

DOI: 10.12264/JFSC2023-0301

超大规格中华绒螯蟹繁育子代生长性能及养殖效果

梁梓龙^{1, 2, 3}, 姜晓东⁴, 张光宝^{1, 2, 3}, 吴旭干^{1, 2, 3}

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. 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;
4. 浙江万里学院宁海海洋生物种业研究院, 浙江 宁波 315100

摘要: 为评估中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)超大规格亲本(母本 ≥ 300 g, 父本 ≥ 400 g)繁育子代的养殖效果, 本研究以正常规格亲本(300 g $\geq$ 母本 ≥ 150 g, 400 g $\geq$ 父本 ≥ 250 g)作为对照, 比较了超大规格和正常规格中华绒螯蟹繁育子代 F1 在扣蟹及成蟹阶段的生长性能和养殖效果差异。结果显示: (1) 超大规格组个体在豆蟹、扣蟹及成蟹阶段的平均体重均一直高于对照组, 其中扣蟹和成蟹体重分别于 9—11 月和 7 月差异显著($P<0.05$); (2) 生殖蜕壳及性腺发育方面, 超大规格组雄体和雌体在 9 月 5 日至 9 月 25 日和 7 月 25 日至 9 月 5 日期间的生殖蜕壳率分别显著低于对照组($P<0.05$), 此外, 超大规格组雌体的性腺指数在性腺发育前期(9 月 10 日)显著低于对照组($P<0.05$), 雄体则在性腺发育中期(10 月 10 日)显著较低($P<0.05$); (3) 超大规格组在扣蟹阶段的产出重量和成蟹阶段的最终产量均高于对照组, 其中雄体在扣蟹阶段的产量与对照组差异显著($P<0.05$); (4) 就规格分布而言, 超大规格组雌雄个体中大规格扣蟹(>12 g)及大规格成蟹(雄蟹 >230 g, 雌蟹 >200 g)所占比例均显著高于对照组, 且超大规格组中小规格扣蟹及小规格成蟹所占比例显著低于对照组($P<0.05$)。综上所述, 在扣蟹和成蟹养殖阶段, 超大规格亲本繁育子代相较于对照组具有更快的生长速度和更高的产量, 且子代中大规格蟹的比例显著高于对照组, 由此认为超大规格亲本繁育子代具有更高的经济效益优势。

关键词: 中华绒螯蟹; 亲本规格; 养殖性能; 生殖蜕壳; 性腺发育

中图分类号: S966

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)02-0197-12

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)简称河蟹, 年产值达 1000 亿元以上, 是我国重要的经济养殖蟹类之一^[1-2]。我国中华绒螯蟹养殖初期主要依赖野生苗种, 但随着中华绒螯蟹产业的快速发展, 野生蟹苗的数量无法满足养殖户日益增长的需求, 严重制约了中华绒螯蟹养殖业的发展^[3]。20 世纪 80 年代起, 我国相继突破中华绒螯蟹育苗技术和扣蟹培育技术, 打破了依赖野生苗种进行人工养殖的局面, 促进了我国中华绒螯蟹池塘养殖业的快速发展^[4-6]。由于各个育苗企业技术参差不齐,

为了降低成本以及增加苗种成活率, 许多育苗场将小规格中华绒螯蟹以及性早熟蟹作为亲本, 使得其子代养成的商品蟹平均规格偏小, 加上无序引种和苗种盲目放流, 导致近年来中华绒螯蟹种质退化, 表现为中华绒螯蟹一龄性早熟率高、商品蟹规格小等缺点, 严重制约了中华绒螯蟹养殖产业的可持续发展^[7-9]。

先前研究表明, 遗传选育、低密度养殖和投喂高蛋白饲料都可以获得一定比例的大规格成蟹^[10-12], 通过遗传选育获得的“大规格中华绒螯蟹品种”具

收稿日期: 2023-12-13; 修订日期: 2023-12-28.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2400702); 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: 梁梓龙(2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向为河蟹养殖技术和良种培育. E-mail: 2847044155@qq.com

通信作者: 吴旭干, 教授, 研究方向为河蟹养殖技术和良种培育. E-mail: xgwu@shou.edu.cn

有遗传稳定、表型优异和成活率高等优点,因此上市规格一直是中华绒螯蟹遗传选育的重要方向^[8]。超大规格中华绒螯蟹(雌体 300 g 以上,雄体 400 g 以上)的养殖是近年来中华绒螯蟹产业界的一次变革,同时越来越多的育苗企业将超大规格中华绒螯蟹作为亲本用于大眼幼体繁育,但是国内外尚未见超大规格中华绒螯蟹繁育后代养殖效果的研究,迫切需要在此方面进行攻关。本研究在相同的养殖环境和管理条件下,从生长性能和性腺发育等方面评估超大规格中华绒螯蟹繁育子代在扣蟹和成蟹阶段的养殖效果,用于进一步开展中华绒螯蟹的种质资源评价和良种培育研究,为实际生产养殖中中华绒螯蟹亲本的选择提供数据支撑和实践参考。

1 材料与方法

1.1 扣蟹阶段养殖实验

1.1.1 大眼幼体来源 2020 年 11 月,在上海海洋大学崇明产学研基地收集对照组(规格 I)及超大规格(规格 II)亲本,挑选活力良好、个体完好无附肢损伤的 2 龄长江水系中华绒螯蟹作为亲本并运输至射阳育种基地进行交配,亲本雌雄配对比例为 3:1(表 1)。2021 年 4 月开展土池生态幼体繁育,5 月将淡化后的大眼幼体运送至上海海洋大学崇明基地,用于进一步的扣蟹室外网箱养殖实验。

表 1 不同规格中华绒螯蟹亲本的平均体重及数量

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

$\bar{x} \pm \text{SD}$

组别 item	雌体 female		雄体 male	
	体重/g body weight	数量/只 number	体重/g body weight	数量/只 number
规格 I size I	160.27±19.58	424	250.61±18.38	148
规格 II size II	320.92±29.52	302	418.42±33.72	91

注:表中规格 I 组为对照组,规格 II 组为超大规格组。

Note: size I in the table is control group, size II in the table is oversized group.

