

DOI: 10.12264/JFSC2023-0357

饲料中添加南极磷虾粉对中华绒螯蟹繁殖性能及胚胎质量的影响

黄晓荣^{1,2}, 谈如¹, 张涛^{1,2}, 冯广朋^{1,2}, 耿智^{1,2}, 赵峰^{1,2}, 杨刚^{1,2}, 庄平^{1,2}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 上海长江口渔业资源增殖和生态修复工程技术研究中心, 上海 200090

摘要: 为探讨饲料中添加南极磷虾粉对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)亲蟹的营养强化作用, 通过 60 d 的饲养实验, 评估了南极磷虾粉对中华绒螯蟹繁殖性能及胚胎质量的影响, 分别在饲料中添加 0%、10%和 20%南极磷虾粉作为 3 个实验组, 并以投喂缢蛏作为对照组, 每组设 3 个平行。分析各组雌蟹肝胰腺重量(HW)、性腺重量(GW)、肝胰腺指数(HSI)和性腺指数(GSI)的变化特征。营养强化结束后开展了亲蟹的繁殖实验研究, 每组设 3 个重复, 每缸中放 5 只雄蟹和 10 只雌蟹, 比较各组中雌蟹的产卵量、生殖力和生殖指数等繁殖性能, 分析胚胎卵径、重量、生化成分及脂肪酸组成。结果表明: (1) 营养强化后, 各饵料组中雌蟹的肝胰腺重量和肝胰腺指数均显著低于强化前($P<0.05$), 性腺重量和性腺指数均显著高于强化前($P<0.05$), 其中以 20%组最高。(2) 雌蟹的产卵量和生殖力均以 20%组中最高, 但各组间生殖指数无显著差异($P>0.05$)。 (3) 各实验组胚胎卵径、卵重、水分、粗蛋白、总蛋白和粗脂肪均不存在显著差异, 20%组中磷脂(PL)含量最高, 且与其他各组均有显著差异($P<0.05$); 10%组中甘油三酯(TG)含量最高, 平均为 (1449.73 ± 101.38) $\mu\text{g/g}$, 且显著高于其他各组($P<0.05$)。0%组 and 对照组胚胎中胆固醇含量(CHOL)均显著高于 10%组和 20%组($P<0.05$)。 (4) 0%组中 C20: 2 和 C20: 4n6 含量最高, 且显著高于 10%组($P<0.05$), 但 SFA、MUFA 和 PUFA 各组间均无显著差异($P>0.05$)。结果表明, 饲料中添加 10%~20%南极磷虾粉能促进中华绒螯蟹雌蟹的性腺发育, 其中 20%南极磷虾粉能显著提高繁殖性能和改善胚胎质量。

关键词: 南极磷虾粉; 中华绒螯蟹; 性腺指数; 产卵量; 生化成分; 脂肪酸

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)06-0652-10

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)广泛分布于我国沿海及通海的水域中, 是我国重要的经济蟹类^[1]。每年 10 月中下旬, 中华绒螯蟹离开江河、湖泊向河口浅海进行生殖洄游, 亲蟹在 11 月上旬洄游到河口咸淡水区交配产卵, 形成长江口中华绒螯蟹最优质的产卵场, 翌年春季大眼幼体溯河而上, 在淡水中继续生长^[2-3]。中华绒螯蟹冬蟹曾是长江口著名的“五大渔汛”之一, 年产量高达近百吨。然而, 自 20 世纪 80 年代以来, 一方面长江沿岸工程建设对其洄游产生了不利影响, 水环境恶化也日趋严重; 另一方面对资源长期过度利用, 导致

中华绒螯蟹自然资源急剧下降, 已不能形成苗汛^[4]。2004 年起, 在相关单位和各类科研项目的支持下, 围绕长江口中华绒螯蟹资源恢复开展了亲蟹增殖放流、效果评估、调查监测等系列工作, 建立了增殖放流技术体系, 取得了良好效果^[5]。研究表明, 中华绒螯蟹放流群体肝胰腺、总脂含量及能量物质均低于自然群体, 因此如果要提高放流亲体的成活率, 增强增殖放流效果, 可以在放流前对中华绒螯蟹亲体进行强化营养^[6]。

南极磷虾粉是一种来源于南极磷虾(*Antarctic krill*)的优质蛋白源, 富含不饱和脂肪酸、磷脂和

收稿日期: 2024-01-02; 修订日期: 2024-04-12.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF0608204); 上海市中华绒螯蟹现代农业产业技术体系项目(沪农科产字 2017-4 号); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2020TD13); 国家科技资源共享服务平台项目。

作者简介: 黄晓荣(1978-), 副研究员, 从事鱼类种质资源保护与繁育生物学研究. E-mail: hxr828@126.com

通信作者: 庄平, 研究员, 主要从事长江口渔业资源养护与保护利用研究. E-mail: pzhuang@ecsfa.ac.cn

虾青素,具有较高的营养价值,能够促进鱼类生长并显著提高鱼类的繁殖性能^[7-8]。南极磷虾粉作为一种饲料添加成分已应用于凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[9-11]、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)^[12]、圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)幼鱼^[13]和大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[14]等水生生物研究中,并取得了较好的效果。迄今为止,饲料中添加南极磷虾粉在中华绒螯蟹亲蟹的营养强化研究中尚未见报道。

本实验设计了 3 组添加不同比例南极磷虾粉的人工配合饲料,并以投喂新鲜缢蛏(*Sinonovacula constricta*)作为对照组,对中华绒螯蟹亲蟹进行 60 d 的营养强化,开展了营养强化后中华绒螯蟹的繁育特性及胚胎质量研究。研究结果有助于确立中华绒螯蟹适宜的营养强化方法,为中华绒螯蟹人工养殖及亲本的增殖放流提供理论依据和科学支撑。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

中华绒螯蟹常规基础饲料来自江苏常州大江饲料有限公司。在中华绒螯蟹常规饲料的基础上添加 0%、10%和 20%的南极磷虾粉作为 3 个实验组,投喂缢蛏作为对照组。所有原料粉碎后过 40 目筛,采用逐级放大的方法混匀后加水搅拌,在饲料制作过程中,各原料按配比定量混匀后,用 2%的明胶做黏合剂,进制粒机压制成规格为 3.0 mm×5.0 mm 的颗粒饲料,烘干后,储存于阴凉避光处保存备用。各饲料组的配方及成分如表 1 所示。

