

DOI: 10.12264/JFSC2020-0341

不同饵料投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹生长和生理生化的影响

韩文峰¹, 孙云飞¹, 刘健¹, 鹿珍珍¹, 肖昌伦¹, 张亚文¹, 成方舟¹, 成永旭^{1, 2, 3}

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, 上海水产养殖工程技术研究中心, 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: 为研究池塘养殖过程中不同饵料投喂模式对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹生长和生理生化的影响, 实验以中华绒螯蟹幼蟹为研究对象, 比较了喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)组(Diet1 组)、配合饲料组(Diet2 组)以及两者 1:1 混合组(Diet3 组) 3 种饵料投喂模式下幼蟹生长、消化酶、抗氧化酶及免疫酶活性的变化。每个处理组设置 3 个重复, 实验周期为 120 d。结果表明: (1)养殖结束时, Diet2 组幼蟹的终末体重、增重率、特定生长率和肝胰腺指数均显著高于 Diet1 和 Diet3 组; (2) Diet2 和 Diet3 组幼蟹肝胰腺和躯体的粗脂肪含量显著高于 Diet1 组, 而灰分含量呈相反趋势; (3)幼蟹肝胰腺 α -淀粉酶活性在 Diet3 组最高($P<0.05$), 而脂肪酶活性在 Diet2 组最高($P<0.05$); (4) Diet1 组幼蟹血清过氧化氢酶活性最高, 而 Diet2 组和 Diet3 组总抗氧化能力和丙二醛含量均显著高于 Diet1 组; (5) Diet1 组幼蟹肝胰腺过氧化氢酶活性最高, Diet2 组雌蟹超氧化歧化酶活性和总抗氧化能力活性最高($P<0.05$), Diet3 组雄蟹总抗氧化能力活性最高($P<0.05$); (6) Diet2 组和 Diet3 组幼蟹血清中酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性均显著高于 Diet1 组, 而在雌雄蟹肝胰腺中, 三组间酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活力不存在显著差异($P>0.05$)。因此, 在中华绒螯蟹池塘养殖模式下, 在合理的种植水花生的基础上投喂配合饲料有利于幼蟹生长、消化和脂肪积累, 以及增强幼蟹抗氧化和免疫能力。本研究可为配合饲料投喂模式的推广以及将水花生作为植食性饵料添加到中华绒螯蟹幼蟹配合饲料中的开发提供科学参考与理论基础。

关键词: 中华绒螯蟹; 幼蟹; 投喂模式; 生化组成; 消化酶; 抗氧化性; 非特异性免疫

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)03-0314-12

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是中国重要的养殖蟹类之一^[1], 因味道鲜美和营养价值高深受大众喜爱^[2]。据中国渔业统计年鉴, 2019 年河蟹养殖产量高达 77.86 万 t^[3]。池塘养殖是中华绒螯蟹幼蟹的主要养殖方式^[4]。研究发现, 幼体发育阶段饵料质量是保证成活率的关键, 直接关系到育苗的成败^[5], 并且, 幼蟹养殖后期投喂优质饵料可以提高蟹种质量, 提高第二年养成早期的成活率、增重率和缩短第一次蜕壳时间^[4]。由此可见, 幼蟹

阶段的养殖对于中华绒螯蟹后期养殖至关重要。

我国中华绒螯蟹幼蟹养殖主要存在全程配合饲料投喂与传统饵料投喂两种模式^[6]。配合饲料可人为控制河蟹所需营养物质, 营养均衡, 满足幼蟹生长发育所需^[7], 目前已成为河蟹养殖的发展趋势^[8]。传统饵料主要包括豆粕、菜粕、麸皮和小麦等, 投喂传统饵料存在蟹种早熟、成蟹品质差和水质恶化等问题, 严重制约了中华绒螯蟹养殖产业的绿色可持续发展^[9], 关于不同投喂模

收稿日期: 2020-10-19; 修订日期: 2020-11-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31802320); 农业农村部现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-48); 上海水产养殖工程技术研究中心能力提升项目(19DZ2284300); 黄河三角洲产业领军人才项目(DYRC20190210).

作者简介: 韩文峰(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事甲壳动物生态养殖的研究. E-mail: 934570363@qq.com

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

式对于中华绒螯蟹的影响也有相关报道。研究发现, 投喂优质配合饲料的幼蟹与投喂缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 的幼蟹相比可获得生长性能更好的幼蟹^[10], 并且可以提高幼蟹在成蟹早期的养殖性能^[11], 磷脂和高度不饱和脂肪酸比例合理的配合饲料可降低幼蟹早熟率^[12]。配合饲料在幼蟹养殖生理生化和养殖环境方面也有有利的影响, 与投喂冰鲜杂鱼相比投喂配合饲料可提高幼蟹消化能力与免疫力^[13], 而且配合饲料模式可以促进幼蟹氨基酸合成和降低能量代谢^[14]。投喂配合饲料的幼蟹养殖池塘中水体氨氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)、无机磷(IP)和无机氮(IN)含量较低。在幼蟹养殖池塘中, 喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)俗称水花生, 作为一种常见饵料被种植在池塘中, 不仅可以作为幼蟹遮蔽物, 而且还可以调节养殖水体环境^[15-16]。研究表明, 在我国幼蟹两种主要的投喂模式下, 池塘养殖过程中幼蟹饵料的主要来源是饲料和水花生, 而不同单一饵料来源以及混合投喂对中华绒螯蟹幼蟹生长与生理生化的影响还未见详细报道。

本研究在实验基地模拟了中华绒螯蟹幼蟹单一饵料以及两者混合的养殖模式, 包括仅在池塘中种植水花生, 只投喂配合饲料以及两者都存在的情况, 比较研究了 3 种饵料投喂方式对中华绒螯蟹幼蟹的生长情况、常规生化组成、消化酶、抗氧化酶及免疫酶活性的影响, 以期中华绒螯蟹幼蟹的配合饲料投喂模式的推广以及配合饲料的开发提供理论参考与实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

2019 年 7—11 月, 在上海海洋大学崇明养殖基地选取 9 个面积相等的围隔(7.8 m×7.8 m), 围隔四周设有双层防逃网, 防逃网上缘设置 25 cm 防逃塑料板。为了便于采样和回捕幼蟹, 在围隔中用毛竹架设一个 40 目的网箱(2 m×2 m×1 m), 且网箱内外缝有 30 cm 高的防逃塑料板。7 月初投放幼蟹, 实验分为 3 个处理组: Diet1 (水花生投喂模式: 养殖池塘仅种植水花生, 取自崇明实验基地养殖池塘), Diet2 (配合饲料投喂模式: 投喂配合饲料,

