

文章编号: 1674-5566(2024)03-0606-09

DOI: 10.12024/jsou.20230704287

超大规格中华绒螯蟹繁殖性能和育苗效果评价

殷乐^{1,2}, 姜晓东³, 成永旭^{1,2,4}, 吴旭干^{1,2,4}

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学农业农村部淡水种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 浙江万里学院宁海海洋生物种业研究院, 浙江 宁波 315100; 4. 上海海洋大学水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)人工繁殖过程中亲本规格差别较大, 目前大多选用超大规格亲本繁育子代, 尚不清楚超大规格亲本的生殖性能及其繁育效果, 本研究以超大规格亲本(规格 I: 雌体 300 g, 雄体 400 g)为研究对象, 以小规格亲本(规格 II: 雌体 150 g, 雄体 250 g)为对照, 比较不同亲本规格对其生殖性能和胚胎质量的影响, 并进一步讨论两种规格亲本的生态繁育效果。结果表明: (1) 生殖性能方面, 规格 II 亲本在配对期间的抱卵率一直显著高于规格 I 亲本, 但两规格亲本的最终抱卵率接近; 虽然规格 I 亲本的抱卵量显著高于规格 II 亲本, 但亲本成活率、生殖力及生殖指数均显著低于规格 II 亲本; 两规格亲本在卵经、卵重及胚胎常规生化方面无显著差异。(2) 就育苗效果而言, 饵料投喂量在幼体培育期间呈先增后减的变化趋势, 其中溞 V 变态为大眼幼体期间明显饵料投喂量最高, 且规格 II 组幼体的饵料日投喂量整体高于规格 I 组幼体; 虽然规格 I 亲本单蟹产苗量显著高于规格 II 亲本, 但单位面积产量显著低于规格 II 亲本; 此外, 规格 I 亲本所产大眼幼体的淡化率也低于规格 II 亲本。综上, 虽然超大规格亲本的抱卵量和单蟹产苗量显著高于小规格亲本, 但超大规格亲本的抱卵速度、成活率及淡化率均明显低于小规格亲本, 如何通过营养调控提高超大规格亲本的繁殖性能有待进一步研究。

关键词: 中华绒螯蟹; 亲本规格; 生殖性能; 胚胎质量; 繁育效果

中图分类号: S 966.16 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹, 近年来年养殖产量约 80 万 t, 是我国重要的淡水经济蟹类。蟹苗(大眼幼体)繁育、蟹种(扣蟹)培育及成蟹养殖是中华绒螯蟹人工养殖的 3 个重要阶段, 其中可靠的蟹苗来源及质量是中华绒螯蟹成功养殖的重要基础^[1]。我国中华绒螯蟹大眼幼体繁育的发展同样分为 3 个阶段, 即早期依赖于自然水域野外捕捞、后续中华绒螯蟹工厂化育苗及目前的中华绒螯蟹土池生态育苗^[2-3]。近年来, 随着中华绒螯蟹土池育苗技术的革新与完善, 大眼幼体亩产量稳步提高, 但随着市场售价的下跌导致蟹苗产业的利润急剧下降, 如何降低中华绒螯蟹土池生态育苗的成本、提高中华绒螯蟹土池生态育苗的利润, 是育苗工作者的关注重点。由于大规格亲本抱卵量及产卵量大, 并且大规格中华

绒螯蟹亲本所产子代在后续蟹种培育和成蟹养殖阶段生长优势明显, 大规格中华绒螯蟹亲本所繁育大眼幼体售价也相应较高, 因此育苗工作者倾向于使用大规格中华绒螯蟹作为亲本开展繁育工作^[4-5]。虽然大规格亲本子代售价较高, 但收购大规格亲本时收购价也较高, 与此同时, 大规格亲本存在抱卵蟹越冬成活率低及抱卵率不稳定等缺陷, 管理水平不能满足大规格亲本越冬需求便会造成严重的经济损失^[6-7]。因此, 中华绒螯蟹繁育过程中亲本规格的确定, 需综合考虑亲本成本、生殖性能、繁育效果、幼体质量及幼体售价等多重因素。

超大规格中华绒螯蟹亲本(雌体 300 g 以上, 雄体 400 g 以上)的育苗和养殖是 2019 年以来中华绒螯蟹产业界的一次变革, 采用超大规格亲本

收稿日期: 2023-07-25 修回日期: 2023-10-11

基金项目: 浙江省长兴县科技局农业科技项目(2022N13); 上海市崇明区科委农业科技项目(CK2022-37)

作者简介: 殷乐(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为河蟹养殖技术和良种培育。E-mail: 1845771080@qq.com