各实验组饵料的营养成分和主要脂肪酸含量见表 2。对照组中水分含量最高,达到 87.10%。3 种人工配合饲料中的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、灰分和总磷含量均高于对照组。就脂肪酸含量而言,3 种人工配合饲料中的 C18:2n6、C20:4n3、C20:5n3、C22:6n3 和高不饱和脂肪酸(HUFA)均高于对照组,其中,添加 20%南极磷虾粉饲料中 C18:3n3、C20:3n3、C20:3n6、C20:4n3、C 20:5n3、C 22:6n3 和 HUFA 含量均最高。

表 1 各实验组饲料配方和组成
Tab. 1 Formulation and composition of experimental diets %

成分 ingredients	饵料组 diet group		
	0%	10%	20%
南极磷虾粉 antarctic krill meal	—	10.0	20.0
鱼粉 fish meal	40.0	40.0	40.0
豆粕 soybean meal	18.0	18.0	18.0
酪蛋白 casein	8.2	5.5	3.8
高筋粉 wheat gluten meal	23.25	15.65	7.15
矿物质预混料 mineral premix	1.0	1.0	1.0
维生素预混料 vitamin premix	0.5	0.5	0.5
鱼油 fish oil	6.0	6.0	6.0
氯化胆碱 choline chlorid	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.5	0.5	0.5
肌醇 inositol	0.5	0.5	0.5
胆固醇 cholesterol	0.4	0.4	0.4
维生素 C vitamin C	0.65	0.65	0.65
虾青素 astaxanthin	0.5	0.8	1.0

注: 矿物质预混料(mg/kg 或者 g/kg 饲料): 磷酸二氢钙, 10 g; 硫酸镁, 2.4 g; 氯化钾, 4.5 g; 氯化钠, 2.1 g; 硫酸亚铁, 155 mg; 硫酸铜, 40 mg; 硫酸锌, 80 mg; 硫酸锰, 30 mg; 碘化钾, 11.7 mg; 二氯化钴, 4.8 mg; 亚硒酸钠, 2.4mg. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 32; 维生素 E, 200; 维生素 D3, 0.05; 维生素 B1, 30; 维生素 B2, 30; 维生素 B6, 20; 维生素 B12, 0.1; 烟酸, 200; 叶酸, 15; 生物素, 3; 泛酸钙, 100.

Note: Mineral premix: 1 kg of diet contained Ca(H₂PO₄)₂,10 g; MgSO₄·7H₂O, 2.4 g; KCl, 4.5g; NaCl, 2.1 g; FeSO₄·H₂O, 155 mg; CuSO₄·5H₂O 40 mg; ZnSO₄·H₂O 80 mg; MnSO₄·H₂O 30 mg; KI, 11.7 mg; CoCl₂·6H₂O 4.8 mg; Na₂SeO₃, 2.4 mg. Vitamin premix (mg/kg diet): vitamin A, 32; vitamin E, 200; vitamin D3, 0.05; vitamin B1, 30; vitamin B2, 30; vitamin B6, 20; vitamin B12, 0.1; nicotinic acid, 200; folic acid, 15; biotin, 3; calcium pantothenate, 100.

表 2 各实验组饵料的营养成分
Tab. 2 Nutrient composition and fatty acid content of each diet

项目 item	饵料组 diet group			
	0%	10%	20%	对照 control
粗蛋白/% crude protein	37.70	42.89	42.20	7.05
粗脂肪/% crude lipid	5.40	6.20	6.80	0.30
粗纤维/% crude fibre	5.40	5.20	5.20	0.90
灰分/% ash	11.1	11.30	11.50	1.40
总磷/(μg/g) total phosphorus	1.48×10 ⁴	1.94×10 ⁴	2.01×10 ⁴	1.04×10 ³
水分/% moisture	10.3	6.74	6.84	87.10
C18:2n6/%	5.62	4.37	3.45	0.49
C 18:3n3/%	1.65	1.36	1.82	1.48
C20:3n3/%	0.45	0.64	0.78	0.36
C 20:3n6/%	0.06	0.13	0.24	0.04
C 20:4n3 (ARA)/%	2.28	5.04	6.17	1.54
C 20:5n3 (EPA)/%	6.82	8.56	9.43	4.37
C 22:6n3 (DHA)/%	9.21	12.83	14.16	3.86
Total HUFA/%	18.31	26.43	29.76	9.77

注: Total HUFA=ARA+EPA+DHA.

Note: Total HUFA-ARA+EPA+DHA.

1.2 实验动物与暂养方法

实验所用中华绒螯蟹亲蟹来源于江苏省高邮湖养殖场,挑选四肢健全、活力好的亲蟹,运至中国水产科学研究院东海水产研究所实验室。雌雄蟹平均体质量分别为 (145.38 ± 8.01) g 和 (102.57 ± 9.73) g。雌雄蟹分别暂养于两个玻璃钢水槽中,暂养 1 周后进行正式实验。

1.3 实验方法

设置 3 个实验组(0%、10%和 20%)和 1 个对照组(缢蛏),每组 3 个平行,每个平行组饲养 10 只中华绒螯蟹,水槽直径 1.8 m,高 0.8 m,保持水深 30 cm。每天每缸中按照 3%~5%体重分别投喂配制的不同饵料,投喂时间 60 d,及时清除残饵和死亡个体。实验期间保持自然光照和自然水温,平均水温为 (14.5 ± 3.5) °C,24 h 不间断充氧。强化结束后,分别统计各组中 5 只雌蟹的肝胰腺重量(hepatopancreatic weight, HW)、肝胰腺指数(hepatopancreatic index, HSI)、性腺重量(gonadal weight, GW)和性腺指数(gonadal index, GSI)。同时,从 4 个处理组中分别挑选 5 只雄蟹和 10 只雌蟹放入单独的水槽中开展亲本繁殖研究,每个处理设置 3 个平行组。根据前期研究结果,设置水体盐度为 18,每天用盐度计测量各水槽中水体的盐度并进行校准,使水体盐度控制在 ± 0.2 的误差范围内。实验期间保持自然光照和自然水温,24 h 不间断充氧。

