

文章编号: 1674-5566(2010)03-0344-08

饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾 生长和体组成的影响

王冬冬^{1,2}, 叶金云¹, 王友慧³, 陈建明³, 潘茜³, 沈斌乾³, 郭建林³, 张凌燕⁴

(1. 湖州师范学院, 浙江 湖州 313000;

2. 宁波大学应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211;

3. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001;

4. 大连海洋大学生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 以秘鲁鱼粉、豆粕为蛋白源, 鱼油和豆油为脂肪源, 通过调节饲料中不同磷酸二氢钙水平形成 7 种不同磷水平 (0.72%、0.85%、1.00%、1.16%、1.32%、1.47% 和 1.74%) 的等氮等能饲料, 并以此饲料投喂红螯螯虾幼虾 (2.25 ± 0.12) g 8 周。试验结果显示: 饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾的增重率、特定生长率、饲料系数和成活率都有一定的影响, 增重率和特定生长率均随着磷水平的升高而升高, 当总磷含量为 1.34% 时获得最佳特定生长率, 而过高 (1.74%) 或过低 (0.72%) 的磷水平会显著影响幼虾的生长; 饲料系数随磷水平的升高呈下降趋势; 在 1.00% ~ 1.74% 的磷水平之间成活率均为 100%; 随着磷水平的升高, 全虾和肝胰脏粗脂肪含量逐渐降低, 全虾粗灰分和总磷含量均逐渐升高, 并且肌肉粗蛋白含量也呈一定的增长趋势; 适宜的磷水平可以提高血浆碱性磷酸酶活性, 而肝胰脏碱性磷酸酶活性随磷水平的升高而降低。综合幼虾的生长性能、营养成分等分析得出, 体重在 (2.25 ± 0.12) g 的红螯螯虾幼虾适宜的饲料总磷含量在 1.32% ~ 1.47% 之间。

关键词: 红螯螯虾; 幼虾; 生长性能; 磷; 营养组成

中图分类号: S 963.71 **文献标识码:** A

Effects of dietary phosphorus levels on growth and proximate composition of juvenile red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*)

WANG Dong-dong^{1,2}, YE Jin-yun¹, WANG You-hui³, CHEN Jian-ming³,

PAN Xi³, SHEN Bin-qian³, GUO Jian-lin³, ZHANG Ling-yan⁴

(¹ Huzhou Teachers College Huzhou 313000, China;

² Ningbo University Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology Ministry of Education Ningbo 315211, China;

³ Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries Huzhou 313001, China;

⁴ Life Science and Technique Institute Dalian Ocean University Dalian 116023, China)

Abstract: A study was conducted to investigate the effects of dietary phosphorus on juvenile red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. Seven isonitrogenous and isoenergetic diets with different phosphorus levels (0.72,

收稿日期: 2009-11-13

基金项目: 浙江省重大(招标)项目(2002C12016)

作者简介: 王冬冬(1982-), 女, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail: wangdongdong1982@sina.com

通讯作者: 叶金云, E-mail: zif2006@163.com

0.85, 1.00, 1.16, 1.32, 1.47 and 1.74%) were prepared using fish meal and soybean meal as the main protein sources. Juvenile red claw crayfish with an initial mean weight 2.25 ± 0.12 g were fed to satiation with one of the seven diets for 8 weeks. The results showed that the influences of different dietary phosphorus on the weight gain, specific growth rate, survival rate and feed conversion ratio were significant ($P < 0.05$). The weight gain and specific growth rate increased with dietary phosphorus increasing from 0.72% to 1.47%, the specific growth rate reached the maximal value at dietary phosphorus 1.34%. Survival rate increased with the dietary phosphorus increasing from 0.72% to 1.00% and no differences were observed with the dietary phosphorus increasing, the survival rates were all 100%. Meanwhile the whole body and carapace phosphorus level increased and the crude lipid level in the whole body and hepatopancreas decreased with the increase of dietary total phosphorus. The activity of tissue protease and plasma alkaline phosphatase could be enhanced at the suitable dietary phosphorus levels while hepatopancreas alkaline phosphatase activity was negatively related to dietary total phosphorus. Based upon the present study, a diet containing 1.32% - 1.47% total phosphorus might be considered as the optimum levels for growth, survival and tissue mineralization.

