

## 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

何志刚<sup>1,2</sup>, 胡毅<sup>1\*</sup>, 于海罗<sup>1</sup>, 吕富<sup>3</sup>, 张璐<sup>4</sup>, 肖克宇<sup>1</sup>, 戴振炎<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南长沙 410128;

2. 湖南省水产科学研究所, 湖南长沙 410153;

3. 盐城工学院, 江苏盐城 224051;

4. 通威股份有限公司, 四川成都 610041)

**摘要:** 为探讨饲料中不同磷水平对黄鳝幼鱼生长、体成分、骨骼矿化及血液生化指标的影响, 以商业配方为基础, 磷酸二氢钙为磷源 [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ], 配制磷含量分别为 0.67%、0.91%、1.05%、1.29% 和 1.53% 的 5 种等氮等能饲料。每种饲料投喂 3 个网箱 (1.5 m × 2.0 m × 1.5 m), 每个网箱放养实验鱼 [初始体质量 (34.4 ± 0.3) g] 100 尾, 进行 70 d 的养殖实验。结果显示: (1) 随着饲料中磷含量从 0.67% 增加到 1.05%, 黄鳝幼鱼各组增重率 (WGR)、蛋白质效率 (PER) 和饲料效率 (FE) 显著升高 ( $P < 0.05$ ), 当磷含量高于 1.05% 后各指标进入平台期。折线模型分析 [ $Y = 104.67 - 46.07(1.10 - X), R^2 = 0.944$ ] 显示, 当饲料中磷含量为 1.10% 时可满足黄鳝生长需要; (2) 随着饲料中磷含量的增加, 实验鱼体的粗蛋白含量和肥满度显著升高 ( $P < 0.05$ ), 而粗脂肪含量和肝体比显著下降 ( $P < 0.05$ ); (3) 饲料磷含量增加, 可显著提高实验组全鱼灰分和全鱼磷含量 ( $P < 0.05$ )。折线模型分析 [ $Y = 0.988 - 0.6354(1.05 - X), R^2 = 0.928$ ] 显示, 当饲料中磷含量为 1.05% 时可满足黄鳝全鱼磷累积需要; 饲料磷含量增加也显著提高了脊椎骨钙和磷含量 ( $P < 0.05$ ), 但脊椎骨钙磷比无显著差异。折线模型分析 [ $Y = 7.696 - 0.9855(1.10 - X), R^2 = 0.956$ ] 显示, 当饲料中磷含量为 1.10% 时可满足黄鳝脊椎磷累积需要; (4) 饲料磷水平对血清中的磷和钙含量以及碱性磷酸酶活性有显著影响 ( $P < 0.05$ )。研究表明, 在本实验条件下, 饲料中磷含量为 1.10%, 可以满足黄鳝对磷最大的组织储存需要以及最佳的生长效果。

**关键词:** 黄鳝; 体组成; 生长; 磷酸二氢钙

**中图分类号:** S 963

**文献标志码:** A

磷是鱼类必需的矿物元素之一, 是构成鱼类骨骼的主要无机成分, 直接参与细胞中产生能量的各种反应<sup>[1]</sup>。鱼类可以从水体中吸收磷<sup>[2]</sup>, 但天然水体中磷含量很低 (0.005 ~ 0.07 mg/L), 且吸收率低<sup>[3]</sup>, 因此鱼类生长所需的磷主要从饲料中获取, 目前一般在饲料中添加磷酸二氢钙来满足鱼类对磷的需要。大多数鱼类磷缺乏表现为生长缓慢, 饲料系数高, 鱼体脂肪含量高以及灰分低

等症<sup>[1,4]</sup>。但饲料中磷过量会造成养殖水体磷污染, 引起水体的富营养化<sup>[2,5]</sup>。目前已有大量关于鱼类对磷的需要量报道, 如黑线鳉 (*Melanogrammus aeglefinus*)<sup>[6]</sup>、大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)<sup>[7]</sup>、黑鲷 (*Sparus macrocephalus*)<sup>[5]</sup>、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)<sup>[8]</sup>、鲤 (*Cyprinus carpio*)<sup>[9]</sup>、胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*)<sup>[10]</sup>、草鱼

收稿日期: 2014-05-07 修回日期: 2014-08-06

资助项目: 国家星火计划重大专项 (2011GA770007); 国家“十一五”科技支撑计划 (2007BAD87B11); 苏北科技发展专项 (BC2013429)

通信作者: 胡毅, E-mail: huyi740322@163.com

(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[11]</sup>、革胡子鲶(*Clarias leather*)<sup>[12]</sup>。

