

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200407001

http://www.yykxjz.cn/

何先林, 柳梅梅, 朱筛成, 董志国, 万夕和, 吴旭干. 饲料中蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和生化组成的影响. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 158-166

HE X L, LIU M M, ZHU S C, DONG Z G, WAN X H, WU X G. Effects of dietary protein levels on the growth, ovarian development and biochemical composition of swimming crab (*Portunus trituberculatus*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 158-166

## 饲料中蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、 卵巢发育和生化组成的影响\*

何先林<sup>1</sup> 柳梅梅<sup>1</sup> 朱筛成<sup>1</sup> 董志国<sup>2</sup> 万夕和<sup>3</sup> 吴旭干<sup>1,4,5①</sup>

(1. 上海海洋大学 农业农村部鱼类营养和环境生态研究中心 上海 201306; 2. 江苏海洋大学海洋学院 江苏 连云港 222005; 3. 江苏省海洋水产研究所 江苏 南通 226007; 4. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心 上海 201306; 5. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心 上海 201306)

**摘要** 本研究配制蛋白水平分别为32.16%、36.13%、39.59%和41.24%的等脂等能配合饲料(分别记为饲料1~4), 对初始体重为(10.98±0.28) g的三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)雌体进行池塘养殖120 d, 以探究饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和生化组成的影响。结果显示, 饲料蛋白水平对池塘养殖条件下雌体的生长无显著影响。饲料3组雌体的卵巢指数和总可食率均最高( $P<0.05$ )。饲料4组卵巢中粗蛋白含量最高( $P<0.05$ ), 3组和4组的肝胰腺粗蛋白含量显著高于1组和2组( $P<0.05$ ), 而肌肉中的粗蛋白含量则在1组和3组中较高( $P<0.05$ )。卵巢中的总脂含量随着饲料蛋白水平的增加呈上升趋势( $P<0.05$ ), 肝胰腺和肌肉中总脂含量均在饲料1组中最高, 而饲料2组中最低( $P<0.05$ )。饲料1组和3组肌肉中的总必需氨基酸( $\Sigma$ EAA)和总非必需氨基酸( $\Sigma$ NEAA)均显著高于另外两组( $P<0.05$ )。综上所述, 在本实验条件下, 三疣梭子蟹雌体育肥饲料中适宜的蛋白水平约为40.16%。研究表明, 适宜的饲料蛋白水平可以提高三疣梭子蟹的卵巢发育和肌肉的营养品质。

**关键词** 三疣梭子蟹; 蛋白水平; 卵巢发育; 生化组成

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)05-0158-09

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)广泛分布于东亚沿海, 是我国沿海重要的养殖经济蟹类。目前, 在江苏、浙江和福建等地广泛养殖(环朋朋等, 2019; Dong *et al*, 2010), 2018年池塘养殖产量达116 251 t(农业农村部渔业渔政管理局, 2019)。目前, 我国三疣梭子蟹池塘养殖主要依靠大量投喂冰鲜杂鱼和低值贝类等, 这种投喂模式容易引起池塘水质恶化、病

害暴发, 从而导致养殖效果和商品蟹品质不稳定, 影响产业健康发展(Wu *et al*, 2010); 另一方面, 大量投喂冰鲜杂鱼给海洋资源保护带来了巨大压力, 导致渔业资源的过度捕捞和利用(Cao *et al*, 2015)。因此, 研发高效实用的专用配合饲料势在必行。

确定和优化主要营养参数是研发配合饲料的重要前提, 其中, 蛋白质是最重要的营养参数之一, 是

\* 江苏省科技厅苏北科技专项(SZ-LYG2017019)、上海市高水平大学建设研究项目(A1-2801-18-1003)和上海市教委水产动物遗传育种协同创新中心项目(A1-2041-18-0003)共同资助 [This work was supported by Science and Technology Special Project of North Jiangsu Province (SZ-LYG2017019), Shanghai High-Level University Construction Research Project (A1-2801-18-1003), and Shanghai Municipal Education Commission Aquatic Animal Genetics and Breeding Collaborative Innovation Center Project (A1-2041-18-0003)]. 何先林, E-mail: xianlinhe1994@163.com

① 通讯作者: 吴旭干, 教授, E-mail: xgwu@shou.edu.cn

收稿日期: 2020-04-07, 收修改稿日期: 2020-05-20

影响水产动物生长的关键营养成分,其对于维持水生动物生长发育和维持机体正常生命活动具有重要意义(麦康森, 2011)。饲料蛋白水平和质量不仅直接影响养殖效果,而且影响饲料配方成本和养殖成本。当饲料中的蛋白质不足时,会导致生长减缓或停止;而摄入过高的蛋白饲料时,只有一部分用来产生新的蛋白质,其余的蛋白质将转化为能量,这将增加饲料成本和氮的排泄(Bai *et al.*, 2016; 公绪鹏等, 2018)。有关三疣梭子蟹的蛋白营养研究近年来日益受到重视, Huo等(2014)养殖初始体重为(3.75±0.20) g的三疣梭子蟹幼蟹 56 d后发现, 饲料蛋白质和脂类水平对躯体粗蛋白、粗脂肪、水分含量和肌肉氨基酸分布有显著影响, 51%蛋白水平和 5%脂质水平的饲料最适合三疣梭子蟹幼蟹生长。Jin等(2013)研究发现, 初始体重为(2.50±0.08) g的三疣梭子蟹幼蟹养殖 56 d后, 饲料蛋白对增重率、饲料系数和蛋白质效率均有显著影响, 在 50.2%饲料蛋白水平下获得最大增重率和特定生长率。这些研究主要集中于幼蟹阶段, 且主要在室内循环水系统中养殖。实际上, 我国三疣梭子蟹养殖主要在池塘养殖条件下进行, 且养殖中后期的饲料用量远远大于养殖前期。迄今为止, 有关三疣梭子蟹在室外池塘条件下, 适宜的饲料蛋白含量研究较少。