1.4 亲本繁殖特性研究

每天观察记录各组中亲蟹产卵情况,待雌蟹产卵 1 周后,用镊子取出腹部所有卵块,用精密电子天平准确称量卵的总重量和去除卵块后的雌蟹体重,精确称取 0.1 g 卵块计算胚胎的数量。肝胰腺指数、性腺指数、亲蟹的产卵量、生殖力和生殖指数均参考吴旭干等^[15]方法进行统计。

1.5 胚胎质量评价

亲蟹产卵后,分别从各组产卵蟹腹部随机挑选 30~50 粒胚胎,放置于 Olympus 显微镜下观察摄像,经镜检确定胚胎均处于受精卵期。采用 Image-Pro-Plus 5.1 软件测量胚胎直径,结果取平均值。选取 2~3 mg 清洗干净的胚胎装入干燥皿中,用精密电子天平准确称重,将称重后的胚胎和干

燥皿一起放入 70 °C 烘箱中烘干 24 h,在干燥皿中冷却 20 min 后精确称重。再将烘干的胚胎转移到培养皿中,精确统计胚胎数量,计算单个胚胎干重和湿重,具体计算方法参考石今朝等^[16]。

各处理组胚胎中粗蛋白采用凯氏定氮法,总脂肪采用酸水解法,灰分含量采用 550 °C 下灼烧至恒重测定,水分含量采用冷冻干燥法测定,胆固醇、甘油三酯和磷脂采用酶联免疫试剂盒法,脂肪酸检测采用气相色谱法,脂肪酸的定量分析采用面积百分比法。

1.6 数据分析

实验数据均采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,运用 SPSS 22 软件进行统计分析,通过单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 多重比较进行显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 营养强化前后雌蟹的肝胰腺和性腺变化特征

经过 60 d 的营养强化后,各处理组中雌蟹的肝胰腺重量和性腺重量如图 1 所示。由图可知,营养强化前,雌蟹肝胰腺重量为 (7.79 ± 1.03) g,营养强化后,各饵料组雌蟹肝胰腺重量均显著低于强化前($P < 0.05$),其中以 0%组最低,但相互间无显著差异($P > 0.05$)。营养强化前,雌蟹性腺重量为 (5.51 ± 1.87) g,强化结束后,各饵料组雌蟹性腺重量均显

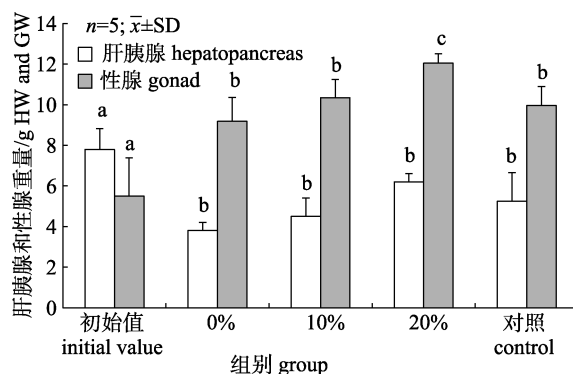


图 1 营养强化前后各组中雌性中华绒螯蟹的肝胰腺重量和性腺重量

不同字母代表各组间存在显著差异($P < 0.05$)。

Fig. 1 Weight of hepatopancreas and gonad of female *Eriocheir sinensis* before and after nutritional enforcement
Different letters represent significant differences among groups ($P < 0.05$).

著高于强化前, 且以 20%组最高, 平均为 (12.04 ± 0.47) g, 且与其他各组均有显著差异($P < 0.05$)。

营养强化前后各饵料组中雌蟹肝胰腺指数和性腺指数变化如图 2 所示。营养强化前, 雌蟹的肝胰腺指数和性腺指数分别为 $(8.71 \pm 0.84)\%$ 和 $(6.18 \pm 2.19)\%$, 强化结束后, 各饵料组雌蟹的肝胰腺指数均显著下降($P < 0.05$), 但各组间无显著差异($P > 0.05$)。相反地, 营养强化后各饵料组中雌蟹的性腺指数均显著增加($P < 0.05$), 且以 20%组中雌蟹的性腺指数达到最高, 平均为 $(14.84 \pm 1.38)\%$, 显著高于其他各组($P < 0.05$)。

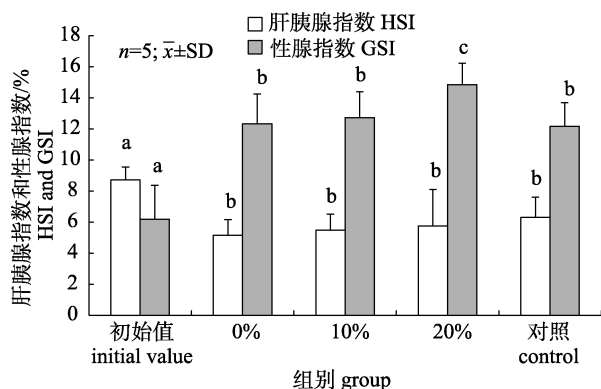


图 2 营养强化前后各组中雌性中华绒螯蟹的肝胰腺指数和性腺指数

不同字母代表各组间存在显著差异($P < 0.05$)。

Fig. 2 HSI and GSI of female *Eriocheir sinensis* before and after nutritional enforcement
Different letters represent significant differences among groups ($P < 0.05$).

