

文章编号: 1674 - 5566(2013)02 - 0232 - 08

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

杨印蹊^{1,2}, 吴旭干^{1,2}, 王伟^{1,2}, 刘智俊^{1,2}, 楼宝³, 成永旭^{1,2}

(1. 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; 2. 上海海洋大学 水产养殖 E-研究院, 上海 201306; 3. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316100)

摘要: 采用单个体养殖实验和生化分析技术, 研究了纯化饲料(A组)、活饵料(章鱼和缢蛭, B组)和混合投喂(纯化饲料和活饵料有规律地交替使用, C组)对三疣梭子蟹幼蟹(初体重0.5 g左右)成活、生长性能、肝胰腺指数(HSI)和生化组成的影响。结果表明:(1) 3组幼蟹的成活率并无显著差异, 均在70%~80%之间;(2) A组和B组幼蟹的增重率、蜕壳周期、特定增长率和饲料系数无显著差异, C组幼蟹的第二次蜕壳周期和饲料系数显著低于其它两组, 其特定增长率显著高于其它两组;(3) 3种投喂方式的饵料对幼蟹的肝胰腺指数及其蛋白和脂肪含量影响显著, A组幼蟹肝胰腺指数及其脂肪含量显著高于其它两组, 但蛋白含量显著低于其它两组;(4) 就脂肪酸组成而言, A组肝胰腺和躯体中的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸均高于其它两组, 多不饱和脂肪酸和高度不饱和脂肪酸显著低于其它两组。因此, 研制的纯化饲料可以使三疣梭子蟹幼蟹获得较好的生长性能, 为进一步开展梭子蟹幼蟹营养需求研究奠定了良好的基础。

研究亮点: 三疣梭子蟹是我国重要的海水养殖对象, 先前其营养饲料研究几乎都是基于实用饲料, 由于实用饲料的营养组成复杂, 可能含有待研究需求量的营养素, 因此精确研究水产动物的营养需求需要开发合适的纯化饲料。比较了纯化饲料、生物饵料及混合投喂对三疣梭子蟹幼蟹生长性能和生化组成的影响, 结果显示该纯化饲料可以使幼蟹获得较好的生长性能, 可为进一步开展三疣梭子蟹的营养需求研究提供理论依据和实践参考。

关键词: 三疣梭子蟹; 纯化饲料; 活饵料; 生长性能; 生化成分

中图分类号: S 963

文献标志码: A

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)是我国重要的经济蟹类, 具有重要的经济价值和营养价值。随着市场需求的增加和野生资源的减少, 三疣梭子蟹养殖业自20世纪90年代, 在我国沿海迅速发展起来, 2009年人工养殖产量近10万吨^[1-2]。目前, 我国三疣梭子蟹养殖过程中主要大量投喂野杂鱼、低值贝类和软体动物等作为饵料, 由于这些生物饵料通常存在来源不稳定、成本偏高、污染水环境和易携带致病菌等缺点^[3-4], 而且大量捕捞近海低值野杂鱼虾, 非常不利于近海渔业资源的保护, 因此, 饵料问题已成为影响

三疣梭子蟹人工养殖业健康发展的制约因素之一^[5-6]。

近年来, 有关三疣梭子蟹的营养饲料研究日益增多^[3-7], 但是基本都是基于实用饲料的研究。由于实用饲料的原料(如鱼粉和豆粕等)营养组成较为复杂, 可能含有待研究需求量的某些营养素, 如高度不饱和脂肪酸、维生素E、磷脂和胆固醇等, 且不同产地和不同批次鱼粉和豆粕等可能存在较大的质量差异, 因而采用实用饲料研究水产动物的营养素需求量往往不够精确, 而且其结果很难被重复^[8-9], 因此在精确的营养素需求量

收稿日期: 2012-10-15 修回日期: 2012-12-16

基金项目: 国家自然科学基金(40806068); 上海高校创新团队项目(B5403-11-0001); 上海市教育委员会水产养殖E研究院特聘研究员项目(E03009)。

作者简介: 杨印蹊(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail:sonicsyang@foxmail.com

通信作者: 成永旭, E-mail:yxcheng@shou.edu.cn.

研究中,通常采用纯化饲料或者半纯化饲料作为实验饲料^[10-11],但是纯化饲料或半纯化饲料的适口性及饲养效果往往比实用饲料要差,甚至纯化饲料不能保证某些甲壳动物的正常生长发育,因而改进和优化纯化饲料组成,提高纯化饲料的饲养效果成为甲壳动物营养研究必须解决的一个重要问题^[12-13]。

本实验室在多年研究的基础上,研制出一种幼蟹营养研究的纯化饲料基础配方,应用于中华绒螯蟹幼蟹营养需求研究中取得了较好的效果^[14-15]。但是,迄今为止,尚未见纯化饲料对三疣梭子蟹生长和蜕壳影响的报道,这阻碍了三疣梭子蟹的营养需求的研究进展。鉴于此,本研究比较了纯化饲料、生物饵料和混合投喂(纯化饲料和生物饵料)对三疣梭子蟹幼蟹生长、蜕壳和生化组成的影响,结果可为进一步开展三疣梭子蟹的营养需求研究提供理论依据和实践参考。

