



## 越冬期间投喂不同饵料对中华绒螯蟹扣蟹存活、营养组成、消化及免疫力的影响

肖昌伦<sup>1</sup>, 孙云飞<sup>1,2,3\*</sup>, 鹿珍珍<sup>1</sup>, 成方舟<sup>1</sup>, 成永旭<sup>1,2,3\*</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. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程中心, 上海 201306;

3. 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:** 为研究越冬期间投喂不同饵料对中华绒螯蟹扣蟹存活、营养组成、消化及免疫力的影响, 实验比较了越冬期间不投喂(NF组)、投喂配合饲料(CF组)以及投喂冰鲜鱼(CTF组)对扣蟹存活率、营养组成、消化酶、抗氧化酶和免疫酶活性的影响。每个处理3个重复, 实验周期为70 d。结果显示: ①越冬过后, CF组和CTF组扣蟹的增重率和肝胰腺指数显著高于NF组, 三组间存活率无显著差异。②越冬过后, CF组和CTF组扣蟹躯体和肝胰腺中脂肪和碳水化合物含量显著高于NF组, CF组扣蟹躯体和肝胰腺碳水化合物含量显著高于CTF组, NF组扣蟹肝胰腺水分显著高于CF组和CTF组。无论投喂与否, 越冬过后躯体蛋白质含量显著下降, 肝胰腺中蛋白质含量显著增加。③脂肪酸组成, CF组扣蟹躯体和肝胰腺中C18:2n6(LA)含量显著高于NF组和CTF组, 而CTF组C20:5n3(EPA)和C22:6n3(DHA)含量显著高于NF组和CF组。④越冬过后, 扣蟹CF组胃蛋白酶(pepsin)和 $\alpha$ -淀粉酶( $\alpha$ -AMS)活性显著高于NF组和CTF组。⑤扣蟹抗氧化能力, 肝胰腺和血淋巴中NF组超氧化物歧化酶(SOD)显著高于CF组和CTF组, CF组总抗氧化能力(T-AOC)活性显著高于NF组和CTF组, CTF组扣蟹血淋巴和雌性扣蟹肝胰腺丙二醛(MDA)含量显著高于NF组和CF组。⑥扣蟹免疫能力, CF组酸性磷酸酶(ACP)和碱性磷酸酶(AKP)活性显著高于NF组。研究表明, 中华绒螯蟹扣蟹越冬期间应适量投喂饵料, 投喂配合饲料组扣蟹的存活率、肝胰腺指数、增重率以及营养物质积累优于投喂冰鲜鱼组, 且投喂配合饲料有利于扣蟹消化, 增强扣蟹抗氧化和免疫能力。本研究为中华绒螯蟹扣蟹越冬饵料的合理投喂提供科学参考和理论基础。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 越冬期间; 营养物质; 脂肪酸; 抗氧化能力

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹, 是我国重要的淡水经济蟹类之一<sup>[1-2]</sup>。20世纪80年代以来, 随着中华绒螯蟹规模化人工繁殖技术的

突破, 其养殖业迅速发展壮大<sup>[3]</sup>。2020年, 全国中华绒螯蟹养殖产量达 $7.76 \times 10^5$  t, 占甲壳类经济动物的18.22%<sup>[4]</sup>。中华绒螯蟹的养殖周期通常为

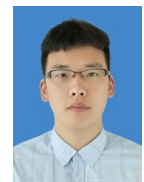
收稿日期: 2022-01-03 修回日期: 2022-04-26

资助项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-48); 黄河三角洲产业领军人才项目(DYRC20190210); 国家自然科学基金(31802320)

第一作者: 肖昌伦(照片), 从事中华绒螯蟹营养生理研究, E-mail: changlunxiao@163.com

通信作者: 孙云飞, 从事甲壳动物生态养殖研究, E-mail: yfsun@shou.edu.cn;

成永旭, 从事甲壳动物生态养殖研究, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn



2年,第1年为蟹种育成阶段:即从大眼幼体养到年底为5~15g的1龄幼蟹俗称扣蟹、蟹种(以下简称扣蟹);第2年为成蟹养殖阶段:即从翌年3月初开始养殖为商品蟹<sup>[5-6]</sup>,期间扣蟹会经历2~3个月的越冬期。因此,扣蟹是否能够安全越冬对中华绒螯蟹后期养殖至关重要。

在越冬期间,扣蟹活动能力下降、新陈代谢变慢、自身储备的营养物质减少,这是为适应低温环境而呈现的正常生理反应<sup>[7]</sup>。关于越冬期间营养物质消耗的研究发现,扣蟹主要通过消耗肝胰腺和肌肉中的脂质和蛋白质来维持自身的生理代谢<sup>[8]</sup>;在脂肪酸方面,主要消耗饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸作为能量<sup>[9]</sup>。当扣蟹体内积累的营养物质消耗过多时,会导致其死亡或者诱发中华绒螯蟹水瘪子病<sup>[10-11]</sup>。扣蟹越冬过后即将面临第1次蜕壳,因为蜕壳需要消耗大量的脂肪和蛋白质<sup>[12]</sup>,所以在越冬前进行营养强化或越冬期间进行适量投喂可以提高扣蟹的质量,还可以减少因为营养不足而引起的中华绒螯蟹蜕皮综合症<sup>[13]</sup>。目前,中华绒螯蟹养殖中主要使用冰鲜鱼和配合饲料<sup>[14]</sup>,两种饵料也具有不同的养殖优势。唐永凯等<sup>[15]</sup>发现冰鲜鱼组比配合饲料组的养殖产量更高、成蟹规格更大以及成活率更高。冯伟等<sup>[16]</sup>发现,配合饲料比冰鲜鱼对中华绒螯蟹性腺发育更好,肌肉中的ARA和DHA含量也显著高于冰鲜鱼。王武等<sup>[17]</sup>也发现,投喂配合饲料可以提高扣蟹的免疫能力以及成蟹阶段早期的生长性能。但是关于扣蟹越冬期间饵料投喂的研究相对较少,因为实际生产中养殖户通常不投喂或者只在晴天中午投喂一定的饵料,因此研究越冬期间适量投喂不同饵料对扣蟹存活、营养组成、消化及免疫的影响具有一定的意义。

本研究采用池塘搭建网箱的方式进行扣蟹越冬实验,越冬期间选择不投喂、投喂配合饲料与投喂冰鲜鱼的3种投喂方式,对扣蟹越冬期间的存活与生长、营养组成、消化及免疫力进行研究,以期了解扣蟹越冬期间是否需要投喂以及投喂饵料的类型对扣蟹质量的影响,为扣蟹安全越冬提供理论参考与实践依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验设计

2020年12月—2021年2月,在上海海洋大

学崇明基地选择3个面积相等的水泥池塘(12.50 m×10.00 m),四周为砖块水泥,底部为泥土结构,池深约1.4 m。在每个水泥池塘中用竹竿平行搭建3个网箱(2.00 m×2.00 m×1.00 m,网目40),每个网箱内外缝合有30 cm高的防逃围板。于2020年11月底在基地挑选四肢健全、体质量为8~11 g雌雄扣蟹各1 000只,在网箱中暂养7 d。12月10日开始实验并采集样品作为初始样(BE),实验分为3个处理组,不投喂组(NF,实验期间不投喂任何饵料);配合饲料组(CF,实验期间投喂配合饲料,购买于浙江澳华饲料有限公司);冰鲜鱼组(CTF,实验期间投喂冰鲜杂鱼)。每个处理3个平行,随机分布于3个水泥池塘。每个网箱中放雌雄扣蟹各110只,其中雌雄扣蟹各挑选10只,擦干体表水分后在头胸甲背部贴上生物标签(购于青岛海星仪器有限公司),精确称量实验前、后扣蟹质量 $W_1$ 和 $W_2$ 用于计算增重率WGR,同时在网箱中放入一定量的伊乐藻(*Elodea nuttallii*)。配合饲料和冰鲜鱼营养成分见表1。

表1 配合饲料与冰鲜鱼(干物质)营养组成

Tab. 1 Nutritional composition of compound feed and chilled fish (dry matter) %

项目 items	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
配合饲料 compound feed	8.53±0.68	37.63±1.52	11.88±0.08	16.81±0.18
冰鲜鱼 chilled fish	75.64±0.65	87.33±1.24	9.18±0.78	6.45±0.61

### 1.2 养殖管理

实验期间,每2天投喂1次,每次中午投喂,CF组网箱投喂配合饲料10 g,CTF组网箱投喂40 g(冰鲜鱼干物质约为25%),将饵料放于食台上,每次投喂之前将食台残饵清除。每3天加水1次,使池塘的水深始终保持在0.90~1.10 m,每半个月测1次水质,实验期间溶解氧含量8.85~11.32 mg/L,pH值7.8~8.0,氨态氮0~0.2 mg/L,亚硝酸盐0~0.005 mg/L,实验过程中水温情况如图1所示。

### 1.3 样品采集

实验开始(2020年12月10日)和实验结束(2021年2月20日),于每个网箱随机挑选雌雄扣蟹各10只,用毛巾擦去体表水分,然后采用电子天平精确称重(精确到0.01 g)。解剖扣蟹取出肝胰腺,称量肝胰腺和躯体质量(去除甲壳、附肢以及

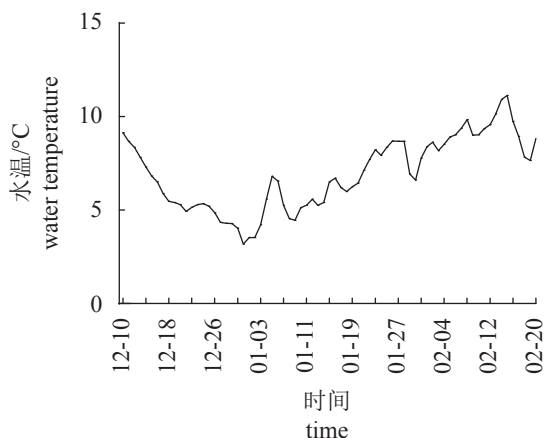


图1 养殖池塘水温变化

Fig. 1 Water temperature of the aquaculture pond

鳃), 分别装于自封袋中 $-40^{\circ}\text{C}$ 保存, 后续测定常规生化指标和脂肪酸。实验结束后统计网箱中扣蟹存活数量, 并计算存活率, 每个网箱随机选取雌雄扣蟹各6只, 冰上麻醉, 用1.0 mL 无菌注射器从第三步足抽取1 mL 血淋巴装于2 mL 离心管中, 解剖后取出肝胰腺装于5 mL 离心管中, 保存于 $-40^{\circ}\text{C}$ 冰箱, 用于后续消化酶、抗氧化酶以及免疫酶的测定。