因此, 本研究在室外池塘条件下, 采用不同蛋白水平的等能等脂配合饲料投喂三疣梭子蟹 120 d, 比较了饲料蛋白水平对三疣梭子蟹生长、卵巢发育和生化组成的影响, 以期对三疣梭子蟹的配合饲料配制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料配制

根据先前对三疣梭子蟹的研究(段青源等, 2011), 设计 4 种不同蛋白水平的实验饲料, 以鱼粉、豆粕和菜粕等为主要蛋白源, 以鱼油、猪油和豆油为主要脂肪源, 使用面粉和纤维素调节饲料总能水平, 使 4 组饲料中的粗蛋白水平不同, 但总脂和总能水平基本一致, 分别记为饲料 1~4。饲料配制前, 所有饲料原料均粉碎后过 60 目筛, 按照表 1 的配方, 利用混合机混合均匀, 然后用双螺旋小型膨化机挤压成沉性膨化饲料(DSD30 试验机, 济南鼎润机械设备有限公司), 粒径分别为 1.6 mm (养殖实验 0~60 d 采用)和 3.5 mm (养殖实验 61~120 d 采用)。所有实验饲料制粒后在室温中冷却风干, -20℃冰箱中保存备用。饲料中生化成分测定方法见 1.4, 表 2 为饲料中常规营养成分、能量和氨基酸含量。

表 1 4 种实验饲料配方

Tab.1 Formulations of four experimental diets /%

原料 Ingredients	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
豆粕-46% Soybean meal	12.00	13.00	14.00	15.00
菜粕-36% Rapeseed meal	8.00	10.00	12.00	14.00
酪蛋白 Casein	2.60	3.60	4.60	5.60
鱼粉 Fish meal	14.00	18.00	22.00	26.00
乌贼膏 Squid paste	5.00	5.00	5.00	5.00
虾膏 Shrimp paste	4.00	4.00	4.00	4.00
啤酒酵母粉 Yeast meal	2.00	2.00	2.00	2.00
南极磷虾粉 Antarctic krill meal	4.00	4.00	4.00	4.00
高筋面粉 Wheat flour	28.00	22.00	16.00	10.00
微晶纤维素 Cellulose	6.50	4.30	2.10	0.00
膨润土 Bentonite	0.50	1.00	1.50	1.90
多维预混料 Vitamin premix <sup>1</sup>	0.80	0.80	0.80	0.80
多矿预混料 Mineral premix <sup>2</sup>	2.50	2.50	2.50	2.50
氯化胆碱(60%) Choline chloride (60%)	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	0.15	0.15	0.15	0.15
牛磺酸 Taurine	0.30	0.30	0.30	0.30
精炼鱼油 Fish oil	2.60	2.30	2.00	1.70
猪油 Lard	2.00	2.00	2.00	2.00
豆油 Soybean oil	1.80	1.80	1.80	1.80
磷脂油 Lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00

注: 1. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 125 mg; 维生素 D<sub>3</sub>, 30 mg; 维生素 E, 1300 mg; 维生素 K<sub>3</sub>, 35.4 mg; 维生素 B<sub>1</sub>, 100 mg; 维生素 B<sub>2</sub>, 150 mg; 维生素 B<sub>6</sub>, 150 mg; 维生素 B<sub>12</sub>, 0.2 mg; 维生素 C, 1225 mg; 生物素, 4 mg; D-泛酸钙, 250 mg; 叶酸, 25 mg; 烟酰胺, 300 mg

2. 矿物质预混料(mg/kg 饲料): FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 200 mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 96 mg; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 360 mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 120 mg; MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 240 mg; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 4200 mg; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 500 mg; KI, 5.4 mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 2.1 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 3 mg; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 15,000 mg

Note: 1. Vitamin mixture (mg/kg diet): Retinol acetate, 125 mg; Cholecalciferol, 30 mg; alpha-Tocopherol, 1300 mg; Menadione, 35.4 mg; Thiamine, 100 mg; Riboflavin, 150 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 150 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 0.2 mg; Vitamin C, 1225 mg; Biotin, 4 mg; D-Calcium pantothenate, 250 mg; Folic acid, 25 mg; Nicotinamide, 300 mg

2. Mineral mixture (mg/kg diet): FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 200 mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 96 mg; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 360 mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 120 mg; MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 240 mg; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 4200 mg; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 500 mg; KI, 5.4 mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 2.1 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 3 mg; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 15,000 mg

### 1.2 实验用蟹的养殖管理

实验用蟹为江苏南通协通水产养殖有限公司的池塘养殖三疣梭子蟹幼蟹, 挑选四肢健全、活力较好的幼蟹用于实验, 雌体平均体重为(10.98±0.28) g, 雄

体平均体重为(10.66±0.42) g。养殖实验在四周为水泥、池底为泥土的室外土池(长×宽×深=14 m×11 m×1.5 m)中进行,每个池塘放雌蟹 120 只,雄蟹 60 只。因雌蟹经济效益较高,主要养殖雌体。雄蟹主要用于交配后促进雌体卵巢发育,以提供卵巢发育良好的膏蟹。实验分 4 个饲料组,每组设置 3 个重复池塘。

表 2 实验饲料常规营养成分、能量及氨基酸组成(%干重)  
Tab.2 Proximate composition, energy and amino acid composition of four experimental diets (% dry weight)