黄鳝(*Monopterus albus*)亦称鳝鱼,属亚热带鱼类,主要分布于亚洲东部及南部,尤其在我国分布较广,主要栖息于湖泊、水库、池塘、沟渠、稻田等淡水水域中,具有较高的营养和药用价值,是我国大力推广养殖的重要名特优水产品之一。近年来因黄鳝野外资源枯竭,人工养殖发展较快。目前有关黄鳝营养方面的研究报道仅涉及黄鳝主要营养素需求和必需脂肪酸<sup>[13-14]</sup>,黄鳝对饲料中磷的需要量尚未见报道。本研究在商业配方基础饲料中添加磷酸二氢钙,设置不同梯度的磷,研究其对黄鳝磷代谢、生长及体组成的影响,旨在为黄鳝配合饲料中磷的合理添加提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验饲料配制

实验饲料以鱼粉和豆粕为蛋白源,鱼油为脂肪源,a-淀粉为糖源和粘合剂。通过添加不同含量的磷酸二氢钙配制磷含量为0.67%(对照组)、0.91%、1.05%、1.29%和1.53%的5种等氮(粗蛋白质为43.8%)饲料(表1)。鱼粉过80目筛除去部分鱼骨,其他饲料原料粉碎过80目筛,准

确称取各种原料后混合均匀,在室温条件下风干至水分含量少于10%,置于-20℃冰柜中保存备用。投喂前加20%水调成面团状使用。

### 1.2 实验鱼来源与饲养管理

实验在常德西湖黄鳝养殖基地进行,购买人工繁殖黄鳝苗暂养于规格为1.5 m×2.0 m×1.5 m的网箱中,驯化20 d以适应实验环境和饲料。网箱中种植空心莲子草模拟黄鳝自然生活条件。以蚯蚓开始驯化,依照摄食情况逐渐增加鲜鱼浆的投喂比例,直到鳝鱼能完全摄食全鲜鱼浆且稳定摄食后,开始添加粉状基础饲料(饲料1),依照摄食情况逐渐增加基础饲料的投喂比例,直到鳝鱼能稳定摄食粉状基础饲料为止。经驯化喂养后,选取体格健壮、规格一致的黄鳝[初始体质量(34.4±0.3)g]进行分组。每种饲料设3个平行箱(1.5 m×2.0 m×1.5 m),每网箱放养100尾。每天投喂1次(18:00~19:00),投喂量为总体质量的3%~4%,投喂时将面团状饲料投放到水草表面托盘,黄鳝进入托盘摄食。养殖实验持续10周。实验期间,水温为(28±2.5)℃,水中总磷含量为(0.28±0.02)mg/L,溶氧量为(6.4±0.3)mg/L,pH为7.5±0.4,定期从蓄水池中加水保持实验池塘正常水位。

表1 饲料配方及成分含量

Tab.1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

原料 ingredients	饲料 diet no.					%
	diet 1	diet 2	diet 3	diet 4	diet 5	
鱼粉 fish meal	43	43	43	43	43	
豆粕 soybean meal	21	21	21	21	21	
次粉 wheat middling	7.36	6.61	5.85	5.1	4.34	
a-淀粉 a-farina	20	20	20	20	20	
鱼油 fish oil	2	2	2	2	2	
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate (MCP)	0	0.75	1.51	2.26	3.02	
预混料 <sup>1</sup> premix <sup>1</sup>	1	1	1	1	1	
虾粉 shrimp meal	5	5	5	5	5	
诱食剂 phagostimulant	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
氯化胆碱 chloride choline	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
防霉剂 mold inhibitor	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
抗氧化剂 antioxidants	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
<b>营养组成 proximate composition</b>						
粗蛋白 crude protein	43.8	43.7	43.8	43.6	43.9	
粗脂肪 crude fat	6.2	6.2	6.3	6.2	6.1	
总磷 total phosphorus	0.67	0.91	1.05	1.29	1.53	
非植酸磷 non-phytic acid phosphorus	0.55	0.80	0.93	1.17	1.41	
植酸磷 phytate phosphorus	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	

注:1. 由青岛玛斯特生物技术有限公司提供

Notes:1. Provided by Qingdao Master Bio-Tech Co. Ltd(Qingdao, Shandong, China)

