

## 饲料中有效磷对吉富罗非鱼生长、体组成及生化指标的影响

白富瑾<sup>1</sup>, 罗莉<sup>1\*</sup>, 陈任孝<sup>1</sup>, 陈拥军<sup>1</sup>, 罗浩<sup>2</sup>, 李玉<sup>2</sup>, 李云<sup>1</sup>, 文华<sup>3</sup>

(1. 西南大学动物科技学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,

水产科学重庆市市级重点实验室, 重庆 400715;

2. 新希望集团技术研发中心, 四川 成都 610041;

3. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223)

**摘要:** 为探讨饲料中不同有效磷水平对吉富罗非鱼幼鱼生长、体组成及生化指标的影响, 以磷酸二氢钙(MCP)为磷源, 配制含有效磷(AP)水平分别为0.52% (对照组)、0.61%、0.70%、0.78%、0.87%、0.96%和1.05%的7种等氮等能实用饲料, 饲喂初始均重为(29.40±0.15)g的实验鱼。每种饲料设置3个重复, 每个重复放25尾鱼, 进行56d的养殖实验。结果表明: 饲料AP水平对罗非鱼的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)和脏体比(VSI)均有显著影响( $P < 0.05$ )。以WGR为评价指标, 通过二次回归分析得出, 罗非鱼饲料的适宜AP水平为0.80%。随饲料AP水平的增加, 罗非鱼全鱼总磷和灰分含量显著增加并达到稳定( $P < 0.05$ ), 而全鱼水分含量差异不显著( $P > 0.05$ ), 全鱼和肠系膜、肝脏组织脂肪含量均显著下降( $P < 0.05$ )。用折线模型分析全鱼磷和灰分含量, 得出罗非鱼幼鱼对饲料AP的需求量分别为0.81%和0.80%。随饲料AP水平的增加, 肝脏苹果酸脱氢酶(MDH)、丙酮酸激酶(PK)、脂蛋白脂酶(LPL)和肝酯酶(HL)活性均显著增加( $P < 0.05$ )。血清谷丙转氨酶(GPT)活性显著下降( $P < 0.05$ ), 而碱性磷酸酶(AKP)活性显著上升( $P < 0.05$ ), 血清超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升后降趋势, 在0.78%水平组达到最大值, 而肝脏丙二醛(MDA)含量正好相反, 在0.78%水平组最低。综上所述, 研究结果表明: 吉富罗非鱼(30~150g)实用饲料的最适有效磷水平为0.80%。

**关键词:** 吉富罗非鱼; 有效磷; 生长; 体组成; 需要量

**中图分类号:** S 63.73

**文献标志码:** A

磷是鱼体生长所必需的常量矿物元素, 是骨骼、牙齿和鳞片的主要构成成分之一, 同时在维持鱼体酸碱平衡、调节渗透压、构成辅酶和有机磷化合物、促进血液凝固、肌肉收缩、神经传递以及维持细胞完整性等方面具有重要的生理功能<sup>[1-2]</sup>。吉富罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*)是我国重要的淡水养殖品系, 因其生长快、适应盐度广、繁殖力强、耐低氧、疾病少、肉味鲜美等优点, 已被普遍推行集约化养殖。

目前, 国内外关于罗非鱼对磷需要量的研究已有一定报道<sup>[3-7]</sup>, 大多研究者均采用纯化或半

纯化饲料投喂, 而在实际生产中均用实用饲料投喂, 但实用饲料配方中的蛋白原料、能量原料和无机磷源的有效磷参数并不全面, 从而导致配方设计受限, 存在原料磷含量和利用率差异造成误差, 对磷的添加存在不科学和不确定性。鉴于此, 本实验以吉富罗非鱼幼鱼为研究对象, 在通过消化率实验确定实用饲料中磷和磷酸二氢钙(MCP)磷消化率的基础上, 以MCP为无机磷源, 在实用饲料配方中以有效磷(available phosphorus, AP)来确定磷的含量和罗非鱼对磷的需要量以及磷对罗非鱼生长及生理效应的影响, 并与已有用纯化

收稿日期: 2015-02-10 修回日期: 2015-05-09

资助项目: 国家自然科学基金(31101909); 国家罗非鱼现代产业技术体系建设专项(CARS-49); 重庆市特色效益水产业关键技术集成示范项目(渝农发2013[282])

通信作者: 罗莉, E-mail: luoli1972@163.com

或半纯化饲料确定的罗非鱼磷需求量数据做对比,为今后实际生产饲料中 MCP 的动态适宜添加提供技术支持和理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验饲料

根据罗非鱼营养需求,以鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、面粉、米糠、豆油等为主要原料配制基础饲料,实验饲料组成及营养水平见表 1。在基础饲料中分别添加 0% (对照)、0.50%、1.00%、1.50%、2.00%、2.50% 和 3.00% 的 MCP (四川川恒化工股份有限公司小太子牌,磷含量 19.09%,

表 1 基础饲料配方及主要营养成分(风干基础)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of the basal diet (air-dry basis) %

原料 ingredients	含量 content
鱼粉 fish meal	9.00
豆粕 soybean meal	21.00
棉粕 cottonseed meal	11.00
菜粕 rapeseed meal	18.00
面粉 wheat flour	20.00
米糠 rice bran	15.80
豆油 soybean oil	1.20
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	3.00
预混料 premix	0.60
氯化胆碱 choline chloride	0.28
抗氧化剂 antioxidant	0.02
防霉剂 mold inhibitor	0.10
合计 total	100.00
<b>营养组成 nutrient composition</b>	
水分 moisture	10.81
粗蛋白 crude protein	32.50
粗脂肪 crude lipid	6.51
灰分 ash	7.00
总磷(实测) total phosphorus (measured value)	0.91

注:预混料为每千克全价日粮提供:铁 150 mg;铜 3.2 mg;锌 34.1 mg;锰 13.0 mg;碘 5.7 mg;硒 0.3 mg;钴 12.4 mg;维生素 A 2 000.0 IU;维生素 D 2 000.0 IU;维生素 E 100.0 mg;维生素 K<sub>3</sub> 10.0 mg;维生素 B<sub>1</sub> 5.0 mg;维生素 B<sub>2</sub> 10.0 mg;烟酸 100.0 mg;维生素 B<sub>6</sub> 10.0 mg;泛酸钙 40.0 mg;叶酸 5.0 mg;维生素 B<sub>12</sub> 0.02 mg;生物素 1.0 mg;维生素 C 300 mg;肌醇 100 mg