Key words: red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*); juvenile; growth; phosphorus; nutrition composition

红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 隶属于节肢动物门 (Arthropoda)、甲壳纲 (Crustacea)、十足目 (Decapoda)、拟河虾科 (Parastacidae)、光亮虾属。此虾原产于澳大利亚北部较偏僻的地区, 因富含高蛋白, 低脂肪和人类必需的钙及多种氨基酸而成为名副其实的健康食品, 被世界卫生组织推荐为最适合亚洲人食用的食品。目前已在澳大利亚形成规模型养殖产业, 美国于 1985 年引进此虾进行研究及养殖生产, 现在日本、新西兰、南非及中国等国家都有养殖^[1]。我国自 1992 年引进该虾, 已经在江苏、广东、浙江、福建等地区养殖成功并形成一定的产量。随着红螯螯虾养殖规模的扩大, 其营养饲料方面的研究也引起了国内外学者的关注, 目前主要集中在蛋白质^[2-5]、脂肪^[6-8]等方面。在国内外的众多文献中, 尚未见到有关红螯螯虾饲料磷需求量方面的报道。磷对甲壳动物的机体代谢和生长都起着非常重要的作用, 是 DNA、RNA 和一些酶的重要成分, 参与蛋白合成等许多生命活动过程, 另外磷是磷脂的重要组分, 参与脂类物质和脂溶性维生素的代谢, 促进营养物质的吸收^[9]。同时, 在甲壳动物的生长蜕壳过程中, 机体也会损失大量的磷, 如不及时补充就会影响它们的生长和成活。确定水产动物配合饲料中磷的合理添加量对于提高饲料质量和改善养殖水域环境都有重要意义。养殖动物排出的磷进入水体后可能促进藻类生

长, 进而导致水体富营养化。因此作者在实验室条件下, 开展了红螯螯虾幼虾对配合饲料中磷需求量的梯度试验, 以期红螯螯虾幼虾优质高效饲料的配制提供必要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验饲料以秘鲁鱼粉、豆粕、面粉、肝末粉、胆固醇、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 0.72%、0.85%、1.00%、1.16%、1.32%、1.47% 和 1.74% 的 7 种试验饲料, 其设计配方的原料组成和营养成分见表 1。各试验组不同磷水平见表 2。试验饲料制作时, 先将原料粉碎, 使原料粉末能全部通过 40 目试验筛, 再按比例充分混匀后加适量水搅拌, 通过绞肉机挤成直径 1.5 mm 的长条, 切成 1~2 cm 长的颗粒, 风干后置于 4℃ 冰箱内密封保存备用。

1.2 试验用虾及分组

试验用虾由浙江省淡水水产研究所下属的浙北新品种繁育有限公司提供的同一批幼虾, 平均体重为 (2.25 ± 0.12) g。幼虾运回放入室内养殖系统中暂养两周后, 选择体质健壮、活泼整齐

的个体随机分组进行养殖试验。试验共 7 组, 每组三重, 每重复 15 尾虾。经方差检验, 各试验组虾的初始体重无显著差异 ($P < 0.05$)。

1.3 试验养殖系统

试验养殖系统为室内循环流水式养殖系统, 该系统由相对独立的玻璃水族箱组成, 试验水族箱上层为养殖水体 (1.2 m × 0.6 m × 0.8 m), 下层为水处理设备, 分 3 格, 每格内有一生物过滤装置, 由生化石和海绵组成以达到过滤之目的。上下层之间装有水泵, 供循环水用。每一水族箱为一处理组, 每组养殖水体被分成 3 隔, 每隔设一平行组, 每一平行组设置体积为 0.7 L 的圆形网孔镂空容器 15 只, 每只容器放一尾红螯螯虾,

以防止出现红螯螯虾的相互残杀现象。

1.4 试验管理

试验用水为经过曝气的自来水, 日换水量为水体的 1/3, 连续充气。日投饲量按体重的 3% 早晚两次 (上午 8:00、下午 6:00) 投喂, 根据螯虾喜夜间摄食的习性, 上午按日投饲量的 30% 投喂, 下午按日投饲量的 70% 投喂。试验期间, 水温为 28~30 °C; pH 值为 7.4~7.5; 溶氧 > 5.0 mg/L; 氨氮为 0.26~0.28 mg/L; 亚硝酸盐为 0.030~0.070 mg/L; 硫化物 < 0.05 mg/L。试验为期 8 周, 每天记录投饲量和虾死亡情况, 并观察虾体是否出现磷缺乏症状。

表 1 饲料原料及营养成分

Tab. 1 Ingredients and nutritional composition of the basal diet

组成	含量 (%)	营养成分	含量 (%)
秘鲁鱼粉	10.00	粗蛋白	32.67
豆粕	52.00	粗脂肪	7.28
面粉	19.00	粗灰分	6.04
乌贼肝末粉	3.00	总钙	0.65
鱼油	2.50	总磷	0.72
豆油	2.50		
胆固醇	0.50		
复合维生素	0.98		
复合矿物质	1.00		
氯化胆碱	1.00		
α-淀粉	3.50		
维生素 C	0.02		
合计	96		