1.1.2 扣蟹阶段养殖管理 实验设置 4 个面积相等的池塘(长×宽=7.8 m×7.8 m)进行网箱养殖,在

每个池塘中临近的位置架设两个长×宽×高=2 m×2 m×1 m 的网箱,网箱孔径为 0.425 mm,网箱上沿设有 30 cm 高的双层塑料板。实验开始前在每个网箱中放入适量的伊乐藻(*Elodea nuttallii*),净化水质的同时为大眼幼体提供隐蔽场所,在每个网箱中放入约 10 g 对应亲本的大眼幼体,每天投喂破碎料 1~5 g。6 月中旬时调整每个网箱内豆蟹数量(雌雄各 200 只),并使用水花生(*Alternanthera philoxeroides*)替代伊乐藻完成后续实验。喂料时间固定为每天下午 5:30,投喂量为蟹体重的 2%~6%,投喂量根据残饵以及天气情况调整。每半月梳理 1 次水花生,方便投喂的同时避免其覆盖面积过大造成水中溶氧不足以及水质恶化。

1.1.3 数据采集 调整密度前统计每个网箱内豆蟹数量并称重,计算大眼至豆蟹阶段的成活率、增重率(weight gain rate, WGR)和增重倍数。调整密度后,每月 20 日从每个网箱中随机采样 100 只豆蟹(雌雄各半),擦干体表水分后用电子天平(精确度=0.01 g)精确称重,据此计算每月扣蟹的 WGR,计算公式如下:

$$\text{WGR}(\%) = 100 \times (W_t - W_{t-1}) / W_{t-1}$$

式中, W_t 和 W_{t-1} 分别为第 t 月和 $t-1$ 月各组扣蟹的平均体重(g)。

8 月中旬之后每次打样时观察是否存在早熟蟹,发现后及时取出、称量并记录。实验于 11 月 20 日结束,分性别统计各个网箱正常扣蟹及早熟蟹的数量和总重,据此计算各组在扣蟹阶段的养殖性能。根据体重差异将正常扣蟹划分为 6 个等级: <2.99 g、3.00~5.99 g、6.00~8.99 g、9.00~11.99 g、12.00~14.99 g 和 ≥15.00 g,分别统计各规格扣蟹所占群体比例。

1.2 成蟹阶段养殖实验

1.2.1 实验用蟹种来源 扣蟹养殖实验结束后,挑选规格相近、体表无伤且肢体健全的实验蟹用于进一步的成蟹养殖实验,养殖实验于 2022 年 2—11 月在上海海洋大学崇明基地进行,选用 8 个面积相等(长×宽=12 m×8 m)池塘,每群体设置 4 个平行池塘。每个实验池塘放扣蟹 200 只,雌雄各半,初始密度约为 2 个/m²。

1.2.2 养殖管理 自 2021 年 12 月开始对实验池

塘进行干塘及晒塘处理, 22 年 3 月初使用漂白粉对实验池塘进行消毒处理, 用量为 30 g/m²。泼洒漂白粉两周后开始种植伊乐藻, 株距为 1.5 m, 行距为 2 m, 并根据水草的生长情况合理控制水位。实验期间依次投喂配合饲料(3 月 15 日—7 月 31 日)和发酵饲料(8 月 1 日—11 月 15 日), 投喂量为蟹体重的 3%~5%, 根据水温和残饵及时调整投喂量。

1.2.3 数据采集 自 3 月 15 日起, 每隔 60 d 左右用地笼网抓捕采样, 每个池塘随机采集雌雄个体各 20 只, 擦干体表水分后精确称重(精确到 0.01 g), 据此计算各采样时间点中华绒螯蟹平均体重及 WGR。雌雄个体分别于 7 月 25 日和 8 月 15 日起每隔 20 d 从每个池塘采集雌雄个体各 20 只并判断其是否已完成生殖蜕壳, 据此计算生殖蜕壳率(puberty molting rate, %)。

为了比较两个群体在成蟹养殖阶段的性腺发育速度, 当观察到各组完成生殖蜕壳的比例达到 80%后, 分别于 9 月 20 日, 10 月 20 日及 11 月 20 日从各池塘内随机采集 5 只成蟹, 擦干体表水分后精确称重(精确到 0.01 g), 随后解剖取出全部肝胰腺和性腺并称重(精确到 0.01 g), 据此计算肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI)和性腺指数(gonadosomatic index, GSI), 公式如下:

$$HSI(\%) = W_H/W \times 100\%$$

$$GSI(\%) = W_G/W \times 100\%$$

式中, W_H 为肝胰腺重; W_G 为性腺重; W 为对应的中华绒螯蟹体重。

实验于 11 月 25 日停止, 排干实验塘后, 对所有的成蟹按体重进行分级, 雄蟹分为 5 级: <140.00 g、140.00~169.99 g、170.00~199.99 g、200.00~229.99 g 和 ≥230.00 g; 雌蟹分为 5 级: <110.00 g、110.00~139.99 g、140.00~169.99 g、170.00~199.99 g 和 ≥200.00 g, 分别统计两个群体成蟹各规格所占比例。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS 27.0 软件对实验数据进行统计分析, 数据均以“平均值±标准差”($\bar{x} \pm SD$)表示。用 Levene 法进行方差齐性检验, 当不满足齐性方差时进行反正弦或平方根处理。采用 ANOVA 法对

实验结果进行方差分析, 采用 Duncan’s 法进行多重比较, 取 $P<0.05$ 为差异显著。在 GraphPad Prism 8 软件上绘制相关图表。

2 结果与分析

2.1 扣蟹阶段养殖性能

2.1.1 大眼至豆蟹期间养殖性能 两种规格亲本子一代在大眼幼体至豆蟹阶段的养殖性能如表 2 所示。规格 II 组仔蟹的平均体重较规格 I 组高 13.79%, 且两组之间差异显著($P<0.05$), 增重倍数的差异情况与体重类似。就成活率而言, 规格 II 组在大眼幼体至豆蟹阶段的成活率比规格 I 组高 9.87%, 但组间并无显著性差异($P>0.05$)。

表 2 不同规格中华绒蟹亲本子一代在大眼幼体至豆蟹阶段的养殖性能

Tab. 2 Effects of broodstock size on F1 growth performance of *Eriocheir sinensis* during pea-sized juvenile rearing stage

$n=4; \bar{x} \pm SD$

项目 item	规格 I size I	规格 II size II
平均体重/g body weight	0.29±0.03	0.33±0.06*
成活率/% survival rate	25.32±3.40	27.82±1.68
增重倍数 weight gain multiple	41.95±4.00	48.89±8.30*

注: 同行标有*表示组间差异显著($P<0.05$)。表中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组

Note: Values in the same row with * mean significant difference between groups ($P<0.05$). Size I in the table is control group, size II in the table is oversized group.

