

## 吉富罗非鱼成鱼对饲料中有效磷的需要量

蒋 明<sup>1,2</sup>, 姚鹰飞<sup>1,2</sup>, 文 华<sup>1\*</sup>, 吴 凡<sup>1</sup>, 刘 伟<sup>1</sup>, 田 娟<sup>1</sup>, 杨长庚<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所,农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室,湖北 武汉 430223;

2. 华中农业大学水产学院,湖北 武汉 430070)

**摘要:**为获得吉富罗非鱼成鱼对饲料中有效磷的需要量,以磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )为磷源,配制含有效磷水平分别为 0.15% (对照组)、0.40%、0.66%、0.91%、1.17% 和 1.43% 的 6 组等氮等能的半纯化饲料,每组饲料饲喂 3 个重复,每个重复饲养 20 尾初始体质量为(184.46 ± 8.13)g 吉富罗非鱼,经过 9 周的饲养后,对生长性能、饲料效率、成活率、全鱼基本营养成分、脊椎骨及鳞片的磷含量进行测定。结果显示,饲料有效磷为 0.66% 或 0.91% 时,鱼体增重率和特定生长率较其它各组均显著提高( $P < 0.05$ ),饲料效率显著高于对照组( $P < 0.05$ )。随着饲料有效磷含量的增加,实验鱼体的脏体指数、肝体指数和肥满度均显著降低( $P < 0.05$ ),成活率无显著性变化( $P > 0.05$ );全鱼粗蛋白、粗灰分及磷含量均显著提高( $P < 0.05$ ),粗脂肪含量显著下降( $P < 0.05$ );脊椎骨和鳞片的粗灰分和磷含量均显著提高( $P < 0.05$ )。用抛物线模型拟合特定生长率与饲料有效磷含量,罗非鱼获得最大生长时,对饲料中有效磷需要量为 0.85%;分别对全鱼磷含量、鳞片磷含量和脊椎骨灰分含量与饲料有效磷含量进行相关回归分析,罗非鱼对饲料中有效磷需要量分别为 0.88%、1.14%、1.23%。

**关键词:**吉富罗非鱼;有效磷;营养;需要量

**中图分类号:**S 963.16

**文献标志码:**A

磷是鱼类维持正常生长和骨骼沉积所必需的常量矿物元素之一<sup>[1]</sup>。鱼类可以从水中直接吸收磷,但养殖水体中磷的浓度通常有限且吸收率较低,因此鱼类需要的磷主要从饲料中获取<sup>[2]</sup>。而且由于鱼类对有机磷的消化利用率较低,所以鱼类对磷的需求依赖于饲料中无机磷的供给<sup>[3]</sup>。饲料中的磷缺乏时,大多数鱼类表现出生长缓慢,食欲减退,饲料效率下降,骨骼矿化程度降低等多种缺乏症状<sup>[1]</sup>。同时,磷供给过量不仅增加饲料成本,而且容易引起水体中总磷含量增加,是造成养殖水体富营养化的主要因素之一<sup>[4]</sup>,因此准确掌握饲料中磷元素的配比是保障鱼类正常生长和减少养殖过程中磷排放的关键措施之一。

吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* GIFT) 是通过 4 个非洲原种品系尼罗罗非鱼和 4 个亚洲

品系尼罗罗非鱼进行种内杂交选育而成的<sup>[5]</sup>,是我国罗非鱼养殖中最主要的养殖品系,因此有必要准确掌握吉富罗非鱼对有效磷的需要量。国内外学者对罗非鱼磷的需要量进行了广泛研究。曹经晔等<sup>[6]</sup>和 Ribeiro 等<sup>[7]</sup>分别报道了尼罗罗非鱼幼鱼对总磷的需要量为 0.93% 和 1.1%;Furuya 等<sup>[8-9]</sup>报道尼罗罗非鱼幼鱼和鱼种(35~100 g)对饲料中有效磷的需要量分别为 0.52% 和 0.48%;Robinson 等<sup>[10]</sup>报道在无钙水中,尼罗罗非鱼幼鱼对饲料中有效磷的需要量为 0.3%~0.5%。以上报道的研究对象均为尼罗罗非鱼幼鱼,结果差异较大,且缺少罗非鱼成鱼阶段磷的需要量数据。吉富罗非鱼经过多年选育,生长速度较其它尼罗罗非鱼品系提高 5%~30%,其对磷的需求可能已经产生改变。因此本实验通过考察不

收稿日期:2013-07-18 修回日期:2013-09-14

资助项目:罗非鱼现代产业技术体系建设专项(CARS-49);公益性行业(农业)科研专项(201003020);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2011JBFA21)

通信作者:文 华,E-mail:wenhua.hb@163.com

同有效磷水平的饲料对吉富罗非鱼成鱼的生长性能、饲料利用、体成分及组织中磷含量等指标的影响,以期获得吉富罗非鱼对饲料中有效磷的需要量,为其饲料的合理配制提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验设计与实验饲料