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
常规营养成分 Proximate nutritional composition/%				
水分 Moisture	11.87	12.98	11.92	10.25
粗蛋白 Crude protein	32.16	36.13	39.59	41.24
总脂 Total lipid	15.17	15.24	16.32	16.58
灰分 Ash	9.69	11.10	12.05	13.29
能量 Energy/(kJ·g <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	18.51	18.33	18.77	19.00
氨基酸含量 Amino acid composition/(mg·g <sup>-1</sup> )				
异亮氨酸 Ile	13.96	16.63	17.94	19.11
亮氨酸 Leu	23.89	28.97	31.16	32.31
赖氨酸 Lys	19.18	24.84	27.48	29.19
蛋氨酸 Met	6.69	8.48	9.14	9.30
苯丙氨酸 Phe	13.90	16.63	17.77	18.27
苏氨酸 Thr	12.25	15.16	16.63	17.38
色氨酸 Trp	4.21	4.92	5.41	5.83
缬氨酸 Val	15.38	18.70	20.15	22.01
精氨酸 Arg	18.21	22.12	24.18	25.35
组氨酸 His	9.08	11.85	12.60	13.70
∑EAA <sup>2</sup>	136.74	168.29	182.46	192.46
天门冬氨酸 Asp	28.08	34.51	37.86	39.78
丝氨酸 Ser	12.54	14.67	16.63	16.49
谷氨酸 Glu	59.12	67.93	70.56	70.31
甘氨酸 Gly	16.00	19.08	21.68	22.95
丙氨酸 Ala	16.85	20.16	22.59	23.90
半胱氨酸 Cys	3.52	4.35	6.30	6.69
酪氨酸 Tyr	10.04	12.55	13.45	14.43
脯氨酸 Pro	16.23	17.83	18.00	18.50
∑NEAA <sup>3</sup>	162.37	191.09	207.08	213.04
TAA <sup>4</sup>	299.11	359.38	389.55	405.50
EAA/TAA	0.46	0.47	0.47	0.47

注: 1. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(23.01、38.07 和 17.15 kJ/g)计算饲料的能量(Anderson *et al.*, 2003);  
2. ∑EAA: 总必需氨基酸; 3. ∑NEAA: 总非必需氨基酸;  
4. TAA: 总氨基酸

Note: 1. Dietary energy was calculated based on the energy of protein, lipid and carbohydrate (23.01, 38.07, and 17.15 kJ/g);  
2. ∑EAA: Total essential amino acids; 3. ∑NEAA: Total non-essential amino acids; 4. TAA: Total amino acids

养殖期间,每日 08:00 和 16:00 投喂饲料,上午的投喂比例(投喂量占 1 d 总投喂量的比例)约为 30%,下午的投喂比例约为 70%,日投喂量占蟹总体重的 3%~5%。具体投喂量根据水温、天气和残饵情况适当调整。养殖期间,每 3 d 测定 1 次水质指标,根据水质情况,每次更换总水体 1/3 的水,养殖过程中水质指标维持在 pH 7.0~9.0,溶氧>4 mg/L,氨氮浓度<0.5 mg/L,亚硝酸盐浓度<0.15 mg/L。此外,养殖期间每 15 d 进行 1 次全池泼洒碘消毒剂和微生物制剂(北京水世纪生物技术有限公司),以保持良好的水质。每天根据溶解氧情况适时开启增氧机增氧。实验于 7 月下旬开始,到 11 月下旬结束实验,整个养殖周期共 4 个月。

### 1.3 样品采集和解剖

实验过程中,每 40 d 打样称重 1 次,每个池塘随机采集 10 只左右雌体,精确称重后,用于计算平均体重、增重率(weight gain rate, WGR)和特定增长率(specific growth rate, SGR)。

各指标计算公式如下:

$$WGR(\%)=100\times(W_t-W_{t-1})/W_{t-1}$$

$$SGR(\%/d)=100\times(\ln W_t-\ln W_{t-1})/d$$

式中, $W_t$ 和 $W_{t-1}$ 分别为实验第 $t$ 次打样的平均体重(g)和第 $t-1$ 打样的平均体重(g); $d$ 为养殖天数,即每次打样时间差。

采集养殖 120 d 的样品用于组织系数和生化组成测定。采样前停食 1 d,随机从每口池塘采集 4 只生殖蜕壳后的雌蟹,用毛巾擦干体表水分后用电子天平(精确度为 0.01 g)称重,用游标卡尺(精确度为 0.02 mm)测量甲壳长和甲壳宽,然后进行活体解剖。取出每只雌蟹的肝胰腺和卵巢,精确称重后分别计算卵巢指数(gonadosomatic index, GSI)和肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI)。最后刮出腹部和步足中的所有肌肉,计算出肉率(meat yield, MY)。采用公式计算总可食率(total edible yield, TEY)和肥满度(condition factor, CF)。所有的肝胰腺、卵巢和肌肉分别装入自封袋后,保存于-40℃冰箱中用于后续测定。各指标计算公式如下:

$$GSI(\%)=100\%\times W_g/W$$

$$HSI(\%)=100\%\times W_h/W$$

$$MY(\%)=100\%\times W_m/W$$

$$TEY(\%)=GSI+HSI+MY$$

$$CF=W/L^3$$

式中, $W_g$ 为终末性腺质量(g), $W_h$ 为终末肝胰腺质量(g), $W_m$ 为终末肌肉质量(g), $W$ 为三疣梭子蟹体质量(g), $L$ 为甲壳长(cm)。

