

三种饵料对三疣梭子蟹亚成体成活、蜕壳、生长和生化组成的影响

侯文杰^① 潘桂平^① 龙晓文^{②③} 吴旭干^{②③*} 周文玉^① 成永旭^{②③④}

① 上海市水产研究所/上海市水产技术推广站 上海 200433; ② 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306; ③ 上海海洋大学 上海市教委水产动物遗传育种协同创新中心 上海 201306;

④ 宁波大学 东海海水养殖产业升级协同创新中心 宁波 315211

摘要: 为研究投喂配合饲料、杂鱼和猪肺对三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 亚成体的养殖性能和生化组成的影响, 本研究采用单体框养和生化分析方法, 以初始体重 70 g 左右的雌体为研究对象, 分析 3 种饵料对亚成体成活、蜕壳、生长、肝胰腺指数、肌肉指数、常规生化成分、脂肪酸组成的影响。结果显示: (1) 3 组饵料对成活率影响显著, 饲料组高达 90%, 杂鱼组仅为 43% 左右, 猪肺组居于二者之间; 杂鱼组死亡主要由蜕壳死亡综合症 (MDS) 引起, 饲料组和猪肺组无明显蜕壳死亡综合症 (MDS) 引起的死亡现象; (2) 配合饲料组的蜕壳间隔最短, 两次蜕壳个体百分比、终体重和特定增长率最高, 杂鱼组蜕壳间隔最长, 生长情况最差, 猪肺组养殖性能居中; (3) 尽管配合饲料组的平均肝胰腺指数高于其他两组, 但是 3 个饵料组的肝胰腺指数和肌肉指数均无显著差异; (4) 不同饵料对组织中常规生化组成影响显著, 杂鱼组肝胰腺和肌肉中水分含量最低, 其他成分含量最高, 其他两组常规生化组成较为接近; (5) 肝胰腺和肌肉中的主要脂肪酸百分含量均受所投喂饵料脂肪酸组成影响显著, 杂鱼组组织中高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 含量最高, 猪肺组饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量最高, 但多不饱和脂肪酸含量最低; 整体上, 杂鱼组蟹对饵料中二十碳五烯酸 (EPA) 和二十二碳六烯酸 (DHA) 相对保留率最低, 猪肺组蟹最高。综上, 配合饲料能够提高三疣梭子蟹亚成体的养殖性能, 可以在一定程度上替代广泛使用的杂鱼等冰鲜饵料。

关键词: 三疣梭子蟹; 配合饲料; 养殖性能; 生化成分; 蜕皮综合症

中图分类号: S963, Q956 **文献标志码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 04-642-13

Effects of Three Diets on Survival, Molting, Growth and Biochemical Composition of Pre-adult *Portunus trituberculatus*

HOU Wen-Jie^① PAN Gui-Ping^① LONG Xiao-Wen^{②③} WU Xu-Gan^{②③*}
ZHOU Wen-Yu^① CHENG Yong-Xu^{②③④}

基金项目 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字(2013)第 6-3 号], 上海市农委青年人才成长计划项目[沪农青字(2014)第 3-5 号], 上海市自然科学基金项目 (No. 12ZR1413000), 上海高校水产学一流学科建设项目 (沪教科 2012-62);

* 通讯作者, E-mail: xgwu@shou.edu.cn;

第一作者介绍 侯文杰, 男, 工程师; 研究方向: 海水养殖和设施渔业; E-mail: wjh01@163.com。

收稿日期: 2015-08-08, 修回日期: 2015-12-06 DOI: 10.13859/j.cjz.201604016

① Shanghai Fisheries Research Institute / Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433; ② Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ③ Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding Certificated by Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ④ Collaborative Innovation Center of Mari-culture Industry in East China Sea, Ningbo University, Ningbo 315211, China

Abstract: Formulated diets are the future trend for the sustainable culture of Swimming Crab *Portunus trituberculatus*, while trash fish is the traditional diets for the current pond culture of this species. However, no available information has been found on the effects of the two diets on the culture performance of the pre-adult crab. This study was conducted to investigate the effects of three diet, including formulated diets, trash fish and pig lung, on the survival, molting, growth of pre-adults (initial mean wet weight was around 70 g), as well as biochemical composition of hepatopancreas and muscle of *P. trituberculatus*. All statistical analysis was performed by SPSS 17.0 software. Homogeneity of variance was tested by Levene's test. When necessary, arcsine or square root was performed for the percentage data prior to analysis. An analysis of variance (ANOVA) was used to test for experimental data, and the Tukey s-b (K) test was used for multiple comparisons. The results are shown as the followings: (1) Diets had significant effects on survival of pre-adult *P. trituberculatus*. Formulated diet treatment had the highest survival rate (90%) while the lowest survival rate (43%) was recorded in trash fish treatment (Table 3), and most of death in this treatment was caused by molting death syndrome (MDS). (2) The crabs fed on formulated diet had the shortest molting period, the highest proportion of crabs completed two moltings during the culture experiment, and the highest final body weight and specific growth rate (SGR) among the three treatments. While the trash fish treatment had the lowest value on culture performance (Table 3). (3) Although formulated diets treatment had the higher hepatopancreatic index than the other treatments, there was no significant difference among the three treatments (Table 3). (4) Different diets had the significant effects on the proximate compositions of pre-adult *P. trituberculatus* (Table 3). The moisture content in hepatopancreas and muscle of trash fish treatment was the lowest, but the other biochemical compositions were highest among the three treatments, while the proximate compositions were similar in the crabs treated by the rest two diets (Table 4). The fatty acid composition in hepatopancreas and muscle was significantly affected by the dietary fatty acids. The trash fish treatment had a highest level of unsaturated fatty acids while the content of saturated fatty and mono-unsaturated fatty acids was highest in the pig lung treatment (Table 5 and Table 6). Overall, the crabs fed on trash fish had the lowest relative retention rate of 22:6n3 (DHA) and 20:5n3 (EPA), but those crabs fed on pig lung had the highest relative retention rate of these two fatty acids (Table 7). In conclusion, the formulated diet could improve the culture performance for the pre-adult *P. trituberculatus*, which could be used to replace widely used trash fish at a certain level in the pond culture of *P. trituberculatus*.