Notes: Premix provided per kg of diet: Fe 150 mg; Cu 3.2 mg; Zn

34.1 mg; Mn 13.0 mg; I 5.7 mg; Se 0.3 mg; Co 12.4 mg; vitamin A 2 000.0 IU; vitamin D 2 000.0 IU; vitamin E 100.0 mg; vitamin K<sub>3</sub> 10.0 mg; vitamin B<sub>1</sub> 5.0 mg; vitamin B<sub>2</sub> 10.0 mg; niacin 100.0 mg; vitamin B<sub>6</sub> 10.0 mg; calcium pantothenate 40.0 mg; folic acid 5.0 mg; vitamin B<sub>12</sub> 0.02 mg; biotin 1.0 mg; vitamin C 300 mg; inositol 100 mg

实测),经微晶纤维素调平,配制成 7 种实验饲料,其 AP (或 TP) 水平分别为 0.52% (0.91%, 对照)、0.61% (0.99%)、0.70% (1.11%)、0.78% (1.19%)、0.87% (1.28%)、0.96% (1.39%) 和 1.05% (1.52%) (表 2)。饲料原料均过 40 目筛,各实验饲料挤压成直径 2.0 mm 的颗粒,风干,双层塑料袋包装并封口, -20 °C 保存备用。

### 1.2 实验鱼与饲养管理

实验鱼购自重庆市北碚区歇马鱼种场,先经浓度 3% 的食盐溶液消毒后,在室内循环水水族箱中暂养,以基础饲料驯化 10 d。正式实验前,选择体质健壮、体质量均匀 (29.40 ± 0.15) g 的罗非鱼 525 尾,随机分为 7 个组,每组 3 个重复,每个重复放养 25 尾,水族缸尺寸为 392 L,水源为曝气自来水。每天投喂 4 次 (8:00、11:30、15:00、18:30),日投喂量为体质量的 3% ~ 5%,根据实验鱼的增重情况,每隔 10 天调整一次投喂量。每晚 100% 换水 1 次,正式实验 8 周。饲养期间水温 22 ~ 28 °C,溶解氧 > 6.0 mg/L,氨氮含量 < 0.10 mg/L, pH 6.6 ~ 7.0,亚硝氮 < 0.10 mg/L。

### 1.3 样品采集、制备

养殖实验结束后,实验鱼饥饿 24 h,每组选取 9 尾体质量均匀的罗非鱼,3 尾用于血清制备。纱布擦干尾部,1 mL 一次性无菌注射器尾静脉采血,常温静置 3 h 后,4 000 r/min (4 °C) 离心 10 min,提取血清, -80 °C 保存,用于血液生化指标测定。另 6 尾鱼在冰盘中进行解剖,取出内脏团,分离出肝脏,并用滤纸吸干表面水分,剪碎混匀后和鱼体用生理盐水 (4 °C) 1:9 (质量体积比, g/mL) 冰浴匀浆,3 500 r/min (4 °C) 离心 10 min,取上清液制得粗酶液, -80 °C 保存,用于肝脏指标测定。

### 1.4 指标测定

生长及形体指标测定 养殖实验结束后,停食 24 h,准确称量鱼体和饲料重,计算其特定生长率 (specific growth rate, SGR)、饲料系数 (feed conversion ratio, FCR)、增重率 (weight gain rate, WGR)、肥满度 (condition factor, CF) 和脏体比 (viscerosomatic index, VSI),计算公式如下:

特定生长率 (SGR, %/d) =  $100 \times (\ln W_t - \ln W_o) / d$

饲料系数 (FCR, g/g) =  $F / (W_t - W_o)$

增重率 (WGR, %) =  $100 \times (W_t - W_o) / W_o$

肥满度 (CF, g/cm<sup>3</sup>) =  $100 \times W / L^3$

脏体比 (VSI, %) =  $100 \times W_n / W$

式中,  $W_o$  为鱼体初始尾均重 (g);  $W_t$  为终末鱼体尾均重 (g);  $d$  为养殖实验天数;  $F$  为尾均摄食量 (g);  $W$  为鱼体质量 (g),  $L$  为鱼体长 (cm);  $W_n$  为内脏重 (g)。

全鱼常规营养成分和磷含量以及组织脂肪含量粗脂肪含量采用索氏抽提测定法,粗蛋白采用凯氏半微量蒸馏定氮法,水分采用干燥法,灰分采用高温灼烧法,磷含量采用钼黄比色法测定<sup>[8]</sup>。

饲料营养成分沉积率测定 干物质、蛋白质、脂肪、灰分和磷沉积率 ( $RR_i$ ):

$RR_i (\%) = 100 \times (W_t \times CN_i - W_o \times CO_i) / (F \times CF_i)$

式中,  $CN_i$  为终末鱼体干物质、蛋白质、脂肪、灰分和磷含量;  $CO_i$  为初始鱼体干物质、蛋白质、脂肪、灰分和磷含量;  $CF_i$  为饲料干物质、蛋白质、脂肪、灰分和磷含量。

血清、肝脏生化指标的测定 血清:谷丙转氨酶 (GPT)、碱性磷酸酶 (AKP) 和超氧化物歧化酶 (SOD),均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定;肝脏:丙二醛 (MDA)、苹果酸脱氢酶 (MDH)、丙酮酸激酶 (PK)、脂蛋白酯酶 (LPL) 和肝酯酶 (HL),均采用南京建成生产的试剂盒进行测定。

### 1.5 饲料中总磷和有效磷的测定

总磷 饲料样品的总磷测定按 GB/T 6437-2002 饲料中总磷的测定方法。

总磷表观消化率 分别用 0.5% (占干重) 的  $Cr_2O_3$  替代对照组和第 4 组中的微晶纤维素,配制成含有指示剂的饲料  $D_1$  和  $D_4$ 。选取体质量