1 材料与方 法

1.1 实验用蟹和养殖条件

三疣梭子蟹幼蟹于2009年6月购自浙江舟山宏福水产育苗场,甲壳宽为1.2 cm左右,初始体重在0.2 g左右,精心挑选肢体健全、活力较好的幼蟹80只,活体运输到上海海洋大学营养繁殖研究室,在室内循环水系统中暂养一周,暂养水族箱体积为150 L(长×宽×高=75 cm×53 cm×47 cm),箱底部放置无毒PVC管(直径15 cm,长15 cm)作为隐蔽物,每箱放10~15只幼蟹,暂养期间每日下午19:00按照蟹体重的5%~10%投喂章鱼,次日上午10点清理残饵和粪便。

实验用蟹暂养一周后,挑选45只肢体健全、活体较好、蜕壳后两天的幼蟹用于实验,由于三疣梭子蟹极易自相残杀导致成活率偏低,因此正式实验期间每只幼蟹均单独饲养于小型循环水族箱(水体体积7 L,长×宽×高=36 cm×24 cm×11 cm)中。实验期间自然光照,水体盐度为24,水温为24~26℃,pH为7.0~9.0,溶氧>5 mg/L;氨氮<0.5 mg/L,亚硝酸盐<0.15 mg/L。

1.2 实验设计和养殖管理

实验于2009年6月-9月在上海海洋大学营养繁殖研究室进行,实验分为3组,即纯化饲

料组、活饵料组(依次投喂章鱼 *Octopus variabilis* 和缢蛭 *Sinonovacula constricta*)和混合投喂组(依次投喂纯化饲料、章鱼和缢蛭)。实验饲料配方见表1,所有原料均经过80目粉碎。饲料制作过程参考SHEEN和WU^[16]的方法,首先将羧甲基纤维素充分溶解于80℃蒸馏水中,待溶液冷却至40℃,然后按比例依次加入表1中的各种原料,用磁力搅拌器充分混合后平铺于搪瓷托盘中,厚度为2.5 mm,然后切成3 mm×2 mm的方块。饲料于40℃条件下烘干后保存于-20℃冰箱中。

表1 实验纯化饲料的组成
Tab.1 Formulation of purified diets for experiment

配方组成	百分含量/%
酪蛋白	41.00
淀粉	27.65
纤维素	5
酵母提取物	4
多维	2.6
多矿	3
胆固醇	0.5
肌醇	0.6
氯化胆碱(纯度>50%)	1
甜菜碱	0.15
甘氨酸	0.5
大豆卵磷脂(纯度>90%)	3
羧甲基纤维素	4
16:0和18:1n9纯化混合脂	5
精制HUFA油	2

注:多维和多矿组成采用WU等^[14]配方;16:0和18:1n9混合脂的组成和含量参考MERICAN等^[17]。

每组饵料重复15只幼蟹,饲养于前述的循环水族箱中,分别投喂上述3组饵料,每日下午17:00按照蟹体重的3%~5%投喂纯化饲料,按蟹体重8%~12%投喂活饵料,具体投喂量需要根据摄食和残饵情况调整,投喂后两小时吸取残饵,烘干后称重。实验期间每次观察蜕壳和死亡情况,并做好记录,待幼蟹第二次蜕壳后4 d,取出该蟹称重后解剖,取出肝胰腺,并计算肝胰腺指数。参照常国亮^[15]的方法,去除肝胰腺、鳃、甲壳后的躯体也作为样品保存,所有样品于-40℃冰箱中保存,用于此后的生化测定。实验全部结束后,按下式统计各实验组的成活率、增重率、特定增长率、蜕壳周期、饵料系数和肝胰腺指数等。

$$W_{GR} = (W_t - W_0) \times 100 / W_0 \quad (1)$$

$$S_{GR} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t \quad (2)$$

$$F_{CR} = F / (W_t - W_0) \quad (3)$$

$$H_{SI} = W_h \times 100/W \quad (4)$$

式中: W_{GR} 为增重率(%); S_{GR} 为特定增长率(%); F_{CR} 为饵料系数; H_{SI} 为肝胰腺指数(%); W_0 为幼蟹初始体重(g); W_t 为幼蟹最终体重(g); F 为总摄食量(g); W_h 为肝胰腺重量(g); W 为幼蟹体重(g); t 为饲养天数(d)。

1.3 生化分析

按照 AOAC 的标准方法^[18]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;按 Folch 法测定总脂含量;采用苯酚-硫酸法^[19]测定碳水化合物含量, 标样为葡萄糖;根据吴旭干等^[20]的方法进行脂类和脂肪酸分析。用 IAROSANTM MK-6s 棒状薄层色谱扫描仪(IATRON LABORATORIES INC., Tokyo, Japan)进行脂类组成分析,展层液的体积比(室温, 20 ~ 30 °C)为 $V(\text{正己烷}):V(\text{乙醚}):V(\text{甲酸}) = 42:28:0.3$, 脂类标准品购自 Sigma 公司。采用三氟化硼法对总脂进行甲脂化处理, 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 cm × 0.32 mm ID × 0.25 μm, 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。脂类和脂肪酸定量均采用面积百分比法, 每组样品均重复测定 2 ~ 3 次。

1.4 数据统计与分析

实验结果用“平均值 ± 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 3 种饵料的生化组成

3 种饵料的生化组成见表 2。纯化饲料的水分、蛋白、灰分、磷脂和 HUFA 含量显著低于其它两种活饵料, 但碳水化合物含量显著高于两种活饵料; 章鱼的水分、蛋白、胆固醇和 HUFA 含量显著高于其它两种饵料, 缢蛭的灰分显著高于章鱼和纯化饲料。就脂肪酸组成而言, 章鱼中的饱和