2.2 不同饵料强化后雌蟹的繁殖特性

投喂不添加南极磷虾粉的饵料进行营养强化后, 亲蟹的产卵量最少, 平均为 $(28.17 \pm 4.65) \times 10^4$ 粒/只(图 3)。20%组中亲蟹的产卵量最高, 平均为 $(39.78 \pm 2.16) \times 10^4$ 粒/只, 且显著高于其他各组($P < 0.05$)。10%组和对照组中产卵量较为接近, 且相互间无显著差异($P > 0.05$)。

不同饵料进行营养强化后亲蟹生殖力特征见图 4。由图可知, 20%组中雌蟹生殖力最高, 对照组次之, 但相互间无显著差异($P > 0.05$)。0%组中亲蟹的生殖力最低, 平均为 (3503.37 ± 287.61) 粒/克, 但与 10%组无显著性差异($P > 0.05$)。0%组和 10%组亲蟹的生殖力均显著低于 20%组和对照组($P < 0.05$)。

不同饵料对亲蟹进行营养强化后, 雌蟹的生殖指数变化见图 5。10%组和 20%组中雌蟹的生殖

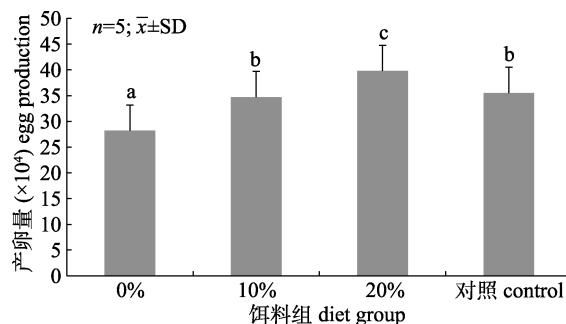


图 3 不同处理对中华绒螯蟹雌蟹产卵量的影响

不同小写字母代表不同饵料组间有显著性差异($P < 0.05$)。

Fig. 3 Effects of different diets on egg production of female *Eriocheir sinensis*
Different lowercase letters represent significant difference in egg production of female crabs ($P < 0.05$).

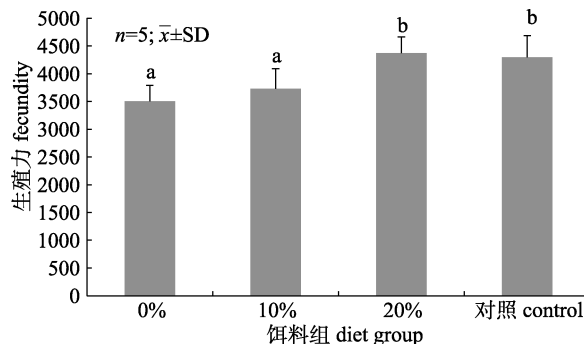


图 4 不同饵料对中华绒螯蟹雌蟹生殖力的影响

不同小写字母代表不同饵料组间有显著性差异($P < 0.05$)。

Fig. 4 Effects of different diets on fecundity of female *Eriocheir sinensis*

Different lowercase letters represent significant difference in fecundity of female crabs ($P < 0.05$).

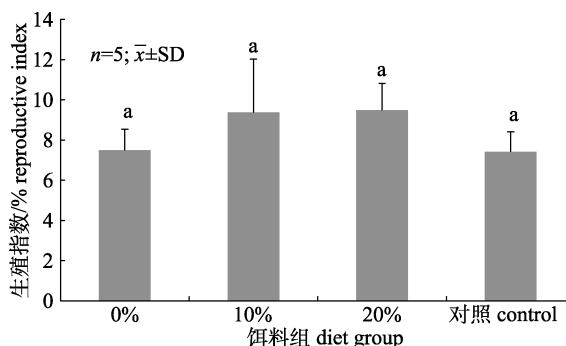


图 5 不同饵料对中华绒螯蟹雌蟹生殖指数的影响

不同小写字母代表不同饵料组有显著性差异($P < 0.05$)。

Fig. 5 Effects of different diets on reproductive index of female *Eriocheir sinensis*
Different lowercase letters represent significant difference in reproductive index of female crabs ($P < 0.05$).

殖指数均高于 0%组和对照组,但 4 个处理组间均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 不同饵料强化后胚胎卵径和单卵质量

不同饵料强化后亲蟹所产胚胎卵径和重量见

表 3。各处理组胚胎卵径集中在 357~362 μm , 相互间无显著差异($P>0.05$)。卵湿重和干重均以 20%组中最高,分别为(47.92 $\pm$ 8.01) μg 和(11.68 $\pm$ 1.08) μg ,但与其他各组间都无显著性差异($P>0.05$)。

表 3 不同饵料组中华绒螯蟹雌蟹胚胎卵径和单卵质量的比较

Tab. 3 Comparison of egg diameter and egg weight of female *Eriocheir sinensis* fed with different diets

项目 items	饵料组 diet group			
	0%	10%	20%	对照 control
卵径/ μm egg diameter	357.34 $\pm$ 9.30	360.81 $\pm$ 11.91	362.75 $\pm$ 8.35	362.13 $\pm$ 9.22
卵湿重/ μg egg wet weight	42.83 $\pm$ 6.17	46.39 $\pm$ 5.10	47.92 $\pm$ 8.01	43.44 $\pm$ 2.11
卵干重/ μg egg dry weight	11.33 $\pm$ 1.28	11.65 $\pm$ 1.11	11.68 $\pm$ 1.08	11.59 $\pm$ 1.46

2.4 不同饵料强化后胚胎生化组成

不同饵料强化后亲蟹所产胚胎生化成分见表 4。从表可知,各组胚胎中水分、粗蛋白、总蛋白和粗脂肪相互间都无显著性差异($P>0.05$)。20%组中磷脂含量最高,平均为(1451.41 $\pm$ 80.45) $\mu\text{g/g}$,

且显著高于其他各组($P<0.05$)。10%组胚胎中甘油三酯含量最高,平均为(1449.73 $\pm$ 101.38) $\mu\text{g/g}$,且显著高于其他各组($P<0.05$)。20%组胚胎中胆固醇含量与对照组中较为接近,且均显著高于 0%组和 10%组($P<0.05$)。

表 4 不同饵料组中华绒螯蟹胚胎生化组成

Tab. 4 Biochemical composition in embryos of female *Eriocheir sinensis* fed with different diets

