物蛋白完全代替鱼粉, 同时补充磷或植酸酶, 探讨其对奥尼罗非鱼幼鱼的生长性能和体成分的影响, 以期为提高植物蛋白的利用率和完善无鱼粉饲料配方提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

共设 5 组试验饲料, 对照组以鱼粉为蛋白源(D0), 其他试验组以豆粕和菜子粕为蛋白源, 分别作不添加磷酸二氢钙和植酸酶(D1)、只添加植酸酶(D2)、只添加磷酸二氢钙(D3)、同时添加磷酸二氢

收稿日期: 2005-04-18; 修订日期: 2005-10-11。

基金项目: 国家科技攻关重点资助项目(2004BA508B18); 广东省科技攻关面上项目(2003C20307, 2004A20508001)。

作者简介: 郑涛(1978-), 男, 2002 级硕士研究生。

通讯作者: 潘庆, Tel: 020-85283529, E-mail: qpian@scms.edu.cn

钙和植酸酶(D4)的处理,饲料配方见表1。饲料原料全部粉碎过40目筛,按表1饲料配方称重,均匀混合,挤压制粒成直径1.5 mm的颗粒,于-20℃冰箱保存,备用。

1.2 试验鱼和饲养管理

试验用奥尼罗非鱼取自广州白云鱼苗场,平均初始体重约3.2 g。在实验室水族箱(圆桶形,每个体积为0.3 m³)暂养2周后,随机分配在15个水族箱中,每箱30尾,称初始体重。采用流水饲养方式,流速为27 L·h⁻¹。每天上下午各清除一次粪便。每一饲料组设3个平行,投喂率为5%~6%,根据摄食情况作相应调整,达到表观饱食,无剩余残

饵。饲料分作3等份,于每天8:00、12:00、17:00投喂。每周称1次体重。光照为自然光源。每天上午、下午测定水温1次,每周测定水质1次。饲养期间不控温,水温为(27.1±1.3)℃,pH 7.2±0.1, NH₄⁺-N<0.01 mg/L, Ca²⁺<0.032 g/L, TP<0.098 mg/L, PO₄³⁻-P<0.045 mg/L, DO>5 mg/L。试验期为8周,在试验期的第4周开始,观察鱼的排便情况。分别在上午、下午、傍晚投食后2~3小时用虹吸法收集便于筛网中,选择有完整包裹的粪便于清洁干燥培养皿中,将其在65℃干燥,粉碎后装瓶备用,连续收集粪便两周。生长实验结束后,称终末体重。

表1 试验饲料配方和营养成分分析

Tab.1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

成分 Ingredients	组别 Group				
	D0	D1	D2	D3	D4
鱼粉 Fishmeal	27				
豆粕 Soybean meal		38	38	39	39
花生粕 Peanut meal		10	10	10	10
麦麸 Wheat bran	30.5	14.3	14.2	11.5	11.4
次粉 Wheat middings	38	30	30	30	30
酵母粉 Yeast brewers	3	3	3	3	3
豆油 Soybean oil	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O				1.8	1.8
矿物质预混物 ¹⁾ Mineral premix	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
维生素预混物 Vitamin premix	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
甜菜碱 Betaine		0.3	0.3	0.3	0.3
赖氨酸 Lysine		0.4	0.4	0.4	0.4
酸化剂 Acid additive	0.2	0.2	0.2	0.2	0
植酸酶(IU) ²⁾ Phytase			0.1		0.1
C ₂₅ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
营养成分实测值 Analyzed composition					
水分 Water	9.73	9.85	9.83	9.73	9.70
粗蛋白 Crude protein	29.39	31.44	31.28	31.85	31.80
粗脂肪 Crude fat	3.92	4.85	4.79	4.69	4.61
粗纤维 Crude fibre	4.02	6.24	6.15	6.18	6.32
总能/(kJ·g ⁻¹) Gross energy	17.83	18.71	18.57	18.33	18.32
灰分 Ash	8.78	5.38	5.40	6.48	6.47
总磷 Total phosphorus	1.33	0.65	0.63	1.03	1.01
Ca/(μg·g ⁻¹)	1.32	0.24	0.22	0.49	0.49
Mg/(μg·g ⁻¹)	0.34	0.30	0.30	0.29	0.29
Zn/(μg·g ⁻¹)	116.8	108.8	117.0	110.0	111.6
Cu/(μg·g ⁻¹)	19.6	18.1	18.7	19.7	19.3
Mn/(μg·g ⁻¹)	90.9	70.3	69.0	68.4	69.1