脂肪酸、多不饱和脂肪酸和高度不饱和脂肪酸显著高于其它两种饵料, 纯化饲料中的单不饱和脂肪酸含量最高, 其中 C18:1n9 和 C16:1n7 是单不饱和脂肪酸中的优势脂肪酸, 占 85.29%。纯化饲料中的 20:4n6、20:5n3、22:6n3、 Σ PUFA 和 Σ HUFA 均显著低于其他两组饵料, 但 18:2n6 显著高于其它两组饵料。

表 2 3 种饵料的生化组成

Tab. 2 Biochemical composition of three diets %

	纯化饲料	章鱼	缢蛭
水分(湿重)	8.28 ± 0.81 ^a	86.23 ± 0.46 ^c	82.26 ± 0.59 ^b
蛋白(干重)	39.70 ± 0.60 ^a	74.73 ± 0.55 ^c	57.22 ± 1.42 ^b
总脂(干重)	12.13 ± 0.54	11.45 ± 0.39	11.23 ± 0.47
碳水化合物(干重)	36.08 ± 1.12 ^c	3.00 ± 0.18 ^a	14.10 ± 0.85 ^b
灰分(干重)	5.85 ± 0.14 ^a	10.70 ± 1.55 ^b	15.24 ± 0.46 ^c
磷脂(干重)	2.77 ± 0.25 ^a	9.78 ± 0.49 ^c	6.99 ± 0.34 ^b
胆固醇(干重)	0.51 ± 0.04 ^a	1.16 ± 0.17 ^b	0.57 ± 0.16 ^a
HUFA(干重)	0.94 ± 0.05 ^a	2.53 ± 0.03 ^c	1.86 ± 0.02 ^b
主要脂肪酸组成 (总脂肪酸)			
C14:0	5.00 ± 0.17 ^c	0.81 ± 0.05 ^a	2.73 ± 0.12 ^b
C16:0	18.82 ± 0.20 ^a	23.12 ± 0.17 ^b	18.99 ± 0.28 ^a
C18:0	5.85 ± 0.09 ^a	7.62 ± 0.34 ^b	6.07 ± 2.42 ^{ab}
Σ SFA	31.63 ± 0.27 ^a	32.50 ± 0.00 ^b	30.46 ± 2.02 ^{ab}
C14:1n7	1.06 ± 0.04 ^a	1.30 ± 0.17 ^b	0.99 ± 0.02 ^a
C16:1n7	6.25 ± 0.11 ^b	0.44 ± 0.06 ^a	6.58 ± 0.13 ^c
C18:1n9	22.73 ± 0.21 ^b	2.02 ± 0.08 ^a	2.43 ± 0.69 ^a
C18:1n7	2.39 ± 0.09 ^b	1.58 ± 0.03 ^a	2.90 ± 1.02 ^b
C20:1n	1.31 ± 0.05 ^a	5.54 ± 0.07 ^c	2.80 ± 0.04 ^b
Σ MUFA	34.02 ± 0.03 ^c	11.00 ± 0.28 ^a	17.16 ± 2.74 ^b
C18:2n6	13.83 ± 0.19 ^b	0.38 ± 0.07 ^a	0.71 ± 0.53 ^a
C18:3n3	1.93 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.01 ^a	2.87 ± 0.01 ^c
C20:4n6	0.32 ± 0.00 ^a	2.68 ± 0.22 ^c	2.31 ± 0.00 ^b
C20:5n3	3.96 ± 0.02 ^a	13.13 ± 0.06 ^c	10.66 ± 0.26 ^b
C22:6n3	3.45 ± 0.09 ^a	30.44 ± 0.78 ^c	7.61 ± 0.25 ^b
Σ PUFA	26.35 ± 0.48 ^a	49.71 ± 1.00 ^c	34.33 ± 0.13 ^b
Σ HUFA	8.40 ± 0.12 ^a	48.51 ± 1.15 ^c	25.26 ± 0.61 ^b
Σ n3PUFA	10.52 ± 0.25 ^a	45.69 ± 1.12 ^c	24.21 ± 0.60 ^b
Σ n6PUFA	15.01 ± 0.23 ^c	3.95 ± 0.13 ^a	7.74 ± 0.49 ^b

注: 表中数值以 $M \pm SD$ 表示; 其中 Σ SFA 为饱和脂肪酸含量总和; Σ MUFA 为单不饱和脂肪酸含量总和; Σ PUFA 为多不饱和脂肪酸含量的总和; Σ HUFA 为高不饱和脂肪酸含量的总和。同一行数据上标不含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹生长、蜕壳和饲料系数的影响

不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹的增重率和第一次蜕壳周期并无显著差异(表 3), 各组幼蟹的成活率均在 70% ~ 80% 之间, 也无显著差异。尽管混合投喂组的平均增重率高达 1 124.96%, 但

是统计学并无显著差异。混合投喂组的第二次蜕壳周期显著短于其他两组饵料,特定增长率显著高于其他两组。尽管活饵料组的第二次平均蜕壳周期短于纯化饲料组,特定增长率高于纯化饲料组,但是由于不同个体之间的差异较大,故

统计学上并无显著差异。无论何组幼蟹,第二次蜕壳周期均长于第一次蜕壳周期。就饲料系数而言,混合投喂组的饵料系数最低($P < 0.01$),仅0.70左右,纯化饲料组的饵料系数最高,达1.35左右。

表3 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹生长、蜕壳、特定增长率和饲料系数的影响

Tab.3 Effects of three diet groups on growth, molting and feed conversion rate of juvenile *Portunus trituberculatus*