购买于浙江澳华饲料有限公司), Diet3 (混合饲料投喂模式: 种植水花生和投喂配合饲料), 其中配合饲料的原料组成如下: 鱼粉, 豆粕, 虾壳粉, 乌贼膏, 花生饼, 面粉, 鱼油, 啤酒酵母粉, 微生物制剂, 多种矿物质微量元素, 多种维生素及防霉剂。3 种饵料的营养成分组成如表 1 所示。每个组设置 3 个重复, 分别为 A1-3、B1-3、C1-3, 每组设 3 个平行网箱, 每个网箱中放置雌雄幼蟹各 200 只。

表 1 不同饵料营养成分组成
Tab. 1 Nutrient composition of different diets

项目 item	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% ether extract	灰分 ash
水花生 Diet1	93.31±0.34	25.99±2.83	4.70±0.15	10.50±0.48
配合饲料 Diet2	6.99±0.09	38.70±0.47	8.56±0.09	10.39±0.17
混合饲料 Diet3	50.11±0.27	32.08±1.80	6.39±0.11	10.66±0.46

1.2 养殖管理

实验用幼蟹均取自上海海洋大学崇明养殖基地, 挑选附肢健全、活力较好以及体重 1~2 g 的幼蟹用于养殖实验。养殖期间, 每日 16:00 左右投喂, 投喂量占总体重的 1%~3%, 各组的投喂比例基本一致, 投喂后 3 h 后观察饵料剩余情况, 根据水温和残饵情况进行调整投喂量。养殖过程中水温变化情况如图 1 所示。

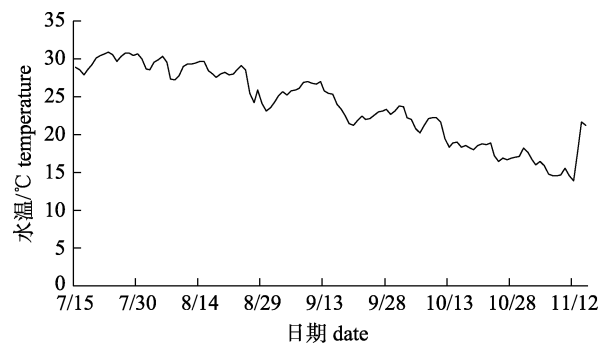


图 1 上海海洋大学崇明基地河蟹养殖池塘水温变化
Fig. 1 Variation of water temperature in *Eriocheir sinensis* culture ponds in Chongming Base of Shanghai Ocean University

1.3 样品采集

实验过程中分别于每月中旬采样。每口塘随机采取雌雄幼蟹各 40 只以了解各组河蟹的生长

情况,称重前首先用干毛巾轻轻擦去体表水分,然后采用电子天平精确称重(精确到 0.01 g)。实验于 11 月 21 日结束,将幼蟹从网箱中取出,迅速运回实验室。将幼蟹放在冰上麻醉后,用 1.0 mL 无菌注射器从第 3 支步足基部抽取 0.5 mL 血淋巴样品装于 1.5 mL 离心管中,收集于-40 °C 冰箱保存。沿蟹壳侧面将蟹壳与躯体分离,然后直接解剖取出肝胰腺并准确称重收集于-40 °C 冰箱保存。将肝胰腺和去除头胸甲、附肢和鳃的幼蟹躯体分别装入自封袋中于-40 °C 中保存备用。

1.4 指标测定

每月增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(special weight gain rate, SGR)和肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI)的计算公式如下^[17]:

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

$$SGR (\%) = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \times 100\%$$

$$HSI (\%) = (W_2 - W_1) / W_t \times 100\%$$

式中, W_1 和 W_2 分别为日龄 t_1 和 t_2 时各组幼蟹的平均体重(g)。

采用 105 °C 烘干法测定饵料的水分含量^[18],而幼蟹躯体的水分含量采用冷冻干燥方法进行测定。采用凯氏定氮法测定饵料、幼蟹肝胰腺和躯体中的粗蛋白质含量;采用 550 °C 灼烧法测定饵料、幼蟹肝胰腺和躯体中的粗灰分含量^[18]。按照 Folch 等^[19]的方法,采用氯仿:甲醇溶液(V/V=2:1)提取饵料、幼蟹肝胰腺和躯体中的总脂并测定其含量。

参考赵磊等^[20]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幼蟹肝胰腺中的 α -淀粉酶(α -amylase, α -AMS)、

脂肪酶(lipase, LPS)、胃蛋白酶(pepsin)和纤维素酶(cellulase, CL),幼蟹血清和肝胰腺中的超氧化歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)、过氧化氢酶(catalase, CAT)和丙二醛(malondialdehyde, MDA),幼蟹血清和肝胰腺中的酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)。

1.5 数据处理

采用 SPSS 21.0 软件对实验数据进行统计分析,用 Levene 法对幼蟹的体重、增重率、特定增重率、常规生化组成、消化酶、抗氧化酶和非特异性免疫酶进行方差齐性检验,当数据不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或者平方根处理,然后进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 Tukey *s-b* (*K*) 法进行多重比较;当数据转换后仍不满足齐性方差时,采用 Games-Howell 非参数检验法进行多重比较。取 $P < 0.05$ 为差异显著性,结果以平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹生长性能的影响

3 种投喂模式下养殖期间幼蟹养殖性能如表 2 所示。Diet2 组雌雄幼蟹终末体重均为最高, Diet3 组次之, Diet1 组最低,各组之间存在显著差异($P < 0.05$)。在 WGR、SGR 和 HSI 三个指标间差异与终末体重类似,均为 Diet2 组显著高于 Diet1 和 Diet3 组($P < 0.05$)。

3 种不同投喂模式下幼蟹 7—11 月的平均体

表 2 不同投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹生长和肝胰腺指数的影响

Tab. 2 Effects of different feeding modes on growth and hepatosomatic index of juvenile *Eriocheir sinensis*