注: 以上营养成分数据为实测值。多维成分 (每 kg 预混物): 维生素 A (视黄醇) 2×10^6 IU; 维生素 D-3 (胆钙化固醇) 1×10^6 IU; 维生素 E (生育酚) 16 500 IU; 维生素 B-12 (氰钴素) 125 mg/kg; 维生素 B2 (核黄素) 6 000 mg/kg; 维生素 B3 (泛酸) 40 000 mg/kg; 维生素 B5 (烟酸) 16 000 mg/kg; 维生素 K (凝血维生素) 908 mg/kg; 叶酸 (抗贫血因子) 1 000 mg/kg; 维生素 B1 (硫胺素) 4 587 mg/kg; 维生素 B6 (吡哆素) 4 115 mg/kg; 维生素 C (抗坏血酸) 150 000 mg/kg; 多矿成分 (每 kg 预混物): 硒 (硒酸钠) 0.045 4 g/kg; 钴 (碳酸钴) 0.147 g/kg; 碘 0.76 g/kg; 铜 (氧化铜) 1.46 g/kg; 铁 (硫酸亚铁) 19.20 g/kg; 锰 (氧化锰) 22.0 g/kg; 锌 (氧化锌) 264.0 g/kg。

表 2 磷酸二氢钙、碳酸钙的添加量及饲料中的总磷含量

Tab. 2 The calcium phosphate, calcium carbonate and total phosphorus in the test diets

	试验组 1	试验组 2	试验组 3	试验组 4	试验组 5	试验组 6	试验组 7
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O (g)	0.00	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	4.00
CaCO ₃ (g)	1.59	1.35	1.11	0.87	0.64	0.40	0.00
总磷 (% 实测)	0.72	0.85	1.00	1.16	1.32	1.47	1.74
钙磷 (实测)	1.57	1.28	1.11	0.99	0.85	0.77	0.65

1.5 指标及其计算

饲养试验结束后, 对试验虾停饲 24 h 后称终末体重和计数, 测定增重率 (weight gain)、特定生长率 (specific growth rate)、饲料系数 (feed conversion rate) 和成活率 (survival rate)

计算公式如下:

$$G_w = (W_t - W_0) \times 100\%$$

$$R_{SG} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

$$R_{FC} = F_t / (W_t - W_0)$$

$$R_s = N_t / N_0 \times 100\%$$

式中: G_w 为增重率; W_t 表示试验结束时平均体重; W_0 表示试验开始时平均体重; R_{SG} 为特定生长

率; t 为试验天数; R_{FC} 为饲料系数; F_1 为总摄食量; R_S 为存活率; N_1 为试验结束时虾的尾数; N_0 为试验开始时虾的尾数。

1.6 取样与样品分析

1.6.1 取样

试验结束后随机取 5 尾,立即处死,剪碎,制备全虾样品作全虾常规营养成分分析。另随机取 5 尾红螯螯虾,在大螯的第二关节处剪断取血,作为测定血淋巴磷含量测定样品,取血后并解剖该虾,取肌肉和肝胰脏,剪碎称重,制备红螯螯虾肌肉和肝胰脏样品作常规营养成分分析。

1.6.2 粗酶液的制备

试验结束,红螯螯虾停饲 24 h后,随机取样置冰盘中解剖,取出胃肠和肝胰脏,去离子水洗净内容物、剔除肠系膜及多余的脂肪,滤纸洗干,取一定量的组织称重,加入 10 倍体积(W/V)的 0.02 mol/L pH 为 7.5 磷酸缓冲液,在玻璃匀浆器中匀浆,于冷冻离心机 0~1℃ 离心 15 min (4 000 r/min),上清液为粗酶液。

1.6.3 血浆的制备

注射器内壁用少量抗凝剂润湿,从红螯螯虾头胸甲血窦处取血,虾血与抗凝剂按体积比 1:1 放入 1.5 mL 小离心管中,置冷冻离心机于 0~1℃ 离心 15 min (4 000 r/min),上清液为血浆。

1.6.4 营养成分测定方法

105℃ 常压干燥法测定水分;微量凯氏定氮法测蛋白;用无水乙醚为溶剂,索氏抽提法测定粗脂肪;箱式电阻炉 550℃ 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。

1.6.5 碱性磷酸酶活性的测定方法

采用磷酸苯二钠法测定,试剂配制如下:

(1) 0.1 mol/L 碳酸盐缓冲液 (pH 10): 将 6.36 g 无水碳酸钠、3.36 g 碳酸氢钠、1.5 g 4-氨基安替比林于 800 mL 蒸馏水中溶解,校正 pH 至 10,转入 1 000 mL 容量瓶中,加蒸馏水至刻度,至棕色瓶中贮存。

