



## 配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响

冯伟<sup>1</sup>, 李辉<sup>2</sup>, 唐永凯<sup>1,2,3\*</sup>, 苏胜彦<sup>1,2,3</sup>,  
王美垚<sup>1,3</sup>, 李建林<sup>1,3</sup>, 俞菊华<sup>1,3</sup>

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业与种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

**摘要:** 为研究配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹的养殖性能和营养状况的影响, 本实验通过连续采样分析了单体养殖中华绒螯蟹的生长性能、性腺发育和肌肉的营养成分, 并进一步比较了终末体质量、增重率、特定增长率、成活率和蜕壳间隔。结果显示: ①配合饲料组的成活率极显著高于冰鱼组, 而终末体质量、增重率、特定增长率和蜕壳间隔二组无显著差异; 在不同蜕壳阶段, 在体质量指标上, 配合饲料组小于冰鱼组, 其中第3次蜕壳后二组间差异显著; 增重率在雌、雄蟹体间存在差异, 其中雌蟹在第2次蜕壳后配合饲料组的增重率极显著小于冰鱼组, 而雄蟹在第1次和第4次蜕壳后2个阶段配合饲料组的增重率极显著大于冰鱼组。②在配合饲料和冰鱼2组投喂下肝胰腺指数分别为3.59%和4.45%, 性腺指数二者分别为3.20%和2.25%, 肝胰腺指数和性腺指数在二组投喂下无显著差异。③在肌肉氨基酸含量方面, 氨基酸总量( $\Sigma$ TAA)、必需氨基酸总量( $\Sigma$ TEAA)和呈味氨基酸总量( $\Sigma$ FAA)配合饲料组显著小于冰鱼组; 从单个氨基酸含量看, 赖氨酸(Lys)和精氨酸(Arg)含量配合饲料组显著小于冰鱼组, 而脯氨酸(Pro)含量则是配合饲料组显著大于冰鱼组。④在肌肉脂肪酸含量方面, 高度不饱和脂肪酸( $\Sigma$ HUFA)和DHA+EPA含量配合饲料组显著高于冰鱼组; 从单个脂肪酸看, 单不饱和脂肪酸( $\Sigma$ MUFA)中C16:1和C18:1n-9含量配合饲料组显著小于冰鱼组, 而多不饱和脂肪酸( $\Sigma$ PUFA)中的ARA和DHA配合饲料组却显著高于冰鱼组。研究表明, 在该单体养殖条件下, 配合饲料组在中华绒螯蟹生长性能和肌肉品质上接近冰鱼组, 而在性腺发育和成活率上则优于冰鱼组, 配合饲料对中华绒螯蟹养殖业更具有发展优势。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 生长性能; 性腺发育; 肌肉品质; 单体养殖

中图分类号: S963.32

文献标志码: A

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 俗称河蟹, 是我国重要的水产养殖蟹类之一<sup>[1]</sup>。其养殖主要分布在江苏、湖北、安徽等长江中下游地区,

养殖面积约70万hm<sup>2</sup>, 2018年我国中华绒螯蟹养殖总产量高达75.7万t<sup>[2]</sup>。饲料质量和营养直接影响水产动物的存活和生长, 是决定养殖产

收稿日期: 2020-05-14 修回日期: 2020-06-29

资助项目: 江苏省农业重大新品种创制(PZCZ201749), 江苏省渔业科技类项目(D2018-4), 江苏省现代农业产业技术体系(JATS[2019]385), 中央级基本科研业务费(2020TD36)

第一作者: 冯伟, 从事中华绒螯蟹健康养殖及遗传育种研究, E-mail: 1411153857@qq.com

通信作者: 唐永凯(照片), E-mail: tangyk@ffrc.cn



品成败和效益的重要因素之一<sup>[3]</sup>。目前中华绒螯蟹养殖主要为池塘养殖,以投喂野杂鱼、螺蛳和豆粕、菜粕、玉米以及配合饲料为主,但是随着中华绒螯蟹养殖产量的不断提升,野杂鱼的大量投喂导致了养殖水质恶化,活饵料螺蛳的投喂对于幼蟹来说因其觅食竞争而影响其生长<sup>[4]</sup>,而粗饲料的营养单一和不均衡性则无法满足中华绒螯蟹的生长需求,这些因素也导致其病害爆发和成蟹品质不稳定等一系列问题,严重制约了我国中华绒螯蟹养殖业的可持续发展<sup>[5-6]</sup>。因此,一种新型的蟹类单体养殖设施——“蟹龙宫”进入了人们的视野<sup>[7]</sup>。该设施具有独立的进水、排水和增氧系统,让中华绒螯蟹在每个养殖盒中生长,既避免了打斗争食、恶劣天气和天敌生物以及投喂不均对其造成的伤残、病死和育成品质等影响,又节约了水资源、改善了水质、缩减了养殖用地以及提升了精准的饵料投喂和管理,大大降低了传统养殖所付出的成本和人力<sup>[8]</sup>。

冰鱼为通过低温冷冻方式进行保存的鲜活小鱼,来源通常为海水捕捞。近年来随着养殖面积的扩大,资源丰富且来源稳定的冰鱼进入了养殖户的视野,但是其大量的使用造成了不少的问题。因此,诸多学者开展了配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹养殖的研究。唐永凯等<sup>[9]</sup>研究了冰鱼和配合饲料对中华绒螯蟹养殖效益的影响,发现冰鱼组有更高的亩产、成蟹规格以及较高的成活率。刘伟杰等<sup>[10]</sup>研究了配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长性能的影响,发现冰鱼组成活率显著低于配合饲料组,且经济效益低。目前中华绒螯蟹养殖已从提高产量为主,发展为提高产量与提升品质并重,这也是未来中华绒螯蟹养殖发展的方向。配合饲料和冰鱼作为当前最主要的饲料来源,它们对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其品质的影响的研究尚未见报道。本研究使用中华绒螯蟹单体养殖系统,研究了全程投喂配合饲料和冰鱼2种方式对中华绒螯蟹成蟹阶段生长等指标及其肌肉品质的影响,以期中华绒螯蟹饲料选择、精准投喂、以及工业化养殖提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验蟹为处于1龄的幼蟹,取自中国水产科学院淡水渔业研究中心苏州阳澄湖虾蟹绿色

养殖基地。2019年3月19日挑选体质健壮、活力强,规格接近的个体,共计96只(雌、雄各半)。冰鱼为小型鳊鱼,取自养殖基地冷库,配合饲料购于江苏海普瑞饲料有限公司,主要原料为优质鱼粉、精炼鱼油、豆粕、花生粕、高精面粉、磷酸二氢钙、碳酸钙、食盐、复合维生素、微量元素和诱食剂等,具体营养成分如表1所示。

表1 配合饲料和冰鱼营养成分比较(干重)

成分 component	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish
水分 moisture	11.33±0.27 <sup>b</sup>	79.15±0.58 <sup>a</sup>
粗蛋白 crude protein	42.60±0.83 <sup>b</sup>	62.67±1.32 <sup>a</sup>
总脂肪 total lipid	8.04±0.22 <sup>b</sup>	18.36±1.27 <sup>a</sup>
灰分 ash	16.21±0.04 <sup>a</sup>	13.92±0.93 <sup>b</sup>

注:同行不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),下同

Notes: different lowercase letters in the same line indicated significant differences ( $P<0.05$ ) and different uppercase letters indicated extremely significant differences ( $P<0.01$ ), the same below

### 1.2 实验设计及管理

实验在6行×16列的全封闭循环水“蟹龙宫”系统中进行,系统内每个养殖盒随机放养1只蟹,设置配合饲料和冰鱼2个组(每组4个重复,每个重复12只,雌、雄各半)。养殖水源为曝气自来水,水温为(25±3)°C,保持盒中溶解氧含量在5 mg/L以上,氨氮含量小于0.2 mg/L, pH为7.0~8.5。中华绒螯蟹用配合饲料投喂7 d以适应该养殖环境,实验前禁食24 h。养殖期间,每天在7:00—8:00、17:00—18:00两个时间段进行饱食投喂(饲料量为体质量的2%~5%),并根据摄食和生长情况适当调整,定时清理残污和补充水槽新水,养殖周期从3月26日到11月20日,共计240 d。