$n=40; \bar{x} \pm SD$

项目 item	雌 female			雄 male		
	水花生 Diet1	配合饲料 Diet2	混合饲料 Diet3	水花生 Diet1	配合饲料 Diet2	混合饲料 Diet3
初始体重/g initial body weight	1.35 \pm 0.37	1.35 \pm 0.37	1.35 \pm 0.37	1.33 \pm 0.32	1.33 \pm 0.32	1.33 \pm 0.32
终末体重/g final body weight	5.48 \pm 0.21 ^a	9.98 \pm 0.44 ^c	8.09 \pm 0.35 ^b	5.29 \pm 0.21 ^a	10.54 \pm 0.49 ^c	8.26 \pm 0.13 ^b
增重率/% (7-11) WGR	307.65 \pm 21.85 ^a	640.74 \pm 32.62 ^c	521.30 \pm 9.55 ^b	297.74 \pm 15.43 ^a	692.73 \pm 37.01 ^c	500.74 \pm 26.21 ^b
特定增长率/% (7-11) SGR	1.18 \pm 0.04 ^a	1.67 \pm 0.04 ^c	1.49 \pm 0.04 ^b	1.15 \pm 0.03 ^a	1.72 \pm 0.04 ^c	1.52 \pm 0.01 ^b
肝胰腺指数/% HSI	6.67 \pm 0.61 ^a	9.19 \pm 0.99 ^b	8.24 \pm 0.84 ^{ab}	6.35 \pm 0.60 ^a	8.56 \pm 0.56 ^b	7.86 \pm 1.06 ^{ab}

注:同行数据中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

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

重变化情况如图 2 所示。Diet2 和 Diet3 组 7—11 月的幼蟹平均体重始终高于 Diet1 组, 并且 Diet2 组高于 Diet3 组, 在 9—11 月间各组组间存在显著差异($P < 0.05$)。随着养殖实验的进行, 各组间幼蟹的 WGR 整体上呈下降趋势(图 3)。在 7—8 月间, Diet2 组雌蟹生长速率最快, 而 Diet3 组则是雄蟹

最快。在 8—10 月间, Diet2 组雌雄幼蟹生长速率最快, Diet3 组次之, Diet1 组最慢, 且各组间存在显著差异($P < 0.05$)。而 10—11 月, 发现 Diet1 组雌雄蟹均最快, 而 Diet2 组次之, Diet3 组最慢, 但各组间不存在显著差异($P > 0.05$)。三处理组 7—11 月幼蟹的 SGR 变化趋势与 WGR 类似(图 4)。

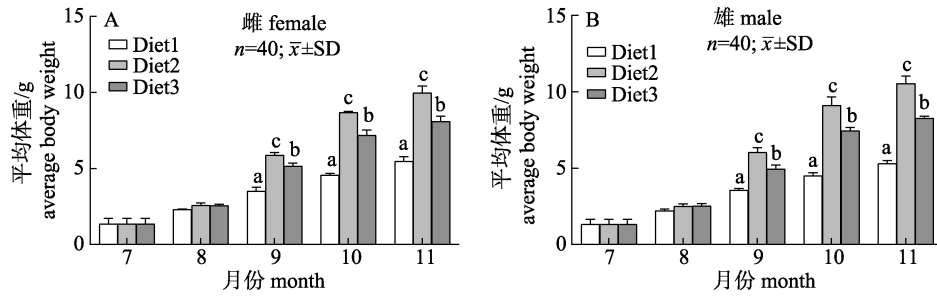


图 2 养殖期间 3 种投喂模式下中华绒螯蟹幼蟹的体重变化情况

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组。柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 2 Variations of average body weight of juvenile *Eriocheir sinensis* under the three feeding modes during the culture period. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$).

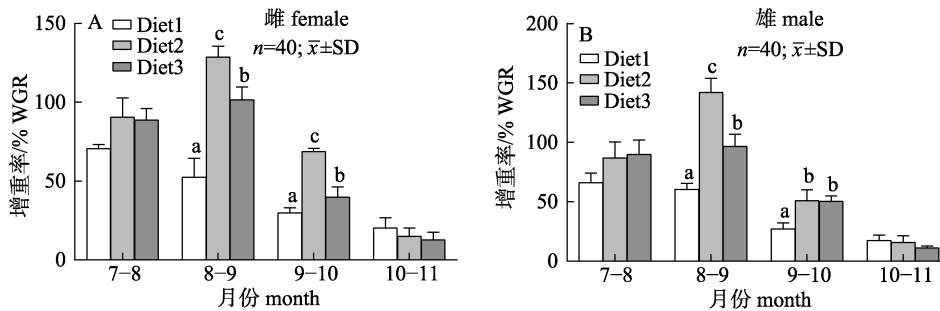


图 3 养殖期间 3 种投喂模式下中华绒螯蟹幼蟹的增重率变化情况

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组。柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 3 Variations of WGR of juvenile *Eriocheir sinensis* under the three feeding modes during the culture period. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$).

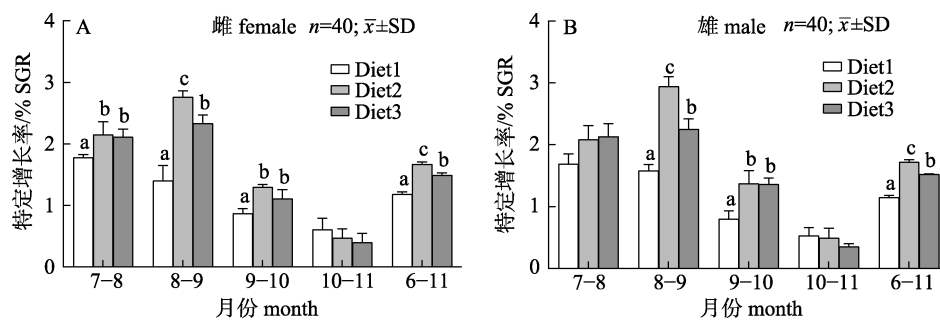


图 4 养殖期间 3 种投喂模式下中华绒螯蟹幼蟹的特定增长率变化情况

Diet1 表示水花生组; Diet2 表示配合饲料组; Diet3 表示两者混合组。方柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 4 Variations of SGR of juvenile *Eriocheir sinensis* under the three feeding modes during the culture period. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$).

