

克氏原螯虾对饲料中磷的需求量

李 强 谢玲玲 林郁葱 龚世园

华中农业大学水产学院, 武汉 430070

摘要 以磷酸二氢钙为磷源, 制成磷水平为 0.83%、1.07%、1.25%、1.38%、1.59%、1.82% 和 2.03% 的 7 种饲料, 并以此饲料投喂克氏原螯虾幼虾(5.02±0.51 g) 70 d。试验结果表明: 饲料磷水平对克氏原螯虾的增重率、特定生长率、饲料系数影响显著, 随着磷水平的增加, 增重率和特定生长率逐渐升高, 当磷水平为 1.82% 时达到最大, 然后随着饲料磷含量的继续增加, 这些指标逐渐降低; 饲料系数的变化趋势与增重率和特定生长率相反; 试验各组间成活率没有显著差异。全虾粗灰分和磷含量与饲料磷水平呈正相关; 随着磷水平的升高, 全虾粗脂肪含量呈下降的趋势; 肝胰腺碱性磷酸酶活性随磷水平的升高而显著降低; 以增重率和特定生长率为评价指标, 经过折线模型分析得出, 克氏原螯虾最适磷需求量分别为 1.84% 和 1.80%。

关键词 克氏原螯虾; 磷; 生长性能; 营养组成; 碱性磷酸酶

中图分类号 S 966.12 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0109-07

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 隶属于甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、螯虾科(Cambaridae), 原产于北美洲、美国南部和墨西哥北部, 于 1918 年引入日本, 后由日本传入我国^[1], 现已成为我国重要的淡水经济虾类。随着各地克氏原螯虾集约化、规模化养殖的不断兴起, 仅靠天然饲料远远不能满足克氏原螯虾养殖发展的需要, 研究与开发克氏原螯虾人工全价饲料具有重要的意义。目前国内外对克氏原螯虾的研究主要集中于其行为学及疾病与免疫方面^[2-4], 对营养饲料方面的研究也主要集中在蛋白质^[5]、脂肪^[6]等方面。在国内外的众多文献中, 尚未见到有关克氏原螯虾磷需求量方面的报道。磷是甲壳动物主要的营养素之一, 对甲壳动物的机体代谢和生长都起着非常重要的作用。由于天然水体中磷的浓度很低^[7], 食物成为甲壳动物获取磷元素营养的主要来源^[8-9], 因此, 为研发有效又环保的人工饲料, 进行甲壳动物最适磷水平的研究具有重要意义。为此, 笔者研究克氏原螯虾对饲料中的最适磷需求量, 以期为克氏原螯虾优质高效饲料的配制和生产提供必要的理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 饲料配方原则

试验饲料以秘鲁鱼粉、豆粕、面粉、虾青素、胆固醇、氯化胆碱、复合维生素及无机盐等为原料制成基础饲料; 以磷酸二氢钙(分析纯)为磷源, 碳酸钙(分析纯)调节钙水平, 使各试验组钙含量相同, 用纤维素调节百分比, 制成磷水平为 0.83%(A)、1.07%(B)、1.25%(C)、1.38%(D)、1.59%(E)、1.82%(F)和 2.03%(G)(均为实测值)的 7 种试验饲料。饲料原料购自武汉高龙饲料有限公司, 各种原料粉碎后过直径 0.425 mm 的筛, 精确称量、混合搅拌均匀并加工成直径 1.5 mm 的颗粒饲料, 60℃ 恒温干燥后, 置于冰箱中保存备用。设计配方的原料组成和营养成分见表 1。配方中多维多矿含量如下:

多维成分(每千克预混物): 维生素 A 2×10^6 U; 维生素 D₃ 1×10^6 U; 维生素 E 16 500 U; 维生素 B₁₂ 125 mg; 维生素 B₂ 6 g; 维生素 B₃ 40 g; 维生素 B₅ 16 g; 维生素 K 908 mg; 叶酸 1 g; 维生素 B₁ 4 587 mg; 维生素 B₆ 4 115 mg; 维生素 C 150 g。多矿成分(每