	纯化饲料组	活饵料组	混合投喂组
初体重/g	0.47 ± 0.15	0.52 ± 0.21	0.43 ± 0.14
终体重/g	3.90 ± 1.27	4.00 ± 1.83	4.72 ± 1.51
增重率/%	799.64 ± 343.79	703.91 ± 371.06	1 124.96 ± 550.91
第一次蜕壳周期/d	17.14 ± 4.14	13.87 ± 3.68	14.25 ± 5.52
第二次蜕壳周期/d	32.80 ± 5.50 ^b	29.71 ± 7.63 ^b	20.00 ± 5.13 ^a
特定增长率/(%/d)	4.39 ± 0.65 ^a	4.73 ± 1.11 ^a	6.58 ± 2.29 ^b
饲料系数	1.35 ± 0.31 ^b	1.19 ± 0.41 ^b	0.70 ± 0.21 ^a

2.3 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺指数和生化组成的影响

如图1所示,不同饵料组合对三疣梭子蟹幼蟹的肝胰腺指数影响显著($P < 0.05$),活饵料组肝胰腺指数最低,纯化饲料肝胰腺指数高达8.81%,比活饵料组高出59.03%。表4为肝胰腺的常规生化成分,纯化饲料组的脂肪含量显著高于其它两组,但蛋白含量显著低于其它两组;活饵料组肝胰腺中脂肪含量最低,蛋白含量居于中间水平。就躯体常规生化成分而言,混合投喂组躯体中的蛋白含量显著高于纯化饲料组,活饵料组躯体中的脂肪含量显著低于纯化饲料组和混合投喂组。

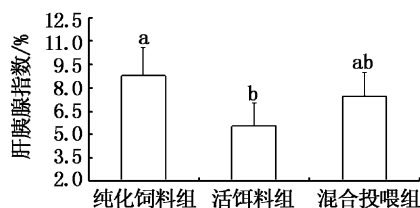


图1 不同饵料组对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺指数的影响

Fig.1 Effects of three diet groups on HSI of juvenile *Portunus trituberculatus*

表5为不同饵料组三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺的脂肪酸组成。就饱和脂肪酸而言,纯化饲料组的C14:0、C15:0、C16:0显著高于其它两组,混合投喂组的C18:0、C22:0、C23:0显著高于其他两组,整体上活饵料组的总饱和脂肪酸含量最低;

就单不饱和脂肪酸而言,纯化饲料组C14:1n7和C16:1n7显著高于其它两组,活饵料组的C18:1n7和C20:1n9含量最高,而混合投喂组的C20:1n7含量显著高于其它两组,整体上总单不饱和脂肪酸的含量顺序为:纯化饲料组 > 活饵料组 > 混合投喂组;就多不饱和脂肪酸而言,纯化饲料组的C18:2n6和C18:3n3含量最高,活饵料组的C18:3n6、C18:3n4、C20:2n6、C20:3n3、C20:4n3、C20:5n3的含量高于其它两组,而混合投喂组中的C20:4n6和C22:6n3显著高于其他两组。

表4 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹常规生化成分的影响

Tab.4 Effects of different diets on growth, molting and feed conversion rate of juvenile

	<i>Portunus trituberculatus</i>		
	纯化饲料组	活饵料组	混合投喂组
肝胰腺水分(湿重)	70.00 ± 2.51	75.13 ± 2.36	72.23 ± 0.60
脂肪(干重)	35.93 ± 1.47 ^c	19.71 ± 2.23 ^a	28.00 ± 0.46 ^b
蛋白(干重)	30.54 ± 0.70 ^a	43.59 ± 0.28 ^b	46.17 ± 1.28 ^c
躯体水分(干重)	69.70 ± 2.55	68.21 ± 1.48	69.28 ± 0.43
脂肪(干重)	2.40 ± 0.06 ^b	1.97 ± 0.09 ^a	2.52 ± 0.07 ^b
蛋白(干重)	29.92 ± 0.85 ^a	31.59 ± 2.30 ^{ab}	35.42 ± 1.36 ^b

注:表中数值以M ± SD表示;同一行数据上标不含相同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

表6为不同饵料组三疣梭子蟹幼蟹躯体的脂肪酸组成。就饱和脂肪酸而言,纯化饲料组的C14:0和C16:0高于其它两组,混合投喂组的C22:0和C24:0显著高于其他两组,整体上各组肌肉中的总饱和脂肪酸含量差异不显著;就单不饱和脂肪酸而言,纯化饲料组的C16:1n7、C18:

1n9、C18:1n7 和总单不饱和脂肪酸的含量显著高于其它两组,活饵料组和混合投喂组的单不饱和脂肪酸的含量并无显著差异;就多不饱和脂肪酸而言,纯化饲料组的 C18:2n6 和 C18:3n3 含量最高,而 C20:3n3、C20:4n6、C20:5n3、C22:6n3、总多不饱和脂肪酸(PUFA)和总高度不饱和脂肪酸(HUFA)的含量最低,除 C18:3n3 外,整体上活饵料组和混合投喂组躯体中的 PUFA 组成比较接近。

表 5 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 5 Effects of different diets on hepatopancreas fatty acids of juvenile *Portunus trituberculatus* %