2.2 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹常规生化组成的影响

3 种投喂模式下中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺常规营养成分如表 3 所示, Diet1 组水分和粗蛋白含量均最高, Diet2 组均最低, 且各组间雌蟹不存在显著差异($P>0.05$), 而雄蟹存在显著差异($P<0.05$)。Diet2 和 Diet3 组雌雄幼蟹粗脂肪含量均显著高于 Diet1 组, 且 Diet2 组最高($P<0.05$)。在 Diet1 组雌

雄幼蟹灰分含量最高, 而 Diet2 组最低, 各组间存在显著差异($P<0.05$)。幼蟹躯体常规营养成分如表 4 所示, 在 Diet1 组雌雄幼蟹水分含量最高, 而 Diet2 组最低, 各组间存在显著差异($P<0.05$)。Diet2 和 Diet3 组雌雄幼蟹粗蛋白和粗脂肪含量均高于 Diet1 组, 且雌蟹粗脂肪含量在各组间存在显著差异($P<0.05$)。在 Diet1 组雌雄幼蟹灰分含量最高, 且各组间存在显著差异($P<0.05$)。

表 3 3 种投喂模式下幼蟹肝胰腺常规生化组成的比较

Tab. 3 Comparison of conventional nutrients of hepatopancreas in juvenile *Eriocheir sinensis* among three feeding modes
%; DW; $n=6$; $\bar{x}\pm SD$

项目 item	雌 female				雄 male			
	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 ether extract	灰分 ash	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 ether extract	灰分 ash
水花生 Diet1	51.25±7.51	15.72±1.37	63.80±4.79 ^a	3.27±0.36 ^b	65.58±9.96 ^b	39.15±5.09 ^b	50.94±12.28 ^a	5.03±1.06 ^b
配合饲料 Diet2	43.82±3.29	12.89±2.02	78.48±2.16 ^b	1.91±0.40 ^a	42.11±1.56 ^a	13.20±0.66 ^a	78.89±2.93 ^b	2.06±0.05 ^a
混合饲料 Diet3	44.06±3.81	15.60±0.79	74.68±3.17 ^b	2.02±0.03 ^a	44.75±2.04 ^a	15.81±0.89 ^a	73.45±2.62 ^b	2.37±0.02 ^a

注: 同行数据中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

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

表 4 3 种投喂模式下幼蟹躯体常规生化组成的比较

Tab. 4 Comparison of conventional nutrients of body in juvenile *Eriocheir sinensis* among three feeding modes
%; DW; $n=6$; $\bar{x}\pm SD$

项目 item	雌 female				雄 female			
	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 ether extract	灰分 ash	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 ether extract	灰分 ash
水花生 Diet1	73.83±2.29 ^b	53.76±0.54	3.37±0.16 ^a	30.88±0.29 ^b	73.45±3.03 ^b	54.16±3.01	3.94±0.57	27.98±1.14 ^b
配合饲料 Diet2	69.39±0.20 ^a	54.99±3.20	5.22±0.62 ^b	22.86±1.50 ^a	68.92±0.52 ^a	56.75±3.19	5.61±1.18	24.54±0.65 ^a
混合饲料 Diet3	69.79±0.26 ^a	56.30±3.27	5.57±0.60 ^b	23.05±0.46 ^a	69.99±0.39 ^{ab}	58.50±2.71	5.18±0.10	22.75±1.65 ^a

注: 同行数据中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

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

2.3 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺消化酶活性的影响

3 种投喂模式下中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺消化酶活性如图 5 所示, 在雌蟹肝胰腺中, Diet2 和 Diet3 组 α -AMS、LPS 和 pepsin 酶活力均高于 Diet1 组, 其中 Diet3 组 α -AMS 活力最高($P<0.05$), Diet2 组 LPS 和 pepsin 酶活力最高($P<0.05$), 而 Diet1 和 Diet2 组 CL 酶活力显著高于 Diet3 组($P<0.05$)。在雄蟹肝胰腺中, Diet3 组 α -AMS 显著高于 Diet1 和 Diet2 组($P<0.05$), 而 LPS 酶活力在 Diet2 组中最高($P<0.05$)。其中各处理间 pepsin 和 CL 酶活力

不存在显著差异($P>0.05$)。

2.4 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹抗氧化酶的影响

3 种投喂模式下幼蟹肝胰腺抗氧化酶活性如图 6 所示, 在雌蟹肝胰腺中, Diet2 组 T-AOC 能力显著高于 Diet1 和 Diet3 组($P<0.05$), 而 Diet1 组 CAT 酶活力和 MDA 含量均最高($P<0.05$), 其中 Diet2 组 MDA 含量最低($P<0.05$), 三组间 SOD 酶活力不存在显著差异。在雄蟹肝胰腺中, Diet3 组 SOD 酶活力和 T-AOC 能力均最高($P<0.05$), 而 CAT 酶活力在 Diet1 组最高($P>0.05$), 其中三组

