

DOI: 10.12264/JFSC2023-0207

中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”奇数年群体选育第二代的生长性能和养殖效果评估

彭涛¹, 张冬冬¹, 姜晓东¹, 罗明², 陈文彬², 成永旭¹, 吴旭干¹

1. 上海海洋大学, 上海市水产动物良种创制与绿色养殖协同创新中心, 农业农村部淡水种质资源重点实验室, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;
2. 常州市金坛区水产技术推广中心, 江苏 常州 213200

摘要: 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)“长荡湖 1 号”(以下简称“长荡湖 1 号”)选育群体包括 A 系和 B 系两个平行选育系, 分别以耐高密度和大规格为选育目标。为评估“长荡湖 1 号”奇数年群体选育第二代(G₂)的选育效果和遗传进展, 本研究在室外池塘生态养殖条件下, 进行大眼幼体至扣蟹以及扣蟹至成蟹养殖实验, 实验周期约为 20 个月。实验期间通过多次生长打样及性腺发育解剖, 结合最终收获时的规格分布, 以未选育群体为对照, 综合评估了两选育品系的生长性能、性腺发育和养殖效果。结果表明: (1) 两选育品系扣蟹及成蟹养殖阶段平均体重均高于对照组, 其中两选育品系扣蟹 7 月和 9—11 月体重均显著大于对照组($P<0.05$), 成蟹养殖过程中 10 月“长荡湖 1 号”B 系体重也显著高于对照组($P<0.05$), 其余月份 3 组成蟹体重无显著差异($P>0.05$); (2) 成蟹雌雄个体的生殖蜕壳高峰期分别为 7 月 30 日—9 月 10 日和 8 月 20 日—9 月 30 日, 在此期间对照组的生殖蜕壳率略高于两选育品系。在肝胰腺指数(HSI)方面, 前期(9 月 20 日)对照组雄体 HSI 显著高于两选育品系($P<0.05$), 而后期(11 月 10 日)两选育品系雌体 HSI 显著高于对照组($P<0.05$); 就性腺指数(GSI)而言, 两选育品系的 GSI 和对照组接近, 其中 11 月 10 日“长荡湖 1 号”B 系雌体 GSI 显著低于对照组($P<0.05$); (3) 两选育品系在扣蟹及成蟹养殖阶段的最终平均体重和产量均高于对照组, 其中“长荡湖 1 号”B 系最终平均体重略高于“长荡湖 1 号”A 系; 两选育品系在扣蟹及成蟹养殖阶段的饲料系数(FCR)均低于对照组, 其中“长荡湖 1 号”A 系在成蟹养殖阶段的 FCR 显著低于对照组($P<0.05$); 两选育品系大规格扣蟹(≥ 15 g)和成蟹(雄蟹 ≥ 200 g, 雌蟹 ≥ 175 g)百分比均高于对照组, 而小规格扣蟹(≤ 9 g)百分比低于对照组。综上, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系具有生长速度快、单位产量高及饲料系数低等特点, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”B 系具有平均体重大、大规格蟹比例高和生殖蜕壳迟等特点, 两选育品系均具有进一步选育的潜力。

关键词: 中华绒螯蟹; 配套系选育; 生长性能; 性腺发育; 养殖效果

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)10-1177-11

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)又名河蟹, 富含长链多不饱和脂肪酸、氨基酸和磷脂, 深受消费者喜爱, 是我国淡水经济蟹类的重要品种之一^[1-3], 年养殖产量维持在 80 万 t 左右^[4]。随着中华绒螯蟹养殖技术和消费市场的发展, 其养殖区域已从长江和辽河流域主产区逐步向其他区域发

展, 主要包括山东、河北、台湾、新疆和云南等地^[4]。然而, 中华绒螯蟹种源杂乱、种质退化以及病害频发等问题导致许多从业者养殖风险加大、养殖效果不稳定和经济效益下降等^[5-6]。通过遗传选育进行中华绒螯蟹种质改良已经刻不容缓, 目前已通过全国水产原种和良种审定委员会审定的

收稿日期: 2023-09-08; 修订日期: 2023-11-12.

基金项目: 江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS[2021]127); 常州市金坛区农业农村局项目(JTNL2019001); 上海市崇明区“可持续发展科技创新行动计划”项目(CK2022-37).

作者简介: 彭涛(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为河蟹生态养殖与遗传育种. Email: 478660221@qq.com

通信作者: 吴旭干, 教授, 研究方向为甲壳动物营养饲料和品质育种. E-mail: xgwu@shou.edu.cn

中华绒螯蟹新品种均主要以生长速度和体重为选育指标^[7],有关中华绒螯蟹其余经济性状的遗传育种研究较少,仅见于不同上市时期^[8]和不同色泽品系^[9-10]。为了促进中华绒螯蟹产业高质量发展,选育经济性状多样化的优良新品种是重要手段^[11-12]。

中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”以耐高密度和生长速度快为选育目标,通过两个配套系选育(A 系:耐高密度、成活率高;B 系:生长速度快、规格大)和杂交聚合(选育第三代后,进行配合力测试和经济性状杂交聚合)进行新品种培育。先前研究已经报道了选育子一代(G₁)的繁殖性能^[13]、养殖性能^[14-15]和选育两世代的遗传多样性^[16]等,但是先前有关中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”选育子代的养殖性能评估主要在网箱和小面积实验池塘(50~100 m²)进行,缺乏与实际养殖条件接近的扣蟹和成蟹土池中的养殖评价,这不利于全面评估中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”选育子代的遗传进展和生产性养殖效果。

鉴于此,为评估中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系(以下简称 A 系)和“长荡湖 1 号”B 系(以下简称 B 系)选育第二代(G₂)在室外土池中的选育效果和遗传进展,本研究在接近实际生产养殖条件的室外土池中分别进行扣蟹和成蟹阶段的养殖对比实验,以未选育群体为对照组,比较中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”两个选育系和对照组的生长性能、性腺发育、产量及规格等指标,以期了解“长荡湖 1 号”A 系和 B 系 G₂在生产性池塘条件下的生长发育规律和养殖效果,为该品系的进一步选育及示范应用提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 扣蟹实验池塘及养殖管理

2020 年底,收集 A 系与 B 系 G₂ 亲本与市场未经选育群体亲本运送至上海海洋大学射阳育苗基地进行繁殖,各组亲本信息见表 1。2021 年 5 月获得 3 组群体大眼幼体并运送至上海海洋大学金坛数字化渔场基地开展扣蟹阶段养殖实验。实验分为 A 系、B 系和对照组,每个实验群体设置 4 个重复池塘,每个池塘养殖面积约为 667 m² (长×