注:1) 矿物质预混物(磷酸盐用纤维素替代)和维生素预混物配方参照文献[10]。

2) IU定义为在37℃, pH 5.5反应条件下,从5.0 mmol/L植酸钠溶液中每分钟释放1 μmol无机正磷酸根所需的植酸酶的量。

Note: 1) Mineral (phosphate was replaced by fibre) and vitamin premix were introduced by reference [10].

2) IU is defined as the amount of phytase that liberates inorganic phosphorus from a 5.0 mmol/L sodium phytate solution at a rate of 1 mol·min⁻¹ under the condition of pH 5.5 and 37℃.

1.3 样品采集和分析

饲养试验开始时,随机取10尾鱼作初始体常规营养成分分析。试验结束后,禁食24 h,从每箱中随机取3尾鱼,立即处死,在105℃烘至恒重测定水分含量并制备全鱼样。另随机取3尾鱼自枕骨处插入颅腔毁髓,分离内脏和肠系膜脂肪称重。再随机取3尾鱼尾静脉抽血制备血清。约10尾鱼用微波炉处理加热至鱼体熟化后,分离脊柱,干燥,捣碎后去脂制备脱脂干骨^[8],饲料的总能、饲料和鱼体的粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷的测定依据国标方法^[9]。血清中磷和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)采用试剂盒测定(南京建成生物工程公司),饲料和类中的铬、饲料和全鱼的镁、锌、锰、铜,经预处理后^[10],采用原子吸收光谱法(火焰法)测定(HITACHI Z-530)。营养物质消化率的公式参照文献[2],特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)等指标参考文献[11],空壳率、脂体比指标参照文献[12]。

1.4 数据统计分析

数据分析采用SPSS11.0统计软件,先做方差分析,有显著差异后再做组间Duncan's多重比较。显著水平 P 设为0.05,试验数据用平均数±标准误差($\bar{X} \pm SE$)表示。

2 结果

2.1 奥尼罗非鱼对不同饲料的粗蛋白和部分矿物质的表现消化率

各饲料组奥尼罗非鱼对饲料蛋白质和部分矿物质的表现消化率见表2。结果表明,D0组饲料粗蛋白和镁表现消化率最高,与D3组和D4组差异不显著($P>0.05$);D2组粗蛋白和镁表现消化率高于D1组,但两者差异不显著($P>0.05$)。D4组磷和锌的表现消化率最高,显著高于D1组和D2组($P<0.05$),与D0组和D3组差异不显著($P>0.05$)。D0组和D3组磷和锌的表现消化率差异不显著(P

>0.05),D1组磷和锌表现消化率显著低于D2组($P<0.05$)。

2.2 各饲料组奥尼罗非鱼幼鱼特定生长率、饲料系数、蛋白质效率和成活率

各饲料组罗非鱼的特定生长率,饲料系数和成活率见表3。结果表明,D0组的特定生长率、蛋白质效率和成活率最高,饲料系数最低,与D4组差异不显著($P>0.05$),与D1、D2、D3各组差异显著($P<0.05$),D2组的特定生长率、成活率和蛋白质效率显著高于D1组($P<0.05$),但在饲料系数方面则刚好相反。D3组和D4组间的特定生长率和饲料系数差异不显著($P>0.05$),但D4组蛋白质效率和成活率显著高于D3组($P<0.05$)。

2.3 各饲料组奥尼罗非鱼幼鱼的体成分

各饲料组之间罗非鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分测定结果见表4。各饲料组间罗非鱼水分含量差异不显著($P>0.05$)。D0组粗蛋白含量最高,与D2、D3、D4组组间差异不显著($P>0.05$),但显著高于D1组($P<0.05$)。D1组粗脂肪含量最高,显著高于D0、D3、D4组($P<0.05$),但与D2组差异不显著($P>0.05$)。灰分含量以D0组最高,与D4组差异不显著($P>0.05$),灰分含量在D3和D4组间差异显著($P<0.05$)。D1组空壳率最低,与D2组差异不显著($P>0.05$),D0、D3、D4组空壳率差异不显著($P>0.05$)。D1组脂体比最高,与D2组差异显著($P<0.05$),D0组的肠脂体比与D3和D4组差异不显著($P>0.05$)。