以酪蛋白—明胶—大豆粕为蛋白源、混合油脂(鱼油、豆油,质量比为1:1)为脂肪源、小麦面粉和糊精为糖源,以分析纯磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )为磷源,配制成6组半纯化饲料,其基本组成和营养成分见表1,实验饲料中磷酸二氢钾设计添加量为0%、1.2%、2.4%、3.6%、4.8%和6.0%(磷酸二氢钾替代基础饲料中的微晶纤维素),其有效磷水平分别为0.15%、0.40%、0.66%、0.91%、1.17%和1.43%(表2)。各原料粉碎后过0.246 mm筛,称质量后逐步混匀,加适量的水制成直径约3 mm的颗粒饲料,常温下用鼓风机鼓风风干至水分含量低于10%,置于-20℃冰柜中密封保存备用。

### 1.2 实验鱼与饲养管理

实验鱼来源于海南昌盛鱼鳖种苗场(海南罗非鱼良种场),饲养实验在长江水产研究所荆州实验基地室内流水养殖系统(顶棚为白色半透明塑料布)中进行。实验鱼正式实验前先暂养于圆形水泥池(内面贴蓝色瓷砖)中,药浴消毒,用对照组饲料驯养2周后,选取大小均一的吉富罗非鱼360尾,平均体质量为 $(184.46 \pm 8.13)$  g/尾。实验设6组,每组3个重复,每个重复20尾,饲养于有效水体积 $3.5 \text{ m}^3$ 的水泥池中(半径1.5 m,水深0.5 m),分别投喂上述1~6组饲料,每天投喂饲料3次(投喂时间分别为08:30、12:30和16:30),日投喂量为体质量的3%~5%。实验鱼每2周称体质量1次,根据体质量变化调整投喂

表1 基础饲料的营养组成及分析(干重)

Tab.1 Composition of the basal experimental diets(dry weight)

| 成分 ingredients                     | 含量/% content |
|------------------------------------|--------------|
| 酪蛋白 casein                         | 14.00        |
| 明胶 gelatin                         | 3.50         |
| 大豆粕 soybean meal                   | 25.00        |
| 面粉 wheat flour                     | 20.00        |
| 玉米油 corn oil                       | 3.00         |
| 豆油 soybean oil                     | 3.00         |
| 糊精 dextrin                         | 14.00        |
| 复合维生素 <sup>1</sup> vitamin premix  | 1.00         |
| 复合矿物质 <sup>2</sup> minerals premix | 2.00         |
| 氯化钙 $\text{CaCl}_2$                | 1.67         |
| 氯化胆碱 choline chloride              | 0.50         |
| 微晶纤维素 Micro-cellulose              | 12.33        |
| 干物质 dry matter                     | 90.53        |
| 粗蛋白 crude protein                  | 30.82        |
| 粗脂肪 crude lipid                    | 7.11         |
| 灰分 ash                             | 3.71         |
| 总磷 total phosphorus                | 0.24         |

注:1. 复合维生素向饲料提供(mg/kg):  $\text{VB}_1$  50 mg/kg,  $\text{VB}_2$  50 mg/kg,  $\text{VB}_5$  100 mg/kg,  $\text{VB}_3$  60.5 mg/kg, 维生素  $\text{B}_6$  40 mg/kg, 生物素 0.03 mg/kg, 叶酸 15 mg/kg, 肌醇 2 000 mg/kg, VC, 39.5 mg/kg,  $\text{VK}_3$  40 mg/kg, VE 500 mg/kg, VA 4 mg/kg,  $\text{VD}_3$  0.004 685 mg/kg; 2. 复合矿物质向饲料提供  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  60 mg/kg,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  2 740 mg/kg,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  20 mg/kg,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 mg/kg,  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  3 mg/kg,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  16 mg/kg, KI 3 mg/kg,  $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  42.5 mg/kg, NaCl 870 mg/kg, KCl 1 500 mg/kg

Notes: 1. vitamin premix provided by diet(mg/kg): vitamin  $\text{B}_1$  50 mg/kg, vitamin  $\text{B}_2$  50 mg/kg, vitamin  $\text{B}_3$  100 mg/kg, vitamin  $\text{B}_3$  60.5 mg/kg, vitamin  $\text{B}_6$  40 mg/kg, biotin 0.03 mg/kg, folic acid 15 mg/kg, inositol 2 000 mg/kg, vitamin C 39.5 mg/kg, vitamin  $\text{K}_3$  40 mg/kg, vitamin E 500 mg/kg, vitamin A 4 mg/kg, vitamin  $\text{D}_3$  0.004 685 mg/kg; 2. minerals premix provided by diet(mg/kg):  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  60 mg/kg,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  2 740 mg/kg,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  20 mg/kg,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 mg/kg,  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  3 mg/kg,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  16 mg/kg, KI 3 mg/kg,  $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  42.5 mg/kg, NaCl 870 mg/kg, KCl 1 500 mg/kg

表2 饲料中的有效磷含量

Tab.2 Dietary available phosphorus levels

|   | 组别 group |      |      |      |      |      | % |
|---|----------|------|------|------|------|------|---|
|   | 1        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |   |
| 添加磷 <sup>1</sup> supplementary phosphorus | 0        | 0.27 | 0.55 | 0.82 | 1.09 | 1.37 |   |
| 总磷 total phosphorus                       | 0.24     | 0.51 | 0.79 | 1.06 | 1.33 | 1.61 |   |
| 有效磷 <sup>2</sup> available phosphorus     | 0.15     | 0.40 | 0.66 | 0.91 | 1.17 | 1.43 |   |