Key words: *Portunus trituberculatus*; Formulated diet; Culture performance; Biochemical composition; Molting death syndrome

三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 是我国主要的海水养殖蟹类之一, 具有重要的经

济价值和营养价值 (Wu et al. 2010a, b), 由于市场需求的增加和野生资源的减少, 自 20 世纪

90年代以来,三疣梭子蟹养殖业在我国沿海迅速发展起来,2013年人工养殖产量近10.96万吨(农业部渔业渔政管理局2014)。目前,我国三疣梭子蟹养殖过程中主要投喂冰鲜野杂鱼,也有部分养殖户投喂畜禽内脏如猪肺和小肠等,这些生物饵料不仅存在来源不稳定、成本偏高、污染水环境和易携带致病菌等缺点(段青源等2011,吴旭干等2014),且大量捕捞野生低值鱼虾不利于近海渔业资源的保护,因此,饵料问题已成为三疣梭子蟹养殖业可持续发展的重要制约因素之一(杨印璞等2013)。

近年来,随着三疣梭子蟹养殖业的进一步发展和冰鲜杂鱼的价格上涨,三疣梭子蟹的营养饲料研究日益增多,以探明三疣梭子蟹的营养需求和研制养殖用配合饲料(丁雪燕等2010,韩涛等2013,张稳等2014,李弋等2015)。但是这些研究主要是针对三疣梭子蟹幼蟹(初始体重通常小于20g),缺乏针对接近生殖蜕壳亚成体(通常再经过1~2次蜕壳即可完成生殖蜕壳)和性腺发育阶段营养需求及饲料开发研究,这非常不利于三疣梭子蟹系列化的饲料开发。实际上由于三疣梭子蟹亚成体和成体个体较大,其营养需求可能不同于早期生长阶段(丁雪燕等2010,杨印璞等2013,吴旭干等2014),且这两个养殖阶段的饲料消耗量远大于幼体和幼蟹阶段,因此进行成体和亚成体阶段的营养饲料研究,具有重要的现实意义。本实验室在多年研究的基础上,已经初步研制出系列化的三疣梭子蟹实用饲料配方,在池塘养殖条件下取得了较好的应用效果。但由于池塘养殖条件下三疣梭子蟹极易自相残杀、体重分化较大,且池塘养殖环境中可能存在多种天然饵料,因此难以科学评估投喂不同饵料的养殖效果,故有必要采用单个体养殖方法进行三疣梭子蟹营养饲料研究(杨印璞等2013,张稳等2014,李弋等2015)。鉴于此,本研究比较了配合饲料、冰鲜杂鱼和猪肺对三疣梭子蟹亚成体成活、蜕壳、生长、组织系数和生化组成的影响,结果可为三疣梭子蟹的饵料选择和配

合饲料研发提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验用蟹和养殖条件

三疣梭子蟹于2014年7月底取自上海市水产研究所启东科研基地的养殖池塘,初始体重60~90g,精心挑选肢体健全、活力较好的亚成体雌蟹120只,在室内水泥池(长×宽×深为5.8m×2.4m×1.8m)中暂养,池底部30%的面积铺细沙供蟹潜伏和隐蔽,每个水泥池放60只幼蟹,暂养期间每日17:00时按照蟹体重的5%~10%投喂野杂鱼,次日10:00时清理残饵和粪便。实验用蟹暂养一周后,挑选90只肢体健全、活动较好、蜕皮间期的雌蟹用于实验,蜕皮间期的判断方法参照沈洁等(2011)的方法。由于三疣梭子蟹极易自相残杀导致成活率偏低,因此正式实验期间采用单个体养殖的方法,每只蟹均单独养殖于单体养殖框(长×宽×高为0.33m×0.27m×0.35m,水深0.25m)中,暂养3d后开始正式实验。单体养殖框四周套泡沫浮架使得单体养殖框漂浮于水泥池中,每个水泥池放30只单体养殖框,共使用3个水泥池。实验期间为保证水质良好,采用循环水工艺对养殖用水进行净化处理,定期采用曝气后的自来水补充蒸发掉的水分,以保证水体盐度相对稳定。实验期间自然光照,水体盐度为24,水温24~26℃,pH7.0~9.0,溶氧含量大于5mg/L,氨氮含量小于0.4mg/L,亚硝酸盐含量小于0.15mg/L。

1.2 实验设计和养殖管理

实验于2014年8~10月在上海市水产研究所启东科研基地循环水养殖车间进行,共70d。实验分为3组,即配合饲料组、杂鱼组和猪肺组,由于江苏苏北地区部分养殖户习惯使用畜禽内脏投喂三疣梭子蟹,因此选用营养成分相对稳定的猪肺作为一个饵料组。实验用配合饲料由上海海洋大学营养繁殖研究室研制,饲料配方见表1,所有原料均经过80目粉碎后,制成粒径为3mm的沉性膨化饲料。杂鱼购自启

东市吕四渔港附近的冷库, 猪肺购自启东市海复镇菜市场。3 种饵料均一次准备好, 保存于 -20°C 冰箱中。每组饵料投喂 30 只蟹, 10 只为一组, 即每个饵料组设 3 个重复, 投喂不同饵料的单体养殖框随机分布于 3 只水泥池中。每日 17:00 时按实验设计分别投喂上述 3 组饵料, 配合饲料组按蟹体重的 3% ~ 5% 投喂, 杂鱼和猪肺组按蟹体重的 5% ~ 10% 投喂, 具体投喂量根据摄食和残饵情况调整; 次日上午清除残饵, 并观察和记录蜕壳和死亡情况。实验结束前停食 2 d, 之后进行采样和称重, 统计各实验组的成活率、蜕壳周期、蜕壳次数、增重率、特定增长率。同时每种饵料组随机取 8 只处于蜕壳间期的蟹, 进行活体解剖, 取出所有的肝胰腺和肌肉, 准确称重后计算肝胰腺指数和肌肉指数。所有样品于 -40°C 冰箱中保存, 用于此后的生化测定。

表 1 实验配合饲料的配方

Table 1 Formulation of the experimental formulated diets

配方组成 Formulation	百分含量 Percentage (%)
蒸汽鱼粉 Steam fish meal	18.00
菜粕 Rapeseed meal	18.55
豆粕 Soybean meal	29.60
面粉 Flour	14.00
虾粉 Shrimp meal	2.00
啤酒酵母粉 Yeast extract	4.00
乌贼膏 Squid paste	4.40
蟹用复合维生素 Crab vitamin mix	0.50
蟹用复合矿物质 Carb mineral mix	1.20
磷酸二氢钙 $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.50
氯化胆碱 Choline chloride	0.40
维生素 C 磷酸酯 Sodium L-ascorbyl-2-phosphate	0.15
大豆磷脂粉 Soybean phospholipid	2.00
豆油 Soybean oil	1.00
鱼油 Fish oil	1.50
猪油 Pork lard	1.00
食盐 Salt	0.20

1.3 生化分析

按照 AOAC (1995) 的标准方法测定水分 (105°C 下烘干至恒重)、蛋白 (凯氏定氮法) 和灰分 (550°C 下灼烧至恒重) 含量。Folch 法测定总脂含量 (Folch et al. 1957)。根据吴旭干等 (2007) 的方法进行脂类和脂肪酸分析。采用三氟化硼法对总脂进行甲脂化处理 (Morrison et al. 1964), 旋转蒸发到所需浓度进行脂肪酸分析, 所用仪器为 Agilent-6890 气相色谱, 毛细管柱型号为 Omegawax320 ($30.0\text{ m} \times 0.25\text{ mm}$, USA), 进样口温度为 200°C , FID 检测器的温度为 260°C , 起始柱温为 140°C , 逐步升高到 240°C , 直到所有组分全部出峰。脂肪酸定量采用面积百分比法, 脂肪酸相对保留率的计算方法依据赵亚婷等 (2013) 的方法。每组样品均重复测定 4 次, 饵料样品重复测定 3 次。