### 1.4 生化成分分析

将每个池塘采集的2个雌体卵巢、肝胰腺和肌肉分别合并, 采用冷冻干燥法冻干48 h, 测定三疣梭子蟹组织中的水分含量后用于后续生化分析。采用凯氏定氮法测定样品的粗蛋白含量(AOAC, 1995)。参考 Folch等(1957)的方法, 使用氯仿: 甲醇(V/V=2: 1)法测定样品中的总脂含量。采用550℃灼烧法测定样品中的灰分含量(AOAC, 1995)。采用苯酚-硫酸法测定样品的总碳水化合物含量(AOAC, 1995)。采用盐酸水解法测定样品的总氨基酸组成(Blackburn *et al.*, 1984), 色氨酸测定采用碱性水解法(Chen *et al.*, 2007), 含硫氨基酸测定采用过氧甲酸水解法(Spindler *et al.*, 1985), 水解后的样品均在氨基酸自动分析仪(S-433D, Sykam公司, 德国)上进行定性和定量分析。饲料中水分含量测定参照AOAC的标准方法, 而其他生化成分的分析均与组织中生化成分测定的方法相同。

### 1.5 数据分析

所有实验数据均采用平均值±标准差(Mean±SD)表示, 采用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析。采用 Levene 法对所有数据进行方差齐性检验。当不满足齐性方差时, 对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用 ANOVA 对实验结果进行方差分析, 采用

Duncan 氏法进行多重比较, 取  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和可食率的影响

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长的影响见图1。整个养殖周期中, 饲料中蛋白水平对三疣梭子蟹雌体的体重、增重率和特定生长率均无显著影响。随着养殖的延长, 在养殖80 d时, 饲料2组的体重显著低于其他组( $P < 0.05$ ); 各组三疣梭子蟹的增重率和特定增长率均呈下降趋势, 其中, 41~80 d期间, 饲料2组的增重率最低( $P < 0.05$ ), 而在81~120 d期间, 饲料1组的增重率最低( $P < 0.05$ )。特定生长率表现出相似的变化规律。

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体卵巢发育、可食率和肥满度的影响数据如表 3 所示。饲料蛋白水平对三疣梭子蟹的卵巢指数及可食率有显著影响, 饲料 3 组和 4 组的卵巢指数显著高于 1 组和 2 组( $P < 0.05$ ), 3 组总可食率显著高于 2 组( $P < 0.05$ ), 与其他两组无显著差异( $P > 0.05$ ); 其他指标无显著差异( $P > 0.05$ )。以卵巢指数为参考指标, 通过双折线回归,  $y = 0.2331x - 5.1911$ ,  $y = -0.5576x + 26.564$  得出, 在饲料蛋白水平为 40.16%时, 三疣梭子蟹雌体卵巢指数达到最大(图 2)。

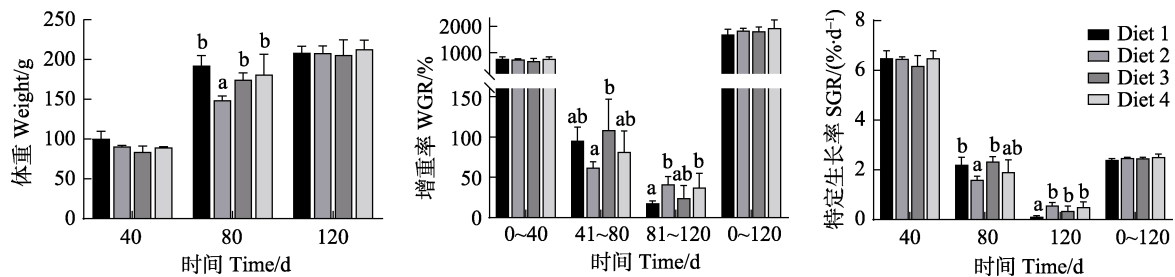


图 1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长影响

Fig.1 Effects of dietary protein levels on growth of female *P. trituberculatus*

表 3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体卵巢发育和可食率的影响(Mean±SD, n=3)

Tab.3 Effects of dietary protein levels on ovarian development and edible yield of female *P. trituberculatus* (Mean±SD, n=3)

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
卵巢指数 GSI /%	2.70±0.67 <sup>a</sup>	2.38±0.37 <sup>a</sup>	4.49±1.22 <sup>b</sup>	3.57±1.01 <sup>b</sup>
肝胰腺指数 HSI /%	8.54±0.80	6.39±0.63	8.90±0.84	7.52±0.32
出肉率 MY /%	29.40±0.24	27.47±1.89	28.57±1.65	28.53±1.97
总可食率 TEY /%	40.40±1.47 <sup>ab</sup>	35.23±2.00 <sup>a</sup>	42.84±3.21 <sup>b</sup>	39.52±2.40 <sup>ab</sup>
肥满度 CF	0.53±0.02	0.56±0.01	0.53±0.01	0.55±0.04

注: 同行数据不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同

Note: Values within the same row with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ). The same as below

### 2.2 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体组织中常规生化组成的影响

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹组织的常规生化组成的影响如表4所示。就水分而言，饲料1组的卵巢中含量最高( $P<0.05$ )，饲料2组的肝胰腺中含量最高( $P<0.05$ )，而肌肉中无显著变化( $P>0.05$ )。就粗蛋白而言，饲料4组的卵巢中含量最高( $P<0.05$ )，肝胰腺中饲料3组和4组显著高于饲料1组和2组( $P<0.05$ )，肌肉中的粗蛋白的含量则是饲料1组和3显著高于另外两组( $P<0.05$ )。就总脂而言，卵巢中的含量随着蛋白水平的增加呈上升趋势( $P<0.05$ )，而肝胰腺和肌肉中的含量均在饲料1组中最高，饲料2组中最低( $P<0.05$ )。就总碳水化合物而言，卵巢和肝胰腺中的含量均在饲料3组中最高( $P>0.05$ )，肌肉中的含量在饲料1组最高( $P<0.05$ )。