2.1.2 豆蟹至扣蟹阶段养殖性能 图 1 为超大规格组和对照组在扣蟹阶段体重的变化情况。两群体扣蟹平均体重在养殖实验期间均呈明显增长趋势, 并且超大规格组扣蟹的平均体重均大于对照组。就雄体而言, 超大规格组扣蟹在 8—11 月的平均体重显著高于对照组($P<0.05$); 就雌体而言, 9—11 月超大规格组扣蟹的平均体重显著高于对照组, 其余月份两组扣蟹平均体重无显著差异($P>0.05$)。

图 2 为两组扣蟹在实验期间的增重率变化情况。随着养殖时间的增长, 两组扣蟹增重率总体呈下降趋势。不论雌雄, 超大规格组在 6—7 月和

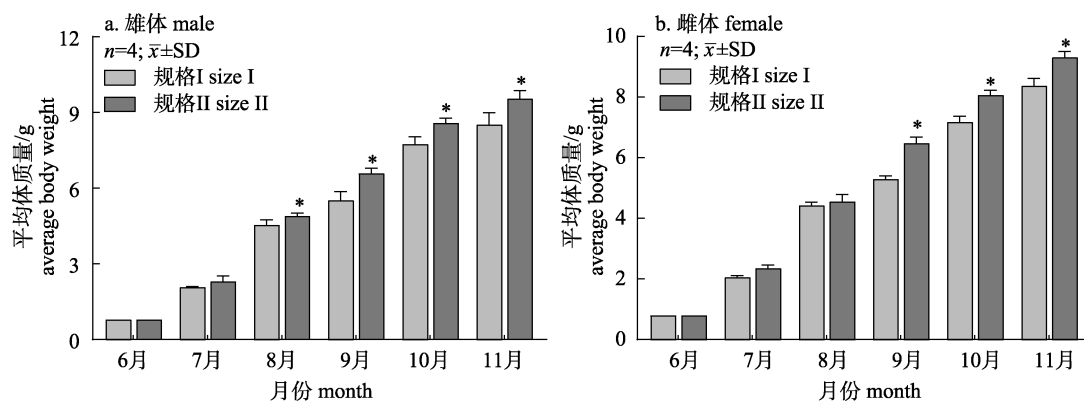


图 1 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在扣蟹养殖阶段的平均体重变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P < 0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 1 Effects of broodstock size on F1 average body weight of *Eriocheir sinensis* during coin-sized juvenile culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P < 0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

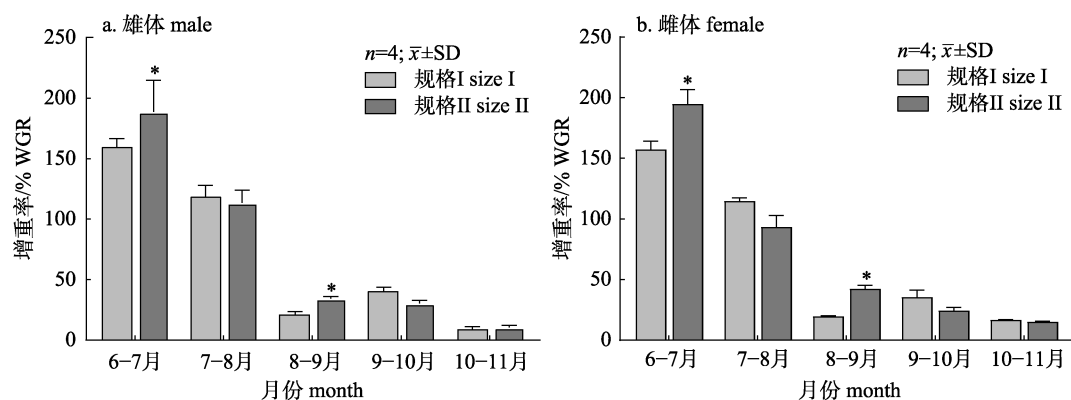


图 2 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在扣蟹养殖阶段的增重率变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P < 0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 2 Effects of broodstock size on F1 WGR of *Eriocheir sinensis* during coin-sized juvenile culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P < 0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

8—9 月期间增重率显著高于对照组($P < 0.05$), 而在 7—8 月期间则低于对照组, 但无显著差异($P > 0.05$)。

2.1.3 扣蟹规格分布 两种规格亲本在扣蟹阶段的规格分布情况如图 3 所示。对照组扣蟹体重主要集中于 3~5.99 g 和 6~8.99 g 规格区间内, 其中这两个区间内雌雄个体所占比例分别为 52.49% 和 50.08%; 超大规格组扣蟹体重主要集中于 6~8.99 g 和 9~11.99 g 规格区间内, 两个区间内雌雄个体所占比例分别为 60.45% 和 57.89%。无论雄体还是雌体, 对照组扣蟹在 0~2.99 g 和 3.00~5.99 g 规格范围内所占的比例显著较高, 此外,

超大规格组雄体在 6~8.99 g、9.00~11.99 g 和 ≥ 15.00 g 规格区间内占比显著较高, 其雌体在 9~11.99 g 和 12.00~14.99 g 规格范围内占比显著较高($P < 0.05$)。

2.1.4 扣蟹养殖效果 两种规格亲本子一代在扣蟹养殖阶段的养殖效果差异见表 3。超大规格组扣蟹雄体和雌体平均体重分别比对照组高 11.96% 和 11.10%, 且两组之间差异显著($P < 0.05$), 超大规格组雄雌个体成活率同样高于对照组个体, 但并无显著差异($P > 0.05$)。就一龄性早熟率而言, 超大规格组雄体一龄性早熟率较对照组高但无显著差异($P > 0.05$), 而雌体早熟率显著低于对照组

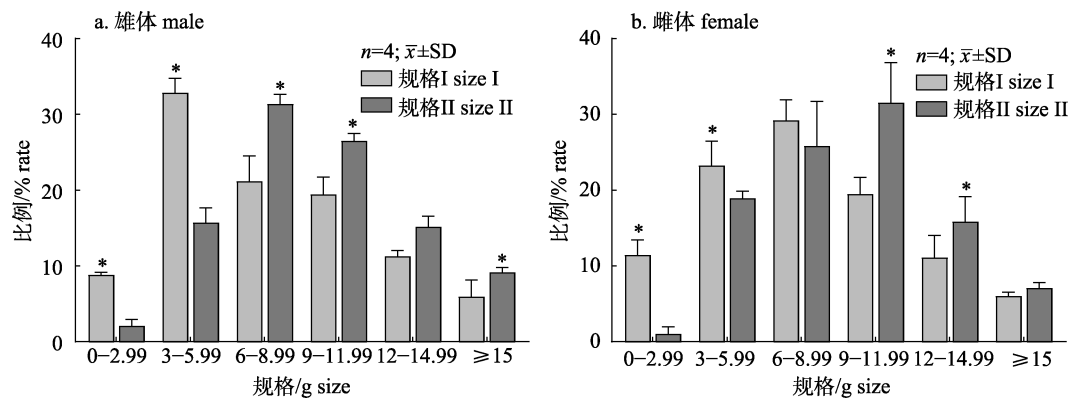


图 3 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代扣蟹规格分布情况
a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.
Fig. 3 Effects of broodstock size on F1 body weight distribution of *Eriocheir sinensis* during juvenile culture stage
a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P<0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