通信作者: 吴旭干, E-mail: xgwu@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

的子代进行成蟹养殖的确有效提高了中华绒螯蟹养成规格,但是国内外尚未见河蟹超大规格成蟹繁育效果的研究。目前,有关不同规格中华绒螯蟹生殖性能和繁育效果差异的相关研究较多,石今朝等^[8]探究了中华绒螯蟹亲本规格(雌体 50~240 g,雄体 80~330 g)对其生殖性能和胚胎质量的影响,王少兵等^[9]比较了不同规格中华绒螯蟹亲本(雌体 126~214 g,雄体 173~304 g)的繁殖性能和育苗效果差异,但超大规格亲本生殖性能和繁育效果还未有一个系统的研究。本研究以超大规格亲本为研究对象,以正常规格亲本(雌体 150 g,雄体 250 g)作为对照,通过测定和比较两规格亲本的生殖性能、胚胎质量和繁育效果,同时了解超大规格亲本的繁殖生物学,以期为人工繁育大眼幼体生产过程中亲本选择以及育苗效果测算提供理论资料和实践参考。

1 材料与方 法

1.1 亲本来源及配 对

2021 年 11 月,在上海海洋大学崇明产学研

基地收集超大规格亲本(规格 I)及对照组亲本(规格 II),挑选活力良好、个体完好无附肢损伤的二龄长江水系中华绒螯蟹作为亲本,所挑选的亲本运输至射阳中华绒螯蟹遗传育种基地,放置在海 水盐度 18 左右且配有防逃网的土池进行交配,交配雌雄比为 3:1(表 1)。亲本入池两天后开始投喂冰鲜鱼,按照亲本总体质量的 5% 投喂;根据水温决定投喂频率,低于 10 °C 时每 3 天喂一次,高于 10 °C 时每天投喂,投喂量根据吃食情况适当调整。亲本入池后每隔 10 天通过拖网的方式检查各交配池塘中雌蟹的抱卵比例,至 2022 年 1 月下旬抱卵率达到 90% 时,排水剔除交配池中雄蟹。随后加注新鲜海水,保持水位维持一定的高度,避免水位过浅导致抱卵蟹越冬期间因池底环境变化死亡,将抱卵蟹返还原交配池塘越冬。3 月初开始对育苗池杀菌消毒,先后对育苗池塘使用茶籽饼杀野杂鱼、敌百虫杀枝角类,最后用漂白粉彻底消毒,一周后使用大苏打对育苗塘池水解毒并注入高浓度小球藻水,保持水体肥度。

表 1 不同规格中华绒螯蟹亲本平均体质量及数量

Tab. 1 Average body mass and quantity of *Eriocheir sinensis* broodstock with different body sizes

组别 Items	雌体 Female		雄体 Male		交配池塘面积 Mating pond area/m ²
	体质量 Body mass/g	数量 Quantity	体质量 Body mass/g	数量 Quantity	
规格 I Size I	320.92 ± 29.52	302	418.42 ± 33.72	91	466.9
规格 II Size II	160.27 ± 19.58	424	250.61 ± 18.38	148	667

1.2 样品采集及繁殖性能统计

2022 年 3 月 20 日左右,此时抱卵蟹胚胎均处于心跳期,显微镜下观察胚胎,挑选每分钟心跳次数相近的抱卵蟹,每个规格均选择 8 只抱卵蟹进行生殖性能研究。首先取出抱卵蟹腹部的所有卵块,剔除卵块中的携卵附肢并吸干卵块表面水分,用电子天平(上海越平科学仪器有限公司,精确度为 0.01 g)称取卵块质量和剔除卵后雌蟹的体质量;其次称取 0.1 g 左右的卵块,精确计数卵的数量,参照吴旭干等^[10]的方法计算抱卵量(Egg production)、生殖力(Fecundity)和生殖指数(Reproductive effort),计算公式:

$$P_E = W/S_{ww} \quad (1)$$

$$F = 1000 \times P_E / W_B \quad (2)$$

$$E_R = 100\% \times W / W_B \quad (3)$$

式中: P_E 为抱卵量,10⁴粒/只; W 为卵块质量,g; S_{ww} 为单个卵重量,g; F 为生殖力,粒/g; E_R 为生殖指数,%; W_B 为抱卵蟹取卵后质量,g。

1.3 胚胎质量测定

在 OLYMPUS 显微镜下用目测微尺测量卵径(精确到 1 μm),每只抱卵蟹测量 100 个卵,取平均值作为卵径。取胚胎 3~4 mg(湿质量),用碳酸氢氨等渗液冲洗表明盐分并吸干表面水分,用百万分之一电子天平准确称重后精确计数,据此计算单卵湿重(Egg wet weight);将称重计数后的胚胎装入锡箔称量杯,放入 70 °C 烘箱中烘干至恒重,在干燥皿中冷却至室温后精确称重,据此计算单卵干重(Egg dry weight),每只抱卵蟹重复测定 3 次^[11]。计算方法:

$$S_{ww} = W_w / N \quad (4)$$

$$S_{Dw} = W_D/N \quad (5)$$

式中: S_{Ww} 为单卵湿质量, μg ; W_w 为卵湿质量, g ; N 为卵数量,个; S_{Dw} 为单卵干质量, μg ; W_D 为卵干质量, g 。