1.4 数据统计与分析

三疣梭子蟹体重增重率 (%) 计算公式为 $100\% \times (W_t - W_0) / W_0$, 体重特定增长率 (%/d) 的计算公式为 $100\% \times (\ln W_t - \ln W_0) / D$, 肝胰腺指数 (%) 的计算公式为 $100\% \times W_1 / W_t$, 肌肉指数 (%) 的计算公式为 $100\% \times W_2 / W_t$, 式中, W_t 指实验终蟹体重 (g), W_0 指实验初蟹体重 (g), D 指实验天数 (d), W_1 指肝胰腺湿重 (g), W_2 指肌肉湿重 (g)。

实验结果用平均值 \pm 标准差表示, 采用 SPSS 11.5 软件对实验数据进行统计分析, 用 Levene 法进行方差齐性检验, 不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或者平方根处理, 采用 ANOVA 对实验结果进行方差分析, 采用 Tukey's 法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异显著性标准。

2 结果

2.1 三种饵料的生化组成

三种饵料的生化组成见表 2。就湿重而言, 猪肺的水分含量最高, 配合饲料的水分含量最低, 配合饲料蛋白、总脂和灰分含量显著高于

表 2 三种饵料的生化组成

Table 2 Biochemical composition of three diets

	生化成分 Biochemical composition	配合饲料 Formulated diet	杂鱼 Trash fish	猪肺 Pig lung
湿重 Wet weight	水分 Moisture (%)	7.42 ± 0.08 ^a	75.57 ± 1.14 ^b	86.18 ± 0.36 ^c
	蛋白 Protein (%)	40.24 ± 0.08 ^a	16.02 ± 0.44 ^b	10.44 ± 0.15 ^c
	总脂 Total lipids (%)	6.19 ± 0.19 ^a	2.30 ± 0.14 ^b	1.63 ± 0.03 ^c
	灰分 Ash (%)	8.49 ± 0.14 ^b	4.71 ± 0.25 ^c	0.67 ± 0.06 ^a
干重 Dry weight	蛋白 Protein (%)	43.46 ± 0.09 ^a	65.58 ± 1.79 ^b	75.51 ± 1.08 ^c
	总脂 Total lipids (%)	6.69 ± 0.20 ^a	9.41 ± 0.57 ^b	11.83 ± 0.23 ^c
	灰分 Ash (%)	9.17 ± 0.15 ^b	19.26 ± 1.01 ^c	4.82 ± 0.40 ^a
	脂肪酸 Fatty acids (%)			
	C14:0	2.72 ± 0.34 ^b	5.20 ± 1.32 ^c	1.39 ± 0.05 ^a
	C16:0	20.23 ± 1.78 ^a	23.94 ± 0.30 ^b	30.60 ± 1.01 ^c
	C17:0	0.39 ± 0.05	0.50 ± 0.16	0.25 ± 0.05
	C18:0	6.14 ± 0.57 ^a	7.19 ± 0.35 ^b	15.19 ± 0.74 ^c
	C22:0	0.56 ± 0.40	0.40 ± 0.16	0.26 ± 0.11
	∑SFA	30.73 ± 2.18 ^a	37.82 ± 0.02 ^b	48.81 ± 1.37 ^c
	C16:1	3.12 ± 0.34 ^b	7.66 ± 0.68 ^c	1.35 ± 0.30 ^a
	C18:1n9	16.25 ± 0.79 ^b	11.64 ± 0.69 ^a	26.75 ± 0.75 ^c
	C18:1n7	2.23 ± 0.32 ^b	2.31 ± 0.42 ^b	1.27 ± 0.42 ^a
	C20:1	0.50 ± 0.08 ^b	0.35 ± 0.11 ^a	0.50 ± 0.02 ^b
	C24:1	0.29 ± 0.04 ^a	0.57 ± 0.15 ^b	0.49 ± 0.11 ^b
	∑MUFA	22.41 ± 0.60 ^a	22.59 ± 0.51 ^a	30.55 ± 0.95 ^b
	C18:2n6	27.43 ± 0.78 ^c	1.98 ± 0.14 ^a	7.67 ± 0.61 ^b
	C18:3n3	3.96 ± 0.71 ^b	0.42 ± 0.06 ^a	0.34 ± 0.21 ^a
	C20:2n6	0.54 ± 0.41 ^{ab}	0.28 ± 0.14 ^a	0.49 ± 0.06 ^b
	C20:4n6	0.53 ± 0.13 ^a	2.06 ± 0.34 ^b	5.21 ± 0.40 ^c
	C20:5n3	4.78 ± 0.56 ^b	11.48 ± 0.78 ^c	0.13 ± 0.01 ^a
	C22:6n3	6.49 ± 1.11 ^b	12.08 ± 0.45 ^c	0.15 ± 0.02 ^a
	∑PUFA	43.94 ± 1.70 ^c	29.98 ± 0.04 ^b	14.34 ± 0.57 ^a
	n3PUFA	15.33 ± 0.94 ^b	24.50 ± 0.03 ^c	0.56 ± 0.03 ^a
	n6PUFA	28.61 ± 0.84 ^c	4.97 ± 0.88 ^a	13.78 ± 0.60 ^b
	n3/n6	0.54 ± 0.02 ^b	4.47 ± 0.06 ^c	0.04 ± 0.00 ^a
	∑HUFA	12.02 ± 1.84 ^b	26.55 ± 0.06 ^c	5.84 ± 0.59 ^a
	DHA/EPA	1.35 ± 0.12 ^b	1.02 ± 0.07 ^a	1.16 ± 0.10 ^{ab}
	ARA/EPA	0.11 ± 0.02	0.18 ± 0.02	42.98 ± 0.68

表中脂肪酸含量均为占总脂肪酸的百分含量, 百分比含量小于 0.5% 的脂肪酸在表中未列出; SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; HUFA. 高度不饱和脂肪酸; n-3/n-6. n-3 与 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量的比值; DHA/EPA. 二十碳五烯酸与二十二碳六烯酸比例; ARA/EPA. 花生四烯酸二十二碳六烯酸比例; 同一行数据上标不含相同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids however, the content of any fatty acid less than 0.5% of total fatty acids was not included in the table; SFA means saturated fatty acids; MUFA means mono-unsaturated fatty acids; PUFA means poly-unsaturated fatty acids; HUFA means highly-unsaturated fatty acids; n-3/n-6 means the ratio of $\sum n-3\text{PUFA}/\sum n-6\text{PUFA}$; DHA/EPA. Docosahexaenoic acid / Eicosapentaenoic acid; ARA/EPA. Arachidonic acid / Eicosapentaenoic acid; Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