表 3 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代扣蟹的养殖效果差异			
Tab. 3 Effects of broodstock size on F1 breeding effect of <i>Eriocheir sinensis</i> during juvenile culture stage			
n=4; $\bar{x} \pm SD$			
项目 item		规格 I size I	规格 II size II
平均体重/g average body weight	雄体 male	8.53±0.46	9.55±0.31*
	雌体 female	8.38±0.23	9.31±0.19*
成活率/% survival rate	雄体 male	29.33±1.26	32.00±1.32
	雌体 female	28.83±3.69	31.00±4.09
一龄性早熟率/% precocious rate	雄体 male	3.38±1.65	3.64±0.85
	雌体 female	4.01±0.48*	2.64±0.66
产量/(g/m ²) yield	雄体 male	132.84±2.06	158.78±12.24*
	雌体 female	130.49±15.39	150.75±23.07
饵料系数 FCR	整体 total	3.30±0.07*	2.64±0.12

注: 同行标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 表中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.
Note: Values in the same row with * are significantly different ($P<0.05$). Size I in the table is control group, size II in the table is oversized group.

($P<0.05$). 产出重量方面, 超大规格组雄体的产出重量显著高于对照组($P<0.05$), 雌体高于对照组但无显著差异($P>0.05$). 饵料系数(FCR)方面, 超大规格组 FCR 整体显著低于对照组($P<0.05$).

2.2 成蟹养殖阶段养殖性能

2.2.1 成蟹阶段生长性能 超大规格组和对照组实验蟹在成蟹阶段的平均体重变化如图 4 所示。

无论雄体还是雌体, 两群体平均体重在成蟹养殖阶段均呈上升趋势, 并且超大规格组个体在 3—11 月的平均体重一直高于对照组, 其中 7 月份体重差异显著。两群体在成蟹养殖阶段增重率(WGR)的变化情况见图 5。无论雄体还是雌体, 超大规格组个体 5—7 月 WGR 显著高于对照组个体($P<0.05$), 而 7—9 月期间 WGR 显著低于对照组($P<0.05$), 其余时间段 WGR 组间差异较小。

2.2.2 成蟹阶段生殖蜕壳及性腺发育 两个群体实验蟹生殖蜕壳率差异情况如图 6 所示。各组实验蟹生殖蜕壳率在性腺发育期间逐渐上升, 其中雌蟹整体生殖蜕壳时间早于雄蟹。就雄体而言, 前 3 次采样对照组实验蟹的生殖蜕壳比例始终高于超大规格组个体, 其中 9 月 5 日和 9 月 25 日两组之间差异显著($P<0.05$), 10 月 15 日两组实验蟹均已完成生殖蜕壳。就雌体而言, 对照组实验蟹的生殖蜕壳比例同样始终高于超大规格组个体, 其中 7 月 25 日至 9 月 5 日期间差异显著($P<0.05$), 9 月 25 日对照组个体全部完成生殖蜕壳。各组实验蟹在性腺发育期间的 GSI 和 HSI 变化情况如图 7 和图 8 所示。随着实验的进行, 各组实验蟹 GSI 呈上升趋势, 而 HSI 呈下降趋势。就 GSI 而言, 性腺发育前期(9 月 10 日)对照组雌体 GSI 显著高于超大规格组个体($P<0.05$), 性腺发育中期(10 月 10 日)对照组雄体 GSI 显著高于超大规格组个体, 其余时间点两群体性腺指数无显著差异($P>0.05$)。就

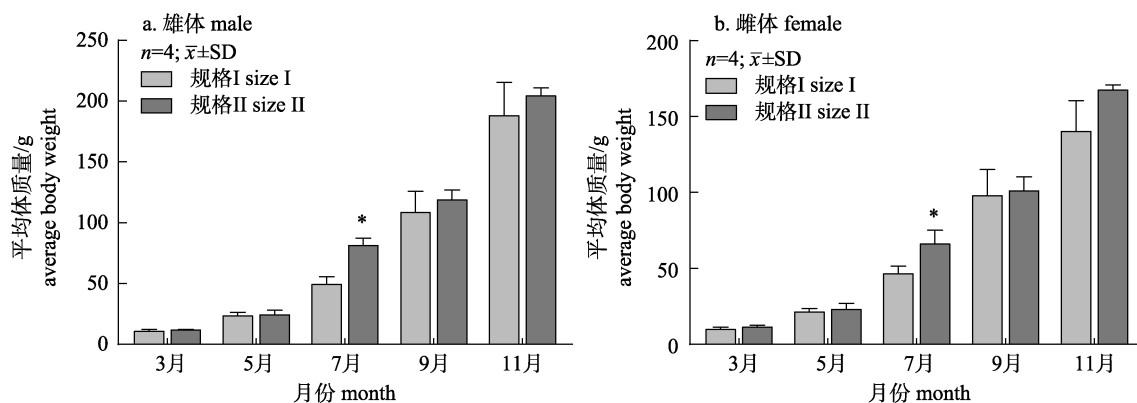


图 4 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在成蟹养殖阶段平均体重变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P < 0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 4 Effects of broodstock size on F1 average body weight of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P < 0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