项目 items	饵料组 diet group			
	0%	10%	20%	对照 control
水分/% moisture	65.17 $\pm$ 2.10	67.23 $\pm$ 1.31	67.18 $\pm$ 2.37	67.18 $\pm$ 2.24
粗蛋白/% crude protein	17.23 $\pm$ 0.38	18.07 $\pm$ 0.25	18.12 $\pm$ 0.50	18.22 $\pm$ 0.81
粗脂肪/% crude lipid	9.03 $\pm$ 0.91	9.79 $\pm$ 0.28	9.72 $\pm$ 0.18	9.80 $\pm$ 0.09
甘油三酯/($\mu\text{g/g}$) triglyceride	1189.77 $\pm$ 80.55 ^a	1449.73 $\pm$ 101.38 ^b	1116.73 $\pm$ 61.37 ^a	1155.37 $\pm$ 91.08 ^a
胆固醇/($\mu\text{g/g}$) cholesterol	1647.37 $\pm$ 67.19 ^a	1270.90 $\pm$ 69.29 ^b	1097.62 $\pm$ 47.32 ^b	1647.24 $\pm$ 109.73 ^a
磷脂/($\mu\text{g/g}$) phospholipid	1189.89 $\pm$ 60.13 ^a	1117.66 $\pm$ 85.19 ^b	1451.41 $\pm$ 80.45 ^c	1157.13 $\pm$ 91.08 ^b
总蛋白/($\mu\text{g/g}$) total protein	81752.24 $\pm$ 2841.52	79354.99 $\pm$ 3036.49	76425.03 $\pm$ 3094.70	77961.73 $\pm$ 5396.86

注:同行数据上标不同字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)。
Note: Values in each row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

2.5 不同饵料强化后胚胎脂肪酸组成

不同饵料强化后各组胚胎中脂肪酸含量如表 5 所示。对照组中饱和脂肪酸总量最高,平均含量为(11.03 $\pm$ 3.95) mg/g ,但各组间均无显著性差异($P>0.05$)。单不饱和脂肪酸中,C16:1 和 C18:1n9c 含量均以对照组中最高,但各组间都无显著性差异($P>0.05$),MUFA 各组间也无显著性差异。多不饱和脂肪酸中,C20:2 和 C20:4n6 均以 0%组中最高,且与 10%组有显著差异($P<0.05$),但与 20%组和对照组均无显著差异($P>0.05$)。对

照组中多不饱和脂肪酸总量(PUFA)最高,平均为(20.86 $\pm$ 6.88) mg/g ,但各组间均无显著性差异($P>0.05$),高不饱和脂肪酸(HUFA)总量相互间也无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同饵料对中华绒螯蟹性腺发育及繁殖性能的影响

缢蛏中含有较高的高不饱和脂肪酸(HUFA)、磷脂(PL)和必需脂肪酸(EAA),被认为是中华绒

表 5 不同饵料组中华绒螯蟹胚胎脂肪酸组成
Tab. 5 Fatty acid composition in embryos of female *Eriocheir sinensis* fed different diets
n=3; $\bar{x}\pm$ SD; mg/g; wet weight

参数 parameter	饵料组 diet group			
	0%	10%	20%	对照 control
C14 : 0	0.47±0.18	0.34±0.01	0.50±0.09	0.60±0.35
C15 : 0	0.18±0.06 ^{ab}	0.13±0.01 ^b	0.17±0.01 ^{ab}	0.28±0.09 ^a
C16 : 0	8.04±2.89	6.33±1.51	7.49±1.03	9.77±4.21
C17 : 0	0.29±0.11	0.18±0.06	0.22±0.06	0.31±0.08
C18 : 0	2.05±0.73	1.67±0.13	1.84±0.12	2.37±1.19
Σ SFA	11.03±3.95	8.65±1.56	10.22±1.04	13.34±5.78
C16 : 1	7.07±2.77	6.82±3.71	5.24±1.09	7.32±3.20
C20 : 1	0.23±0.08	0.15±0.04	0.23±0.09	0.26±0.12
C24 : 1	0.08±0.01	0.06±0.02	0.06±0.01	0.10±0.04
C18 : 1n9c	15.11±4.46	13.96±4.94	14.69±1.65	17.64±6.75
C22 : 1n9	0.07±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01	0.08±0.01
Σ MUFA	22.56±7.30	21.04±8.70	20.25±2.06	25.39±9.51
C18 : 2n6c	6.73±2.31	7.02±2.36	5.90±0.74	7.02±3.24
C18 : 3n3	1.26±0.68	1.11±0.10	0.82±0.21	1.40±0.61
C20 : 2	0.63±0.17 ^a	0.31±0.06 ^b	0.35±0.12 ^{ab}	0.45±0.08 ^{ab}
C20 : 3n3	0.16±0.04	0.08±0.03	0.11±0.04	0.17±0.09
C20 : 3n6	0.09±0.02	0.06±0.01	0.06±0.01	0.09±0.03
C20 : 4n6 (ARA)	2.38±0.69 ^a	1.24±0.38 ^b	1.55±0.31 ^{ab}	2.31±0.20 ^{ab}
C20 : 5n3 (EPA)	4.75±1.73	3.01±0.47	4.86±0.74	4.85±1.66
C22 : 6n3 (DHA)	3.71±1.73	1.94±1.09	4.18±2.96	4.59±2.15
Σ PUFA	19.71±6.95	14.75±1.79	17.82±1.37	20.86±6.88
Σ HUFA	10.85±3.94	6.18±0.92	10.59±1.98	11.74±3.98

注: Σ SFA 为饱和脂肪酸总量; Σ MUFA 为单不饱和脂肪酸总量; Σ PUFA 为多不饱和脂肪酸总量; Σ HUFA=ARA+EPA+DHA。同行数据上标不同字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Σ SFA is total content of saturated fatty acids; Σ MUFA is total content of mono-unsaturated fatty acids; Σ PUFA is total content of poly unsaturated fatty acids, Σ HUFA=ARA+EPA+DHA. Values in each row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

螯蟹最好的天然饵料^[17-19]。HSI 和 GSI 是评估中华绒螯蟹成熟度的重要指标,中华绒螯蟹在肝胰腺中积累能量并促进性腺的发育,从而导致性腺的增加^[20]。本研究表明,用不同饵料营养强化 60 d 后,各实验组中华绒螯蟹肝胰腺重量和肝胰腺指数均显著低于强化前,而性腺重量和性腺指数均显著高于强化前。这也证实,在中华绒螯蟹性腺发育过程中,肝胰腺中的能量物质可以转移到性腺,从而导致肝胰腺指数降低和性腺指数升