2.4 各饲料组奥尼罗非鱼幼鱼鱼体的矿物元素

各饲料组罗非鱼鱼体钙、磷、镁、锌、铜和锰测定结果见表5。鱼体钙、磷、镁含量以D0组最高,D1组最低;D1组除镁含量外,钙、磷和锌含量均显著低于D2组($P<0.05$)。D4组钙、磷、镁、锌和铜含量均高于D3组,但两者之间差异不显著($P>0.05$)。铜和锰含量在各组间差异不显著($P>0.05$)。

表2 各饲料组奥尼罗非鱼对饲料蛋白质和部分矿物质的表现消化率($n=3$)

Tab.2 Apparent digestibility coefficients (ADC) of crude protein and some minerals ($n=3$) $\bar{X} \pm SE, \%$

成分 Composition	组别 Group				
	D0	D1	D2	D3	D4
粗蛋白 CP ^a	80.90±0.32 ^a	77.65±0.61 ^b	79.14±0.59 ^{ab}	79.81±0.81 ^a	79.97±0.79 ^a
P	34.52±1.17 ^b	23.93±1.74 ^d	29.48±0.48 ^c	37.40±0.86 ^{ab}	39.44±0.57 ^a
Mg	62.37±1.03 ^a	56.10±1.19 ^b	57.53±1.21 ^b	59.64±0.97 ^{ab}	61.70±0.86 ^a
Zn	30.08±0.93 ^a	18.41±0.82 ^c	26.18±1.53 ^b	25.41±0.94 ^b	32.95±1.29 ^a

注:同行数据上标字母不同者表示存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Within the same line, values with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

表3 各饲料组奥尼罗非鱼幼鱼特定生长率、饲料系数、蛋白质效率和成活率($n=3$)Tab.3 Specific growth rate, feed coefficient, protein efficiency ratio and survival ratio of juvenile tilapia fed on experimental diets($n=3$)

组别 Group	特定生长率/(%·d ⁻¹) SGR	饲料系数 FC	蛋白质效率 PER	成活率/% Survival rate
D0	3.17±0.08 ^a	1.42±0.02 ^d	2.23±0.04 ^a	97.8±1.11 ^a
D1	2.32±0.15 ^d	2.27±0.10 ^a	1.34±0.06 ^e	83.3±0.00 ^e
D2	2.71±0.03 ^c	1.97±0.05 ^b	1.55±0.05 ^d	91.1±1.11 ^b
D3	2.84±0.08 ^{bc}	1.66±0.04 ^c	1.82±0.05 ^c	91.1±2.22 ^b
D4	3.00±0.02 ^{ab}	1.52±0.06 ^{cd}	1.98±0.04 ^b	96.7±1.92 ^a

注:同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。Note: Within the same column, values with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).表4 各饲料组的罗非鱼幼鱼体成分($n=3$)Tab.4 Composition of whole body of juvenile tilapia fed on experimental diets($n=3$) $\bar{X} \pm SE$; % (FW)

项目 Item	组别 Group				
	D0	D1	D2	D3	D4
水分 Moisture	72.94±0.45	73.08±0.12	73.13±0.08	73.29±0.52	73.59±0.18
粗蛋白 CP	16.23±0.11 ^a	15.65±0.15 ^b	15.85±0.21 ^{ab}	15.97±0.10 ^{ab}	16.02±0.16 ^{ab}
粗脂肪 EE	6.50±0.09 ^b	7.80±0.06 ^a	7.67±0.10 ^a	6.82±0.10 ^b	6.47±0.25 ^b
灰分 Ash	4.05±0.14 ^a	2.60±0.04 ^c	2.84±0.03 ^{bc}	3.09±0.16 ^b	3.68±0.16 ^a
空壳率 TR	90.36±0.56 ^a	88.77±0.17 ^b	89.56±0.19 ^{ab}	90.01±0.25 ^a	90.04±0.08 ^a
脂体比 IPI	1.39±0.05 ^c	2.39±0.17 ^a	1.83±0.05 ^b	1.62±0.12 ^{bc}	1.50±0.07 ^{bc}