组别	纯化饲料组	活饵料组	混合投喂组
C14:0	1.59 ± 0.03 ^b	0.86 ± 0.11 ^a	0.95 ± 0.46 ^{ab}
C15:0	1.11 ± 0.02 ^b	0.57 ± 0.07 ^a	0.49 ± 0.20 ^a
C16:0	18.79 ± 0.25 ^b	11.94 ± 0.89 ^a	11.46 ± 3.19 ^a
C18:0	6.16 ± 0.11 ^a	5.92 ± 0.01 ^a	8.22 ± 0.50 ^b
C22:0	0.22 ± 0.02 ^a	0.26 ± 0.00 ^b	0.47 ± 0.05 ^c
C23:0	0.52 ± 0.08 ^a	0.89 ± 0.02 ^b	1.10 ± 0.08 ^c
C24:0	0.88 ± 0.06 ^a	1.45 ± 0.04 ^b	1.61 ± 0.20 ^b
ΣSFA	29.28 ± 0.57 ^b	21.89 ± 1.00 ^a	24.30 ± 3.56 ^{ab}
C14:1n7	1.76 ± 0.05 ^c	0.34 ± 0.07 ^a	0.85 ± 0.42 ^b
C16:1n7	6.34 ± 0.08 ^c	4.86 ± 0.63 ^b	2.13 ± 0.68 ^a
C16:1n5	1.68 ± 0.02 ^b	1.61 ± 0.13 ^b	1.06 ± 0.18 ^a
C18:1n9	8.15 ± 0.19	8.01 ± 0.10	8.90 ± 0.77
C18:1n7	4.00 ± 0.08 ^b	4.54 ± 0.01 ^c	3.10 ± 0.29 ^a
C20:1n9	1.72 ± 0.09 ^a	2.52 ± 0.11 ^b	1.54 ± 0.13 ^a
C20:1n7	1.74 ± 0.10 ^a	1.78 ± 0.09 ^a	2.57 ± 0.37 ^b
ΣMUFA	25.39 ± 0.60 ^c	23.66 ± 0.71 ^b	20.14 ± 1.35 ^a
C16:2n4	0.77 ± 0.00 ^a	1.01 ± 0.09 ^b	0.64 ± 0.07 ^a
C16:3n4	1.05 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.06 ^a	0.85 ± 0.08 ^a
C18:2n6	8.15 ± 0.65 ^c	1.91 ± 0.00 ^a	4.19 ± 0.23 ^b
C18:3n6	0.03 ± 0.01 ^a	0.74 ± 0.41 ^c	0.22 ± 0.06 ^b
C18:3n3	1.85 ± 0.05 ^c	1.59 ± 0.02 ^b	0.99 ± 0.07 ^a
C18:3n4	0.67 ± 0.02 ^b	0.80 ± 0.03 ^c	0.26 ± 0.08 ^a
C18:4n3	0.27 ± 0.03 ^a	1.05 ± 0.89 ^b	0.63 ± 0.09 ^b
C20:2n6	1.31 ± 0.08 ^a	2.06 ± 0.12 ^b	1.39 ± 0.25 ^a
C20:3n6	2.92 ± 0.15 ^a	2.52 ± 0.20 ^a	2.88 ± 0.33 ^a
C20:4n6	2.87 ± 0.13 ^a	3.55 ± 0.42 ^b	5.27 ± 0.60 ^c
C20:3n3	1.36 ± 0.06 ^a	1.61 ± 0.09 ^b	1.09 ± 0.15 ^a
C20:4n3	0.78 ± 0.04 ^a	1.27 ± 0.11 ^b	0.66 ± 0.11 ^a
C20:5n3	6.75 ± 0.31 ^a	9.56 ± 0.13 ^b	8.51 ± 0.87 ^b
C22:2n6	1.74 ± 0.10	2.21 ± 2.31	1.60 ± 0.18
C22:5n3	0.50 ± 0.04 ^a	0.93 ± 0.86 ^{ab}	1.11 ± 0.14 ^b
C22:6n3	7.28 ± 0.83 ^a	13.24 ± 0.13 ^b	17.16 ± 2.05 ^c
ΣPUFA	36.48 ± 1.54 ^a	43.06 ± 2.31 ^b	45.96 ± 3.75 ^b
ΣHUFA	22.47 ± 1.20 ^a	32.68 ± 0.86 ^b	36.68 ± 3.58 ^b
n3PUFA	18.79 ± 1.01 ^a	29.26 ± 1.51 ^b	30.15 ± 2.77 ^b
n6PUFA	17.02 ± 0.52 ^c	12.99 ± 0.83 ^a	15.56 ± 1.19 ^b

注:表中数值以 M ± SD 表示;其中 ΣSFA 为饱和脂肪酸含量总和,ΣMUFA 为单不饱和脂肪酸含量总和,ΣPUFA 为多不饱和脂肪酸含量的总和,ΣHUFA 为高不饱和脂肪酸含量的总和。同一行数据上标不含相同字母表示差异显著(P < 0.05),下表同此。

表 6 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹躯体脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 6 Effects of different diets on carcass fatty acids of juvenile *Portunus trituberculatus* %