(2) 20 mmol/L 磷酸苯二钠底物溶液: 先将 500 mL 水煮沸,杀灭微生物,迅速加入 2.18 g 不含结晶水的磷酸苯二钠,冷却后加 2 mL 三氯甲烷防腐,至冰箱保存。

(3) 铁氰化钾溶液: 分别称取 2.5 g 铁氰化钾、17 g 硼酸,各溶于 400 mL 蒸馏水中,然后将

两溶液混和,加蒸馏水至 1 000 mL 混匀,至棕色瓶中暗处保存。

(4) 酚标准贮备液: 溶解 1 g 酚 (A.R.) 于 0.1 mol/L 盐酸中,用 0.1 mol/L 盐酸稀释至 1 L。此溶液每毫升含 1 mg 酚。

(5) 酚标准应用液: 取 5 mL 酚标准贮备液溶液,加蒸馏水至 100 mL 混匀。此溶液每毫升含 0.05 mg 酚,只能保存 2~3 天。

测定方法见表 3。标准曲线是由不同浓度的酚标准液替代样品液,再按表 1 的测定程序测定,得出光吸收值与酶活力金氏单位的关系而建立,标准曲线为: $Y = 0.0277X + 0.0024$ ($R^2 = 0.9995$),其中 Y 为光吸收值, X 为酶活力金氏单位 (U/mL)。

表 3 碱性磷酸酶活力测定步骤
Tab. 3 The mensuration of activity of alkaline phosphatase

加入试剂	测定管	对照管
粗酶液 (mL)	0.1	0
碳酸盐缓冲液 (mL)	1.0	1.0
磷酸苯二钠溶液 (预温 37℃) (mL)	1.0	1.0
铁氰化钾溶液 (mL)	3.0	3.0
粗酶液 (mL)	0	0.1

配好后立即混匀,用 1.0 cm 比色杯皿,以 0 号管做参比调零,在 510 nm 波长处测量吸光度,以“测定管光密度-对照管光密度”查标准曲线,求得酶活力大小。以每分钟产生 1 μmol 酚的酶量定义为 1 个活力单位。

1.7 数据处理

试验数据采用平均数 ± 标准差 (M ± SD) 表示,采用 SPSS 11.5 for Windows 分析软件 (One-way ANOVA) 对所得试验数据进行单因素方差分析,若有显著差异再做 Duncan's 进行组间显著性差异的多重比较。显著水平 P 采用 0.05,若 $P < 0.05$ 为差异显著。采用 EXCEL 软件的折线模型来拟合特定生长率与饲料磷水平之间的相关关系。

2 结果

2.1 不同磷水平对红螯螯虾幼虾增重率、特定生长率、饲料系数和成活率的影响

饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾增重率、

特定生长率、饲料系数和成活率的影响见表 4。从表 4 可以看出从试验组 1 到试验组 5, 随着磷水平的升高, 增重率逐渐上升, 试验组 5 和试验组 6 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 但均显著高于试验组 1 和试验组 2 ($P < 0.05$); 特定生长率受饲料磷水平影响显著 ($P < 0.05$), 从试验组 1 到试

验组 5, 随着磷水平的升高, 特定生长率逐渐上升, 然后随着磷水平的升高组间差异不显著 ($P > 0.05$); 试验组 1 幼虾的成活率显著低于其它各试验组 ($P < 0.05$), 试验组 3 到试验组 7, 即饲料磷水平在 1.00% ~ 1.74% 时, 成活率均为 100%; 饲料系数随着饲料磷水平的升高呈降低的趋势。

表 4 饲料磷水平对增重率、特定生长率、饲料系数和存活率的影响
Tab. 4 Effect of dietary phosphorus level on weight gain, specific growth rate, feed conversion rate and survival rate of juvenile red claw crayfish

组别	平均初重 (g)	平均末重 (g)	增重率 (%)	特定生长率 (%)	成活率 (%)	饲料系数 (%)
试验组 1	2.26 ± 0.10	15.72 ± 1.19	594.85 ± 21.75 ^c	3.46 ± 0.06 ^c	86.67 ± 1.85 ^c	1.41
试验组 2	2.23 ± 0.05	15.69 ± 0.76	603.11 ± 18.42 ^c	3.48 ± 0.05 ^c	97.33 ± 1.21 ^b	1.41
试验组 3	2.24 ± 0.07	16.17 ± 1.09	621.32 ± 26.04 ^{bc}	3.53 ± 0.07 ^{bc}	100 ^a	1.40
试验组 4	2.26 ± 0.15	16.83 ± 1.54	643.74 ± 18.81 ^{ab}	3.58 ± 0.05 ^{ab}	100 ^a	1.37
试验组 5	2.24 ± 0.18	17.12 ± 1.82	663.24 ± 19.67 ^a	3.63 ± 0.05 ^a	100 ^a	1.37
试验组 6	2.27 ± 0.05	17.29 ± 0.77	661.31 ± 17.28 ^a	3.62 ± 0.04 ^{ab}	100 ^a	1.36
试验组 7	2.25 ± 0.12	16.73 ± 1.25	643.27 ± 15.85 ^{ab}	3.58 ± 0.04 ^{ab}	100 ^a	1.37

