

文章编号: 1674 - 5566(2012)06 - 1011 - 06

3种饲料对克氏原螯虾生长、免疫酶、氨基酸含量及消化酶活性的影响

王天神¹, 周鑫², 赵朝阳²

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘要: 研究了相同的生长环境条件下, 用3种不同的饲料喂养克氏原螯虾两个月后虾体内免疫指标、消化酶、氨基酸和虾体生长速度的变化情况。结果表明, 生物饲料对克氏原螯虾血液中的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性有显著影响($P < 0.05$), 而酸性磷酸酶、溶菌酶差异不显著($P > 0.05$)。3种饲料对克氏原螯虾肌肉中氨基酸的组成及含量影响不大, 必需氨基酸的组成、含量及与总氨基酸的比值也不因投喂了不同的饲料而发生明显的变化。此外, 投喂生物饲料后克氏原螯虾的养殖效果与品牌饲料无明显差异, 同时其体内的胰蛋白酶和淀粉酶活性高于投喂普通饲料, 且胰蛋白酶活性差异显著($P < 0.05$), 因此投喂生物饲料有增强克氏原螯虾的免疫力、提高其存活力和加快其生长速度的作用。

研究亮点: 生物饲料在实际应用中已表现出增强免疫力和促生长作用, 但基础研究却相对滞后。该文将免疫酶、消化酶和氨基酸含量作为检测指标, 同时比较了不同饲料条件下克氏原螯虾的生长参数, 探讨了生物饲料的抗病和促生长机理, 具有一定的学术价值和生产指导意义。

关键词: 克氏原螯虾; 生物饲料; 免疫酶; 消化酶; 氨基酸

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 俗称淡水小龙虾, 属甲壳纲 (Crustacea), 十足目 (Decapoda), 螯虾科 (Cambaridae), 原螯虾属 (*Procambarus*), 是一种原产于北美洲的淡水虾类。自1929年在我国南京与安徽滁州交界处首次被发现以来, 目前已扩散至除西藏等偏远地区以外的各省市。随着国内外消费需求量的增加, 其野生种群的数量正在不断减少, 因此人工养殖已成为新兴的热点, 且养殖规模正在逐年扩大^[1-2]。为满足克氏原螯虾规模化养殖的需求, 其专用配合饲料的研究和生产正在逐渐开展, 吴东等^[3]认为饲料蛋白水平为27%时克氏原螯虾增重率和增长率最高, 饲料系数以33%组最低。随着饲料蛋白质含量升高, 蛋白质效率呈下降趋势; 苏时萍等^[4]认为当饲料蛋白质水平为35%~40%之间时, 克氏原螯虾幼虾肠道和肝胰脏的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均呈升高趋势。由于目前市场上供应的克氏原螯虾饲料大多为对虾、

罗氏沼虾或河蟹饲料的替代品, 投喂后饲料利用率低、发病率高, 养殖效果并不理想, 因此, 研究和开发能够促进克氏原螯虾生长且具有提高其免疫力的优质配合饲料已成为确保该产业稳定发展的首要任务。迄今为止, 有关克氏原螯虾饲料蛋白需求量的研究报道较多^[3-5], 但未见有克氏原螯虾功能性饲料的养殖效果报道。本试验选用生物饲料作试验组, 选择市售的罗氏沼虾品牌饲料作对照组, 通过分析和对比克氏原螯虾的生长速度、免疫指标、消化酶和肌肉营养成分等指标, 以确定生物饲料在克氏原螯虾养殖过程中的使用效果与推广应用价值, 所得结果可以为克氏原螯虾新型饲料的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用克氏原螯虾由盱眙龙虾股份有限公司提供, 实验开始前先将虾置于室内水族箱中暂

收稿日期: 2012-01-13 修回日期: 2012-03-08

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003070)

作者简介: 王天神(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为甲壳动物饲料与营养。E-mail: wts1987@126.com

通讯作者: 周鑫, E-mail: zhoux@ffrc.cn

养 7 d, 选择体质健壮、活动力强和附肢完整的亲虾作为实验用虾。体长为 4~8 cm, 体重为 4~7 g。实验饲料分别为北京嘉博文生物科技有限公司研制的生物饲料、盐城恒星牌罗氏沼虾饲料、浙江明辉牌罗氏沼虾饲料。营养成分见表 1。