### 1.3 样品采集与测定

生长数据分析 饲养实验开始和结束时将黄鳝禁食 24 h,各网箱实验鱼分别计数、称重,记录初始体质量(initial body weight, IBW)和终末体质量(final weight, FW),计算增重率;记录每天投喂饲料量,计算饲料效率;记录各组的死亡情况,计算成活率(survival rate, SR)。增重率(weight gain rate, WGR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)、饲料效率(feed efficiency, FE)、肥满度(condition factor, CF)、脏体比(visceral index, VSI)和肝体比(hepatosomatic index, HSI)的计算公式如下:

$$WGR(\%) = 100 \times (W_f - W_i) / W_i$$

$$PER = \text{鱼体增重量} / \text{蛋白质摄入量}$$

$$FE(\%) = (W_f - W_i + W_d) / W_i$$

$$CF(\text{g}/\text{cm}^3) = 100 \times W_f / L_f^3$$

$$VSI(\%) = 100 \times W_{iv} / W_f$$

$$HSI(\%) = 100 \times W_{ih} / W_f$$

式中,  $W_f$ 、 $W_i$ 、 $W_d$ 、 $W_{iv}$ 、 $W_{ih}$ 、 $W_i$  分别表示终末鱼均重(g)、初始鱼均重(g)、死亡鱼重(g)、内脏重(g)、肝脏重(g)和实验期间投入饲料量(g),  $L_f$  表示体长(cm)。

血清及组织样本的采集 每箱随机取 6 尾鱼进行体组成分析。取 8 尾麻醉(MS-222, 50 mg/L)后的黄鳝分别称重,测量体长。采用尾静脉取血,收集血液 4 °C 静置 8 h, 5 000 r/min 离心 10 min,取上层血清置于 -20 °C 冰箱保存;每箱随机取 6 尾鱼,解剖分离出内脏和肝脏,分别称重记录,整个解剖过程均在冰上进行;另外随机取 6 尾鱼剥离肌肉,取出脊椎骨置入沸水 5 min,再以蒸馏水冲

洗、烘干、磨碎,去脂后制备脱脂干骨<sup>[15]</sup>。

实验指标分析 水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量按照标准方法(AOAC, 1995)进行测定。血清中磷、钙含量和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)活性采用南京建成试剂盒测定。饲料样品的总磷测定按 GB/T 6437-2002 饲料中总磷的测定方法。水体中的总磷测定按 GB/T 11893-1989 水质(总磷的测定)钼酸铵分光光度法。

### 1.4 数据统计分析

结果采用 mean ± SE 表示,用 Excel 进行相关分析,利用 SPSS 11.5 软件对数据作 One-Way ANOVA 方差分析的基础上采用 Duncan 氏方法进行多重比较<sup>[16]</sup>。采用折线模型来估计饲料中磷的需求量<sup>[17]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 饲料磷含量对黄鳝生长性能的影响

实验期间各饲料组鳝鱼均保持较高的成活率(88.9%~97.2%),各组间差异不显著。实验鱼的增重率(WGR)、饲料效率(FE)和蛋白质效率(PER)随着饲料中磷含量的增加而升高,当饲料磷含量达到 1.05% 后进入平台期,最高值出现在饲料磷含量为 1.29% 处理组。饲料磷含量 1.05%、1.29% 和 1.53% 实验组黄鳝的 WGR 和 PER 显著高于磷含量 0.91% 和 0.67% 实验组( $P < 0.05$ )。饲料中磷含量高于 1.05% 实验组的肝体比值显著低于对照组( $P < 0.05$ )。实验鱼的肥满度随饲料磷含量增加而增加,1.29% 处理组显著高于其他处理组( $P < 0.05$ ),但与磷含量 1.53% 处理差异不显著(表 2)。

表 2 饲料中不同磷水平对黄鳝幼鱼生长的影响

Tab. 2 Effect of dietary phosphorus levels on growth performance and feed utilization of juvenile rice field eels (*Monopterus albus*)

	实验饲料(%总磷) diet no. (TP)				
	diet 1(0.67)	diet 2(0.91)	diet 3(1.05)	diet 4(1.29)	diet 5(1.53)
始均重/g IBW	34.54 ± 0.30	34.28 ± 0.32	34.53 ± 0.28	34.19 ± 0.44	34.51 ± 0.41
末均重/g FW	64.22 ± 1.74 <sup>a</sup>	66.30 ± 1.45 <sup>ab</sup>	70.41 ± 1.74 <sup>b</sup>	70.70 ± 2.00 <sup>b</sup>	69.91 ± 1.55 <sup>b</sup>
成活率/% SR	90.5 ± 5.4	92.8 ± 4.2	88.9 ± 2.5	88.9 ± 5.1	97.2 ± 2.5
增重率/% WGR	85.5 ± 4.3 <sup>a</sup>	93.4 ± 7.2 <sup>b</sup>	103.9 ± 8.9 <sup>c</sup>	106.8 ± 12.5 <sup>c</sup>	102.6 ± 6.5 <sup>c</sup>
蛋白质效率 PER	1.25 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.68 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.78 ± 0.10 <sup>c</sup>	1.67 ± 0.07 <sup>c</sup>
饲料效率 FE	0.52 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.68 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>ab</sup>
肝体比 HSI	6.54 ± 0.53 <sup>b</sup>	5.62 ± 0.07 <sup>ab</sup>	5.41 ± 0.90 <sup>a</sup>	5.48 ± 0.16 <sup>a</sup>	5.08 ± 0.59 <sup>a</sup>
脏体比 VSI	13.26 ± 0.85	13.30 ± 0.64	12.19 ± 1.44	12.32 ± 0.45	12.03 ± 0.01
肥满度 CF	1.46 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.51 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.84 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.12 <sup>ab</sup>