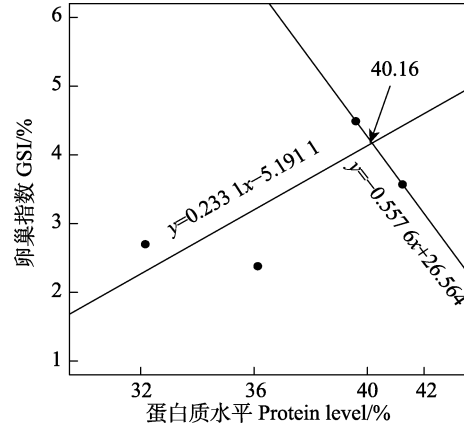


图 2 饲料中不同蛋白对三疣梭子蟹雌体卵巢指数的折线模型分析

Fig.2 Broken-line model analysis of the relationship of gonadosomatic index with dietary protein levels of female adult *P. trituberculatus*

表 4 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体组织中常规生化组成的影响(%湿重, Mean±SD, n=3)  
Tab.4 Effects of dietary protein levels on proximate composition of female adult *P. trituberculatus* (% wet weight, Mean±SD, n=3)

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
卵巢 Ovary				
水分 Moisture	67.94±1.67 <sup>b</sup>	54.87±5.83 <sup>a</sup>	54.08±1.03 <sup>a</sup>	54.53±0.75 <sup>a</sup>
粗蛋白 Crude protein	20.49±0.53 <sup>a</sup>	20.24±1.18 <sup>a</sup>	25.54±0.69 <sup>b</sup>	29.05±0.23 <sup>c</sup>
总脂 Total lipid	7.88±0.65 <sup>a</sup>	7.78±0.33 <sup>a</sup>	10.99±1.41 <sup>b</sup>	12.89±0.37 <sup>c</sup>
总碳水化合物 Total carbohydrate	0.72±0.03 <sup>a</sup>	0.78±0.14 <sup>ab</sup>	0.98±0.19 <sup>b</sup>	0.92±0.02 <sup>ab</sup>
肝胰腺 Hepatopancreas				
水分 Moisture	65.59±5.98 <sup>a</sup>	74.05±4.76 <sup>b</sup>	63.58±1.05 <sup>a</sup>	67.33±0.05 <sup>a</sup>
粗蛋白 Crude protein	10.25±0.33 <sup>a</sup>	10.56±1.11 <sup>a</sup>	14.07±1.54 <sup>b</sup>	13.24±0.17 <sup>b</sup>
总脂 Total lipid	18.00±2.92 <sup>c</sup>	10.46±0.42 <sup>a</sup>	16.17±1.46 <sup>b</sup>	14.07±0.09 <sup>b</sup>
总碳水化合物 Total carbohydrate	1.72±0.22 <sup>b</sup>	1.19±0.12 <sup>a</sup>	1.73±0.23 <sup>b</sup>	0.91±0.09 <sup>a</sup>
肌肉 Muscle				
水分 Moisture	82.91±2.08	86.18±1.03	82.46±5.79	85.06±2.81
粗蛋白 Crude protein	14.32±0.38 <sup>c</sup>	10.61±0.33 <sup>a</sup>	13.74±1.38 <sup>c</sup>	12.32±1.46 <sup>ab</sup>
总脂 Total lipid	0.94±0.09 <sup>b</sup>	0.64±0.05 <sup>a</sup>	0.83±0.15 <sup>ab</sup>	0.89±0.13 <sup>b</sup>
总碳水化合物 Total carbohydrate	0.74±0.15 <sup>c</sup>	0.36±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.04 <sup>b</sup>	0.47±0.05 <sup>ab</sup>

### 2.3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹肌肉的氨基酸组成的影响如表 5 所示。肌肉中检测出 18 种氨基酸，其中人体必需氨基酸(EAA)10 种；赖氨酸和亮氨酸含量相对较高(>9 mg/g)，苏氨酸和缬氨酸含量相对较低(<2 mg/g)，其中，饲料 1 组和饲料 3 组中的异亮氨酸、

亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、半胱氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸和酪氨酸含量显著高于 2 组和 4 组( $P<0.05$ )；非必需氨基酸(NEAA)中，除丝氨酸和组氨酸含量相对较低(<5 mg/g)，其余含量均大于 8 mg/g。整体上，饲料 1 组和饲料 3 组三疣梭子蟹肌肉中的总必需氨基酸( $\Sigma$ EAA)和总的非必需氨基酸( $\Sigma$ NEAA)含量显著高于饲料 2 组和饲料 4 组( $P<0.05$ )。

表 5 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响(%湿重, Mean±SD, n=3)  
Tab.5 Effects of dietary protein level on amino acid composition in muscle of female adult *P. trituberculatus*  
(% wet weight, Mean±SD, n=3)