脂肪酸	饲料组	活饵料	混合投喂组
C14:0	0.89 ± 0.17 ^b	0.35 ± 0.16 ^a	0.37 ± 0.22 ^a
C15:0	0.37 ± 0.04	0.22 ± 0.10	0.20 ± 0.11
C16:0	10.03 ± 0.89	6.89 ± 2.40	6.15 ± 2.08
C18:0	6.62 ± 0.03	6.94 ± 0.64	6.64 ± 0.17
C22:0	0.44 ± 0.11 ^a	0.64 ± 0.07 ^{ab}	0.67 ± 0.04 ^b
C23:0	0.39 ± 0.01 ^a	0.59 ± 0.09 ^{ab}	0.60 ± 0.10 ^b
C24:0	1.13 ± 0.03 ^a	1.48 ± 0.22 ^a	1.55 ± 0.14 ^b
SFA	19.86 ± 0.95	17.52 ± 3.94	16.19 ± 2.31
C14:1n7	2.01 ± 0.85	0.93 ± 0.46 ^a	0.83 ± 0.49
C16:1n7	2.97 ± 0.27 ^b	1.56 ± 0.55 ^a	1.21 ± 0.35 ^a
C16:1n5	0.54 ± 0.00 ^b	0.46 ± 0.11 ^{ab}	0.39 ± 0.05 ^a
C18:1n9	10.73 ± 0.19 ^b	7.01 ± 0.61 ^a	6.67 ± 0.50 ^a
C18:1n7	3.03 ± 0.02 ^b	2.60 ± 0.21 ^a	2.27 ± 0.16 ^a
C20:1n9	0.62 ± 0.10	0.55 ± 0.11	0.54 ± 0.05
C20:1n7	0.87 ± 0.02 ^a	1.49 ± 0.15 ^b	0.99 ± 0.77 ^{ab}
MUFA	20.78 ± 1.21 ^b	14.56 ± 1.65 ^a	12.90 ± 0.41 ^a
C16:2n4	0.38 ± 0.01 ^b	0.28 ± 0.06 ^a	0.19 ± 0.03 ^a
C16:3n4	0.55 ± 0.04 ^a	0.70 ± 0.1	0.59 ± 0.06
C18:2n6	9.07 ± 0.19 ^b	1.57 ± 0.21 ^a	2.18 ± 1.22 ^a
C18:3n6	0.09 ± 0.04 ^b	0.07 ± 0.02 ^b	0.03 ± 0.01 ^a
C18:3n3	1.29 ± 0.01 ^c	0.96 ± 0.17 ^b	0.79 ± 0.02 ^a
C18:3n4	0.30 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.05 ^a	0.26 ± 0.20 ^a
C18:4n3	0.60 ± 0.18	0.59 ± 0.08	0.67 ± 0.07
C20:2n6	0.39 ± 0.01 ^a	0.54 ± 0.03 ^c	0.48 ± 0.04 ^b
C20:3n6	2.78 ± 1.27	2.36 ± 0.21	2.37 ± 0.31
C20:4n6	3.98 ± 0.00 ^a	5.96 ± 0.43 ^b	6.11 ± 0.33 ^b
C20:3n3	0.63 ± 0.01 ^a	1.18 ± 0.11 ^b	1.10 ± 0.26 ^b
C20:4n3	0.60 ± 0.01	0.57 ± 0.07	0.56 ± 0.08
C20:5n3	15.98 ± 0.37 ^a	21.19 ± 1.38 ^b	21.16 ± 1.33 ^b
C22:2n6	0.88 ± 0.05 ^a	1.38 ± 0.16 ^b	1.22 ± 0.31 ^{ab}
C22:5n3	0.66 ± 0.03 ^a	0.99 ± 0.11 ^b	1.00 ± 0.11 ^b
C22:6n3	15.53 ± 0.40 ^a	24.41 ± 3.47 ^b	26.64 ± 0.78 ^b
PUFA	52.80 ± 2.17 ^a	62.01 ± 5.51 ^b	64.56 ± 2.58 ^b
HUFA	40.18 ± 2.09 ^a	56.65 ± 5.70 ^b	58.93 ± 3.20 ^b
n3PUFA	35.30 ± 0.99 ^a	49.91 ± 5.03 ^b	51.92 ± 2.60 ^b
n6PUFA	17.20 ± 1.17 ^b	11.85 ± 0.53 ^a	12.38 ± 0.23 ^a

3 讨论

3.1 不同饵料对三疣梭子蟹幼蟹生长性能的影响

本研究结果表明采用纯化饲料投喂三疣梭子蟹幼蟹(初始体重 0.5 g 左右),其生长性能(增重率、特定增长率、蜕壳周期和饲料系数)和成活率均与活饵料组接近,增重率高达 799.64%,符合水产动物营养需求研究中增重率超过 100% 的要求^[21],这说明本实验研制的三疣梭子蟹幼蟹纯化饲料配方可以满足幼蟹生长的营养需求,可

以作为今后深入研究三疣梭子蟹幼蟹营养需要的基本配方和基础饲料。尽管章鱼、缢蛏等活饵料营养价值丰富, 先前被大量用于甲壳动物营养研究中作为对照或补充饵料等^[21-22], 但是这些活饵料通常存在营养组成不稳定、容易携带致病细菌、不易保存和价格昂贵等缺点, 因此人工配合饲料是水产养殖可持续发展的重要物质基础^[23]。本研究结果表明混合投喂组的三疣梭子蟹幼蟹生长速度最快, 第二次蜕壳周期和饲料系数显著低于纯化饲料组和活饵料组, 这暗示本研究所采用的纯化饲料和活饵料可能均存在营养缺陷等不足之处, 因此混合投喂可以扬长避短、优势互补, 如纯化饲料的能量水平较高, 富含各种维生素, 活饵料的诱食性和适口性较好^[24-25]。随着三疣梭子蟹幼蟹的体重增大, 各组幼蟹的蜕壳周期均显著变长, 这与中华绒螯蟹和远海梭子蟹等蟹类的研究结果一致^[26-27]。在养殖条件相似的情况下, 三疣梭子蟹幼蟹的特定增长率(4.4 ~ 6.6) 远高于同规格的中华绒螯蟹幼蟹(0.5 ~ 0.7)^[26], 这说明三疣梭子蟹幼蟹的生长速度远快于中华绒螯蟹幼蟹。