表 1 3 种饲料营养成分表
Tab. 1 Three kinds of feed nutrients %

	明辉	恒星	生物饲料
粗蛋白质	≥36.0	≥40	43.72
粗纤维	≤6.0	≤6	2.8
粗灰分	≤17.0	≤14	18.71
钙	1.5~2.5	1.00~3.50	1.7
总磷	≥0.8	≥1	1.67
食盐	0.3~1.5	0.50~3.00	2
赖氨酸	≥1.5	≥2	3.43
水分	≤12.0	12.5	≤15

1.2 实验设计

将上述 3 种饲料分成明辉、恒星和生物饲料 3 个试验组, 每种饲料设 3 个平行试验。实验容器为 100 cm × 50 cm × 50 cm 水族箱, 水深 10~20 cm, 每箱放 20 尾虾, 水族箱中放置瓦片和易拉罐作隐蔽物。每天投喂两次(8:00, 18:00), 投喂量为虾体重的 3%, 并根据摄食情况加以调整。试验期为 60 d, 实验期间用气泵增氧, 每两天换 1/3 水, 清除残饵和粪便, 试验期间水温为 (30 ± 3) °C。喂养结束后, 用注射器从虾的头胸甲后部插入心脏取血, 虾血在 3 000 r/min 条件下离心 10 min, 取上清液作为待测血清, 备用。另外取虾肠道, 去除肠道内杂质。样品制备参照 WANG 和 XU^[6] 的方法。将肝胰脏等组织在磷酸缓冲液 (0.02 mol/L, pH 7.5) (1 g/mL 5 mL) 中用玻璃匀浆器冰浴匀浆, 冷冻离心机在 4 °C、10 000 r/min 下离心 30 min, 所得到的上清液作为消化酶分析样品, 4 °C 条件下保存, 24 h 内分析完毕。

1.3 指标的测定

1.3.1 生长性能指标

养殖实验结束前 1 d 停止投饵, 将虾饥饿 1 d, 然后用电子天平称虾体质量(精确到 0.01 g)。计算相对增重率、相对增长率。

1.3.2 氨基酸组成及含量的测定

实验结束后每组随机取虾 10~15 尾, 取其肌肉, 按照 JY/T019—1996 的方法, 肌肉样品经酸水解处理后, 采用 Agilent 1100 高效液相色谱仪测定氨基酸的含量, 分析生物饲料对虾体风味氨

基酸的影响。

1.3.3 免疫指标的测定

免疫酶活性的测定: 采用南京建成生物研究所生产的试剂盒, 测定酸性磷酸酶 (ACP)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和溶菌酶 (LSZ) 活性。按照磷酸苯二钠法测定 ACP 活性, 其活力单位定义为, 100 mL 血清在 37 °C 与基质作用 30 min 产生 1 mg 酚为 1 个活力单位 (U/100 mL); 按照磷酸铵法测定 CAT 活性, 其活力单位定义为, 每毫升血清或血浆每秒钟分解 1 μmol H₂O₂ 的量为一个活力单位 (U/mL); 采用黄嘌呤氧化酶法 (羟胺法) 测定 SOD 活性, 其活力单位定义为, 每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50% 时对应 SOD 的量为一个酶活力单位 (U/mL)。以溶壁微球菌 (*Micrococcus lysodeikticus*) 冻干粉为底物, 按照 Hultmark 的方法测定溶菌酶 (LSZ) 活性。

1.3.4 消化酶指标的测定

消化酶活力的测定: 采用福林-酚试剂法测定胰蛋白酶 (TPS), 采用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法测定脂肪酶 (LPS), 采用淀粉-碘比色法测定淀粉酶 (AMS)。

1.4 统计分析

实验结果以平均值 ± 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示, 采用 SPSS 17.0 软件进行统计与分析, 采用单因素方差分析, 用 LSD 法进行多重比较。

2 结果

2.1 生长指标比较

由表 2 可知, 经过两个月的喂养, 3 种饲料对克氏原螯虾生长的影响存在差异, 投喂生物饲料组的增长率和增重率变化最大, 生物饲料组与明辉组相比, 其增长率和增重率都高于后者, 且增重率差异显著 ($P < 0.05$); 生物饲料组与恒星饲料组相比, 增长率和增重率无明显差异 ($P > 0.05$), 但生物饲料组的生长效果略优于恒星组, 增长率前者比后者高 19.62%, 增重率高 17.09%。明辉组跟恒星组的增长率和增重率差异都不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 克氏原螯虾肌肉中氨基酸的比较