注: 同列肩注相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

采用折线模型分析饲料磷水平与特定生长率之间的关系, 得方程 $Y = 0.2906X + 3.2426$ ($R^2 = 0.9887$) 和 $Y = -0.1444X + 3.8242$ ($R^2 = 0.9491$) (图 1), 由图 1 可以发现: 当饲料总磷含量为 1.34% 时, 红螯螯虾幼虾获得最大特定生长率。

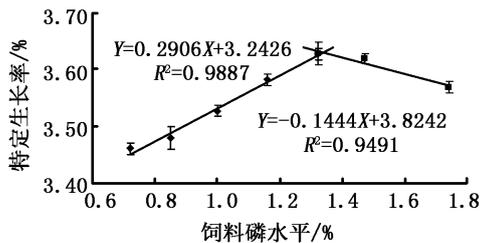


图 1 饲料磷水平 (X) 与特定生长率 (Y) 的关系
Fig. 1 The relationship between dietary phosphorus level (X) and specific growth rate (Y) of juvenile red claw crayfish

2.2 不同磷水平对红螯螯虾幼虾全虾常规营养成分的影响

饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾全虾粗脂肪、粗蛋白、水分、粗灰分、总磷含量的影响见表 5。从表 5 可以看出, 饲料磷水平对幼虾全虾水分和粗蛋白含量无显著影响 ($P > 0.05$), 水分含量约为 77%, 粗蛋白含量约为 11%; 粗脂肪含量随磷水平的升高呈逐渐降低的趋势, 试验组 1 粗脂肪含量显著高于其它各试验组 ($P < 0.05$),

但试验组 1 和试验组 2 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 粗脂肪含量在试验组 5 至试验组 7 之间差异不显著 ($P > 0.05$); 粗灰分含量随饲料磷水平的升高而逐渐升高, 试验组 7 粗灰分含量最大, 显著高于其它各试验组 ($P > 0.05$); 随着饲料磷水平的升高全虾总磷含量呈升高的趋势, 试验组 6 和试验组 7 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 总磷含量显著高于低磷试验组 ($P < 0.05$)。

2.3 不同磷水平对红螯螯虾幼虾肌肉常规营养成分的影响

饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾肌肉常规营养成分的影响见表 6。由表 6 可以看出, 饲料不同磷水平对幼虾肌肉水分、粗脂肪、粗灰分、总磷含量无显著影响 ($P > 0.05$), 水分含量约为 80%, 粗脂肪含量约为 0.40%, 粗灰分含量约为 1.37%, 总磷含量约为 0.27%; 饲料不同磷水平对红螯螯虾肌肉粗蛋白含量有显著影响 ($P < 0.05$), 粗蛋白含量随饲料磷水平的增加呈现一定的增长趋势, 在试验组 6 即磷水平在 1.47% 时, 粗蛋白含量最大, 但试验组 5、试验组 6、试验组 7 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 不同磷水平对红螯螯虾幼虾肝胰脏常规营养成分的影响

饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾肝胰脏常规营养成分的影响见表 7, 由表 7 可以看出, 不

同磷水平对幼虾肝胰脏水分、粗蛋白、粗灰分和总磷含量均无显著影响 ($P>0.05$), 肝胰脏水分含量约为 63%, 粗蛋白含量约为 8%, 粗灰分含量约为 1%, 总磷含量约为 0.15%; 低磷试验组粗脂

肪含量较高, 即试验组 1 粗脂肪含量明显高于其它各试验组 ($P<0.05$), 试验组 5、试验组 6、试验组 7 之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 5 饲料不同磷水平对红螯螯虾幼虾全虾常规营养成分的影响

Tab. 5 Effect of dietary phosphorus level on whole body composition of juvenile red claw crayfish %