宽=40.9 m×16.3 m),池塘中间铺设适量的空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)供扣蟹隐蔽且有利于净化水质,养殖期间水深约为 0.6~0.8 m,池塘四周布设高度为 0.4 m 的塑料围板,主要用于防止实验蟹逃跑或其余杂蟹混入。每个实验池塘大眼幼体投放密度约为 3 g/m²,扣蟹的日常养殖管理主要参考王海宁等^[8]。其中,每日下午 4 点左右投喂饲料,具体投喂量依据食台吃食情况灵活调整。养殖期间每 15 天使用一次消毒剂或微生态制剂,保持池塘水质稳定(pH 的适宜范围为 7.0~9.0、溶解氧>6 mg/L、氨氮<0.5 mg/L、亚硝酸盐<0.05 mg/L)。扣蟹的养殖周期为 2021 年 5 月—2022 年 2 月。

表 1 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系和 B 系及对照组亲本体重和数量

Tab. 1 Body weight and number of broodstock *Eriocheir sinensis* for the “Changdang Lake 1” strain A, strain B and control group

类别 category	$\bar{x}\pm\text{SE}$		
	“长荡湖 1 号”A 系 “Changdang Lake 1” strain A	“长荡湖 1 号”B 系 “Changdang Lake 1” strain B	对照组 control group
父本体重/g body weight of sires	319.64±29.09	379.61±31.19	166.31±21.63
父本数量/只 number of sires	370	269	173
母本体重/g body weight of dams	210.32±21.42	262.45±25.11	117.86±18.86
母本数量/只 number of dams	1239	781	456

1.2 成蟹实验池塘及养殖管理

成蟹阶段养殖周期为 2022 年 2 月—11 月。养殖实验采用 12 个面积约为 529 m² 的室外小型实验池塘(长×宽=23 m×23 m),将其随机分为 3 个实验群体,分别为 A 系、B 系和对照组,每个实验群体为 4 个池塘重复。每个池塘埂四周设有 0.6 m 高 PVC 围板以防实验蟹逃逸。每个成蟹池塘内种植伊乐藻(*Elodea nuttallii*)(株距 1.2 m,行距 1.5 m)供中华绒螯蟹隐蔽蜕壳,同时也有利于净化水质,养殖水位控制在 0.6~1.0 m。2 月上旬,从 3 个实验群体的扣蟹养殖池塘中分别挑选健康有活力的扣蟹依次放入对应的实验池塘进行成蟹阶段养殖

实验。每个池塘放养密度约为 2.4 m²一只(雌雄对半), 各组扣蟹初始规格见表 2。当池塘水温升至 12 ℃时(2 月底)开始投喂配合饲料, 每天下午 4 点左右投喂, 饲料粒径大小随实验蟹规格增大依次递增, 初期投喂量约为存塘蟹总体重的 2%。每个实验池塘设置一个方形食台用于观察残饵情况, 并据此及时调整投喂量。每个实验池塘底部铺设微孔增氧设施, 通常在阴雨天及高温天夜间进行微孔曝气增氧。定期使用水质测试盒(厦门盘天生物科技有限公司生产)检测每个实验池塘的水质指标。根据池塘水质和水草情况, 适时换水以保持实验池塘水质适宜成蟹生长。

表 2 3 组群体中华绒螯蟹扣蟹的初始体重
Tab. 2 Original body weight of juvenile
Eriocheir sinensis in three groups

n=4; $\bar{x}\pm\text{SE}; \text{g}$			
类别 category	“长荡湖 1 号”A 系 “Changdang Lake 1” strain A	“长荡湖 1 号”B 系 “Changdang Lake 1” strain B	对照组 control group
雄体 male	11.18±0.12	11.24±0.05	11.55±0.42
雌体 female	11.05±0.27	11.10±0.06	11.30±0.36

1.3 数据采集

1.3.1 扣蟹阶段生长情况 自 6 月起, 每月 22 日随机采集雌雄扣蟹各 100 只, 将体表水分擦干后, 使用电子天平精确称重(精确到 0.01 g)并记录每只扣蟹的性别和体重, 依此计算 3 组实验蟹每个月的平均体重、增重率(weight growth rate, WGR)和特定生长率(specific growth rate, SGR)。计算公式如下:

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

$$\text{SGR}(\%/d)=100\times(\ln W_t-\ln W_{t-1})/D$$

式中, W_t 为第 t 月采样时扣蟹的平均体重(g); W_{t-1} 为第 $t-1$ 月采样时扣蟹的平均体重(g); D 为采样的间隔时间(d)。

1.3.2 扣蟹阶段养殖效果 扣蟹养殖实验于次年 2 月中上旬结束, 统计每个池塘内存活的扣蟹数量, 参考王武等^[17]方法判断早熟扣蟹并记录总数量。分别统计扣蟹存活率(survival rate, SR, %)、产量(yield, $Y, \text{g/m}^2$)、饲料系数(feed conversion rate, FCR)以及早熟率(precocious rate, PR, %)。将

捕获的所有雌雄扣蟹按体重分为 6 个等级, 分别为 $\leq 8.99 \text{ g}$ 、 $9\sim 11.99 \text{ g}$ 、 $12\sim 14.99 \text{ g}$ 、 $15\sim 17.99 \text{ g}$ 、 $18\sim 20.99 \text{ g}$ 和 $\geq 21.00 \text{ g}$, 并统计 3 个群体各等级数量占总体的比例。存活率、产量、饲料系数以及早熟率计算公式如下:

$$\text{SR}(\%)=N_f/N_i\times 100$$

$$Y(\text{g/m}^2)=Y_f/S$$

$$\text{FCR}=W_f/(W_t-W_0)$$

$$\text{PR}(\%)=N_p/N_f\times 100$$

式中, N_f 为最终存活个体数之和; N_i 为最初投放大眼幼体数量; Y 为单位面积产量(g/m^2); Y_f 为产量(g); S 为池塘水面积(m^2); W_f 为总消耗饲料量(g); W_t 为扣蟹总质量(g); W_0 为投放大眼幼体总质量(g); N_p 为最终早熟扣蟹数量。

1.3.3 成蟹阶段生长情况 实验开始后, 4 月、6 月、8 月和 10 月 20 日前后采用地笼抓捕实验蟹, 每个池塘随机采集雌雄各 30 只精确称重(精确到 0.01 g), 根据每次采样时体重计算各采样时间点成蟹的平均体重、WGR 和 SGR。自 7 月 31 日起, 每 20 天进行 1 次采样, 每个池塘随机采集雌雄各 30 只个体, 统计各池塘内雄体和雌体完成生殖蜕壳的比例并据此计算生殖蜕壳率(puberty molting rate, %)。其中, 雄体主要通过观察交接器是否突出和硬化、大螯四周绒毛覆盖面积和背壳是否为青色等来判断是否完成生殖蜕壳; 雌体主要依据腹脐形状、腹脐绒毛长度和背壳的颜色等来判断是否完成生殖蜕壳。