按照AOAC^[12]标准方法测定胚胎粗蛋白和灰分含量,采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,在550℃下灼烧至恒重测定灰分含量;按照FOLCH等^[13]的方法采用V(氯仿):V(甲醇)=2:1抽提总脂;采用冷冻干燥法测定水分含量。

1.4 育苗及幼体管理

当胚胎心跳次数达到120次/分左右时,用30 mg/L制霉菌素片将抱卵蟹进行消毒,浸泡30 min,浸泡结束后即可挂笼,由于不同规格抱卵量不同,为保证单位水体孵化幼体的密度一致,挂笼

数量根据规格大小作相应调整,具体挂笼抱卵蟹信息如表2所示。抱卵蟹孵化后开始投喂轮虫(*Rotifer*),每天投喂2次,每次投喂前在池塘下风口打样观察轮虫剩余情况,据此适当调整投喂量。在蚤Ⅲ阶段开始投喂一定比例的丰年虫(*Artemia*)以进行营养强化。育苗期间控制水体肥度,保证苗池始终含有适量的小球藻(*Chlorella*)。幼体培育期间保证pH、氨氮、亚硝酸盐等含量在合理范围,防止其中某一含量过高导致蟹苗的死亡。待蚤Ⅴ全部变成大眼幼体一周后,拉网捞出全部大眼幼体,转移到提前准备好的土池中淡化,淡化时间为2~3 d,第1天保持盐度不变;此后每天注入淡水将盐度降低5,直至将盐度下降到5以下时,捕捞销售。

表2 不同规格抱卵蟹的实验池面积和亲本数量分布

Tab. 2 Experimental pool area and number of *E. sinensis* broodstock with different body sizes

项目 Items	规格 I Size I			规格 II Size II		
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
池塘面积 Pond area/m ²	1 400.7	1 400.7	466.9	1 267.3	1 267.3	1 067.2
产卵蟹数量 Hatching crab quantity/个	50	50	42	90	90	77

1.5 育苗效果评估

挂笼前,记录每个交配池塘每种规格抱卵蟹出塘数量,据此计算越冬成活率(Survival rate);挂笼结束时,记录各繁育池塘未孵化亲本数量,据此计算亲本孵化率(Hatching rate)。抱卵蟹开始孵化后,记录每个池塘每日投喂饵料的数量,据此计算饵料系数(Feed coefficient rate);每天用250 mL的广口瓶打样查看幼体的变态情况,记录幼体变态时间;最终记录各池塘大眼幼体重量以及淡化后大眼幼体的重量,据此计算单产(Yield)、单蟹产苗量(Seedling yield of single crab)和淡化率(Dilution ratio),计算方法:

$$R_s = S_i/S_j \times 100\% \quad (6)$$

$$R_H = H_i/H_j \times 100\% \quad (7)$$

$$Y = W/S \quad (8)$$

$$S_{YSC} = W/N \quad (9)$$

$$F_{CR} = W_i/W \quad (10)$$

$$R_D = W_i/W \quad (11)$$

式中: R_s 为成活率,%; S_j 和 S_i 分别为越冬后成活抱卵蟹数量(个)和入池母本数量(个); R_H 为孵化率,%; H_i 和 H_j 分别为产卵抱卵蟹数量(个)和挂笼抱卵蟹数量(个); Y 为单产, g/m^2 ; W 和 S 分别为淡

化前大眼幼体的重量(g)和池塘面积(m^2); S_{YSC} 为单蟹产苗量, $\text{kg}/\text{只}$; N 为产卵蟹数量,个; F_{CR} 为饲料系数; W_i 为投喂的饲料量, g ; R_D 为淡化率,%; W_i 为淡化后大眼幼体的重量, g 。