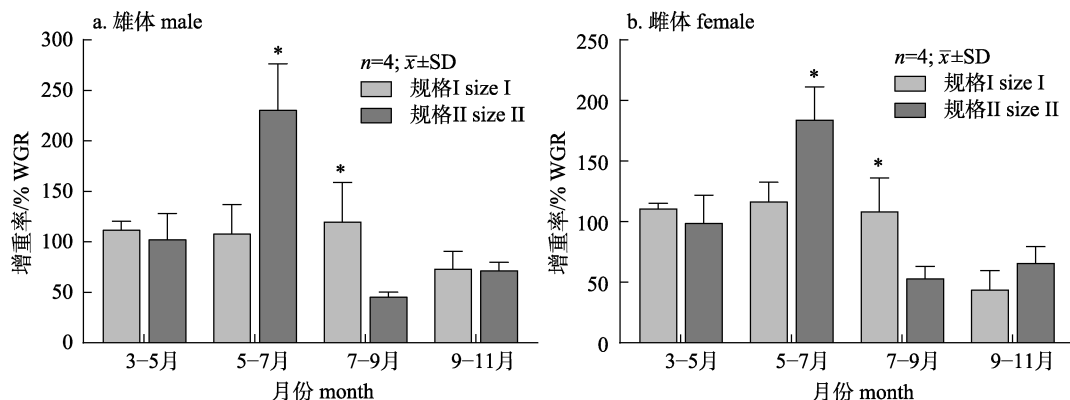


图 5 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在成蟹养殖阶段的增重率变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P < 0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 5 Effects of broodstock size on F1 WGR of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P < 0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

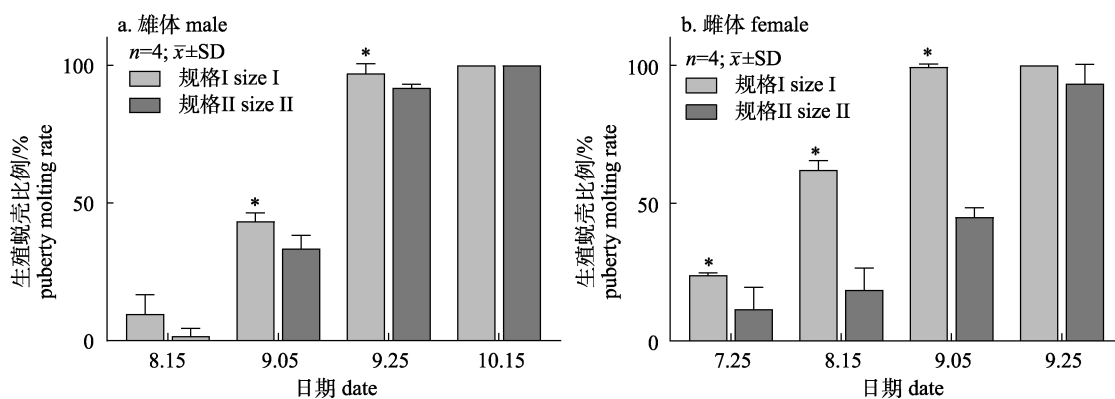


图 6 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在成蟹养殖阶段生殖蜕壳率的变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P < 0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 6 Effects of broodstock size on F1 puberty molting rate of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P < 0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

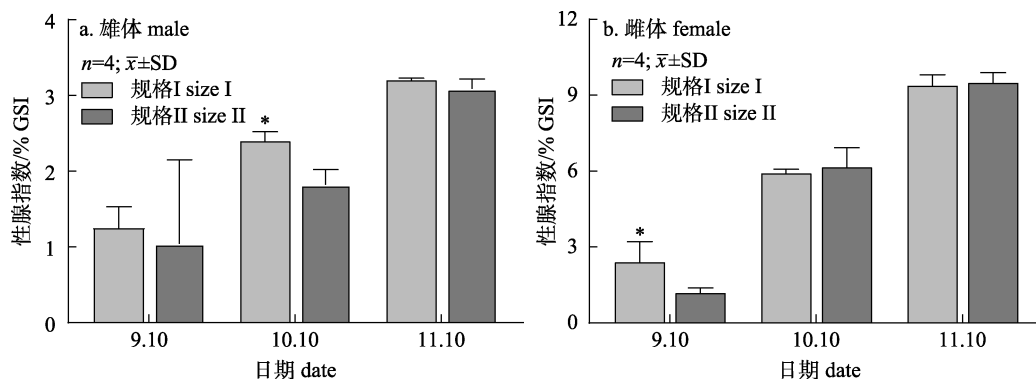


图7 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在成蟹养殖阶段性腺指数的变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 7 Effects of broodstock size on F1 GSI of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P<0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

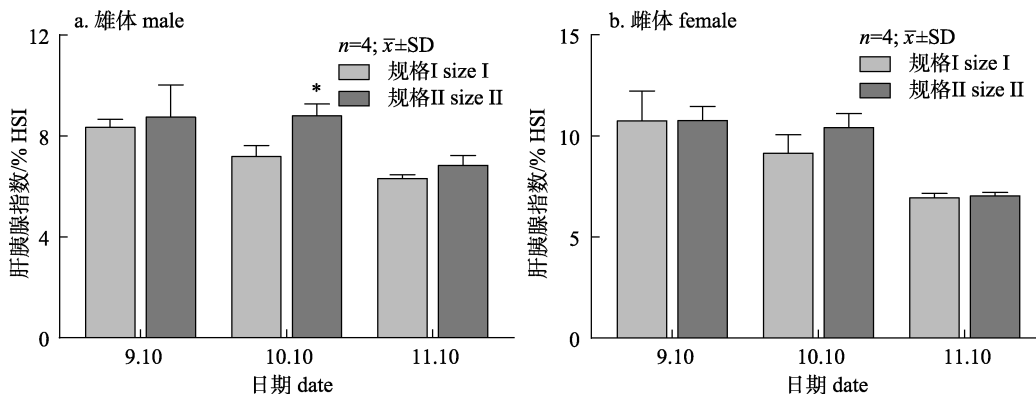


图8 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代在成蟹养殖阶段肝胰腺指数的变化情况

a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.

Fig. 8 Effects of broodstock size on F1 HSI of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage

a. Male; b. Female. * means significant difference between two sizes ($P<0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

HSI 而言, 超大规格组雄蟹在 10 月 10 日的 HSI 显著高于对照组($P<0.05$), 其余时间点超大规格组个体 HSI 略高于对照组, 但无显著差异($P>0.05$).