### 1.3 样品采集

在实验期间中华绒螯蟹每蜕1次壳,记录1次蜕壳间隔时间(molting intervals, MI, d),该间隔为每次中华绒螯蟹蜕壳开始到下一次蜕壳结束所需要的时间,3 d后等壳钙化后称量其体质量(擦去体表水分)并计算增重率、特定增长率和统计死亡率。待养殖周期结束后,从2组中取体质量相当的中华绒螯蟹雌、雄各6只,称其体质量并取出所有肌肉、肝胰腺和性腺,放于

-80 °C 冰箱保存, 用于后续实验。

#### 1.4 样品分析

生长指标 增重率 (weight gain rate, WGR, %) =  $(W_n - W_{n-1}) / W \times 100\%$

特定生长率 (specific growth rate, SGR, %) =  $(\ln W_n - \ln W_{n-1}) / t \times 100\%$

存活率 (survival rate, SR, %) =  $N_t / N_0 \times 100\%$

肝胰腺指数 (hepatosomatic index, HSI, %) =  $W_h / W \times 100\%$

性腺指数 (gonadosomatic index, GSI, %) =  $W_g / W \times 100\%$

肥满度 (condition factor, CF,  $g/cm^3$ ) =  $W / L^3 \times 100$   
式中,  $W_n$  为蟹第  $n$  次蜕壳后的平均体质量 (g),  $W_{n-1}$  为蟹第  $n-1$  次蜕壳后的平均体质量 (g),  $W$  为蟹体质量 (g),  $t$  为蜕壳间隔 (d),  $N_t$  为蟹终末个数;  $N_0$  为蟹初始个数,  $W_h$  为蟹肝胰腺重量 (g),  $W_g$  为蟹性腺重量 (g),  $L$  为头胸甲长 (cm)。

游离氨基酸组成 采用外标法<sup>[11]</sup>确定中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成和含量, 准确称取 600.0 mg 蛋白水解的样品, 放入特制的水解管底部, 缓慢加入 8 mL HCL 并轻轻转动水解管, 保证样品得到全部润湿, 抽真空, 维持 5 min 后, 在酒精喷灯上封口; (110±1) °C 水解 22~24 h, 切开水解管用去离子水全部转移到 25 mL 容量瓶中、定容, 双层滤纸过滤, 取滤液 1 mL 置于 25 mL 小烧杯中, 在加 NaOH 的真空干燥器中蒸干 (水浴加热不超过 50 °C), 然后加入 1 mL pH 2.2 的盐酸溶解后, 溶液转移至 1.5 mL 的离心管中, 10 000 r/min 离心 10 min, 取 0.5 mL 上清液于样品瓶中测定, 所用仪器为安捷伦液相色谱仪。

脂肪酸组成 采用面积归一化法<sup>[12]</sup>确定蟹体肌肉脂肪酸组成及相对含量, 取部分已制备好的中华绒螯蟹肌肉样品用于脂肪酸分析, 总脂肪酸的测定采用氯仿: 甲醇: 水=2:2:1 抽提总脂肪, 分别用 1 mol/L KOH-甲醇和 0.5 mol/L 硫酸甲醇溶液使脂肪酸甲酯化, 再用正庚烷萃取脂肪酸甲酯。样品皂化甲酯化后, 直接上气相色谱—质谱仪进行分析。所用仪器为 Agilent 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS)。

#### 1.5 数据处理

应用 SPSS 24.0 软件对实验数据进行方差齐性检验, 采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和独立  $t$  检验检查各项指标间的差异性, 数据以平均值±标准差 (mean±SD) 的形式表示,  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果

### 2.1 生长性状

在成活率方面, 配合饲料和冰鱼组成活率分别为 58.33% 和 43.75%, 二组之间存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), 终末体质量、增重率、特定生长率等 3 个指标冰鱼组高于配合饲料组 ( $P > 0.05$ ), 蜕壳间隔则是冰鱼组快于配合饲料组 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。

在该养殖模式下中华绒螯蟹蜕了 3~4 次壳, 每次蜕壳后冰鱼组中华绒螯蟹体质量都高于配合饲料组, 且冰鱼组中华绒螯蟹第 3 次蜕壳后体质量显著高于配合饲料组 ( $P < 0.05$ ), 但第 4 次蜕壳后 2 组间体质量几乎接近, 无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (图 1)。

从整体上看, 随着养殖时间的延长, 雌、雄

表 2 配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长性能的影响

Tab. 2 Effect of formula feed and frozen fish on the growth performance of *E. sinensis* reared in the "Crab Palace" system

项目 items	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish
	n=50					
成活率/% SR	75.00 <sup>a</sup>	50.00 <sup>b</sup>	41.67 <sup>a</sup>	37.50 <sup>a</sup>	58.33 <sup>a</sup>	43.75 <sup>b</sup>
初始体质量/g IBW	7.63±3.49 <sup>a</sup>	8.72±3.75 <sup>a</sup>	8.99±3.39 <sup>a</sup>	8.09±3.05 <sup>a</sup>	8.31±3.86 <sup>a</sup>	8.40±3.63 <sup>a</sup>
终末体质量/g FBW	37.96±9.41 <sup>a</sup>	39.05±7.82 <sup>a</sup>	34.38±6.85 <sup>a</sup>	37.87±9.60 <sup>a</sup>	35.41±8.69 <sup>a</sup>	38.42±8.69 <sup>a</sup>
增重率/% WGR	406.50±95.59 <sup>a</sup>	433.64±161.80 <sup>a</sup>	360.32±170.78 <sup>a</sup>	428.00±164.07 <sup>a</sup>	385.38±135.37 <sup>a</sup>	430.64±160.39 <sup>a</sup>
特定增长率/% SGR	0.90±0.11 <sup>a</sup>	0.91±0.18 <sup>a</sup>	0.83±0.20 <sup>a</sup>	0.90±0.16 <sup>a</sup>	0.87±0.16 <sup>a</sup>	0.91±0.16 <sup>a</sup>
蜕壳间隔/d MI	52.73±24.40 <sup>a</sup>	49.57±23.38 <sup>a</sup>	51.84±20.45 <sup>a</sup>	47.79±17.84 <sup>a</sup>	52.23±22.48 <sup>a</sup>	48.68±20.61 <sup>a</sup>

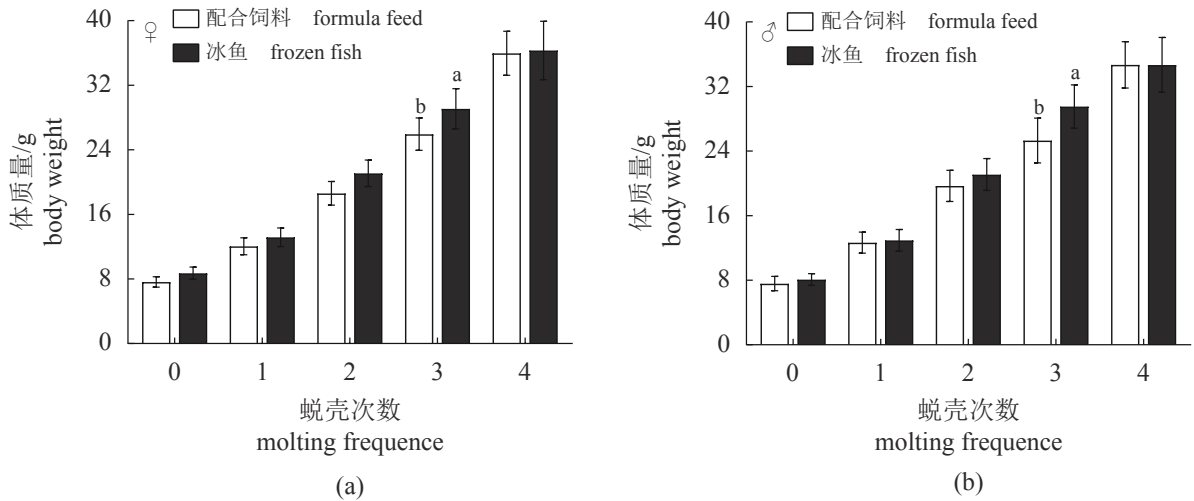


图1 配合饲料和冰鱼对雌 (a)、雄 (b) 中华绒螯蟹体质量的影响

图中不同小写字母代表组间差异显著 ( $P<0.05$ ), 不同大写字母表示组间差异极显著 ( $P<0.01$ ), 下同

Fig. 1 Effect of formula feed and frozen fish on the body weight of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system