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	总磷
试验组 1	76.55±0.18	10.96±0.23	1.83±0.09 ^c	6.07±0.11 ^c	0.26±0.03 ^c
试验组 2	77.28±1.20	11.03±0.39	1.78±0.03 ^{bc}	6.12±0.08 ^{de}	0.26±0.02 ^c
试验组 3	76.33±0.72	11.05±0.17	1.73±0.08 ^{ab}	6.21±0.04 ^{ede}	0.30±0.02 ^{de}
试验组 4	76.97±0.52	11.02±0.04	1.69±0.04 ^{ab}	6.23±0.06 ^{cd}	0.31±0.02 ^{cd}
试验组 5	76.89±0.13	11.02±0.85	1.65±0.04 ^a	6.31±0.12 ^{bc}	0.33±0.03 ^{bc}
试验组 6	77.13±0.73	11.09±0.22	1.64±0.03 ^a	6.39±0.05 ^b	0.35±0.02 ^{ab}
试验组 7	76.89±0.67	10.92±0.04	1.66±0.02 ^a	6.62±0.08 ^a	0.37±0.04 ^a

注: 同列肩注相同小写字母者表示差异不显著 ($P>0.05$), 营养成分以湿重计, 表 6-7 同此。

表 6 饲料不同磷水平对红螯螯虾幼虾肌肉常规营养成分的影响

Tab. 6 Effect of dietary phosphorus level on muscle compositions of juvenile red claw crayfish %

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	总磷
试验组 1	80.02±0.39	17.09±0.14 ^d	0.40±0.12	1.35±0.06	0.26±0.005
试验组 2	79.90±0.21	17.25±0.11 ^{cd}	0.40±0.15	1.37±0.04	0.27±0.043
试验组 3	80.12±0.51	17.32±0.08 ^{bc}	0.40±0.57	1.37±0.02	0.27±0.063
试验组 4	80.00±0.69	17.45±0.06 ^{ab}	0.38±0.10	1.38±0.03	0.27±0.029
试验组 5	79.91±0.32	17.52±0.12 ^a	0.39±0.03	1.37±0.05	0.27±0.005
试验组 6	79.87±0.58	17.60±0.10 ^a	0.40±0.15	1.37±0.08	0.27±0.009
试验组 7	79.92±0.21	17.58±0.05 ^a	0.41±0.01	1.36±0.08	0.27±0.002

表 7 饲料不同磷水平对红螯螯虾幼虾肝胰脏常规营养成分的影响

Tab. 7 Effect of dietary phosphorus level on hepatopancreas compositions of juvenile red claw crayfish %

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	总磷
试验组 1	62.51±1.38	7.91±0.21	22.29±0.86 ^e	0.96±0.01	0.14±0.009
试验组 2	62.67±1.41	7.97±0.04	20.36±0.83 ^d	0.98±0.03	0.15±0.005
试验组 3	63.28±2.05	7.92±0.14	18.11±0.55 ^c	1.06±0.07	0.15±0.005
试验组 4	63.15±0.50	8.00±0.23	17.59±0.09 ^{bc}	1.05±0.02	0.15±0.003
试验组 5	62.97±1.73	8.01±0.16	17.06±0.51 ^{ab}	1.05±0.06	0.15±0.004
试验组 6	63.37±0.86	8.05±0.12	16.22±0.18 ^a	1.05±0.04	0.15±0.004
试验组 7	63.38±0.21	7.95±0.04	16.16±0.24 ^a	1.06±0.08	0.15±0.008

2.5 不同磷水平对红螯螯虾幼虾碱性磷酸酶活性的影响

饲料磷水平对红螯螯虾幼虾组织碱性磷酸酶活性的影响见表 8。由表 8 可以看出, 饲料磷水平对红螯螯虾幼虾胃肠碱性磷酸酶没有显著影响 ($P>0.05$); 但对幼虾肝胰脏碱性磷酸酶活性具有显著影响 ($P<0.05$), 碱性磷酸酶活性随着饲料磷水平的提高而降低, 试验组 7 酶活性显著低于其它各组 ($P<0.05$), 试验组 1、试验组 2、

表 8 饲料磷水平对红螯螯虾碱性磷酸酶活性的影响

Tab. 8 Effect of dietary phosphorus on activity of a alkaline phosphatase of juvenile red claw crayfish U

组别	胃肠	肝胰脏	血浆
试验组 1	2.98±0.85	15.13±0.15 ^a	1.85±0.03 ^d
试验组 2	3.15±0.85	14.82±0.08 ^{ab}	1.85±0.05 ^d
试验组 3	2.88±2.02	14.79±0.07 ^{ab}	1.95±0.02 ^{cb}
试验组 4	2.91±0.78	14.56±0.03 ^b	2.02±0.07 ^c
试验组 5	2.95±2.0	13.13±0.11 ^c	2.05±0.09 ^{bc}
试验组 6	2.96±3.55	12.91±0.14 ^c	2.13±0.04 ^b
试验组 7	3.10±1.36	10.87±0.44 ^d	2.29±0.08 ^a