收稿日期: 2012-05-23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD37B01)

李 强, 硕士研究生。研究方向: 水产动物营养与饲料学。E-mail: qiangqiang861227@yahoo.com.cn

通讯作者: 龚世园, 教授。研究方向: 水产动物营养。E-mail: gsy@mail.hzau.edu.cn

表 1 饲料配方及营养成分

Table 1 Ingredients and nutritional composition of the experimental diets

项目 Items	组别 Group						
	A	B	C	D	E	F	G
饵料成分/% Ingredient							
鱼粉 Fish meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
豆粕 Soybean meal	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00
面粉 Flour	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
鱼油 Fish oil	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
豆油 Soybean oil	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
胆固醇 Cholesterol	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
多维 Vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
多矿 Mineral premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
黏合剂 Binder	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
虾青素 Astaxanthin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
甜菜碱 Betaine	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
防霉剂 Mould inhibitor	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
抗氧化剂 Antioxidant	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	0.00	0.80	1.60	2.40	3.20	4.00	4.80
CaCO ₃	1.90	1.59	1.27	0.95	0.64	0.32	0.00
纤维素 Cellulose	4.93	4.44	3.96	3.48	2.99	2.51	2.03
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 Proximate analysis ¹⁾							
粗蛋白/% Crude protein	34.61	34.93	34.87	35.16	35.03	35.11	34.96
粗脂肪/% Crude lipid	7.94	7.92	7.88	7.94	7.71	7.94	7.92
粗灰分/% Crude ash	6.59	6.61	6.55	6.53	6.59	6.60	6.60
总磷/% Total Phosphorus	0.83	1.07	1.25	1.38	1.59	1.82	2.03
总钙/% Total Ca	1.14	1.27	1.35	1.34	1.40	1.35	1.40
钙/磷 Ca/P	1.37	1.19	1.08	0.97	0.88	0.74	0.69
能量 Energy (kJ/100 g)	1 187.64	1 202.54	1 190.92	1 210.05	1 197.88	1 193.63	1 211.15

1) 营养成分数据为实测值。All data above are measured value.

千克预混物): Na₂SeO₄ 0.0454 g; CoCO₃ 0.147 g; I₂ 0.76 g; CuO 1.46 g; FeSO₄ · 7H₂O 19.20 g; MnO₂ 22.0 g; ZnO 264.0 g。

1.2 试验虾的来源、饲养及日常管理

试验用虾为武汉市壕沟水产养殖场提供的同一批幼虾,平均体质量为(5.02±0.51) g。

饲养试验于 2011 年 6 月至 8 月在华中农业大学水产基地进行。试验虾采用规格为 70 cm×50 cm×45 cm 的水族箱饲养,每只水族箱底部放 8 只 PVC 管(长度约 10 cm),以供螯虾蜕皮隐蔽用。每 9 个水族箱并排放在一起,用遮阴网遮盖。正式试验前,先将试验虾在水族箱中驯养 30 d,投喂不添加磷的基础日粮,使其适应试验饲料和养殖环境,再将虾饥饿 24 h 后,挑选体质健康、规格相近的 630 只

幼虾,随机分为 7 组,每组 3 个重复,每个重复 30 只,饲喂配制好的 7 组饲料,各组试验虾初始体质量差异不显著 ($P > 0.05$)。试验期间水温为 (28±2) °C, pH 7.4±0.2。试验期间每天投喂饲料 2 次,分别在 07:00 和 17:30 投喂当天饲料量的 30% 和 70%,日投饲量为虾体质量的 3%~6%。视残饵情况增减投饵量,尽量保证不过剩,每天记录投饵量。平均每 2 d 换水 1 次,每次换水约 1/3,夏季气温较高,为改善水质及防病,平均每 15 d 用二氧化氯消毒 1 次。试验周期为 70 d。