注:数据表示为平均值 ± 标准误( $n = 3$ );肝体比、脏体比和肥满度( $n = 6$ );同一行数据上标字母不同为差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data are presented as means ± SE ( $n = 3$ ); HSI, VSI and CF ( $n = 6$ ); Mean values in same line with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.2 饲料中磷含量对黄鳝体组成的影响

对照组鱼体粗脂肪含量最高,粗蛋白质和水分含量最低。当饲料中磷含量水平在 1.53% 时,鱼体水分和粗蛋白质含量最高,粗脂肪含量最低,与对照组差异显著( $P < 0.05$ )。其他各实验组间水分、粗蛋白、粗脂肪含量差异均不显著( $P > 0.05$ ) (表 3)。

表 3 饲料中不同磷水平对黄鳝体组成的影响  
Tab.3 Effects of dietary phosphorus levels on body content of *M. albus* %

实验饲料(总磷) diet no. (TP)	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid
diet 1(0.67)	72.31 ± 0.88	15.58 ± 0.54 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.53 <sup>b</sup>
diet 2(0.91)	72.75 ± 1.22	15.93 ± 0.24 <sup>ab</sup>	3.80 ± 0.17 <sup>ab</sup>
diet 3(1.05)	73.75 ± 1.13	15.76 ± 0.69 <sup>ab</sup>	3.70 ± 0.33 <sup>ab</sup>
diet 4(1.29)	73.16 ± 1.25	16.37 ± 0.15 <sup>ab</sup>	3.62 ± 0.27 <sup>ab</sup>
diet 5(1.53)	73.59 ± 2.39	16.64 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.11 ± 0.05 <sup>a</sup>

注:数据表示为平均值 ± 标准误( $n = 6$ );同一列数据上标字母不同为差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data are presented as means ± SE ( $n = 6$ ); Mean values in same column with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.3 饲料中磷含量对黄鳝血液生化指标的影响

随着饲料中磷添加量的增加,血清中磷含量显著升高( $P < 0.05$ ),在饲料磷含量 1.29% 和 1.53% 实验组达到稳定(表 4)。饲料中添加磷酸二氢钙显著升高了血清中钙含量和碱性磷酸酶活力( $P < 0.05$ ),但各磷酸二氢钙添加组间差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 4 饲料中不同磷水平对黄鳝血清中生化指标的影响

Tab.4 Effects of dietary phosphorus levels on serum biochemical index of *M. albus*

实验饲料(总磷) diet no. (TP)	血清磷/ (mg/L) serum phosphorus	血清钙/ (mg/L) serum calcium	碱性磷酸酶/ (U/L) alkaline phosphatase
diet 1(0.67)	43.4 ± 6.2 <sup>a</sup>	106.0 ± 0.36 <sup>a</sup>	12.6 ± 1.0 <sup>a</sup>
diet 2(0.91)	46.5 ± 3.1 <sup>a</sup>	126.4 ± 15.6 <sup>bc</sup>	18.6 ± 2.6 <sup>b</sup>
diet 3(1.05)	49.6 ± 6.2 <sup>a</sup>	127.2 ± 6.00 <sup>bc</sup>	16.2 ± 1.3 <sup>ab</sup>
diet 4(1.29)	62.0 ± 3.1 <sup>b</sup>	129.2 ± 6.00 <sup>bc</sup>	17.6 ± 2.9 <sup>ab</sup>
diet 5(1.53)	62.0 ± 1.5 <sup>b</sup>	143.2 ± 13.2 <sup>c</sup>	20.6 ± 3.8 <sup>b</sup>

注:数据表示为平均值 ± 标准误( $n = 8$ );同一列数据上标字母不同为差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data are presented as means ± SE ( $n = 8$ ); Mean values in same column with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.4 饲料中磷含量对黄鳝磷利用的影响

饲料中磷的含量对全鱼和脊椎骨的磷利用情况有显著的影响。饲料中磷含量高于 1.05% 时,显著增加全鱼的灰分含量( $P < 0.05$ )。全鱼磷、脊椎磷和钙含量随饲料中磷含量增高呈上升趋势,当饲料中磷含量为 1.05% 时,全鱼磷含量最高,而脊椎磷和脊椎钙含量分别在饲料磷含量 1.29% 和 1.53% 实验组达到最大,且这 3 组均显著高于 0.67% 和 0.91% 两实验组( $P < 0.05$ )。饲料磷含量为 1.05% ~ 1.53% 时,实验组全鱼磷、脊椎磷和钙含量无显著差异。实验各组间的脊椎骨钙磷比不受饲料中磷含量的影响(表 5)。