注: 同列肩注相同小写字母者表示差异不显著 ($P>0.05$)。

试验组 3 之间差异不显著 ($P > 0.05$); 饲料磷水平对红螯螯虾幼虾血浆碱性磷酸酶活性具有一定的影响 ($P < 0.05$), 试验组 7 酶活性显著高于其它各组 ($P < 0.05$), 试验组 1 和试验组 2 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 酶活性低于其它各组 ($P < 0.05$)。

综上所述, 以生长性能、营养成分等指标分析得出, 在本试验条件下, 水温在 $28 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 时, 以磷酸二氢钙为磷源, 平均初重 2 g 左右的红螯螯虾幼虾对饲料磷的需求量在 $1.32\% \sim 1.47\%$ 之间。

3 讨论

3.1 不同磷水平对红螯螯虾幼虾增重率、特定生长率、饲料系数和成活率的影响

本试验发现, 饲料中不同磷水平对红螯螯虾幼虾增重率、特定生长率、饲料系数和成活率均有显著影响 ($P < 0.05$), 以磷含量 1.34% 时特定生长率最大。这一结论与张道波等开展的中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 仔虾对磷需要量的研究结果相接近, 其试验发现不同饲料对幼体体长增长率具有显著差异, 以含磷 1.37% 组为最高^[10]。同样, 在中华绒螯蟹中也存在相似的变化趋势, 钱国英等^[11]发现磷水平对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 饲料系数、蛋白质效率、平均生长比率均有显著的影响。在一些鱼类的研究中也得出相似的结论, Roy 等^[12]研究发现, 饲料磷水平 ($0.42\% \sim 1.22\%$) 对黑线鲳鱼 (*Melanogrammus aeglefinus*) 的生长影响显著, 其增重率随饲料磷水平的增加而增加, 当饲料磷水平为 1.02% 时, 增重达到最大, 其后随磷水平的增加而呈下降趋势。杨雨红等^[13]研究发现, 添加以磷酸二氢钙为磷源的有效磷对鲤鱼的增重有显著的影响 ($P < 0.05$), 同时表明磷作为一种必需的营养物质对提高鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 增重率、降低饲料系数起重要作用。Zhang 等^[14]研究发现网箱养殖的日本鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 幼体的特殊生长率随磷水平从 0.31% 增加到 0.70% 而明显增加 ($P < 0.05$)。这些试验结果已充分表明水产动物饲料中添加磷是非常必要的, 添加量的多少因不同种类, 不同生长阶段而有所差异。

3.2 不同磷水平对红螯螯虾幼虾全虾、肌肉和肝胰脏营养成分的影响

本试验发现饲料磷对全虾和肝胰脏粗脂肪含量影响显著, 即随着饲料中磷水平的升高, 粗脂肪含量显著降低, 分析原因可能是因为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^[12], 游文章等^[15]在草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 对饲料中磷需要量的研究中发现, 脂肪消化率随着磷水平增加而增加, 其认为磷可能促进了脂肪氧化, 从而加速了脂肪代谢所致。

本试验还发现, 饲料磷水平的增加会提高肌肉蛋白含量, 这一结果与黑线鲳鱼^[12]、日本鲈鱼^[14]、斑点叉尾^[16] (*Ictalurus punctatus*) 等的试验结果相似, 胡王龙^[17]在黑鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) 幼鱼磷需求试验中也发现蛋白含量受饲料磷水平影响显著, 随磷水平的增加而显著升高, 并认为出现这种情况可能是因为摄食高磷水平饲料的鱼体内, 脂肪酸的 β 氧化增强, 糖原生成增加, 从而导致蛋白沉积的增加和脂肪沉积的降低。

3.3 不同磷水平对红螯螯虾幼虾碱性磷酸酶活性的影响

本试验中, 随着饲料磷水平的升高, 肝胰脏碱性磷酸酶活性降低, 当总磷水平为 1.74% 时, 酶活性最低。Cheng 等^[18]在凡纳滨对虾 (*Penaeus vannamei*) 研究中也发现肝胰脏碱性磷酸酶随着磷含量 ($0.5\% \sim 2\%$) 的增加而显著降低。鲍雷^[19]在不同磷形式和不同磷浓度对日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 碱性磷酸酶的研究中发现添加磷会抑制肝胰脏碱性磷酸酶活性, 且 P_1 的抑制作用更大, 而且随着浓度的升高抑制作用越明显; Tan 等^[20]也试验得出皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hanna ilno*) 软体组织内碱性磷酸酶活力随着饲料中磷添加水平的升高而显著降低。这些结论都与本试验结果相一致。但是也有不同的结论, 胡王龙在饲料磷对黑鲷的影响试验中发现, 随着饲料磷水平的增加, 肝胰脏碱性磷酸酶活性与饲料磷水平之间的相关性不大^[17]。本研究结果还发现饲料磷对红螯螯虾幼虾血浆碱性磷酸酶活性影响显著, 随饲料磷水平的升高, 酶活性增大, 在日本鲈鱼^[14]、虹鳟^[21] (*Salmo gairdneri*)