1.3 饲养指标及其计算

饲养试验结束后,对试验虾停饲 24 h 后称终末体质量 (W_t),计算增重率 (weight gain, WGR)^[10]、特定生长率 (specific growth rate, SGR)^[10]、饲料系

数(feed conversion rate, FCR)和成活率(survival rate, SR)^[10]。FCR 计算公式如下:

$$FCR = F_1 / (W_t - W_0)$$

式中: W_t 表示试验结束时平均体质量; W_0 表示试验开始时平均体质量; t 为试验天数; F_1 为总摄食量。

1.4 取样与样品分析

试验结束后每个平行组中随机取 5 尾, 立即处死, 剪碎, 制备全虾样品并作全虾常规营养成分分析。另随机取 15 尾克氏原螯虾, 置于冰盘中解剖, 取肌肉、肠道和肝胰腺。肌肉剪碎后称质量, 制备克氏原螯虾肌肉样品并作常规营养成分分析。105 °C 常压干燥法测定水分; 微量凯氏定氮法测粗蛋白; 用无水乙醚为溶剂, 索氏抽提法测定粗脂肪; 马福炉中焚烧(550 °C)灼烧法测定粗灰分; 高锰酸钾法测定钙含量, 钒钼酸铵法测定磷含量。取出的肠道和肝胰腺用去离子水洗净内容物, 剔除肠系膜及多余的脂肪, 滤纸吸干, 准确称取一定量的组织, 按质量体积比加生理盐水制备成 10% 的组织匀浆, 3 000 r/min 离心 10 min, 然后去组织匀浆上清液再用生理盐水按 1:9 稀释成 1% 组织匀浆, 制备肝胰腺和肠道粗酶液样品。制备粗酶液后, 采用南京建成生物研究所提供的碱性磷酸酶(AKP/ALP)测试盒, 比色法测定克氏原螯虾肠道以及肝胰腺的碱性磷酸酶活性。

1.5 数据处理

应用 SAS 软件对数据进行处理。采用 LSD 法进行单因素方差分析, 若有显著差异, 再进行 Duncan 氏多重比较, 显著性水平采用 0.05, 若 $P < 0.05$, 则表示差异显著。

表 2 饲料磷水平对克氏原螯虾增重率、特定增长率、存活率和饵料系数的影响¹⁾

Table 2 Effect of dietary phosphorus level on weight gain, specific growth rate, survival rate and feed conversion rate of red swamp crayfish

组别(磷含量/%) Groups (Dietary phosphorus)	初始体质量/g IBW	终末体质量/g FBW	增重率/% WGR	特定增长率/(%/d) SGR	存活率/% SR	饵料系数/% FCR
A(0.83)	5.00±0.40	15.78±2.11 c	218.66±11.67 b	1.58±0.25 d	85.56±5.09 a	1.47±0.18 a
B(1.07)	5.03±0.45	15.97±2.43 bc	218.84±13.42 b	1.64±0.23 c	85.56±6.94 a	1.48±0.13 a
C(1.25)	4.98±0.53	15.80±2.45 c	221.63±9.72 b	1.66±0.27 bc	86.67±3.33 a	1.44±0.14 ab
D(1.38)	5.01±0.59	16.24±2.10 bc	229.58±12.94 ab	1.68±0.26 b	86.67±5.77 a	1.43±0.09 ab
E(1.59)	5.07±0.56	16.91±2.03 ab	236.77±13.29 ab	1.72±0.24 a	87.78±3.85 a	1.41±0.07 ab
F(1.82)	5.04±0.52	17.23±2.68 a	243.69±10.42 a	1.74±0.26 a	88.89±1.92 a	1.37±0.07 b
G(2.03)	5.05±0.50	16.43±2.43 abc	230.42±11.20 ab	1.68±0.24 b	86.67±3.33 a	1.42±0.11 ab

1) 同列数据标注不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$)。下同。Data with different letters in the same column mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2 结果与分析