Different lowercase letters indicated significant differences ( $P<0.05$ ) and different uppercase letters indicated extremely significant differences in formula feed and frozen fish ( $P<0.01$ ), the same below

个体的增重率和特定增长率呈下降趋势, 第3次蜕壳之前中华绒螯蟹生长普遍较快, 而之后则呈现一种缓慢生长的趋势(图2)。其中第2次蜕壳后, 雌蟹的增重率冰鱼组最高为66.00%, 比配合饲料组高了12.87%, 二者存在极显著差异 ( $P<0.01$ ); 相反, 雄蟹的增重率配合饲料组在第1次蜕壳后和第4次蜕壳后2个阶段极显著高于冰鱼组 ( $P<0.01$ )。中华绒螯蟹的特定增长率配合饲料组则在第1次蜕壳后显著高于冰鱼组 ( $P<0.05$ )(图3)。

### 2.2 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肥满度及性腺发育的影响

在中华绒螯蟹的肥满度、肝胰腺指数和性腺指数上, 配合饲料组和冰鱼组无显著差异 ( $P>0.05$ ), 但是在肝胰腺指数方面, 冰鱼组略高于配合饲料组, 而性腺指数方面, 配合饲料组则略高于冰鱼组 ( $P>0.05$ )。从雌、雄中华绒螯蟹看, 雌蟹冰鱼组的肝胰腺指数为4.75%, 雌蟹配合饲料组的肝胰腺指数为3.46%, 二者差异显著 ( $P<$

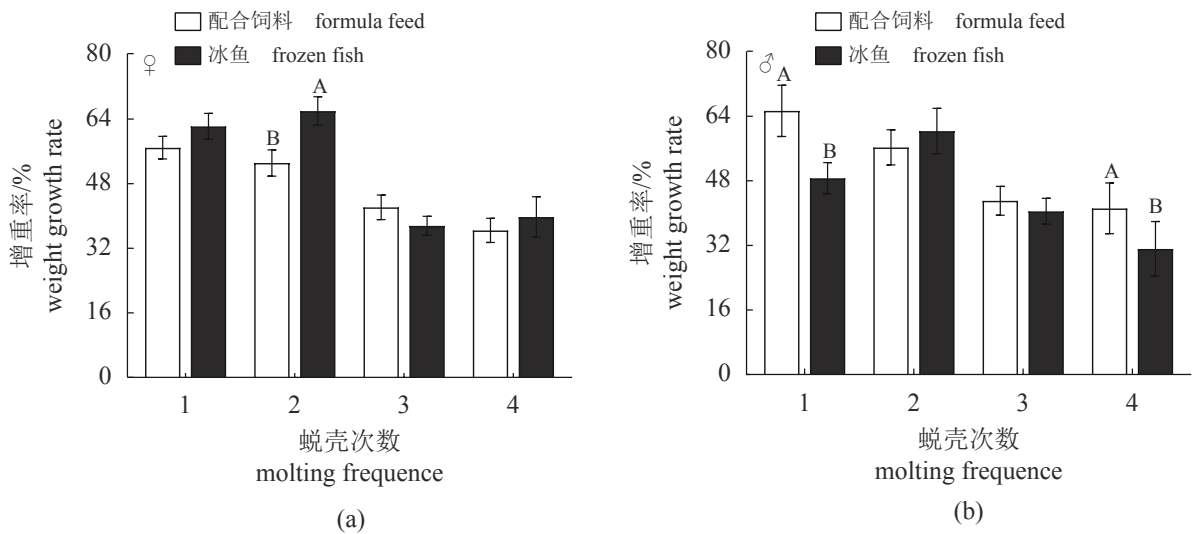


图2 配合饲料和冰鱼对雌 (a)、雄 (b) 中华绒螯蟹增重率的影响

Fig. 2 Effect of formula feed and frozen fish on the weight gain rate of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system

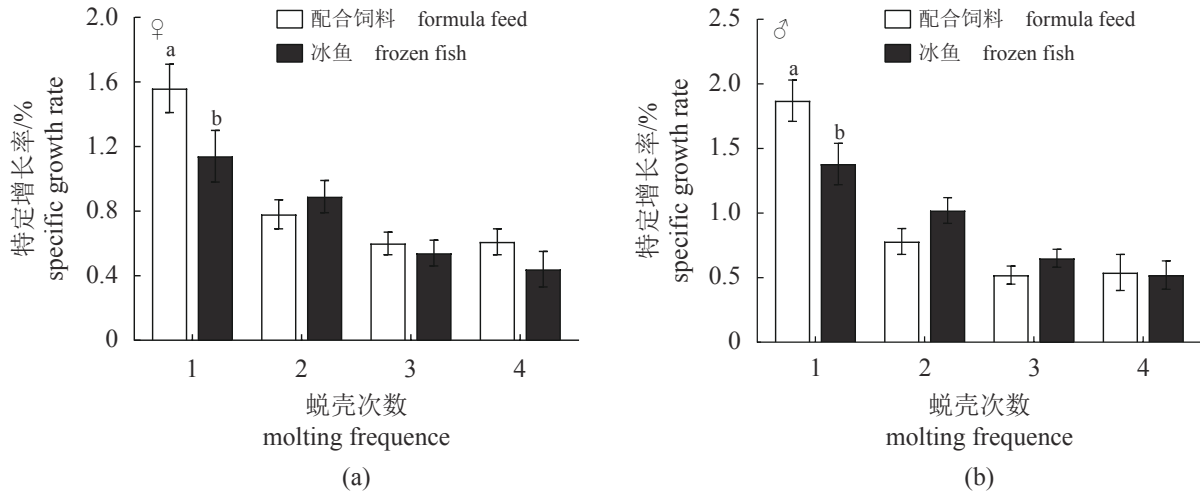


图3 配合饲料和冰鱼对雌(a)、雄(b)中华绒螯蟹特定增长率的影响  
 Fig. 3 Effect of formula feed and frozen fish on the specific growth rate of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system

0.05); 性腺指数则是雌蟹配合饲料组最高为 3.87%, 雌蟹冰鱼组为 2.76%, 二组差异显著 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

### 2.3 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成及含量的影响

由于色氨酸在酸性水解过程中被破坏未被检测出来, 从中华绒螯蟹肌肉中共测出 18 种游离氨基酸 (表 4)。冰鱼组肌肉氨基酸总量 ( $\Sigma TAA$ )、呈味氨基酸总量 ( $\Sigma FAA$ ) 显著高于配合饲料组 ( $P < 0.05$ )。从单个氨基酸来看, 绝大多数氨基酸含量均是冰鱼组略高于配合饲料组, 其中赖氨酸和精氨酸冰鱼组显著高于配合饲料组 ( $P < 0.05$ ), 而脯氨酸则是配合饲料组显著大于冰鱼组; 从雌、雄个体看, 精氨酸在雌、雄蟹个体间均是冰鱼组极显著高于配合饲料组 ( $P < 0.01$ ), 而脯氨酸则是配合饲料组极显著高于冰鱼组 ( $P < 0.01$ ); 此外, 雌蟹在蛋氨酸、赖氨酸、谷氨酸和甘氨酸这 4 个氨基酸组间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 而其他氨基酸在雄蟹之间 2 组无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.4 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉脂肪酸组成及含量的影响