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
氨基酸含量 Amino acid composition (mg/g, wet weight)				
异亮氨酸 Ile	5.42±0.23 <sup>c</sup>	4.23±0.01 <sup>a</sup>	5.53±0.15 <sup>c</sup>	4.95±0.03 <sup>b</sup>
亮氨酸 Leu	9.30±0.00 <sup>c</sup>	7.15±0.00 <sup>a</sup>	9.56±0.01 <sup>d</sup>	8.30±0.00 <sup>b</sup>
赖氨酸 Lys	9.60±0.71 <sup>b</sup>	6.98±0.02 <sup>a</sup>	9.73±0.55 <sup>b</sup>	8.25±0.14 <sup>a</sup>
蛋氨酸 Met	3.50±0.15 <sup>c</sup>	2.70±0.04 <sup>a</sup>	3.65±0.19 <sup>c</sup>	3.08±0.02 <sup>b</sup>
苯丙氨酸 Phe	5.27±0.01 <sup>c</sup>	3.99±0.01 <sup>a</sup>	5.33±0.03 <sup>d</sup>	4.61±0.02 <sup>b</sup>
半胱氨酸 Cys	2.07±0.28 <sup>b</sup>	1.50±0.24 <sup>a</sup>	1.70±0.12 <sup>ab</sup>	1.75±0.06 <sup>ab</sup>
苏氨酸 Thr	5.34±0.16 <sup>c</sup>	4.05±0.01 <sup>a</sup>	5.45±0.06 <sup>c</sup>	4.70±0.05 <sup>b</sup>
色氨酸 Trp	1.45±0.02 <sup>c</sup>	1.07±0.02 <sup>a</sup>	1.45±0.03 <sup>c</sup>	1.27±0.05 <sup>b</sup>
缬氨酸 Val	5.64±0.05 <sup>c</sup>	4.45±0.10 <sup>a</sup>	5.82±0.31 <sup>c</sup>	5.17±0.05 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	5.02±0.04 <sup>c</sup>	3.75±0.11 <sup>a</sup>	4.93±0.05 <sup>c</sup>	4.32±0.11 <sup>b</sup>
ΣEAA <sup>1</sup>	52.60±0.80 <sup>c</sup>	39.87±0.12 <sup>a</sup>	53.15±0.56 <sup>c</sup>	46.39±0.04 <sup>b</sup>
天门冬氨酸 Asp	12.24±0.24 <sup>c</sup>	9.32±0.02 <sup>a</sup>	12.39±0.04 <sup>c</sup>	10.88±0.08 <sup>b</sup>
丝氨酸 Ser	4.97±0.24 <sup>c</sup>	3.78±0.00 <sup>a</sup>	5.00±0.26 <sup>c</sup>	4.37±0.03 <sup>b</sup>
谷氨酸 Glu	20.21±0.61 <sup>c</sup>	15.05±0.01 <sup>a</sup>	20.54±0.15 <sup>c</sup>	17.33±0.00 <sup>b</sup>
甘氨酸 Gly	9.47±0.32 <sup>c</sup>	7.59±0.02 <sup>a</sup>	8.87±0.03 <sup>b</sup>	8.73±0.07 <sup>b</sup>
丙氨酸 Ala	8.67±0.49 <sup>c</sup>	6.33±0.00 <sup>a</sup>	7.78±0.05 <sup>b</sup>	6.98±0.01 <sup>a</sup>
脯氨酸 Pro	8.26±0.36 <sup>b</sup>	6.15±0.10 <sup>a</sup>	6.71±0.59 <sup>a</sup>	5.99±0.02 <sup>a</sup>
精氨酸 Arg	12.47±0.20 <sup>d</sup>	9.53±0.02 <sup>a</sup>	11.96±0.01 <sup>c</sup>	10.56±0.10 <sup>b</sup>
组氨酸 His	3.15±0.12 <sup>b</sup>	2.39±0.01 <sup>a</sup>	3.33±0.01 <sup>c</sup>	2.84±0.10 <sup>b</sup>
ΣNEAA <sup>2</sup>	79.46±1.62 <sup>c</sup>	60.15±0.10 <sup>a</sup>	76.57±0.14 <sup>c</sup>	67.70±0.17 <sup>b</sup>
TAA <sup>3</sup>	132.06±2.41 <sup>c</sup>	100.02±0.22 <sup>a</sup>	129.72±0.41 <sup>c</sup>	114.10±0.21 <sup>b</sup>
EAA/TAA	0.40±0.00	0.40±0.00	0.41±0.00	0.41±0.00

注: 1. ΣEAA: 总必需氨基酸; 2. ΣNEAA: 总非必需氨基酸; 3. TAA: 总氨基酸

Notes: 1. ΣEAA: Total essential amino acids; 2. ΣNEAA: Total non-essential amino acids; 3. TAA: Total amino acids

### 3 讨论

#### 3.1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长和卵巢发育的影响

蛋白质是动物体的主要组成物质之一, 对其生长发育至关重要(Resourcés, 2011)。本研究表明, 室外池塘养殖条件下, 饲料中蛋白水平对雌体生长无显著影响, 可能原因有: (1)池塘低密度养殖条件下(最终0.1~0.3只/m<sup>2</sup>), 饲料中32%的蛋白水平可以满足其正常生长需求;(2)饲料1组和2组三疣梭子蟹雌体可能通过摄食更多的饵料来满足其生长发育对蛋白质和氨基酸的需求。卵巢是三疣梭子蟹雌体重要的可食部位之一, 卵巢发育好坏直接影响三疣梭子蟹膏蟹的营养品质、经济价值和生殖性能(Wu *et al.*, 2010; 吴旭干等, 2014)。甲壳动物的卵巢发育过程主要是在卵母细胞中大量积累卵黄磷蛋白和脂滴(Yang *et al.*, 2005), 而卵黄磷蛋白主要由卵黄蛋白原、磷脂和类胡萝卜素

等组成(Coccia *et al.*, 2010)。本研究中, 饲料3组(蛋白含量为39.59%)三疣梭子蟹雌体的卵巢指数显著高于饲料1组和2组, 这暗示饲料中较高的蛋白含量可以促进其卵黄磷蛋白的合成, 进而促进卵巢发育和提高卵巢指数。这与红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)的研究结果类似(Rodríguez-González *et al.*, 2009)。先前有研究在自然海区单个体笼养条件下, 基于雌体生长、蛋白质效率、肥满度、卵巢中色素沉积和肌肉及卵巢中的常规生化组成等指标评价三疣梭子蟹雌体饲料中的适宜蛋白质和脂肪含量及其交互作用, 研究表明, 三疣梭子蟹雌体生长后期和育肥饲料中适宜蛋白水平为41.52% (段青源等, 2011), 略高于本研究的结论(40.16%)。可能是因为本研究实验饲料的粗脂肪水平(15%)显著高于该研究(7%~11%), 适当提高饲料中的粗脂肪水平可以节约甲壳动物饲料中蛋白质, 从而降低其蛋白需求(Catacutan, 2002)。