其他两种饵料, 猪肺中蛋白、总脂和灰分含量显著低于其他两种饵料。就饵料干物质中常规生化成分而言, 猪肺干物质中的蛋白和总脂含量较高, 灰分含量最低; 杂鱼中灰分含量最高, 总脂和蛋白含量仅次于猪肺, 显著高于配合饲料; 配合饲料干物质中蛋白、总脂和灰分含量均显著低于杂鱼和猪肺。就脂肪酸组成而言, 猪肺中的总饱和脂肪酸 (total saturated fatty acid, \sum SFA) 和单不饱和脂肪酸 (mono-unsaturated fatty acid, MUFA) 含量最高, 主要是由于其 C16:0、C18:0 和 C18:1n9 含量显著高于其他两种饵料, 猪肺中总多不饱和脂肪酸 (total poly-unsaturated fatty acids, \sum PUFA) 和总高度不饱和脂肪酸 (total highly unsaturated fatty acid, \sum HUFA) 含量最低, 但 C20:4n6 含量显著高于其他两种饵料。配合饲料中的饱和脂肪酸 (saturated fatty acids, SFA) 含量最低, 总多不饱和脂肪酸 (\sum PUFA) 含量最高, 主要是由于 C18:2n6 含量较高造成的, C18:2n6 占配合饲料中多不饱和脂肪酸

(poly-unsaturated fatty acids, PUFA) 的 62%。杂鱼中的高度不饱和脂肪酸 (highly unsaturated fatty acid, HUFA) 含量显著高于其他两种饵料, 特别是 C20:5n3 和 C22:6n3。

2.2 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体成活、蜕壳、生长和组织指数的影响

3 种饵料对三疣梭子蟹亚成体的成活率和蜕壳影响显著, 整体上配合饲料组成活率最高, 达 90%, 杂鱼组仅为 43% 左右, 猪肺组成活率居于这两组之间。杂鱼组死亡个体大部分是由于蜕壳死亡综合症 (molting death syndrome, MDS) 造成的 (图 1a, b), 其症状大部分是大螯或附肢不能顺利从旧壳中蜕出。其他两饵料组大部分个体可以顺利蜕壳 (图 1c), 因此成活率较高, 无明显蜕壳死亡综合症 (MDS) 死亡现象。配合饲料组的蜕壳间隔显著短于杂鱼组; 猪肺组的蜕皮间隔居于两者之间, 但是和其他两组差异均不显著 (表 3)。实验结束时, 配合饲料组完成 2 次蜕壳的比例最高, 且其体重显著大于其他两个饵料组; 杂鱼组完成 2 次

表 3 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体成活、蜕壳、生长、肝胰腺指数和肌肉指数的影响

Table 3 Effects of three diets on the survival, molting, growth, hepatopancreatic index and muscular index of pre-adult *Portunus trituberculatus*

指标 Indices	配合饲料 Formulated diet	杂鱼 Trash fish	猪肺 Pig lung
成活数 Survival number	27	13	23
成活率 Survival (%)	90.00 ± 10.00 ^b	43.33 ± 11.55 ^a	76.67 ± 7.07 ^b
蜕壳间隔 Molting interval (d)	33.44 ± 6.78 ^a	43.20 ± 7.33 ^b	39.20 ± 4.27 ^{ab}
2 次蜕壳个体比例 Percentage of second molting (%)	59.35 ± 3.51 ^b	39.29 ± 3.79 ^a	48.88 ± 15.40 ^{ab}
1 次蜕壳个体比例 Percentage of first molting (%)	40.65 ± 3.51 ^a	60.71 ± 3.79 ^b	51.11 ± 15.40 ^{ab}
初体重 Initial body weight (g)	73.42 ± 12.97	72.65 ± 15.34	70.53 ± 9.88
2 次蜕壳个体的体重 Body weight after the second molting (g)	167.12 ± 22.78 ^b	147.89 ± 27.32 ^a	147.58 ± 32.24 ^a
1 次蜕壳个体的体重 Body weight after the first molting (g)	106.90 ± 22.41	89.93 ± 14.04	97.21 ± 15.14
平均终体重 Mean final body weight (g)	157.96 ± 24.09 ^b	122.56 ± 30.72 ^a	120.19 ± 29.10 ^a
增重率 Weight gain rate (%)	125.28 ± 57.36 ^b	72.71 ± 31.16 ^a	69.43 ± 48.23 ^a
体重特定增长率 Special growth rate (%/d)	1.12 ± 0.35 ^b	0.76 ± 0.26 ^a	0.71 ± 0.38 ^a
肝胰腺指数 Hepatopancreatic index (%)	7.77 ± 1.58	6.69 ± 2.20	5.85 ± 1.05
肌肉指数 Muscular index (%)	27.45 ± 3.52	27.44 ± 5.24	27.81 ± 6.48

同一行数据上标不含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).



图 1 三疣梭子蟹蜕壳综合症个体和正常蜕壳个体

Fig. 1 Dead crabs from molting death syndrome and normal molting crabs

1. 蜕壳综合症死亡个体正面观；2. 蜕壳综合症死亡个体腹面观；3. 正常蜕壳后的个体（上）和旧壳（下）。

1. The correct side of dead crab with molting death syndrome; 2. The opposite side of dead crab with molting death syndrome; 3. The normal molted crab (upper) and old carapace (below).

蜕壳的比例最低，且体重最低。饲料组的终体重、增重率和特定增长率均显著高于其他两组 ($P < 0.05$)；杂鱼组的终体重、增重率和特定增长率仅略高于猪肺组，但两者间差异不显著。肝胰腺指数配合饲料组最高，猪肺组最低，但是三者间均无显著差异。三者的肌肉指数均在 27% 左右，无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体常规生化成分的影响

不同饵料组肝胰腺和肌肉的常规生化组成见表 4。就肝胰腺湿组织而言，猪肺组的水分含量最高，其他成分均最低；杂鱼组的水分含量最低，其余成分均最高 ($P < 0.05$)，特别是脂肪和灰分含量，杂鱼组肝胰腺中脂肪和灰分含量比其他两组高出 1~2 倍。就肝胰腺干物质中常规生化成分而言，配合饲料组蛋白含量最高，脂肪含量最低；杂鱼组脂肪和灰分含量最高，蛋白含量最低；猪肺组灰分含量最低，蛋白和脂肪含量居于其他两组之间。就肌肉湿组织而言，杂鱼组肌肉中水分含量略低于其他两组，但三者差异不显著，杂鱼组肌肉中蛋白、脂肪和灰分含量显著高于其他两组，其他两个饵料组这三种常规生化成分均无显著差异。就肌肉干物质中常规生化成分而言，猪肺组蛋白和灰分含量最高，杂鱼组蛋白和脂肪含量最低，配合饲料组脂肪含量最高。