均匀 [(29.40 ± 0.15) g] 的罗非鱼 150 尾,随机分为 2 个组,每组 3 个重复,每个重复放养 25 尾鱼,饲养于 392 L 的水族缸中,分别用饲料  $D_1$  和  $D_4$  驯养 2 周,每天投喂 2 次 (8:00 和 15:00)。2 周后,每天在投饲 1 h 后清除残饵,3 h 后开始采用虹吸法收集成型的粪便,选择包膜完整的粪便于 65 °C 烘干后,置 -20 °C 冰箱保存,用于测定饲料磷的表观消化率 ( $AD_{TP}$ )。采用湿式灰化定量法测定饲料及粪便中  $Cr_2O_3$  含量。

$AD_{TP} = [1 - (C_d \times P_f) / (P_d \times C_f)] \times 100\%$

式中,  $C_d$  为饲料中  $Cr_2O_3$  含量;  $P_f$  为粪便含磷量;  $C_f$  为粪便  $Cr_2O_3$  含量;  $P_d$  为饲料含磷量。

无机磷利用率 以第 4 组为标准计算 MCP 中磷的利用率 ( $D_{MCP}$ ) 和饲料中 AP 含量。

$D_{MCP} (\%) = 100\% \times (PC_4 \times AD_4 - PC_1 \times AD_1) / IP_4$

式中,  $PC_4$  为第 4 组饲料总磷含量;  $AD_4$  为第 4 组饲料总磷表观消化率;  $PC_1$  为对照组饲料总磷含量;  $AD_1$  为对照组饲料总磷表观消化率;  $IP_4$  为第 4 组饲料中无机磷含量。

### 1.6 数据处理

实验结果用 SPSS 19.0 对数据进行单因子方差分析 (One-Way ANOVA),用 Duncan 氏多重比较分析组间差异显著性程度,显著水平为 0.05。数据用平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 形式表示。并用二次模型和折线模型<sup>[9]</sup> 分别对 WGR、全鱼磷含量及全鱼灰分含量与饲料 AP 水平进行回归分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料中有效磷含量的测定

$D_1$  总磷表观消化率为 57.49%,  $D_4$  总磷表观消化率为 66.35%,故计算得 MCP 中磷的利用率为 91.88%。因此,饲料中有效磷 = 基础饲料总磷 × 57.49% + 添加磷 × 91.88% (表 2)。

表 2 饲料中的有效磷水平

	组别 group							%
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
添加磷 supplementary phosphorus	0.00	0.10	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57	
总磷 total phosphorus	0.91	0.99	1.11	1.19	1.28	1.39	1.52	
有效磷 available phosphorus	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05	

## 2.2 饲料有效磷水平对罗非鱼生长性能、饲料利用和形体指标的影响

饲料 AP 水平对罗非鱼 WGR、SGR、FCR、VSI、CF 和 L/H 有显著影响 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。随着 AP 水平的升高, WGR 和 SGR 呈先升后降的趋势, 均在 0.78% 水平组达到最大值, 分别较对照组提高了 22.10% 和 12.98%。而 FCR 正好相反, 在 0.78% 水平组达到最低值, 较对照组下降了 9.24%。罗非鱼 VSI 和 CF 随饲料中 AP 水平的升高均有所降低, 而 L/H 则有所增加, 其中 VSI 在 AP 水平为 1.05% 时较对照组降低了

17.60% ( $P < 0.05$ ), CF 和 L/H 在 0.52% ~ 0.78% 水平组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

采用二次曲线回归方程拟合 WGR ( $Y$ ) 与饲料 AP 水平 ( $X$ ) 之间的关系, 得到  $y = -904.7x^2 + 1447x - 170.83$  ( $R^2 = 0.9262$ ,  $P < 0.05$ ) (图 1)。再经极值分析得到吉富罗非鱼幼鱼获得最佳的 WGR 时饲料中 AP 的水平为 0.80%。将饲料 AP 水平和各指标进行相关性分析, 发现和 VSI、CF 呈极显著负相关, 和 L/H 呈极显著正相关, 和生长性能、饲料利用指标存在极显著的二次曲线相关关系。

表 3 饲料有效磷水平对罗非鱼生长性能、饲料利用和形体指标的影响

Tab. 3 Effect of dietary AP level on growth performance, feed utilization and morphologic indices of tilapia

	饲料有效磷水平/% dietary available phosphorus levels							相关系数( $r$ ) related coefficient	$P$
	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05		
末均重/g	129.38 ±	137.90 ±	149.78 ±	151.67 ±	144.58 ±	142.33 ±	134.67 ±	0.955	0.008
FBW	2.37 <sup>a</sup>	1.82 <sup>bc</sup>	1.77 <sup>ef</sup>	0.50 <sup>f</sup>	2.77 <sup>de</sup>	1.75 <sup>cd</sup>	2.15 <sup>ab</sup>		
增重率/%	338.70 ±	367.57 ±	407.83 ±	413.55 ±	391.79 ±	383.23 ±	356.61 ±	0.961	0.006
WGR	7.97 <sup>a</sup>	6.04 <sup>bc</sup>	5.08 <sup>ef</sup>	2.74 <sup>f</sup>	9.97 <sup>de</sup>	5.97 <sup>cd</sup>	7.96 <sup>ab</sup>		
特定生长率/(%/d)	2.62 ±	2.75 ±	2.89 ±	2.96 ±	2.85 ±	2.81 ±	2.70 ±	0.964	0.005
SGR	0.02 <sup>a</sup>	0.03 <sup>bc</sup>	0.02 <sup>ef</sup>	0.02 <sup>f</sup>	0.04 <sup>de</sup>	0.02 <sup>cd</sup>	0.03 <sup>b</sup>		
饲料系数	1.19 ±	1.15 ±	1.11 ±	1.08 ±	1.10 ±	1.10 ±	1.17 ±	0.967	0.004
FCR	0.02 <sup>c</sup>	0.02 <sup>bc</sup>	0.02 <sup>ab</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	0.02 <sup>c</sup>		
脏体比/%	10.85 ±	10.87 ±	9.95 ±	9.89 ±	9.77 ±	9.50 ±	8.94 ±	-0.957	0.001
VSI	0.27 <sup>d</sup>	0.36 <sup>d</sup>	0.19 <sup>c</sup>	0.20 <sup>bc</sup>	0.18 <sup>b</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.10 <sup>a</sup>		
饱满度/(g/cm <sup>3</sup> )	3.54 ±	3.48 ±	3.47 ±	3.38 ±	3.34 ±	3.31 ±	3.27 ±	-0.988	0.000
CF	0.15 <sup>c</sup>	0.11 <sup>bc</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	0.10 <sup>abc</sup>	0.12 <sup>ab</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>		
体长/体高	2.38 ±	2.42 ±	2.43 ±	2.45 ±	2.50 ±	2.53 ±	2.56 ±	0.990	0.000
L/H	0.07 <sup>a</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>ab</sup>	0.06 <sup>abc</sup>	0.08 <sup>bcd</sup>	0.06 <sup>cd</sup>	0.09 <sup>d</sup>		