从中华绒螯蟹肌肉中共检测出 19 种脂肪酸 (表 5), 其中 2 组间肌肉饱和脂肪酸总量 ( $\Sigma SFA$ )、单不饱和脂肪酸总量 ( $\Sigma MUFA$ ) 和多不饱和脂肪酸总量 ( $\Sigma PUFA$ ) 均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 而高度不饱和脂肪酸总量 ( $\Sigma HUFUFA$ ) 和 DHA+EPA 含量则是配合饲料组显著高于冰鱼组 ( $P < 0.05$ )。从单个脂肪酸看, 在单不饱和脂肪酸 ( $\Sigma MUFA$ ) 中棕榈油酸 (C16:1) 和油酸 (C18:1n-9) 含量组间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在多不饱和脂肪酸 ( $\Sigma PUFA$ ) 中 ARA 和 DHA 等脂肪酸含量组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹生长性能的影响

饲料是养殖甲壳类营养物质和能量的重要

表 3 单体条件下配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹肝胰腺指数、性腺指数和肥满度的影响

Tab. 3 Effect of formula feed and frozen fish on the hepatosomatic index (HSI), gonadosomatic index (GSI) and condition factor (CF) of *E. sinensis* reared in the “Crab Palace” system

项目 items	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish
	肥满度 / ( $g/cm^3$ ) CF	53.87±9.36 <sup>a</sup>	54.88±7.52 <sup>a</sup>	54.54±9.53 <sup>a</sup>	53.23±10.41 <sup>a</sup>	54.05±9.49 <sup>a</sup>
肝胰腺指数 % HSI	3.46±0.65 <sup>b</sup>	4.75±0.58 <sup>a</sup>	3.72±1.12 <sup>a</sup>	3.54±1.87 <sup>a</sup>	3.59±1.08 <sup>a</sup>	4.45±1.02 <sup>a</sup>
性腺指数 % GSI	3.87±1.63 <sup>a</sup>	2.76±2.11 <sup>b</sup>	2.53±0.87 <sup>a</sup>	1.72±0.43 <sup>a</sup>	3.20±1.53 <sup>a</sup>	2.25±0.78 <sup>a</sup>

表 4 配合饲料组和冰鱼组中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成与含量(湿重)

Tab. 4 The composition and content of amino acids in the muscles of *E. sinensis* reared in the "Crab Palace" system fed with formula feed and frozen fish (wet weight) (g/100 g, n=12)

氨基酸 amino acids	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of male and female	
	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish	配合饲料组 formula feed	冰鱼组 frozen fish
苏氨酸 Thr	3.02±0.08 <sup>a</sup>	3.24±0.12 <sup>a</sup>	3.19±0.31 <sup>a</sup>	3.10±0.21 <sup>a</sup>	3.11±0.22 <sup>a</sup>	3.17±0.22 <sup>a</sup>
缬氨酸 Val	3.15±0.09 <sup>a</sup>	3.26±0.04 <sup>a</sup>	3.26±0.19 <sup>a</sup>	3.39±0.38 <sup>a</sup>	3.21±0.15 <sup>a</sup>	3.33±0.25 <sup>a</sup>
蛋氨酸 Met	0.92±0.73 <sup>b</sup>	1.69±0.06 <sup>a</sup>	1.45±0.16 <sup>a</sup>	1.75±0.43 <sup>a</sup>	1.19±0.55 <sup>a</sup>	1.72±0.28 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 Phe	2.45±0.14 <sup>a</sup>	2.65±0.08 <sup>a</sup>	2.73±0.24 <sup>a</sup>	2.58±0.20 <sup>a</sup>	2.59±0.23 <sup>a</sup>	2.62±0.14 <sup>a</sup>
异亮氨酸 Ile	2.56±0.17 <sup>a</sup>	2.96±0.12 <sup>a</sup>	2.85±0.27 <sup>a</sup>	2.89±0.26 <sup>a</sup>	2.70±0.26 <sup>a</sup>	2.92±0.18 <sup>a</sup>
亮氨酸 Leu	4.35±0.31 <sup>a</sup>	5.00±0.18 <sup>a</sup>	4.90±0.56 <sup>a</sup>	4.86±0.42 <sup>a</sup>	4.63±0.51 <sup>a</sup>	4.93±0.30 <sup>a</sup>
赖氨酸 Lys	4.41±0.58 <sup>b</sup>	5.38±0.26 <sup>a</sup>	5.15±0.66 <sup>a</sup>	4.99±0.30 <sup>a</sup>	4.78±0.68 <sup>b</sup>	5.18±0.33 <sup>a</sup>
总必需氨基酸 ΣTEAA	20.86±1.20 <sup>B</sup>	24.18±1.30 <sup>A</sup>	23.53±1.29 <sup>A</sup>	23.56±1.18 <sup>A</sup>	22.21±1.24 <sup>A</sup>	23.87±1.24 <sup>A</sup>
天冬氨酸 Asp	7.00±0.70 <sup>a</sup>	7.03±0.23 <sup>a</sup>	7.24±0.66 <sup>a</sup>	6.72±0.30 <sup>a</sup>	7.12±0.62 <sup>a</sup>	6.88±0.29 <sup>a</sup>
谷氨酸 Glu	10.41±0.57 <sup>b</sup>	11.60±0.50 <sup>a</sup>	11.32±1.18 <sup>a</sup>	10.96±0.38 <sup>a</sup>	10.87±0.97 <sup>a</sup>	11.28±0.53 <sup>a</sup>
甘氨酸 Gly	4.69±0.82 <sup>b</sup>	6.05±0.28 <sup>a</sup>	4.73±0.58 <sup>a</sup>	5.38±0.79 <sup>a</sup>	4.71±0.63 <sup>a</sup>	5.72±0.64 <sup>a</sup>
丙氨酸 Ala	4.12±0.30 <sup>a</sup>	4.48±0.29 <sup>a</sup>	4.42±0.53 <sup>a</sup>	4.43±0.19 <sup>a</sup>	4.27±0.42 <sup>a</sup>	4.46±0.22 <sup>a</sup>
酪氨酸 Tyr	1.98±0.12 <sup>a</sup>	2.04±0.10 <sup>a</sup>	2.23±0.26 <sup>a</sup>	2.09±0.17 <sup>a</sup>	2.11±0.23 <sup>a</sup>	2.06±0.13 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 Phe	2.45±0.14 <sup>a</sup>	2.65±0.08 <sup>a</sup>	2.73±0.24 <sup>a</sup>	2.58±0.20 <sup>a</sup>	2.59±0.23 <sup>a</sup>	2.62±0.14 <sup>a</sup>
总呈味氨基酸 ΣFAA	30.65±3.15 <sup>B</sup>	33.85±3.49 <sup>A</sup>	32.67±3.38 <sup>A</sup>	32.16±3.24 <sup>A</sup>	31.67±3.26 <sup>B</sup>	33.02±3.36 <sup>A</sup>
半胱氨酸 Cys-s	0.19±0.12 <sup>a</sup>	0.26±0.03 <sup>a</sup>	0.20±0.11 <sup>a</sup>	0.21±0.08 <sup>a</sup>	0.19±0.10 <sup>a</sup>	0.23±0.06 <sup>a</sup>
组氨酸 His	1.30±0.09 <sup>a</sup>	1.29±0.07 <sup>a</sup>	1.49±0.05 <sup>a</sup>	1.40±0.13 <sup>a</sup>	1.40±0.12 <sup>a</sup>	1.30±0.09 <sup>a</sup>
精氨酸 Arg	5.71±0.82 <sup>B</sup>	7.43±0.47 <sup>A</sup>	5.86±0.87 <sup>B</sup>	6.88±0.34 <sup>A</sup>	5.79±0.76 <sup>B</sup>	7.15±0.47 <sup>A</sup>
丝氨酸 Ser	2.74±0.11 <sup>a</sup>	2.92±0.08 <sup>a</sup>	2.88±0.32 <sup>a</sup>	2.83±0.15 <sup>a</sup>	2.81±0.23 <sup>a</sup>	2.88±0.12 <sup>a</sup>
脯氨酸 Pro	3.68±0.98 <sup>AB</sup>	2.47±0.39 <sup>B</sup>	4.63±0.55 <sup>A</sup>	3.13±0.24 <sup>B</sup>	4.10±0.88 <sup>a</sup>	2.80±0.46 <sup>b</sup>
氨基酸总量 ΣTAA	62.68±2.44 <sup>B</sup>	69.75±2.78 <sup>A</sup>	68.53±2.58 <sup>A</sup>	67.59±2.55 <sup>A</sup>	65.58±2.51 <sup>B</sup>	68.63±2.67 <sup>A</sup>
TEAA/TAA	0.33±0.00 <sup>a</sup>	0.35±0.00 <sup>a</sup>	0.34±0.00 <sup>a</sup>	0.35±0.00 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>