注:1. 磷源为磷酸二氢钾; 2. 有效磷 = 基础饲料总磷 × 61.33% + 添加的磷 × 93.43%

Notes: 1. Phosphorus source is  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 2. Available phosphorus = total phosphorus in basal diet × 61.33% + supplementary phosphorus × 93.43%

量,每次投喂之前清除池底的残饵和排泄物,每日记录水温、摄食及死亡情况。养殖实验持续 9 周,养殖期间自然光照,连续通气,保持常流水,水中溶解氧 6.0 mg/L 以上,氨态氮  $\leq 0.03$  mg/L,水温 21 ~ 31  $^{\circ}\text{C}$ , pH 约 7.0。实验水体钙、磷含量分别为 25.20 和 0.09 mg/L。

### 1.3 样品采集、分析与计算

实验开始和结束时,均禁食 24 h,称量记录实验鱼初始体质量和终末体质量,计算体质量增加率 (weight gain rate, WGR) 和特定生长率 (specific growth rate, SGR);每天投喂前后称量每重复投喂饲料质量,并记录各组的死亡情况,实验结束后计算饲料效率 (feed efficiency, FE) 及成活率;实验结束后,每重复随机取 3 尾鱼并称其体质量,测其体长,取肝脏、内脏和背部肌肉并称其质量,计算肝体比 (hepatosomatic index, HSI)、脏体比 (viscerosomatic index, VSI) 和肥满度 (condition factor, CF)。

实验结束后,每平行取 3 尾实验鱼,用绞肉机制作全鱼样品,测定全鱼基本营养成分<sup>[11]</sup>。另每平行取 3 尾实验鱼,取其鳞片若干,用蒸馏水清洗干净,并在 105  $^{\circ}\text{C}$  下烘干;再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<sup>[12]</sup>。

### 1.4 饲料中有效磷的测定和计算

分别用 0.5% (占干重) 的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  替代对照组和第 3 组中的微晶纤维素,配制成含有指示剂的饲料  $G_0$  和  $G_3$ 。另选取大小均一的 30 尾吉富罗非鱼,平均体质量为 (186.23  $\pm$  7.25) g/尾,实验设 2 组,每组 3 个重复,每个重复 5 尾,饲养于约 250 L 的养殖桶中,分别用饲料  $G_0$  和  $G_3$  驯养 2 周,每天投喂 2 次 (08:30、16:30)。2 周后,每天在投喂 1 h 后清除残饵,3 h 后开始采用虹吸法收集成型的粪便条于样

品袋中,并于 -20  $^{\circ}\text{C}$  冷藏。实验结束后,将粪便在冷冻干燥仪中干燥,粉碎后用于测定饲料磷的表观消化率 (ADCp)。采用  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  指示剂法测定 ADCp,试样中的铬含量采用酸消化法、原子吸收分光光度计 (AA320CRT) 测定<sup>[13]</sup>:

$$ADCp = [1 - (C_1/C_2)(N_2/N_1)] \times 100\%$$

式中:  $C_1$  为饲料中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的质量分数 (%),  $C_2$  为粪便中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的质量分数 (%),  $N_1$  为饲料中磷的质量分数 (%),  $N_2$  为鱼粪便磷的质量分数 (%)。磷酸二氢钾中的磷的利用率 ( $D_i$ ) 计算公式<sup>[14]</sup>:

$$D_i (\%) = 100\% \times [(TP_3 \times ADCp_3) - TP_0 \times ADCp_0] / IP_3$$

式中:  $TP_0$  和  $TP_3$  分别为  $G_0$  和  $G_3$  饲料中的总磷含量,  $ADCp_0$  和  $ADCp_3$  分别为  $G_0$  和  $G_3$  饲料中的总磷的表观消化率,  $IP_3$  为  $G_3$  饲料中无机磷含量。

### 1.5 统计分析

采用 SPSS 11.5 软件 (One-Way ANOVA) 对所得实验数据进行单因素方差分析,用 Duncan 氏多重比较分析组间差异,所有的数据结果均以样本平均值 ( $\bar{X}$ )  $\pm$  标准偏差 (SD) 来表示。并用折线模型和抛物线模型<sup>[15]</sup> 分别对特定生长率、全鱼磷含量、鳞片磷含量及脊椎骨灰分含量与饲料有效磷含量进行相关回归分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料中有效磷含量对吉富罗非鱼成鱼生长性能和饲料效率的影响