2.1 不同磷水平对克氏原螯虾增重率、特定增长率、饲料系数和成活率的影响

饲料中不同磷水平对克氏原螯虾增重率、特定增长率、饲料系数和成活率的影响见表 2。从表 2 可以看出, 当饲料中磷水平低于 1.82% 时, 试验虾的增重率和特定增长率随着饲料中磷含量的增加而提高; 当饲料中磷含量达到 1.82% 时, 增重率和特定增长率都达到最大值; 当饲料中磷含量超过 1.82% 时, 其生长效果随着磷水平的提高反而有所下降。在本次试验中, A 组和 B 组的试验虾摄食情况最差, 生长较缓慢, 特定增长率显著低于其他 5 个磷添加组, 并与 F 组差异显著($P < 0.05$)。从 A 组到 F 组, 随着磷水平的升高, 饲料系数逐渐下降, F 组显著低于 A 组和 B 组($P < 0.05$)。在试验中, 各组的存活率均无显著差异, A 组和 B 组最低。

采用折线模型(broken-line model)^[11], 以饲料磷含量为自变量(X), 以增重率为因变量(Y)做直线回归分析, 分别得到回归直线方程 $Y = 191.42 + 27.79X$ ($R^2 = 0.9115$) 和 $Y = 358.70 - 63.19X$ ($R^2 = 1$), 从而求得拐点 $X = 1.84\%$, 即饲料中磷含量为 1.84% 时克氏原螯虾获得最大增重率。再以饲料磷含量为自变量(X), 以特定增长率为因变量(Y)做直线回归分析, 分别得到回归直线方程 $Y = 1.458 + 0.160X$ ($R^2 = 0.9771$) 和 $Y = 2.260 - 0.286X$ ($R^2 = 1$), 从而求得拐点 $X = 1.80\%$, 即饲料中磷含量为 1.80% 时克氏原螯虾获得最大特定增长率。

2.2 不同磷水平对克氏原螯虾全虾和肌肉常规营养成分的影响

饲料中不同磷水平对克氏原螯虾全虾和肌肉的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分以及总磷含量的影响见表 3。从表 3 可以看出,饲料中磷水平对克氏原螯虾全虾水分呈显著影响($P < 0.05$),其中水分含量最高组和最低组分别为 E 组和 A 组;饲料中磷水平对克氏原螯虾全虾粗蛋白的影响不显著($P > 0.05$),粗蛋白含量约为 13%;粗脂肪随饲料中磷水平增加有下降趋势,但各组之间无显著性差异($P > 0.05$);灰分随饲料中磷水平增加而逐渐升高,G 组灰分含量最大且显著高于其他各组($P < 0.05$);全虾总磷含量随着饲料磷水平的升高而呈升高的趋势,E、F 和 G 组的总磷含量显著高于低磷水平组($P < 0.05$),但 3 个组间无显

著差异($P > 0.05$)。然而,饲料中不同磷水平对克氏原螯虾肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪、总磷含量均无显著影响($P > 0.05$)。水分含量约为 75%,粗蛋白含量约 12.93%,粗脂肪含量约 2.18%,总磷含量约 0.349%;肌肉中灰分含量 C 组到 G 组无显著差异($P > 0.05$),但明显高于 A、B 组($P < 0.05$)。

2.3 不同磷水平对克氏原螯虾碱性磷酸酶活性的影响

饲料磷水平对克氏原螯虾碱性磷酸酶活性的影响见表 4。由表 4 可以看出,饲料磷水平对克氏原螯虾肠道碱性磷酸酶活性无显著影响($P > 0.05$)。肝胰腺的碱性磷酸酶活性受饲料磷水平影响显著($P < 0.05$),从 A 组到 G 组,肝胰腺碱性磷酸酶活性随饲料中磷水平的增加而逐渐下降,F 组和 G 组最低,显著低于 A 到 D 组($P < 0.05$)。