表 5 饲料中不同磷水平对黄鳝磷利用率的影响

Tab.5 Effects of dietary phosphorus levels on dietary phosphorus utilization of *M. albus*

实验饲料(%总磷) diet no. (TP)	全鱼灰分/% whole-body ash	全鱼磷/(%DM) whole-body phosphorus	脊椎磷/(%DM) vertebrae phosphorus	脊椎钙/(%DM) vertebrae calcium	钙磷比 Ca/P
diet 1(0.67)	2.50 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.75 ± 0.12 <sup>a</sup>	7.29 ± 0.16 <sup>a</sup>	13.47 ± 0.28 <sup>a</sup>	1.83 ± 0.07
diet 2(0.91)	2.93 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.89 ± 0.03 <sup>a</sup>	7.46 ± 0.19 <sup>a</sup>	13.61 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.85 ± 0.03
diet 3(1.05)	3.23 ± 0.48 <sup>b</sup>	1.01 ± 0.04 <sup>b</sup>	7.68 ± 0.21 <sup>b</sup>	14.08 ± 0.31 <sup>b</sup>	1.80 ± 0.06
diet 4(1.29)	3.17 ± 0.54 <sup>b</sup>	0.99 ± 0.08 <sup>b</sup>	7.74 ± 0.24 <sup>b</sup>	14.32 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.83 ± 0.04
diet 5(1.53)	3.23 ± 0.51 <sup>b</sup>	0.97 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.65 ± 0.18 <sup>b</sup>	14.53 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.88 ± 0.04

注:数据表示为平均值 ± 标准误( $n = 6$ );同一列数据上标字母不同为差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data are presented as means ± SE ( $n = 6$ ); Mean values in same column with different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.5 黄鳝幼鱼饲料磷需求量

用折线模型分析增重率,可以得到饲料中满足黄鳝最佳生长需求的磷含量为 1.10% [ $(Y = 104.67 - 46.07(1.10 - X), R^2 = 0.944$  (图 1))。以折线模型分析全鱼和脊椎骨的磷含量,结果表

明,满足黄鳝对磷最大沉积需要的饲料最低磷含量分别为 1.05% [ $(Y = 0.988 - 0.6354(1.05 - X), R^2 = 0.928$  (图 2)) 和 1.10% [ $(Y = 7.696 - 0.9855(1.10 - X), R^2 = 0.956$  (图 3))。]

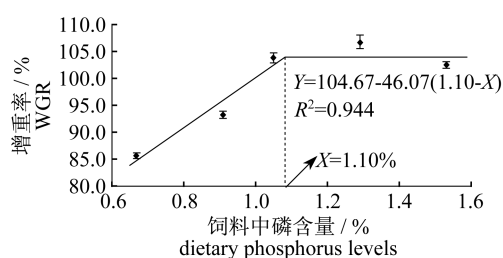


图1 饲料磷水平对黄鳝增重率的影响

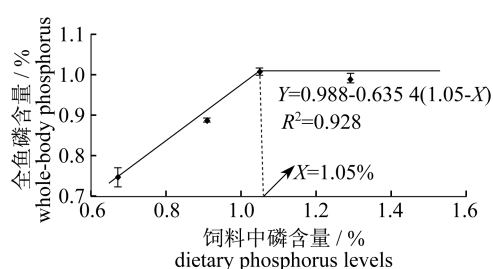
Fig. 1 Effect of dietary phosphorus levels on weight gain rate of *M. albus*

图2 饲料磷水平对黄鳝全鱼磷含量的影响

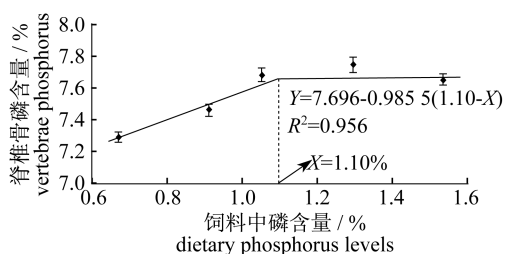
Fig. 2 Effect of dietary phosphorus levels on whole-body phosphorus content of *M. albus*

图3 饲料磷水平对黄鳝脊椎骨磷含量的影响

Fig. 3 Effect of dietary phosphorus levels on vertebrae phosphorus content of *M. albus*