2.4 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体脂肪酸组成的影响

表 5 为不同饵料组三疣梭子蟹肝胰腺的脂肪酸组成。就饱和脂肪酸 (SFA) 而言，配合饲料组 C16:0 和 C22:0 含量最低，其他 3 种饱和脂肪酸均处于中间水平，杂鱼组 C18:0 含量最低，猪肺组 C16:0 和 C18:0 显著高于其他两组，由于 C16:0 和 C18:0 是两种主要的饱和脂肪酸，因此猪肺组总饱和脂肪酸含量最高，杂鱼组次之，配合饲料组含量最低。就单不饱和脂肪酸 (MUFA) 而言，肝胰腺中主要为 C16:1n、C18:1n9 和 C18:1n7，配合饲料组肝胰腺中 C16:1n 含量最低，其余单不饱和脂肪酸均为中等含量，杂鱼组肝胰腺中 C16:1n7 和 C18:1n7 含量最高，猪肺组肝胰腺中 C18:1n9 含量最高，整体上三组的肝胰腺中总单不饱和脂肪酸的含量顺序为猪肺组最高，杂鱼组次之，配合饲料组最低。就多不饱和脂肪酸 (PUFA) 而言，配合饲料组的 C18:2n6 和 C18:3n3 含量最高，C20:4n6 含量最低；杂鱼组 C18:2n6、C18:3n3 和 C20:2n6 含量最低，而 C20:5n3 和 C22:6n3 含量最高；猪肺组肝胰腺中 C18:3n3、C20:5n3 和 C22:6n3 含量最低，而 C20:4n6 含量最高；总多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 的含量顺序为配合饲料组最高，杂鱼组次之，猪肺组最低。总高度不饱和脂肪酸 (Σ HUFA) 的含量顺序为杂

表 4 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体常规生化成分的影响

Table 4 Effects of different diets on proximate composition of pre-adult *Portunus trituberculatus*

		配合饲料 Formulated diet	杂鱼 Trash fish	猪肺 Pig lung
肝胰腺 Hepatopancreas				
湿重 Wet weight	水分 Moisture (%)	75.60 ± 3.55 ^{ab}	63.53 ± 10.93 ^a	78.17 ± 4.05 ^b
	蛋白 Protein (%)	10.10 ± 0.22 ^b	15.34 ± 0.19 ^c	8.60 ± 0.30 ^a
	脂肪 Total lipids (%)	7.44 ± 2.14 ^a	15.07 ± 2.46 ^b	7.94 ± 1.22 ^a
	灰分 Ash (%)	1.11 ± 0.08 ^b	2.52 ± 0.15 ^c	0.67 ± 0.06 ^a
干重 Dry weight	蛋白 Protein (%)	41.41 ± 0.90 ^b	36.51 ± 0.45 ^a	39.40 ± 1.38 ^b
	脂肪 Total lipids (%)	28.45 ± 5.42 ^a	35.95 ± 3.26 ^b	33.36 ± 5.76 ^{ab}
	灰分 Ash (%)	4.56 ± 0.32 ^b	5.98 ± 0.36 ^c	3.08 ± 0.27 ^a
肌肉 Muscle				
湿重 Wet weight	水分 Moisture (%)	80.64 ± 1.73	78.62 ± 3.92	81.49 ± 2.30
	蛋白 Protein (%)	15.94 ± 0.12 ^a	18.07 ± 0.07 ^b	15.86 ± 0.13 ^a
	脂肪 Total lipids (%)	1.22 ± 0.03 ^a	1.31 ± 0.02 ^b	1.15 ± 0.03 ^a
	灰分 Ash (%)	1.28 ± 0.09 ^a	1.54 ± 0.04 ^b	1.32 ± 0.04 ^a
干重 Dry weight	蛋白 Protein (%)	82.33 ± 0.62 ^a	81.67 ± 0.31 ^a	85.66 ± 0.68 ^b
	脂肪 Total lipids (%)	6.31 ± 0.15 ^b	5.91 ± 0.10 ^a	6.23 ± 0.05 ^b
	灰分 Ash (%)	6.63 ± 0.49	6.94 ± 0.18	7.14 ± 0.20

同一行数据上标不含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

鱼组最高, 配合饲料组次之, 猪肺组最低。

表 6 为不同饵料组三疣梭子蟹肌肉的脂肪组成。就饱和脂肪酸 (SFA) 而言, 除 C14:0 和 C17:0 外, 三个饵料组肌肉中的含量并无显著差异。就单不饱和脂肪酸 (MUFA) 而言, 猪肺组肌肉中 C18:1n9 含量最高, 其他几种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 含量均最低, 杂鱼组 C16:1n 含量最高, 整体上, 肌肉中总单不饱和脂肪酸含量顺序为猪肺组最高, 杂鱼组次之, 配合饲料组最低。就多不饱和脂肪酸 (PUFA) 含量而言, 配合饲料组的 C18:2n6、C18:3n3 和 C20:2n6 含量最高, 但 C20:4n6 含量最低; 杂鱼组肌肉中 C20:5n3 和 C22:6n3 含量最高, 而 C18:2n6、C18:3n3 和 C20:2n6 含量最低; 猪肺组肌肉中 C20:5n3 和 C22:6n3 含量最低, 而 C20:4n6 含量最高; 整体上, 配合饲料组肌肉中总多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 含量最高, 而杂鱼组总高度不饱和脂肪酸 (Σ HUFA) 含量最

高。

表 7 为不同饵料组三疣梭子蟹亚成体肝胰腺和肌肉中多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的相对保留率。配合饲料组肝胰腺和肌肉对饵料中 C18:2n6 和 C18:3n3 相对保留率最低, 杂鱼组三疣梭子蟹对饵料中 C18:2n6 相对保留率最高, 而猪肺组三疣梭子蟹对饵料中 C18:3n3 相对保留率最高。就组织中 C20:4n6 相对保留率而言, 配合饲料组最高, 其他两组较接近; 无论是肝胰腺还是肌肉, 杂鱼组三疣梭子蟹对饵料中 C20:5n3 和 C22:6n3 相对保留率最低, 猪肺组最高, 配合饲料组居于中间。

3 讨论

3.1 不同饵料对三疣梭子蟹养殖性能的影响

有关三疣梭子蟹营养饲料的研究主要集中在幼蟹阶段 (初始体重通常小于 20 g), 缺乏对亚成体阶段营养饲料的研究 (丁雪燕等 2010,

表 5 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体肝胰腺脂肪酸组成的影响

Table 5 Effects of different diets on hepatopancreatic fatty acids of pre-adult *Portunus trituberculatus*