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。Note: Within the same line, values with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).表5 各饲料组的罗非鱼幼鱼鱼体的矿物元素水平($n=3$)Tab.5 Mineral contents in the whole body of juvenile tilapia fed on experimental diets($n=3$) $\bar{X} \pm SE$

项目 Item	组别 Group				
	D0	D1	D2	D3	D4
Ca/%	1.14±0.02 ^b	0.60±0.01 ^d	0.74±0.05 ^c	1.02±0.02 ^b	1.02±0.03 ^b
P/%	0.75±0.03 ^b	0.46±0.01 ^d	0.60±0.02 ^c	0.67±0.02 ^b	0.71±0.02 ^{ab}
Mg/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	306.6±5.80 ^a	239.6±3.29 ^c	252.8±1.01 ^b	284.6±4.11 ^b	296.0±6.72 ^{ab}
Zn/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	27.10±0.14 ^a	25.41±0.21 ^c	26.26±0.12 ^b	26.94±0.34 ^{ab}	27.42±0.30 ^a
Cu/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	3.16±0.09	2.92±0.15	3.03±0.14	3.02±0.17	3.33±0.14
Mn/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	1.70±0.07	1.53±0.13	1.93±0.16	1.84±0.18	1.68±0.08

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。Note: Within the same line, values with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

2.5 各饲料组奥尼罗非鱼血液生化指标和骨骼性状

罗非鱼血液生化指标和骨骼性状见表6, D4组中血清磷含量最高,显著高于D1组和D2组($P<0.05$),与D3组和D0组差异不显著($P>0.05$);D1组和D2组,D3组和D0组两组组间血清磷含量差异不显著($P>0.05$)。D1组碱性磷酸酶活性最高,显著高于D0组、D3组和D4组($P<0.05$),与D2组差异不显著($P>0.05$);D0组、D3组和D4组碱性磷酸酶活性差异不显著($P>0.05$)。D0组脱脂

干骨灰分、钙、磷含量最高,显著高于D1组和D2组($P<0.05$),与D3组和D4组差异不显著($P>0.05$);D2组脱脂干骨灰分、钙、磷含量高于D1组,但两者间差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 添加植酸酶和磷酸二氢钙对奥尼罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

磷是鱼类生长的必需矿物元素,它不仅是鱼体的重要组成成分,而且还是鱼体内许多酶的重要组

表6 各饲料组罗非鱼血清磷含量、碱性磷酸酶活性和脱脂干骨成分($n=3$)Tab.6 The content of serum inorganic P, activity of AKP and the composition of lipid extracted vertebrae of juvenile tilapia fed on experimental diets($n=3$)

组别 Group	血清 Serum		脱脂干骨 Lipid extracted vertebrae		
	P/(mg·mL ⁻¹)	碱性磷酸酶(金氏单位) ¹⁾ ALP (King's unit)	灰分/% Ash	P/%	Ca/%
D0	39.64±0.37 ^a	3.61±0.22 ^a	0.40±0.01 ^a	7.56±0.30 ^a	15.50±0.47 ^a
D1	36.55±0.24 ^b	5.85±0.10 ^b	0.35±0.00 ^b	6.41±0.17 ^b	12.81±0.85 ^b
D2	36.71±0.33 ^b	5.50±0.24 ^b	0.35±0.01 ^b	6.42±0.27 ^b	12.96±0.54 ^b
D3	40.05±0.51 ^a	4.15±0.21 ^a	0.38±0.01 ^a	7.39±0.20 ^a	15.03±0.71 ^a
D4	40.69±0.22 ^a	3.89±0.12 ^a	0.39±0.00 ^a	7.40±0.21 ^a	15.16±0.27 ^a

注:1) 金氏单位碱性磷酸酶定义为 100 ml 血清在 30 ℃, pH 9.0 条件下与磷酸苯二钠作用 15 min 释放出 1 mg 酚的酶量。

同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异 ($P<0.05$)。

Note: 1) One King's unit of ALP is defined as the amount of enzyme in 100 mL serum that react with disodium phenyl phosphate to liberate 1 mg phenol in 15 min under the conditions of 30 ℃ and pH 9.0.