表 3 列出了克氏原螯虾肌肉中 17 种氨基酸的含量, 其中 7 种为必需氨基酸, 6 种为呈味氨基酸, 2 种为半必需氨基酸, 3 个试验组的总氨基酸

平均含量为17.93%,且差异不显著($P > 0.05$)。必需氨基酸的含量在6.40%~6.90%之间,呈味氨基酸的含量在8.08%~8.50%,恒星饲料组的总氨基酸、必需氨基酸和呈味氨基酸含量均高于生物饲料组和明辉组,必需氨基酸与呈味氨基酸的比值也同样是恒星饲料组高于明辉饲料组与生物饲料组。此外3个试验组的必需氨基酸含量占总氨基酸含量的比例的变化幅度为36.78%~37.08%,差异不显著($P > 0.05$)。3种饲料的谷氨酸含量最高,约占总氨基酸含量的17.6%。

表2 3种不同饲料对克氏原螯虾生长的影响

Tab.2 Effect of three different feeds on the growth of *Procambarus clarkii*

处理	明辉	恒星	生物饲料
初体长/cm	5.95 ± 0.35	5.88 ± 0.05	5.82 ± 0.37
初体重/g	5.34 ± 0.25	5.44 ± 0.23	5.53 ± 0.30
末体长/cm	7.08 ± 0.26	7.10 ± 0.26	7.24 ± 0.20
末体重/g	10.47 ± 0.74	10.68 ± 0.38	11.78 ± 0.45
增长率/%	19.21 ± 3.51	20.74 ± 3.67	24.81 ± 4.64
增重率/%	95.78 ± 4.71 ^a	96.75 ± 12.87 ^{ab}	113.28 ± 4.59 ^b

注:不同的上标字母表示差异显著($P < 0.05$),下同表。

表3 不同饲料条件下克氏原螯虾肌肉中氨基酸的含量比较

Tab.3 Effect of different feeds on amino acid content in *Procambarus clarkii* %

	明辉	恒星	生物饲料
天门冬氨酸 [#]	1.84	1.97	1.88
谷氨酸 [#]	3.09	3.29	3.11
丝氨酸 [#]	0.73	0.78	0.73
组氨酸	0.46	0.49	0.46
甘氨酸 [#]	0.97	0.91	1.07
苏氨酸 [*]	0.68	0.73	0.69
精氨酸	1.97	2.03	1.95
丙氨酸 [#]	0.98	1.01	0.97
络氨酸	0.53	0.56	0.54
胱氨酸	0.03	0.03	0.03
缬氨酸 [*]	0.87	0.94	0.89
蛋氨酸 [*]	0.45	0.48	0.46
苯丙氨酸 [*]	0.74	0.79	0.75
异亮氨酸 [*]	0.82	0.86	0.83
亮氨酸 [*]	1.42	1.51	1.44
赖氨酸 [*]	1.46	1.54	1.49
脯氨酸 [#]	0.47	0.54	0.53
总氨基酸(TAA)	17.50	18.47	17.81
必需氨基酸(EAA)	6.44	6.85	6.55
EAA/TAA	36.80	37.09	36.78
呈味氨基酸(DAA)	8.08	8.50	8.29

注:#表示呈味氨基酸;*表示必需氨基酸。

2.3 克氏原螯虾免疫酶的比较

表4中列出了投喂3种不同饲料后克氏原螯虾血液中免疫酶的变化情况,其中以生物饲料组的超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LSZ)、过氧化氢酶(CAT)活性最高,恒星组除了酸性磷酸酶(ACP)活性(14.08 ± 1.09) U/mL略高于生物饲料组(12.60 ± 0.94) U/mL外,其余指标均低于生物饲料组。恒星组SOD活性与生物饲料组差异显著($P < 0.05$),明辉组SOD活性与生物饲料组差异不显著($P > 0.05$),但其CAT活性偏低,与生物饲料组相比差异显著($P < 0.05$),明辉与恒星组之间的LSZ活性差异不显著($P > 0.05$),但明显低于生物饲料组。