注: 表格中同行肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同

Notes: In the same row, values with no superscripts or shared the same letter within superscripts indicated no significant differences ( $P > 0.05$ ), values with different letters in the superscripts were significantly different ( $P < 0.05$ ). The same as the following

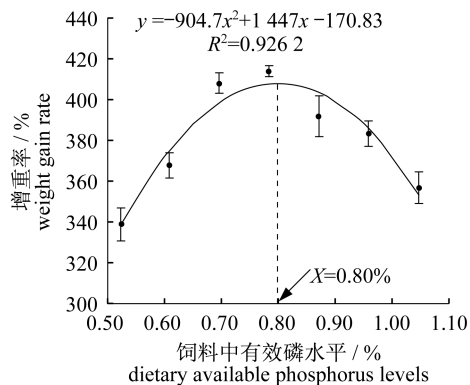


图 1 饲料有效磷水平对罗非鱼增重率的影响

Fig. 1 Effect of dietary available phosphorus level on weight gain rate of tilapia

## 2.3 饲料中有效磷水平对吉富罗非鱼全鱼营养成分和组织粗脂肪的影响

饲料中 AP 水平对罗非鱼全鱼水分含量无显

著影响 ( $P > 0.05$ )。对全鱼粗蛋白、粗脂肪、灰分、总磷含量和组织粗脂肪含量有显著影响 ( $P < 0.05$ ) (表 4)。随着饲料 AP 水平的升高, 全鱼粗蛋白呈先升后降的趋势, 全鱼、肠系膜和肝脏粗脂肪水平呈下降趋势, 肌肉粗脂肪则呈先下降后稳定的趋势。将生长性能最佳的 AP 0.78% 组同对照组 (AP 0.52%) 相比, 肠系膜脂肪、肝脏脂肪和肌肉脂肪分别降低了 3.69%、22.10% 和 31.38%。全鱼总磷和灰分随 AP 的增加显著升高并达到稳定 ( $P < 0.05$ )。折线模型分析全鱼磷含量和全鱼灰分含量, 可以得到饲料中满足罗非鱼幼鱼对磷最大沉积需要的最低 AP 含量分别为 0.81% [ $y = 0.7761x + 0.1245$  ( $R^2 = 0.9664$ ,  $P < 0.05$ ) (图 2)] 和 0.80% [ $y = 4.0433x + 0.9886$  ( $R^2 = 0.9867$ ,  $P < 0.05$ ) (图 3)]。将饲料 AP 水平和各指标进行相关性分析, 发现除和全鱼粗脂肪、肠系膜脂肪、肝脏脂肪呈

极显著负相关外,其他指标除水分外均和饲料中 AP 水平存在极显著二次曲线相关关系。

表 4 饲料有效磷水平对罗非鱼全鱼和部分组织营养组成的影响

	饲料有效磷水平/% dietary available phosphorus levels							相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>
	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05		
<b>全鱼 whole body</b>									
水分 moisture/%	70.59 ± 1.76	70.20 ± 1.38	70.39 ± 0.60	70.19 ± 3.90	70.31 ± 0.64	70.68 ± 1.15	70.33 ± 1.08	0.413	0.687
粗蛋白/%	17.08 ± 0.36 <sup>ab</sup>	17.59 ± 0.31 <sup>b</sup>	17.66 ± 0.14 <sup>b</sup>	17.62 ± 0.68 <sup>b</sup>	17.69 ± 0.23 <sup>b</sup>	17.33 ± 0.19 <sup>ab</sup>	16.67 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.975	0.003
粗脂肪/%	9.03 ± 0.10 <sup>d</sup>	9.06 ± 0.80 <sup>d</sup>	8.68 ± 0.12 <sup>c</sup>	8.75 ± 0.10 <sup>c</sup>	8.07 ± 0.14 <sup>b</sup>	7.76 ± 0.11 <sup>a</sup>	7.66 ± 0.10 <sup>a</sup>	-0.956	0.001
CL	3.15 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.83 ± 0.02 <sup>c</sup>	4.16 ± 0.05 <sup>d</sup>	4.23 ± 0.07 <sup>d</sup>	4.23 ± 0.03 <sup>d</sup>	4.18 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.986	0.001
ash	0.54 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.74 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.75 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.74 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.979	0.002
总磷/%	0.02 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	0.03 <sup>b</sup>	0.01 <sup>c</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.01 <sup>c</sup>	0.01 <sup>c</sup>		
TP									
<b>组织 tissues</b>									
肠系膜脂肪/%	28.21 ± 0.18 <sup>c</sup>	28.25 ± 0.40 <sup>c</sup>	28.19 ± 1.32 <sup>c</sup>	27.17 ± 1.08 <sup>bc</sup>	26.56 ± 0.31 <sup>ab</sup>	26.14 ± 0.40 <sup>ab</sup>	25.71 ± 0.65 <sup>a</sup>	-0.962	0.001
MCL	12.31 ± 0.18 <sup>c</sup>	11.59 ± 0.09 <sup>d</sup>	10.64 ± 0.06 <sup>c</sup>	9.59 ± 0.63 <sup>b</sup>	8.92 ± 0.21 <sup>a</sup>	8.69 ± 0.17 <sup>a</sup>	8.59 ± 0.25 <sup>a</sup>	-0.967	0.000
肝脏脂肪/%	1.88 ± 0.38 <sup>b</sup>	1.64 ± 0.17 <sup>ab</sup>	1.31 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.29 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.51 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.16 <sup>ab</sup>	0.976	0.002
肌肉脂肪/%	MCL								