在 9 周的养殖实验中,饲料中的有效磷含量不足的实验组的实验鱼表现出生长速度下降,饲料效率降低的缺乏症状,没有发现其它肉眼可见的缺乏症状。

表 3 饲料有效磷含量对吉富罗非鱼成鱼生长性能和饲料效率的影响

Tab. 3 Effect of dietary available phosphorus level on growth performance and feed efficiency of adult GIFT Tilapia

|                             | 饲料有效磷含量/% dietary available phosphorus levels |                                  |                                 |                                |                                 |                                 |
|-----------------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                             | 0.15 (对照)                                     | 0.40                             | 0.66                            | 0.91                           | 1.17                            | 1.43                            |
| 初重/g IBW,                   | 184.78 $\pm$ 8.73                             | 184.37 $\pm$ 7.71                | 184.22 $\pm$ 7.91               | 183.95 $\pm$ 8.20              | 185.22 $\pm$ 8.22               | 184.22 $\pm$ 9.01               |
| 末重/g FBW                    | 414.65 $\pm$ 29.75 <sup>d</sup>               | 477.10 $\pm$ 11.76 <sup>bc</sup> | 527.41 $\pm$ 20.98 <sup>a</sup> | 549.96 $\pm$ 6.82 <sup>a</sup> | 493.99 $\pm$ 15.22 <sup>b</sup> | 452.71 $\pm$ 30.07 <sup>c</sup> |
| 增重率/% WGR                   | 124.37 $\pm$ 6.00 <sup>d</sup>                | 158.81 $\pm$ 7.86 <sup>bc</sup>  | 187.29 $\pm$ 12.76 <sup>a</sup> | 198.97 $\pm$ 2.98 <sup>a</sup> | 166.70 $\pm$ 7.65 <sup>b</sup>  | 145.74 $\pm$ 7.36 <sup>c</sup>  |
| 特定生长率/(%/d) SGR             | 1.28 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>                  | 1.51 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>    | 1.67 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>    | 1.74 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>   | 1.56 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>    | 1.42 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>    |
| 饲料效率 FE                     | 52.17 $\pm$ 2.11 <sup>c</sup>                 | 63.14 $\pm$ 3.08 <sup>b</sup>    | 65.89 $\pm$ 3.94 <sup>ab</sup>  | 69.66 $\pm$ 2.69 <sup>a</sup>  | 68.20 $\pm$ 2.03 <sup>ab</sup>  | 64.88 $\pm$ 4.41 <sup>ab</sup>  |
| 肝体比/% HIS                   | 3.11 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>                  | 2.82 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>     | 2.82 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>    | 2.48 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup>   | 2.47 $\pm$ 0.24 <sup>c</sup>    | 2.31 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>    |
| 脏体比/% VSI                   | 10.97 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup>                 | 10.74 $\pm$ 0.76 <sup>ab</sup>   | 9.91 $\pm$ 0.63 <sup>bc</sup>   | 9.11 $\pm$ 0.47 <sup>cd</sup>  | 8.81 $\pm$ 0.73 <sup>d</sup>    | 8.47 $\pm$ 0.53 <sup>d</sup>    |
| 肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF | 4.51 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>                  | 4.43 $\pm$ 0.29 <sup>ab</sup>    | 4.42 $\pm$ 0.27 <sup>ab</sup>   | 4.13 $\pm$ 0.30 <sup>bc</sup>  | 4.15 $\pm$ 0.27 <sup>bc</sup>   | 4.03 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>    |

注:同行数据中标注不同字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

当饲料中有效磷含量不超过 0.91% 时, 实验鱼增重率和特定生长率均随着饲料中有效磷含量的增加而提高, 当饲料中有效磷含量超过 0.91% 时, 增重率和特定生长率随着有效磷含量的提高而显著降低(表 3)。随着饲料中有效磷含量的增加, 实验鱼体的肝体比、脏体比及肥满度均显著降低( $P < 0.05$ ), 各组间的成活率均为 100%, 无显著差异( $P > 0.05$ )。对照组肝体指数显著高于其它各组( $P < 0.05$ ), 对照组脏体指数除与 0.40% 组无显著差异外( $P < 0.05$ ), 均显著高于其它各组( $P < 0.05$ )。

以饲料有效磷含量为自变量( $X$ ), 以特定生长率为因变量( $Y$ )作回归分析, 得出二次回归方程  $y = -0.907x^2 + 1.553x + 1.036$  ( $R^2 = 0.909$ ), 当  $X = 0.85\%$ , 即罗非鱼成鱼获得最大生长效果时饲料中有效磷含量为 0.85% (图 1)。

## 2.2 饲料中有效磷含量对吉富罗非鱼成鱼全鱼、脊椎骨及鳞片营养成分的影响

饲料有效磷含量除对全鱼水分含量无显著影响( $P > 0.05$ )外, 对其它营养成分均有显著影响( $P < 0.05$ )。在全鱼营养成分中, 对照组粗蛋白

含量显著低于 1.17% 和 1.43% 组( $P < 0.05$ ), 粗脂肪除与 0.40% 组无显著差异外( $P > 0.05$ ), 均显著高于其他各组( $P < 0.05$ ); 对照组灰分和磷含量均最低, 1.17% 组灰分和磷含量除与 0.91% 和 1.43% 组无显著差异外( $P > 0.05$ ), 均显著高于其他各组( $P < 0.05$ ) (表 4)。