#### 1.4 指标测定

**存活率及生长指标** 存活率 (survival rate, SR)、增重率 (weight gain rate, WGR)、肝胰腺指数 (hepatosomatic index, HSI) 计算公式<sup>[18]</sup>:

$$\text{SR}(\%) = n_1/N \times 100\%$$

$$\text{WGR}(\%) = (W_2 - W_1)/W_1 \times 100\%$$

$$\text{HSI}(\%) = H/W \times 100\%$$

式中,  $n_1$  和  $N$  分别代表实验结束和开始时的扣蟹数量 (只),  $W_1$  和  $W_2$  分别为标签蟹初始体质量 (g)、实验结束时体质量 (g),  $H$  和  $W$  分别为肝胰腺质量 (g)、扣蟹体质量 (g)。

**营养物质测定** 扣蟹躯体、肝胰腺和冰鲜鱼水分含量采用冷冻干燥法测定, 饲料中水分含量采用  $105^{\circ}\text{C}$  烘干法测定<sup>[19]</sup>。采用凯氏定氮法测定配合饲料、冰鲜鱼、扣蟹躯体和肝胰腺蛋白质含量<sup>[19]</sup>。按照 Folch 等<sup>[20]</sup> 的方法, 采用氯仿: 甲醇混合溶液 (2:1, 体积比) 提取配合饲料、冰鲜鱼、扣蟹躯体和肝胰腺中的脂肪含量。采用  $550^{\circ}\text{C}$  灼烧法测定配合饲料和冰鲜鱼中的灰分含量<sup>[19]</sup>。采用 TCA 提取扣蟹躯体和肝胰腺中的碳水化合物, 采用苯酚-硫酸法测定样品中的碳水化合物含量<sup>[21]</sup>。

**躯体和肝胰腺脂肪酸分析** 根据 Wu 等<sup>[22]</sup> 的方法分析扣蟹越冬前后躯体和肝胰腺的脂肪酸组成及百分比含量 (采用面积归一化法计算脂肪酸含量)。按照 Morrison 等<sup>[23]</sup> 的方法进行脂肪酸甲酯化, 然后使用 Agilent7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 进行脂肪酸分析。

**消化酶、抗氧化酶及免疫酶活性的测定** 参考赵磊等<sup>[24]</sup> 的方法制备肝胰腺匀浆液和血清, 采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定扣蟹肝胰腺中的胃蛋白酶、脂肪酶 (LPS) 和  $\alpha$ -淀粉酶 ( $\alpha$ -AMS) 活性; 肝胰腺和血淋巴中的超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性、总抗氧化能力 (T-AOC) 和丙二醛 (MDA) 含量; 肝胰腺和血淋巴中的酸性磷酸酶 (ACP) 和碱性磷酸酶 (AKP) 活性。

#### 1.5 数据分析

应用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析, 用 levene 法对扣蟹存活率、增重率、肝胰腺指数、基本营养组成、脂肪酸含量、消化酶、抗氧化酶、非特异性免疫酶活性进行方差分析, 当数据不满足方差齐性时对百分比数据进行反正弦或平方根处理, 然后进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA)。当数据转换后不满足方差齐性时, 采用 Games-Howell 非参数检验法进行多重比较,  $P < 0.05$  为差异显著。使用 Graphd prism 8.0.2 软件做图, 结果以平均值  $\pm$  标准差 (mean  $\pm$  SD) 表示。

## 2 结果

### 2.1 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹存活率、增重率和肝胰腺指数的影响

实验结束时 NF 组存活率最高, 为  $98.48\% \pm 0.52\%$ ; 其次是 CF 组, 为  $94.55\% \pm 2.41\%$ ; 最后是 CTF 组, 为  $92.42\% \pm 5.01\%$ , 三者间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。CF 组和 CTF 组雌雄扣蟹 WGR 显著高于 NF 组 ( $P < 0.05$ ), CF 组 WGR 略高于 CTF 组, 两组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。CF 和 CTF 组雌雄扣蟹 HSI 显著高于 NF 组 ( $P < 0.05$ ), CF 组 HSI 高于 CTF 组, 两组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹营养组成的影响

躯体, CF 组脂肪显著高于 NF 组 ( $P < 0.05$ ), 而显著低于 BE 组 ( $P < 0.05$ ), CF 组雄性扣蟹显著



表 2 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹存活率、增重率和肝胰腺指数的影响

Tab. 2 Effects of feeding different diets during overwintering on the survival rate, weight gain rate and hepatopancreatic index of juvenile *E. sinensis*

项目 items	雌性 female			雄性 male		
	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF
初始体质量/g initial body weight	9.44±0.15	9.44±0.09	9.53±0.08	9.41±0.01	9.47±0.05	9.49±0.09
终末体质量/g final body weight	9.59±0.13	9.66±0.12	9.75±0.05	9.52±0.04	9.70±0.01	9.69±0.05
存活率/% SR	98.48±0.52	94.55±2.41	92.42±5.01	97.88±1.39	94.55±3.96	93.03±6.05
增重率/% WGR	1.57±0.09 <sup>a</sup>	2.38±0.37 <sup>b</sup>	2.32±0.36 <sup>b</sup>	1.12±0.10 <sup>a</sup>	2.48±0.32 <sup>b</sup>	2.04±0.30 <sup>b</sup>
肝胰腺指数/% HSI	8.26±0.12 <sup>a</sup>	10.37±0.46 <sup>b</sup>	9.90±0.26 <sup>b</sup>	7.40±0.24 <sup>a</sup>	9.97±0.20 <sup>b</sup>	9.62±0.30 <sup>b</sup>

注: NF. 不投喂组, CF. 配合饲料组, CTF. 冰鲜鱼组, 下同。不同小写字母表示同一性别不同组间差异显著( $P<0.05$ )

Notes: NF. no feeding group, CF. compound feed group, CTF. chilled fish group, the same below. Different lowercase letters indicate significant differences between groups of the same gender ( $P<0.05$ )

高于 CTF 组 ( $P<0.05$ ), 而雌性扣蟹无显著差异 ( $P>0.05$ ); CF、NF 和 CTF 组蛋白含量显著低于 BE 组 ( $P<0.05$ ), 而三组间无显著差异 ( $P>0.05$ ); CF 组碳水化合物含量显著高于其他三组 ( $P<0.05$ ), BE 组和 CTF 组显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ); 各组间水分含量无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 3)。肝胰腺中, CF 组脂肪含量显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ), CF 组雌性扣蟹显著高于 BE 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ), 而雄性扣蟹 CF、BE 和 CTF 组间无显著差异 ( $P>0.05$ ); NF、CF 和 CTF 三组蛋白质含量显著高于 BE 组 ( $P<0.05$ ), 三组间无显著差异 ( $P>0.05$ ); CF 组碳

水化合物含量显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ), CF、CTF 和 BE 三组间雌性扣蟹无显著差异 ( $P>0.05$ ), 雄性扣蟹 CF 组显著高于 CTF 和 BE 组 ( $P<0.05$ ); CF 和 CTF 组水分含量显著低于 NF 组, 显著高于 BE 组 ( $P<0.05$ )。

### 2.3 越冬时投喂不同饵料对扣蟹脂肪酸的影响

越冬过后雌雄扣蟹 NF 组 C14:0 和 C22:0 含量增加显著, 高于 CF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ), 而越冬过后所有实验组未检测到 C20:0。C16:0 和总饱和脂肪酸 ( $\Sigma$ SFA) 含量下降, 其他饱和脂肪酸差

表 3 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹营养物质(干物质)的影响

Tab. 3 Effect of feeding different diets during overwintering on the nutrient substance (dry matter) of juvenile *E. sinensis*

项目 items	雌性 female				雄性 male				%
	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF	
<b>躯体 body</b>									
水分 moisture	69.06±0.17	70.42±0.57	69.65±1.26	70.08±0.39	69.57±0.19	70.36±1.34	69.40±0.48	69.57±0.48	
脂肪 lipid	4.12±0.05 <sup>c</sup>	3.26±0.11 <sup>a</sup>	3.80±0.10 <sup>b</sup>	3.58±0.20 <sup>b</sup>	4.20±0.07 <sup>c</sup>	3.54±0.12 <sup>a</sup>	3.92±0.06 <sup>b</sup>	3.62±0.04 <sup>a</sup>	
蛋白质 protein	55.54±1.04 <sup>b</sup>	51.02±0.30 <sup>a</sup>	51.81±1.07 <sup>a</sup>	51.26±2.02 <sup>a</sup>	54.72±2.06 <sup>b</sup>	51.00±1.51 <sup>a</sup>	53.44±1.36 <sup>ab</sup>	51.94±0.38 <sup>ab</sup>	
碳水化合物 carbohydrates	2.67±0.22 <sup>b</sup>	1.13±0.39 <sup>a</sup>	3.96±0.77 <sup>c</sup>	2.18±0.10 <sup>b</sup>	2.37±0.22 <sup>b</sup>	0.66±0.19 <sup>a</sup>	3.89±0.47 <sup>c</sup>	2.76±0.07 <sup>b</sup>	
<b>肝胰腺 hepatopancreas</b>									
水分 moisture	46.20±0.51 <sup>a</sup>	53.66±0.13 <sup>c</sup>	51.34±1.53 <sup>b</sup>	50.83±1.12 <sup>b</sup>	47.43±0.40 <sup>a</sup>	56.01±1.25 <sup>c</sup>	50.35±1.06 <sup>b</sup>	51.31±1.55 <sup>b</sup>	
脂肪 lipid	65.82±1.12 <sup>b</sup>	61.74±0.31 <sup>a</sup>	67.81±0.87 <sup>c</sup>	65.63±0.43 <sup>b</sup>	64.17±2.25 <sup>b</sup>	60.79±0.49 <sup>a</sup>	66.74±0.55 <sup>b</sup>	64.03±2.50 <sup>b</sup>	
蛋白质 protein	16.62±1.46 <sup>a</sup>	20.33±1.19 <sup>b</sup>	19.05±0.54 <sup>b</sup>	19.46±0.34 <sup>b</sup>	16.81±0.13 <sup>a</sup>	22.00±0.25 <sup>c</sup>	20.26±0.34 <sup>b</sup>	20.97±0.52 <sup>b</sup>	
碳水化合物 carbohydrates	3.48±0.20 <sup>ab</sup>	3.25±0.10 <sup>a</sup>	4.00±0.41 <sup>b</sup>	3.71±0.52 <sup>ab</sup>	3.24±0.13 <sup>b</sup>	2.68±0.23 <sup>a</sup>	4.50±0.40 <sup>c</sup>	3.67±0.42 <sup>b</sup>	