为了比较各实验群体成蟹性腺发育情况, 雌蟹自 9 月 10 日起(雄蟹自 9 月 30 日起)每隔 30 d 从各实验池塘内随机采集 3 只蟹精确称重, 活体解剖取出全部肝胰腺和性腺并称重, 据此计算肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI, %)和性腺指数(gonadosomatic index, GSI, %), 计算公式如下:

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

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

式中, W_H 为成蟹肝胰腺质量(g); W_G 为成蟹性腺质量(g); W 为成蟹体重(g)。

1.3.4 成蟹阶段养殖效果 11 月 20 日成蟹养殖实验结束, 分别统计每个池塘的雌雄个体成活

率、平均体重和平均产量,同时计算成蟹的饲料系数(方法同扣蟹)。参考王世会等^[18]的方法将每个池塘最终捕获的雌雄个体依据体重进行规格分级。雄蟹分为 7 个等级,分别为<125 g、125~149.9 g、150~174.9 g、175~199.9 g、200~224.9 g、225~249.9 g 和 ≥ 250 g; 雌蟹分为 6 个等级,分别为<100 g、100~124.9 g、125~149.9 g、150~174.9 g、175~199.9 g 和 ≥ 200 g,统计各规格等级成蟹占总采样数量的组成比例。

1.4 数据分析

实验数据采用软件 SPSS 19.0 进行处理和统计分析,采用 Levene 法进行方差齐性检验,采用 ANOVA 法进行单因素方差分析,多重比较采用 Duncan 法,取 $P<0.05$ 为差异显著。实验表格呈现采用 Excel 2019 绘制,采用 GraphPad Prism 8.0 软

件绘图。最终扣蟹和成蟹数据以平均值 $\pm$ 标准误差($\bar{x}\pm\text{SE}$)表示。

2 结果与分析

2.1 扣蟹阶段的养殖情况

2.1.1 生长性能 A 系、B 系和对照组在扣蟹养殖阶段的平均体重、WGR 和 SGR 见图 1。无论雌雄, A 系和 B 系平均体重(图 1a、d)均高于对照组,生长后期(9—11 月)差异显著($P<0.05$)。6—7 月 A 系和 B 系 WGR 显著高于对照组 WGR ($P<0.05$),而 7—8 月对照组 WGR 显著最高($P<0.05$),中后期(8—11 月)3 组 WGR 无显著性差异($P>0.05$)。整体上, A 系和 B 系扣蟹 WGR (图 1b、e)均呈下降趋势,3 组扣蟹 SGR 变化趋势与 WGR 相似(图 1c、f)。

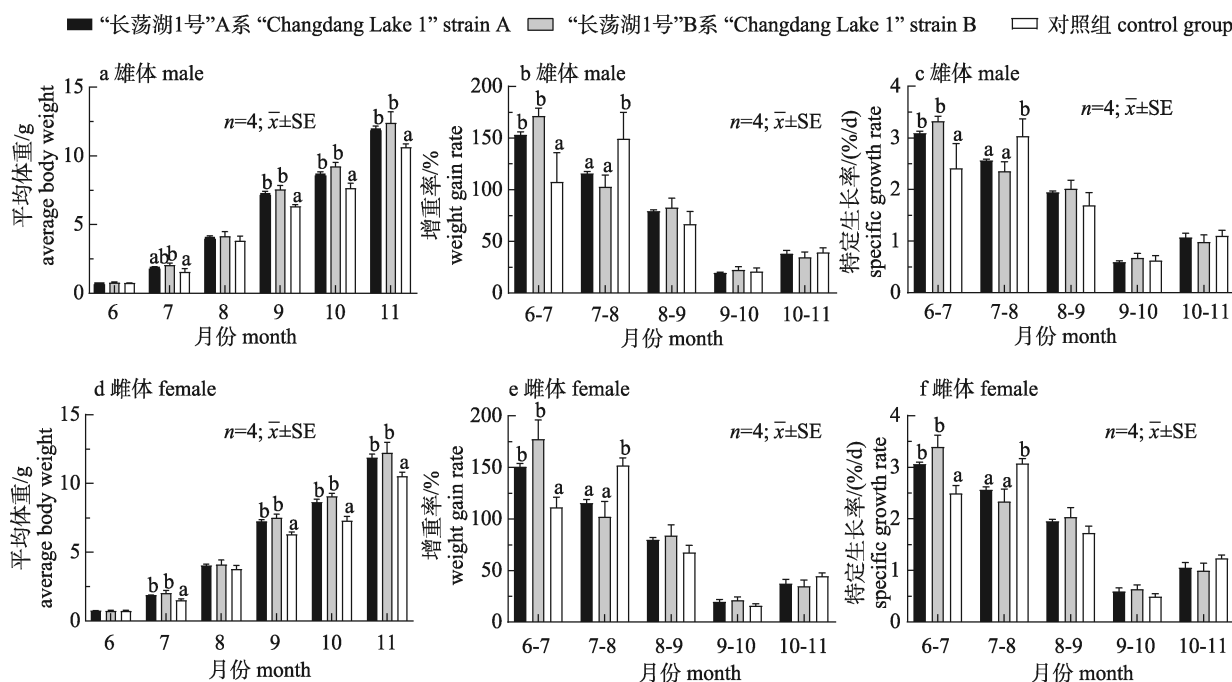


图 1 3 群体中华绒螯蟹扣蟹阶段的生长性能比较

不同小写字母表示组间显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 1 Comparison of growth performance of three groups *Eriocheir sinensis* during the juvenile culture stage. Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

2.1.2 养殖效果 A 系、B 系和对照组在扣蟹阶段的最终养殖效果见表 3。无论雄体、雌体或是雌雄混合组, A 系和 B 系最终平均体重均显著高于对照组($P<0.05$),其中 B 系略高于 A 系,但两者

无显著性差异($P>0.05$)。虽然对照组扣蟹成活率和早熟率高于 A 系和 B 系,但无显著性差异($P>0.05$)。A 系和 B 系扣蟹单位面积产量高于对照组, B 系与对照组差异显著($P<0.05$)。对照组扣蟹饲料