来源, 饲料的质量和营养直接影响着中华绒螯蟹的生长和存活<sup>[13]</sup>。本研究表明, 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹 FBW、WGR 和 SGR、MI 无显著影响, 而配合饲料组的中华绒螯蟹成活率显著高于冰鱼组, 表明配合饲料投喂对中华绒螯蟹有着较高的成活率、相对接近的蜕壳间隔和生长速度, 这与杨丽丽等<sup>[5]</sup>在中华绒螯蟹、贲玲芝等<sup>[14]</sup>在三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 的研究结果一致, 这可能是配合饲料中添加了复合维生素和少量微量元素, 提升了中华绒螯蟹免疫抗应激的能力, 而海捕的冰鱼腐败后通常含有生物胺或携带病菌和有毒重金属<sup>[15-17]</sup>,

这些可能是冰鱼组成活率低的因素。这表明配合饲料组比冰鱼组对中华绒螯蟹有着更好的养殖性能, 可以进一步扩大推广。

近年来, 越来越多的研究表明甲壳类不同生长阶段的营养需求有所不同, 通常成体阶段的蛋白质需求低于幼体和稚体阶段, 而脂肪需求却高于这 2 个阶段, 且成体阶段雌雄个体也表现出极大的差异<sup>[18-20]</sup>。本研究发现, 配合饲料和冰鱼投喂对雌、雄中华绒螯蟹不同蜕壳阶段的体质量 (BW)、WGR 和 SGR 的增长有所差异。黄妹等<sup>[21]</sup>在实验条件下对中华绒螯蟹的研究结果也显示, 中华绒螯蟹 BW 呈缓慢上升趋势, 而

表 5 配合饲料组和冰鱼组中华绒螯蟹肌肉脂肪酸组成与含量 (总脂肪酸)

Tab. 5 The composition and content of fatty acids in the muscles of *E.sinensis* reared in the "Crab Palace" system fed with formula feed and frozen fish (total fatty acid) (% , n=12)

脂肪酸 fatty acids	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish
	C14:0	1.12±0.01 <sup>a</sup>	1.18±0.23 <sup>a</sup>	1.12±0.07 <sup>a</sup>	1.29±0.16 <sup>a</sup>	1.12±0.05 <sup>a</sup>
C15:0	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.51±0.01 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	0.49±0.02 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	0.40±0.02 <sup>a</sup>
C16:0	18.49±0.27 <sup>a</sup>	17.60±0.54 <sup>b</sup>	17.02±0.36 <sup>b</sup>	18.06±0.41 <sup>a</sup>	17.75±0.85 <sup>a</sup>	17.83±0.50 <sup>a</sup>
C17:0	0.53±0.01 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.52±0.02 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>
C18:0	4.08±0.07 <sup>a</sup>	4.01±0.30 <sup>a</sup>	3.65±0.10 <sup>a</sup>	3.98±0.19 <sup>a</sup>	3.87±0.25 <sup>a</sup>	4.00±0.22 <sup>a</sup>
∑SFA	25.00±6.35 <sup>a</sup>	24.09±6.04 <sup>a</sup>	23.11±5.83 <sup>b</sup>	24.62±6.19 <sup>a</sup>	24.07±6.09 <sup>a</sup>	24.26±6.12 <sup>a</sup>
C16:1	2.90±0.72 <sup>b</sup>	3.22±0.40 <sup>a</sup>	2.93±0.10 <sup>b</sup>	3.48±0.27 <sup>a</sup>	2.92±0.08 <sup>b</sup>	3.35±0.34 <sup>a</sup>
C18:1n-9	37.63±0.64 <sup>b</sup>	40.26±2.63 <sup>a</sup>	40.32±0.98 <sup>a</sup>	40.87±1.39 <sup>a</sup>	38.97±1.65 <sup>b</sup>	40.56±1.91 <sup>a</sup>
C20:1	1.95±0.17 <sup>a</sup>	2.05±0.14 <sup>a</sup>	2.24±0.21 <sup>a</sup>	2.04±0.05 <sup>a</sup>	2.09±0.23 <sup>a</sup>	2.04±0.09 <sup>a</sup>
C22:1n-9	0.40±0.06 <sup>a</sup>	0.47±0.03 <sup>a</sup>	0.47±0.06 <sup>a</sup>	0.42±0.01 <sup>a</sup>	0.43±0.07 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>a</sup>
∑MUFA	42.88±17.97 <sup>b</sup>	46.00±19.21 <sup>a</sup>	45.96±19.25 <sup>a</sup>	46.81±19.49 <sup>a</sup>	44.41±18.61 <sup>a</sup>	46.39±19.34 <sup>a</sup>
C18:2n-6(LA)	15.64±0.19 <sup>b</sup>	16.94±0.81 <sup>a</sup>	17.24±0.52 <sup>a</sup>	16.59±0.51 <sup>a</sup>	16.44±0.94 <sup>a</sup>	16.77±0.63 <sup>a</sup>
C18:3n-3(LNA)	2.85±0.22 <sup>a</sup>	2.97±0.14 <sup>a</sup>	3.25±0.07 <sup>a</sup>	2.90±0.14 <sup>b</sup>	3.05±0.27 <sup>a</sup>	2.94±0.13 <sup>a</sup>
C18:3n-6	0.57±0.04 <sup>a</sup>	0.61±0.03 <sup>a</sup>	0.57±0.02 <sup>a</sup>	0.57±0.12 <sup>a</sup>	0.57±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.08 <sup>a</sup>
C20:3n-6	0.98±0.01 <sup>a</sup>	0.87±0.10 <sup>a</sup>	0.90±0.03 <sup>a</sup>	0.85±0.05 <sup>a</sup>	0.94±0.05 <sup>a</sup>	0.87±0.08 <sup>a</sup>
C22:3	0.53±0.03 <sup>a</sup>	0.44±0.16 <sup>a</sup>	0.43±0.07 <sup>a</sup>	0.43±0.05 <sup>a</sup>	0.48±0.07 <sup>a</sup>	0.44±0.11 <sup>a</sup>
C20:4n-6(ARA)	3.23±0.18 <sup>a</sup>	2.21±0.95 <sup>b</sup>	2.29±0.45 <sup>a</sup>	1.92±0.40 <sup>a</sup>	2.76±0.60 <sup>a</sup>	2.07±0.67 <sup>b</sup>
C22:4	1.18±0.59 <sup>a</sup>	1.03±0.43 <sup>a</sup>	1.04±0.24 <sup>a</sup>	0.91±0.18 <sup>a</sup>	1.11±0.41 <sup>a</sup>	0.97±0.30 <sup>a</sup>
C20:5n-3(EPA)	0.65±0.05 <sup>a</sup>	0.43±0.14 <sup>b</sup>	0.43±0.07 <sup>a</sup>	0.43±0.05 <sup>a</sup>	0.54±0.13 <sup>a</sup>	0.43±0.09 <sup>a</sup>
C22:5n-3	0.58±0.01 <sup>a</sup>	0.47±0.16 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>a</sup>	0.43±0.03 <sup>a</sup>	0.52±0.07 <sup>a</sup>	0.45±0.10 <sup>a</sup>
C22:6n-3(DHA)	5.35±0.64 <sup>a</sup>	3.35±1.57 <sup>b</sup>	3.75±0.83 <sup>a</sup>	2.92±0.68 <sup>b</sup>	4.55±1.09 <sup>a</sup>	3.13±1.11 <sup>b</sup>
∑PUFA	32.12±4.50 <sup>a</sup>	29.89±4.84 <sup>b</sup>	30.91±4.74 <sup>b</sup>	28.51±4.59 <sup>c</sup>	31.52±4.70 <sup>a</sup>	29.22±4.79 <sup>a</sup>
∑HUFA	12.50±1.83 <sup>A</sup>	8.80±1.12 <sup>BC</sup>	9.30±1.25 <sup>B</sup>	7.89±0.95 <sup>C</sup>	10.90±1.54 <sup>a</sup>	8.36±1.03 <sup>b</sup>
∑n-3PUFA	9.43±2.26 <sup>a</sup>	7.22±1.57 <sup>bc</sup>	7.89±1.78 <sup>b</sup>	6.68±1.43 <sup>c</sup>	8.66±1.98 <sup>a</sup>	6.95±1.50 <sup>b</sup>
∑n-6PUFA	20.42±7.12 <sup>a</sup>	20.63±7.89 <sup>a</sup>	21.00±8.03 <sup>a</sup>	19.93±7.76 <sup>a</sup>	20.71±7.57 <sup>a</sup>	20.30±7.82 <sup>a</sup>
n-3/n-6	0.46±0.02 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.01 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>
DHA+EPA	6.01±0.65 <sup>A</sup>	3.78±0.98 <sup>B</sup>	4.18±0.86 <sup>A</sup>	3.35±0.72 <sup>B</sup>	5.10±1.21 <sup>a</sup>	3.56±1.18 <sup>b</sup>