表 3 饲料不同磷水平对克氏原螯虾全虾和肌肉常规营养成分的影响¹⁾

Table 3 Effect of dietary phosphorus level on whole body and muscle composition of red swamp crayfish

组别 (磷含量/%) Groups (Dietary phosphorus)	水分 Moisture		粗蛋白 Crude protein		粗脂肪 Crude lipid		粗灰分 Crude ash		总磷 Total phosphorus	
	全虾 Whole body	肌肉 Muscle	全虾 Whole body	肌肉 Muscle	全虾 Whole body	肌肉 Muscle	全虾 Whole body	肌肉 Muscle	全虾 Whole body	肌肉 Muscle
A(0.83)	73.47± 0.34 d	78.83± 0.75 a	13.44± 1.52 a	17.06± 1.70 a	2.25± 0.49 a	1.44± 0.26 a	5.57± 0.09 f	1.17± 0.07 b	0.299± 0.023 c	0.273± 0.006 a
B(1.07)	74.59± 0.25 c	79.17± 1.05 a	12.89± 1.25 a	16.72± 1.77 a	2.20± 0.49 a	1.47± 0.27 a	5.63± 0.08 f	1.16± 0.05 b	0.308± 0.032 c	0.279± 0.010 a
C(1.25)	75.19± 0.23 bc	78.73± 0.82 a	13.05± 1.39 a	17.31± 1.39 a	2.12± 0.20 a	1.47± 0.23 a	5.77± 0.09 e	1.29± 0.10 a	0.321± 0.035 bc	0.280± 0.018 a
D(1.38)	74.87± 0.47 c	78.55± 0.58 a	12.95± 1.60 a	16.85± 1.86 a	2.25± 0.09 a	1.48± 0.27 a	5.91± 0.10 d	1.26± 0.09 a	0.345± 0.014 b	0.281± 0.011 a
E(1.59)	75.87± 0.85 a	78.70± 0.92 a	12.52± 1.79 a	16.37± 1.78 a	2.16± 0.04 a	1.45± 0.30 a	6.16± 0.04 c	1.29± 0.08 a	0.388± 0.031 a	0.278± 0.010 a
F(1.82)	75.65± 0.95 ab	79.43± 0.95 a	12.92± 1.51 a	16.81± 1.48 a	2.16± 0.09 a	1.47± 0.42 a	6.34± 0.08 b	1.27± 0.06 a	0.385± 0.030 a	0.277± 0.007 a
G(2.03)	74.88± 0.97 c	78.85± 0.86 a	12.79± 1.56 a	16.52± 1.86 a	2.12± 0.08 a	1.48± 0.23 a	6.61± 0.08 a	1.25± 0.06 a	0.400± 0.012 a	0.284± 0.007 a

表 4 饲料磷水平对克氏原螯虾碱性磷酸酶活性的影响

Table 4 Effect of dietary phosphorus level on activity of alkaline phosphatase of red swamp crayfish U/mg

组别(磷含量/%) Groups(Dietary phosphorus)	肠道 Intestine	肝胰腺 Hepatopancreas
A(0.83)	3.021±1.110 a	16.201±0.845 a
B(1.07)	3.253±1.005 a	15.762±0.876 a
C(1.25)	3.110±0.770 a	15.572±0.929 ab
D(1.38)	3.557±0.418 a	14.845±0.894 bc
E(1.59)	3.314±0.984 a	14.408±0.857 cd
F(1.82)	3.591±0.919 a	13.713±0.441 d
G(2.03)	3.313±0.921 a	13.644±0.792 d

3 讨论

3.1 不同磷水平对克氏原螯虾增重率、特定增长率、饲料系数和成活率的影响

磷是鱼虾生长发育所需的必需营养元素,是构成骨骼和牙齿的主要成分之一,直接参与脂肪代谢、能量代谢、物质合成和信息传递等,具有广泛的生理功能。许多研究表明,饲料中添加适宜水平的磷能有效提高鱼虾的生长性能,当饲料中的磷缺乏时,大多数鱼虾的生长率下降、饲料效率降低^[12-14]。本试验的结果也证实了这一点。在本试验中,饲料中不同磷水平对克氏原螯虾增重率、特定增长率、饲料系

