

饲料中钙磷水平对克氏原螯虾生长、营养物质表观消化率和水环境的影响

杨文平, 於叶兵, 杨兴华, 陈颖, 杨超

(盐城工学院 化学与生物工程学院, 江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 江苏 盐城 224051)

摘要:采用 3×2 两因子设计研究饲料中钙(3个水平分别为1.5%、2.0%、2.5%)磷(2个水平分别为1.0%、1.5%)水平对克氏原螯虾生长、营养物质表观消化率和水体环境的影响。结果表明, 钙磷水平对克氏原螯虾的增重率和干物质的表观消化率无显著影响; 钙和磷的表观消化率分别随饲料中钙和磷水平的升高而升高, 磷的表观消化率随钙水平的升高而降低; 随钙磷水平的提高, 粪便和水体中的钙磷含量增加, 加大了水体污染, 因此钙添加水平1.5%, 磷添加水平为1.0%时达到了最佳效果。

关键词:克氏原螯虾; 生长; 表观消化率; 水体环境

中图分类号: S966.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2012)01-0006-05

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 俗称小龙虾, 营养丰富, 肉味鲜美, 深受国内消费者的喜欢, 也是出口欧美的主要淡水水产品。由于小龙虾深受国内外市场的欢迎, 市场供不应求, 因此养殖前景广阔。目前, 关于小龙虾营养需求方面的研究资料非常有限。仅对蛋白、脂肪、能量参数的研究有少量报道^[1,2], 对钙磷水平和比例的需求研究还未见报道。养殖中多采用不投饵或半投饵的方式为主, 由于营养不全, 因而养殖产量不高, 经济效益偏低。随着小龙虾集约化、规模化养殖的不断兴起, 小龙虾人工养殖要实现高产高效, 采取全价颗粒饲料喂养, 走精养之路是必然选择。因此小龙虾营养需求研究问题亟待解决。本试验研究了不同钙磷水平饲料对克氏原螯虾生长、营养物质表观消化率和水体环境的影响, 旨在为克氏原螯虾的钙磷需求和其配合饲料的研制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验动物

500只克氏原螯虾购于盐城市龙佳龙虾生态

养殖园, 暂养于盐城工学院生物实验中心水产养殖实验室。

1.1.2 药品与试剂

氯化钙、磷酸二氢钙等常规试剂均为分析纯。

1.1.3 仪器

紫外可见分光光度计(北京瑞利分析仪器公司); 电热鼓风干燥箱(上海试验仪器厂); 低速大容量离心机(上海精科仪器公司); 高压锅(上海医用核子仪器厂)。

1.2 饲料的配制

配制6组饲料。为保证每组饲料中的钙磷含量达到一定要求, 在配制前先对配方进行计算并预留一定的空间10.8%, 以补足氯化钙和磷酸二氢钾, 满足钙、磷要求, 剩余空间以微晶纤维素进行补充。6组饲料配方及营养成分如表1所示, 依据国内外对克氏原螯虾生产中的钙、磷使用现状, 并参照中国对虾(*Penaeus chinensis*)、南美白对虾(*Phascolosoma esculenta*)、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)相关的研究报道, 将配方中钙含量设3个水平, 分别为1.5%、2.0%、2.5%; 磷含量设两个水平, 分别为1.0%、1.5%。钙磷

收稿日期: 2011-02-04

项目基金: 江苏省苏北科技发展专项资金(BN2008225); 2011年盐城工学院大学生实践创新训练计划项目(201141)

作者简介: 杨文平(1981-), 女, 河南漯河人, 讲师, 博士生, 主要研究方向为水产动物营养生理调控和产品品质控制。

水平进行交叉组合后即为6种配合饲料。表中饲料营养组成成分含量是根据中国饲料成分及营养价值表(2006年)计算而得。按表中原料百分组成分别称取各原料。首先将称好各原料经过二次粉碎,可全部通过60目筛;用搅拌机将各原料均匀混合后,按常规饲料加工工艺生产成颗粒配合饲料,饲料粒径3 mm,颗粒长度5 mm左右,冷却干燥后,放入-20℃冰箱中冷藏备用。