2.2.3 成蟹规格分布 图 9 为两群体成蟹最终规格分布情况。就雄体而言, 对照组实验蟹体重主要集中于 140~169.99 g 和 170~199.99 g 规格区间内, 超大规格组个体平均体重主要集中于 170~199.99 g 和 200~229.99 g 规格区间内, 并且对照组个体在 0~139.99 g 及 140~169.99 g 规格区间内所占比例显著较高, 超大规格组个体在 200~229.99 g 以及 ≥ 230 g 区间内所占比例显著较高($P<0.05$)。就雌体而言, 对照组实验蟹体重主要集中于 110~139.99 g 和 140~169.99 g 规格区间内, 超

大规格组个体平均体重主要集中于 140~169.99 g 和 170~199.99 g 规格区间内, 此外对照组个体在 <110 g 和 110~139.99 g 区间内比例显著较高, 超大规格组个体在 170~199.99 g 和 ≥ 200 g 区间内比例显著较高($P<0.05$)。

2.2.4 成蟹养殖效果 不同规格亲本子一代在成蟹阶段的养殖效果如表 4 所示。超大规格组雌雄个体最终平均体重分别比对照组高 22.61% 和 14.64%, 且差异显著($P<0.05$)。虽然超大规格组雌雄个体成活率均低于对照组, 且雌体差异显著, 但超大规格组雌雄个体最终产量仍分别比对照组高 20.79% 和 10.64%。超大规格组 FCR 略高于对照组, 但无显著差异($P>0.05$)。

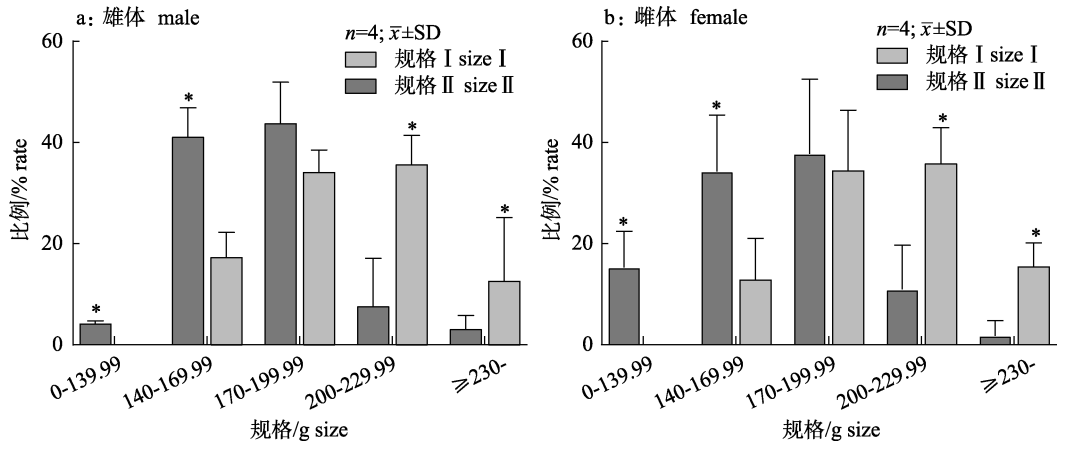


图 9 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代成蟹的规格分布
a. 雄体; b. 雌体. 柱形图上方标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 图中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组.
Fig. 9 Effects of broodstock size on F1 body weight distribution of *Eriocheir sinensis* during adult culture stage
a. male; b. female. * means significant difference between two sizes ($P<0.05$). Size I in the figure is control group, size II in the figure is oversized group.

表 4 不同规格中华绒螯蟹亲本子一代成蟹的平均体重、成活率和最终产量差异
Tab. 4 Effects of broodstock size on F1 final body weight, survival rate and yield of adult *Eriocheir sinensis*

		$n=4; \bar{x} \pm SD$	
项目 item		规格 I size I	规格 II size II
平均体重/g average body weight	雄体 male	188.74±26.71	216.38±7.09*
	雌体 female	140.83±19.84	172.67±9.81*
成活率/% survival rate	雄体 male	51.52±18.57	41.07±4.23
	雌体 female	55.76±5.55	42.32±2.05*
产量/(g/m ²) yield	雄体 male	80.48±25.41	89.04±11.54
	雌体 female	60.52±12.97	73.01±4.30
饵料系数 FCR	整体 total	2.57±0.09	2.76±0.24

注: 同行标有*表示两种规格间差异显著($P<0.05$). 表中规格 I 组为对照组, 规格 II 组为超大规格组
Notes: Values in the same row with * are significantly different ($P<0.05$). Size I in the table is control group, size II in the table is oversized group.

3 讨论

3.1 生长性能差异

研究发现甲壳类动物在生长性状方面具有较高的遗传力, 生长性能作为中华绒螯蟹养殖过程中极为重要的经济指标, 对最终的养殖效益具有巨大影响, 因此通过遗传选育提高甲壳动物的养殖性能具有广阔的前景^[13-14]. 为评估超大规格群体的养殖性能效果, 本实验将超大规格组及普通

规格组大眼幼体在相似的网箱环境下从仔蟹养至扣蟹, 随后挑选规格一致的两群体扣蟹在相似池塘条件下养殖至成蟹, 结果表明超大规格群体的生长性能在扣蟹及成蟹阶段均具有显著提升. 本实验中的两个群体实验蟹初始体重接近, 处于相同的养殖环境和管理条件下, 因此养殖过程中两个群体之间的生长性能差异为遗传特征差异的表现^[15].

有研究表明, 水产动物通过选择育种的方式可以使其子代获得优良性状^[16-18]. 虾蟹等甲壳动物在生长速度方面具有较高的遗传力水平, 因此可以通过选择大规格亲本来提高后代的生长性能^[19-20]. 本实验结果表明超大规格组最终养成雌雄扣蟹平均体重较对照组分别提高 11.10%和 11.96%, 最终养成雌雄成蟹平均体重较对照组分别提高 22.61%和 14.64%, 并且在养殖过程中超大规格组个体平均体重始终高于对照组. 研究表明中华绒螯蟹的体重与增重率等生长性状具有较高的遗传力, 其受环境因素的影响较小, 因此本实验中超大规格组所取得的生长性能优势是遗传导致, 这说明通过对亲本群体的选育能够达到改良子代生长性状的目的, 因此通过选育提升中华绒螯蟹的生长性能是切实可行的^[21].