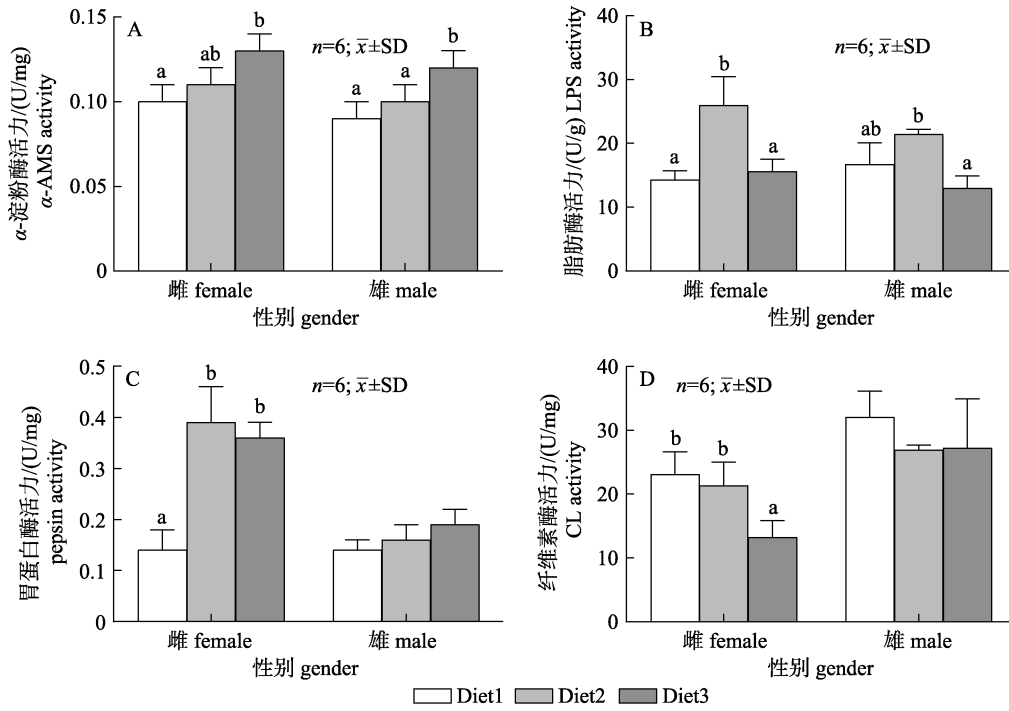


图 5 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺消化酶活性的影响

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组. 柱上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 5 Effects of three feeding modes on digestive enzyme activities of juvenile *Eriocheir sinensis* hepatopancreas. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$).

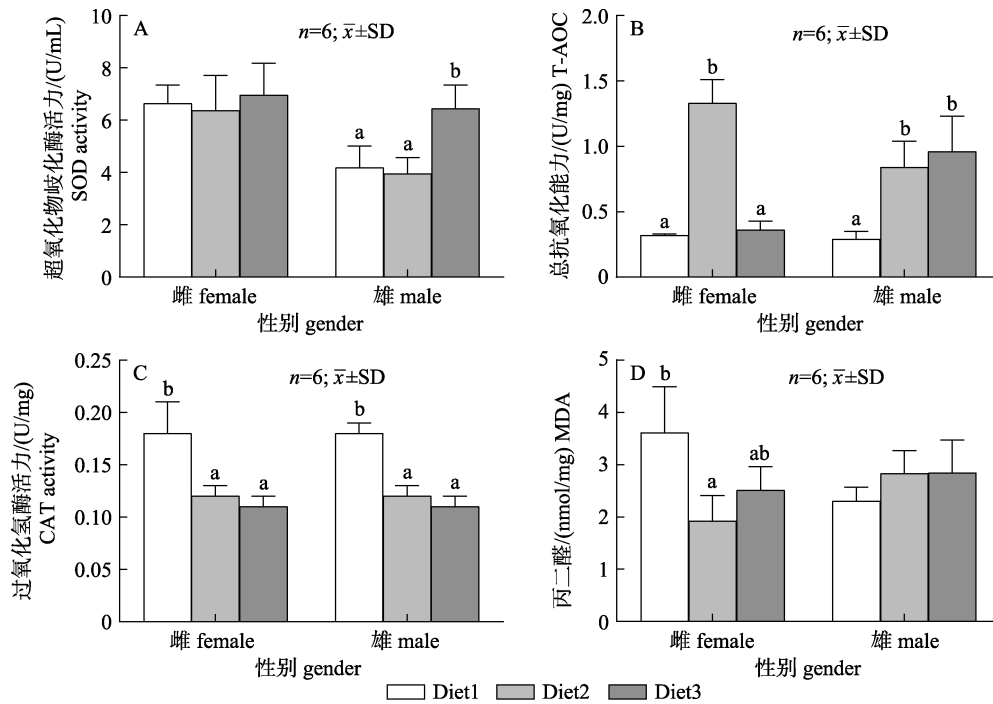


图 6 3 种投喂模式下对幼蟹肝胰腺抗氧化酶活性的影响

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组. 柱上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 6 Effects of three feeding modes on antioxidant enzyme activities of juvenile *Eriocheir sinensis* hepatopancreas. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$).

间 MDA 含量不存在显著差异。

3 种投喂模式下幼蟹血清抗氧化酶活性如图 7 所示, 在雌蟹血清中, Diet1 组 SOD 和 CAT 酶活力均高于 Diet2 和 Diet3 组, 其中 CAT 酶活力在三组间存在显著差异($P<0.05$), 而 Diet2 和 Diet3 组 T-AOC 能力和 MDA 含量均高于 Diet1 组, 其中 T-AOC 能力在三组间存在显著差异($P<0.05$)。在雄蟹血清中, Diet2 和 Diet3 组 T-AOC 能力和 MDA 含量均高于 Diet1 组, 其中在 Diet3 组中两个指标

均最高($P<0.05$), 而 SOD 和 CAT 酶活力在三组间不存在显著差异($P>0.05$)。

2.5 3 种投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹非特异性免疫酶的影响

3 种投喂模式下幼蟹非特异性免疫酶活性如图 8 所示, 在雌雄蟹血清中, Diet2 和 Diet3 组 ACP 和 ALP 酶活力均显著高于 Diet1 组($P<0.05$), 而在雌雄蟹肝胰腺中, 三组间 ACP 和 ALP 酶活力不存在显著差异($P>0.05$)。

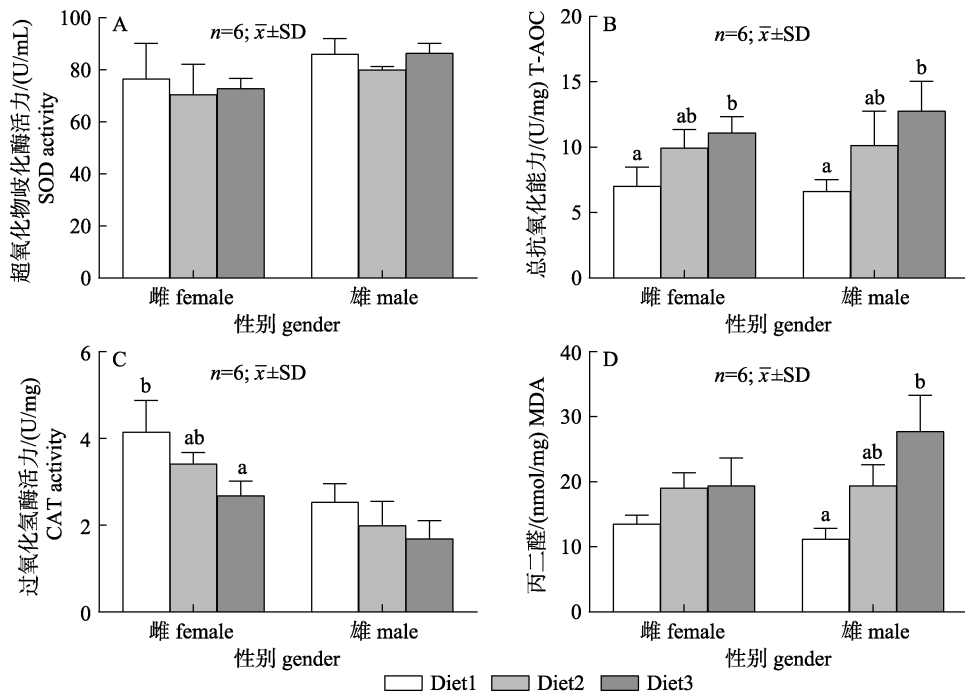


图 7 3 种投喂模式对幼蟹血清抗氧化酶活性的影响

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组. 方柱上不同字母表示差异显著($P<0.05$).