数均有显著影响($P < 0.05$),随着饲料磷水平的增加,试验虾增重率和特定生长率提高,饲料系数则呈相反趋势,以磷含量为1.82%时增重率和特定生长率最大,饲料系数最小,分别为243.69%±62.21%、1.74%±0.26%和1.37%±0.07%。这一结果可能是由于大部分磷被分配用于维持其他生理代谢过程,而用于生长的磷不足,因此导致低磷饲料组增重率降低、生长性能下降^[15]。当饲料磷水平继续升高到2.03%时,增重率和特定生长率分别下降到230.42%±54.62%和1.68%±0.24%,饲料系数上升为1.42%±0.11%,其中特定生长率与1.82%组差异显著,说明饲料磷含量过高对克氏原螯虾生长不利。相似的结果在红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)^[16]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[17]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[18]和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[19]中发现。相反,Donald等^[20]的研究表明眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)的生长受饲料磷水平影响并不明显;Watanabe等^[21]的研究也表明除了饲料中磷水平低于0.27%的组外,其他饲料处理组间,大麻哈鱼的生长性能没有显著差异。造成这些结果的差异可能与多种因素有关,如鱼类的种类、大小和生长阶段、饲养条件、磷的来源及数据分析方法等^[22]。

本研究以增重率和特定生长率为标准得出克氏原螯虾最适的磷需求量分别为1.84%和1.80%,这一结论高于以往报道的大多数虾类以及鱼类磷的需求量。如印度白虾(*Fennero penaeus indicus*)^[8]、红螯螯虾^[16]、中国对虾仔^[17]、黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus* L.)^[22]、史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)^[23]和黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[24]的最适磷需求量分别为1.0%、1.32%~1.47%、1.16%~1.37%、0.72%、0.88%~1.00%和0.76%。由于克氏原螯虾等甲壳动物需要不断蜕壳,损失磷较多,磷的代谢旺盛,这就是甲壳动物磷需求量大于鱼类的原因。同时由于克氏原螯虾幼虾的蜕皮周期短,加上本试验是在克氏原螯虾蜕壳的高峰期和最佳生长水温条件下进行的,因此克氏原螯虾的磷损失量较大,需求量较高。

3.2 不同磷水平对克氏原螯虾全虾和肌肉常规营养成分的影响

灰分和磷含量是水产动物磷的营养研究中常用的2个评价指标^[25]。在本试验中,克氏原螯虾全虾灰分和磷含量随着饲料磷含量的增加而显著上升,

与中国对虾^[26]和红螯螯虾^[16]的研究一致。但也有报道不同的研究结果的。Penaflorida^[27]报道不同磷水平对斑节对虾(*Penaeus monodon*)全虾磷含量无显著影响,因此认为全虾磷含量不能作为一个判定适宜磷需求的标准。本试验结束时,高磷组克氏原螯虾体内水分含量显著低于低磷组,说明饲料磷的添加对螯虾体内水分含量具有一定的影响。另外,试验中发现全虾粗脂肪含量随磷水平的增加而呈下降趋势,这一结果与红螯螯虾幼虾^[16]和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[28]的研究一致。造成这一结果的原因可能是饲料中过低的磷水平影响了氧化磷酸化过程,从而限制了三羧酸循环的发生,造成乙酰辅酶A积累,使脂肪酸合成加快^[16]。

本试验中,饲料磷水平对克氏原螯虾肌肉水分、粗脂肪、粗蛋白和总磷含量均无显著影响($P > 0.05$)。比较全虾和肌肉的营养成分可以看出,随着磷水平的增加,磷在克氏原螯虾虾壳中积累量升高,为蜕壳与生长提供物质基础。