1.6 数据分析

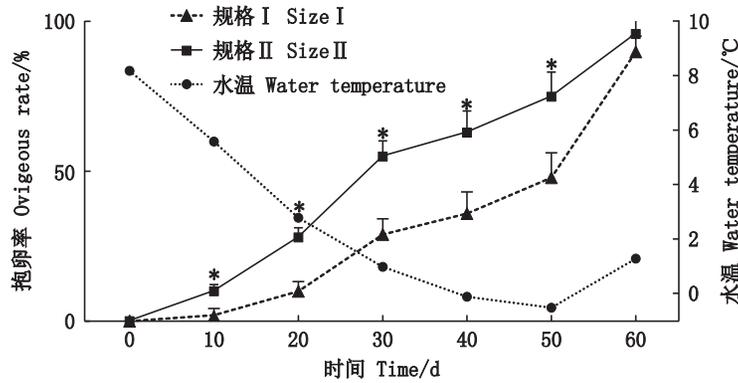
所有数据均以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。实验数据采用SPSS 26.0软件进行统计分析。采用Levene法对所有数据进行方差齐性检验,当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。两组数据采用独立样本 t 检验进行显著性分析,取 $P<0.05$ 为差异显著。在GraphPad Prism软件上绘制相关图表。

2 结果

2.1 生殖性能

在60 d的亲本交配期间,池塘水温先从8℃降至0℃左右,随后又回升至2℃左右(图1)。交配10 d后,规格II亲本抱卵率为10%,而规格I亲本抱卵率仅为2%。交配10~30 d时,虽然水体温度呈降低趋势,但两规格中华绒螯蟹亲本抱卵率呈加速升高趋势;随着水体温度在交配40~50 d期间进一步降低至零下,两规格中华绒螯蟹

亲本抱卵率增加减缓。交配 10 ~ 50 d 期间,规格 II 亲本交配抱卵率一直显著高于规格 I 亲本 ($P < 0.05$),但两规格亲本的最终抱卵率接近(超大规格:92.96%,小规格:94.55%)。



*表示差异显著 ($P < 0.05$).
* means significant difference ($P < 0.05$).

图 1 不同规格亲本的抱卵率差异及水温变化

Fig. 1 Difference of ovigerous rate and water temperature change with different broodstock sizes

规格 I 和规格 II 亲本在入池交配至出池挂笼期间存活率分别为 47.02% 和 60.61% (表 3),且组间存活率差异显著 ($P < 0.05$)。规格 I 和规格 II 亲本挂笼后孵化率差别较小,均为 93% 左右。

虽然规格 I 亲本抱卵量显著高于规格 II 亲本,但生殖力和生殖指数显著低于规格 II 亲本 ($P < 0.05$)。

表 3 不同规格中华绒螯蟹亲本繁殖性能差异

Tab. 3 Reproductive performance of *E. sinensis* broodstock with different body sizes

项目 Items	规格 I Size I	规格 II Size II	P
成活率 Survival rate/%	47.02 ± 3.40	60.61 ± 5.50*	0.046
孵化率 Hatching rate /%	92.96 ± 8.00	94.55 ± 7.20	0.739
抱卵量 Egg production / (10 ⁴ 粒/只)	87.52 ± 9.10*	51.05 ± 8.19	0.012
生殖力 Fecundity / (10 ² 粒/g)	28.56 ± 3.57	32.02 ± 6.69*	0.028
生殖指数 Reproductive effort /%	17.44 ± 2.14	19.01 ± 4.02*	0.046

注:同行标有“*”表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Notes: Values in the same row with “*” mean significant difference ($P < 0.05$).

2.2 胚胎质量

两规格亲本所产胚胎卵经、单卵湿重和单卵干重如表 4 所示。规格 I 和规格 II 亲本所产胚胎直径几乎一致,分别为 365.92 μm 和 362.38 μm,

两规格之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。规格 II 亲本单卵湿重和单卵干重分别为 64.63 μg 和 11.54 μg,均略高于规格 I 亲本 (62.03 μg 和 11.44 μg),但两者之间同样无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 4 不同规格中华绒螯蟹亲本卵径和卵重差异

Tab. 4 Egg diameter and egg weight of *E. sinensis* broodstock with different body sizes

项目 Items	规格 I Size I	规格 II Size II	P
卵径 Egg diameter/μm	365.92 ± 11.91	362.58 ± 18.56	0.182
单卵湿重 Egg wet weight /μg	62.03 ± 3.32	64.63 ± 9.53	0.060
单卵干重 Egg dry weight /μg	11.44 ± 0.26	11.54 ± 0.34	0.123

两规格抱卵蟹蟹卵基于干重的常规生化组成如表 5 所示,规格 I 亲本胚胎的水分、粗蛋白、灰分含量均略高于规格 II 亲本胚胎,仅总脂含量

略低于规格 II 亲本,但各组指标均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表5 不同规格抱卵蟹的蟹卵常规生化成分比较(干质量)

Tab. 5 Proximate composition of *E. sinensis* broodstock with different body sizes (dry mass)

项目 Items	规格 I Size I	规格 II Size II	P
水分 Moisture/%	84.03 ± 1.11	83.65 ± 0.22	0.105
总脂 Crude lipid /%	18.91 ± 1.38	19.05 ± 1.99	0.280
粗蛋白 Crude protein /%	60.01 ± 2.40	58.21 ± 4.38	0.131
灰分 Ash/%	13.56 ± 0.84	12.54 ± 1.43	0.189