WGR 和 SGR则是先升后降,这与本研究结果一致。本研究表明雌蟹第3次蜕壳后冰鱼组对中华绒螯蟹 BW 的增加显著高于配合饲料组,这可能由于中华绒螯蟹在经历 2~3 次蜕壳后,进入生殖蜕壳阶段<sup>[22]</sup>,该阶段中华绒螯蟹性腺开始发育,大量物质开始积累,中华绒螯蟹更偏向于摄食

脂肪含量更高的冰鱼来增加体质量。对于雌蟹,尤其是第2次蜕壳后的 WGR 增长最快,这主要由于雌蟹肩负着生殖的任务,冰鱼更高的能量源能提升雌蟹对营养源的吸收与转化,加之第2次蜕壳正值 5—6 月份,水温稳定,昼夜温差不大,加快了雌蟹的生长速度,这与周刚等<sup>[23]</sup>的研

究结果相一致。相反,雄蟹的WGR则表现出配合饲料组优于冰鱼组的结果,这可能由于雌体蜕壳早于雄体,配合饲料中更加均衡的营养,利于蜕壳前的营养积累,导致了第1次蜕壳和第4次蜕壳后配合饲料组和冰鱼组WGR的差异性。SGR则是配合饲料组要优于冰鱼组,且第1次蜕壳差异显著,可能由于配合饲料更好的适口性和诱食效果能够提高中华绒螯蟹前期的SGR。本实验研究表明2种饲料投喂对不同蜕壳周期的雌、雄中华绒螯蟹有着明显的差异,这也为中华绒螯蟹养殖精准投喂和饲料选择有着重要的帮助。

### 3.2 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肥满度及性腺发育的影响

生殖蜕壳是甲壳类动物由未成熟向性成熟发展的重要过程,是性腺发育的最初阶段<sup>[24]</sup>。成蟹的品质不仅影响其市场需求,而且还影响其可食部分产量和营养价值,而成蟹品质的好坏则由成蟹的发育度和肥满度决定,而其肝胰腺和性腺的发育度则决定着整体的肥满度<sup>[25-26]</sup>。相关研究发现,冰鱼不仅具有高蛋白质和高脂肪的特点,而且还具有一定的外源性消化酶,因此中华绒螯蟹对冰鱼等动物蛋白源的消化和能量积累要高于植物性蛋白源以及配合饲料<sup>[27-28]</sup>。本实验与以往研究恰好相反,在该养殖条件下配合饲料投喂对中华绒螯蟹HSI向GSI转化要优于冰鱼,但是配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹CF、HSI和GSI无显著影响。魏建军<sup>[29]</sup>对中华绒螯蟹的研究表明,养殖环境中,中华绒螯蟹摄食维生素丰富的水草,可以保证机体营养物质的正常代谢,可有效提高营养物质的转化率,这可能是配合饲料中添加的复合维生素对成蟹性腺的积累起到了促进作用。

### 3.3 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉游离氨基酸的影响

中华绒螯蟹的营养价值和商业价值主要取决于其可食部位的营养成分、品质和含量,而其风味主要与游离氨基酸和脂肪酸的含量有关,而影响其风味和营养最直接的则是饵料的质量和类型<sup>[30-31]</sup>。相关研究表明,饵料中的蛋白质在水产动物体内消化,转变成各种氨基酸,输送至各个组织细胞中,合成自身特殊的蛋白质和

活性物质<sup>[32]</sup>。氨基酸的变化主要与能量利用和蛋白质合成相关,冰鱼有着更高的蛋白质含量,且具有一定的外源消化酶促进了中华绒螯蟹对冰鱼蛋白质中氨基酸的利用与吸收<sup>[27]</sup>,这可能是本研究中华绒螯蟹肌肉中的总必需氨基酸( $\Sigma$ TEAA)、总呈味氨基酸( $\Sigma$ FAA)、氨基酸总量( $\Sigma$ TAA)以及绝大多数氨基酸含量均是冰鱼组优于配合饲料组的主要原因。周凡等<sup>[33]</sup>对水产动物研究表明,精氨酸的含量越高,水产动物的生长速度越快,这与本研究结果一致,分析可能是冰鱼中精氨酸含量丰富,促进了冰鱼组中华绒螯蟹的生长性能。熊益民<sup>[34]</sup>研究了低鱼粉饲料中添加不同脯氨酸对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长的影响,发现脯氨酸对其生长无明显影响,只是随着其添加量的增加而导致虾肌肉中脯氨酸含量的增加,这与本研究中冰鱼组中华绒螯蟹肌肉脯氨酸含量显著小于配合饲料组的结果一致,这可能是由于配合饲料中脯氨酸的含量可能高于冰鱼。