先前在室内养殖条件下的研究表明, 三疣梭子蟹

幼蟹(体重为 2.50~42.90 g)饲料中的蛋白需求为 45%左右(丁雪燕等, 2003), 显著高于三疣梭子蟹雌体体育肥饲料的适宜蛋白水平(40%左右)。由此可见, 三疣梭子蟹在生长和卵巢发育期间的营养需求存在较大差异。通常认为, 三疣梭子蟹幼蟹阶段需要高蛋白和低脂肪的饲料(Jin *et al.*, 2015), 而卵巢发育阶段需要高脂肪和中等蛋白的饲料来满足其正常卵巢发育(Ding *et al.*, 2017)。

### 3.2 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生化组成的影响

可食组织的生化组成可用于评价三疣梭子蟹的营养和食用价值(吴旭干等, 2014)。在本研究中, 随着饲料蛋白水平的提高, 三疣梭子蟹雌体卵巢和胰腺中的粗蛋白含量呈显著上升趋势, 原因可能是随着饲料蛋白水平的提高, 三疣梭子蟹摄入的蛋白质相对更多, 从而导致其卵巢和胰腺中蛋白积累的增加(Unnikrishnan *et al.*, 2010)。随着饲料蛋白水平的提高, 饲料 3 组和饲料 4 组雌体卵巢中的总脂含量显著增加, 这可能与这两组雌体卵巢指数较高有关。通常卵巢指数较高的蟹类, 其卵巢中的水分含量较低, 但蛋白和脂肪含量较高(Rosa *et al.*, 2002; 于智勇等, 2007)。

### 3.3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响

必需氨基酸对动物生长发育非常重要, 且水产品中的必需氨基酸含量和组成是评价蟹类营养品质的重要依据(Wu *et al.*, 2010)。根据 FAO/WHO 的理想氨基酸模式, 食品中必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)理想比值为 0.4 左右(FAO, 1985)。本研究中, 4 种蛋白水平饲料养殖的三疣梭子蟹肌肉中的必需氨基酸的含量均达到了该标准。徐善良等(2009)研究表明, 三疣梭子蟹的主要限制性氨基酸分为含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)和异亮氨酸。本研究结果表明, 这 3 种必需氨基酸含量均在饲料 1 组#和饲料 3 组雌体肌肉中较高。谷氨酸和天冬氨酸是 2 种呈鲜味的氨基酸, 其含量均在饲料 3 组中达到最高, 推测饲料 3 组三疣梭子蟹肌肉具有较高的营养品质。

综上所述, 基于池塘养殖条件下三疣梭子蟹雌体的卵巢指数和生化组成变化, 建议池塘养殖条件下三疣梭子蟹雌体体育肥饲料中适宜的蛋白水平约为 40.16%。

## 参 考 文 献

ANDERSON T, SILVA S. Nutrition in aquaculture: Farming

- aquatic animals and plants. Blackwell Publishing, Victoria, Australia, 2003, 146–171
- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington, VA: Association of Analytical Communities International, 1995, 993–994
- BAI Y C, ZHANG L B, XIA S D, *et al.* Effects of dietary protein levels on the growth, energy budget, and physiological and immunological performance of green, white and purple color morphs of sea cucumber, *Apostichopus japonicas*. *Aquaculture*, 2016, 450: 375–382
- BLACKBURN M, SMITH R, CARSON J, *et al.* The heparin-binding site of Antithrombin III. Identification of a critical tryptophan in the amino acid sequence. *Journal of Biological Chemistry*, 1984, 259(2): 939–941
- Bureau of Fishery and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. 2018 China fisheries statistics yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2019 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2018 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2019]
- CAO L, NAYLOR R, HENRIKSSON P, *et al.* Global food supply: China's aquaculture and the world's wild fisheries. *Science*, 2015, 347(6218): 133–135
- CATACUTAN M R. Growth and body composition of juvenile mud crab, *Scylla serrata*, fed different dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios. *Aquaculture*, 2002, 208(1/2/3/4): 113–123
- CHEN D W, ZHANG M, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1343–1349
- COCCIA E, DE LISA E, CRISTO C, *et al.* Effects of estradiol and progesterone on the reproduction of the freshwater crayfish *Cherax albidus*. *Biological Bulletin*, 2010, 218(1): 36–47
- DING L Y, JIN M, SUN P, *et al.* Cloning tissue expression of the fatty acid-binding protein (Pt-FABP1) gene, and effects of dietary phospholipid levels on *fabp* and vitellogenin gene expression in the female swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, 2017, 474(1): 57–65
- DING X Y, HE Z Y, XU G H, *et al.* Preliminary study on the pelletized feed for swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Marine Fisheries*, 2003, 25(1): 24–26 [丁雪燕, 何中央, 徐国辉, 等. 三疣梭子蟹配合饲料的初步研究. *海洋渔业*, 2003, 25(1): 24–26]
- DONG Z G, LI X Y, YAN B L, *et al.* Morphological variation analysis among five populations of the swimming crab (*Portunus trituberculatus*) from China Sea areas. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(4): 421–426
- DUAN Q Y, MAI K S, SHENTU J K, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth and ovary pigmentation in *Portunus trituberculatus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(4): 809–818 [段青源, 麦康森, 申屠基康, 等. 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*, 2011, 18(4): 809–818]



- FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization technical report series 724. Geneva: WHO, 1985
- FOLCH J, LEES M, SLOANE G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497–509
- GONG X P, LI B S, ZHANG L M, *et al.* Effects of dietary protein and energy levels on growth, body composition and digestive enzymes activities of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus lanceolatus* (♂) × *E. moara* (♀). *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 85–95 [公绪鹏, 李宝山, 张利民, 等. 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力的影响. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 85–95]
- HUAN P P, LÜ J J, SUN D F, *et al.* The cloning of the *PtDNMT1* gene of *Portunus trituberculatus* and its expression analysis in low salinity adaptation. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(1): 92–100 [环朋朋, 吕建建, 孙东方, 等. 三疣梭子蟹 *PtDNMT1* 基因的克隆及其在低盐适应中的表达分析. *渔业科学进展*, 2019, 40(1): 94–100]
- HUO Y W, JIN M, ZHOU P P, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, 2014, 434(1): 151–158
- JIN M, WANG M Q, HUO Y W, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, 2015, 448(6): 1–7
- JIN M, ZHOU Q C, ZHANG W, *et al.* Dietary protein requirements of the juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, 2013, 414/415(1): 303–308
- MAI K S. Nutrition and feed of aquatic animals. Beijing: China Agriculture Press, 2011, 12–13 [麦康森. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2011, 12–13]
- RESOURCES N. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, 2011(1): 57–63
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ H, VILLARREAL H, GARCIA-ULLOA M. Evaluation of practical diet containing different protein levels on gonad development of female redclaw crayfish *Cherax quaddricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(4): 347–355
- ROSA R, NUNES M. Biochemical changes during the reproductive cycle of the deep-sea decapod *Nephrops norvegicus* on the south coast of Portugal. *Marine Biology*, 2002, 141(6): 1001–1009
- SPINDLER M, STADLER R, TANNER H. Amino acid analysis of feedstuffs: Determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1985, 32(6): 24–26
- UNNIKRISHNAN U, PAULRAJ R. Dietary protein requirement of giant mud crab *Scylla serrate* juveniles fed iso-energetic formulated diets having graded protein levels. *Aquaculture Research*, 2010, 41: 278–294
- WU X G, CHANG G, CHENG Y X, *et al.* Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 25–36
- WU X G, WANG Q, LOU B, *et al.* Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 170–182 [吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 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*, 2014, 38(2): 170–182]
- WU X G, ZHOU B, CHENG Y X, *et al.* Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(2): 154–159
- XU S L, ZHANG W, YAN X J, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality between wild and cultured *Portunus trituberculatus*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(5): 659–664 [徐善良, 张薇, 严小军, 等. 野生与养殖三疣梭子蟹营养品质分析及比较. *动物营养学报*, 2009, 21(5): 659–664]
- YANG F, XU H T, DAI Z M, *et al.* Molecular characterization and expression analysis of vitellogenin in the marine crab *Portunus trituberculatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, 142(4): 456–464
- YU Z Y, WU X G, CHANG G L, *et al.* Changes in the main biochemical composition in ovaries and hepatopancreas of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* during the second ovarian development. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(6): 799–806 [于智勇, 吴旭干, 常国亮, 等. 中华绒螯蟹第二次卵巢发育期间卵巢和肝胰腺中主要生化成分的变化. *水生生物学报*, 2007, 31(6): 799–806]

(编辑 陈 辉)



## Effects of Dietary Protein Levels on the Growth, Ovarian Development and Biochemical Composition of the Swimming Crab (*Portunus trituberculatus*)

HE Xianlin<sup>1</sup>, LIU Meimei<sup>1</sup>, ZHU Shaicheng<sup>1</sup>, DONG Zhiguo<sup>2</sup>, WAN Xihe<sup>3</sup>, WU Xugan<sup>1,4,5</sup>①

(1. Center for Fish Nutrition and Environmental Ecology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Marine Biotechnology of Jiangsu Province, Jiangsu Ocean University, Lianyungang, Jiangsu 222005, China; 3. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong, Jiangsu 226007, China; 4. Shanghai Aquaculture Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 5. National Experimental Teaching Demonstration Center of Aquatic Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract** The study was designed to investigate the effects of dietary protein levels on the growth, ovarian development, and biochemical composition of the swimming crab *Portunus trituberculatus* [initial body weight of (10.98±0.28) g]. Four experimental diets, which were isoenergetic and islipidic, were formulated to contain different protein levels (30%, 34%, 38%, and 42%, defined as diets 1~4, respectively). These diets were fed to pond-reared *P. trituberculatus* females for a 120-day culture experiment. The results showed that: The dietary protein levels had no significant influence on the growth of pond-reared *P. trituberculatus* females. Diet 3 had the highest gonadosomatic index (GSI) and total edible yield (TEY). The crude protein contents in the ovary and hepatopancreas increased significantly with the increasing dietary protein ( $P<0.05$ ). Among the four treatments, diets 1 and 3 had the highest crude protein contents in the muscles ( $P<0.05$ ). Similarly, an increasing trend was found for the total lipid contents in the ovary with the increasing levels of dietary protein ( $P<0.05$ ). Diet 1 had the highest total lipid contents in the hepatopancreas and muscles, while the lowest total lipid content was found for diet 2 ( $P<0.05$ ). The contents of total essential amino acids ( $\Sigma$ EAA) and non-essential amino acids ( $\Sigma$ NEAA) in the muscles of diets 1 and 3 were significantly higher than those of the other two treatments ( $P<0.05$ ). These results indicate that the appropriate protein level in the diet of adult *P. trituberculatus* females is approximately 40.16%. The results show that an appropriate dietary protein level could improve ovarian development and muscle nutrition, which provides a reference for the formulation of a diet for *P. trituberculatus* inhabiting a pond.

**Key words** *Portunus trituberculatus*; Dietary protein levels; Ovarian development; Biochemical composition

① Corresponding author: WU Xugan, E-mail: xgwu@shou.edu.cn