Fig. 7 Effects of three feeding modes on serum antioxidant enzyme activities of juvenile *Eriocheir sinensis*. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively. Different letters on the square bars represent significant differences ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹生长和生化组成的影响

中华绒螯蟹的生长受饵料和养殖环境等因素的影响^[21-22]。河蟹的生化组成与饵料的营养组成密切相关, 并且体成分也能间接反映饵料质量优劣情况^[23]。本研究表明, 投喂配合饲料模式下终末体重、增重率(6—11月)和特定增长率(6—11月)均最高, 水花生饵料模式幼蟹生长性能较差。且

投喂配合饲料的幼蟹肝胰腺中粗脂肪含量最高以及躯体中粗蛋白与粗脂肪含量最高, 这可能与配合饲料的高蛋白和高脂肪营养组成有关^[13]。本研究所用配合饲料营养均衡且具有高度适口性, 利于幼蟹生长发育, 而水花生作为植食性饵料含有较多抗营养因子, 被幼蟹过多摄入, 抑制幼蟹生长^[24-25], 故单独配合饲料喂养下幼蟹的上述指标均显著高于其他两种投喂模式。本实验中幼蟹的 WGR 和 SGR 整体上呈逐渐下降的趋势, 这与先前对于幼蟹报道的生长规律一致^[26-27]。肝胰腺是

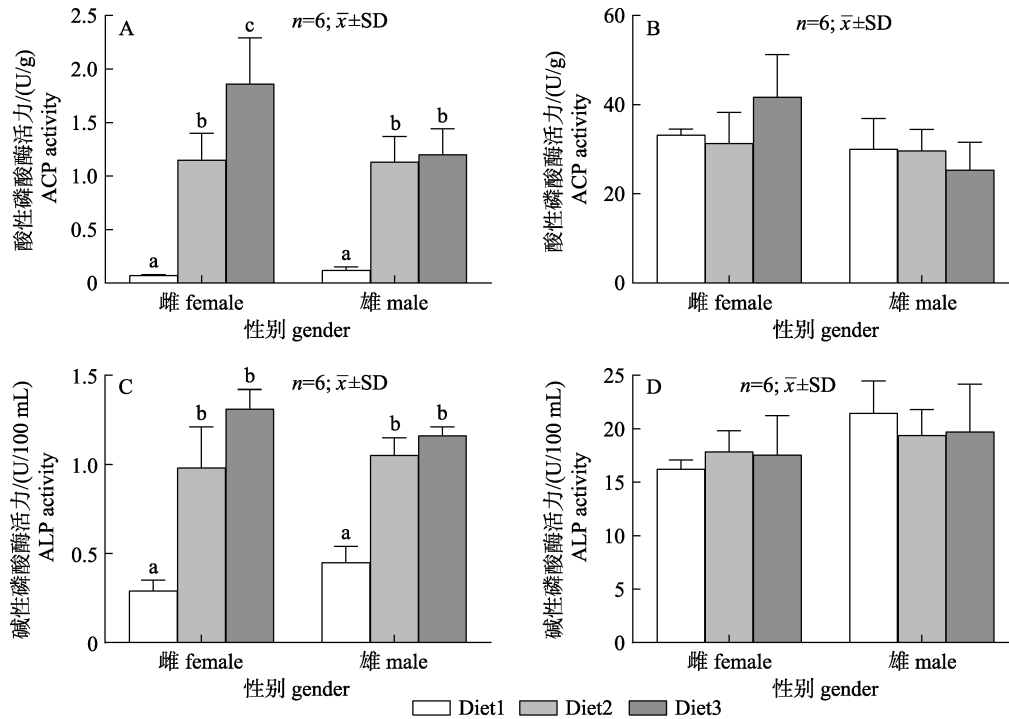


图 8 3 种投喂模式下对幼蟹非特异性免疫酶活性的影响

Diet1 表示水花生组, Diet2 表示配合饲料组, Diet3 表示两者混合组。

柱上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。图 A 与图 C 分别表示血清中酸性磷酸酶与碱性磷酸酶的活性, 图 B 与图 D 分别表示肝胰腺中酸性磷酸酶与碱性磷酸酶的活性。

Fig. 8 Effects of three feeding modes on non-specific immune enzyme activities of juvenile *Eriocheir sinensis*. Diet1, Diet2 and Diet3 represent the *Alternanthera philoxeroides* group, formulated diet group and mixed group, respectively.

Different letters on the square bars represent significant differences ($P < 0.05$). Fig. A and Fig. C show the activities of the acid phosphatase and the alkaline phosphatase in serum, respectively, and Fig. B and Fig. D show the activities of the acid phosphatase and the alkaline phosphatase in hepatopancreas, respectively.