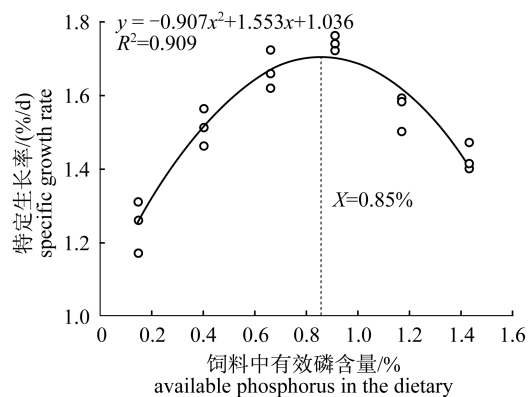


图 1 饲料中有效磷含量对罗非鱼特定生长率影响的回归分析

Fig. 1 Regression analysis between dietary available phosphorus level and specific growth rate

表 4 全鱼、脊椎骨和脊鳞片营养组成  
Tab. 4 Effect of dietary available phosphorus level on contents of whole body, vertebrae and scale of adult GIFT Tilapia

|                                      | 饲料有效磷含量 dietary available phosphorus levels |                           |                           |                            |                           |                           |
|--------------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                      | 0.15(对照)                                    | 0.40                      | 0.66                      | 0.91                       | 1.17                      | 1.43                      |
| 全鱼 whole body (% of the live weight) |   |                           |                           |                            |                           |                           |
| 水分 moisture                          | 69.28 ± 1.06                                | 68.67 ± 1.41              | 69.74 ± 1.51              | 68.63 ± 0.83               | 68.61 ± 0.94              | 68.88 ± 0.41              |
| 粗蛋白 crude protein                    | 14.89 ± 0.06 <sup>b</sup>                   | 14.54 ± 0.22 <sup>b</sup> | 15.09 ± 0.36 <sup>b</sup> | 14.77 ± 0.60 <sup>b</sup>  | 16.78 ± 0.09 <sup>a</sup> | 16.92 ± 0.21 <sup>a</sup> |
| 粗脂肪 crude lipid                      | 12.49 ± 0.20 <sup>a</sup>                   | 11.98 ± 0.78 <sup>a</sup> | 10.67 ± 0.05 <sup>b</sup> | 9.83 ± 0.64 <sup>bc</sup>  | 9.67 ± 0.30 <sup>c</sup>  | 7.82 ± 0.65 <sup>d</sup>  |
| 灰分 ash                               | 2.10 ± 0.17 <sup>c</sup>                    | 2.25 ± 0.05 <sup>bc</sup> | 2.41 ± 0.7 <sup>b</sup>   | 4.13 ± 0.15 <sup>a</sup>   | 4.34 ± 0.13 <sup>a</sup>  | 4.37 ± 0.28 <sup>a</sup>  |
| 磷 phosphorus                         | 0.80 ± 0.07 <sup>d</sup>                    | 1.10 ± 0.07 <sup>c</sup>  | 1.75 ± 0.18 <sup>b</sup>  | 2.00 ± 0.17 <sup>ab</sup>  | 2.09 ± 0.14 <sup>a</sup>  | 2.24 ± 0.14 <sup>a</sup>  |
| 鳞片 scale (% of the dry weight)       |   |                           |                           |                            |                           |                           |
| 灰分 ash                               | 34.97 ± 0.40 <sup>b</sup>                   | 38.25 ± 1.47 <sup>a</sup> | 38.54 ± 0.54 <sup>a</sup> | 39.31 ± 0.42 <sup>a</sup>  | 39.88 ± 1.06 <sup>a</sup> | 39.82 ± 0.85 <sup>a</sup> |
| 磷 phosphorus                         | 4.50 ± 0.16 <sup>c</sup>                    | 5.03 ± 0.10 <sup>b</sup>  | 5.14 ± 0.06 <sup>ab</sup> | 5.29 ± 0.17 <sup>a</sup>   | 5.17 ± 0.12 <sup>ab</sup> | 5.31 ± 0.13 <sup>a</sup>  |
| 脊椎骨 vertebrae (% of the dry weight)  |   |                           |                           |                            |                           |                           |
| 灰分 ash                               | 54.42 ± 1.62 <sup>d</sup>                   | 58.60 ± 1.27 <sup>c</sup> | 60.33 ± 0.83 <sup>b</sup> | 61.11 ± 0.93 <sup>ab</sup> | 61.85 ± 0.81 <sup>a</sup> | 62.26 ± 0.69 <sup>a</sup> |
| 磷 phosphorus                         | 8.13 ± 0.38 <sup>c</sup>                    | 8.69 ± 0.28 <sup>b</sup>  | 8.95 ± 0.28 <sup>ab</sup> | 9.00 ± 0.28 <sup>ab</sup>  | 9.10 ± 0.22 <sup>ab</sup> | 9.27 ± 0.28 <sup>a</sup>  |

注: 同行数据中标注不同字母表示显著性差异( $P < 0.05$ )

Notes: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

以饲料有效磷含量为自变量( $X$ ), 以全鱼磷含量为因变量( $Y$ )作折线回归分析, 得回归折线方程  $Y = 1.88x + 0.46$  ( $R^2 = 0.928$ ), 当  $x > 0.88\%$