注: BE. 实验初期, 下同。不同小写字母表示同一性别不同组间差异显著( $P<0.05$ )

Notes: BE. the beginning of the experiment, the same below. Different lowercase letters indicate significant differences between different groups of the same sex ( $P<0.05$ )

异不显著 ( $P>0.05$ ) (表 4)。单不饱和脂肪酸 (MUFA) 中 C18:1n9 含量最高, 越冬过后所有实验组 C18:1n9 含量下降, 所有组雌性扣蟹 C18:1n7 和雄性扣蟹 C20:1n9 显著增加 ( $P<0.05$ ), CF 组总单不饱和脂肪酸 ( $\Sigma$ MUFA) 含量相比越冬前下降, 而 CTF 组含量增加。多不饱和脂肪酸 (PUFA) 中, C18:2n6 (LA)、C18:3n3 (LNA)、C20:2n6、C20:4n6 (ARA)、C20:5n3 (EPA) 和 C22:6n3 (DHA) 含量相对较高,  $\Sigma$ PUFA 约占总脂肪酸的一半。越冬过

后 NF 组和 CTF 组 LA 含量显著下降 ( $P<0.05$ ), CF 和 CTF 组 LNA 含量显著下降 ( $P<0.05$ ), 各实验组越冬后 C20:4n3 未检出。CF 组和 CTF 组 C20:2n6 显著增加 ( $P<0.05$ ), NF 组相比越冬前 EPA 和 DHA 含量下降, CF 组含量不变, CTF 组含量显著增加 ( $P<0.05$ )。CF 组和 CTF 组  $\Sigma$ PUFA 越冬前后差异不显著 ( $P>0.05$ ), NF 组  $\Sigma$ PUFA 含量显著降低 ( $P<0.05$ )。越冬过后 NF 组  $\Sigma$ n-3 PUFA、 $\Sigma$ n-6PUFA 和  $\Sigma$ HUFA 含量下降, CTF 组  $\Sigma$ n-3PUFA、

表 4 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹躯体脂肪酸的影响

Tab. 4 Effects of feeding different diets during overwintering on the body fatty acids of juvenile *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	雌性 female				雄性 male			
	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF
C14:0	0.29±0.03 <sup>b</sup>	0.41±0.05 <sup>c</sup>	0.20±0.03 <sup>a</sup>	0.30±0.05 <sup>b</sup>	0.33±0.06 <sup>b</sup>	0.43±0.06 <sup>b</sup>	0.23±0.04 <sup>a</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>
C15:0	0.26±0.01	0.30±0.06	0.22±0.01	0.25±0.04	0.31±0.02 <sup>b</sup>	0.26±0.00 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>a</sup>	0.23±0.02 <sup>a</sup>
C16:0	11.33±0.29	10.83±0.78	10.22±0.41	10.72±0.8	11.40±0.32 <sup>b</sup>	10.66±0.17 <sup>ab</sup>	10.60±0.49 <sup>ab</sup>	10.15±0.68 <sup>a</sup>
C17:0	0.76±0.04 <sup>ab</sup>	0.91±0.17 <sup>b</sup>	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.79±0.04 <sup>ab</sup>	0.87±0.07 <sup>c</sup>	0.82±0.04 <sup>bc</sup>	0.65±0.03 <sup>a</sup>	0.74±0.04 <sup>b</sup>
C18:0	5.85±0.27	5.54±0.4	6.19±0.38	5.85±0.56	6.00±0.13	5.75±0.70	6.00±0.47	5.77±0.17
C20:0	0.62±0.03	—	—	—	0.93±0.01	—	—	—
C22:0	0.23±0.01 <sup>a</sup>	0.63±0.12 <sup>c</sup>	0.46±0.03 <sup>b</sup>	0.33±0.04 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>b</sup>	0.64±0.04 <sup>c</sup>	0.50±0.05 <sup>b</sup>	0.37±0.03 <sup>a</sup>
$\Sigma$ SFA	19.34±0.49	18.62±0.85	17.80±0.50	18.24±0.95	20.30±0.52 <sup>b</sup>	18.33±0.38 <sup>a</sup>	18.06±1.31 <sup>a</sup>	17.54±0.58 <sup>a</sup>
C14:1n5	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.12±0.03 <sup>b</sup>	0.07±0.00 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>	0.07±0.00 <sup>a</sup>
C16:1n7	2.72±0.04 <sup>b</sup>	3.00±0.13 <sup>c</sup>	2.28±0.21 <sup>a</sup>	2.61±0.09 <sup>b</sup>	3.12±0.06 <sup>ab</sup>	3.24±0.54 <sup>b</sup>	2.55±0.29 <sup>ab</sup>	2.42±0.06 <sup>a</sup>
C17:1n7	0.47±0.09 <sup>c</sup>	0.35±0.03 <sup>ab</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>	0.43±0.04 <sup>bc</sup>	0.40±0.03	0.46±0.07	0.35±0.02	0.44±0.03
C18:1n9	17.12±0.43	16.45±1.15	15.97±0.66	16.14±0.63	16.90±0.19	16.62±1.56	16.48±0.63	15.93±1.08
C18:1n7	3.03±0.15 <sup>a</sup>	3.51±0.05 <sup>b</sup>	3.33±0.20 <sup>b</sup>	3.45±0.14 <sup>b</sup>	3.38±0.01	3.20±0.14	3.20±0.28	3.32±0.11
C20:1n9	1.58±0.19 <sup>a</sup>	2.18±0.24 <sup>a</sup>	1.47±0.03 <sup>a</sup>	3.84±1.12 <sup>b</sup>	1.37±0.22 <sup>a</sup>	2.01±0.12 <sup>b</sup>	2.22±0.28 <sup>b</sup>	3.88±0.33 <sup>c</sup>
$\Sigma$ MUFA	25.7±0.84 <sup>ab</sup>	25.6±1.06 <sup>ab</sup>	23.4±0.95 <sup>a</sup>	26.55±1.13 <sup>b</sup>	25.15±0.42	26.07±1.25	24.86±0.95	26.06±1.23
C18:2n6 (LA)	12.15±0.52 <sup>d</sup>	10.00±0.7 <sup>b</sup>	11.04±0.1 <sup>c</sup>	8.81±0.36 <sup>a</sup>	12.40±0.18 <sup>c</sup>	10.52±0.38 <sup>b</sup>	12.45±0.40 <sup>c</sup>	8.63±0.96 <sup>a</sup>
C18:3n3 (LNA)	2.46±0.08 <sup>b</sup>	2.35±0.12 <sup>b</sup>	1.95±0.12 <sup>a</sup>	1.78±0.1 <sup>a</sup>	2.74±0.25 <sup>c</sup>	2.57±0.21 <sup>bc</sup>	2.24±0.09 <sup>b</sup>	1.83±0.24 <sup>a</sup>
C20:2n6	1.87±0.37 <sup>a</sup>	2.75±0.44 <sup>b</sup>	2.87±0.33 <sup>b</sup>	2.10±0.11 <sup>ab</sup>	1.99±0.38	2.78±0.07	2.44±0.52	2.16±0.02
C20:4n6 (ARA)	6.05±0.18	5.62±0.47	6.22±0.46	6.17±0.58	5.44±0.21	5.84±0.72	5.90±0.45	6.60±0.19
C20:4n3	0.18±0.01	—	—	—	0.20±0.01	—	—	—
C20:5n3 (EPA)	15.94±0.87 <sup>a</sup>	15.67±0.22 <sup>a</sup>	16.33±0.59 <sup>a</sup>	17.58±0.57 <sup>b</sup>	15.13±0.32 <sup>ab</sup>	13.84±1.32 <sup>a</sup>	16.39±0.77 <sup>bc</sup>	17.47±0.28 <sup>d</sup>
C22:5n3	0.57±0.02	0.55±0.04	0.57±0.04	0.69±0.09	0.57±0.02 <sup>a</sup>	0.56±0.05 <sup>a</sup>	0.56±0.05 <sup>a</sup>	0.68±0.04 <sup>b</sup>
C22:6n3 (DHA)	10.73±0.70 <sup>ab</sup>	9.31±0.86 <sup>a</sup>	10.65±0.48 <sup>ab</sup>	11.49±1.02 <sup>b</sup>	10.50±0.45 <sup>ab</sup>	9.91±1.15 <sup>a</sup>	10.66±0.68 <sup>ab</sup>	11.86±0.07 <sup>b</sup>
$\Sigma$ PUFA	49.96±1.48 <sup>b</sup>	46.25±1.22 <sup>a</sup>	49.62±1.56 <sup>b</sup>	48.61±1.81 <sup>b</sup>	48.98±0.87 <sup>b</sup>	46.03±0.94 <sup>a</sup>	50.64±0.28 <sup>b</sup>	49.24±1.08 <sup>b</sup>
$\Sigma$ n-3PUFA	29.88±1.67 <sup>ab</sup>	27.88±0.94 <sup>a</sup>	29.50±0.8 <sup>ab</sup>	31.53±1.58 <sup>b</sup>	29.15±0.72 <sup>b</sup>	26.88±0.72 <sup>a</sup>	29.85±1.41 <sup>b</sup>	31.84±0.52 <sup>c</sup>
$\Sigma$ n-6PUFA	20.08±0.75 <sup>c</sup>	18.37±0.56 <sup>b</sup>	20.13±0.78 <sup>c</sup>	17.08±0.35 <sup>a</sup>	19.83±0.39 <sup>b</sup>	19.14±0.34 <sup>b</sup>	20.79±1.15 <sup>b</sup>	17.39±0.76 <sup>a</sup>
n-3/n-6PUFA	1.47±0.04 <sup>a</sup>	1.52±0.06 <sup>a</sup>	1.47±0.02 <sup>a</sup>	1.83±0.07 <sup>b</sup>	1.47±0.04 <sup>a</sup>	1.40±0.03 <sup>a</sup>	1.44±0.14 <sup>a</sup>	1.83±0.07 <sup>b</sup>
$\Sigma$ HUFA	33.47±1.42 <sup>ab</sup>	31.15±1.39 <sup>a</sup>	33.77±1.13 <sup>ab</sup>	35.93±1.68 <sup>b</sup>	31.84±0.99 <sup>ab</sup>	30.15±1.51 <sup>a</sup>	33.51±1.09 <sup>bc</sup>	36.61±0.47 <sup>c</sup>