高。张玉玲等^[21]对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的研究也有类似结果,这也表明南极磷虾粉能促进虾蟹类的性腺发育,进而提高性腺指数。本研究中,中华绒螯蟹的性腺指数在 20%组中最高,其次为 10%组。分析认为,这是由于 10%和 20%组饵料中均含有较高的粗蛋白、粗脂肪和总磷,在强化阶段为中华绒螯蟹提供了更丰富的营养物质,从而导致性腺重量和性腺指数增加。这也表明在饲料中添加 10%~20%的南极磷虾粉可以促进中华绒螯蟹的性腺发育。

生殖力、产卵量和生殖指数等是评估亲本繁殖特性的重要指标,盐度、温度、规格、饵料等因子都能对甲壳类亲本的繁殖特性产生影响^[15,22]。研究表明,饲料中磷脂和不饱和脂肪酸含量与组成可以影响中华绒螯蟹的繁殖性能,其中饲料中增加磷脂含量提高了中华绒螯蟹的产卵量和繁殖力^[23-24]。本研究中,经过 60 d 的营养强化后,20%组中亲蟹的产卵量和生殖力均高于其他实验组,分析认为,这是由于 20%组饵料中总磷及几种重要脂肪酸的含量较高,为亲蟹的性腺发育提供了充足的营养,从而获得了较高的繁殖性能。以上发现与 Bray 等^[25]对南美蓝对虾(*Penaeus stylirodstris*)和 Cahu 等^[26]对凡纳滨对虾以及 Wu 等^[23]对中华绒螯蟹的研究结果基本一致,表明 20%南极磷虾粉能显著改善虾蟹类的繁殖性能。

3.2 不同饵料对中华绒螯蟹胚胎卵径及生化成分的影响

据报道,不同区域采集的凡纳滨对虾、罗氏沼虾和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)所产胚胎的卵径和单卵重量相互间均无显著差异^[27-29],中华绒螯蟹养殖组和野生组的卵径和卵重也无显著差异^[30]。本研究中,不同饵料对中华绒螯蟹进行营养强化后,各组间卵径和卵重均无明显变化,表明甲壳类的卵径和卵重较为稳定,不易受区域及营养状况的影响。

甲壳类胚胎发育中需要蛋白质和脂质等能量物质,胚胎中生化成分组成和营养物质含量取决于亲体在产卵前的积累和胚胎发育过程中对能量物质的吸收利用^[31-33]。本研究中,尽管 4 种饵料中的粗蛋白和粗脂肪含量存在一定差异,但营养

强化后各实验组胚胎的粗蛋白、粗脂肪和总蛋白含量相互间都无显著差异。这可能是由于营养强化和胚胎发育过程中亲蟹对营养物质存在选择性吸收和积累导致^[18,23]。磷脂被认为是许多甲壳动物饵料中的必需营养物质,在卵巢发育过程中发挥了重要作用^[34]。本研究,20%组中胚胎的磷脂含量最高,同时发现营养强化后 20%组亲蟹的性腺指数也最高。分析认为,这是由于在营养强化和胚胎发育中,磷脂从性腺中转移到了胚胎,导致胚胎中磷脂含量较高。这一结果也证实了饲料中添加 20%的南极磷虾粉可以显著增加胚胎中的磷脂含量,提高胚胎的质量。

3.3 不同饵料对中华绒螯蟹胚胎脂肪酸含量的影响

C20 : 5n3 (EPA)和 C22 : 6n3 (DHA)参与维持细胞结构和功能,同时也是储存在中华绒螯蟹卵巢中的主要多不饱和脂肪酸,对亲本产卵和胚胎孵化有重要作用^[23-24]。甲壳动物在性腺成熟和繁殖过程中需要大量的多不饱和脂肪酸(PUFA),但甲壳类不能自行合成 PUFA,只能从饵料中摄取,用含有 EPA 和 DHA 的饵料投喂中华绒螯蟹亲本后,提高了胚胎和幼体的质量^[35-36]。高不饱和脂肪酸(HUFA)是甲壳动物胚胎发育的重要基础,饵料中添加其含量可以显著提高中华绒螯蟹初孵幼体的存活率和变态率^[23]。研究表明,南极磷虾粉中 EPA 和 DHA 含量分别高达 21.42%和 19.22%,n-3 系列和 n-6 系列脂肪酸含量分别占 45.41%和 2.24%^[37]。饵料中添加南极磷虾粉增加了半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)胚胎的 EPA 和 n-3 PUFA 含量,降低了 n-6 PUFA 含量^[38]。研究也发现,胚胎中脂肪酸组成与饵料中脂肪酸组成呈正相关关系,投喂缢蛏组中胚胎的 PUFA 含量最高,其次是 10%组和 20%组^[21]。本研究中,尽管 20%饲料中 C20 : 4n3、C20 : 5n3 和 C22 : 6n3 含量最高,但不同饵料营养强化后,胚胎中 C20 : 5n3、C22 : 6n3、SFA、MUFA、PUFA 和 HUFA 的含量相互间均无显著性差异。张玉玲等^[21]对凡纳滨对虾的研究也有类似发现,Wu 等^[22]发现投喂不同饵料强化后,中华绒螯蟹各组胚胎中 PUFA 和 HUFA 均无显著差异。这些研究结果表明,在饲

料中添加南极磷虾粉和投喂缢蛏进行营养强化都不能显著提高中华绒螯蟹胚胎中的脂肪酸含量。

4 结论

在本实验条件下,饲料中添加 10%~20%南极磷虾粉能促进中华绒螯蟹雌蟹的性腺发育,其中 20%南极磷虾粉能显著提高亲蟹的产卵量和繁殖力,同时增加胚胎中磷脂和胆固醇的含量,但不能增加胚胎中脂肪酸含量。研究结果为开展中华绒螯蟹人工养殖和亲本的增殖放流提供了理论依据和科学支撑。