2.3 摄食及变态情况

两规格亲本幼体培育期间的水温及投饵变化情况如图2所示,整个幼体培育期间水温变化幅度较大,变化范围在13~21℃,其中4月15日至4月20日及4月29日至5月2日为寒潮降温期。

两规格幼体培育期间的饵料投喂量在0.15~70 g/m²,其中蚤I幼体发育至蚤V幼体期间饵料投喂量逐日增加,当蚤状幼体变态为大眼幼体后,投喂量随之减少。就组间差异而言,规格II组幼体的饵料日投喂量整体高于规格I组幼体。

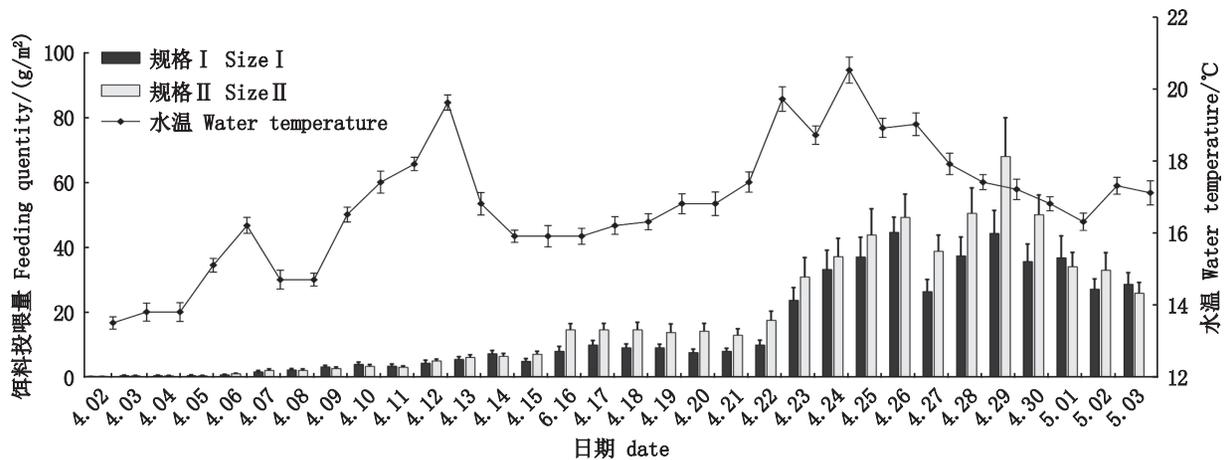


图2 幼体培育期间水温与饵料日投喂量变化情况

Fig. 2 Changes of water temperature and daily feeding quantity during juvenile cultivation

两规格幼体从蚤I蜕皮发育至蚤V期间的蜕壳周期均为4~5 d,随着水温的增加整体呈降低缩短趋势,但蚤V幼体变态为大眼幼体所需蜕皮周期急剧增加,为8 d左右(图3)。两规格幼体在各蜕皮阶段的蜕皮周期差异较小,均无显著差异($P>0.05$)。

2.4 育苗效果

两规格亲本最终育苗效果如表6所示。规格I亲本抱卵量显著高于规格II亲本(表3),但规格I亲本单位面积蟹苗产量(74.70 g)显著低于规格II亲本(89.95 g, $P<0.05$)。单蟹产苗量的组间差异情况与抱卵量一致,即规格I亲本单蟹产苗量显著高于规格II亲本($P<0.05$)。两规格饵料系数无显著差异($P>0.05$),均为5.4左右。就大眼幼体淡化率而言,规格I幼体淡化率仅为75.46%,远低于规格II亲本85.14%,相差近10%。