系数高于 A 系和 B 系, B 系与对照组差异显著 ($P<0.05$)。

A 系、B 系和对照组在扣蟹阶段的最终规格分布情况见图 2。无论雌雄, 3 个实验群体扣蟹各规格分布比例均呈正态分布, 各组扣蟹体重主要集中于 9~17.99 g。对照组扣蟹无论雌雄, 体重 <11.99 g 百分比均高于 A 系和 B 系, 雌蟹之间差异显著 ($P<0.05$)。B 系雌蟹体重 ≥ 17.99 g 百分比显著高于对照组 ($P<0.05$), B 系雌蟹体重 ≥ 21 g 百分比也显著高于对照组 ($P<0.05$)。

2.2 成蟹阶段的养殖情况

2.2.1 生长性能 A 系、B 系和对照组在成蟹阶段的平均体重、WGR 和 SGR 见图 3。A 系和 B 系成蟹整个养殖阶段的平均体重(图 3a、d)均高于对照组, 其中 B 系成蟹 10 月份平均体重均显著高于对照组 ($P<0.05$)。3 个实验群体成蟹 WGR (图 3b、e)于 4—6 月均最高, 6—8 月均最低, A 系和 B 系雄蟹 8—10 月 WGR 显著高于对照组 ($P<0.05$), 雌蟹也呈现类似趋势, 但差异不显著 ($P>0.05$)。各组成蟹 SGR 变化趋势与 WGR 相似(图 3c、f)。

2.2.2 生殖蜕壳和性腺发育 A 系、B 系和对照组在成蟹阶段生殖蜕壳比例、HSI 和 GSI 的变化情况见图 4。3 个实验群体雄蟹和雌蟹生殖蜕壳高峰期分别为 9 月 10 日和 8 月 20 日(图 4a、d)。对照组雄蟹 9 月 10 日和 9 月 30 日生殖蜕壳率均最高, 且显著高于 A 系 ($P<0.05$)。3 个实验群体成蟹

HSI 均表现为先上升后下降趋势(图 4b、e), 其中, 9 月 20 日对照组雄蟹 HSI 显著高于 A 系和 B 系 ($P<0.05$); 11 月 10 日 A 系和 B 系雌蟹 HSI 又显著高于对照组 ($P<0.05$)。无论雌雄, 3 个实验群体 GSI 均呈上升趋势(图 4c、f)。对照组雌蟹 GSI 在 11 月 10 日最高, 且显著高于 B 系 ($P<0.05$)。

表 3 3 群体中华绒螯蟹在扣蟹阶段的养殖效果比较
Tab. 3 Comparison of final mean body weight, survival rate, precocious rate, yield, FCR of cultured *Eriocheir sinensis* of three groups during the juvenile culture stage
 $n=4$; $\bar{x}\pm\text{SE}$

项目 item	“长荡湖 1 号”A 系 “Changdang Lake 1” strain A	“长荡湖 1 号”B 系 “Changdang Lake 1” strain B	对照组 control group
最终平均体重/g final average body weight			
雄体 male	14.28±0.68 ^b	14.66±0.73 ^b	12.99±0.42 ^a
雌体 female	14.10±0.74 ^b	14.40±0.67 ^b	12.56±0.51 ^a
雄体+雌体 pooled	14.10±0.52 ^b	14.74±0.79 ^b	12.51±0.31 ^a
成活率/% survival rate	7.23±0.54	7.27±0.28	7.48±0.16
早熟率/% precocious rate	12.52±1.48	11.79±1.97	13.71±1.00
产量/(g/m ²) yield	453.60±29.17 ^{ab}	471.41±26.30 ^b	406.99±9.39 ^a
饲料系数 FCR	2.06±0.06 ^{ab}	1.98±0.15 ^a	2.25±0.07 ^b

注: 同行不同小写字母表示显著性差异 ($P<0.05$).
Note: Different lowercase letters of the same line show significant differences ($P<0.05$).

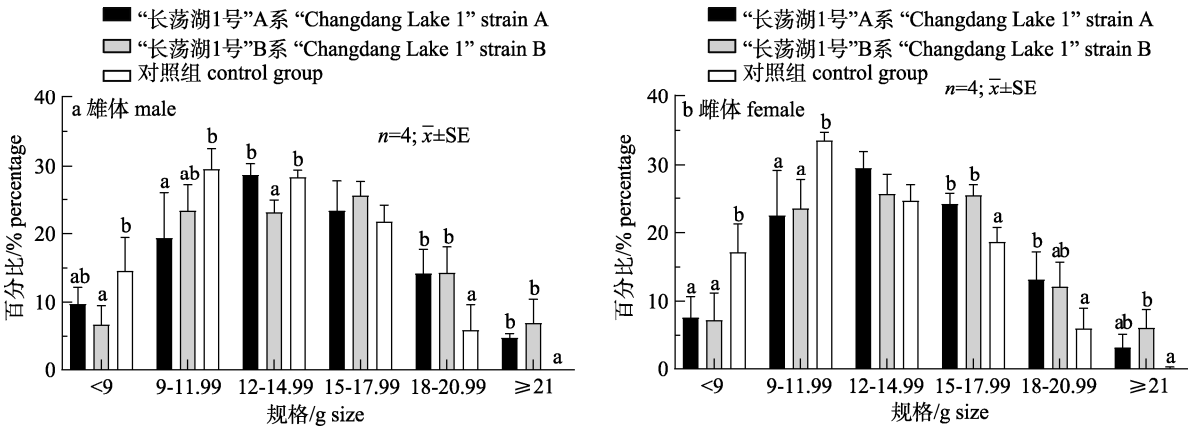


图 2 3 群体中华绒螯蟹在扣蟹阶段的最终规格分布情况比较
不同小写字母表示组间显著性差异 ($P<0.05$)。

Fig. 2 Comparison of harvest size distribution of three groups *Eriocheir sinensis* during the juvenile culture stage
Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