表4 3种不同饲料对克氏原螯虾免疫力的影响

Tab.4 Effect of three different feeds on immunity of *Procambarus clarkii*

	SOD/ (U/mL)	ACP/ (U/100mL)	LSZ/ (U/mL)	CAT/ (U/mL)
明辉	120.23 ± 8.02 ^{ab}	12.85 ± 0.27	23.50 ± 2.56	1.05 ± 0.17 ^a
恒星	110.27 ± 8.69 ^a	14.08 ± 1.09	24.05 ± 6.89	1.39 ± 0.39 ^{ab}
生物饲料	125.53 ± 1.33 ^b	12.60 ± 0.94	27.12 ± 3.76	1.87 ± 0.35 ^b

2.4 克氏原螯虾消化酶的比较

表5中比较了投喂3种不同饲料后克氏原螯虾消化酶的变化情况,其中生物饲料组的胰蛋白酶和淀粉酶活性均高于另外两组,胰蛋白酶的活性明显高于明辉组和恒星组,且差异显著($P < 0.05$),但投喂3种饲料后各试验组的脂肪酶和淀粉酶活性差异不显著($P > 0.05$)。

表5 3种不同饲料对克氏原螯虾消化酶的影响

Tab.5 Effect of three different feeds on digestive enzyme of *Procambarus clarkii*

	胰蛋白酶 /(U/mg)	脂肪酶 /(U/g)	淀粉酶 /(U/mg)
明辉	15.83 ± 1.02 ^a	30.83 ± 1.63	1.59 ± 0.08
恒星	15.46 ± 0.98 ^a	33.39 ± 0.86	1.78 ± 0.14
生物饲料	19.66 ± 1.89 ^b	32.20 ± 1.54	1.87 ± 0.17

3 讨论

3.1 生物饲料的营养基础

生物饲料是一种采用高温发酵工艺生产的新型饲料,在该饲料中添加有20%~50%的发酵小杂鱼、发酵虾壳、发酵饼粕类及经过发酵的高蛋白有机提取物,该饲料含有丰富的消化酶、小肽、核苷酸、壳聚糖、氨基酸等营养成分,尤其是饼粕类中的胰蛋白酶抑制因子、异硫氰酸酯、恶

唑烷硫酮和小杂鱼中的糜烂素等有害物质经发酵处理后得以基本消除^[7]。饼粕类中的水苏糖、棉子糖等难以被消化吸收的多糖类经发酵后可以降解为小分子糖类而被虾、蟹等水产动物所利用^[8]。虾壳发酵后被分解成为壳寡糖及虾青素等易于消化吸收的成分,具有增强虾、蟹等水产动物免疫力的作用。同时,植物蛋白经发酵后可转变为菌丝蛋白,有利于饲料性价比的提高,而且生物饲料中含有大量耐高温益生菌,饲料成形后仍具活性,该益生菌随饲料进入虾、蟹等水产动物的消化道内能促进氨基酸、维生素等营养成分的合成和吸收利用,有利于提高饲料转化率,促生长作用明显^[7]。程成荣和刘永坚^[9]在杂交罗非鱼、罗智等^[10]在石斑鱼、陈莹等^[11]在异育银鲫、冷向军等^[12]在南美白对虾、大菱鲂的试验中均采用过发酵豆粕部分替代鱼粉的试验,结果表明,添加有发酵豆粕的饲料不仅可使鱼类和虾类体重增重率有所提高,而且各项非特异性免疫指标也得到了相应的改善。生物饲料与品牌饲料的对比试验结果表明,生物饲料组克氏原螯虾的增长率为 24.81%,增重率为 113.28%,比明辉饲料组的增长率提高 29.15%,增重率提高 18.27%,差异显著($P < 0.05$);与恒星饲料组相比增长率和增重率差异不显著($P > 0.05$),但其生长效果优于后者。由此表明生物饲料的营养价值高于市售的品牌饲料,但本试验的生物饲料组的增长率与品牌饲料相近,这可能与克氏原螯虾在水族箱内养殖易发生应激反应并导致蜕壳周期延长和各试验组虾体增长率普遍下降有很大关系。除此之外,相近的体长却有更高的体重增重率已足以说明生物饲料的品质优势,同时也说明生物饲料的养殖效果完全可以与品牌饲料相媲美。

3.2 不同的饲料对克氏原螯虾肌肉中氨基酸的影响

食物蛋白质营养价值的高低,主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例^[13],本实验投喂 3 种不同的饲料后克氏原螯虾肌肉中总氨基酸、必需氨基酸和呈味氨基酸的含量未见有明显的改变,虽然恒星组、明辉组和生物饲料组的氨基酸含量存在着差异,但并不显著($P > 0.05$)。造成氨基酸含量略有不同的原因除了存在实验误差之外,克氏原螯虾摄入的食物养分组