3.2 性腺发育差异

1 龄性早熟蟹即在扣蟹养殖阶段性腺便已发

育成熟的蟹种^[22]。性早熟蟹若作为商品蟹上市,其规格小,售价低;若用于后续的成蟹养殖则存在死亡率高的问题,因此在扣蟹养殖阶段最大程度的降低性早熟比例是确保养殖效益的关键^[23]。本研究结果表明超大规格组性早熟蟹比例为3.14%,对照组则为3.70%,这可能是由于超大规格群体经过遗传选育后个体间生长差异较小,种间等级分化程度小。两组的性早熟率与以往文献中所报道的相比差异较大^[24-25],这可能是由于21年平均气温低,同时在夏季高温时及时添补了水花生并提高了水位高度,避免了由于积温过高而导致的扣蟹性早熟^[26]。

中华绒螯蟹的生长伴随着周期性的蜕壳,根据生长发育的不同阶段可分为发育蜕壳、生长蜕壳和生殖蜕壳3种形式,其中生殖蜕壳,即中华绒螯蟹在性成熟前进行的那一次蜕壳,是性腺快速发育的起始阶段^[27]。本实验结果表明中华绒螯蟹雄体生殖蜕壳的时间要晚于雌体,这与以往文献所报道的相一致^[21];其中超大规格组整体生殖蜕壳时间晚于对照组,这可能是由于超大规格群体平均规格大,相较于对照组需要积攒更多的能量用于蜕壳^[28-29]。生殖蜕壳之后,本实验中两个群体实验蟹GSI均随着时间逐渐上升,HSI则呈下降趋势。这是因为肝胰腺是中华绒螯蟹主要的营养物质储存器官,在中华绒螯蟹完成生殖蜕壳之后,肝胰腺中的营养物质会逐渐转移到性腺中,为性腺的发育提供能量来源^[30-31]。

3.3 养殖效果差异

本实验中超大规格组大规格扣蟹(>12 g)雌雄所占比例分别为22.92%和24.36%,较对照组分别提高了42.12%和41.38%;大规格雄蟹(>230 g)和大规格雌蟹(>200 g)所占比例分别达到了12.68%和15.50%,较对照组分别提高了3倍和7.8倍,由于大规格中华绒螯蟹在价格上具有显著优势,因此在产量接近的情况下,超大规格群体能取得更高的经济效益^[10]。饵料系数、产量以及成活率是养殖过程中的重要指标,对最终养殖效益具有重要影响^[32]。本实验结果表明,超大规格群体在扣蟹养殖阶段的产出重量较普通规格群体提升了17.54%,这与其扣蟹终体重较大以及成

活率较高有关,结合超大规格群体饵料系数更低的优势,这使得超大规格群体在扣蟹阶段具有明显的经济优势。成蟹养殖阶段,超大规格组的成活率远低于对照组,同时两组的成活率与以往文献相比也有较大差异,这可能是由于22年的连续高温,导致池塘水质急剧变化同时降低了中华绒螯蟹对疾病的抵抗能力^[33],虽然超大规格组的成活率较低,但是其平均规格大,最终的产量仍较对照组具有优势。

综上所述,通过对中华绒螯蟹超大规格和普通规格繁育子代养殖性状的比较分析,发现不论是扣蟹养殖阶段还是成蟹养殖阶段,超大规格组个体均具有更快的生长速度和更高的产量,这使得超大规格亲本繁育子代具有极其显著的经济效益优势,其应用前景和市场广阔,值得大范围推广应用。

参考文献:

- [1] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological breeding of Chinese mitten crab[M]. The 2nd edtion. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 59-84. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59-84.]
- [2] Ministry of Agriculture and Rural Fisheries Administration, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2022 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 24-59. [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. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 24-59.]
- [3] Gui J F, Tang Q S, Li Z J, et al. Aquaculture in China: Success stories and modern trends[M]. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2018: 197-217.
- [4] 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(1): 48-56.
- [5] Wang C H, Li S F. Advances in studies on germplasm in Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(1): 82-86. [王成辉, 李思发. 中华绒螯蟹种质研究进展[J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 82-86.]
- [6] 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.
- [7] Gui J F, Bao Z M, Zhang X J. Development strategy for aquaculture genetic breeding and seed industry[J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(3): 8-14. [桂建芳, 包振民, 张晓娟. 水产遗传育种与水产种业发展战略研究[J]. *中国工程科学*, 2016, 18(3): 8-14.]
- [8] 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. [陈军伟, 马旭洲, 王武, 等. 不同规格中华绒螯蟹母本子代的生长特性比较[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(5): 895-906.]
- [9] Sui L Y, Wille M, Cheng Y X, et al. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture*, 2011, 315(1-2): 16-19.
- [10] 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.]
- [11] Mao Z F. Effects of pond culture density on growth performance of *Eriocheir sinensis* and aquaculture water environment[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019. [毛振方. 池塘养殖密度对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)生长性能和养殖水环境的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.]
- [12] Ji L Y. Exploration of the key points in the pond farming process of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [纪连元. 中华绒螯蟹池塘养殖过程中关键点的探究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.]
- [13] Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)(J). *Aquaculture*, 2005, 246(1-4): 125-132.
- [14] Preston N P, Crocos P J, Keys S J, et al. Comparative growth of selected and non-selected Kuruma shrimp *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* in commercial farm ponds; implications for broodstock production[J]. *Aquaculture*, 2004, 231(1-4): 73-82.
- [15] Fan C W, Jiang X D, Cheng Y X, et al. Growth performance and gonad development of the second-year early-maturing and late-maturing strains of the fifth selective generation of *Eriocheir sinensis*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2022, 52(6): 92-101. [范陈伟, 姜晓东, 成永旭, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系选育第五代(G5)的生长性能和性腺发育评估[J]. *淡水渔业*, 2022, 52(6): 92-101.]
- [16] Huang W Q, Zhang Y, Ke Q Z, et al. Growth traits research of the breeding group sub 2 generation of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(3): 14-19. [黄伟卿, 张艺, 柯巧珍, 等. 大黄鱼选育子二代生长性状研究[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(3): 14-19.]
- [17] Jiang X, Liu J Y, Lai Z F. Selective responses and realized heritability estimation for a cultured *Haliotis diversicolor aquatilis* population[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(2): 9-13. [蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍选择群体 F1 的选择反应与现实遗传力估计[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(2): 9-13.]
- [18] Fan W J, Lu G H, Zhu J P. Path analysis for morphological traits and body weight among hybrid populations F3 and their parental populations of oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(7): 852-862. [范武江, 陆根海, 朱俊鹏. 日本沼虾杂交选育群体 F3 和亲本群体的形态性状对体重影响的通径分析[J]. *中国水产科学*, 2023, 30(7): 852-862.]
- [19] Sui J, Luan S, Luo K, et al. Genetic parameters and response to selection of harvest body weight of the Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* after five generations of multi-trait selection[J]. *Aquaculture*, 2016, 452: 134-141.
- [20] Li H S, Feng J B, Xie N, et al. Comparison on growth performance among F1 groups of diallel crosses of *Macrobrachium nipponense* from Taihu Lake and Poyang Lake populations[J]. *Freshwater Fisheries*, 2011, 41(1): 43-47. [李瀚声, 冯建彬, 谢楠, 等. 日本沼虾太湖群体和鄱阳湖群体杂交 F1 生长性能比较研究[J]. *淡水渔业*, 2011, 41(1): 43-47.]
- [21] Zhuang Z J, Zhang D D, Jiang X D, et al. A preliminary evaluation on culture performance of first selective generation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) "Changdang Lake 1" during adult culture stage[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(3): 27-35. [庄振俊, 张冬冬, 姜晓东, 等. 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”子一代成蟹阶段养殖性能初步评估[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(3): 27-35.]
- [22] Zhang D L, Du X Y, Zhao J L, et al. Cause and control of crab sex precocity[J]. *Freshwater Fisheries*, 2001, 31(4): 36-39. [张德隆, 杜晓燕, 赵金利, 等. 河蟹性早熟成因及控制方法的研究[J]. *淡水渔业*, 2001, 31(4): 36-39.]
- [23] Xu X C, Zhu Z D. Discussion on the formation, harm, identification and prevention of sexually mature crab species of *Eriocheir sinensis*[J]. *Freshwater Fisheries*, 1994, 24(6): 92-101.