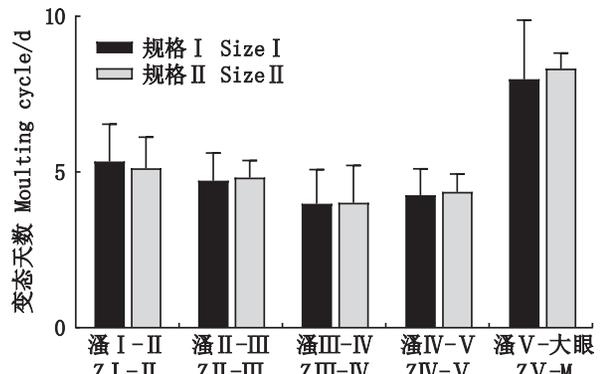


图3 幼体培育过程中各期幼体变态时间的变化情况

Fig. 3 Changes of larval metamorphosis time in each stage of larvae cultivation

3 讨论

3.1 生殖性能

研究^[14]表明,甲壳动物的抱卵速度与水体温度密切相关,水体温度过高或者过低均会严重影

响甲壳动物的抱卵速度。本实验中,两规格亲本抱卵率随着配对池塘水体温度由 9 °C 降至 0 °C 左右而持续呈增加趋势,但水体温度降低至 2 °C 后两规格亲本抱卵率的增长速度明显减缓,这暗示中华绒螯蟹配对抱卵所能承受最低温度为 2 °C 左右,水温低于 2 °C 将影响其配对抱卵。亲本的营养状况^[15]、卵巢发育状态^[16]及配对环境条件^[17]是影响甲壳动物配对及抱卵速度的关键因素,本研究中不同规格亲本在相同的池塘条件下交配,因此可能是亲本的营养状况和卵巢发育差异造成本实验中超大规格抱卵速度显著低于小规格亲本。中华绒螯蟹卵巢和肌肉中营养物质在性腺发育期间迅速积累,超大规格亲本由于生长周期

长,性腺成熟时间相对较晚,营养积累相应较少,这可能导致亲本较低的配对及抱卵速度^[18]。吴旭干等^[10]和刘丽等^[19]研究表明,中华绒螯蟹性腺发育期间在饲料中添加不同水平高不饱和脂肪酸(HUFA)可以加快亲本的抱卵速度,因此有望通过营养调控的方法提高超大规格亲本的配对及抱卵速度。抱卵蟹在养殖过程中的死亡是随着时间的推移逐渐发生的,其中大规格抱卵蟹成活率低是幼体繁育过程中普遍存在的问题。虽然超大规格抱卵蟹死亡率高的原因并不确定,但在配对及越冬过程中的低成活情况可以反映出其对某些潜在未知因素的抵抗力和耐受性较差。

表 6 不同规格亲本最终繁育效果
Tab. 6 Final breeding effect of *E. sinensis* broodstock with different body sizes

项目 Items	规格 I Size I				规格 II Size II			
	1#	2#	3#	平均值 Average	4#	5#	6#	平均值 Average
单产 Yield/(g/m ²)	105.32	51.23	67.57	74.70 ± 27.74	84.59	92.82	92.43	89.95 ± 4.64*
单蟹产苗量 Seedling yield of single crab/(kg/只)	2.54	1.66	2.42	2.21 ± 0.48*	1.37	1.39	1.23	1.33 ± 0.09
饵料系数 FCR	4.98	6.55	4.69	5.41 ± 1.00	5.60	4.74	5.96	5.43 ± 0.63
淡化率 Dilution ratio/%	75.46				85.14			

注:同行标有*表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same row with * mean significant difference ($P < 0.05$).

本研究中虽然超大规格母本的平均体质量比小规格母本高 100%,超大规格母本的平均抱卵量仅比小规格母本高 70%,说明超大规格母本单位体质量的抱卵量明显低于小规格母本亲本,这在生殖力和生殖指数的组间差异上也得到了体现。生殖力和生殖指数分别是衡量甲壳动物单位体重产卵量和卵重的指标,本研究中超大规格母本生殖力和生殖指数均显著低于对照组亲本,这与先前研究中甲壳动物生殖力和生殖指数与其体质量呈负相关的结论相一致^[8]。本研究中超大规格和小规格在胚胎直径、单卵湿重和单卵干重等方面均无明显差异,卵重方面不存在显著差异,这也表示中华绒螯蟹胚胎中常规生化组成、卵经、单卵干重和单卵湿重相对稳定,受规格的影响较小。此外先前的研究发现中华绒螯蟹不同亲本来源^[20-21]所产胚胎的常规生化组成、卵经和卵重通常差异不显著,在其他甲壳动物中也有相同的结论^[22-23]。

3.2 育苗效果

不同规格亲本所产幼体在各个时期的蜕皮周期没有明显差异,与之前殷乐等^[24]和王少兵等^[9]在土池生态繁育条件下比较不同规格亲本生殖性能差异的研究结果相一致。本实验中虽然超大规格亲本抱卵量显著高于规格 II 亲本(表 3),但由于超大规格亲本单位面积产卵蟹数量较低(超大规格抱卵蟹 24 只/667 m²,对照组抱卵蟹 48 只/667 m²),导致超大规格亲本单产(74.7 g/m²)显著低于对照组亲本(89.95 g/m², $P < 0.05$)。与两规格母本抱卵量差异类似,本研究中大规格母本的单蟹产苗量同样比小规格高 70% 左右,这说明两规格母本所产幼体在培育期间的成活率接近^[9,25]。大眼幼体淡化是中华绒螯蟹繁育的重要步骤之一,淡化密度、淡化时机及淡化模式等都是影响淡化效果的重要因素。淡化密度过高或过低都不利于淡化的成效,密度过高会造成存活率下降,过低会造成淡化成本的增加。此外,淡化时机的选择尤为重要,淡化时间过早会导致大