时,  $Y = 2.11$ 。从而求得拐点  $X = 0.88\%$ , 即罗非鱼鱼种获得全鱼磷含量最大时饲料中有效磷最适含量为 0.88% (图 2)。

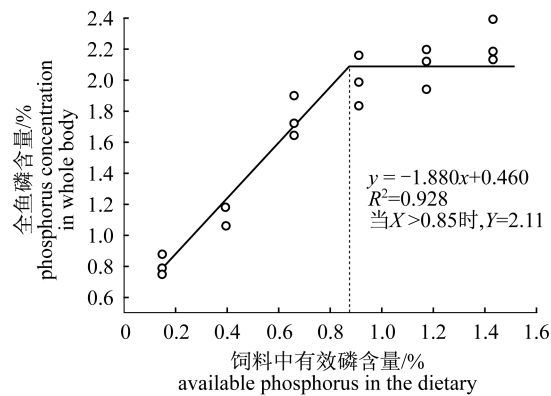


图 2 饲料磷水平对全鱼磷含量影响的回归分析  
Fig. 2 Regression analysis between dietary phosphorus level and phosphorus concentration in whole body

在鳞片上,对照组中灰分和磷含量均最低,均显著低于其他各组 ( $P < 0.05$ ); 0.91% 组磷含量显著高于对照组和 0.40% 组 ( $P < 0.05$ ), 与其他各组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。在脊椎骨中,灰分和磷含量均随饲料有效磷含量的升高而升高, 1.17% 组灰分和磷含量均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 与 0.91% 和 1.43% 均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

分别以饲料有效磷含量为自变量 ( $X$ ), 以脊椎骨灰分含量和鳞片磷含量为因变量 ( $Y$ ) 作回归折线分析, 得回归方程分别为  $y = -6.223x^2 + 15.36x + 52.71$  ( $R^2 = 0.917$ ),  $y = -0.673x^2 + 1.535x + 4.421$  ( $R^2 = 0.776$ ) 从而求得拐点分别为 1.23% 和 1.14%, 即罗非鱼成鱼获得脊椎骨最大灰分含量和鳞片最大磷含量时, 饲料中有效磷含量分别为 1.23% 和 1.14% (图 3 和图 4)。

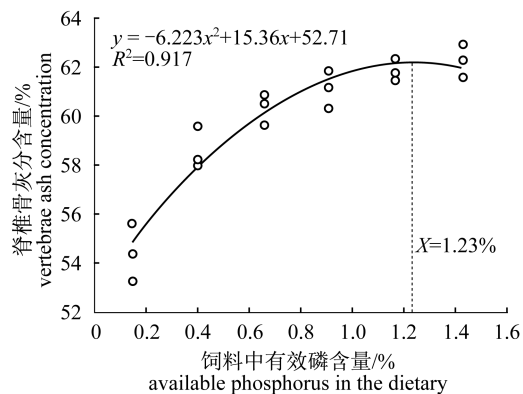


图 3 饲料磷水平对脊椎骨灰分含量影响的回归分析  
Fig. 3 Regression analysis between dietary phosphorus level and ash concentration in vertebrae

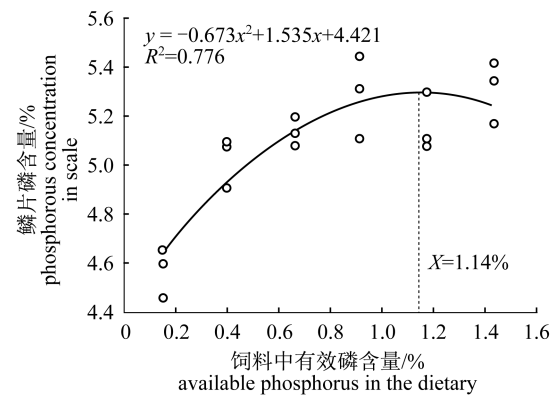


图 4 饲料磷水平对鳞片磷含量影响的回归分析  
Fig. 4 Regression analysis between dietary phosphorus level and phosphorus concentration in scale

### 3 讨论

在本实验中, 罗非鱼的磷的缺乏症表现为生长缓慢, 饲料效率降低、全鱼粗蛋白、灰分和磷减少、体脂含量增加等。这个结果和黑线鲳<sup>[14]</sup> (*Melanogrammus aeglefinus* L.)、草鱼<sup>[16]</sup> (*Ctenopharynodon idellus*)、胭脂鱼<sup>[17]</sup> (*Myxocyprinus asiaticus*)、史氏鲟<sup>[18]</sup> (*Acipenser schrenckii* Brandt)、花鲢<sup>[19]</sup> (*Hemibarbus maculatus*) 等相一致。但也有报道用含磷不足的饲料喂养鲤鱼会表现出骨骼发育异常, 脊椎骨弯曲等症状<sup>[20]</sup>。产生这种差异的原因可能在于各实验鱼的养殖品种、大小、实验周期和实验饲料等。实验初始体质量较小的幼鱼在理想的实验条件下, 生长速度快, 对磷的缺乏更加敏感<sup>[3]</sup>。本实验选用的是规格较大的成鱼, 其初始磷蓄积量大, 且骨骼系统发展相对较完善, 生长速度相对较慢, 在 9 周的养殖实验中, 更多的缺乏症状还未表现出来。添加磷组的增重率和特定生长率要明显高于未添加组, 同时也具有较高的饲料效率, 这说明饲料中添加适量的磷有助于罗非鱼的生长和饲料利用。但是当饲料磷添加过多时, 罗非鱼的增重率和饲料效率均明显下降, 这可能是饲料中过多的磷导致了钙磷比不平衡而出现“水桶效应”, 同时对其他营养素吸收产生了抑制作用, 从而阻碍了鱼类的正常生长<sup>[14]</sup>。