表1 克氏原螯虾饲料配方及营养成分表

Table 1 Feed formulation and proximate analysis %

项目	I组	II组	III组	IV组	V组	VI组
鱼粉	13	13	13	13	13	13
豆粕	8	8	8	8	8	8
棉粕	6	6	6	6	6	6
菜粕	8	8	8	8	8	8
花生粕	5	5	5	5	5	5
麸皮	2	2	2	2	2	2
次粉	16	16	16	16	16	16
面粉	15	15	15	15	15	15
乌贼膏	5	5	5	5	5	5
虾糠	3	3	3	3	3	3
鱼油	1	1	1	1	1	1
豆油	1	1	1	1	1	1
猪油	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
磷脂	1	1	1	1	1	1
胆碱	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
诱食剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
蜕壳素	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
虾用预混料	3	3	3	3	3	3
食盐	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
三氧化二铬	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
氯化钙	2.8	2.8	4.2	4.2	5.7	5.7
磷酸二氢钾	2.6	4.8	2.6	4.8	2.6	4.8
微晶纤维素	5.4	3.2	4	1.8	2.5	0.3
饲料营养组成成分分析(占风干物质的%)						
粗蛋白/%	26.04	26.04	26.04	26.04	26.04	26.04
粗脂肪/%	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89
钙/%	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5
有效磷/%	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5

1.3 克氏原螯虾的饲养

待暂养虾适应室内养殖模式后,开始正式饲养试验。挑选健康无伤残,均重 6.5 ± 0.4 g的克氏原螯虾252只随即分成6个组:试验I、II、III、IV、V、VI组,每组3个重复,每个重复14只。分别饲喂表1中的6种饲料。采用封闭静水养殖方法,正常曝气。饲养期间每天投饲2次,时间分别

为7:00和17:00,投饲率为3%,具体投饲量根据天气、水质及虾采食情况进行调整。投饲做到定时、定点、定质和定量,每次投饲时间约20~30 min,使虾吃饱,尽量不剩余饵料。养殖中每3 d换水1次,换水量为1/2。试验期间水温为 24 ± 1 ℃,饲养周期60 d。

1.4 样品采集

粪样的收集:正式饲养试验1周后,开始收集粪便。于饲喂后2 h收集,每天收集2次,用解剖针挑起条状粪便,选取刚排出的、外表带有包膜的粪便放在干净的培养皿中,在65℃烘箱中烘干放入密封袋中,置-20℃冰箱中保存备用。

水样的收集:正式饲养期间,每3 d换水1次,于换水前,以每个重复为单位,每桶采集养殖水样500 mL。经过滤后,在4℃冰箱中保存备用,并在24 h内测定水中总钙和总磷。在养殖期间,随机多次采集水样进行测定。

1.5 测定方法

粪便和水中总钙的测定方法采用EDTA络合滴定法,总磷的测定采用钼酸铵分光光度法(GB11893-89)。

表观消化率:饲料和粪便样品在65℃烘干至恒重后,先计算干物质含量,然后进行生化分析。样品中 Cr_2O_3 的含量采用湿法消化比色求得,样品中钙和磷含量的测定分别采用EDTA络合滴定法和钼黄比色法。

表观消化率计算公式为:

干物质表观消化率(%) = $(1 - \text{饲料中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{粪便中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}) \times 100$

饲料中营养物质表观消化率(%) = $[1 - (\text{粪便中营养物质含量} \times \text{饲料中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}) / (\text{饲料中营养物质含量} \times \text{粪便中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量})] \times 100$

1.6 数据处理

原始数据经Excel 2003初步整理后,采用Spss base11.5进行两因素方差分析,多重比较采用LSD法,显著性水平为 $P < 0.05$,所有数据均用平均值±标准误差表示。

2 结果与分析

2.1 饲料中钙磷水平对克氏原螯虾生长及营养物质表观消化率的影响

配合饲料中的钙磷添加水平对克氏原螯虾的增重率和干物质的表观消化率无显著影响,也不存在交互效应。配合饲料中钙的添加水平显著影

响钙的表观消化率($P < 0.05$),随钙水平的提高消化率呈逐渐增加趋势,添加水平为 2.5% 时钙表观消化率最高。配方中磷的水平对钙的表观消化率影响不显著。饲料中钙、磷水平的不同显著影响磷的表观消化率($P < 0.05$),当磷水平保持

不变,随钙水平的提高,磷的表观消化率有降低趋势,钙 2.0% 和 2.5% 组均显著低于 1.5% 组。在同一钙水平下,磷含量为 1.5% 组的磷表观消化率,均显著高于 1% 组。饲料中钙磷添加水平对钙、磷的表观消化率均不存在互作效应,见表 2。