眼幼体嫩弱、淡化损伤高及淡化率低,淡化过晚会造成大眼幼体诱捕不彻底及产量减少^[26]。本实验中超大规格淡化率低于小规格可能与淡化时间有关,超大规格溞状幼体变态周期长、发育速度慢,同一时间捕捞淡化导致幼体较为嫩弱的超大规格在淡化期间损伤大且成活率低,因此选择合适的淡化时机尤为重要。

综上所述,根据对两种规格繁殖性能和育苗效果的评估,超大规格中华绒螯蟹在越冬成活率和淡化率方面低于小规格,但超大规格单个亲本能够产出更多的幼体并产生更高的经济价值。因此还需更深层次地研究优化超大规格亲本成活率较低的问题。

参考文献:

- [1] CHENG Y X, WU X G, LI J Y. Chinese mitten crab culture: current status and recent progress towards sustainable development [M]//GUI J F, TANG Q S, LI Z J, et al. Aquaculture in China: Success Stories and Modern Trends. Oxford: John Wiley & Sons Ltd., 2018: 197-217.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 陈军伟, 马旭洲, 王武, 等. 不同规格中华绒螯蟹母本子子代的生长特性比较 [J]. 动物学杂志, 2016, 51(5): 895-906.
CHEN J W, MA X Z, WANG W, et al. The comparative study on growth characteristics of offspring produced by female parents with different weight of the Chinese mitten crab (*Eriocheir Sinensis*) [J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(5): 895-906.
- [5] 范陈伟, 姜晓东, 吴旭干, 等. 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在扣蟹阶段养殖性能的比较研究 [J]. 水产科技情报, 2021, 48(1): 33-39.
FAN C W, JIANG X D, WU X G, et al. Effects of broodstock size on juvenile culture performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(1): 33-39.
- [6] 陈蓝荪. 我国河蟹市场发展动向及思考 [J]. 水产科技情报, 2016, 43(5): 269-275.
CHEN L S. Development trend and thinking of *Eriocheir sinensis* market [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(5): 269-275.
- [7] 万全, 苏时萍, 马浩强, 等. 长江野生中华绒螯蟹育苗性能的初步研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(3): 406-410.
WAN Q, SU S P, MA H Q, et al. Preliminary study on the breeding performance for wild Yangtze River brood stocks of Chinese mitten crab [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2013, 40(3): 406-410.
- [8] 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.
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.
- [9] 王少兵, 刘乃更, 姜晓东, 等. 三种亲本规格河蟹土池育苗的试验总结 [J]. 科学养鱼, 2019(6): 12-13.
WANG S B, LIU N G, JIANG X D, et al. Experimental summary of seedling rearing in soil pond of *Eriocheir sinensis* with three broodstock sizes [J]. Scientific Fish Farming, 2019(6): 12-13.
- [10] 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.
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.
- [11] WU X G, ZENG C S, SOUTHGATE P C. Ontogenetic patterns of growth and lipid composition changes of blue swimmer crab larvae: insights into larval biology and lipid nutrition [J]. Marine and Freshwater Research, 2014, 65(3): 228-243.
- [12] AOAC. Official methods of analysis [M]. 16th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [13] 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.
- [14] 彭刚, 林海, 陶胜, 等. 快速升温对红螯螯虾交配及抱卵的影响 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(20): 188-190.
PENG G, LIN H, TAO S, et al. Impacts of rapid warming on mating and egg holding of *Cherax quadricarinatus* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 188-190.
- [15] SHOFIQUZZOHA A F M, HAQUE S M, WAHAB M A. Reproductive performance of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) broodstocks grown on different diets [J]. Journal of the Bangladesh