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] Du N S. Migration of Chinese mitten-handed crab *Eriocheir sinensis*[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2004, 31(2): 56-57, 94. [堵南山. 中华绒螯蟹的洄游[J]. 水产科技情报, 2004, 31(2): 56-57, 94.]
- [3] Liu W L, He W S. The benthic macro-invertebrates in the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2007: 56-82. [刘文亮, 何文珊. 长江河口大型底栖无脊椎动物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007: 56-82.]
- [4] Liu K, Duan J R, Xu D P, et al. Studies on current resource and causes of catch fluctuation of brooders of mitten crab in estuary of the Changjiang River[J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(2): 212-217. [刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江口中华绒螯蟹亲体捕捞量现状及波动原因[J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 212-217.]
- [5] Feng G P, Zhuang P, Zhang T, et al. Techniques for the proliferation of Chinese mitten crab resources in the Yangtze River Estuary[M]. Beijing: Science Press, 2017: 152-186. [冯广朋, 庄平, 张涛, 等. 长江口中华绒螯蟹资源增殖技术[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 152-186.]
- [6] Zhang H L. The adaptability comparison study of stock and wild population Chinese mitten crabs in Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013: 15-28. [张航利. 长江口中华绒螯蟹放流群体与自然群体适应性比较研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 15-28.]
- [7] Zhao M, Liang M Q, Zheng K K, et al. Effects of dietary Antarctic krill on the reproductive performance and antioxidant function in male broodstock tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. Progress in Fishery Sciences,

- 2016, 37(6): 49-55. [赵敏, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)雄性亲鱼繁殖性能及抗氧化功能的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(6): 49-55.]
- [8] Vassallo-Agius R, Watanabe T, Imaizumi H, et al. Effects of dry pellets containing astaxanthin and squid meal on the spawning performance of striped jack *Pseudocaranx dentex*[J]. Fisheries Science, 2001, 67(4): 667-674.
- [9] Wei Y T, Wang X X, Xie F L, et al. Influences of replacing dietary fish meal by Antarctic krill meal on growth performance, immunity and muscle quality of white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Reports, 2022, 25: 101256.
- [10] Ambasankar K, Syama Dayal J, Kumaraguru Vasagam K P, et al. Growth, fatty acid composition, immune-related gene expression, histology and haematology indices of *Penaeus vannamei* fed graded levels of Antarctic krill meal at two different fishmeal concentrations[J]. Aquaculture, 2022, 553: 738069.
- [11] Zhang Y L, Luo K, Kong J, et al. A comparative study on growth and gonadal development of *Litopenaeus vannamei* broodstock fed different formulated feeds[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 306-316. [张玉玲, 罗坤, 孔杰, 等. 饲料中添加南极磷虾粉对凡纳滨对虾亲虾生长、性腺发育及脂肪酸积累的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 306-316.]
- [12] Guo C, Jin M, Jiao L F, et al. Evaluation of krill meal in commercial diets for juvenile swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2022, 2022: 3007674.
- [13] Yan J L, Chen S Q, Chang Q, et al. Effects of Antarctic krill meal replacing fish meal on growth performance, serum and liver biochemical indices and serum non-specific immune indices of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(11): 3503-3510. [严俊丽, 陈四清, 常青, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对圆斑星鲽幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标及血清非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3503-3510.]
- [14] Tang B J, Zheng H F, Wang S J, et al. Effects of Antarctic krill *Euphausia superba* meal inclusion on growth, body color, and composition of large yellow croaker *Larimichthys crocea*[J]. North American Journal of Aquaculture, 2021, 83(4): 255-266.
- [15] Wu X G, Cheng Y X, Chang G L, et al. Effect of enriching broodstock on reproductive performance and Z₁ quality of *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 757-764. [吴旭干, 成永旭, 常国亮, 等. 亲本强化培育对中华绒螯蟹雌体生殖性能和 Z₁ 幼体质量的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 757-764.]
- [16] Shi J Z, Jiang X D, Liu N G, et al. Effects of broodstock size on reproductive performance and embryo quality of *Eriocheir sinensis*[J]. Freshwater Fisheries, 2020, 50(6): 70-76. [石今朝, 姜晓东, 刘乃更, 等. 亲本规格对中华绒螯蟹生殖性能和胚胎质量的影响[J]. 淡水渔业, 2020, 50(6): 70-76.]
- [17] Zhang L S, Li J. Breeding and aquaculture techniques of *Eriocheir sinensis*[M]. Beijing: Jing Dun Press, 2002, 124-196. [张列士, 李军. 河蟹增养殖技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2002, 124-196.]
- [18] Ji Y, Sui N 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.
- [19] Wu X G. Effect of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on fattening, reproductive performance and larval quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) broodstock[D]. Shanghai: Shanghai Fisheries University, 2004: 4-16. [吴旭干. 磷脂和高度不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹亲本培育、生殖性能和苗种质量的影响[D]. 上海: 上海水产大学, 2004: 4-16.]
- [20] Xue L Z, Du N S, Lai W. Histology of female reproductive system in Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of East China Normal University (Natural Sciences), 1987, 3: 88-97. [薛鲁征, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹雌性生殖系统的组织学研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1987, 3: 88-97.]
- [21] Zhang Y L, Kong J, Liang M Q, et al. Effect of Antarctic krill meal in diet on the fecundity of *Litopenaeus vannamei* broodstocks in nutrient enrichment phase[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(6): 69-77. [张玉玲, 孔杰, 梁萌青, 等. 饲料中添加南极磷虾粉对营养强化阶段凡纳滨对虾亲虾产卵的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2017, 47(6): 69-77.]
- [22] Wu X G, Cheng Y X, Zeng C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H.Milne-Edwards) females fed an optimized formulated diet and the razor clam *Sinonovacula constricta*[J]. Aquaculture Research, 2009, 40(12): 1335-1349.
- [23] 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: 602-613.
- [24] Sui L Y, Wu X G, Wille M, et al. Effect of dietary soybean lecithin on reproductive performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) Broodstock[J]. *Aquaculture International*, 2009, 17(1): 45-56.
- [25] Bray W A, Lawrence A L, Lester L J. Reproductive performance of ablated *Penaeus stylirodstris* fed a soy lecithin supplement[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1990, 21: 41-52.
- [26] Cahu C L, Guillaume J C, Stéphan G, et al. Influence of phospholipid and highly unsaturated fatty acids on spawning rate and egg and tissue composition in *Penaeus vannamei* fed semi-purified diets[J]. *Aquaculture*, 1994, 126(1-2): 159-170.
- [27] Andriantahina F, Liu X L, Huang H, et al. Comparison of reproductive performance and offspring quality of domesticated Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *Aquaculture*, 2012, 324-325: 194-200.
- [28] Nhan D T, Wille M, Hung L T, et al. Comparison of reproductive performance and offspring quality of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) broodstock from different regions[J]. *Aquaculture*, 2009, 298(1-2): 36-42.
- [29] Wu X G, Cheng Y X, Zeng C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of wild-caught and pond-reared swimming crab *Portunus trituberculatus* broodstock[J]. *Aquaculture*, 2010, 301(1-4): 78-84.
- [30] Huang X R, He L L, Tan R, et al. Effects of salinity on reproductive characteristics and embryo quality of *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture Research*, 2022, 53(14): 4970-4979.
- [31] Cheng Y X, Du N S, Lai W. On the ultrastructure of yolk lipid distribution and its changes during the Chinese crab, *Eriocheir sinensis* ovarian maturation and embryonic development[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1999, 34(1): 51-56.[成永旭, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹卵巢和胚胎发育期脂类在卵黄物质中存在的形态及其变化[J]. *动物学杂志*, 1999, 34(1): 51-56.]
- [32] Tian H M, Zhao Y L, Li J J, et al. Biochemical changes during embryonic development in the crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2002, 37(5): 18-21. [田华梅, 赵云龙, 李晶晶, 等. 中华绒螯蟹胚胎发育过程中主要生化成分的变化[J]. *动物学杂志*, 2002, 37(5): 18-21.]
- [33] Wang R F, Zhuang P, Huang X R, et al. Developmental changes of biochemical composition and digestive enzyme activity in the eggs of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, under osmotic stress[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(2): 299-307. [王瑞芳, 庄平, 黄晓荣, 等. 渗透胁迫对中华绒螯蟹胚胎生化组成及消化酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(2): 299-307.]
- [34] Harrison K E. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of decapod crustaceans: A review[J]. *Journal of Shellfish Research*, 1990(9): 1-28.
- [35] Cahu C L, Cuzon G, Quazuguel P. Effect of highly unsaturated fatty acids, α -tocopherol and ascorbic acid in broodstock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Physiology*, 1995, 112(3-4): 417-424.
- [36] Wouters R, Gómez L, Lavens P, et al. Feeding enriched *Artemia* biomass to *Penaeus vannamei* broodstock: Its effect on reproductive performance and larval quality[J]. *Journal of Shellfish Research*, 1999, 18(2): 651-656.
- [37] Lou Q M, Wang Y M, Liu X F, et al. Analysis of fatty acid composition and mass spectrometry characterization of polyunsaturated fatty acids in *Euphausia superba*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(4): 929-935. [楼乔明, 王玉明, 刘小方, 等. 南极磷虾脂肪酸组成及多不饱和脂肪酸质谱特征分析[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(4): 929-935.]
- [38] Xu H G, Zhao M, Zheng K K, et al. Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal in the diets improved the reproductive performance of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) broodstock[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(6): 1287-1295.