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中不同含量的磷对黄鳝生长的影响

实验结果表明,饲料中磷含量显著影响黄鳝的增重率、饲料效率和蛋白质效率,并存在满足正常生长的最低水平(1.10%),这说明饲料中磷为黄鳝生长所必需。研究结果表明,黄鳝各组间成活率没有显著差异,磷缺乏组的主要症状为生长速度慢、全鱼脂肪和灰分含量高,在其他鱼中也有类似报道<sup>[5-7,9-12]</sup>。但其他鱼类在饲料中磷缺乏时表现的食欲差<sup>[18]</sup>、骨骼畸形<sup>[6,18]</sup>、死亡率高<sup>[19]</sup>等症状在本实验中未有发现。磷缺乏组实验鱼的增重率和蛋白质效率低,可能是其他生理过程利

用磷之后鱼体缺乏足够的磷来维持生长,当饲料中补充磷后黄鳝增重率和蛋白质效率显著上升<sup>[12]</sup>,与大黄鱼<sup>[7]</sup>、革胡子鲶<sup>[12]</sup>、胭脂鱼<sup>[10]</sup>和黑鲟<sup>[5]</sup>研究结果相似。也有研究者指出,大西洋鲑(*Salmo salar*)磷缺乏时生长不受影响<sup>[3]</sup>。

以增重率为指标,折线模型分析表明,黄鳝对饲料中总磷的最佳需求量为1.10%。由于实验动物的特殊性,本实验中,没有测定黄鳝对磷的消化率。一般而言,大部分水产动物对磷的消化率为91.2%~97.0%<sup>[5-7,10-12]</sup>,通过测算,黄鳝对饲料中总磷的需要量与大黄鱼(1.01%)<sup>[7]</sup>、胭脂鱼(1.02%)<sup>[10]</sup>、革胡子鲶(1.01%)<sup>[12]</sup>、史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(1.00%)<sup>[20]</sup>的研究结果相近,但低于草鱼(1.13%)<sup>[11]</sup>,而高于黑线鲢(0.96%)<sup>[6]</sup>、黑鲟(0.90%)<sup>[5]</sup>、鲤(0.69%)<sup>[9]</sup>、卡特拉鱼(*Catla catla*)(0.64%)<sup>[21]</sup>和建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)(0.88%)<sup>[22]</sup>。不同鱼类的磷需要量差异可能是由于种间差异、鱼体规格、生长阶段、饲料配方、磷源和有效率,以及养殖环境等不同而引起<sup>[6-7,12]</sup>。

#### 3.2 饲料中不同含量的磷对黄鳝体组成的影响

本实验结果显示,饲料中添加磷能增加黄鳝鱼体蛋白含量,降低脂肪含量,与黑线鲢<sup>[6]</sup>、大黄鱼<sup>[7]</sup>、西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)<sup>[23]</sup>、草鱼<sup>[11]</sup>、革胡子鲶<sup>[12]</sup>中的研究结果相似。饲料中磷的缺乏会引起氧化磷酸化反应减弱,导致柠檬酸循环被抑止,从而引起乙酰辅酶A的累积,阻止鱼体利用脂肪作为能量来源,导致鱼体脂肪含量高<sup>[24]</sup>。另外,鱼类摄食低磷饲料,可能由于磷缺乏限制了用于蛋白质合成的产能核苷酸总量,从而造成鱼体蛋白质含量低<sup>[25-26]</sup>。因此在本实验中,黄鳝鱼体蛋白质含量上升和脂肪含量下降主要可归因于饲料中的磷含量线性升高。

全鱼灰分和磷含量在鱼类营养研究中经常会用来评价磷需求量<sup>[5,9-10]</sup>,由于磷在骨骼构造中的重要作用,脊椎磷含量是评价饲料中磷吸收利用的最重要指标之一<sup>[5,7]</sup>。本实验研究发现,饲料中不同磷水平显著影响了黄鳝全鱼灰分、全鱼磷和脊椎磷含量。但Luo等<sup>[8]</sup>报道饲料中不同磷水平对黄颡鱼的全鱼磷含量没有显著影响。以折线模型分析全鱼和脊椎磷含量,结果表明,黄鳝对饲料中磷的需求量分别为1.05%和1.10%,接近于分析增重率数据得到的磷需求量(1.10%)。

这一研究结果与草鱼<sup>[11]</sup>和黑线鲳<sup>[6]</sup>报道相类似。但部分研究者指出大黄鱼<sup>[7]</sup>、胭脂鱼<sup>[10]</sup>、革胡子鲶<sup>[12]</sup>获得最大体质量的磷需要量并非磷沉积的最大需要量。Xu 等<sup>[23]</sup>研究报道西伯利亚鲟基于脊椎中磷含量得到的磷需求量(0.44%)比基于增重率数据(0.50%)要低,研究者推测西伯利亚鲟是软骨鱼类,脊椎磷含量本来就比硬骨鱼类要低。