注: 不同小写字母表示同一性别越冬前后不同实验组脂肪酸差异显著 ( $P<0.05$ ), “—”表示未检测到该数据  
 Notes: different lowercase letters indicate significant differences in fatty acids between different experimental groups before and after wintering in the same sex ( $P<0.05$ ), “—” indicates that the data is not detected

n-3/n-6PUFA 和  $\Sigma$ HUFA 含量显著增加 ( $P<0.05$ ), CF 组  $\Sigma$ n-3PUFA、 $\Sigma$ n-6PUFA、n-3/n-6PUFA 和  $\Sigma$ HUFA 越冬前后差异不显著 ( $P>0.05$ )。

越冬前后扣蟹肝胰腺脂肪酸如表 5 所示, 在 SFA 中, C16:0 含量相对较高。越冬过后, NF 组 C17:0 含量略有增加, 其他饱和脂肪酸含量无显著变化 ( $P>0.05$ ), CF 组 C15:0、C17:0 和  $\Sigma$ SFA 含量下降, CTF 组 C14:0 和  $\Sigma$ SFA 含量显著增加 ( $P<0.05$ )。在 MUFA 中, C16:1n7 和 C18:1n9 含量相对较高, 越冬过后 NF 组雌性扣蟹 C16:1n7、C18:1n7 和  $\Sigma$ MUFA 含量增加, CTF 组 C14:1n5 和 C16:1n7 含量增加, 而 CF 组除 C20:1n9 外, 其他

单不饱和脂肪酸无显著变化 ( $P>0.05$ )。在 PUFA 中, C18:2n6、C18:3n3、C20:5n3 和 C22:6n3 含量相对较高。越冬过后, 各实验组都检出 C20:4n3。NF 组 C16:2n6 含量显著下降 ( $P<0.05$ ), CTF 组 C18:2n6 和 C18:3n3 含量下降, C22:5n3 和 C22:6n3 含量增加, 并显著高于 CF 和 NF 组 ( $P<0.05$ ), CF 组 C18:2n6 含量显著增加, 并高于 NF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ )。与越冬前相比, NF 组  $\Sigma$ n-6PUFA 含量下降, 然而在 CF 组中,  $\Sigma$ n-6PUFA 含量显著增加 ( $P<0.05$ ), n-3/n-6PUFA 的比例下降, CTF 组  $\Sigma$ n-3PUFA、n-3/n-6PUFA 和  $\Sigma$ HUFA 含量显著增加 ( $P<0.05$ )。

表 5 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹肝胰腺脂肪酸的影响

Tab. 5 Effects of feeding different diets during overwintering on the hepatopancrea fatty acids of juvenile *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	雌性 female				雄性 male			
	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF	实验初期 BE	不投喂组 NF	配合饲料组 CF	冰鲜鱼组 CTF
C14:0	1.04±0.10 <sup>a</sup>	1.12±0.06 <sup>a</sup>	0.97±0.11 <sup>a</sup>	1.67±0.08 <sup>b</sup>	1.01±0.04 <sup>a</sup>	1.01±0.04 <sup>a</sup>	0.94±0.04 <sup>a</sup>	1.65±0.13 <sup>b</sup>
C15:0	0.54±0.04 <sup>b</sup>	0.56±0.01 <sup>b</sup>	0.48±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.03 <sup>b</sup>	0.56±0.02	0.55±0.04	0.48±0.02	0.56±0.04
C16:0	15.14±0.33 <sup>ab</sup>	15.47±0.19 <sup>b</sup>	14.78±0.27 <sup>a</sup>	15.4±0.08 <sup>b</sup>	15.28±0.23	15.16±0.48	14.68±0.35	15.05±0.07
C17:0	1.05±0.03 <sup>b</sup>	1.22±0.04 <sup>bc</sup>	0.90±0.01 <sup>a</sup>	1.02±0.02 <sup>b</sup>	0.96±0.01 <sup>b</sup>	1.09±0.06 <sup>c</sup>	0.87±0.06 <sup>a</sup>	1.11±0.04 <sup>c</sup>
$\Sigma$ SFA	17.77±0.47 <sup>b</sup>	18.37±0.17 <sup>bc</sup>	17.12±0.39 <sup>a</sup>	18.68±0.09 <sup>c</sup>	17.81±0.27 <sup>ab</sup>	17.81±0.50 <sup>ab</sup>	16.97±0.43 <sup>a</sup>	18.36±0.23 <sup>c</sup>
C14:1n5	0.28±0.02 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>ab</sup>	0.26±0.03 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>b</sup>	0.27±0.02 <sup>ab</sup>	0.24±0.02 <sup>a</sup>	0.25±0.03 <sup>a</sup>	0.32±0.04 <sup>b</sup>
C16:1n7	9.12±0.23 <sup>a</sup>	10.85±0.30 <sup>c</sup>	8.9±0.25 <sup>a</sup>	10.24±0.19 <sup>b</sup>	8.97±0.41	9.07±0.29	8.38±0.72	9.65±0.65
C17:1n7	1.06±0.05 <sup>ab</sup>	1.13±0.09 <sup>b</sup>	0.96±0.08 <sup>a</sup>	1.07±0.02 <sup>ab</sup>	1.10±0.01 <sup>b</sup>	1.09±0.09 <sup>b</sup>	0.95±0.03 <sup>a</sup>	1.07±0.06 <sup>b</sup>
C18:1n9	27.75±1.11	28.84±0.67	29.02±1.46	27.85±1.27	29.59±0.03 <sup>ab</sup>	30.36±1.28 <sup>b</sup>	30.78±0.36 <sup>b</sup>	28.36±0.95 <sup>a</sup>
C18:1n7	2.76±0.16 <sup>c</sup>	3.06±0.12 <sup>b</sup>	2.64±0.12 <sup>a</sup>	3.04±0.04 <sup>b</sup>	2.78±0.07 <sup>a</sup>	2.99±0.19 <sup>b</sup>	2.66±0.06 <sup>a</sup>	2.91±0.22 <sup>b</sup>
C20:1n9	2.64±0.44 <sup>b</sup>	1.96±0.14 <sup>a</sup>	1.65±0.13 <sup>a</sup>	1.90±0.03 <sup>a</sup>	1.90±0.04 <sup>a</sup>	2.18±0.09 <sup>b</sup>	1.84±0.05 <sup>a</sup>	2.08±0.20 <sup>b</sup>
C22:1n9	0.86±0.13	0.86±0.05	0.94±0.05	0.90±0.09	0.74±0.02 <sup>a</sup>	1.06±0.01 <sup>b</sup>	0.90±0.14 <sup>ab</sup>	0.91±0.07 <sup>ab</sup>
$\Sigma$ MUFA	44.47±1.07	46.99±0.98	44.37±1.39	45.34±1.38	45.36±0.50	46.99±1.73	45.76±0.93	45.29±1.44
C18:2n6 (LA)	16.74±1.04 <sup>c</sup>	15.30±0.44 <sup>b</sup>	20.62±0.26 <sup>d</sup>	13.19±0.58 <sup>a</sup>	18.48±0.96 <sup>c</sup>	16.74±0.65 <sup>b</sup>	20.49±0.08 <sup>d</sup>	12.91±0.23 <sup>a</sup>
C18:3n3 (LNA)	4.25±0.55 <sup>b</sup>	3.99±0.09 <sup>b</sup>	3.97±0.27 <sup>b</sup>	3.23±0.11 <sup>a</sup>	4.03±0.25 <sup>b</sup>	3.72±0.13 <sup>b</sup>	3.72±0.11 <sup>b</sup>	3.29±0.12 <sup>a</sup>
C18:4n3	0.42±0.06 <sup>a</sup>	0.46±0.05 <sup>a</sup>	0.39±0.05 <sup>a</sup>	0.56±0.04 <sup>b</sup>	0.43±0.03 <sup>a</sup>	0.42±0.03 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>a</sup>	0.60±0.05 <sup>b</sup>
C20:2n6	1.12±0.07	1.29±0.09	1.12±0.16	1.16±0.07	1.10±0.05 <sup>a</sup>	1.61±0.15 <sup>b</sup>	1.31±0.06 <sup>a</sup>	1.22±0.19 <sup>a</sup>
C20:4n6 (ARA)	1.55±0.06 <sup>b</sup>	1.67±0.05 <sup>b</sup>	1.17±0.16 <sup>a</sup>	1.57±0.07 <sup>b</sup>	1.44±0.13	1.64±0.04	1.26±0.05	1.42±0.32
C20:4n3	—	0.31±0.02 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.02 <sup>c</sup>	—	0.26±0.01	0.22±0.02	0.34±0.10
C20:5n3 (EPA)	3.46±0.47 <sup>ab</sup>	3.45±0.28 <sup>ab</sup>	2.82±0.21 <sup>a</sup>	3.72±0.04 <sup>b</sup>	3.09±0.47 <sup>ab</sup>	2.99±0.1 <sup>ab</sup>	2.59±0.14 <sup>a</sup>	3.48±0.41 <sup>b</sup>
C22:5n3	0.31±0.05 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	0.33±0.03 <sup>a</sup>	0.66±0.08 <sup>b</sup>	0.29±0.01 <sup>a</sup>	0.31±0.02 <sup>a</sup>	0.28±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.04 <sup>b</sup>
C22:6n3 (DHA)	2.34±0.09 <sup>a</sup>	2.46±0.08 <sup>a</sup>	2.47±0.07 <sup>a</sup>	5.79±0.39 <sup>b</sup>	2.39±0.07 <sup>a</sup>	2.57±0.17 <sup>a</sup>	2.42±0.12 <sup>a</sup>	5.80±0.13 <sup>b</sup>
$\Sigma$ PUFA	30.18±1.22 <sup>a</sup>	29.26±0.73 <sup>a</sup>	33.12±0.41 <sup>b</sup>	30.27±0.21 <sup>a</sup>	31.24±0.45 <sup>b</sup>	30.25±0.29 <sup>ab</sup>	32.66±0.29 <sup>c</sup>	29.72±0.98 <sup>a</sup>
$\Sigma$ n-3PUFA	10.78±1.09 <sup>a</sup>	11.88±0.38 <sup>a</sup>	10.21±0.36 <sup>a</sup>	14.34±0.37 <sup>b</sup>	10.22±0.42 <sup>a</sup>	10.27±0.35 <sup>a</sup>	9.60±0.33 <sup>a</sup>	14.18±0.70 <sup>b</sup>
$\Sigma$ n-6PUFA	19.41±1.03 <sup>b</sup>	18.26±0.39 <sup>b</sup>	22.92±0.19 <sup>c</sup>	15.93±0.57 <sup>a</sup>	21.02±0.87 <sup>b</sup>	19.98±0.51 <sup>b</sup>	23.06±0.05 <sup>c</sup>	15.54±0.62 <sup>a</sup>
n-3/n-6PUFA	0.56±0.07 <sup>b</sup>	0.60±0.01 <sup>b</sup>	0.45±0.02 <sup>a</sup>	0.90±0.06 <sup>c</sup>	0.49±0.04 <sup>ab</sup>	0.51±0.03 <sup>b</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.91±0.05 <sup>c</sup>
$\Sigma$ HUFA	7.66±0.55 <sup>ab</sup>	8.22±0.25 <sup>b</sup>	7.01±0.22 <sup>a</sup>	12.12±0.57 <sup>c</sup>	7.20±0.64 <sup>a</sup>	7.77±0.26 <sup>a</sup>	6.78±0.20 <sup>a</sup>	11.72±0.83 <sup>b</sup>