甲壳动物重要的脂质代谢和营养存储器官, 其可为甲壳动物机体生长代谢提供能量来源^[28], 而 HIS 的大小在一定程度上反映了肝胰腺营养物质的累积情况^[29]。投喂配合饲料模式下幼蟹 HSI 最高, 说明配合饲料有利于幼蟹营养物质的积累。

3.2 投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹消化能力的影响

甲壳动物的饵料组成是影响消化酶活性的重要因素^[30]。消化酶活性的高低既可用于评价甲壳动物的饵料的优劣, 又可直接反映动物机体对营养物质消化和代谢能力^[31]。研究表明, 投喂配合饲料模式雌、雄蟹肝胰腺的 a-AMS、LPS 和 pepsin 活力均高于水花生饵料模式, 因此, 营养组成合理的配合饲料喂养的幼蟹消化和代谢能力强。但水花生饵料模式雌、雄蟹纤维素酶均高于其余两组, 主要是因为水花生富含纤维素属于植物性饵料, 故投喂水花生有利于纤维素酶 CL 活

性的提高^[23]。因此, 消化酶的活性与食物组成有关, 在幼蟹池塘养殖过程中, 植物性饲料和动物性饵料的合理搭配至关重要, 需要适当增加纤维素以维持幼蟹正常的消化功能。

3.3 投喂模式对中华绒螯蟹幼蟹抗氧化和免疫能力的影响

SOD 和 CAT 是甲壳动物的重要抗氧化酶^[32-33], SOD 清除氧自由基生成过氧化氢, 而 CAT 催化过氧化氢生成水和氧气, 在 SOD 和 CAT 酶清除能力不足时, 细胞脂质氧化则产生 MDA, 对细胞具有毒性作用, 含量越高损害越大^[34-35]。此外, T-AOC 是衡量机体抗氧化系统功能状态的综合指标^[36]。在雌蟹肝胰腺中, 配合饲料模式下 SOD 和 CAT 酶活力值较低, T-AOC 活力值最高且 MDA 含量最低, 而在雌蟹血清中, 配合饲料和混合饲料模式除 MDA 无明显差异外, 其他指标表现

出相似的规律,这说明存在配合饲料的投喂下可以提高雌蟹抗氧化能力^[37]。在雄蟹肝胰腺中,MDA 含量无明显差异,这说明 3 种模式下对肝胰腺损害程度相似,在雄蟹血清中,水花生饵料模式下 SOD 和 CAT 酶活力值最高,MDA 含量最低,SOD 和 CAT 活力值最高,帮助机体清除过多有害物质,而 MDA 含量最低,表明将机体的受损程度降至最低,揭示投喂水花生可能有助于改善雄蟹抗氧化系统的功能。但不同组织中配合饲料和混合饲料模式下 T-AOC 活力值显著高于水花生饲料模式,表明只要存在配合饲料投喂即可提高幼蟹的总抗氧化能力^[11]。

甲壳动物的免疫防御系统中存在 ACP 和 ALP 两种重要的非特异性磷酸水解酶^[38],发挥催化磷酸酯的水解和磷酸基团的转移反应作用^[39]。本研究发现,配合饲料和混合饲料模式下在雌雄幼蟹血清中 ACP 和 ALP 两种酶的活性显著高于水花生饲料模式,但雌雄幼蟹肝胰腺中 ACP 和 ALP 的活性与水花生饲料组之间不存在显著差异,这表明投喂配合饲料能够提高幼蟹的免疫性能。有研究表明体液免疫主要依赖于血淋巴中的酶(SOD、ACP 和 ALP)、免疫因子和调节因子^[40],而本研究结果显示血清中的免疫酶对配合饲料应答作用更明显。

综上所述,中华绒螯蟹池塘养殖模式下,对比 3 种投喂模式对幼蟹的影响发现,在水花生:配合饲料=1:1 比例下,种植适当水花生的基础上投喂配合饲料有利于幼蟹生长、消化和脂肪积累,以及增强幼蟹抗氧化和免疫能力,而更加合适的比例仍需开展大量研究实验。本研究可为配合饲料投喂模式的推广以及将水花生作为植食性饵料添加到中华绒螯蟹幼蟹配合饲料中的开发提供科学参考与理论基础。

参考文献:

- [1] Sui L Y, Zhang F M, Wang X M, et al. Genetic diversity and population structure of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in its native range[J]. Marine Biology, 2009, 156(8): 1573-1583.
- [2] Chen D W, Zhang M. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2006, 14(3): 297-303.
- [3] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2020 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 24. [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. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 24.]
- [4] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological Culture of Chinese Mitten Crab Aquaculture[M]. 2nd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 59-84. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹的生态养殖[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59-84.]
- [5] Yang Z G, Liu Q B, Yao Q Q, et al. Effects of different stocking densities and diets on growth and survival of *Eriocheir sinensis* in larval stages[J]. Journal of Biology, 2015, 32(6): 34-39. [杨志刚, 刘启彬, 姚琴琴, 等. 养殖密度和饵料组成对河蟹仔蟹生长和存活的影响[J]. 生物学杂志, 2015, 32(6): 34-39.]
- [6] Fu L L, Li Y H, Lu Q P, et al. Comparative analysis of several breeding modes of 1-year crab[J]. Journal of Aquaculture, 2014, 35(12): 39-42. [付龙龙, 李跃华, 陆全平, 等. 1 龄蟹种培育几种模式对比分析[J]. 水产养殖, 2014, 35(12): 39-42.]
- [7] Zhuang K J, Wu N, Wang X C, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(4): S968-S981.
- [8] 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. [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.]
- [9] 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. [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.]
- [10] Wu X G, Cheng Y X, Zeng C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) females fed an optimized formulated diet and the razor clam *Simonovacula costriata*[J]. Aquaculture Research, 2009, 40(12): 1335-1349.
- [11] Jiang X D, Wu X G, Zhang J B, et al. Effects of three feed-