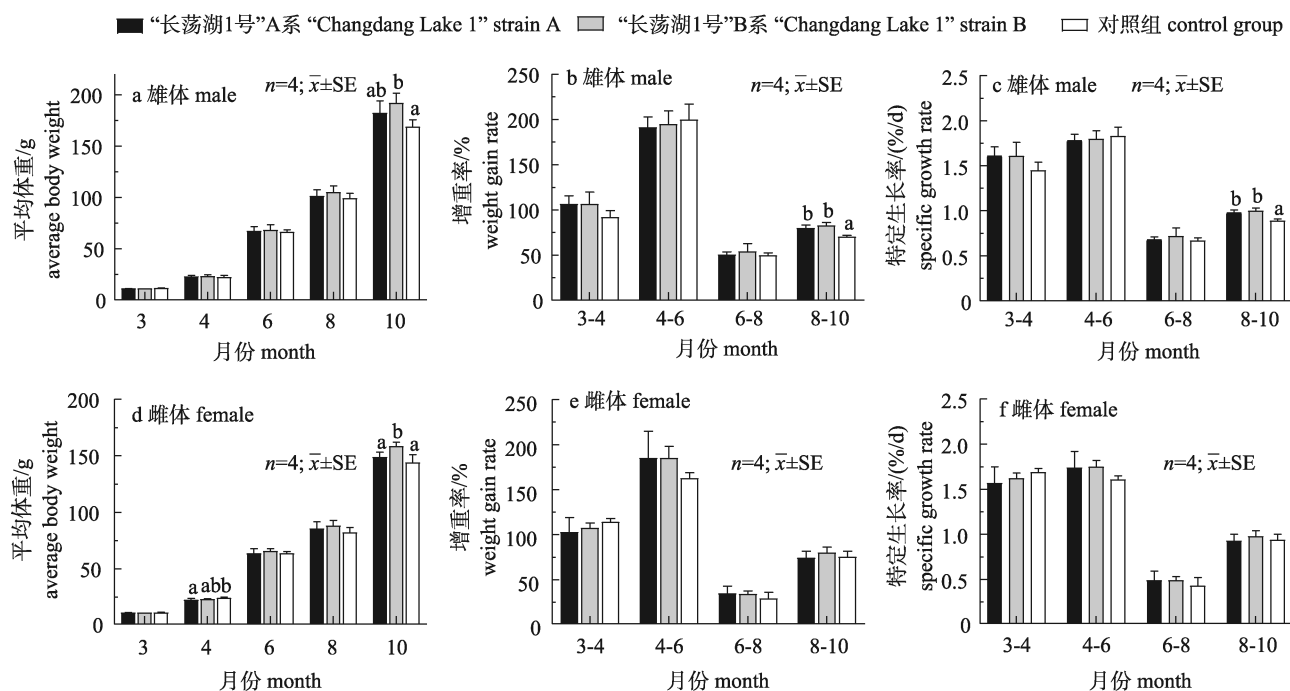


图3 3群体中华绒螯蟹在成蟹阶段的生长性能比较

不同小写字母表示组间显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 3 Comparison of growth performance of three groups *Eriocheir sinensis* during the adult culture stage
Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

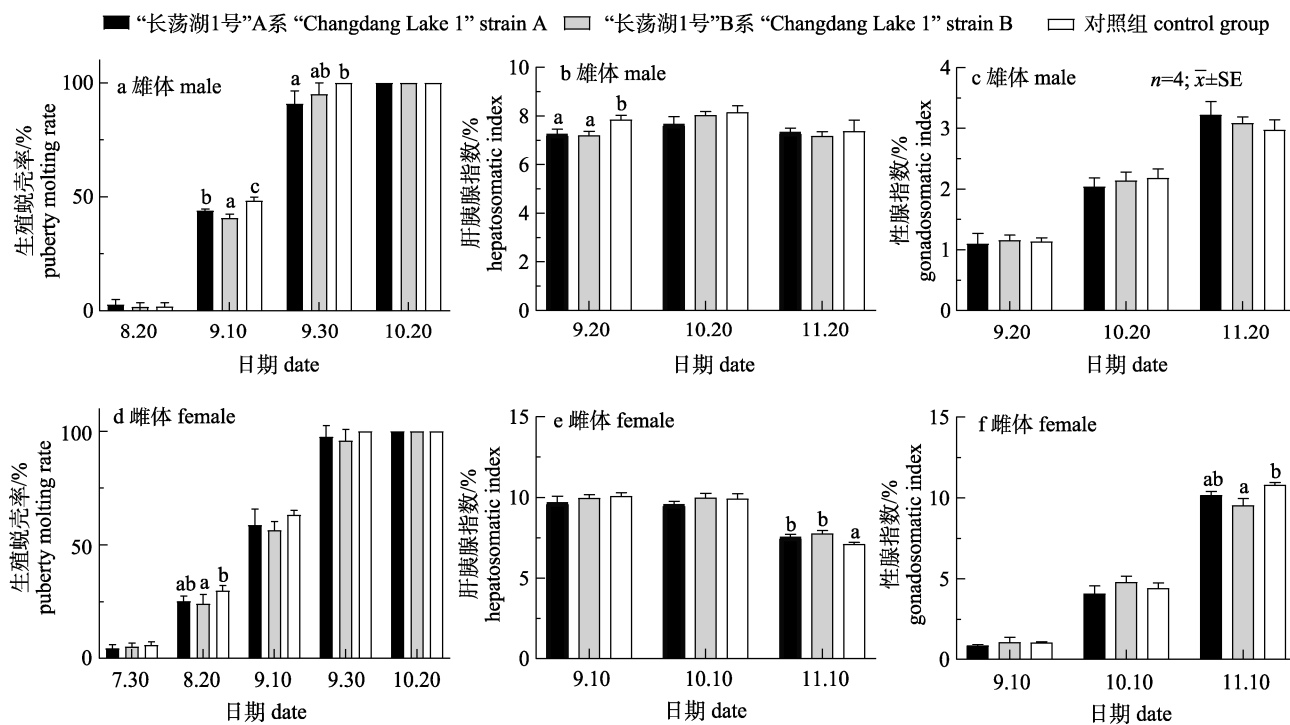


图4 3群体中华绒螯蟹在成蟹阶段的生殖蜕壳率、肝胰腺指数和性腺指数比较

不同小写字母表示组间显著性差异($P < 0.05$).

Fig. 4 Comparison of puberty molting rate, HSI and GSI of three groups *Eriocheir sinensis* during the adult culture stage
Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.2.3 养殖效果 A 系、B 系和对照组在成蟹阶段的最终养殖效果见表 4。B 系成蟹最终平均体重显著高于对照组($P<0.05$)。A 系成蟹成活率高于 B 系和对照组, 但差异不显著($P>0.05$); A 系成蟹产量最高且显著高于对照组($P<0.05$)。对照组成蟹饲料系数最高, 与 A 系差异显著($P<0.05$), 与 B 系差异不显著($P>0.05$)。

A 系、B 系和对照组成蟹阶段育成规格分布情况见图 5。3 个实验群体雄蟹体重主要集中于 150~249.9 g, 雌蟹体重主要集中于 125~174.99 g。B 系成蟹大规格分布比例(雄体>175 g; 雌体>150 g)高于 A 系和对照组, 尤其 B 系雄蟹 175~199.9 g 和 200~224.9 g 百分比例均显著高于对照组雄蟹($P<0.05$), B 系雌蟹 150~174.99 g 和 175~199.99 g 百分比例均显著高于对照组雌蟹($P<0.05$)。B 系成蟹小规格比例(雄体<174.99 g; 雌体<149.99 g)最低。