### 3.4 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉脂肪酸的影响

蟹类机体脂肪酸组成含量与饵料脂肪酸含量具有直接的相关性<sup>[35-36]</sup>。阙有清等<sup>[37]</sup>对配合饲料替代杂鱼的研究发现,配合饲料和杂鱼对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的影响较大,而对肌肉脂肪酸含量的影响较少,这与本研究配合饲料和冰鱼投喂对总饱和脂肪酸( $\Sigma$ SFA)、总单不饱和脂肪酸( $\Sigma$ MUFA)、总多不饱和脂肪酸( $\Sigma$ PUFA)和总高度不饱和脂肪酸( $\Sigma$ HUFA)含量无显著性差异的结果一致,这可能是由于中华绒螯蟹性腺和肝胰腺中的脂肪酸周转代谢较快,而肌肉中的脂肪酸组成相对稳定<sup>[38]</sup>。Kimata等<sup>[39]</sup>研究发现棕榈酸油(C16:1)含量与口味之间存在着较高的正相关性,棕榈油酸含量越高肌肉品质也越好,本研究表明冰鱼组中棕榈油酸(C16:1)和油酸(C18:1n-9)含量要显著高于配合饲料组,这可能是由于冰鱼有着更丰富的脂肪源,促进了2种脂肪酸的积累。相反,配合饲料组却在ARA(C20:4n-6)和DHA(C22:6n-3)2类脂肪酸含量上显著高于冰鱼组,这可能是由于配合饲料具有更加均衡的营养配方,利于这2种脂肪酸的吸收与积累。

总之,在该养殖条件下,中华绒螯蟹在配



合饲料和冰鱼投喂下均能完成生长蜕壳,但是在性腺发育方面配合饲料却有着更明显的促进作用,在中华绒螯蟹肌肉的营养品质方面,虽然冰鱼要优于配合饲料,但二者差异并不明显。综合比较配合饲料和冰鱼投喂2种方式,配合饲料投喂对中华绒螯蟹的产业发展有着巨大的潜力和优势。

### 参考文献 (References):

- [1] Shapawi R, Mustafa S, Ng W K. Effects of dietary fish oil replacement with vegetable oils on growth and tissue fatty acid composition of humpback grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes)[J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(3): 315-323.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 中国渔业统计年鉴-2019[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- Fisheries and Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2019 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [3] 杨为东, 郭玲玲, 赵文, 等. Ph、盐度和不同饵料对咖啡金水母幼体生长与存活的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(3): 223-226.
- Yang W D, Guo L L, Zhao W, *et al.* The effect of pH, salinity and food organism species on survival and growth of larval jellyfish *Chrysaora melanaster*[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2011, 26(3): 223-226(in Chinese).
- [4] 王海候, 沈明星, 陆长婴, 等. 螺蛳替代商品饲料比例对中华绒螯蟹产量和水质的影响[J]. *水产科学*, 2015, 34(11): 690-695.
- Wang H H, Shen M X, Lu C Y, *et al.* Effect of replacement percentage of commercial feed by snails on yield and water quality in Chinese mitten handed crab culture[J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(11): 690-695(in Chinese).
- [5] 杨丽丽, 杨筱珍, 赵柳兰, 等. 冰鲜野杂鱼和配合饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力及血细胞的影响研究[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2011, 50(5): 619-624.
- Yang L L, Yang X Z, Zhao L L, *et al.* Effects of two different diets on the growth, digestive enzyme activity and haemocytes in juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2011, 50(5): 619-624(in Chinese).
- [6] 王少兵, 姜晓东, 张金彪, 等. 两种投饲模式下中华绒螯蟹扣蟹池塘养殖效果比较[J]. *水产科技情报*, 2018, 45(3): 162-166.
- Wang S B, Jiang X D, Zhang J B, *et al.* Comparison of pond culture effects of juvenile Chinese mitten crabs under two feeding modes[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2018, 45(3): 162-166(in Chinese).
- [7] 黄伟卿, 张艺, 叶海辉, 等. “蟹公寓”培育红膏蟹养殖技术研究[J]. *科学养鱼*, 2017(1): 35-36.
- Huang W Q, Zhang Y, Ye H H, *et al.* Research on "Crab Apartment" culture technology of Honggao crab[J]. *Scientific Fish Farming*, 2017(1): 35-36(in Chinese).
- [8] 黄坚. “蟹龙宫”单体饲养环境里中华绒螯蟹蜕壳生长及育肥效果的观察 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 1-17.
- Huang J. Observation on molting, growth and fattening of Chinese mitten crab in the “crab palace” individual culture system[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018: 1-17 (in Chinese).
- [9] 唐永凯, 丁惠明, 李建林, 等. 冰鲜鱼和配合饲料养殖河蟹的效益分析[J]. *科学养鱼*, 2019(6): 63.
- Tang Y K, Ding H M, Li J L, *et al.* Benefit analysis of the culture on Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* with frozen fresh trash fish and formula feed[J]. *Scientific Fish Farming*, 2019(6): 63(in Chinese).
- [10] 刘伟杰, 张金彪, 葛永春, 等. 饵料结构对池塘河蟹生长性能及营养积累的影响[J]. *水产养殖*, 2016, 37(7): 5-9.
- Liu W J, Zhang J B, Ge Y C, *et al.* Effects of food structure on growth performance and nutrient of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Journal of Aquaculture*, 2016, 37(7): 5-9(in Chinese).
- [11] Tsai S Y, Wu T P, Huang S J, *et al.* Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1457-1464.
- [12] 冯大伟, 李八方, 赵雪, 等. 鲤鱼、鲑鱼和鳕鱼皮中脂肪酸的气相色谱-质谱(Gc/Ms)分析与比较[J]. *水利渔业*, 2006, 26(5): 21-23.
- Feng D W, Li B F, Zhao X, *et al.* Analysis and comparison of fatty acids in the skin of Chinese tilapia, salmon and cod fish[J]. *Journal of Aquaculture*, 2006, 26(5): 21-23(in Chinese).

- ison of fatty acids in carp squid and cod skins by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS)[J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, 26(5): 21-23(in Chinese).
- [13] Kibria G. Studies on molting, molting frequency and growth of shrimp (*Penaeus monodon*) fed on natural and compounded diets[J]. *Asian Fisheries Science*, 1993, 6: 203-211.
- [14] 贲玲芝, 李亚卉, 梁芸芝, 等. 不同配合饲料与冰鲜鱼的投喂对三疣梭子蟹生长性能和血液生化指标的影响[J]. *河北渔业*, 2018(11): 13-17.  
Ben L Z, Li Y H, Liang Y Z, *et al.* Effects of different feeds and trash fish on growth performance and serum biochemical indexes in juvenile *Portunus trituberculatus*[J]. *Hebei Fisheries*, 2018(11): 13-17(in Chinese).
- [15] 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.  
Huang F Y, Ding X Y, He Z Y, *et al.* Study on the biological characteristics and amino acid content of *Portunus trituberculatus*[J]. *Feed Research*, 2010(3): 66-68(in Chinese).
- [16] 侯文杰, 潘桂平, 龙晓文, 等. 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[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(4): 642-654.  
Hou W J, Pan G P, Long X W, *et al.* Effects of three diets on survival, molting, growth and biochemical composition of pre-adult *Portunus trituberculatus*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(4): 642-654(in Chinese).
- [17] 潘杰, 吴旭干, 赵恒亮, 等. 三种投喂模式对河蟹二龄成蟹养殖性能的影响[J]. *淡水渔业*, 2016, 46(2): 87-93.  
Pan J, Wu X G, Zhao H L, *et al.* Effects of three feeding modes on the culture performance of adult pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during the second year culture[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(2): 87-93(in Chinese).
- [18] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmenares H, Civera-Cerecedo R, *et al.* Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(4): 207-213.
- [19] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmenares H, Civera-Cerecedo R, *et al.* Effect of dietary protein level on the growth and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture[J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35(1): 71-79.
- [20] Wouters R, Lavens P, Nieto J, *et al.* Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development[J]. *Aquaculture*, 2001, 202(1-2): 1-21.
- [21] 黄姝, 王中清, 茅海成, 等. 中华绒螯蟹在实验室条件下的成蟹阶段蜕壳与生长观察[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(3): 359-365.  
Huang S, Wang Z Q, Mao H C, *et al.* Observation on molting and growth of adult Chinese mitten crab reared in the laboratory condition[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(3): 359-365(in Chinese).
- [22] Li J Y, Guo Z L, Gan X H, *et al.* Effect of different dietary lipid sources on growth and gonad maturation of pre-adult female *Cherax quadricarinatus* (von Martens)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(4): 853-860.
- [23] 周刚, 朱清顺, 胡本龙. 不同水系中华绒螯蟹生长比较的初步研究[J]. *水产养殖*, 2003, 24(6): 34-37.  
Zhou G, Zhu Q S, Hu B L. A preliminary study on the growth comparison of *Eriocheir sinensis* in different water systems[J]. *Journal of Aquaculture*, 2003, 24(6): 34-37(in Chinese).
- [24] Crespo B, Gómez A, José Mazón M, *et al.* Isolation and characterization of Ffl and Gsdf family genes in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and identification of early gonadal markers of precocious puberty in males[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2013, 191: 155-167.
- [25] Shao L C, Wang C, He J, *et al.* Hepatopancreas and gonad quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(3): 217-227.
- [26] 宋玲玲. 中华绒螯蟹发育度与肥满度的无损评价及其挥发性气味成分检测 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 2-13.  
Song L L. Non-destructive evaluation of development and fullness of *Eriocheir sinensis* and detection of volatile odor components[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018: 2-13 (in Chinese).
- [27] 李芹, 刁晓明. 不同饵料对瓦氏黄颡鱼稚鱼生长和消化酶活性的影响[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(1): 98-102.  
Li Q, Diao X M. Growth and digestive enzyme activities of *Pelteobagrus vachelli* juvenile fed on different