## 2.4 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹肝胰腺消化酶活性的影响

越冬过后,雌雄扣蟹 CF 组胃蛋白酶和  $\alpha$ -AMS 活性均最高,CTF 组次之。CF 组胃蛋白酶和  $\alpha$ -AMS 活性显著高于 NF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ )。CTF 组  $\alpha$ -AMS 和 CTF 组雄性扣蟹胃蛋白酶均显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ , 图 2-a, c)。NF 组雌雄扣蟹 LPS 活性显著高于 CF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ), CTF 组雌性扣蟹 LPS 活性显著高于 CF 组 ( $P<0.05$ ), 而雄性扣蟹中 CF 与 CTF 组 LPS 活性无显著差异 ( $P>0.05$ , 图 2-b)。

## 2.5 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹抗氧化酶活性的影响

NF 组雌雄扣蟹 SOD 活性显著高于 CF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ) (图 3-a)。CF 组雌性扣蟹 CAT 活性显著低于 CTF 和 NF 组 ( $P<0.05$ ), 而雄性扣蟹 CF 组 CAT 活性显著高于 NF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ) (图 3-b)。CF 组雌雄扣蟹 T-AOC 活性显著高于 CTF 和 NF 组 ( $P<0.05$ ) (图 3-c), 雌性扣蟹 CF 组 MDA 含量显著低于 NF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ), NF 组显著低于 CTF 组 ( $P<0.05$ ), 雄性扣蟹 MDA 含量无显著变化 ( $P>0.05$ ) (图 3-d)。

雌雄扣蟹血淋巴中 NF 组 SOD 活性显著高于 CF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ), CTF 组雌性扣蟹 SOD 活性显著高于 CF 组 ( $P<0.05$ ) (图 4-a)。NF 和 CF 组雌性扣蟹 CAT 活性显著低于 CTF 组 ( $P<0.05$ ), 而雄性扣蟹血淋巴中, CF 组 CAT 活性显著高于 CTF 和 NF 组, CTF 组 CAT 活性显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ) (图 4-b)。CF 和 CTF 组雄性扣蟹 T-AOC 活性显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ), 雌性扣蟹 T-AOC 活性三者之间无显著差异 ( $P>0.05$ ) (图 4-c)。雌雄扣蟹 CTF 组 MDA 含量显著高于 CF 和 NF 组 ( $P<0.05$ ) (图 4-d)。

## 2.6 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹非特异性免疫酶的影响

在扣蟹肝胰腺中,雌雄扣蟹各实验组 ACP 活性差异不显著 ( $P>0.05$ ) (图 5-a), 而雌雄扣蟹 NF 和 CF 组 AKP 活性显著高于 CTF 组 ( $P<0.05$ ) (图 5-b)。在扣蟹血淋巴中,雌性扣蟹 CF 组 ACP 活性显著高于 NF 组 ( $P<0.05$ ), CTF 组高于 NF 组, 但无显著差异 ( $P>0.05$ ), CF 组雄性扣蟹 ACP 活性显著高于 NF 和 CTF 组 ( $P<0.05$ ) (图 5-c)。雌雄扣

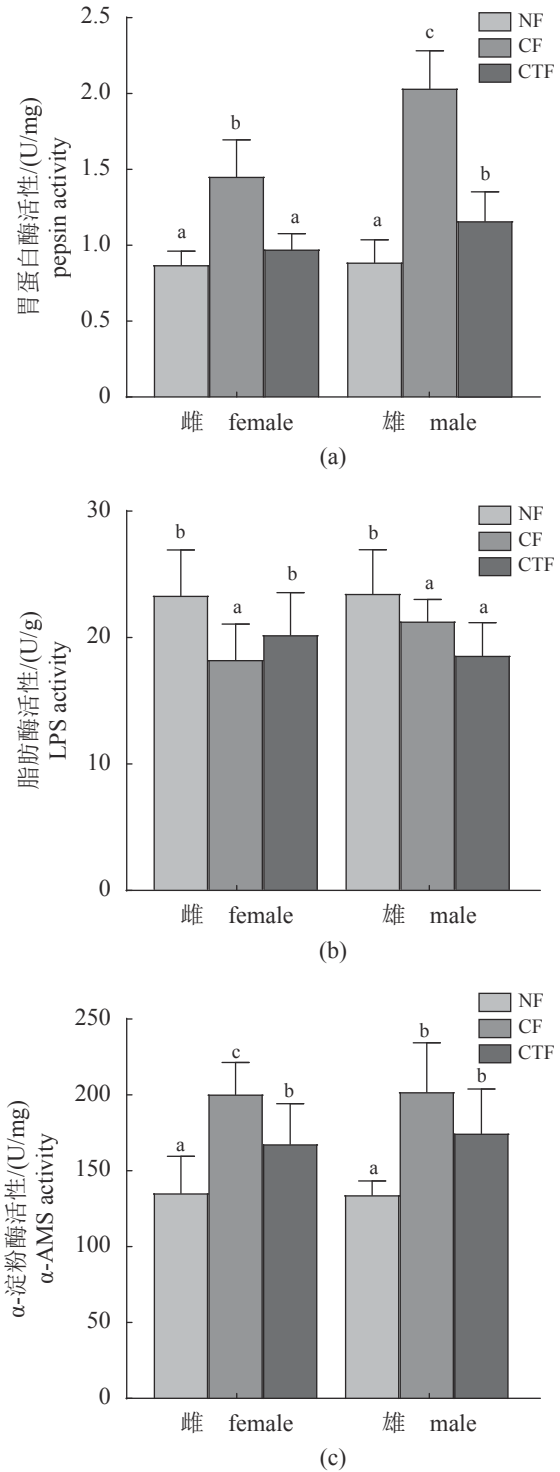


图 2 越冬期间不同饵料对扣蟹肝胰腺消化酶活性的影响

柱子上方不同小写字母表示同一性别不同组间差异显著 ( $P<0.05$ )

Fig. 2 Effect of different diets on the digestive enzyme activity of the hepatopancreas in juvenile *E. sinensis* during overwintering

Different lowercase letters on the columns indicate significant differences between groups of the same gender ( $P<0.05$ )

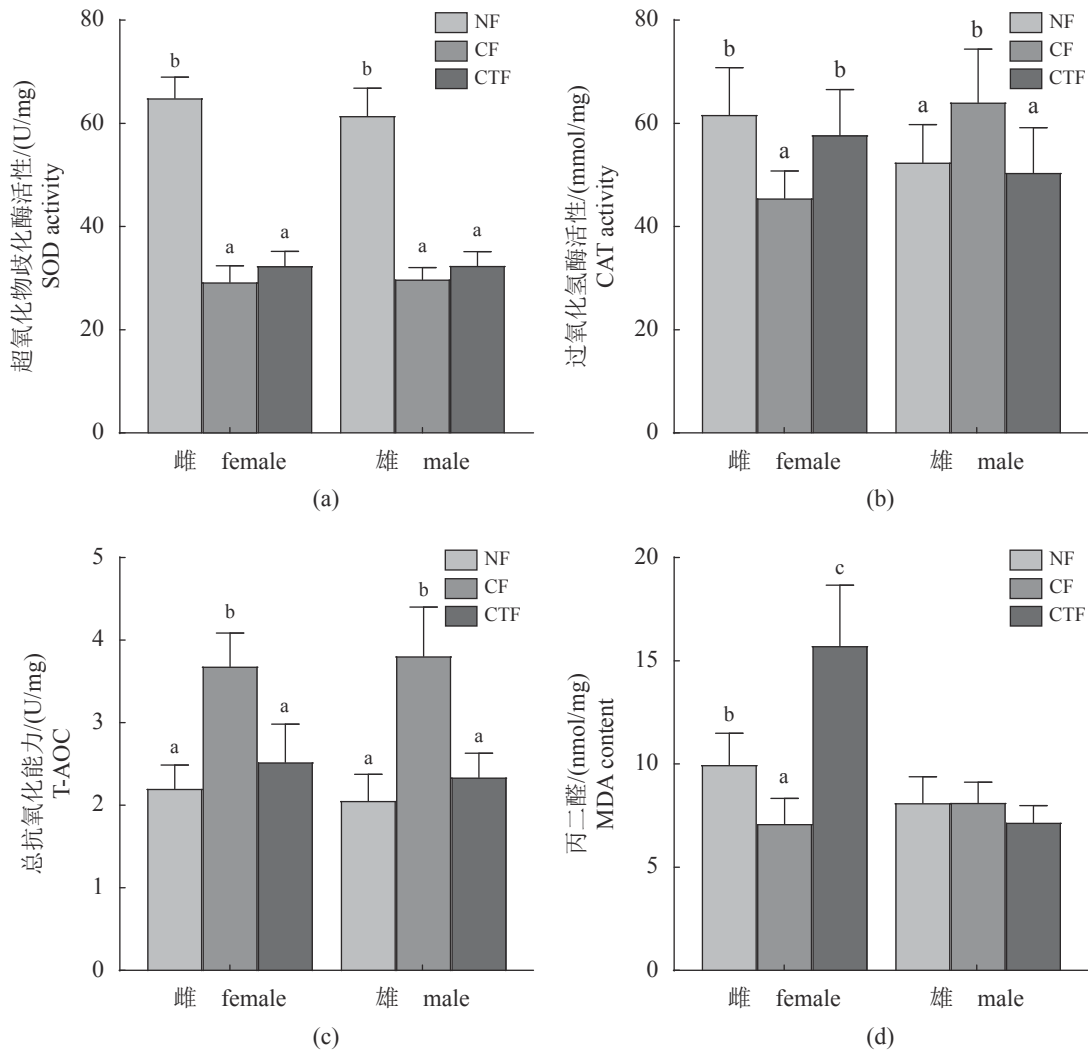


图 3 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹肝胰腺抗氧化酶活性的影响

Fig. 3 Effects of feeding different diets during overwintering on the activity of antioxidant enzymes in the hepatopancreas of juvenile *E. sinensis*