成及水域生态环境的变化均可引起肌肉中氨基酸含量的增加或减少。黄凯等^[14]分析了不同盐度条件下凡纳滨对虾体内氨基酸含量,发现氨基酸总量随盐度上升呈增加趋势,而本实验 3 种饲料配方中添加了不同比例的食盐是否对氨基酸含量也有相同的作用尚缺乏足够的证据,但投喂 3 种饲料后各试验组的必需氨基酸组成、氨基酸含量及占总氨基酸的比例未出现较大的变化说明克氏原螯虾肌肉中的氨基酸组成及含量受食物的影响较小。本实验结果表明,虽然 3 种饲料的蛋白质含量不同,但其对克氏原螯虾肌肉中必需氨基酸的组成、氨基酸含量及占总氨基酸的比例影响不大。

谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸属呈味氨基酸,其含量对肌肉的鲜美程度有很大影响^[15]。谷氨酸是呈鲜味的特征氨基酸,鲜味最强^[16]。甘氨酸、丙氨酸是呈甘味的特征氨基酸,丝氨酸、脯氨酸也与甘味有关^[17],恒星饲料组的谷氨酸含量为 3.29%,明辉组为 3.09%,生物饲料组为 3.11%;呈味氨基酸的含量分别为 8.5%、8.08%、8.29%,恒星饲料组的呈味氨基酸含量稍高,生物饲料组其次,明辉饲料组稍低,但差异不显著($P > 0.05$)。

3.3 生物饲料对克氏原螯虾免疫力的影响

生物饲料中富含小肽、核苷酸、壳聚糖、氨基酸等可促进免疫器官发育的营养成分,有利于提高血细胞的吞噬能力,诱导并提高克氏原螯虾淋巴中溶血素、凝集素和抗菌肽的活性,使免疫系统和抗病能力得到加强^[7]。王广军等^[18]在酵母核苷酸对凡纳滨对虾生长、免疫以及抗应激影响的研究中发现酵母核苷酸能显著增加 LSZ、SOD 的活性。沈文英等^[19]发现在饲料中添加枯草芽孢杆菌能提高草鱼 CAT、SOD 的活性。李云华等^[20]认为壳聚糖浓度为 1% 时可显著提高克氏原螯虾 LSZ、SOD、PO 3 种酶的活性($P < 0.05$)。童春等^[21]发现饲料中添加 0.6% 的壳聚糖后淡水白鲢的 LSZ、SOD、ACP 活性最高。从实验中可以看出生物饲料组中 SOD (125.53 ± 1.33) U/mL 的活性明显高于明辉饲料组 (120.23 ± 8.02) U/mL 和恒星饲料组 (110.27 ± 8.69) U/mL ($P < 0.05$),SOD 作为反映动物机体非特异性免疫功能的重要生理指标,广泛存在于生物体内,是一切需氧有机体清除超氧阴离子自

由基、保护机体免受伤害的一种关键金属酶,其活性与动物的免疫水平密切相关^[22]。生物饲料组的 CAT (1.87 ± 0.35) U/mL 活性较高,明显高于明辉组 (1.05 ± 0.17) U/mL 和恒星组 (1.39 ± 0.39) U/mL。CAT 参与活性氧代谢,可以使 H₂O₂ 发生歧化生成水和氧,与 SOD、过氧化物酶 (POD) 等共同组成了生物体内的活性氧防御系统^[23-25],是虾蟹类重要的免疫因子^[23-24]。此外,CAT 还能催化过氧化氢和氯离子生成次氯酸,后者是一种重要的抗菌物,能与细菌的蛋白质、多肽和氨基酸发生快速反应,将其中的氨基团氯化成氯胺而起到抗菌作用^[26]。这两种免疫酶活性的提高说明投喂生物饲料可以通过激发机体的体液免疫和细胞免疫来增强机体免疫机能,从而增强克氏原螯虾的抗病力和提高存活率。LSZ、ACP 的活性程度可以反映机体的免疫机能状况^[27]。实验结果可以看出投喂 3 种饲料后 LSZ 和 ACP 活性基本相同,差异不显著 ($P > 0.05$),这表明投喂生物饲料后部分免疫指标超过了品牌饲料或达到品牌饲料相同的技术要求。