脂肪酸 Fatty acids	配合饲料 Formulated diet	杂鱼 Trash fish	猪肺 Pig lung
C14:0	1.42 ± 0.09 ^a	2.74 ± 0.43 ^b	1.01 ± 0.34 ^a
C16:0	20.27 ± 0.81 ^a	25.45 ± 2.33 ^{ab}	28.33 ± 1.33 ^b
C18:0	7.25 ± 0.06 ^b	6.81 ± 0.07 ^a	9.45 ± 0.15 ^c
C20:0	0.44 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.10 ^b	0.42 ± 0.08 ^a
C22:0	0.37 ± 0.08	0.53 ± 0.18	0.44 ± 0.21
ΣSFA	30.65 ± 0.74 ^a	37.33 ± 2.35 ^b	40.71 ± 1.10 ^c
C16:1	2.28 ± 0.14 ^a	7.05 ± 0.49 ^c	3.06 ± 0.33 ^b
C18:1n9	23.67 ± 0.16 ^b	21.16 ± 0.47 ^a	32.45 ± 0.39 ^c
C18:1n7	5.04 ± 0.26 ^b	5.31 ± 0.07 ^b	3.95 ± 0.11 ^a
C20:1	1.52 ± 0.61	1.00 ± 0.06	0.94 ± 0.19
ΣMUFA	32.71 ± 0.31 ^a	34.66 ± 0.86 ^b	40.55 ± 0.50 ^c
C18:2n6	17.36 ± 0.17 ^c	2.62 ± 0.11 ^a	6.24 ± 0.09 ^b
C18:3n3	1.38 ± 0.14 ^b	0.22 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.01 ^a
C20:2n6	1.68 ± 0.09 ^c	0.73 ± 0.37 ^a	1.23 ± 0.11 ^b
C20:4n6	1.12 ± 0.14 ^a	1.62 ± 0.01 ^b	4.03 ± 0.08 ^c
C20:5n3	3.31 ± 0.09 ^b	4.56 ± 0.50 ^c	0.75 ± 0.20 ^a
C22:6n3	6.52 ± 0.13 ^b	10.62 ± 0.78 ^c	1.27 ± 0.42 ^a
ΣPUFA	31.78 ± 0.35 ^c	20.82 ± 1.72 ^b	14.48 ± 0.24 ^a
Σn3PUFA	11.32 ± 0.18 ^b	15.48 ± 1.19 ^c	2.58 ± 0.11 ^a
Σn6PUFA	20.47 ± 0.23 ^c	5.34 ± 0.59 ^a	11.90 ± 0.16 ^b
n3/n6	0.55 ± 0.01 ^b	2.91 ± 0.18 ^c	0.22 ± 0.01 ^a
ΣHUFA	11.07 ± 0.29 ^b	16.98 ± 1.27 ^c	6.44 ± 0.73 ^a
DHA/EPA	1.97 ± 0.03 ^b	2.34 ± 0.21 ^c	1.68 ± 0.14 ^a
ARA/EPA	0.34 ± 0.04 ^a	0.36 ± 0.04 ^a	5.72 ± 1.81 ^b

表中脂肪酸含量均为占总脂肪酸的百分含量，百分比含量小于 0.5% 的脂肪酸在表中未列出；SFA. 饱和脂肪酸；MUFA. 单不饱和脂肪酸；PUFA. 多不饱和脂肪酸；HUFA. 高度不饱和脂肪酸；n-3/n-6. n-3 与 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量的比值；DHA/EPA. 二十碳五烯酸与二十二碳六烯酸比例；ARA/EPA. 花生四烯酸二十二碳六烯酸比例；同一行数据上标不含相同字母表示差异显著， $P < 0.05$ 。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids while the fatty acid with less than 0.5% of total fatty acids was not included; SFA means saturated fatty acids; MUFA means mono-unsaturated fatty acids; PUFA means poly-unsaturated fatty acids; HUFA means highly-unsaturated fatty acids; n-3/n-6 means the ratio of $\Sigma n-3PUFA/\Sigma n-6PUFA$; DHA/EPA. Docosahexaenoic acid / Eicosapentaenoic acid; ARA/EPA. Arachidonic acid / Eicosapentaenoic acid; Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

杨印璞等 2013)。虾蟹类亚成体是接近生殖蜕壳的个体，通常再经过 1 ~ 2 次蜕壳即可完成生殖蜕壳，进入性腺发育阶段 (Li et al. 2011)。同种虾蟹的不同生长阶段营养需求有所不同，通常亚成体阶段的蛋白需求低于幼体和稚体阶

段，但脂肪需求较高 (Cortés-Jacinto et al. 2003, 2004, Li et al. 2011)，且亚成体阶段雌雄个体表现出较大的性别差异 (Curtis et al. 1995, Wouters et al. 2001)。本研究结果表明，配合饲料可以保证三疣梭子蟹亚成体正常生长和蜕壳，

表 6 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体肌肉脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of different diets on muscular fatty acids of pre-adult *Portunus trituberculatus*

脂肪酸 Fatty acids	配合饲料 Formulated diet	杂鱼 Trash fish	猪肺 Pig lung
C14:0	0.59 ± 0.09 ^b	0.98 ± 0.05 ^c	0.42 ± 0.05 ^a
C16:0	15.91 ± 0.76	16.20 ± 0.93	16.64 ± 0.68
C17:0	0.51 ± 0.02 ^b	0.53 ± 0.12 ^{ab}	0.44 ± 0.02 ^a
C18:0	9.50 ± 0.42	8.86 ± 0.28	8.99 ± 0.43
ΣSFA	27.41 ± 0.95	27.80 ± 0.97	27.30 ± 0.86
C16:1	1.65 ± 0.25 ^b	3.23 ± 0.48 ^c	1.35 ± 0.07 ^a
C18:1n9	16.11 ± 0.58 ^a	16.06 ± 1.02 ^a	19.59 ± 0.93 ^b
C18:1n7	3.36 ± 0.54	3.52 ± 0.66	2.56 ± 0.62
C22:1n9	0.56 ± 0.06	0.67 ± 0.10	0.52 ± 0.07
ΣMUFA	21.88 ± 0.27 ^a	23.77 ± 1.52 ^b	25.09 ± 0.84 ^c
C18:2n6	9.45 ± 0.45 ^c	2.58 ± 0.37 ^a	6.00 ± 0.97 ^b
C18:3n3	0.77 ± 0.25 ^b	0.19 ± 0.06 ^a	0.19 ± 0.01 ^a
C20:2n6	1.21 ± 0.19 ^b	0.69 ± 0.12 ^a	1.04 ± 0.27 ^b
C20:4n6	2.80 ± 0.13 ^a	3.21 ± 0.13 ^b	9.32 ± 0.49 ^c
C20:5n3	16.03 ± 0.44 ^b	17.12 ± 0.44 ^c	12.36 ± 0.48 ^a
C22:6n3	14.51 ± 0.43 ^b	17.60 ± 1.79 ^c	10.93 ± 0.15 ^a
ΣPUFA	45.02 ± 1.67 ^b	41.56 ± 1.41 ^a	41.71 ± 0.81 ^a
Σn3PUFA	31.42 ± 0.92 ^b	34.98 ± 1.67 ^c	23.73 ± 0.81 ^a
Σn6PUFA	13.59 ± 0.81 ^b	6.58 ± 0.27 ^a	16.67 ± 1.74 ^a
n3/n6	2.32 ± 0.09 ^b	5.33 ± 0.47 ^c	1.43 ± 0.13 ^a
ΣHUFA	33.53 ± 0.96 ^a	38.11 ± 1.76 ^b	33.01 ± 0.98 ^a
DHA/EPA	0.91 ± 0.01	1.03 ± 0.12	0.89 ± 0.04
ARA/EPA	0.17 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.00 ^b	0.75 ± 0.02 ^c