蟹 CF 和 CTF 组 AKP 活性显著高于 NF 组 ( $P < 0.05$ ), 雄性扣蟹组 CF 组活性显著高于 CTF 组 ( $P < 0.05$ ), 而雌性扣蟹组二者之间差异不显著 (图 5-d)。

### 3 讨论

#### 3.1 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹存活和生长的影响

中华绒螯蟹的生长受饵料和养殖环境等因素的影响<sup>[25-26]</sup>, 肝胰腺是甲壳动物重要的营养物质存储器官, 其可以提供生长和越冬所需的能量, 而且 HSI 的大小在一定程度上反映了肝胰腺营养物质的积累情况<sup>[27]</sup>。本研究发现, 投喂配合饲料组雌雄扣蟹 WGR 和 HSI 高于投喂冰鲜鱼和不投喂组, 不投喂组 WGR 和 HSI 最低。这可能是由

于配合饲料营养物质均衡且适口性好, 有利于扣蟹摄食生长和肝胰腺营养物质的积累, 而不投喂组越冬期间仅能摄食水草和网箱上附着的有机质, 期间消耗肝胰腺的营养物质, 说明越冬期间应当适当投喂, 并且综合存活率、增重率以及肝胰腺指数分析, 越冬期间投喂配合饲料效果较好。

#### 3.2 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹营养组成的影响

中华绒螯蟹越冬期间代谢活动的能量消耗依靠于身体内部贮存的营养物质<sup>[9, 28]</sup>, 越冬前后营养物质含量的变化可以反映能量消耗的方式<sup>[8]</sup>。本研究结果表明, 越冬过后不投喂组扣蟹躯体和肝胰腺脂肪和碳水化合物含量相比越冬前显著下降, 此结果与温小波等<sup>[29]</sup>和 Dall 等<sup>[30]</sup>研究指出罗氏沼



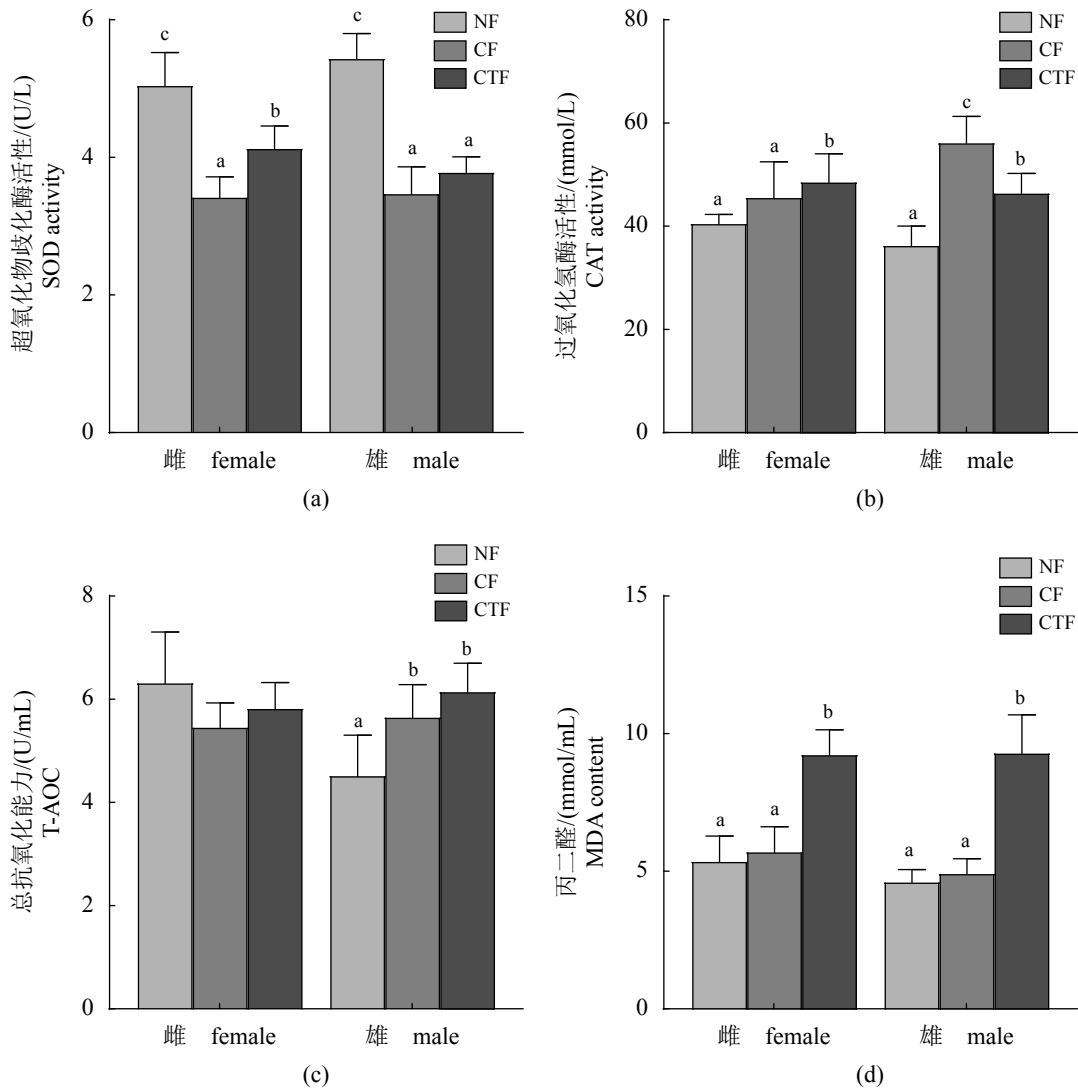


图4 越冬期间不同饵料对扣蟹血淋巴抗氧化酶活性的影响

Fig. 4 Effects of different diets on the activity of antioxidative enzymes in the hemolymph of juvenile *E. sinensis* during overwintering

虾 (*Macrobrachium rosenbergii*)、中华绒螯蟹幼蟹饥饿过程中消耗脂肪和碳水化合物相同。一般情况下,甲壳动物只有在长期饥饿胁迫后,才可能动用2种以上的营养物质<sup>[31]</sup>。由此可见,越冬期间不投喂饵料会使扣蟹遭受严重的饥饿胁迫。投喂冰鲜鱼组扣蟹肝胰腺脂肪和碳水化合物含量相比越冬前无明显变化,而投喂配合饲料组扣蟹肝胰腺脂肪和碳水化合物相比越冬前显著增加,由此可见越冬期间应该适量投喂,而且投喂配合饲料的效果更明显。研究发现,无论是否投喂,越冬过后肝胰腺蛋白质含量显著增加,而躯体蛋白质含量显著下降。其原因是躯体主要为肌肉组织,以蛋白质为主,由于越冬期间扣蟹不仅受饥饿的影响,而且还会受低温的影响<sup>[8-9]</sup>,因此推测,躯

体中蛋白质作为能源物质提供能量,此结果与陈伟等<sup>[8]</sup>研究西藏地区扣蟹消耗躯体蛋白质的结果相同。而肝胰腺蛋白质含量增加可能是由于越冬期间肝胰腺蛋白质未被消耗,由于水分含量增加,干物质含量下降,导致测定时蛋白质含量增加。

脂肪酸在有充足氧气的条件下,可氧化分解为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ,并释放大量的能量<sup>[32]</sup>,碳链长度适宜的脂肪酸优先被氧化分解释放能量,供机体代谢所需<sup>[33]</sup>。本研究发现,越冬期间,就脂肪酸绝对含量而言,不投喂组扣蟹躯体和肝胰腺大部分脂肪酸被动用,导致不投喂组扣蟹体内脂肪含量显著下降。而从脂肪酸相对含量来看,扣蟹躯体中C16:0、C18:0、C20:0、C17:1n7、C18:1n9、C18:2n6、C18:3n3和C20:4n3以及肝胰腺C18:2n6

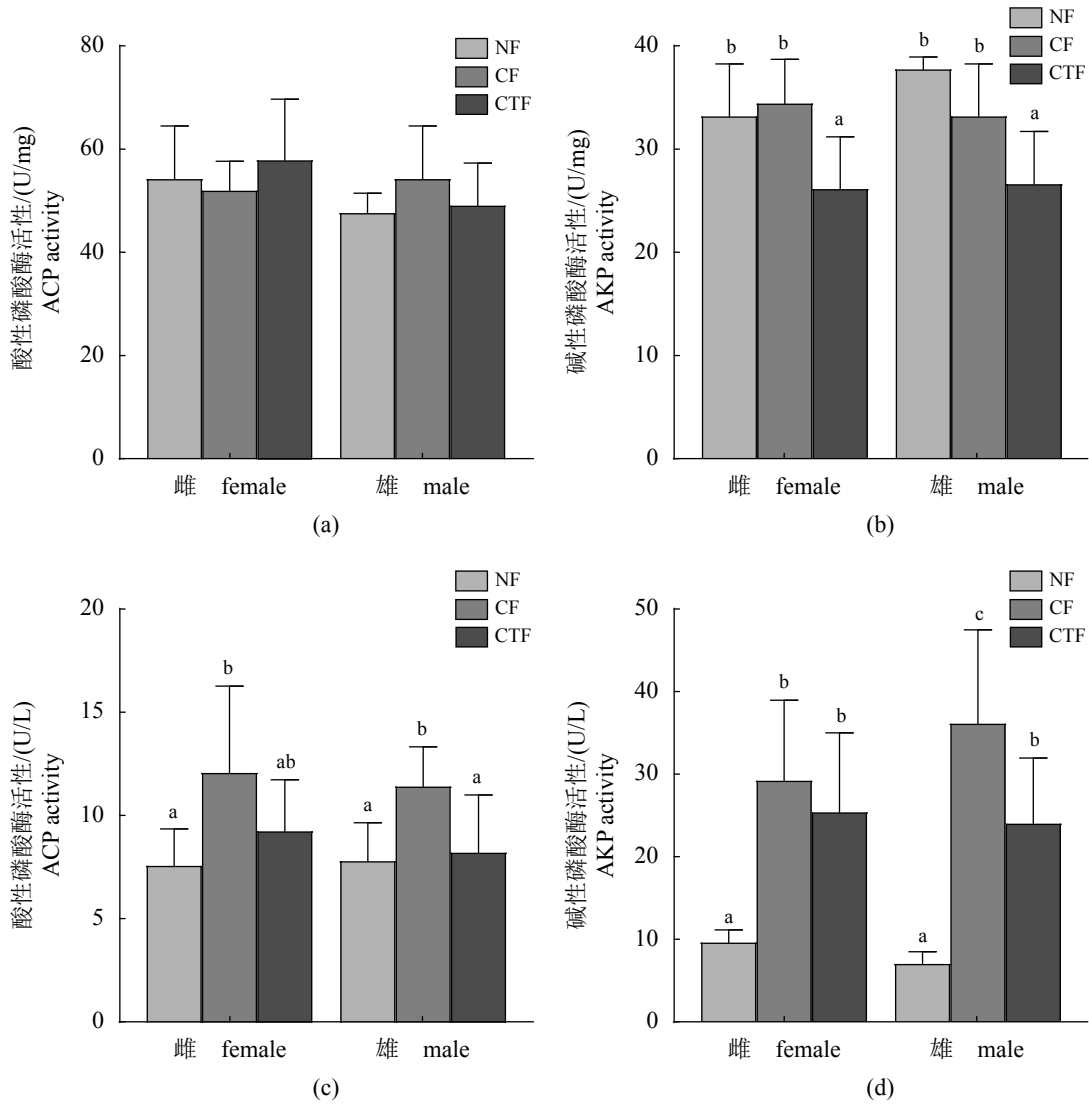


图 5 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹肝胰腺、血淋巴非特异性免疫酶的影响

(a) (b) 肝胰腺, (c) (d) 血淋巴非特异性免疫酶活性

Fig. 5 Effects of feeding different diets on the hepatopancreas and hemolymph non-specific immune enzymes of juvenile *E. sinensis* during overwintering