- ing modes on early culture performance, non-specific immunity and disease resistance of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(1): 85-96. [姜晓东, 吴旭干, 张金彪, 等. 三种饵料模式对中华绒螯蟹种早期养殖性能、非特异免疫性能及抗病力的影响[J]. 动物学杂志, 2017, 52(1): 85-96.]
- [12] Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. Effects of dietary phospholipids and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival, growth and hepatic lipid composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 457-468.
- [13] 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. [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.]
- [14] Long X W, Sun Y F, Wade N M, et al. Key metabolic and enzymatic adaptations underlie the benefits of formulated diets in the adult female Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(12): 5125-5140.
- [15] Liu Q H, Huang S, Yue W C, et al. Effects of *Elodea nuttallii* on growth and nutritional quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 91-99. [刘庆华, 黄姝, 岳武成, 等. 伊乐藻对中华绒螯蟹生长和营养品质的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 91-99.]
- [16] Cheng Y X, Wu X G, Li J Y. Chinese mitten crab culture: Current status and recent progress towards sustainable development[M]//Aquaculture in China. Chichester: John Wiley & Sons, 2018: 197-217.
- [17] 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.
- [18] Association of Official Analytical Chemists International. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International[M]. 16th Edition. Arlington: Association of Official Analytical Chemists International, 1995: 1298.
- [19] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [20] 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. [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.]
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Yang X, Ye J Y, Zhang Y X, et al. Effects of fish meal replacement by common cottonseed meal and fermented cottonseed meal on growth performance, body composition and hepatopancreas digestive enzyme activities of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(3): 683-693. [杨霞, 叶金云, 张易祥, 等. 普通棉籽粕和发酵棉籽粕替代鱼粉对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、体成分及肝胰腺消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 683-693.]
- [24] Chen L Q, Li E C. Current situation and development on nutrition requirement of *Eriocheir sinensis*[J]. Feed Industry, 2009, 30(10): 1-6. [陈立侨, 李二超. 中华绒螯蟹营养需求的研究现状和进展[J]. 饲料工业, 2009, 30(10): 1-6.]
- [25] Mai K S. Nutrition and Forage Science of Aquatic Animals[M]. 2nd Ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 214-234. [麦康森. 水产动物营养与饲料学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 214-234.]
- [26] He J, Wu X G, Long X W, et al. Culture performance and gonadal development of the first generation of selectively-bred Chinese mitten crabs from wild and cultured populations[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 808-818. [何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 长江水系中华绒螯蟹野生和养殖群体选育子一代养殖性能和性腺发育的比较[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 808-818.]
- [27] Wang H N, Jiang X D, Wu X G, et al. Evaluation of culture and immunity performance of the second-year-old early-maturing and late-maturing strains of the fourth selective generation during the juvenile culture of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(5): 816-826. [王海宁, 姜晓东, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系选育第四代在扣蟹阶段养殖性能和免疫性能的评价[J]. 水产学报, 2020, 44(5): 816-826.]

- [28] Cheng Y X, Du N S, Lai W. Lipid composition in hepatopancreas of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* at different stages[J]. Acta Zoologica Sinica, 1998, 44(4): 420-429. [成永旭, 堵南山, 赖伟. 不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J]. 动物学报, 1998, 44(4): 420-429.]
- [29] Wu X G, Chang G Y, 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.
- [30] Wang J Y, Yang Z G, Wei B H, et al. Effects of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity, and fatty acid composition in juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1213-1222. [王健懿, 杨志刚, 魏帮鸿, 等. 不同脂肪源饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力和脂肪酸组成的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1213-1222.]
- [31] Li Q. Dietary protein and phosphorus requirement of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. [李强. 克氏原螯虾对饲料中蛋白质与磷适宜需求量的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.]
- [32] 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. [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.]
- [33] Ahmad I, Babitha Rani A M, 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.
- [34] 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.
- [35] Kong C, Hua X M, Yang L, et al. Nutritional physiological effects of soybean meal substituting for fish meal in the feed of obscure puffer (*Takifugu fasciatus*) and its relationship with soybean antigenic proteins[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(5): 734-745. [孔纯, 华雪铭, 杨璐, 等. 暗纹东方鲀饲料中豆粕替代鱼粉的营养生理效应及其与大豆抗原蛋白的相关性[J]. 水产学报, 2017, 41(5): 734-745.]
- [36] 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.
- [37] Li J H, Li J Y, Li W, et al. Juvenile *Procambarus clarkii* farmed using biofloc technology or commercial feed in zero-water exchange indoor tanks: A comparison of growth performance, enzyme activity and proximate composition[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(7): 1834-1843.
- [38] 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.
- [39] Xue Q G, Renault 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.
- [40] 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 diet on growth, digestive enzymes, antioxidant enzymes, and immune enzymes of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

HAN Wenfeng¹, SUN Yunfei¹, LIU Jian¹, LU Zhenzhen¹, XIAO Changlun¹, ZHANG Yawen¹, CHENG Fangzhou¹, CHENG Yongxu^{1,2,3}

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: In this study, we aimed to evaluate the effects of different diets on the growth and physiological and biochemical characteristics of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) during the pond culture process. To do so, we conducted experiments to compare the growth performance and the activities of digestive enzymes, antioxidant enzymes, and immune enzymes of Chinese mitten crabs fed a diet consisting of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*, Diet1), a formulated diet (Diet2), and a mixed diet (Diet3). Three replicates were used for each treatment, with an experimental period of 120 d. The results indicate that: (1) At the end of the experiment, the terminal mass, weight gain rate, specific growth rate, and hepatopancreatic index of juvenile Chinese mitten crabs were significantly higher in crabs fed Diet2 than those in crabs fed Diet1 or Diet3. (2) The hepatopancreas and body crude fat content of juvenile Chinese mitten crabs were significantly higher for crabs fed Diet2 and Diet3 than that for crabs fed Diet1, whereas ash content showed an opposite trend. (3) Hepatopancreas α -amylase activity was the highest in crabs fed Diet3 ($P<0.05$), whereas lipase activity was the highest in crabs fed Diet2 ($P<0.05$). (4) Serum catalase activity was highest in crabs fed Diet1, whereas the total antioxidant capacity and malondialdehyde contents were significantly higher in crabs fed Diet2 and Diet3 than those in crabs fed Diet1. (5) Hepatopancreas serum catalase enzyme activity was the highest in juvenile Chinese mitten crabs fed Diet1, and superoxide dismutase activity and the total antioxidant capacity were highest in female crabs fed Diet2 ($P<0.05$). The total antioxidant capacity was highest in male crabs fed Diet3 ($P<0.05$). (6) The activity of acid phosphatase and alkaline phosphatase in the serum of juvenile Chinese mitten crabs was significantly higher in crabs fed Diet2 and Diet3 than that in crabs fed Diet1, whereas there was no significant difference in the activity of acid phosphatase and alkaline phosphatase in the hepatopancreas of male and female crabs in the three treatments ($P>0.05$). Therefore, our results indicate that, under the pond culture model of Chinese mitten crabs, feeding crabs a formulated diet based on alligator weed is beneficial for the growth, digestion, and fat accumulation of Chinese mitten crabs, and this diet enhances the antioxidant and immune capabilities of juvenile crabs. We believe the results of our study provide a scientific reference and theoretical basis for the development of a formulated diet for juvenile Chinese mitten crabs based on the addition of alligator weed.

Key words: *Eriocheir sinensis*; juvenile; diet; biochemical composition; digestive enzymes; antioxidant; non-specific immunity

Corresponding author: CHENG Yongxu, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn; SUN Yunfei, E-mail: yfsun@shou.edu.cn