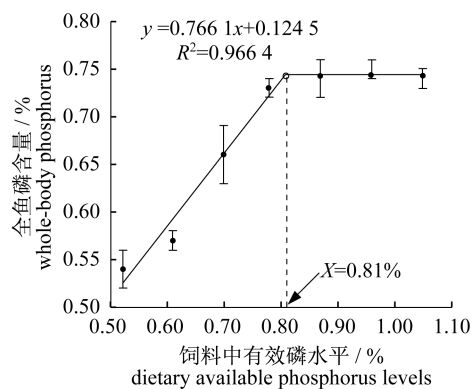


图 2 饲料有效磷水平对罗非鱼全鱼磷水平的影响  
Fig. 2 Effect of dietary available phosphorus level on whole-body phosphorus of tilapia

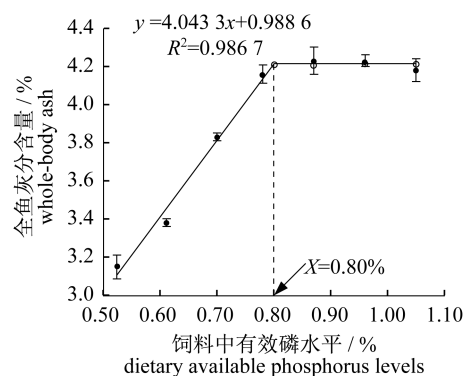


图 3 饲料有效磷水平对罗非鱼全鱼灰分的影响  
Fig. 3 Effect of dietary available phosphorus level on whole-body ash of tilapia

## 2.4 饲料中有效磷水平对吉富罗非鱼饲料中营养素沉积率的影响

随着饲料 AP 水平的增加,干物质、蛋白质、灰分和磷的沉积率都呈先升高后降低的趋势,其中干物质、灰分和磷的沉积率在 0.78% 水平组达到最大,较对照组分别提高了 11.91%、36.15% 和 19.39%。蛋白质沉积率在 0.70% 水平组达到最大,较对照组提高了 15.41%,且 0.70% 水平组 ~ 0.96% 水平组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。脂肪沉积率则呈下降趋势 ( $P < 0.05$ )。除脂肪沉积率和饲料 AP 水平呈极显著负相关外,其余营养物质的沉积率和饲料 AP 水平呈极显著二次曲线相关关系(表 5)。

## 2.5 饲料中有效磷水平对吉富罗非鱼肝脏生化指标的影响

随着饲料 AP 水平的增加,MDH、PK、LPL 和 HL 均呈升高趋势,在 1.05% 水平组达到最大值,其活力较对照组分别提高了 64.73%、62.57%、90.98% 和 68.90%,其中 PK、LPL 和 HL 在 0.78% ~ 1.05% 水平组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。而 MDA 含量则呈先降低后上升的趋势,在 0.78% 达到最小值,较对照组降低 22.59%。同时,除 MDA 和饲料中 AP 水平呈极显著二次曲线相关关系外,罗非鱼肝脏组织酶活性均和饲料 AP 水平呈极显著正相关关系(表 6)。

表 5 饲料中有效磷水平对罗非鱼饲料中营养素沉积率的影响  
 Tab. 5 Effect of dietary available phosphorus level on nutrient deposition efficiency of tilapia

	饲料有效磷水平/% dietary available phosphorus levels							相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>
	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05		
干物质沉积率/% DMRR	28.80 ± 0.43 <sup>a</sup>	30.20 ± 0.40 <sup>b</sup>	30.94 ± 0.55 <sup>bc</sup>	32.23 ± 0.58 <sup>d</sup>	31.40 ± 0.43 <sup>cd</sup>	30.89 ± 0.57 <sup>bc</sup>	29.28 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.971	0.001
蛋白质沉积率/% PRR	38.41 ± 1.06 <sup>b</sup>	39.99 ± 0.91 <sup>c</sup>	44.33 ± 0.71 <sup>d</sup>	44.25 ± 0.53 <sup>d</sup>	43.49 ± 0.74 <sup>d</sup>	43.47 ± 0.53 <sup>d</sup>	36.33 ± 0.72 <sup>a</sup>	0.926	0.008
脂肪沉积率/% LRR	136.51 ± 1.42 <sup>f</sup>	133.83 ± 1.01 <sup>ef</sup>	131.68 ± 1.37 <sup>de</sup>	130.06 ± 1.06 <sup>d</sup>	122.44 ± 3.67 <sup>c</sup>	117.18 ± 1.24 <sup>b</sup>	109.80 ± 0.70 <sup>a</sup>	-0.968	0.000
灰分沉积率/% ARR	36.65 ± 0.34 <sup>a</sup>	38.74 ± 0.30 <sup>b</sup>	46.81 ± 0.49 <sup>d</sup>	49.90 ± 0.39 <sup>e</sup>	49.53 ± 0.51 <sup>e</sup>	47.43 ± 0.50 <sup>d</sup>	41.77 ± 0.26 <sup>c</sup>	0.954	0.008
磷沉积率/% TPRR	52.14 ± 0.45 <sup>b</sup>	52.20 ± 0.40 <sup>b</sup>	57.90 ± 0.60 <sup>d</sup>	62.25 ± 0.65 <sup>e</sup>	57.66 ± 0.44 <sup>d</sup>	54.50 ± 0.58 <sup>c</sup>	46.08 ± 0.30 <sup>a</sup>	0.915	0.027

表 6 饲料中有效磷水平对罗非鱼肝组织酶活性和脂质过氧化的影响  
 Tab. 6 Effect of dietary available phosphorus level on hepatic enzymatic activities and lipid peroxidation of tilapia