表 2 饲料中钙磷水平对克氏原螯虾增重率和营养物质表观消化率的影响
Table 2 Effect of calcium and phosphorous content in diets on growth rate of *Procambarus clarkii* and apparent digestibility of nutrient

项目	增重率	干物质表观消化率	钙表观消化率	磷表观消化率
组 I	178.68 ± 6.38 ^a	80.69 ± 0.97 ^{ab}	70.74 ± 2.03 ^c	57.51 ± 2.80 ^b
组 II	183.19 ± 3.76 ^a	80.59 ± 1.09 ^{ab}	72.42 ± 1.52 ^{bc}	65.56 ± 1.43 ^a
组 III	178.74 ± 5.15 ^a	79.44 ± 0.69 ^{ab}	72.06 ± 1.32 ^c	43.46 ± 2.43 ^c
组 IV	164.94 ± 3.31 ^a	77.71 ± 1.39 ^b	74.31 ± 1.04 ^{abc}	56.23 ± 1.66 ^b
组 V	166.50 ± 5.64 ^a	78.87 ± 0.93 ^{ab}	78.08 ± 1.34 ^a	44.65 ± 2.94 ^c
组 VI	183.29 ± 13.35 ^a	81.41 ± 1.14 ^a	76.71 ± 1.18 ^{ab}	55.33 ± 1.86 ^b
Ca	NS	NS	*	*
显著性 P	NS	NS	NS	*
Ca × P	NS	NS	NS	NS

备注:同列肩号有相同字母者表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同者表示差异显著($P < 0.05$);Ca × P 表示钙和磷的互作效应,*表示 $P < 0.05$,NS 表示差异不显著。

2.2 饲料中钙磷水平对克氏原螯虾粪便和水体中钙磷含量的影响

饲料中钙磷的添加均显著影响粪中总磷的含量($P < 0.05$),对粪中总磷含量不存在互作效应($P > 0.05$);同一钙水平下,粪中总磷含量随配方中磷水平的提高而增加,1.5% 磷含量组均显著高于 1.0% 组($P < 0.05$)。同一磷水平下,随钙添加水平的提高粪中总磷含量也逐渐增高;2.5% 和 2.0% 钙含量组均显著高于 1.5% 钙含量组($P < 0.05$)。饲料中钙和磷水平对粪中钙含量有显著影响($P < 0.05$),且存在互作效应($P < 0.05$);粪

中钙含量随饲料中钙含量的提高而增加,随磷水平的提高也成增加趋势,组 I 粪中钙含量显著低于其它各组。水中总磷含量随饲料中磷含量的增加而增加,但 I 和 II 组、V 和 VI 组间差异不显著($P > 0.05$),IV 组显著高于 III 组($P < 0.05$),饲料中钙水平对水中磷含量无显著影响;饲料中钙磷对水中总磷含量也不存在交互效应。饲料中钙水平显著影响水中钙含量,随钙水平增加有增加趋势,钙水平为 2.5% 时水体中钙含量最高,饲料中钙磷含量对水体中钙含量不存在互作效应($P > 0.05$),见表 3。

表 3 饲料中钙磷水平对克氏原螯虾粪便和水体中钙磷含量的影响
Table 3 Effect of calcium and phosphorous level in diets on its content in the feces of *Procambarus clarkii* and water environment

项目	粪中总磷含量/%	粪中钙含量/%	水中总磷含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	水中钙含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
组 I	2.23 ± 0.06 ^c	4.49 ± 0.14 ^c	3.75 ± 0.47 ^{ab}	35.98 ± 2.17 ^b
组 II	3.05 ± 0.05 ^b	5.31 ± 0.01 ^b	4.47 ± 0.19 ^a	35.40 ± 2.21 ^b
组 III	3.08 ± 0.16 ^b	5.86 ± 0.20 ^b	3.25 ± 0.49 ^b	39.29 ± 2.51 ^{ab}
组 IV	3.73 ± 0.19 ^a	5.27 ± 0.12 ^b	4.65 ± 0.23 ^a	37.54 ± 1.66 ^b
组 V	3.29 ± 0.07 ^b	5.67 ± 0.36 ^b	4.18 ± 0.09 ^{ab}	38.85 ± 1.03 ^{ab}
组 VI	4.04 ± 0.20 ^a	6.77 ± 0.23 ^a	4.43 ± 0.20 ^a	43.86 ± 1.27 ^a
Ca	*	*	NS	*
显著性 P	*	*	*	NS
Ca × P	NS	*	NS	NS

备注:同表 2;Note:the same as table 2.