3.4 投喂生物饲料后克氏原螯虾肠道内消化酶的变化

有益微生物可在体内产生多种消化酶,从而有利于饲料消化率的提高,如芽孢杆菌产生的蛋白酶、脂肪酶及淀粉酶具有很高的活性,能降解饲料中较复杂的碳水化合物^[28]。袁丰华等^[29]在饲料中添加不同含量凝结芽孢杆菌,发现添加 1% 的芽孢杆菌能提高尖吻鲈胃淀粉酶活性。生物饲料组中胰蛋白酶的活性 (19.66 ± 1.89) U/mg 明显高于明辉组 (15.83 ± 1.02) U/mg 和恒星组 (15.46 ± 0.98) U/mg 的胰蛋白酶活性,差异十分显著 ($P < 0.05$)。出现显著性差异的原因可能与生物饲料中含有大量耐高温的枯草芽孢杆菌有关,芽孢杆菌在消化道内繁衍不但能促进消化道内多种氨基酸、维生素等营养成分的合成和吸收利用,而且可提高胰蛋白酶的活性、蛋白质的利用效率和饲料的转化率。此外,蛋白酶活性因饲料蛋白质性质和水平的不同而变化,在一定范围内适当提高饲料蛋白水平能够刺激肝胰脏分泌胰蛋白酶,有助于肠内食物的消化吸收^[30-31]。生物饲料中含有益生菌等微量元素,它能调控肠道微生态平衡,恢复动物肠道内的优势益生菌种群,使动物处于正常生理状态。同时,生物饲料

的蛋白含量高于其他两种品牌饲料,胰蛋白酶活性也显著高于两种品牌饲料。虾蟹类消化功能的强弱很大程度上取决于消化酶活性,提高虾类的消化酶活性就能提高虾对营养物质的消化能力,虾类对营养物质的吸收也会随之增加。因此在设计克氏原螯虾饲料配方时除了需要确定蛋白质的最佳添加量外,在饲料中适量添加益生菌将有利于提高饲料的喂养效果和加快克氏原螯虾的生长。

参考文献:

- [1] 张家宏,王守红,寇祥明,等. 克氏原螯虾自相残食特性及人工繁育中的关键技术研究[J]. 江西农业学报, 2010, 22(2): 109-112.
- [2] 赵朝阳,周鑫,徐增洪,等. 美国路易斯安那州的克氏原螯虾产业发展概述[J]. 江西农业学报, 2009, 21(2): 94-97.
- [3] 吴东,夏伦志,侯冠军,等. 3种蛋白水平饲料对克氏原螯虾生长和虾肉品质的影响[J]. 淡水渔业, 2007, 37(5): 36-40.
- [4] 苏时萍,施培松,杨启超,等. 饲料蛋白质水平对克氏原螯虾幼体消化酶活性和肌肉成分的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(2): 231-235.
- [5] 何金星,彭刚,唐建清,等. 不同饲料组分对克氏原螯虾消化酶·SOD 和糖原的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 763-765, 805.
- [6] WANG Y B, XU Z R. Effect of probiotics for common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities[J]. Animal Feed Science and Technology, 2006, 127(3/4): 283-292.
- [7] 赵朝阳,王天神,周鑫,等. 生物饲料在虾蟹健康养殖中的应用前景[J]. 饲料研究, 2011(6): 69-71.
- [8] 何明清. 生物饲料与人类健康[J]. 中国动物保健, 1999(10): 19-20, 36.
- [9] 程成荣,刘永坚. 杂交罗非鱼饲料中发酵豆粕替代鱼粉的研究[J]. 广东饲料, 2004, 13(2): 26-27.
- [10] 罗智,刘永坚,麦康森,等. 石斑鱼配合饲料中发酵豆粕和豆粕部分替代白鱼粉的研究[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 175-181.
- [11] 陈莹,梁运祥,陈昌福. 发酵豆粕饲料对异育银鲫非特异性免疫功能的影响[J]. 淡水渔业, 2005, 35(2): 6-8.
- [12] 冷向军,王文龙,周洪琪,等. 不同大豆产品替代鱼粉饲养南美白对虾的试验[J]. 淡水渔业, 2006, 36(3): 47-79.
- [13] 赵峰,庄平,施兆鸿,等. 中国鲷成鱼和幼鱼肌肉生化成分的比较分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(1): 102-108.
- [14] 黄凯,王武,卢洁,等. 盐度对南美白对虾的生长及生化成分的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(9): 20-25.
- [15] XU Q L, CUI T J, LIU J, et al. Processing technology and