### 3.3 对血液生理生化指标的影响

饲料中不同磷含量也显著影响了血清中的磷含量,但考虑到血清中磷的含量不稳定,血清磷增加会引起尿液磷排泄量升高,因此不适合作为评价磷需求量的指标<sup>[6,27]</sup>。各实验组间血清钙含量差异不显著,可能由于鱼类可以通过食物获得钙,还可以调节鳃部上皮细胞从周围水体中直接吸收钙,导致血清钙含量相对稳定<sup>[28]</sup>。碱性磷酸酶(ALP)与钙和磷的代谢紧密相关,在软骨细胞和成骨细胞中起重要作用。本实验中,随着饲料中磷含量增加,黄鳝血清 ALP 活性显著升高,表明饲料磷能促进 ALP 活性,进而增强磷代谢利用,这在实验鱼骨骼矿化指标的研究中得到了证实。也有报道指出黑鲷<sup>[5]</sup>和建鲤<sup>[22]</sup>血清中 ALP 活性呈下降趋势。血清 ALP 活性受许多因素影响,如水化学、饲料摄入、温度和生长阶段等<sup>[5,25]</sup>。由于血清 ALP 在鱼类营养的重要作用,很有必要开展进一步研究来评价其变动与鱼类生理和环境因素的关系。

## 4 结论

本研究结果表明,磷为黄鳝维持正常生长和骨骼矿化所必需。折线模型分析黄鳝增重率、全鱼磷和脊椎磷含量,得到饲料中最适磷含量分别为 1.10%、1.05% 和 1.10%。结合最佳生长效果和骨骼矿化情况,建议黄鳝饲料中磷含量为 1.10% 时较为适宜。

### 参考文献:

- [1] Pimentel-Rodrigues A M, Oliva-Teles A. Phosphorus requirements of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles [J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32 (suppl. 1): 157 - 161.
- [2] National Research Council. Nutrient requirements of fish [M]. National Academic Press, 1993: 47.
- [3] Åsgård T, Shearer K D. Dietary phosphorus

requirement of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, 3(1): 17 - 23.

- [4] Tacon A G J. Nutritional fish pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish [J]. *FAO Fishery Technology Papers*, 1993, 330: 1 - 75.
- [5] Shao Q, Ma J, Xu Z, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile black seabream, *Sparus macrocephalus* [J]. *Aquaculture*, 2008, 277(1 - 2): 92 - 100.
- [6] Roy P K, Lall S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. *Aquaculture*, 2003, 221(1 - 4): 451 - 468.
- [7] 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.
- [8] Luo Z, Tan X Y, Liu X, et al. Dietary total phosphorus requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Aquaculture International*, 2010, 18(5): 897 - 908.
- [9] Nwanna L C, Kuhlwein H, Schwarz F J. Phosphorus requirement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) based on growth and mineralization [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(3): 401 - 410.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Yu H R, Zhang Q, Xiong D M, et al. Dietary available phosphorus requirement of juvenile walking catfish, *Clarias leather* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(4): 483 - 490.
- [13] Yang D Q, Chen F, Li D X. Requirements of nutrients and optimum energy-protein ratio in the diet for *Monopterus albus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(3): 259 - 262. [杨代勤, 陈芳, 李道霞. 黄鳝的营养素需要量及饲料最适能量蛋白比. *水产学报*, 2000, 24(3): 259 - 262.]
- [14] Zhu C S, Jiang B, Zhou Q B. The effects of different levels of EPA and DHA on lipids metabolism, growth and reproductive performance of rice field eel (*Monopterus albus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(4): 648 - 655. [朱长生, 江波, 周