3.2 不同饵料对三疣梭子蟹肝胰腺指数和生化组成的影响

本研究结果表明, 投喂配合饲料组幼蟹的肝胰腺指数及肝胰腺脂肪含量显著高于活饵料组, 其可能原因有两个: (1) 纯化饲料组的脂类营养不够平衡, 肝胰腺吸收的脂类不能迅速运输到肌肉中供生长, 类似的现象在中华绒螯蟹^[28]和凡纳滨对虾^[29]中已经被证实; (2) 相比活饵料, 纯化饲料中含有较高含量的碳水化合物, 三疣梭子蟹作为一种肉食性甲壳动物对碳水化合物利用能力有限, 便将过量的糖类转化成脂肪储存在肝胰腺内, 类似的现象在多种鱼类中被发现^[30-31]。尽管纯化饲料中的16:0 脂肪酸含量显著低于章鱼和缢蛏, 但是纯化饲料组肝胰腺和肌肉中的16:0 显著高于活饵料组和混合投喂组, 这暗示纯化饲料组幼蟹体内高含量的C16:0 可能来源于自身合成。考虑到纯化饲料中含有较多的碳水化合物, 推断在饲料中高碳水化合物胁迫条件下, 三疣梭子蟹幼蟹将吸收在肝胰腺中的碳水化合物转化成脂肪酸和脂肪, 作为能源物质储存。

就单不饱和脂肪酸而言, 各组三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中的C18:1n9 含量与其饵料中含量没

有明显的相关性, 仅为8%左右, 其原因可能与本实验采样有关, 为了排除不同蜕壳周期对蟹体生化组成的影响, 本实验所有采样均在幼蟹蜕壳后4 d 进行, 先前研究表明刚蜕壳的甲壳动物肝胰腺中通常C18:1n9 较低, 因为C18:1n9 是甲壳动物主要的能量脂肪酸之一, 在蜕壳过程中被大量消耗以提供能量^[32], 故蜕壳后4 d 的幼蟹肝胰腺中C18:1n9 含量较低。

整体上, 幼蟹组织中的高度不饱和脂肪酸(HUFA) 含量与其饵料具有良好的相关性, 随着饵料中含量的变化而变化, 纯化饲料组肝胰腺和躯体中的C20:4n6、C20:5n3 和C22:6n3 含量均显著高于纯化饲料中的对应含量, 如肝胰腺中的ARA 含量是其对应饲料中的8.96 倍, 这说明三疣梭子蟹的肝胰腺对饵料中的脂肪酸具有选择吸收和利用的能力。无论何种饵料组, 躯体中的C20:4n6、C20:5n3 和C22:6n3 含量均显著高于肝胰腺和饵料, 这暗示三疣梭子蟹幼蟹肌肉中需要高含量的HUFA 来维持正常的生理功能, 故肝胰腺可以将饵料中所吸收的有限的HUFA 优先转运到各个组织器官。大量研究表明水生动物肌肉中适量的EPA 和DHA 含量及比例对于维持肌肉细胞膜的流动性和抗寒性非常重要, 同时也可提高机体的免疫功能和抗应激能力等^[33-34]。因此, 在一定程度上, 三疣梭子蟹幼蟹躯体/肌肉中的脂肪酸组成能够反映其脂肪酸需求, 而肝胰腺中的脂肪酸组成与其食物密切相关。

参考文献:

- [1] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S. Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock [J]. *Aquaculture*, 2010, 303: 94-100.
- [2] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S. Reproductive performance and offspring quality of wild-caught and pond-reared swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock [J]. *Aquaculture*, 2010, 301: 78-64.
- [3] 丁雪燕, 何中央, 徐国辉, 等. 三疣梭子蟹配合饲料的初步研究[J]. *海洋渔业*, 2003, 25(1): 23-26.
- [4] 丁雪燕, 何中央, 邱晓力, 等. 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[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(2): 492-497.
- [5] 高红建, 丁雪燕, 钱国英, 等. 三疣梭子蟹对胆固醇适宜需求量的研究[J]. *饲料研究*, 2009(5): 60-62.
- [6] 高红建, 何中央, 丁雪燕, 等. 三疣梭子蟹幼蟹配合饲料中蛋白质、脂肪、粗纤维适宜含量研究[J]. *渔业现代化*,