3 讨论

钙磷是甲壳类动物的重要营养元素,对虾蟹类的生长、蜕壳、和健康具有重要的意义^[3,4]。克氏原螯虾的生长主要是通过蜕皮来实现的^[5]。虾壳的主要成分为钙磷等矿物质。在蜕皮过程中会损耗大量的矿物元素,许多矿物元素必须通过饲料的补充才能满足其需要。因此,饲料中钙磷含量的不同会影响到虾壳对钙磷的吸收,从而影响其蜕壳、生长及其它物质代谢等。

关于虾类对钙磷的需求研究报道较多,但结论却不尽相同。在对对虾的研究中,Deshimaru 等指出,日本对虾(*Penaeus japonicus*)能从海水中吸收钙,饲料中不需要添加钙,磷的添加量应为2%^[6]。Kanazawa 等却认为,日本对虾钙磷的最佳需要量为1%~2%,最佳钙磷比为1:1^[7]。李爱杰等最先研究出中国对虾的钙、磷需求,指出中国对虾幼虾的适宜钙磷比为1:1.7,总量为2%时,增重和饲料转化率最高^[8];周洪琪等报道,中国对虾饲料钙磷适宜添加量为2.2%和0.91%^[9]。在南美白对虾的钙磷需求研究中,Davis 认为,钙添加量2%时,磷的量应为1%~2%^[10]。黄凯却报道,钙添加量为0.8%,磷添加量1.2%,钙磷比为1:1.5时,生长和生产性能指标最佳^[11]。以上研究结果中,同一品种的结论差异较大,可能是由于选用的研究对象处于不同的生长阶段,或是由于养殖环境和其他方面的差异造成的。而关于克氏原螯虾的钙磷需求还未见报道。

本次试验中,饲料中钙磷水平对克氏原螯虾的增重率无显著影响。营养物质表观消化率的研究显示,钙磷水平对干物质的表观消化率无显著影响且不存在互作效应。钙和磷的表观消化率分别随饲料中钙和磷水平的提高而提高,贺佳在不同磷水平对三黄鸡钙磷代谢的研究中得到了相似的结论^[12],在对其它营养素的研究中,麦康森指

出,对虾对氨基酸的消化率随氨基酸含量的增加而上升^[13],以上文章中均采用表观消化率得出了相似的结论,这可能是由于表观消化率没有扣除粪便中的内源性成分,被测营养物质含量低时,粪中的内源性成分比例就越大,影响就越明显,使得营养物质表观消化率值偏低,而真消化率可能没有发生改变。磷的表观消化率随钙水平的提高而降低,钙2.0%和2.5%组均显著低于1.5%组。可能是因为磷的吸收很大程度上受饲料中钙水平的影响,高钙会抑制消化道对磷的吸收,这与刘源在犬采食高钙日粮对钙磷肠吸收的研究结论较为一致^[14]。孙成渤在对鲤鱼的研究中也指出,鲤鱼消化道对磷的吸收与饵料中钙的含量成反比,认为是钙和磷酸根离子形成低溶化合物,从而抑制磷吸收的缘故^[15]。

水产动物养殖中未被消化吸收的营养物质排放到水体中,会造成水质污染,尤其是排放到水体中的磷,极易引发水体富营养化,造成生态污染。本研究结果表明,粪中钙、磷含量均分别随饲料中钙和磷水平的提高而增加,钙添加水平2.0%和2.5%组,粪中总磷含量显著高于1.5%组,这与前面高钙水平降低磷的吸收较为一致。粪中磷的含量随饲料中磷水平提高而提高,1.5%磷添加水平组,粪中磷排泄量显著高于1.0%组。钙添加水平为2.0%和2.5%时,粪中钙含量也较1.5%组有所提高。1.5%和1.0%磷水平组相比,显著提高了粪中钙的含量。饲料中磷水平对水中总磷含量影响显著,1.5%组均高于1.0%组。水中钙含量也受饲料中钙水平的影响,钙1.5%组水中钙含量最低。