3.3 不同磷水平对克氏原螯虾碱性磷酸酶活性的影响

碱性磷酸酶是非特异性磷酸单脂酶,直接参与磷代谢,在钙磷的消化、吸收、分泌及骨化过程中发挥了重要作用^[29]。在水产动物营养研究中,碱性磷酸酶活性被作为动物体内磷状态的评价指标之一^[30]。王冬冬等^[16]研究报道红螯螯虾肝胰腺内碱性磷酸酶活性与饲料磷水平呈负相关。相同的结论在日本沼虾(*M. nipponense*)^[31]、凡纳滨对虾^[28,32]等甲壳动物和黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[33]等鱼类中发现。然而也有不同的研究结果。刘仙钦^[18]在研究中发现饲料中不同磷水平对军曹鱼血浆和肝脏碱性磷酸酶活力有显著影响,且碱性磷酸酶活性随磷浓度上升而上升。Shao等^[34]认为黑鲷肝胰腺碱性磷酸酶活性与饲料磷水平之间没有明显的相关性。由此可见,碱性磷酸酶与水产动物磷代谢关系的结论并不一致。本试验结果表明随着饲料磷水平的升高,克氏原螯虾肝胰腺碱性磷酸酶活性显著降低($P < 0.05$),以2.03%组最低,与上述有关甲壳动物的研究结果一致。出现这种结果的原因可能是在较高的磷水平下,动物机体中磷的含量能够满足生长要求,因此机体对外环境中的磷的消化吸收活动减少,从而肝胰腺中碱性磷酸酶活性降低。有关磷水平影响碱性磷酸酶活性的机制还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 李文杰. 值得重视的淡水渔业对象——螯虾[J]. 水产养殖, 1990(1):19-20.
- [2] 韩晓磊, 李小蕊, 程东成, 等. 温度对克氏原螯虾交配、抱卵、孵化和幼体生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 2078-2080.
- [3] ALCORLO P, GEIGER W, OTERO M. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity [J]. Crustacean, 2004, 77: 435-453.
- [4] 刘振兴, 陈昌福, 高宇, 等. 嗜水气单胞菌对克氏原螯虾免疫相关因子活性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(3): 358-363.
- [5] 吴东, 夏伦志, 侯冠军, 等. 3 种蛋白水平饲料对克氏螯虾生长和虾肉品质的影响[J]. 淡水渔业, 2007, 37(5): 36-40.
- [6] JOVER M, FERNANDEZ-CARMONA J, DELRIO M C, et al. Effects of feeding cooked-extruded diets, containing different levels of protein, lipid and carbohydrate on growth of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Aquaculture, 1999, 178(1/2): 127-137.
- [7] BOYD C E. Phosphorus dynamics in ponds [J]. Proc Annu Conf South Assoc Game Comm, 1971, 25: 418-426.
- [8] AMBASANKAR K, ALI S A. Effect of dietary phosphorus on growth and phosphorus excretion in Indian white shrimp [J]. J Aqua Trop, 2002, 17(2): 119-126.
- [9] RODEHUTSCORD M, PFEFFER E. Requirement for phosphorus in rain trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 200 g [J]. Water Sci Technol, 1995, 31: 137-141.
- [10] 赵巧娥, 朱邦科, 沈凡, 等. 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(3): 357-363.
- [11] ROBBINS K R, NORTON H W, BAKER D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. J Nutr, 1979, 109: 1710-1714.
- [12] NWANNA L C, KUHLWEIN H, SCHWARZ F J. Phosphorus requirement of common carp (*Cyprinus carpio* L.) based on growth and mineralization [J]. Aquacult Res, 2010, 41(3): 401-410.
- [13] YUAN Y C, YANG H J, GONG S Y, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Aquacult Nutr, 2010, 17(2): 159-169.
- [14] YANG S D, LIN T S, LIU F G, et al. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) [J]. Aquaculture, 2006, 253: 592-601.
- [15] MAI K, ZHANG C X, AI Q H, et al. Dietary phosphorus requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. [J]. Aquaculture, 2006, 251: 346-353.
- [16] 王冬冬, 叶金云, 王友慧, 等. 饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾生长和体组成的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(3): 344-351.
- [17] 张道波, 马琳, 马牲. 中国对虾仔虾对磷需要量的研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(1): 63-67.
- [18] 刘仙钦. 军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 幼鱼饲料中适宜磷源、磷水平以及钙磷比研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学水产学院, 2010.
- [19] 游文章, 黄忠志, 廖朝兴, 等. 草鱼对饲料中磷需要量的研究 [J]. 水产学报, 1987, 11(4): 285-292.
- [20] DONALD A D, EDWIN H R. Dietary phosphorus requirement of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* [J]. J World Aquacult Soc, 1987, 18(3): 129-133.
- [21] WATANABE T, MURAKAMI A, TAKEUCHI L, et al. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1980, 46: 361-367.
- [22] ROY P K, LALL S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. Aquaculture, 2003, 221: 451-468.
- [23] 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.
- [24] LUO Z, TAN X Y, LIU X, et al. Dietary total phosphorus requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Aquacult Int, 2010, 18: 897-908.
- [25] 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: 11-24.
- [26] 任泽林, 李爱杰. 饲料中钙磷含量对虾肉、虾壳中钙磷含量的影响 [J]. 中国饲料, 1996(6): 29-30.
- [27] PENAFLOIDA V D. Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juvenile shrimp, *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1999, 172: 281-289.
- [28] NIU J, LIU Y J, TIAN X L, et al. Effect of dietary phosphorus sources and varying levels of supplemental phosphorus on survival, growth and body composition of postlarval shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Aquacult Nutr, 2008, 14: 472-479.
- [29] COLEMAN J E. Structure and mechanism of alkaline phosphatase [J]. Annu Rev Biophys Biomol Struct, 1992, 21: 441-483.
- [30] SUGIUR S H, DONG F M, RATHBONE C K, et al. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds [J]. Aquaculture, 1998, 159: 177-202.
- [31] 鲍蕾. pH、盐度和饵料磷对日本沼虾生长的影响 [D]. 保定: 河北大学生命科学学院, 2000.
- [32] CHENG K M, HU C Q, LIU Y N, et al. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in