在本实验室的已有的研究中, 在流水养殖系统中吉富罗非鱼<sup>[21]</sup> (46 ~ 158 g) 的有效磷需要量为 0.86%。本实验吉富罗非鱼成鱼 (184 ~ 549 g) 对有效磷的需要量为 0.85%。另外红罗非

鱼<sup>[22]</sup> (25 ~ 95 g) 的有效磷需要量为 0.76% ~ 0.79%。曹经晔等<sup>[6]</sup>报道在流水养殖系统中尼罗罗非鱼(0.3 ~ 2.7 g)对总磷的需要量为 0.93%，估算成有效磷的需要量约为 0.75% ~ 0.85%；Ribeiro 等报道<sup>[7]</sup>流水系统中尼罗罗非鱼(0.6 g)对总磷的需要量为 1.1%，估算成有效磷的需要量约为 0.8% ~ 0.9%。以上结果显示罗非鱼获得最佳生长时，罗非鱼对饲料中有效磷的需要量约为 0.76% ~ 0.86%，并且在各个生长阶段对磷的需要量较为稳定。但是 Furuya 等<sup>[8]</sup>报道在循环水养殖系统中尼罗罗非鱼(0.4 ~ 38 g)的有效磷需要量为 0.52%，尼罗罗非鱼<sup>[9]</sup> (35 ~ 100 g) 的有效磷需要量为 0.48%。这两个研究数据也反应不同生长阶段的尼罗罗非鱼对磷的需要量较为稳定，但与前面报道的需要量结果存在一定的差异。这可能是受实验养殖系统的影响，Furuya 等<sup>[8-9]</sup>采用的是循环水养殖系统，磷可能在系统中富集，而鱼类可以通过鳃从水体中吸收部分无机磷，从而引起需要量的结果偏低。也有可能是采用的不同品系的罗非鱼对磷的需要量存在较大的差异，不同品系的罗非鱼对有效磷的需要量是否存在差异，这需要在同一实验条件下进行比较研究。

由于骨骼和鳞片是鱼类磷代谢和沉积的主要部位，因此在研究鱼类对磷的需要量时，脊椎骨和鳞片的灰分及钙、磷含量常被作为确定饲料中最适磷含量的主要参考指标<sup>[23-24]</sup>。另外，全鱼中磷含量也通常作为确定饲料中最适磷含量的重要参考指标<sup>[25]</sup>。本实验中，饲料中有效磷含量显著地影响了吉富罗非鱼全鱼、脊椎骨及鳞片中的粗灰分和磷含量，并存在正相关。分别以脊椎骨灰分含量和鳞片磷含量为因变量，以饲料有效磷含量为自变量，经回归分析得到饲料中磷的适宜含量分别为 1.23% 和 1.14%，这结果要高于以生长为指标得出的适宜含量(0.85%)，这与以往的一些研究结果相似<sup>[18,23]</sup>，这可能由于脊椎骨和鳞片具有缓冲鱼类磷摄入量变化的能力，导致达到骨骼或鳞片最大矿化所需要的饲料磷高于维持最佳生长所需要的磷。

在本实验中，随着饲料中有效磷含量的提高，吉富罗非鱼全鱼粗蛋白质和灰分呈上升趋势，而粗脂肪含量呈下降趋势，这与草鱼<sup>[17]</sup>、大黄鱼<sup>[23]</sup>等研究结果相似。Takeuchi 等<sup>[20]</sup>认为磷可为

ATP 两个高能键的断裂提供能量，增强体内脂肪酸的活化作用，进而增加  $\beta$  氧化、糖原生成，使蛋白质沉积增加和脂肪沉积降低。灰分的增加可能是骨骼系统、鳞片快速生长发育的结果<sup>[3]</sup>。

本实验综合体质量和全鱼、脊椎骨及鳞片中的灰分、磷含量等多项生物学指标，在满足吉富罗非鱼生长又不对其它指标造成不利影响的条件下，吉富罗非鱼成鱼对饲料有效磷的需要量为 0.85%。