表中脂肪酸含量均为占总脂肪酸的百分含量, 百分比含量小于 0.5% 的脂肪酸在表中未列出; SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; HUFA. 高度不饱和脂肪酸; n-3/n-6. n-3 与 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量的比值; DHA/EPA. 二十碳五烯酸与二十二碳六烯酸比例; ARA/EPA. 花生四烯酸二十二碳六烯酸比例; 同一行数据上标不含相同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids while the fatty acid with less than 0.5% of total fatty acids was not included in the table; SFA means saturated fatty acids; MUFA means mono-unsaturated fatty acids; PUFA means poly-unsaturated fatty acids; HUFA means highly-unsaturated fatty acids; n-3/n-6 means the ratio of $\sum n-3\text{PUFA}/\sum n-6\text{PUFA}$; DHA/EPA. Docosahexaenoic acid / Eicosapentaenoic acid; ARA/EPA. Arachidonic acid / Eicosapentaenoic acid; Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

与杂鱼组和猪肺组相比, 配合饲料组三疣梭子蟹成活率较高、蜕皮间隔短和生长速度快。这说明本实验研制的三疣梭子蟹亚成体配合饲料基本可以满足梭子蟹亚成体生长的营养需求, 比杂鱼组和猪肺组具有更好的养殖性能, 可以进一步推广应用。海捕野杂鱼是目前三疣梭子

蟹池塘养殖的主要饵料, 在部分地区畜禽内脏(如猪肺)也被用于虾蟹养殖中作为饵料, 但是这些生物饵料其来源和质量均不稳定且有易污染水环境和携带致病菌等缺点, 因此养殖效果欠佳(陈金明等 2010, 黄福勇等 2010, 吴旭干等 2014)。杂鱼组成活率较低主要是由于

表 7 不同饵料对三疣梭子蟹亚成体肝胰腺和肌肉中 PUFA 的相对保留率

Table 7 Effects of different diets on the relative retention rate of dietary PUFA in the hepatopancreas and muscle of pre-adult *Portunus trituberculatus*

组织 Tissue	C18:2n6	C18:3n3	C20:4n6	C20:5n3	C22:6n3
肝胰腺 Hepatopancreas					
配合饲料组 Formulated diet	0.63	0.35	2.11	0.69	1.00
杂鱼组 Trash fish	1.32	0.52	0.79	0.40	0.88
猪肺组 Pig lung	0.81	0.53	0.77	5.77	8.47
肌肉 Muscle					
配合饲料组 Formulated diet	0.34	0.19	5.28	3.35	2.24
杂鱼组 Trash fish	1.30	0.45	1.56	1.49	1.46
猪肺组 Pig lung	0.78	0.56	1.79	95.08	72.87

蜕壳死亡综合症 (MDS) 造成, 很多个体不能顺利蜕去旧壳而死亡, 这可能与杂鱼中营养不平衡有关, 特别是脂类营养组成 (吴旭干等 2014)。蟹类蜕壳死亡综合症 (MDS) 可能与饲料中高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 组成和含量密切相关 (Sheen et al. 2002, Suprayudi et al. 2004, Dan et al. 2011), 饵料中过高或过低的高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 均会影响三疣梭子蟹幼体正常生长和蜕壳 (Takeuchi et al. 1999a, b)。迄今为止, 尚未见有关三疣梭子蟹亚成体对高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 需求量的报道, 三疣梭子蟹幼蟹的最佳高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 需求量约为 2.35% 左右 (张稳等 2014)。本研究中所采用的杂鱼高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 组成和含量可能不能满足亚成体正常生长和蜕壳的需要。此外, 海捕杂鱼腐败后通常含有组胺等有毒物质、杂鱼可能携带致病菌和有毒重金属等 (张金彪等 2012), 这些可能也是造成杂鱼组成活率较低的重要原因。猪肺中蛋白含量较高, 但缺乏 n-3 高度不饱和脂肪酸 (HUFA) (20:5n3 和 22:6n3), 因此该组三疣梭子蟹的生长速度较慢, 但是成活率和配合饲料组无显著差异, 类似的现象在三疣梭子蟹幼体中也有发现 (Takeuchi et al. 1999a)。值得一提的是, 本研究中 3 组三疣梭子蟹亚成体的特定增长率 (0.70 ~ 1.11) 均小于之前研究中幼蟹的特定增长率 (4.4 ~ 6.6) (杨印璞等

2013, 张稳等 2014), 这是因为随着三疣梭子蟹的生长, 亚成体每次蜕壳的增重率小于幼蟹, 且蜕壳周期变长。

3.2 不同饵料对三疣梭子蟹生化组成的影响

本研究结果表明, 杂鱼组三疣梭子蟹肝胰腺中脂肪含量显著高于配合饲料组和猪肺组, 猪肺组肝胰腺的脂肪含量 (% 干重) 显著高于配合饲料组, 可能三疣梭子蟹肝胰腺能够较好地消化吸收饵料中的脂肪并储存在肝胰腺中, 由于配合饲料中的脂肪含量显著低于杂鱼和猪肺, 故该组肝胰腺中脂肪含量较低; 杂鱼和猪肺中的脂肪酸组成可能影响三疣梭子蟹亚成体的正常生长和蜕壳, 肝胰腺中吸收的脂肪酸不能迅速运输到肌肉中供生长发育, 如杂鱼中 20:5n3 (EPA) 和 22:6n3 (DHA) 含量较高, 猪肺中缺乏 20:5n3 和 22:6n3, 但 16:0、18:0 和 20:4n6 含量最高, 因而这些脂肪酸在肝胰腺中积累导致其脂肪含量偏高, 类似的现象在中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 幼蟹中也有报道 (Wu et al. 2011)。杂鱼组肝胰腺中的水分含量较低, 这与其蛋白和脂肪含量较高有关。无论基于干重还是湿重, 各组三疣梭子蟹肌肉中的常规生化成分均比较稳定, 仅杂鱼组蛋白和总脂略高于其他两组, 这可能是由于本实验中生化分析样品均来自蜕壳间期, 蜕壳间期虾蟹肌肉中的常规生化成分相对稳定 (Tian et al. 2012, 杨印璞等 2013)。