	饲料有效磷水平/% dietary available phosphorus levels							相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>
	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05		
苹果酸脱氢酶/(U/mg prot) MDH	8.25 ± 0.16 <sup>a</sup>	8.79 ± 0.12 <sup>b</sup>	9.48 ± 0.17 <sup>c</sup>	10.32 ± 0.10 <sup>d</sup>	11.84 ± 0.20 <sup>e</sup>	11.45 ± 0.15 <sup>e</sup>	13.59 ± 0.14 <sup>f</sup>	0.969	0.000
丙酮酸激酶/(U/mg prot) PK	40.29 ± 3.81 <sup>a</sup>	49.45 ± 5.83 <sup>ab</sup>	55.41 ± 2.13 <sup>bc</sup>	56.42 ± 1.46 <sup>bcd</sup>	60.95 ± 2.69 <sup>cd</sup>	60.31 ± 1.59 <sup>cd</sup>	65.50 ± 3.32 <sup>d</sup>	0.947	0.001
脂蛋白酯酶/(U/mg prot) LPL	0.244 ± 0.023 <sup>a</sup>	0.344 ± 0.011 <sup>b</sup>	0.386 ± 0.016 <sup>bc</sup>	0.435 ± 0.021 <sup>cd</sup>	0.420 ± 0.004 <sup>cd</sup>	0.421 ± 0.009 <sup>cd</sup>	0.466 ± 0.002 <sup>d</sup>	0.888	0.008
肝酯酶/(U/mg prot) HL	0.254 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.313 ± 0.024 <sup>ab</sup>	0.366 ± 0.008 <sup>bc</sup>	0.409 ± 0.016 <sup>cd</sup>	0.418 ± 0.015 <sup>cd</sup>	0.427 ± 0.015 <sup>cd</sup>	0.429 ± 0.019 <sup>d</sup>	0.923	0.003
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	5.40 ± 0.15 <sup>c</sup>	4.62 ± 0.30 <sup>b</sup>	4.62 ± 0.09 <sup>b</sup>	4.18 ± 0.08 <sup>ab</sup>	4.56 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.62 ± 0.08 <sup>b</sup>	5.64 ± 0.08 <sup>cd</sup>	0.948	0.004

## 2.6 饲料中有效磷水平对吉富罗非鱼血清生化指标的影响

随着饲料 AP 水平的增加,罗非鱼血清 GPT 活力呈降低趋势( $P < 0.05$ ),SOD 呈先升后降的趋势( $P < 0.05$ ),在 0.78% 水平组达到最大,较对照组提高了 6.60%,而 AKP 活性显著升高( $P < 0.05$ ),在 0.96% 水平组达到最大值,较对照组升高了 67.72%。同时,SOD 和饲料中 AP 水平存在极显著二次曲线相关关系,而 GPT、AKP 和饲

料 AP 水平存在极显著线性相关关系(表 7)。

## 2.7 部分指标间的相关性分析

将随着饲料 AP 水平变化的指标 1 与指标 2 之间进行相关性分析,发现罗非鱼 VSI 和部分组织脂肪含量呈线性相关,全鱼粗脂肪和肌肉粗脂肪呈显著二次曲线相关,全鱼脂肪含量和肝脏、肠系膜脂肪含量以及全鱼和肝脏的脂肪含量与肝脏组织酶活性存在一定的线性相关关系(表 8)。

表 7 饲料中有效磷水平对罗非鱼血清生化指标的影响  
 Tab. 7 Effect of dietary available phosphorus level on serum biochemical indices in tilapia

	饲料有效磷水平/% dietary available phosphorus levels							相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>
	0.52	0.61	0.70	0.78	0.87	0.96	1.05		
谷丙转氨酶/(U/L) GPT	19.27 ± 0.75 <sup>b</sup>	19.14 ± 0.33 <sup>b</sup>	18.97 ± 0.63 <sup>b</sup>	18.56 ± 0.79 <sup>ab</sup>	17.89 ± 0.74 <sup>ab</sup>	17.69 ± 1.04 <sup>ab</sup>	15.82 ± 0.34 <sup>a</sup>	-0.914	0.004
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	62.12 ± 0.48 <sup>bc</sup>	61.18 ± 0.70 <sup>b</sup>	65.34 ± 2.99 <sup>cd</sup>	66.22 ± 1.09 <sup>d</sup>	60.98 ± 2.80 <sup>b</sup>	61.34 ± 1.95 <sup>b</sup>	39.68 ± 1.92 <sup>a</sup>	0.906	0.032
碱性磷酸酶/(U/mL) AKP	17.01 ± 0.76 <sup>a</sup>	21.58 ± 0.33 <sup>b</sup>	21.01 ± 0.38 <sup>b</sup>	21.60 ± 0.15 <sup>b</sup>	23.88 ± 1.20 <sup>c</sup>	28.53 ± 0.76 <sup>d</sup>	26.71 ± 0.56 <sup>d</sup>	0.923	0.003

表 8 部分指标间的相关性分析  
Tab. 8 The correlation analysis between selected indices

指标 1 index 1	指标 2 index 2	相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>	指标 1 index 1	指标 2 index 2	相关系数( <i>r</i> ) related coefficient	<i>P</i>
脏体比 VSI	肝脏脂肪 LCL	0.927	0.003	脏体比 VSI	肠系膜脂肪 MCL	0.890	0.007
肥满度 CF	全鱼脂肪 CL	0.925	0.003	全鱼脂肪 CL	肝脏脂肪 LCL	0.904	0.005
全鱼脂肪 CL	肌肉脂肪 MCL	0.922	0.023	全鱼脂肪 CL	肠系膜脂肪 MCL	0.949	0.001
全鱼脂肪 CL	脂蛋白酯酶 LPL	0.734	0.060	全鱼脂肪 CL	肝酯酶 HL	0.817	0.025
肝脏脂肪 LCL	脂蛋白酯酶 LPL	0.921	0.003	肝脏脂肪 LCL	肝酯酶 HL	0.978	0.000