Within the same column, values with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

分,参与三大营养物质的代谢。罗非鱼对有效磷的需要量在 0.5% 左右^[2],而幼鱼对有效磷要求可能更高。以植物蛋白替代鱼粉,有效磷降低是影响罗非鱼生长和饲料利用的一个重要因素。本研究,添加植酸酶提高了罗非鱼对磷、镁、锌的利用率,特别是与 D1 组相比, D2 组的磷、锌的表现消化率有了显著提高。这和许多学者在不同鱼类得出的结论一致^[13-17]。不仅如此,在理论上,植酸酶水解植酸释放磷的同时,可以将与植酸整合的蛋白质释放出来,便于消化道分泌的各种蛋白酶作用,同时还可以释放与植酸结合的内源性蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶等^[8],这可能有助于解释在本研究中添加植酸酶能够提高罗非鱼对饲料粗蛋白消化利用率的原因。因此,作者认为添加植酸酶的效果是综合的,能从总体上提高罗非鱼饲料利用和生长性能。本研究在饲料中添加磷酸二氢钙,不仅提高了罗非鱼对矿物质的利用率,而且与 D1 组相比,还提高了饲料粗蛋白质的消化率,从而促进了罗非鱼对营养物质的吸收。尽管在 D4 组同时添加了植酸酶和磷酸二氢钙,但罗非鱼的生长性能和饲料利用低于全鱼粉组,这与 Papatryphon 等^[16]在条纹石斑 (*Monroe saxatilis*)、Vielma 等^[17]在虹鳟得出的结论相一致,说明用植物蛋白替代鱼粉时还应该考虑植物蛋白对饲料品质的影响,如配方中所用植物蛋白的氨基酸平衡、抗营养因子和适口性等。

3.2 添加植酸酶和磷酸二氢钙对奥尼罗非鱼体成分的影响

在饲养过程中,观察发现在外形上, D1 组试验鱼出现头部畸形,脊椎弯曲,鱼鳞脱落等一系列的磷

缺乏症^[18], D2 组也出现轻微的缺磷症状,其他各组则未有出现。从鱼体成分分析得出的结果显示, D1 组灰分最低,脂肪含量最高,脂体比比值最大,矿物元素的沉积最低,可见饲料中的有效磷低对鱼的体成分影响是多方面的。其中,饲料中低的有效磷组鱼体的脂肪含量升高,这与 Onishi 等^[19]在鲤鱼、Rodehutscoed 等^[20]在虹鳟得出的结论相一致。究其原因, Skonberg 等^[21]认为,饲料中磷缺乏时,抑制了脂肪酸的 β -氧化过程,而使鱼体脂肪含量维持在较高水平。关于饲料中磷含量对鱼体脂肪含量的影响还值得进一步研究。本研究发现,在饲料中添加植酸酶或磷酸二氢钙有助于改善鱼的生长性能,增加矿物质和蛋白质沉积,降低鱼体脂肪含量。鱼类和其他高等脊椎动物一样,具有磷的恒稳机制,可以通过调整肠道的磷吸收,尿磷排放和骨骼磷的沉积等机制,来适应低磷或高磷的摄入,但在鱼类,磷的生理调节机制还不完全清楚,而且现在还不清楚为使鱼类保持健康和良好的生长,是否必须使骨骼达到最大矿化程度^[22]。因此,在研究鱼对磷需要量时所选用的指标存在着不同的意见。Skonberg 等^[21]在研究虹鳟对饲料不同磷水平的生化反应时得出,相比较血清磷含量, ALP 活性、生长性能方面的指标、鱼鳞的灰分、钙、磷和镁的含量在反映速度和程度上对饲料磷水平更为敏感。而 Eya 等^[23]认为,对于大规模斑点叉尾鲷,血清 ALP 活性和骨骼强度是测定磷的需要量的两个敏感且可靠的指标。本研究综合血液生化指标和骨骼性状分析发现,在以植物蛋白完全替代鱼粉,且饲料磷利用率低的情况下,添加植酸酶和磷酸二氢钙有助于血清中磷水