试验中都发现相似的结果。但是 Sakamoto等^[22]在红鲤试验中发现低磷时碱性磷酸酶活性较高, Eya等研究发现, 斑点叉尾 血清碱性磷酸酶活力与饲料磷水平之间没有显著相关性, 但对对照组(有效磷水平 0.2%)血清碱性磷酸酶活力低于其他组^[16]。胡王龙发现血浆碱性磷酸酶活力随着饲料磷水平的升高呈先降低后升高的趋势^[17]。而 Shearer等^[23]研究发现, 虹鳟血浆中碱性磷酸酶活力受饲料磷变化影响不大。这些结论上的差异可能是由于碱性磷酸酶活性受许多因素的影响, 包括水化学、温度, 饲料种类和试验个体的生长阶段等不同有关。

参考文献:

- [1] 慕峰, 成永旭, 吴旭干. 世界淡水螯虾的分布与产业发展 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(1): 64-72.
- [2] 吴志新, 陈孝焯, 罗宇良, 等. 不同饵料蛋白质含量对红螯螯虾生长的影响 [J]. 水利渔业, 1998, (4): 22-23.
- [3] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Cohenares H, Civera-Cerecedo R, et al. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. *Aquaculture Nutrition* 2003, 9(4): 207-213.
- [4] García-Ulloa G M, López-Chavarrín H M, Rodríguez-González H, et al. Growth of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) (Decapoda: Parastacidae) juveniles fed isoproteic diets with partial or total substitution of fish meal by soya bean meal: preliminary study [J]. *Aquaculture Nutrition* 2003, 9(1): 25-31.
- [5] Laura A. Muzinica, Kenneth R. Thompson, Aaron Morris, et al. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and brewer's grains with yeast in practical diets for Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Aquaculture* 2004, 230: 359-376.
- [6] Hernandez M P, Rouse D B, Miguéla, et al. Effects of dietary lipid level and source on growth and proximate composition of juvenile redclaw (*Cherax quadricarinatus*) reared under semi-intensive culture conditions [J]. *Aquaculture* 2003, 223: 107-115.
- [7] Thompson K R, Muzinica L A, Christian T D, et al. Effect on growth, survival and fatty acid composition of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* fed practical diets with and without supplemental lecithin and/or cholesterol [J]. *World Aquaculture Society* 2003, 34(1): 1-10.
- [8] Thompson K R, Muzinica L A, Christian T D, et al. Lecithin requirements of juvenile Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Aquaculture Nutrition* 2003, 9(4): 223-230.
- [9] Davis D A, Robinson E H. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans [J]. *Reviews in Fisheries Science* 1996, 4(1): 75-99.
- [10] 张道波, 马琳, 马甦. 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.
- [11] 钱国英, 朱江华. 饲料中的钙磷水平对中华绒螯蟹生长与饲料效率的影响 [J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 110-112.
- [12] Roy P K, Lall S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. *Aquaculture* 2003, 221: 451-468.
- [13] 杨雨虹, 国庆, 黄金善, 等. 鲤鱼饲料磷的需要量研究 [J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(1): 48-51.
- [14] Zhang C X, Mai K S, Ai Q H, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture* 2006, (255): 201-209.
- [15] 游文章, 黄志志, 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.
- [16] 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: 283-291.
- [17] 胡王龙. 饲料磷对黑鲷幼鱼生长和组织生化指标的影响 [D]. 浙江杭州: 浙江大学, 2005.
- [18] Cheng K M, Hu C Q, Liu Y N. 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.
- [19] 鲍蕾. PH, 盐度和饵料磷对日本沼虾生长的影响 [D]. 河北石家庄: 河北大学, 2005.
- [20] Tan B P, Mai K S, Liu Z C. Response of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* to dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio [J]. *Aquaculture* 2001, (198): 41-58.
- [21] Skonberg D I, Yogev L, Hartly R W, et al. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture* 1997, 157: 11-24.
- [22] Sakamoto S, Yone Y. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 1978, 44: 227-229.
- [23] Shearer K D, Hartly R W. Phosphorus deficiency in rainbow trout fed a diet containing deboned fillet scrap [J]. *Progressive Fish-Culturist* 1987, 49: 192-197.