- 3-6. [徐兴川, 朱正东. 中华绒螯蟹性成熟蟹种的形成、危害、识别及预防的探讨[J]. 淡水渔业, 1994, 24(6): 3-6.]
- [24] 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.]
- [25] Wang S H, Wang H N, Liu Q, et al. A comparative study between culture performance and total edible yield of first-generation Chinese mitten crabs produced from inbred families and hybrid families[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 664-676. [王世会, 王海宁, 刘青, 等. 中华绒螯蟹1龄性早熟自交和1龄性早熟与2龄正常成熟杂交 F₁ 养殖性能及可食率比较[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 664-676.]
- [26] Sun J F. Key techniques for controlling precocious puberty of crab species[J]. Fisheries Science, 1997, 16(2): 31-33. [孙建富. 控制蟹种性早熟的技术要点[J]. 水产科学, 1997, 16(2): 31-33.]
- [27] 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. [周桢. 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.]
- [28] Zhu X M, Li S J. Regulation of molting in crustacean larvae [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(4): 379-384. [朱小明, 李少菁. 甲壳动物幼体蜕皮的调控[J]. 水产学报, 2001, 25(4): 379-384.]
- [29] Shen Y C, Chen Z Z, Liu L, et al. The effects of salinity and nutrition on molt and growth of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 290-299. [申玉春, 陈作洲, 刘丽, 等. 盐度和营养对凡纳滨对虾蜕壳和生长的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 290-299.]
- [30] Wang H N, Liu Q, Wu X G, et al. Comparison of the growth and development of adult *Eriocheir sinensis* between one year precocious family and two year normally mature family during the second year culture stage[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(3): 84-89. [王海宁, 刘青, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹一龄性早熟和二龄成熟家系子一代成蟹阶段生长发育性能的比较研究[J]. 淡水渔业, 2017, 47(3): 84-89.]
- [31] 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.]
- [32] Wang S H, Wang H N, Li Q Q, et al. Comparison of the culture performance of different size juveniles of wild Chinese mitten crab offsprings during juvenile culture stage[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(6): 873-881. [王世会, 王海宁, 李清清, 等. 长江水系野生中华绒螯蟹 F₁ 不同规格仔蟹在扣蟹阶段养殖性能比较[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 873-881.]
- [33] Gu X Q, Jiang G Z, Tian J, et al. Study on ecology and meteorology experiment of *Eriocheir sinensis* breeding[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(1): 54-59. [辜晓青, 江国振, 田俊, 等. 中华绒螯蟹养殖生态气象试验研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(1): 54-59.]

Growth performance and culture effect of breeding progeny of large-sized Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)

LIANG Zilong^{1,2,3}, JIANG Xiaodong⁴, ZHANG Guangbao^{1,2,3}, WU Xugan^{1,2,3}

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. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Institute of Mariculture Breeding and Seed Industry, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China

Abstract: This study was conducted to evaluate the breeding effect and growth performance of oversized *Eriocheir sinensis* parents (maternal ≥ 300 g, paternal ≥ 400 g) using normal parents (maternal ≥ 150 g, paternal ≥ 250 g) as the controls. The experimental period lasted for approximately 20 months. During the experiment, multiple growth-proofing and gonadal developmental anatomies were combined with the final harvest size distribution. The growth performance, gonadal development, and culture effect of the two groups were comprehensively evaluated, and the results showed the following: (1) the average body weight of the oversized group was higher than that of the control group at the bean, juvenile, and adult crab stages, and it was significantly higher than that of the control group from September to November during the juvenile crab culture stage ($P < 0.05$). For adult crabs, the average body weight was significantly higher than that of the control group in July ($P < 0.05$), and there was no significant difference in the average body weight of the two groups in other months. (2) In terms of puberty-molting and gonadal development, the puberty-molting rates of males and females in the oversized group were significantly lower from September 5 to September 25 and July 25 to September 5 ($P < 0.05$). In addition, the gonadosomatic indices (GSI) of males and females in the oversized group were significantly lower on October 10th and September 10th ($P < 0.05$). The hepatosomatic index (HSI) of males in the oversized group was significantly higher than that of males in the control group ($P < 0.05$) on October 10th and the HSI of individual crabs in the oversized group was higher, but there was no significant difference at the other time points ($P > 0.05$). (3) For juvenile crabs, the survival rate and yield of the oversized group were higher than those of the control group, and the yield of male bodies at the juvenile stage was significantly different from that of the control group ($P < 0.05$). For adult crabs, although the oversized group had a lower survival rate, the average body weight of the oversized group was higher and the final yield was higher. The feed conversion rate (FCR) of the oversized group at the juvenile crab culture stage was significantly lower than that of the control group. (4) In terms of body weight distribution, the proportions of large crabs (> 12 g) and large adult crabs (> 230 g for males and > 200 g for females) in the oversized group were significantly higher than those in the control group, and the proportions of small crabs and small adult crabs in the oversized group were significantly lower than those in the control group ($P < 0.05$). In summary, individuals in the oversized group had faster growth rates and higher yields than those in the control group, and the proportion of oversized crabs was significantly higher than that in the control group, which gives the offspring of oversized parents a significant economic advantage. The application prospects and markets for large Chinese mitten crab parents are broad, thus it is worth popularizing and applying on a large scale.

Key words: *Eriocheir sinensis*; broodstock size; culture performance; pubertal molting; gonadal development

Corresponding author: WU Xugan. E-mail: xgwu@shou.edu.cn