- low-salinity water [J]. *Aquaculture*, 2006, 251: 472-483.
- [33] 熊文. 磷源和磷浓度对黑鲷幼鱼生长性能的影响[D]. 杭州: 浙江大学动物科学学院, 2010.
- [34] SHAO Q J, MA J J, XU Z R, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile black seabream, *Sparus macrocephalus* [J]. *Aquaculture*, 2008, 277: 92-100.

Dietary phosphorus requirement of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*

LI Qiang XIE Ling-ling LIN Yu-cong GONG Shi-yuan

College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A growth trial was conducted to evaluate the optimum requirement of dietary phosphorus for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. Triplicate groups of juvenile red swamp crayfish (initial mean weight: 5.02 ± 0.51 g, mean \pm SD) were fed diets containing different levels of phosphorus (0.83%, 1.07%, 1.25%, 1.38%, 1.59%, 1.82% and 2.03%) for 70 d. The results showed that both the weight gain and specific growth rate increased significantly with increasing dietary phosphorus up to 1.82% and then decreased beyond this level. Feed conversion ratio decreased significantly with increasing dietary phosphorus level up to 1.82%. Dietary treatments did not significantly affect survival rate. Body composition analysis showed that the whole-body ash and phosphorus contents were significantly affected by dietary phosphorus levels. Dietary phosphorus levels also had distinct effects on hepatopancreas alkaline phosphatase activity. Broken-line analysis based on weight gain and specific growth rate indicated that the minimum phosphorus requirement for the optimal growth of juvenile red swamp crayfish were 1.84% and 1.80%, respectively.

Key words *Procambarus clarkii*; phosphorus; growth performance; nutrition composition; alkaline phosphatase

(责任编辑: 边书京)