- 2009, 36(1): 26–29.
- [7] 黄福勇, 丁雪燕, 何中央, 等. 三疣梭子蟹生物学特性及氨基酸含量的研究[J]. 饲料研究, 2010(3): 66–68.
- [8] D'ABRAMO L R. Nutritional requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: Comparisons with Species of Penaeid Shrimp[J]. Reviews in Fisheries Science, 1998, 6: 153–163.
- [9] HOLME M H, SOUTHGATE P C, ZENG C S. Assessment of dietary lecithin and cholesterol requirements of mud crab, *Scylla serrata*, megalopa using semi-purified microbound diets[J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(6): 413–423.
- [10] GONZALEZ-FELIX M L, GATLIN III D M, LAWRENCE A L, et al. Effect of dietary phospholipids on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Aquaculture, 2002, 207: 151–167.
- [11] GLENCROSS B D, SMITH D M. A study of the arachidonic acid requirements of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7: 59–69.
- [12] HOLME M H, ZENG C S, SOUTHGATE P C. A review of recent progress towards development of a formulated microbound diet for mud crab, *Scylla serrata*, larvae and their nutritional requirements[J]. Aquaculture, 2009, 286: 164–175.
- [13] CUZON G, GUILLAUME J, CAHU C. Composition, preparation and utilization of feeds for Crustacea [J]. Aquaculture, 1994, 124: 253–267.
- [14] WU X G, CHANG G L, CHENG Y X, et al. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the gonadal development, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16: 25–36.
- [15] 常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 不同脂类营养对中华绒螯蟹幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化成分的影响[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 276–283.
- [16] SHEEN S S, WU S W. Essential fatty acid requirements of juvenile mud crab, *Scylla serrata* (FORSKÅL, 1775) [J]. Crustaceana, 2002, 75(11): 1387–1401.
- [17] MERICAN Z O, SHIM K F. Qualitative requirements of essential fatty acid juvenile *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1996, 147: 275–291.
- [18] AOAC. Official methods of analysis of official analytical chemists international [M]. 16th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [19] 张惟杰. 复合多糖生化研究技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 6–7.
- [20] 吴旭干, 成永旭, 唐伯平, 等. 瘤背石磺产卵前后体内的脂类和脂肪酸组成的变化[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1089–1100.
- [21] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), females fed an optimized formulated diet and the razor clam, *Sinonovacula constricta* [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(12): 1335–1349.
- [22] TAKEUCHI T, MURAKAMI K. Crustacean nutrition and larval feed, with emphasis on Japanese spiny lobster, *Panulirus japonicus* [J]. Bulletin of Fisheries Research Agency, 2007, 20: 15–23.
- [23] CUZON G, LAWRENCE A, GAXIOLA G, et al. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds [J]. Aquaculture, 2004, 235: 513–551.
- [24] WOUTERS R, LAVENS P, NIETO J, et al. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development [J]. Aquaculture, 2001, 202: 1–21.
- [25] JOHNSTON D, MELVILLE-SMITH R, HENDRIKS B. Survival and growth of western rock lobster *Panulirus cygnus* (George) fed formulated diets with and without fresh mussel supplement [J]. Aquaculture, 2007, 273: 108–117.
- [26] 常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 磷脂和 HUFA 对中华绒螯蟹幼蟹存活、生长、蜕壳及生化成分的影响 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 329–337.
- [27] ROMANO N, ZENG C. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus* [J]. Aquaculture, 2006, 260: 151–162.
- [28] WU X G, WANG Z K, CHENG Y X, et al. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival and growth of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 457–468.
- [29] CAHU C, GUILLAUME J C, STEPHAN G, et al. Influence of phospholipid and highly unsaturated fatty acid on spawning rate and egg and tissue composition in *Penaeus vannamei* fed semi-purified diets [J]. Aquaculture, 1994, 126: 159–170.
- [30] 付世建, 谢小军, 袁伦强. 饲料碳水化合物水平对南方贴幼鱼摄食后肝指数的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 30(3): 548–551.
- [31] 王广宇. 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长、血液指标及 GK、G6Pase、HSC70 基因表达的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 5–60.
- [32] TESHIMA S, KANAZAWA A, OKAMOTO H. Variation in lipid classes during the molting cycle of the prawn *Penaeus japonicus* [J]. Marine Biology, 1977, 39: 129–136.
- [33] 孔祥会, 王桂忠, 李少菁. 低温驯化锯缘青蟹鳃抗氧化、ATPase 及膜脂肪酸组成变化 [J]. 水生生物学报, 2007, 31(1): 59–67.
- [34] MCKENZIE D J, LUND I, PEDERSEN P B. Essential fatty acids influence metabolic rate and tolerance of hypoxia in Dover sole (*Solea solea*) larvae and juveniles [J]. Marine Biology, 2008, 154(6): 1041–1051.

Effects of purified diet, fresh foods and mixed diets on the survival, growth performance and biochemical composition of juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*

YANG Yin-pu^{1,2}, WU Xu-gan^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, LIU Zhi-jun^{1,2}, LOU Bao³, CHENG Yong-xu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Aquaculture Division, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Marine Fisheries Research Institute of Zhengjiang, Zhoushan 316100, Zhejiang, China)

Abstract: By the individual culture technique and biochemical analysis, this study is to investigate the effects of purified diet (group A), fresh foods (*Octopus variabilis* and *Sinonovacula constricta*, group B) and mixed diets (purified diets and fresh foods, group C) on the survival, growth performance and biochemical composition of juvenile swimming crab *Portunus trituberculatus* (initial mean wet weight was 0.5g). The results are as follows: (1) The survival of juvenile swimming crab ranged from 70% to 80%, and no significant effects caused by survival were observed among three groups. (2) There were no significant differences in the WGR (weight gain ratio), molting period, SGR (specific growth rate) and FCR (feed conversion ratio) of juvenile swimming crab between group A and B. The second molting cycle of group C was significantly shorter and FCR was significantly lower than the other two groups, however, SGR of group C was significantly higher than the group A and group B. (3) Each diet showed a significant effect on the Hepatosomatic Index (HSI), and its protein and lipid contents. The HSI and the lipid content of group A were significantly higher, however, the protein content was significantly lower than the other two groups. (4) With regard to the fatty acid composition, the saturated fatty acids and mono-unsaturated fatty acids of hepatopancreas and body from group A were significantly higher than the other two groups, and the poly-unsaturated fatty acids and highly unsaturated fatty acids were significantly lower than the other two groups. In conclusion, juvenile swimming crab fed our purified diets could achieve good growth performance, which lays a solid foundation for the further study on the nutrition requirements for this crab species.

Key words: *Portunus trituberculatus*; purified diet; fresh foods; growth performance; biochemical composition