(a) (b) hepatopancreas, (c) (d) hemolymph

和 C18:3n3 被用作能源物质, 根据这些脂肪酸占总脂的比例和越冬前后扣蟹体内脂肪消耗以及肝胰腺指数差异情况推算, 越冬期间, 扣蟹主要被消耗的脂肪酸为 C16:0、C18:1n9 和 C16:2n6 (相对含量 10% 以上)。中华绒螯蟹体内脂肪酸的种类和含量受环境<sup>[34]</sup> 和饵料<sup>[35]</sup> 等多种因素的影响, 其中饵料为最主要的影响因素。研究发现, 投喂配合饲料组扣蟹肝胰腺中 LA 含量显著高于冰鲜鱼组, 而投喂冰鲜鱼组扣蟹肝胰腺中 EPA 和 DHA 含量显著高于配合饲料组, 原因为配合饲料由含 LA 含量较高的豆粕和菜粕等构成, 冰鲜鱼中 EPA 和 DHA 含量较高<sup>[14]</sup>, 导致扣蟹体内脂肪酸组成不同。

此外研究发现, 投喂配合饲料组扣蟹肝胰腺 LA 含量与越冬前相比显著增加, 而躯体中 LA 含量几乎没变, 其原因为脂类被肝胰腺吸收后, 被选择性地转移到躯体等部位<sup>[36-38]</sup>, 由此可见饵料对肝胰腺的影响远大于对躯体的影响。

### 3.3 越冬期间投喂不同饵料对扣蟹消化和免疫力的影响

肝胰腺是甲壳动物主要的消化腺, 消化酶活性的高低直接反映了其对营养物质吸收的能力, 其还可以作为评定饵料各营养成分消化吸收和利用情况的重要指标<sup>[39]</sup>。本研究结果发现, 不投喂

组扣蟹胃蛋白酶和 $\alpha$ -淀粉酶活性显著低于投喂配合饲料组和冰鲜鱼组,此结果与薛明等<sup>[40]</sup>研究方斑东风螺(*Babylonia areolata*)幼螺饥饿时蛋白酶和淀粉酶活性下降的结果类似,因此推测扣蟹越冬期间受到饥饿的影响,应适当投喂饵料,而不投喂组脂肪酶高于配合饲料组和冰鲜鱼组,可能是受到饥饿刺激导致分泌增加。投喂配合饲料组胃蛋白酶和 $\alpha$ -淀粉酶活性高于冰鲜鱼组,表明配合饲料比冰鲜鱼更有利于扣蟹的消化。

CAT和SOD是机体抗氧化、清除自由基的重要酶<sup>[41-42]</sup>,其中CAT主要的作用是将细胞代谢产生的毒性物质 $H_2O_2$ 迅速分解为 $H_2O$ 和 $O_2$ ,防止羟基自由基的形成。SOD可有效清除氧自由基,终止氧自由基对机体氧化的连锁反应<sup>[42]</sup>。本研究中,不投喂组扣蟹肝胰腺和血淋巴SOD活性显著高于其他组,可能是由于受到饥饿胁迫而产生了大量的自由基<sup>[43]</sup>,需要更多的SOD清除体内过多的自由基,降低其对组织的危害<sup>[44]</sup>。当CAT和SOD清除能力不足时,细胞质氧化产生MDA,研究发现投喂冰鲜鱼组扣蟹体内MDA含量显著高于其他两组,MDA对细胞具有毒性作用,含量越高毒性越大<sup>[45-46]</sup>,因此投喂冰鲜鱼对扣蟹产生氧化损伤。T-AOC是衡量机体抗氧化系统功能状态的综合指标<sup>[47]</sup>。投喂配合饲料组扣蟹的肝胰腺和血淋巴中,SOD活性和MDA含量最低,而肝胰腺T-AOC最高,说明越冬期间投喂配合饲料能够提高扣蟹的抗氧化能力。投喂配合饲料组雄性扣蟹体内CAT活性最高而雌性扣蟹CAT活性最低,以及CTF组雌性扣蟹肝胰腺中MDA含量显著高于其他两组,而雄性扣蟹各实验组MDA含量无显著差异,雌雄扣蟹结果不同的原因可能为性别不同所导致,具体原因有待进一步研究。

ACP和AKP是甲壳动物两种非常重要的非特异性免疫酶,能够催化磷酸酯的水解和磷酸基团的转移反应作用<sup>[48-49]</sup>。研究发现,投喂配合饲料组蟹血淋巴中ACP和AKP活性最高,而肝胰腺中ACP活性没有差异,AKP活性高于投喂冰鲜鱼组,说明越冬投喂配合饲料能够提高扣蟹的免疫能力。已有研究发现,甲壳动物体液免疫主要依靠血淋巴中的酶(ACP和AKP等)与免疫因子<sup>[50]</sup>,本研究也得到相似的结论,发现投喂配合饲料的扣蟹血淋巴中的免疫酶活性增强比肝胰腺更加明显。

#### 4 结论

综上所述,本研究分析了越冬期间不投喂、

投喂配合饲料和冰鲜鱼对扣蟹成活率、增重率、肝胰腺指数、营养物质变化、消化能力、抗氧化和免疫能力以及躯体和肝胰腺脂肪酸的变化。研究发现,越冬期间不投喂扣蟹的肝胰腺指数、体内脂肪和碳水化合物含量以及抗氧化能力和免疫能力显著下降,越冬期间投喂饵料组的肝胰腺指数上升、体内营养增加、抗氧化能力和免疫能力有所提高,尤其投喂配合饲料效果优于冰鲜鱼。因此本研究认为越冬期间扣蟹应适量投喂配合饲料。本研究为扣蟹越冬投喂和配合饲料推广的应用提供了科学依据。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] Wang J, Xu P, Zhou G, *et al.* Genetic improvement and breeding practices for Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2018, 49(2): 292-301.
- [2] Zhang Z X, Capinha C, Weterings R, *et al.* Ensemble forecasting of the global potential distribution of the invasive Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Hydrobiologia*, 2019, 826(1): 367-377.
- [3] Wang X, Tjale P M, Yao Q, *et al.* Comparison of the growth performance and nutritional qualities of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) with different stocking densities in rice-crab culture systems[J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 20: 100761.
- [4] 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. 中国渔业统计年鉴-2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 3. Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China fishery statistical year book[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 3 (in Chinese).
- [5] 殷守仁, 贾丽, 张黎, 等. 河蟹大眼幼体当年分阶段培育养成商品蟹技术研究[J]. 中国水产, 2000(2): 20-23. Yin S R, Jia L, Zhang L, *et al.* Study on technique for raising crab larvae to commodity size[J]. *China Fisheries*, 2000(2): 20-23 (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.* Culture effect of different feeding modes on pond-reared juvenil Chinese

- mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Fisheries Science and Technology Information, 2018, 45(3): 162-166 (in Chinese).
- [ 7 ] Anger K. Effects of temperature and salinity on the larval development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (Decapoda: Grapsidae)[J]. Marine Ecology Progress Series, 1991, 72(1-2): 103-110.
- [ 8 ] 陈伟, 王春, 杨印蹊, 等. 中华绒螯蟹在西藏高原条件下越冬期生化组分的变化[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(5): 733-740.
- Chen W, Wang C, Yang Y P, *et al.* Variations in biochemical composition of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* acclimated to tibetan plateau during its overwintering[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 733-740 (in Chinese).
- [ 9 ] 王鑫, 王春, 杨璐, 等. 中华绒螯蟹一龄幼蟹(*Eriocheir sinensis*)越冬前后脂肪酸和4种类胡萝卜素含量的变化[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(11): 4978-4985.
- Wang X, Wang C, Yang L, *et al.* Changes of fatty acid and carotenoids contents of the first-instar juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) pre and post-overwintering[J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(11): 4978-4985 (in Chinese).
- [10] 王飞生, 杨海明. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)肌肉中不饱和脂肪酸含量与越冬死亡、产卵关系[J]. 激光生物学报, 2002, 11(3): 182-187.
- Wang F S, Yang H M. The relationship between the death or egg-laying and the concentration of unsaturated fatty acid in muscles of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Acta Laser Biology Sinica, 2002, 11(3): 182-187 (in Chinese).
- [11] 宋学宏, 程建新, 朱茂晓, 等. 中华绒螯蟹肝胰腺白化症的病因研究[J]. 中国水产科学, 2007, 14(5): 762-769.
- Song X H, Cheng J X, Zhu M X, *et al.* Pathogenic factors of albinism in hepatopancreas of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (Decapoda: Grapsidae)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(5): 762-769 (in Chinese).
- [12] 周楨. 中华绒螯蟹生命周期中历次蜕壳对其能量密度和体成分的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- Zhou Z. Effects of the molt of *Eriocheir sinensis* on its energy density and body composition during its life cycle[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [13] 马明君, 王春, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹幼蟹蜕皮周期中肝胰腺和肌肉脂类的动态变化[J]. 水产学报, 2014, 38(11): 1889-1898.
- Ma M J, Wang C, Wu X G, *et al.* Dynamic changes of lipids in hepatopancreas and muscle during the molting cycle of young Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Fisheries China, 2014, 38(11): 1889-1898 (in Chinese).
- [14] 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).
- [15] 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 M, *et al.* Benefit analysis of culture on Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* with frozen fresh trash fish and formula feed[J]. Scientific Fish Farming, 2019(6): 63 (in Chinese).
- [16] 冯伟, 李辉, 唐永凯, 等. 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[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 748-759.
- Feng W, Li H, Tang Y K, *et al.* Effects of formula feed and frozen fish on the growth, gonadal development and muscle quality of *Eriocheir sinensis* in the monomer culture[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 748-759 (in Chinese).
- [17] 王武, 李应森. 河蟹生态养殖 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Wang W, Li Y S. Ecological breeding of *Eriocheir Sinensis*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014 (in Chinese).
- [18] He J, Wu X G, Li J Y, *et al.* Comparison of the culture performance and profitability of wild-caught and captive pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) juveniles reared in grow-out ponds: implications for seed selection and genetic selection programs[J]. *Aquaculture*, 2014, 434: 48-56.
- [19] Horwitz W. Official methods of analysis of AOAC international[M]. Arlington: AOAC International, 1995.
- [20] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [21] 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.