就脂肪酸组成而言, 肝胰腺中大部分脂肪酸百分含量和饵料中对应脂肪酸含量具有良好的相关性, 也有部分脂肪酸与饵料中相关性不大, 如 C18:0、20:5n3 和 20:4n6 等, 这可能是由于三疣梭子蟹肝胰腺对饵料中的脂肪酸具有较强的选择性吸收、沉积和转运利用能力(杨印璞等 2013)。三疣梭子蟹亚成体肝胰腺中的 C18:1n9 和总单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著高于其饵料中的含量, 这是因为 C18:1n9 等是甲壳动物主要的能量脂肪酸之一, 蜕壳间期的三疣梭子蟹需要在肝胰腺中积累大量的单不饱和脂肪酸作为其后蜕壳过程中的能量来源(Galindo et al. 2009, 王伟 2014)。无论何种饵料组, 肝胰腺中 20:5n3 的相对保留率均低于 22:6n3, 这可能是由于肝胰腺中吸收的 20:5n3 被大量运输到肌肉等组织中供应其生长, 故肝胰腺中的 22:6n3/20:5n3 比值高于对应的肌肉和饵料。无论何种饵料组, 肌肉中的 C20:4n6、C20:5n3 和 C22:6n3 含量均显著高于肝胰腺和饵料, 这可能与三疣梭子蟹肌肉中需要高含量的高度不饱和脂肪酸(HUFA)来保证细胞膜的正常生理功能有关。尽管猪肺中的 C20:5n3 和 C22:6n3 百分含量均小于 0.2%, 但是猪肺组个体的肌肉中对应的含量均超过 10%, 其可能原因有二: 1) 三疣梭子蟹可以将猪肺中有限的 C20:5n3 和 C22:6n3 优先吸收和转运到肌肉中, 因此这两种脂肪酸在肌肉中的相对保留率较高; 2) 猪肺组三疣梭子蟹亚成体通过减少蜕壳后的增重率来保证肌肉中仍然具有一定含量的 C20:5n3 和 C22:6n3, 故猪肺组的增重率较低。

参 考 文 献

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington, VA, USA.: Association of Official Analytical Chemists, 971.
- Cort & Jacinto E, Villarreal-Colmenares H, Civera-Cerecedo R, et al. 2003. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture Nutrition*, 9(4): 207–213.
- Cort & Jacinto E, Villarreal-Colmenares H, Civera-Cerecedo R. 2004. Effect of dietary protein level on the growth and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture. *Aquaculture Research*, 35(1): 71–79.
- Curtis C M, Jones C M. 1995. Observations on monosex culture of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26(2): 154–159.
- Dan S, Hamasaki K. 2011. Effects of salinity and dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on the survival, development, and morphogenesis of the larvae of laboratory-reared mud crab *Scylla serrata* (Decapoda, Portunidae). *Aquaculture International*, 19(2): 323–338.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1): 497–509.
- Galindo C, Gaxiola G, Cuzon G, et al. 2009. Physiological and biochemical variations during the molt cycle in juvenile *Litopenaeus vannamei* under laboratory conditions. *Journal of Crustacean Biology*, 29(4): 544–549.
- Li J Y, Guo Z L, Gan X H, et al. 2011. Effect of different dietary lipid sources on growth and gonad maturation of pre-adult female *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Nutrition*, 17(4): 853–860.
- Morrison W R, Smith L M. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. *Journal of Lipid Research*, 5(4): 600–608.
- Sheen S S, Wu S W. 2002. Essential fatty acid requirements of juvenile mud crab, *Scylla serrata* (FORSKÅL, 1775). *Crustaceana*, 75(11): 1387–1401.
- Suprayudi M S, Takeuchi T, Hamasaki K. 2004. Effects of Artemia enriched with eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid on survival and occurrence of molting failure in megalop larvae of the mud crab *Scylla serrata*. *Fisheries Science*, 70(4): 650–658.
- Takeuchi T, Nakamoto Y, Hamasaki K, et al. 1999a. Requirement of n-3 highly unsaturated fatty acids for larval swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65(5): 797–803.

- Takeuchi T, Satoh N, Sekiya S et al. 1999b. The effect of dietary EPA and DHA on the molting rate of larval swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65(6): 998–1004.
- Tian Z H, Kang X J, Mu S M. 2012. The molt stages and the hepatopancreas contents of lipids, glycogen and selected inorganic elements during the molt cycle of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. *Fisheries Science*, 78(1): 76–84.
- Wouters R, Lavens P, Nieto J, et al. 2001. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. *Aquaculture*, 202(1/2): 1–21.
- Wu X G, Cheng Y X, Zeng C S, et al. 2010a. Reproductive performance and offspring quality of wild-caught and pond-reared swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock. *Aquaculture*, 301(1/4): 78–64.
- Wu X G, Cheng Y X, Zeng C S, et al. 2010b. Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock. *Aquaculture*, 303(1/4): 94–100.
- Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. 2011. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival and growth of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture Research*, 42(3): 457–468.
- 陈金明, 魏华, 沈竝. 2010. 克氏原螯虾卵巢发育时期组织脂肪含量及脂肪酸组成. *中国水产科学*, 17(6): 1278–1284.
- 丁雪燕, 何中央, 邱晓力, 等. 2010. 三疣梭子蟹不同生长阶段消化酶活性及配合饲料对其影响的研究. *动物营养学报*, 22(2): 492–497.
- 段青源, 麦康森, 申屠基康, 等. 2011. 不同蛋白质、脂肪水平对三疣梭子蟹生长和卵巢色素沉积的影响. *中国水产科学*, 18(4): 809–818.
- 韩涛, 王骥腾, 胡水鑫, 等. 2013. 饲料脂肪水平对三疣梭子蟹幼蟹生长及体组成的影响. *海洋与湖沼*, 44(5): 1276–1281.
- 黄福勇, 丁雪燕, 何中央, 等. 2010. 三疣梭子蟹生物学特性及氨基酸含量的研究. *饲料研究*, (3): 66–68.
- 李弋, 张稳, 金敏, 等. 2015. 饲料中维生素 E 水平对三疣梭子蟹幼蟹生长性能、血清非特异性免疫及抗氧化指标的影响. *动物营养学报*, 27(5): 1431–1439.
- 农业部渔业渔政管理局. 2014. 2014 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 56–58.
- 沈洁, 朱冬发, 胡泽辉, 等. 2011. 三疣梭子蟹蜕皮周期的分期. *水产学报*, 35 (10): 1481–1487.
- 王伟. 2014. 三疣梭子蟹蜕皮过程中营养、生长相关基因的克隆与表达分析. 上海: 上海海洋大学博士学位论文.
- 吴旭干, 成永旭, 唐伯平, 等. 2007. 瘤背石磺产卵前后体内的脂类和脂肪酸组成的变化. *动物学报*, 53(6): 1089–1100.
- 吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 2014. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响. *水产学报*, 38(2): 170–182.
- 杨印璞, 吴旭干, 王伟, 等. 2013. 纯化饲料、活饵料及其混合投喂对三疣梭子蟹幼蟹生长性能、肝胰腺指数和生化组成的影响. *上海海洋大学学报*, 22(1): 231–239.
- 张稳, 谢奉军, 金敏, 等. 2014. 饲料中 n-3 高不饱和脂肪酸含量对三疣梭子蟹幼蟹生长性能及脂肪酸组成的影响. *动物营养学报*, 26(5): 1254–1264.
- 张金彪, 杨筱珍, 范朋, 等. 2012. 两种常见海水鱼高温贮存过程中挥发性盐基氮和生物胺含量变化. *水生生物学报*, 36(2): 284–290.
- 赵亚婷, 吴旭干, 常国亮, 等. 2013. 饲料中 DHA 含量对中华绒螯蟹幼蟹生长、脂类组成和低氧胁迫的影响. *水生生物学报*, 37(6): 1133–1144.