- Agricultural University, 2016, 14(2): 229-234.
- [16] RACOTTA I S, PALACIOS E, IBARRA A M. Shrimp larval quality in relation to broodstock condition [J]. *Aquaculture*, 2003, 227(1/4): 107-130.
- [17] 江新琴, 俞存根, 陈全振. 蟹类繁殖力和卵巢发育研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 281-286.
JIANG X Q, YU C G, CHEN Q Z. Review of reproductive biology of Brachyuran [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2007, 16(3): 281-286.
- [18] LONG X W, GUO Q, WANG X C, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of adult female Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture*, 2020, 519: 734748.
- [19] 刘丽, 姜晓东, 吴旭干, 等. 育肥饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(4): 501-510.
LIU L, JIANG X D, WU X G, et al. Effects of dietary fish oil replacement by vegetable oils on reproductive performance of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(4): 501-510.
- [20] 李清清, 吴旭干, 姜晓东, 等. 长江水系野生和养殖中华绒螯蟹生殖性能、胚胎色泽和生化组成的比较[J]. 水产学报, 2019, 43(4): 858-866.
LI Q Q, WU X G, JIANG X D, et al. Comparison of the reproductive performance, egg colour and biochemical composition between wild-caught and pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) broodstock originated from Yangtze population [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(4): 858-866.
- [21] 孙秋凤, 姜晓东, 徐建峰, 等. 长江和闽江水系野生中华绒螯蟹生殖性能及其胚胎生化组成的比较[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(2): 226-233.
SUN Q F, JIANG X D, XU J F, et al. Comparison of the reproductive performance and their biochemical composition of the wild female *E. sinensis* broodstock between the Yangtze and Minjiang populations [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(2): 226-233.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 殷乐, 姜晓东, 王海宁, 等. 不同品系中华绒螯蟹土池生态育苗效果比较[J]. 水产科技情报, 2022, 49(4): 193-199.
YIN L, JIANG X D, WANG H N, et al. Comparison on ecological breeding effects of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from different strains [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(4): 193-199.
- [25] 茅海成, 王高龙, 杨永超, 等. 中华绒螯蟹不同规格亲蟹池塘生态育苗效果的生产性评估[J]. 水产科技情报, 2014, 41(5): 233-236.
MAO H C, WANG G L, YANG Y C, et al. Productive evaluation of ecological seedling rearing effect of different size broodstock crab ponds for *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2014, 41(5): 233-236.
- [26] 徐如卫. 中华绒螯蟹大眼幼体土池淡化管理技术的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2008, 27(1): 43-45, 50.
XU R W. Study on managerial techniques for freshening megalopa of *Eriocheir sinensis* bred in earth-ponds [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2008, 27(1): 43-45, 50.

Evaluation on reproductive performance and breeding effect of super-sized Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

YIN Le^{1,2}, JIANG Xiaodong³, CHENG Yongxu^{1,2,4}, WU Xugan^{1,2,4}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Institute of Mariculture Breeding and Seed Industry, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, Zhejiang, China; 4. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) is an important economic crab in China. It occupies an important position in the fishery economy, with an annual output value of more than 100 billion yuan. Although there are five *E. sinensis* varieties approved by China National Committee for Original and Improved Aquatic Species, they cannot fully meet the diversified needs of *E. sinensis* breeding industry. The breeding of super-sized *E. sinensis* broodstock has been a revolution in the crab industry since 2019. The use of offspring of super-sized broodstock for adult crab culture has indeed effectively improved the crab cultivation specifications. Super-sized broodstocks can produce a large number of eggs, and the offspring of super-sized broodstocks have obvious growth advantages at the juvenile crab stage and the adult crab culturing stage, and the price of megalopa bred by super-sized broodstocks is also relatively high. Therefore, nursery workers tend to use super-sized crabs as broodstocks for breeding work. However, in the artificial breeding process, the selection of broodstock weight of *E. sinensis* varies greatly. Now, it is popular to use super-sized broodstock to breed offspring, but the reproductive performance and breeding effect of super-sized broodstock are not clear. In this study, the broodstock of super-sized strains (Size I : dam weight ≥ 300 g, sire weight ≥ 400 g) were used as the experimental object, and the broodstock with smaller size (Size II : dam weight ≥ 150 g, sire weight ≥ 250 g) were used as the control group. The effects of broodstock sizes on reproductive performance and egg quality were compared, and the ecological breeding effects of these two strains were further discussed. The results showed that: (1) In terms of reproductive performance, the survival rate, fecundity and reproductive effort of Size I broodstock were significantly lower than those of Size II, and the egg production was significantly higher than that of Size II; There were no significant differences in egg diameter, egg weight, moisture, crude protein, total lipid and ash contents. (2) In terms of breeding effect, the feeding amount for larvae showed a “low-high-low” trend during the breeding period, and the highest feeding amount was observed between Zoea V and the megalopa stage. Although the seedling yield of single crab in Size I was significantly higher than that of Size II, the per unit area yield was significantly lower in Size II broodstock, and the dilution ratio was also relatively lower in Size II broodstock. In conclusion, although the super-sized broodstock exhibited significantly higher broodstock quantity and individual seedling yield compared to the small-sized parental stock, the super-sized parental stock demonstrated lower broodstock incubation rate, survival rate, and dilution rate compared to the small-sized broodstock. Further research is needed to explore how nutritional regulation can be utilized to enhance the reproductive performance of super-sized broodstock.

Key words: *Eriocheir sinensis*; broodstock weight; reproductive performance; egg quality; breeding effect