- diets[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(1): 98-102(in Chinese).
- [28] 陈权文, 蔡春芳, 叶元土, 等. 不同饲料蛋白源对中华绒螯蟹生长和生理机能的影响[J]. *饲料工业*, 2008, 29(24): 13-16.
- Chen Q W, Cai C F, Ye Y T, *et al.* Effect of different feed protein resources on growth and physiological function for *Eriocheir sinensis*[J]. *Feed Industry*, 2008, 29(24): 13-16(in Chinese).
- [29] 魏建军. 中华绒螯蟹幼蟹的叶酸营养生理研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2015: 38-52.
- Wei J J. Requirement and physiological roles of dietary folic acid in juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[D]. Shanghai: East Normal University, 2015: 38-52 (in Chinese).
- [30] Chen D W, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [31] Kause A, Ritola O, Paananen T, *et al.* Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 2002, 211(1-4): 65-79.
- [32] 施琼芳. 我国鱼类生殖生理学研究概况[J]. *海洋与湖沼*, 1992, 23(3): 325-333.
- Shi Q F. An outline of advances on reproductive physiology of fish in China[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1992, 23(3): 325-333(in Chinese).
- [33] 周凡, 邵庆均. 水产动物精氨酸需求的研究进展[J]. *广东饲料*, 2007, 16(2): 26-27.
- Zhou F, Shao Q J. Research progress on arginine requirement for aquatic animals[J]. *Guangdong Feed*, 2007, 16(2): 26-27(in Chinese).
- [34] 熊益民. 凡纳滨对虾适宜蛋能比研究及添加酪氨酸、脯氨酸对其的影响 [D]. 广州: 中山大学, 2013: 51-56.
- Xiong Y M. Studies on the optimum P/E and effects on additional dietary tyrosine and proline on growth of *Penaeus vannamei*[D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2013: 51-56 (in Chinese).
- [35] Unnikrishnan U, Chakraborty K, Paulraj R. Efficacy of various lipid supplements in formulated pellet diets for juvenile *Scylla serrata*[J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(10): 1498-1513.
- [36] Ji Y, Sui L Y, Wu X G, *et al.* Effects of different diets on reproductive performance and HUFA composition of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) broodstock during second spawning[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(1): 92-99.
- [37] 阙有清, 杨志刚, 纪连元, 等. 配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长发育、体成分及脂肪酸组成的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(10): 1612-1623.
- Que Y Q, Yang Z G, Ji L Y, *et al.* Effects of formulated dietary replacement of trash fish on growth performance, body composition and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(10): 1612-1623(in Chinese).
- [38] Wu X, Chang G, Cheng Y, *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*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 25-36.
- [39] Kimata M, Ishibashi T, Kamada T. Studies on relationship between sensory evaluation and chemical composition in various breeds of pork[J]. *Japanese Journal of Swine Science (Japan)*, 2001, 38(2): 45-51.

## Effects of formula feed and frozen fish on the growth, gonadal development and muscle quality of *Eriocheir sinensis* in the monomer culture

FENG Wei<sup>1</sup>, LI Hui<sup>2</sup>, TANG Yongkai<sup>1,2,3\*</sup>, SU Shengyan<sup>1,2,3</sup>,  
WANG Meiyao<sup>1,3</sup>, LI Jianlin<sup>1,3</sup>, YU Juhua<sup>1,3</sup>

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,  
Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** *Eriocheir sinensis* is one of the most widely commercially cultured crabs which is generally cultured in the ponds mainly fed with formula feed, frozen fish and mixture with formula feed and frozen fish. However, high-density pond culture and feeding frozen fish with unstable source and imbalanced nutrition bring many problems such as severe diseases outbreaks and variable quality of crabs, water pollution and so on. Therefore, to study the effect of formula feed and frozen fish on the breeding performance and nutritional status of the crabs, this experiment analyzed the growth performance, gonadal development and nutrient composition of monocultured crabs by continuous sampling, and further compared the final body weight (FBW), weight gain rate (WGR), specific growth (SGR), survival rate (SR) and molting intervals (MI). The results showed that: ① In terms of SR, the formula feed group was significantly higher than those of the frozen fish group, while there was no significant difference in the FBW, WGR, SGR and MI between the two groups. At different molting stages, the body weight of the formula feed group was smaller than the frozen fish group, and the differences between the two groups after the third molting was significant; the WGR was different between the female and male crabs, and the WGR of formula feed group in the female crab was significantly smaller than that of the frozen fish group after the second molting, while the male crabs in the two stages after the first and fourth molting were significantly larger than those of the frozen fish group. ② The hepatopancreas indices (HSI) were 3.59% and 4.45% in the formula feed and frozen fish groups, respectively, while the gonadosomatic indices (GSI) were 3.20% and 2.25%, respectively; and the HSI and GSI had no significant differences in the two groups. ③ In terms of muscle amino acid content, the total amino acids ( $\Sigma$ TAA), total essential amino acids ( $\Sigma$ TEAA) and total flavor amino acids ( $\Sigma$ FAA) in the formula feed group were significantly smaller than those of the frozen fish group; From the perspective of a single amino acid, the lysine and arginine contents of the formula feed group were significantly smaller than those of the frozen fish group, while the content of proline was significantly greater in formula feed than that in the frozen fish group. ④ In terms of muscle fatty acid content, the highly unsaturated fatty acids ( $\Sigma$ HUFA) and DHA+EPA contents of the formula feed group were significantly higher than those of the frozen fish group; In addition, the contents of C16:1 and C18:1n-9 in the monounsaturated fatty acid ( $\Sigma$ MUFA) were significantly smaller in the formula feed group than those of the frozen fish group, but in the polyunsaturated fatty acids ( $\Sigma$ PUFA), the contents of ARA and DHA of formula feed group were significantly higher than those of the frozen fish group. This study has shown that the formula feed group is close to the frozen fish group in the growth performance and muscle quality of the Chinese mitten crab, but the gonadal development and SR of the crabs fed with formula feed are better than the frozen fish group under the monomer culture conditions. So formula feed has more development advantages in aquaculture.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; growth performance; gonadal development; muscle quality; monomer culture

**Corresponding author:** TANG Yongkai. E-mail: tangyk@ffrc.cn

**Funding project:** Key Project for Jiangsu Agricultural New Variety Innovation (PZCZ201749); Jiangsu Fishery Technology (D2018-4); Jiangsu Modern Agricultural Industry Technology System (JATS[2019] 385); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund CAFS (2020TD36)