- Zhang W J. Compound polysaccharide biochemical research technology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1987 (in Chinese).
- [22] 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[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(2): 154-159.
- [23] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol[J]. *Journal of Lipid Research*, 1964, 5(4): 600-608.
- [24] 赵磊, 龙晓文, 吴旭干, 等. 育肥饲料中混合植物油替代鱼油对中华绒螯蟹成体雄蟹性腺发育、脂质代谢、抗氧化及免疫性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(2): 455-467.
- Zhao L, Long X W, Wu X G, *et al.* Effects of fish oil replacement by blending vegetable oils in fattening diets on gonadal development, lipid metabolism, antioxidant and immune capacities of adult male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(2): 455-467 (in Chinese).
- [25] Wu X G, Zhao L, Long X W, *et al.* Effects of dietary supplementation of *Haematococcus pluvialis* powder on gonadal development, coloration and antioxidant capacity of adult male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(10): 5214-5223.
- [26] Shao L C, Wang C, He J, *et al.* Meat quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(1): 59-72.
- [27] Wu X G, Chang G L, 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*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 25-36.
- [28] 裴光富, 唐士桥. 河蟹安全越冬技术[J]. *中国水产*, 2010(1): 53-54.
- Pei G F, Tang S Q. Safe overwintering technology of *Eriocheir sinensis*[J]. *China Aquatic Product*, 2010(1): 53-54 (in Chinese).
- [29] 温小波, 陈立侨, 艾春香, 等. 中华绒螯蟹幼蟹饥饿代谢研究[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(5): 443-446.
- Wen X B, Chen L Q, Ai C X, *et al.* Study on starvation metabolism in juvenile chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2001, 7(5): 443-446 (in Chinese).
- [30] Dall W, Smith D M. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell[J]. *Aquaculture*, 1986, 55(1): 23-33.
- [31] Sánchez-Paz F, García-Carreño F, Muhlia-Almazán A, *et al.* Usage of energy reserves in crustaceans during starvation: status and future directions[J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2006, 36(4): 241-249.
- [32] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学. 上册 [M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- Wang J Y, Zhu S G, Xu C F. *Biochemistry*. Volume One[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2002 (in Chinese).
- [33] Trappe T A, Fluckey J D, White F, *et al.* Skeletal muscle PGF<sub>2α</sub> and PGE<sub>2</sub> in response to eccentric resistance exercise: influence of ibuprofen and acetaminophen[J]. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2001, 86(10): 5067-5070.
- [34] Romano N, Wu X G, Zeng C S, *et al.* Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range[J]. *Marine Biology Research*, 2014, 10(5): 460-471.
- [35] Cavalli R O, Menschaert G, Lavens P, *et al.* Maturation performance, offspring quality and lipid composition of *Macrobrachium rosenbergii* females fed increasing levels of dietary phospholipids[J]. *Aquaculture International*, 2000, 8(1): 41-58.
- [36] Johnston D J, Calvert K A, Crear B J, *et al.* Dietary carbohydrate/lipid ratios and nutritional condition in juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*[J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1-4): 667-682.
- [37] Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, *et al.* Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 602-613.
- [38] 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、蜕壳及生化组成的影响[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(2): 329-337.
- Chang G L, Wu X G, Cheng Y X, *et al.* Effects of phospholipid and highly unsaturated fatty acid on survival, weight gain, molting and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 329-337 (in Chinese).

- 337 (in Chinese).
- [39] 刘立鹤, 陈立侨, 周永奎, 等. 甲壳动物消化酶的研究[J]. 饲料工业, 2006, 27(18): 56-62.  
Liu L H, Chen L Q, Zhou Y K, *et al.* A review of digestive enzymes of crustaceans[J]. Feed Industry, 2006, 27(18): 56-62 (in Chinese).
- [40] 薛明, 柯才焕, 魏永杰. 饥饿对方斑东风螺幼螺生化组成和消化酶活力的影响[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 120-125.  
Xue M, Ke C H, Wei Y J. Effects of starvation on biochemical compositions and digestive enzyme activities of spotted babylon, *Babylonia areolata* juveniles[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(3): 120-125 (in Chinese).
- [41] Ahmad I, Rani A M B, Verma A K, *et al.* Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal health-care and nutrition[J]. *Aquaculture International*, 2017, 25(3): 1215-1226.
- [42] 赵亚婷, 吴旭干, 常国亮, 等. 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[J]. 水生生物学报, 2013, 37(6): 1133-1144.  
Zhao Y T, Wu X G, Chang G L, *et al.* Effects of dietary DHA levels on growth, lipid composition and hypoxia stress of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(6): 1133-1144 (in Chinese).
- [43] 苏慧, 区又君, 李加儿, 等. 饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP酶活力和鱼体生化组成的影响[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 28-36.  
Su H, Ou Y J, Li J E, *et al.* Effects of starvation on antioxidative capacity,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase activity and biochemical composition in juvenile *Trachinotus ovatus*[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(6): 28-36 (in Chinese).
- [44] 朱筛成, 龙晓文, 向朝林, 等. 复合蛋白源替代鱼粉对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、生理代谢和生化组成的影响[J]. 南方水产科学, 2019, 15(2): 83-92.  
Zhu S C, Long X W, Xiang C L, *et al.* Effects of dietary fishmeal replacement with protein mixtures on growth performance, physiological metabolism and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(2): 83-92 (in Chinese).
- [45] Li E C, Chen L Q, Zeng C, *et al.* Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities[J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 80-86.
- [46] Janero D R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1990, 9(6): 515-540.
- [47] Muangkeow B, Ikejima K, Powtongsook S, *et al.* Effects of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system[J]. *Aquaculture*, 2007, 269(1-4): 363-376.
- [48] Xue Q G, Renaut T. Enzymatic activities in European flat oyster, *Ostrea edulis*, and Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, hemolymph[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2000, 76(3): 155-163.
- [49] Long X W, Wu X G, Zhao L, *et al.* Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidation capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture*, 2017, 473: 545-553.
- [50] Bachère E, Mialhe E, Noël D, *et al.* Knowledge and research prospects in marine mollusc and crustacean immunology[J]. *Aquaculture*, 1995, 132(1-2): 17-32.

## Effects of feeding different diets on survival, nutritional composition, digestion and immunity of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during overwintering

XIAO Changlun<sup>1</sup>, SUN Yunfei<sup>1,2,3\*</sup>, LU Zhenzhen<sup>1</sup>, CHENG Fangzhou<sup>1</sup>, CHENG Yongxu<sup>1,2,3\*</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To study the effects of feeding different diets during overwintering on the survival, nutritional composition, digestion and immunity of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), this experiment compared no feeding (NF group), feeding compound feed (CF group) and feeding chilled trash fish (CTF group) during overwintering on the survival rate, nutritional composition and the activities of digestive enzymes, antioxidant enzymes and immune enzymes of juvenile *E. sinensis*. The results showed that: ① After overwintering, the weight gain rate and hepatopancreas index of the CF group and CTF group were significantly higher than those of the NF group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference in the survival rate among the three groups. ② After overwintering, the contents of fat and carbohydrates in the body and hepatopancreas of CF group and CTF group were significantly higher than those in NF group ( $P < 0.05$ ), and the carbohydrate content in the body and hepatopancreas of CF group was significantly higher than that in CTF group ( $P < 0.05$ ), while the water content of the hepatopancreas of the crab in the NF group was significantly higher than that in the CF and CTF groups ( $P < 0.05$ ). Regardless of feeding or not, the body protein content decreased significantly after overwintering, while the protein in the hepatopancreas increased significantly ( $P < 0.05$ ). ③ In regard to fatty acid composition, the contents of C18:2n6 (LA) in the body and hepatopancreas of the CF group were significantly higher than those in the NF group and CTF group, while the contents of C20:5n3 (EPA) and C22:6n3 (DHA) in the CTF group were significantly higher than those in NF group and CF group ( $P < 0.05$ ). ④ After overwintering, the activities of pepsin (pepsin) and  $\alpha$ -amylase ( $\alpha$ -AMS) in the CF group were significantly higher than those in the NF group and CTF group ( $P < 0.05$ ). ⑤ In terms of oxidative capacity, superoxide dismutase (SOD) activity in hepatopancreas and hemolymph in NF group was significantly higher than that in CF group and CTF group ( $P < 0.05$ ), total antioxidant capacity (T-AOC) activity in CF group was significantly higher than that in NF group and CTF group ( $P < 0.05$ ), and the content of malondialdehyde (MDA) in the hemolymph and hepatopancreas of female crab in CTF group was significantly higher than that in NF group and CF group ( $P < 0.05$ ). ⑥ As for the immunity of crabs, the activities of acid phosphatase (ACP) and alkaline phosphatase (AKP) in CF group were significantly higher than those in NF group ( $P < 0.05$ ). To sum up, *E. sinensis* should be fed with appropriate amount of diet during overwintering. The survival rate, hepatopancreas index, weight gain rate and nutrient accumulation of *E. sinensis* in the CF group were better than those in the CTF group. In addition, feeding compound feed is beneficial to the digestion of the *E. sinensis*, and enhances the anti-oxidation and immunity of *E. sinensis*. This study provides scientific reference and theoretical basis for rational use of overwintering diet for *E. sinensis*.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; overwintering period; nutrients; fatty acid; antioxidant capacity

**Corresponding authors:** SUN Yunfei. E-mail: yfsun@shou.edu.cn;

CHENG Yongxu. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

**Funding projects:** Ministry of Finance and the Ministry of Agriculture and Rural Affairs: Special Fund Project of the Modern Agricultural Industrial Technology System of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-48); The Yellow River Delta Talent Project (DYRC20190210); National Natural Science Foundation of China (31802320)