平的提高,降低 ALP 活性,提高骨骼灰分含量,两者同时添加效果更好,各评价指标间还表现出了趋势的一致性。因此,作者认为研究罗非鱼幼鱼对饲料磷利用率时结合血清磷含量、AKP 活性和骨骼灰分作出综合评价将更为准确。

3.3 提高无鱼粉饲料磷的利用率的措施

由于鱼类缺乏分解植酸磷的植酸酶,无鱼粉饲料中植酸的存在降低了鱼类对饲料磷的利用率,成为提高无鱼粉饲料利用的重要限制因素之一。在饲料中添加植酸酶能够提高鱼类对饲料中磷的利用率^[3,8,24-26]。但植酸酶作为一种活性物质,有其发挥最佳活性的温度和 pH 值等条件,而且不同的鱼类,消化道环境存在差异,这些因素都影响植酸酶的添加效果。因此,采用植酸酶对植物性蛋白原料预消化处理,或根据不同的鱼类选择不同的植酸酶和添加方式,或在无鱼粉饲料中添加利用率高的磷酸盐和酸化剂,都是提高无鱼粉饲料磷的利用率的有效措施。

4 结论

无鱼粉饲料中补充磷可保持奥尼罗非鱼幼鱼生长率、饲料利用和全鱼可食部分营养成分含量;同时添加植酸酶,能显著提高饲料磷、镁、锌和粗蛋白的表观消化率,促进鱼体钙、磷、镁和锌沉积,并有进一步提高奥尼罗非鱼幼鱼生长和饲料利用的趋势。

参考文献:

- [1] Vielma J, Lall S P, Koskela J. Influence of low dietary cholecalciferol intake on phosphorus and trace element metabolism by rainbow trout [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1999, 122A: 117-125.
- [2] National Research Council (NRC). Nutrient Requirement of Fish [C]. Washington D C: National Academic Press, 1993. 50-115.
- [3] Storebakken T, Shearer K D, Rømm A J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 364-379.
- [4] Rodhehuscord E, Pfeffer E. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Water Sci Technol*, 1995, 31: 140-147.
- [5] Cheng Z J, Hardy R W. Effect of microbial phytase on apparent nutrient digestibility of barley, canola meal, wheat and wheat middlings, measured in vivo using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquac Nutr*, 2002, 8: 270-277.
- [6] Sajadi M, Carter C G. Effect of phytic acid and phytase on feed intake, growth, digestibility and trypsin activity in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. *Aquac Nutr*, 2004, 10: 135-142.
- [7] Oliva-Telles A, Pereira J P, Gouveia A, Gomes E. Utilization of diets supplemented with microbial phytase by senhau (*Dorosaurus labrax*) juveniles [J]. *Aquac Living Resour*, 1998, 11: 254-260.
- [8] Hughes K P, Soares J H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis* [J]. *Aquac Nutr*, 1998, 4: 130-140.
- [9] 崔淑文, 陈必芳. 饲料标准资料汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1991. 254-278.
- [10] 潘庆, 刘胜, 郑诚, 等. 植酸酶对奥尼罗非鱼生长及肌肉营养成分的影响 [J]. *水生生物学报*, 2002, 26(2): 115-119.
- [11] 林燕, 毛永庆. 鱼类营养与配合饲料学 [M]. 广州: 中山大学出版社, 1987, 80-84, 100-137.
- [12] 毛永庆, 林燕, 刘永坚. 饲料与培养鱼类的生长、生物性状和成分关系 [A]. 中国粮油学会饲料专业委员会第三届全国论文集 [C]. 太原, 1990. 11-123.
- [13] Larner D, D'Agaro E, Turri C. Use of nonlinear regression to evaluate the effects of phytase enzyme treatment of plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 343-356.
- [14] Forster I, Higgs D A, Donoghue B S, et al. Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11 °C fresh water [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 109-125.
- [15] Vielma J, Mäkinen T, Ekholm P, et al. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load [J]. *Aquaculture*, 2000, 183: 349-362.
- [16] Papatryphon E, Howell R A, Soares J H. Growth and mineral absorption by striped bass *Morone saxatilis* fed a plant feedstuff based diet supplemented with phytase [J]. *World Aquac Soc*, 1999, 30: 63-173.
- [17] Vielma J, Rodhehuscord E, Peisker M. Dehydrogenation of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 204: 143-156.
- [18] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 56-60.
- [19] Onishi T, Sanuki M, Takeuchi M. Changes in carp hepatic cytochrome activities with dietary phosphorus levels [J]. *Bull Jpn Sci Fish*, 1981, 47: 353-357.
- [20] Rodhehuscord M. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50-200 g to supplements of dilute sodium phosphate in a purified diet [J]. *Aquaculture*, 1996, 126: 328-331.
- [21] Skonberg D J, Yogev L, Hardy R W, et al. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1997, 157: 15-24.
- [22] Bureau D P, Cho C Y. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus

- waste output [J]. *Aquaculture*, 1999, 179:128-140.
- [23] Eya J C, Lovell R T. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds [J]. *Aquaculture*, 1997, 154:285-291.
- [24] Masamoto T, Taniura B, Shimeno S. Effects of phytase on bioavailability of phosphorus in soybean meal-based diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Fish Sci*, 2001, 67:1 070-1 080.
- [25] Sejjadi M, Carter 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, 240:414-431.
- [26] Schaefer A, Koppe W M, Meyer-Burgdorff K H, et al. Effects of a microbial phytase on the utilization of native phosphorus by carp in a diet based on soybean meal [J]. *Water Sci Technol*, 1995, 31:145-155.

Effects of phosphorus and phytase supplements on growth performance and body composition in juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* fed fishmeal-free diet

ZHENG TAO, PAN QING, LI Gui-feng, BI Ying-zuo

(Department of Aquaculture, School of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong)

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to investigate growth, feed utilization and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* (with initial body weight of 5.0 g) fed on fishmeal-free diets with supplements of inorganic phosphorus and phytase. Five test diets were formulated in which fishmeal diet (D0) was applied as control. Fishmeal-free diets were supplemented without phytase (D1), and with phytase (D2), with monobasic calcium phosphate alone (D3) and with monobasic calcium phosphate and phytase as well (D4). Each test diet was fed to three replicate tanks of fish. Thirty fish were randomly stocked into each tank and reared in a flowthrough system for eight weeks. Feeding rate was 5% - 6% of body weight to apparent satiation. The results showed that specific growth rate and feed efficiency in the fish fed on the diets with P supplements (D3 and D4) were not significantly different from that in the fish fed on the fishmeal diet (D0) ($P > 0.05$), but significantly higher than that in the fish fed on the diets without P supplements (D1 and D2) ($P < 0.05$). Significantly higher apparent digestibility of phosphorus was observed in the fish fed on diets with phytase supplements (D2 and D4) than that in the fish fed on the diets without phytase supplements (D1 and D3), but no significant differences were observed in the fish fed on the fishmeal diet (D0). Body crude protein content in the fish fed on the diet without P and phytase supplements (D1) was significantly lower than that in the fish fed on the other test diets (D0, D2, D3 and D4). Body crude lipid contents in the fish fed on diets without P supplements (D1 and D2) were significantly higher than that in the fish fed on the other test diets (D0, D3 and D4). Body ash contents were in the following descending order: D0, D4, D3, D2 and D1, and significant differences were observed among treatments. The contents of body Ca, P, Mg, Zn and the contents of ash, Ca, P in lipid-extracted bone were the highest in the fish fed on the fishmeal diet. The contents of serum phosphorus in the fish fed on the diets without P supplements (D1 and D2) were significantly lower than that in the fish fed on other test diets, whereas the activities of serum alkaline phosphatase were significantly higher. The results indicated that phosphorus supplemented in the fishmeal-free diet could keep the growth, feed utilization and the contents of nutritional composition of body edible part. Phytase supplemented in the fishmeal-free diets with P at the same time could increase dietary P utilization and the deposition of P, Mg and Zn in body, and further increase growth and feed utilization in juvenile tilapia. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(1):112-118]

Key words: tilapia; phosphorus; phytase; growth performance; body composition