综上所述,本研究中,钙磷添加水平对克氏原螯虾的增重率和干物质表观消化率无显著影响,而随钙磷水平的提高,粪便和水体中的钙磷含量增加,加大了水体污染,因此钙添加水平1.5%,磷添加水平为1.0%时达到了最佳效果。

参考文献:

- [1] Hubbard D M, Robinson E H, Brown P B, et al. Optimum ratio of dietary protein to energy for red crayfish (*procambarus clarkii*) [J]. The Progressive Fish - Culturist, 1986,48(4):233-237.
- [2] Jover M, Fernández - Carmona J, Del Río 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.
- [3] 艾春香. 虾蟹类钙磷营养研究进展[J]. 饲料博览,1999,11(9):33-34.

- [4] 钱国英,朱秋华. 饲料中的钙磷含量与河蟹生长的关系[J]. 浙江海洋学院学报,1999,18(3):209-214.
- [5] 殷海成,张训蒲. 克氏原螯虾仔虾蜕皮与生长研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(15):4 539-4 559.
- [6] Deshimaru O, Yone Y. Requirement of prawn for dietary minerals[J]. Nippon Suisan Gakkaishi,1978,44:907-910.
- [7] Kanazawa A, Teshima S, Sasaki M. Requirements of the juvenile prawn for calcium, phosphorus, magnesium, potassium, manganese and iron[J]. Memoirs of Faculty Fisheries Kagoshima Univ, 1984,33:63-71.
- [8] 李爱杰,黄宝潮,楼伟风,等. 饵料中钙磷含量及比值对东方对虾生长的影响[J]. 山东海洋学院学报,1986,16(4):10-17.
- [9] 周洪琪,王义强,王顺昌. 中国对虾对于饲料钙、磷、镁、钾、铁的营养需求量[J]. 上海水产大学学报,1993(2):113-117.
- [10] Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M. Response of *Penaus vannamei* to dietary calcium, phosphorus and calcium: phosphorus ratio[J]. J World Aquacult Soc,1993,24(4):504-515.
- [11] 黄凯,王武,孔丽芳,等. 低盐度水体南美白对虾对饲料中钙、磷的需求[J]. 中国海洋大学学报,2004,34(2):209-216.
- [12] 贺佳,方热军. 饲料不同磷水平对三黄鸡钙磷代谢和养分消化率的影响[J]. 广东饲料,2010,19(4):18-19.
- [13] 麦康森. 对虾(*Penaeus orientalis*)对饵料蛋白质及氨基酸的消化率[J]. 山东海洋学院学报,1986,16(4):45-53.
- [14] 刘源,安星兰,王志红. 犬采食高钙日粮对钙磷肠吸收影响的研究[J]. 实验动物科学与管理,2003,20(4):19-22.
- [15] 孙成渤,黄佳慰. 饵料中磷和钙的含量对鲤鱼消化道吸收磷的影响[J]. 天津水产,1992,1:54-58.

Effect of calcium and phosphorous content in diets on growth of *Procambarus clarkii*, apparent digestibility of nutrient and water environment

YANG Wen-ping, YU Ye-bing, YANG Xing-hua, CHEN Ying, YANG Chao
(Yancheng Institute of Technology, Key laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal
Pool in Jiangsu Province, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: The experiment involved 6 dietary treatment, 3×2 ($\text{Ca} \times \text{P}$) factorial arrangement, consisting of 3 levels of calcium (namely 1.5%, 2.0%, 2.5%) and 2 levels of phosphorous (namely 1.0%, 1.5%) aimed to explore the effect of different calcium and phosphorous levels on growth of *Procambarus clarkii*, apparent digestibility of nutrient and water environment. Results showed, the level of calcium and phosphorous in diets had no significant effect on the weight gain of *Procambarus clarkii* and the apparent digestibility of dry matter. The apparent digestibility of calcium and phosphorous respectively increased along with the rising of calcium and phosphorous content in diets. Along with the raising of calcium content, the apparent digestibility of phosphorous gradually decreased. The contents of calcium and phosphorous in feces and water environment also elevated along with the rising of the levels of calcium and phosphorous in diets. In a word, it got the best feeding effect in diet with the calcium content of 1.5% and the phosphorous content of 1.0%.

Keywords: *Procambarus clarkii*; apparent digestibility; water environment

(责任编辑:沈建新)