Dietary effects of Antarctic krill meal on reproductive performance and embryo quality of *Eriocheir sinensis*

HUANG Xiaorong^{1,2}, TAN Ru¹, ZHANG Tao^{1,2}, FENG Guangpeng^{1,2}, GENG Zhi^{1,2}, ZHAO Feng^{1,2}, YANG Gang^{1,2}, ZHUANG Ping^{1,2}

1. Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Shanghai Engineering Research Center of Fisheries Stock Enhancement and Habitat Restoration of the Yangtze Estuary, Shanghai 200090, China

Abstract: To explore the nutrient enrichment effect of Antarctic krill meal to *Eriocheir sinensis* brood stocks, a 60-d feeding trial was conducted on the reproductive performance and embryo quality of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. Three diets were formulated, incorporating varying levels of Antarctic krill meal at 0%, 10% and 20%, with a control group fed razor clam *Sinonovacula constricta*. The hepatopancreatic weight (HW), hepatopancreas index (HSI), gonadal weight (GW), and gonadosomatic index (GSI) were detected after 60 d of nutritional enrichment. Each treatment had three replicate tanks stocked with five males and 10 females. The reproductive performance of broodstock and embryo quality—such as egg production, fecundity, reproductive index, egg diameter, weight, and biochemical and fatty acid compositions—were analyzed. The results showed: (1) The HW and HSI of female crabs in each group significantly decreased ($P<0.05$), while GW and GSI increased significantly ($P<0.05$) after 60 d, with the 20% group showing the highest values. (2) Egg production and fecundity of female crabs reached their peak in the 20% group, with no significant differences ($P>0.05$) in reproductive indices among all groups. (3) The phospholipid content in the 20% group was significantly higher than that in the other groups ($P<0.05$), the highest triglyceride (TG) content was found in the 10% group, with an average of (1449.73 ± 101.38) $\mu\text{g/g}$, significantly higher than other groups ($P<0.05$), cholesterol content in the 0% and control groups were significantly higher than that in the 10% and 20% groups ($P<0.05$). No significant differences were observed in egg diameter, egg weight, moisture, crude protein, and crude fat between the groups ($P>0.05$). (4) The content of C20 : 2 and C20 : 4n6 was highest in the 0% group, with a significant difference compared to the 10% group ($P<0.05$). However, no significant differences were found in the total content of saturated fatty acids (SFA), mono-unsaturated fatty acids (MUFA) and poly unsaturated fatty acids (PUFA) among all groups ($P>0.05$). The results indicate that 10%~20% and 20% dietary Antarctic krill meal could promote gonadal development of the female *E. sinensis* and significantly improve reproductive performance and embryo quality, respectively.

Key words: Antarctic krill meal; *Eriocheir sinensis*; gonadosomatic index; egg production; biochemical components; fatty acid

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsfa.ac.cn