#### 参考文献：

- [1] National Research Council (NRC). Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washington, D. C. :National Academy Press, 2011; 168 - 170.
- [2] Boyd C E. Phosphorus dynamics in ponds [J]. Proceedings of 25th Annual Conference of the Southeastern Association of Game and Fish Commissioners. Alabama, 1971, 25: 418 - 426.
- [3] 叶元土, 蔡春芳, 等. 鱼类营养与饲料配制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 291 - 305.
- [4] 李彦, 刘利平, 赵广学, 等. 基于因子分析法的罗非鱼养殖池水质影响要素的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 794 - 799.
- [5] Tendencia E A, Fermin A C, dela Peña M R, et al. Effect of *Epinephelus coioides*, *Chanos chanos*, and GIFT tilapia in polyculture with *Penaeus monodon* on the growth of the luminous bacteria *Vibrio harveyi* [J]. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 48 - 56.
- [6] 曹经晔, 黄忠志, 廖朝兴, 等. 尼罗罗非鱼对饲料中磷的需要量 [J]. 淡水渔业, 1987, 17(4): 5 - 8.
- [7] Ribeiro F B, Bomfim M, de Freitas A S, et al. Dietary total phosphorus levels for Nile tilapia fingerlings [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2006, 35 (Suppl. 4): 1588 - 1593.
- [8] Furuya W M, Fujii K M, Dos Santos L D, et al. Available phosphorus requirements of juvenile Nile tilapia [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2008, 37(9): 1517 - 1522.
- [9] Furuya W M, Fujii K M, Dos Santos L D, et al. Available phosphorus requirement of Nile tilapia (35 to 100 g) [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2008, 37(6): 961 - 966.
- [10] Robinson E H, LaBomascus D, Brown P B, et al. Dietary calcium and phosphorus requirements of

- Oreochromis aureus* reared in calcium-free water [J]. *Aquaculture*, 1987, 64(4): 267 - 276.
- [11] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准: 食品卫生检验方法理化部分(一) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 27 - 46, 629 - 634.
- [12] Hughes K P, Soares J H Jr. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, 4(2): 133 - 140.
- [13] Köprücü K, Öz Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1 - 2): 308 - 316.
- [14] Roy P K, Lall S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2003, 221(1 - 4): 451 - 468.
- [15] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. *The Journal of Nutrition*, 1979, 109(10): 1710 - 1714.
- [16] Liang J J, Liu Y J, Tian L X, et al. Dietary available phosphorus requirement of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(2): 181 - 188.
- [17] Yuan Y C, Yang H J, Gong S Y, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(2): 159 - 169.
- [18] 文华, 严安生, 高强, 等. 史氏鲟幼鲟对饲料中磷的需要量 [J]. *水产学报*, 2008, 32(2): 242 - 248.
- [19] 赵朝阳, 周洪琪, 陈建明, 等. 花鲢对饲料中磷的营养需求 [J]. *水产学报*, 2008, 32(4): 614 - 620.
- [20] Takeuchi M, Nakazoe J. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1981, 47(3): 347 - 352.
- [21] 姚鹰飞. 吉富罗非鱼幼鱼和成鱼饲料有效磷及钙磷比的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [22] Phromkunthong W, Udom U. Available phosphorus requirement of sex-reversed red tilapia fed all-plant diets [J]. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2008, 30(1): 7 - 16.
- [23] Mai K S, Zhang C X, Ai Q H, et al. Dietary phosphorus requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R [J]. *Aquaculture*, 2006, 251(2 - 4): 346 - 353.
- [24] 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(1 - 2): 11 - 24.
- [25] Antony Jesu Prabhu P, Schrama J W, Kaushik S J. Quantifying dietary phosphorus requirement of fish-A meta-analytic approach [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(3): 233 - 249.

## Dietary available phosphorus requirement of adult GIFT strain of *Oreochromis niloticus* reared in freshwater

JIANG Ming<sup>1,2</sup>, YAO Yingfei<sup>1,2</sup>, WEN Hua<sup>1\*</sup>, WU Fan<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, TIAN Juan<sup>1</sup>, YANG Changgeng<sup>1</sup>

(1. Key laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization of Ministry of Agriculture,

Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. College of Fisheries, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The present study was conducted to estimate the optimum requirement of dietary available phosphorus for adult GIFT strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater. Six semi-purified diets were formulated to contain graded levels (0.15%, control diet, 0.40%, 0.66%, 0.91%, 1.17% and 1.43% t) of available phosphorus ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  was the source of phosphorus). Each diet was fed to triplicate groups of 20 fish with initial average weight ( $184.46 \pm 8.13$ ) g for 9 weeks. The results showed that fish fed the two diets with available phosphorus levels of 0.66% and 0.91% had significantly higher weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) than those fed the other diets ( $P < 0.05$ ), and the feed efficiency (FE) was significantly higher than that of control diet ( $P < 0.05$ ). The whole body viscerosomatic index (VSI), hepatosomatic index (HIS) and condition factor (CF) decreased significantly with the increases of the dietary available phosphorus levels ( $P < 0.05$ ), while the survival rate (SR) of fish had no significant differences among various dietary treatments ( $P > 0.05$ ). Crude protein, ash, and phosphorus concentration in whole body increased significantly with the increases of the dietary available phosphorus levels, as well as vertebrae and scale ash and phosphorus concentration ( $P < 0.05$ ). Crude lipid concentration in whole body decreased significantly with the increases of the dietary available phosphorus levels ( $P > 0.05$ ). Quadratic curve analysis based on SGR indicated that the minimum dietary requirement of available phosphorus for maintaining maximal growth of tilapia was 0.85%.

**Key words:** GIFT tilapia; available phosphorus; nutrition; requirement

**Corresponding author:** WEN Hua. E-mail: wenhua\_hb@163.com