3 讨论

群体选育是水产经济动物遗传育种的经典方法, 通过对群体中符合目标性状的个体迭代选育, 优中选优, 使得符合目标性状的个体优良基因不断纯化, 从而获得表型优异、性状稳定和可遗传的养殖新品种^[7,12]。体重是评估水产动物生长性

表 4 3 群体中华绒螯蟹在成蟹阶段的养殖效果比较
Tab. 4 Comparison of final mean body weight, survival rate, yield, FCR of cultured *Eriocheir sinensis* during the adult culture stage

n=4; $\bar{x}\pm\text{SE}$			
项目 item	“长荡湖 1 号”A 系 “Changdang Lake 1” strain A	“长荡湖 1 号”B 系 “Changdang Lake 1” strain B	对照组 control group
最终平均体重/g final average body weight			
雄体 male	183.42±11.11 ^{ab}	191.86±10.74 ^b	170.03±8.32 ^a
雌体 female	149.93±4.70 ^{ab}	158.17±12.24 ^b	145.50±6.84 ^a
雄体+雌体 pooled	166.71±7.10 ^{ab}	172.42±8.26 ^b	157.39±7.64 ^a
成活率/% survival rate			
雄体 male	33.92±1.85	32.00±1.89	31.83±1.17
雌体 female	37.13±2.50	34.29±1.83	34.89±3.50
雄体+雌体 pooled	35.52±2.04	33.15±0.55	33.36±2.09
产量/(g/m ²) yield			
雄体 male	70.14±1.71 ^b	65.76±5.51 ^{ab}	62.90±1.61 ^a
雌体 female	62.93±4.40 ^b	62.80±0.55 ^b	55.00±2.25 ^a
雄体+雌体 pooled	133.08±5.81 ^b	128.57±5.93 ^b	117.91±1.95 ^a
饲料系数 FCR	2.66±0.22 ^a	2.80±0.29 ^{ab}	3.16±0.23 ^b

注: 同行不同小写字母表示显著性差异($P<0.05$).
Note: different lowercase letters of the same line show significant differences ($P<0.05$).

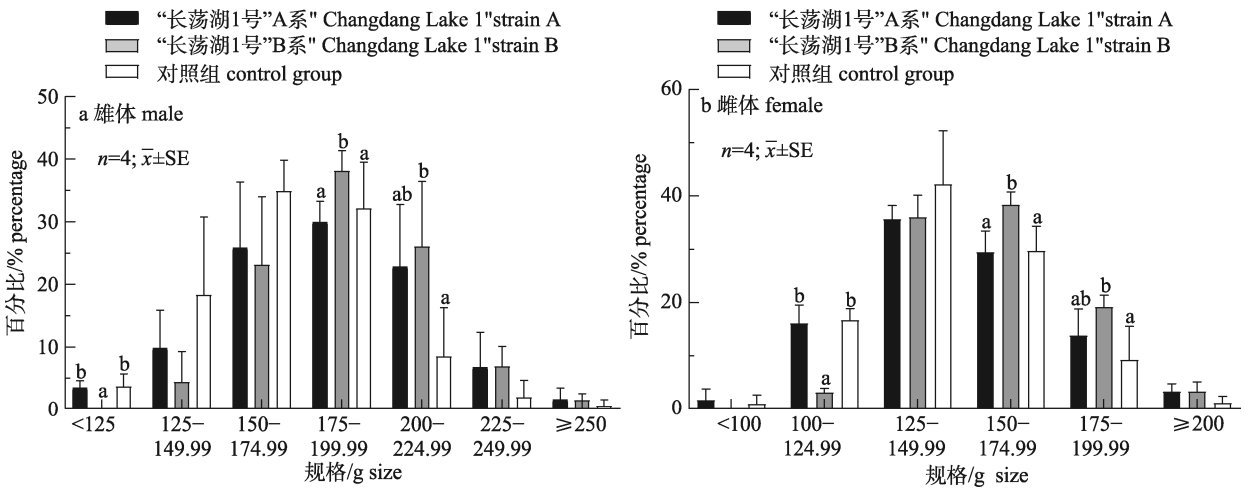


图 5 3 群体中华绒螯蟹在成蟹阶段的育成规格分布情况比较
不同小写字母表示组间显著性差异($P<0.05$).

Fig. 5 Comparison of harvest size distribution of three groups *Eriocheir sinensis* during the adult culture stage
Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

状的主要指标之一^[19], 先前研究显示中华绒螯蟹壳长、壳宽遗传力极低, 但是体重具有中等遗传性(遗传力为 0.453)^[20]。通过遗传改良提高中华绒螯蟹成蟹的体重是重要的选育目标, 如: 中华绒螯蟹“光合 1 号”新品种成蟹平均体重比未经选育的群体提高 25.98%, “长江 1 号”和“长江 2 号”成蟹比未经选育群体分别提高 22.78%和 18.5%^[12,20]。先前通过审定的中华绒螯蟹新品种选育研究仅报道了成蟹阶段的养殖效果, 有关这些新品种选育过程中扣蟹阶段的养殖性能和遗传进展尚未见报道。本研究针对中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”G₂扣蟹和成蟹两阶段进行跟踪评估, 结果显示 A 系和 B 系扣蟹阶段平均体重分别比对照组提高 12.70%和 17.83%; A 系和 B 系成蟹阶段最终平均体重分别比对照组高 5.92%和 9.55%。可见, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系和 B 系在扣蟹养殖阶段的体重已有显著提高。本研究中, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”仅选育至 G₂, 通过持续选育和配套系杂交聚合, 后续仍有较大的选育提升空间。

成活率、产量及饲料系数是评估中华绒螯蟹养殖效果的重要指标, 其通常与遗传、饵料和养殖环境等因素密切相关^[8,21-23]。本研究 3 个群体实验蟹养殖环境接近、投喂相同饲料, 较大程度上反应了选育群体与对照组的种质差异。中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”B 系扣蟹阶段养殖效果最好, 单位面积产量比对照组高 15.83%, A 系和 B 系成蟹最终产量分别比对照组高 12.87%和 9.04%, 这是因为养殖产量通常与成活率和体重紧密相关^[21]。3 个实验群体在扣蟹和成蟹养殖阶段成活率接近, 但是两个选育品系扣蟹和成蟹最终收获时大规格比例明显高于对照组, 所以最终产量也具有显著优势。值得一提的是, 本研究中 3 个实验群体最终成蟹成活率仅为 31.83%~37.13%, 与张光宝等^[23]结果接近, 但远低于庄振俊等^[14]、王世会等^[18]和周永昌等^[24]的研究结果。除了遗传因素外, 中华绒螯蟹成蟹的养殖成活率通常还受水草、水环境和饵料营养等因素影响^[23,25]。2022 年夏季出现罕见高温, 部分实验池塘伊乐藻长势不佳, 水质不如往年, 导致本实验中各组中华绒螯蟹的摄食情况不佳、死亡率较高和成蟹体重相对较小。