- 秋白. 饲料中不同 EPA 和 DHA 含量对黄鳝脂类代谢、生长及繁殖性能的影响. 水生生物学报, 2013, 37(4):648-655.]
- [15] AOAC ( Association of Official Analytical Chemists ). Official Methods of Analysis of the association of official analytical chemists [ M ]. 16th ed. Arlington, VA: AOAC International, 1995.
- [16] Duncan D B. Multiple range test and multiple F tests [ J ]. Biometrics, 1955, 11: 1-42.
- [17] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [ J ]. Journal of Nutrition, 1979, 109(10): 1710-1714.
- [18] Wang X, Choi S, Park S, et al. Optimum dietary phosphorus level of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* reared in the recirculating system [ J ]. Fisheries science, 2005, 71 ( 1 ): 168-173.
- [19] Baeverfjord G, Asgard T, Shearer K D. Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and postsmolts [ J ]. Aquaculture Nutrition, 1998, 4(1): 1-11.
- [20] Wen H, Yan A S, Gao Q, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile *Acipenser schrenckii* [ J ]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32 ( 2 ): 242-248. [ 文华, 严安生, 高强, 等. 史氏鲟幼鲟对饲料中磷的需要量. 水产学报, 2008, 32 ( 2 ): 242-248. ]
- [21] Sukumaran K, Pal A K, Sahu N P, et al. Phosphorus requirement of Catla ( *Catla catla* Hamilton ) fingerlings based on growth, whole-body phosphorus concentration and non-faecal phosphorus excretion [ J ]. Aquaculture Research, 2009, 40(2): 139-147.
- [22] Xie N B, Feng L, Liu Y, et al. Growth, body composition, intestinal enzyme activities and microflora of juvenile Jian carp ( *Cyprinus carpio* var. *jian* ) fed graded levels of dietary phosphorus [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(6): 645-656.
- [23] Xu Q Y, Xu H, Wang C, et al. Studies on dietary phosphorus requirement of juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* [ J ]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(2): 709-714.
- [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] 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(3-4): 283-291.
- [26] Sugiura S H, Kelsey K, Ferraris R P. Molecular and conventional responses of large rainbow trout to dietary phosphorus restriction [ J ]. Journal of Comparative Physiology, 2007, 177(4): 461-472.
- [27] Sugiura S H, Dong F M, Hardy R W. Primary responses of rainbow trout to dietary phosphorus concentrations [ J ]. Aquaculture, 2000, 6 ( 11 ): 235-245.
- [28] Dougall D S, Woods L C III, Douglass L W, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile striped bass, *Morone saxatilis* [ J ]. Journal of the World Aquaculture Society, 1996, 27(1): 82-91.

## **Influence of dietary phosphorus levels on growth performance, body composition and biochemical indices of juvenile rice field eel (*Monopterus albus*)**

HE Zhigang<sup>1,2</sup>, HU Yi<sup>1\*</sup>, YU Hailuo<sup>1</sup>, LÜ Fu<sup>3</sup>, ZHANG Lu<sup>4</sup>, XIAO Keyu<sup>1</sup>, DAI Zhenyan<sup>1</sup>

(1. College of Animal Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;

2. Fisheries Research Institute of Hunan Province, Changsha 410153, China;

3. Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China;

4. Tongwei Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Phosphorus is one of the most important minerals required by fish. Due to low concentration of phosphorus in natural waters, and low absorption rate of phosphorus from the water, fish must obtain most of phosphorus from their diets. The optimal amount of phosphorus supplementation in commercial feeds is important not only economically, but also for environmental reasons. Phosphorus metabolism in cultured aquatic species has become a popular research subject, due to rising concerns about phosphorus discharged into aquaculture environment. The present experiment was conducted to evaluate the effects of dietary phosphorus on growth performance, body composition, bone mineralization and blood chemistry index of juvenile rice field eel (*Monopterus albus*). Five practical diets were formulated to contain graded levels (0.67%, 0.91%, 1.05%, 1.29% and 1.53%) of phosphorus from dietary ingredients and monocalcium phosphate. Each diet was randomly fed to triplicate groups of fish with initial mean weight of (34.4 ± 0.3) g in floating cages (1.5 m × 2.0 m × 1.5 m) to apparent satiation for 70 days, and each cage was stocked initially with 100 fish. The results showed that: (1) fish weight gain rate (WGR), protein efficiency ratio (PER) and feed efficiency (FE) increased with increasing phosphorus from 0.67% to 1.05% ( $P < 0.05$ ) and then plateau over the level of 1.05%. Broken-line analyses [ $Y = 104.67 - 46.07(1.10 - X)$ ,  $R^2 = 0.944$ ] suggested that optimum dietary phosphorus content is 1.10% based on WGR. (2) whole-body protein contents and condition factor (CF) were significantly elevated, however, whole-body lipid contents as well as hepatosomatic index (HSI) were significantly reduced by increasing dietary phosphorus. (3) Diet phosphorus level can significantly enhance the content of whole-body ash and phosphorus ( $P < 0.05$ ). Broken-line analyses [ $Y = 0.988 - 0.6354(1.05 - X)$ ,  $R^2 = 0.928$ ] suggested that fish fed diets with phosphorus of 1.05% presented highest whole-body phosphorus content. both vertebrae phosphorus and calcium contents increased linearly with increasing dietary phosphorus levels while vertebrae Ca/P ratio was not influenced. Broken-line analyses [ $Y = 7.696 - 0.9855(1.10 - X)$ ,  $R^2 = 0.956$ ] indicated vertebrae phosphorus content showed highest values at the diet phosphorus of 1.10%. (4) Dietary TP had distinct effects on P, Ca and alkaline phosphatase contents in serum. This research revealed that 1.10% dietary total phosphorus was required for maximal tissue storage and mineralization as well as optimal growth.

**Key words:** *Monopterus albus*; body composition; growth performance; monocalcium phosphate

**Corresponding author:** HU Yi. E-mail: huyi740322@163.com