### 3 讨论

磷作为动物必需的矿物元素,已经成为目前水产动物饲料中仅次于蛋白质和脂肪的第 3 类重要的营养成分,在水产动物营养与饲料中具有重要的作用和地位<sup>[10]</sup>。研究表明,饲料中添加适宜的磷能够促进罗非鱼的生长和饲料的利用,磷缺乏或过量均不利于生长<sup>[5,11-12]</sup>。水产动物磷的缺乏症包括生长缓慢,饲料利用率下降,蛋白质、灰分含量下降,骨骼发育不良等<sup>[10,13]</sup>。在本实验中,罗非鱼磷的缺乏症还表现为体脂肪和组织脂肪蓄积,肝脏组织酶活性下降以及机体抗氧化能力降低等,但并未出现骨骼发育异常症状。WGR、SGR 和 FCR 均在 0.78% 水平组达到最优值,而超过 0.78% 后 WGR 和 SGR 便显著下降,可能因为磷过量导致鱼体代谢紊乱<sup>[3]</sup>和饲料中的钙、磷比例失衡,使鱼类对磷吸收受到影响,从而影响鱼类生长<sup>[13]</sup>。同时还发现,磷过量(1.05%)相对不添加无机磷(0.52%)而言,不会影响罗非鱼的生长性能和饲料利用,但会降低其机体抗氧化能力。

以 WGR 为评价指标,通过二次回归分析发现,罗非鱼幼鱼(30~150 g)饲料中有效磷水平为 0.80% 时可满足其生长需要,全鱼磷和灰分含量在鱼类营养研究中经常也会用来评价磷需求量<sup>[14]</sup>。用折线模型分析全鱼磷含量和全鱼灰分含量后得知,饲料中满足罗非鱼幼鱼对磷最大沉积需要的最低 AP 含量分别为 0.81% 和 0.80%。以上结果符合罗非鱼对饲料中有效磷的需要量为 0.76%~0.86%<sup>[5]</sup>的研究结论,并与半纯化饲料所得结果并无较大差异(0.85%~0.86%)<sup>[5,15]</sup>。

饲料磷含量对养殖鱼类生长性能产生影响的同时,还会影响鱼类体组成和组织脂肪含量,本实验发现,饲料中磷的供给对罗非鱼全鱼水分无显

著影响,而提高了鱼体蛋白质、灰分和磷的沉积,减少了鱼体脂肪的沉积。说明适宜的磷含量可促进水产动物生长发育和脂肪的氧化代谢、保障鱼体能量的需要,从而减少鱼体脂肪的沉积,尤其是在肝脏中的沉积,有效预防脂肪肝的发生<sup>[16]</sup>。这在大黄鱼<sup>[17]</sup>(*Larimichthys crocea*)和虹鳟<sup>[18]</sup>(*Oncorhynchus mykiss*)的研究中也得出了相同结论。本实验还发现,随着饲料 AP 水平的增加,干物质、蛋白质、灰分和磷的沉积率都呈先升后降的趋势,而脂肪沉积率则呈下降趋势,反映出 AP 水平的增加会抑制饲料脂肪的沉积效率,其原因可能是有效磷为 ATP 两个高能磷酸键的断裂提供了能量,增强了体内脂肪酸的活化作用,进而增加 β 氧化、糖原生成、能量的利用,使蛋白质沉积增加和脂肪沉积减少<sup>[19]</sup>。同时,最佳生长性能实验组(AP 0.78%)的罗非鱼肝脏和肌肉的脂肪含量显著下降,结合相关性分析发现,吉富罗非鱼全鱼脂肪的下降主要是通过降低肌肉和肝脏的脂肪来实现;肠系膜和肝脏脂肪含量的下降使得内脏脂肪含量下降,导致 VSI 降低;CF 的下降与鱼体脂肪含量下降<sup>[20]</sup>和骨骼系统、鳞片快速生长发育使鱼体变长的结果有关<sup>[21]</sup>。这与蒋明等<sup>[5]</sup>和姚鹰飞<sup>[12]</sup>在罗非鱼的研究结果中 VSI 和 CF 的变化一致,但与何志刚等<sup>[22]</sup>在黄鳝(*Monopterus albus*)中的研究结果不一致,可能是因为鱼种类差异所致。

肝脏是动物脂肪代谢重要的调控器官<sup>[16]</sup>。其脂肪分解酶主要包括脂蛋白酯酶(LPL)和肝酯酶(HL),合称为总脂酶。LPL 是一种糖蛋白,能够水解富含甘油三酯的脂蛋白,产生游离脂肪酸<sup>[23]</sup>。丙酮酸激酶(PK)是糖酵解过程中的主要限速酶之一,它使磷酸烯醇式丙酮酸和 ADP 转变为丙酮酸和 ATP,丙酮酸可氧化脱羧生成乙酰 CoA 进入三羧酸循环或合成脂肪酸。苹果酸脱

氢酶(MDH)催化苹果酸脱氢生成草酰乙酸,草酰乙酸和乙酰 CoA 同为三羧酸循环的起始物质<sup>[24]</sup>。实验发现,随着 AP 水平的增加,MDH、PK、LPL 和 HL 活性呈上升趋势,说明饲料中添加磷可以促进罗非鱼肝脏糖酵解和三羧酸循环效率,并提高其脂肪氧化分解速度,这在相关性分析中也得到证实,因此,鱼体脂肪含量的下降,主要与加快脂肪的氧化分解有关,在肝脏中表现尤甚,但是否会抑制脂肪的合成通路以及对三大代谢的调控机制需进一步研究。另外,本研究还表明,适宜的磷浓度有利于保护罗非鱼的肝脏功能,提高其机体的抗氧化能力,增强磷代谢利用,促进骨骼矿化。

#### 4 结论

本实验条件下,吉富罗非鱼(30~150 g)实用饲料最适 AP 水平为 0.80%,在该水平下对提高罗非鱼的生长,降低饲料系数和鱼体肌肉脂肪含量,增加鱼体蛋白质和矿物元素的沉积,提升机体抗氧化能力方面均具最佳效果。