这也警示中华绒螯蟹养殖产业需要提前做好应对气候变暖的准备, 例如: 种植耐高温的轮叶黑藻(*Hydrilla verticillate*)、苦草(*Vallisneria natans*)和狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)等复合型水草^[23]。此外, 开展中华绒螯蟹耐高温品系选育也是应对全球气候变暖的重要手段。本研究中中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”B 系扣蟹养殖阶段的饲料系数比对照组低 12%, A 系和 B 系成蟹养殖阶段的饲料系数分别比对照组低 15.82%和 11.39%。中华绒螯蟹在遗传选育过程中一直投喂配合饲料, 可以提高其对配合饲料适口性和利用效率, 从而降低饲料系数^[26-27]。

性早熟现象在水产养殖动物中广泛存在, 该性状直接影响养殖效益^[28-29]。中华绒螯蟹性早熟可分为一龄性早熟和二龄性早熟^[27,30], 一龄性早熟主要发生在扣蟹阶段, 一龄性早熟率为 5%~15%, 可能与水体盐度、饵料营养、养殖密度和遗传因素等有关^[31-33]。本研究结果显示, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系、B 系及对照组一龄性早熟率分别为 12.52%、11.79%和 13.71%, 两选育品系一龄性早熟率均低于对照组, 这说明通过遗传选育可以降低一龄性早熟比例。中华绒螯蟹二龄性早熟是第二年成蟹养殖过程中, 部分个体提前完成生殖蜕壳和性腺发育, 此类成蟹可以提前上市。因此, 选育中华绒螯蟹二龄性早熟新品种, 可以均衡中华绒螯蟹成蟹的市场供应时间, 提高养殖效益^[8,27,30]。本研究结果表明, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系和 B 系的生殖蜕壳时间略晚于对照组, 且 11 月 10 日“长荡湖 1 号”B 系的卵巢指数显著低于对照组, 这可能与其亲本遗传因素有关。先前研究表明, 中华绒螯蟹亲本体重较大的品系通常成蟹的生殖蜕壳时间晚于体重较小的品系^[34]。因此, 本研究中“长荡湖 1 号”A 系和 B 系的生殖蜕壳时间晚于对照组。

4 结论

综上, 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”A 系和 B 系在扣蟹和成蟹阶段的平均体重、产量及饲料系数方面均具有明显优势, A 系和 B 系分别在成蟹养殖成活率和大规格蟹比例方面各有优势。下一步

研究需要进行经济性状的分子标记开发和优异性状聚合等, 提高中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”新品系的经济性状和育种效率。

参考文献:

- [1] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [2] Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, et al. Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock[J]. Aquaculture, 2007, 273(4).
- [3] Long X W, Wu X G, Zhu S C, et al. Salinity can change the lipid composition of adult Chinese mitten crab after long-term salinity adaptation[J]. PLoS ONE, 2019, 14(7).
- [4] Fisheries fishery administration, ministry of agriculture and rural affairs. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023. [农业农村部渔业渔政管理局, 2023 年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.]
- [5] Zhang C, Li Q Q, Wu X G, et al. Genetic diversity and genetic structure of farmed and wild Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) populations from three major basins by mitochondrial DNA CO I and Cytb gene sequences[J]. Mitochondrial DNA Part A, 2018, 29(7): 1081-1089.
- [6] Yang Z Y, Zhang Y L, Hu K, et al. Etiological and histopathological study on hepatopancreatic necrosis syndrome in *Eriocheir sinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(01): 17-25. [杨宗英, 张一柳, 胡鲲, 等. 中华绒螯蟹肝胰腺坏死综合症病原及病理学研究[J]. 水生生物学报, 2018, 42(1): 17-25.]
- [7] Wang J, Xu P, Zhou G, et al. Genetic improvement and breeding practices for Chinese Mitten Crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2018, 49(2): 292-301.
- [8] Wang H N, Jiang X D, Wu X G, et al. Evaluation of culture and immune performance of the second-year 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.]
- [9] Zhang D D, Fan C W, Jiang X D, et al. Comparison of reproductive performance, embryo color and biochemical composition of white and green carapace strains of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(3): 102-110. [张冬冬, 范陈伟, 姜晓东, 等. 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系生殖性能、胚胎色泽和生化组成比较[J]. 南方水产科学, 2022, 18(3): 102-110.]
- [10] Li Q Q. Estimates of genetic parameters for colour traits and colour formation mechanism in *Eriocheir sinensis*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020. [李青青. 中华绒螯蟹色泽遗传参数评估及色泽形成机制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.]
- [11] Li Q, Wu X, He J, et al. Can genetic diversity be maintained during mass selection of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*?[J]. Aquaculture Research, 2018, 49(4): 1606-1615.
- [12] Xing X M, Shen M H, Li J, et al. Research progress on germplasm creation of new varieties of Chinese Mitten Crab *Eriocheir sinensis*[J]. Fisheries Science, 2023, 42(4): 742-746. [邢秀梅, 沈铭浩, 李杰, 等. 中华绒螯蟹新品种种质创制的研究进展[J]. 水产科学, 2023, 42(4): 742-746.]
- [13] Chen W B, Wang S B, Luo M, et al. Experiment on breeding the first generation of Chinese mitten crab “Changdang Lake 1” in soil pond[J]. Fishery Guide to be Rich, 2021(20): 66-72. [陈文彬, 王少兵, 罗明, 等. “长荡湖 1 号”河蟹选育第一代的土池育苗试验[J]. 渔业致富指南, 2021(20): 66-72.]
- [14] 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.]
- [15] Zhuang Z J, Zhang D D, Jiang X D, et al. Evaluation on culture performance of the first generation of odd year “Changdang Lake 1” *Eriocheir sinensis* during the adult culture stage[J]. Marine Fisheries, 2022, 44(6): 747-758. [庄振俊, 张冬冬, 姜晓东, 等. 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”奇数年子一代的成蟹养殖性能评估[J]. 海洋渔业, 2022, 44(6): 747-758.]
- [16] Zhuang Z J, Tang M J, Zhang D D, et al. Genetic diversity of three consecutive generations of *Eriocheir sinensis* “Changdang Lake 1”[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(9): 1523-1533. [庄振俊, 唐美君, 张冬冬, 等. 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”连续 3 个世代的遗传多样性分析[J]. 水生生物学报, 2023, 47(9): 1523-1533.]
- [17] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological culture of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 59-84. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59-84.]
- [18] 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.]
- [19] 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.
- [20] Liu X, Zhao J, Zheng Y, et al. Genetic analysis for absolute and relative growth of body weight and main morphological traits in Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2018, 49(2): 380-387.
- [21] Wu X G, He J, Jiang X D, et al. Does the wild - caught Chinese mitten crab megalopae perform better than the hatchery - produced seed during the juvenile culture?[J]. Aquaculture Research, 2018, 49(5): 2042-2050.
- [22] 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中华绒螯蟹仔蟹生长和存活的影响[J]. 生物学杂志, 2015, 32(6): 34-39.]
- [23] Zhang G B, Jiang X D, Chen W B, et al. Effect of submerged macrophytes planting mode on performance and economic profit of all-male adult *Eriocheir sinensis* culture[J]. South China Fisheries Science, 2023, 19(2): 107-115. [张光宝, 姜晓东, 陈文彬, 等. 水草种植模式对全雄中华绒螯蟹成蟹养殖性能和经济效益的影响[J]. 南方水产科学, 2023, 19(2): 107-115.]
- [24] Zhou Y C, Wang S H, Cheng Y X, et al. Comparison of culture performance of juvenile Chinese mitten crab inbred families and hybrid families derived from Liaohu river and Yangtze river[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 820-828. [周永昌, 王世会, 成永旭, 等. 辽河、长江水系及其杂交种中华绒螯蟹成蟹阶段养殖性能比较[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 820-828.]
- [25] Zeng Q F, Jeppesen E, Gu X H, et al. Cannibalism and habitat selection of cultured Chinese mitten crab: Effects of submerged aquatic vegetation with different nutritional and refuge values[J]. Water, 2018, 10(11): 1542.
- [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. The comparison of edible rate and biochemical composition of the second year early-maturing and late-maturing strains of the third selective generation during the adult culture of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(4): 487-493. [王海宁, 姜晓东, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系第三代成蟹可食率和生化组成的比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(4): 487-493.]
- [28] Crespo B, Gómez A, Mazón M J, et al. Isolation and characterization of Fhl and Gsdf family genes in European sea bass and identification of early gonadal markers of precocious puberty in males[J]. General and Comparative Endocrinology, 2013, 191: 155-167.
- [29] Wang G, Guo X, Huang X, et al. The quantitative characteristics of infection with infectious precocity virus (IPV) revealed with a new TaqMan probe-based real-time RT-PCR method[J]. Aquaculture, 2023, 566: 739179.
- [30] 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.]
- [31] Wei W, Wu J M, Wei H. Physiological mechanism of precociousness influenced by salinity in juvenile *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(2): 275-280. [魏薇, 吴嘉敏, 魏华. 盐度对中华绒螯蟹性早熟生理机制的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 275-280.]
- [32] Li X, Li Z, Liu J, et al. Advances in precocity research of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture International, 2011, 19(2): 251-267.
- [33] Fu L L, Zhou G, Li Y H, et al. Research progress on precocious puberty of Chinese mitten crab species[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 19-23. [付龙龙, 周刚, 李跃华, 等. 中华绒螯蟹种性早熟研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 19-23.]
- [34] Jiang X D, Wang H N, Cui Y, et al. Selective breeding could improve the juvenile quality of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2020, 72(2): 1-11.

Evaluation of growth and culture performance of the second generation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) “Changdang Lake 1” in odd year population

PENG Tao¹, ZHANG Dongdong¹, JIANG Xiaodong¹, LUO Ming², CHEN Wenbin², CHENG Yongxu¹, WU Xugan¹

1. Collaborative Innovation Center for Cultivating Elite Breeds and Green-culture of Aquaculture Animals; Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China
2. Changzhou Jintan District Fisheries Technical Promotion Center, Changzhou 213200, China

Abstract: The breeding population of *Eriocheir sinensis* “Changdang Lake 1” were composed of two parallel breeding strains (strain A and strain B), which were resistant to high density and large size, respectively. To evaluate the breeding effect and genetic progress of the second generation of *Eriocheir sinensis* “Changdang Lake 1” in odd year population, juvenile and adult crab culture experiment was performed under the condition of ecological culture in outdoor pond. 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. Compared with the unselected population, the growth performance, gonadal development, and culture effects of the two selected strains were comprehensively evaluated. The average body weight of the two selected strains in the juvenile and adult crab culture stages was always higher than that of the control group, and it was significantly higher than that of the control group in July and from September to November during the juvenile crab culture stage ($P<0.05$). For adult crabs, the average body weight of strain B was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$) in October; however, the difference in the average body weights of the three groups in the other months were not significant ($P>0.05$). For adult crabs, the peak periods of puberty molting in male and female individuals were from July 30th to September 10th, and August 20th to September 30th, respectively. The puberty-molting rate of the control group was slightly higher than that of the two selected strains. For the hepatosomatic index (HSI), the HSI of the males in the control group was significantly higher than that of the two selected strains on September 20th, while the HSI of the females in the two selected strains on November 10th was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). The gonadosomatic index (GSI) of the two selected strains was similar to that of the control group, and the GSI of female strain B was significantly lower than that of the control group on November 10th ($P<0.05$). For culture performance, the final average body weight and yield of the two selected strains in the juvenile and adult crab culture stages were higher than those of the control group ($P<0.05$), and the final average body weight of strain B was slightly higher than that of strain A. The feed conversion rate (FCR) of the two selected strains in the juvenile and adult crab culture stages was lower than that of the control group ($P<0.05$), and the FCR of strain A in the adult crab culture stage was significantly lower than that of the control group. The number of large-size juvenile crabs (≥ 15 g) and adult crabs (male ≥ 200 g, female ≥ 175 g) of the two selected strains was higher than that of the control group, while the number of small-size juvenile crabs (≤ 9 g) was lower than that of the control group. In summary, *Eriocheir sinensis* “Changdang Lake 1” strain A has the advantages of fast growth, high unit yield, and low FCR, while *Eriocheir sinensis* “Changdang Lake 1” strain B has the advantages of large average body weight, high proportion of large size crabs and late puberty molting. These two breeding strains have the potential for further breeding.

Key words: *Eriocheir sinensis*; complete set-line breeding; growth performance; gonadal development; culture performance

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