- analysis of chemical components of frozen crab-meat and roasted ovary of *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science*, 2003, 22(6): 12-14.
- [16] HAYASHI T, ASAKAWA A, YAMAGUCHI K, et al. Study on flavor components in boiled crabs sugars, organic acids and minerals in the extracts[J]. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 1979, 45(10):1325-1329.
- [17] ZHANG C H, WU H M, HONG P Z, et al. Nutrients and composition of free amino acid in edible part of *Pinctada martensii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(2): 180-184.
- [18] 王广军, 朱旺明, 谭永刚, 等. 酵母核苷酸对凡纳滨对虾生长、免疫以及抗应激影响的研究[J]. *饲料工业*, 2006, 27(8): 29-32.
- [19] 沈文英, 李卫芬, 梁权, 等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对草鱼生长性能、免疫和抗氧化功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 881-886.
- [20] 李云华, 李太元, 黄金凤, 等. 壳聚糖对克氏原螯虾几种免疫相关酶活性的影响[J]. *中国饲料*, 2009(20): 28-30.
- [21] 童春, 曹振杰, 杨玲, 壳聚糖对淡水白鲢生长和非特异性免疫功能的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(2): 219-225.
- [22] 赵朝阳, 周鑫, 邴旭文, 等. 饥饿对克氏原螯虾亲虾消化酶活性及部分免疫指标的影响[J]. *大连水产学院学报*, 2010, 25(1): 85-87.
- [23] 何南海. 对虾免疫功能指标的建立及其应用[J]. *厦门大学学报:自然科学版*, 2004, 43(3): 385-388.
- [24] 肖克宇. *水产动物免疫与应用*[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 102-138.
- [25] 吴坚. 微量元素对海洋生物的生物化学效应[J]. *海洋环境科学*, 1991, 10(2): 58-62.
- [26] 苏永腾, 王恬. 乳铁蛋白对鱼类的免疫增强作用[J]. *中国饲料*, 2006(12): 28-29, 34.
- [27] 郭伟荣, 刘利平, 张宗锋, 等. 感染鳃弧菌对花鲈非特异性免疫功能的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(1): 89-95.
- [28] 王超, 王敏奇. 葡聚糖对水生动物免疫功能的影响[J]. *中国饲料*, 2010(5): 29-34.
- [29] 袁丰华, 林黑着, 李卓佳, 等. 凝结芽孢杆菌对尖吻鲈的生长、消化酶及非特异性免疫酶的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(6): 792-797.
- [30] 李广丽, 王义强. 草鱼、鲤鱼肠道、肝胰脏消化酶活性的初步研究[J]. *湛江海洋大学学报*, 1994, 14(1): 34-40.
- [31] 郭冉, 梁桂英, 刘永坚, 等. 糖和蛋白质水平对饲养于咸淡水中的凡纳滨对虾生长、体营养成分组成和消化率的影响[J]. *水产学报*, 2007, 31(3): 355-360.

Effect of three kinds of feed on growth, immune enzyme, amino acid content and digestive enzymes activity of *Procambarus clarkii*

WANG Tian-shen¹, ZHOU Xin², ZHAO Chao-yang²

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: The experiment was conducted to study effect of three kinds of feed on growth, immune enzyme, amino acid content and digestive enzymes activity of *Procambarus clarkii* for two months. The results showed that the *Procambarus clarkii*'s SOD, CAT activity of biological feed was higher than other groups ($P < 0.05$), while ACP, LSZ have no significant difference ($P > 0.05$). Three feed has little influence on the composition and content of amino acid in *Procambarus clarkii*. The composition and content of essential amino acid and the ratio of the total amino acid are not due to the different feed. In addition, biological feed has a little influence on the growth of *Procambarus clarkii*, the weight gain rate was higher than the other feed's. At the same time, trypsin and amylase activity were higher than ordinary feed's, and trypsin activity was significantly different from ordinary feed's ($P < 0.05$). Therefore biological feed can enhance the *Procambarus clarkii*'s immunity, improve the viability and accelerate its growth.

Key words: *Procambarus clarkii*; biological feed; enzyme immunoassay; digestive enzyme; amino acid