#### 参考文献:

- [1] Chen B, Pan Q, Zheng W C, *et al.* Effect of diets with different ratio of calcium and phosphorus on growth performance of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) [J]. *Feed Industry*, 2007, 28(18): 25-27. [陈冰,潘庆,郑卫川,等.饲料中不同钙磷比对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能的影响.饲料工业,2007,28(18):25-27.]
- [2] Zhen Q S. Studies on dietary phosphorus requirement of young Siberian Sturgeon (*Acipenser baeri*) [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009. [郑秋珊.西伯利亚幼鲟(*Acipenser baeri*)磷需要量的研究.哈尔滨:东北农业大学,2009.]
- [3] Cao J Y, Huang Z Z, Liao C X, *et al.* Dietary phosphorus requirement of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. *Freshwater Fisheries*, 1987, 17(4): 5-8. [曹经晔,黄忠志,廖朝兴,等.尼罗罗非鱼对饲料中磷的需要量.淡水渔业,1987,17(4):5-8.]
- [4] 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.
- [5] Jiang M, Yao Y F, Wen H, *et al.* Dietary available phosphorus requirement of adult GIFT strain of *Oreochromis niloticus* reared in freshwater [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(11): 1725-1732. [蒋明,姚鹰飞,文华,等.吉富罗非鱼成鱼对饲料中有效磷的需要量.水产学报,2013,37(11):1725-1732.]
- [6] 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.
- [7] Zhang Y F. Optimal dietary phosphorus requirement of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in practical diets and comparison between two kinds of phosphorus sources [D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2010. [张羽帆.奥尼罗非鱼及草鱼对实用饲料中磷的需求量及两种磷源的比较.广州:中山大学,2010.]
- [8] Zhang L Y. Feed and feed quality detection technology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010. [张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术.北京:中国农业大学出版社,2010.]
- [9] 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.
- [10] Ye Y T, Cai C F. Fish nutrition and feed preparation [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013. [叶元土,蔡春芳.鱼类营养与饲料配制.北京:化学工业出版社,2013.]
- [11] Roy P K, Lall S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2003, 221(1-4): 451-468.
- [12] Yao Y F. Dietary available phosphorus and Ca/P requirements for juvenile and adult GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. [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.武汉:华中农业大学,2012.]
- [13] Mai K S. Aquatic animal nutrition and feed science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011. [麦康森.水产动物营养与饲料学.北京:中国农业出版社,2011.]
- [14] Shao Q J, Ma J J, Xu Z R, *et al.* Dietary phosphorus requirement of juvenile black seabream, *Sparus macrocephalus* [J]. *Aquaculture*, 2008, 277(1-2): 92-100.
- [15] Yao Y F, Jiang M, Wen H, *et al.* Dietary phosphorus requirement of GIFT strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater [J].



- Aquaculture Nutrition, 2014, 20(3): 273 - 280.
- [16] Zou S X. Animal Biochemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. [邹思湘. 动物生物化学. 北京: 中国农业出版社, 2010.]
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Takeuchi M, Nakazoe J. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1981, 47(3): 347 - 352.
- [20] Song Q Q, Qi Z L. Aquatic animal nutrition and feed science [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010. [宋青青, 齐遵利. 水产动物营养与配合饲料学. 北京: 中国农业大学出版社, 2010.]
- [21] Lin X Y. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese sea perch *Lateolabrax japonicus* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. [林小勇. 花鲈幼鱼饲料磷需要量研究. 杭州: 浙江大学, 2007.]
- [22] He Z G, Hu Y, Yu H L, *et al.* Influence of dietary phosphorus levels on growth performance, body composition and biochemical indices of juvenile rice field eel (*Monopterus albus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(10): 1770 - 1777. [何志刚, 胡毅, 于海罗, 等. 饲料中不同磷水平对黄鳝生长、体成分及部分生理生化指标的影响. 水产学报, 2014, 38(10): 1770 - 1777.]
- [23] Auwerx J, Leroy P, Schoonjans K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 1992, 29(3 - 4): 243 - 268.
- [24] Zha X L, Yao L B. Biochemistry and Molecular Biology [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013. [查锡良, 药立波. 生物化学与分子生物学. 北京: 人民卫生出版社, 2013.]

## Effects of dietary available phosphorus on growth performance, body composition and biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)

BAI Fujin<sup>1</sup>, LUO Li<sup>1\*</sup>, CHEN Renxiao<sup>1</sup>, CHEN Yongjun<sup>1</sup>, LUO Hao<sup>2</sup>, LI Yu<sup>2</sup>, LI Yun<sup>1</sup>, WEN Hua<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Technology R&D Center of New Hope Group, Chengdu 610041, China;

3. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** To evaluate the effects of dietary available phosphorus (AP) levels on growth performance, body composition and biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*), seven practical diets (isonitrogenous and isocaloric) were formulated to contain 0.52% (basal diet, control), 0.61%, 0.70%, 0.78%, 0.87%, 0.96% and 1.05% of AP supplied with monocalcium phosphate (MCP). Each diet was fed to triplicate groups of 25 fish with an initial average body weight of (29.40 ± 0.15) g for 56 d. The results showed that dietary AP levels significantly affected weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR) and viscerosomatic index (VSI) ( $P < 0.05$ ). Quadratic regression analysis projected the optimal dietary AP level of tilapia to 0.80% based on WGR. With the increase of dietary AP level, the total phosphorus and crude ash contents of whole body markedly increased and then leveled off ( $P < 0.05$ ), while moisture contents of whole body were not significantly affected ( $P > 0.05$ ), whereas crude lipid contents of the whole body, mesentery and liver significantly decreased ( $P < 0.05$ ). Broken-line analysis showed that dietary AP requirement of tilapia were 0.81% and 0.80% respectively, based on the total phosphorus and crude ash contents of whole body. With increasing dietary AP level, hepatic activities of malate dehydrogenase (MDH), pyruvate kinase (PK), lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase (HL) markedly increased ( $P < 0.05$ ). With an increment of dietary AP level, activities of serum glutamic-pyruvic transaminase (GPT) significantly decreased ( $P < 0.05$ ), but alkaline phosphatase (AKP) markedly increased ( $P < 0.05$ ). Serum superoxide dismutase (SOD) activity initially increased and then decreased, but liver MDA concentration showed contrary trends to that of SOD as dietary AP level increased. Highest hepatic SOD activity and the lowest liver MDA concentration were both recorded at 0.78% AP. In conclusion, the overall results in this study suggest that the optimal dietary AP level for GIFT tilapia (30 – 150 g) was 0.80%.

**Key words:** GIFT tilapia; available phosphorus; growth; body composition; requirement

**Corresponding author:** LUO Li. E-mail: luoli1972@163.com