

文章编号: 1674-5566(2024)06-1324-11

DOI: 10.12024/jsou.20240304452

## 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”养殖性能和经济效益的影响

彭涛<sup>1</sup>, 张冬冬<sup>1</sup>, 张光宝<sup>1</sup>, 周捷<sup>2</sup>, 陈文彬<sup>3</sup>, 蒋仁奎<sup>4</sup>, 姜晓东<sup>1,5</sup>,  
吴旭干<sup>1,5,6</sup>

(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, 上海 201306; 2. 上海市崇明县水产技术推广站, 上海 202150; 3. 常州市金坛区水产技术推广中心, 江苏 常州 213200; 4. 江苏长荡湖大闸蟹有限公司, 江苏 常州 213200; 5. 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; 6. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

**摘要:** 为研究池塘养殖条件下中华绒螯蟹“六月黄”(通常指在农历六月上市的亚成体雄蟹)适宜的蟹种放养密度,本研究采用雄体蟹种 $[20.43 \pm 0.11] \text{ g}$ 作为研究对象,设置1.5只/m<sup>2</sup>(低密度组)、2.25只/m<sup>2</sup>(中密度组)、3只/m<sup>2</sup>(高密度组)3个养殖密度组,通过140 d的养殖实验比较分析中华绒螯蟹“六月黄”生长性能、组织系数、最终养殖效果和经济效益。结果表明:(1)自4月15日起,低密度组平均体质量始终最高,中密度次之,高密度组最低,其中6月15日和7月5日时,3个实验组间均差异显著;低密度组总增重率(WGR)略高于中密度组,且两者均显著高于高密度组;低密度组和中密度组出肉率(MY)均显著高于高密度组,低密度组总可食率(TEY)显著高于高密度组;(2)低密度组最终平均体质量和成活率(SR)均显著高于中密度和高密度组,而高密度组产量显著高于中密度和低密度组。高密度组饲料系数(FCR)和残肢率(LLR)显著高于低密度组,而与中密度组无显著差异;育成规格分布方面,低密度组“六月黄”大规格( $\geq 110 \text{ g}$ )比例显著最高,小规格( $< 100 \text{ g}$ )比例最低;(3)高密度组总成本和总收入均最高,中密度组次之,低密度组最低,三者均差异显著;高密度组净利润(NP)显著高于低密度组,且略高于中密度组,投资回报率(ROI)则恰好相反。“六月黄”养殖模式具有养殖周期短、生产操作简单、投资成本低、收益高等特点。综合考虑,中华绒螯蟹“六月黄”养殖模式下蟹种放养密度以3只/m<sup>2</sup>为宜。

**关键词:** 中华绒螯蟹;“六月黄”;放养密度;养殖性能;经济效益

**中图分类号:** S 966.16 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)又称河蟹,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<sup>[1-3]</sup>。长江中下游地区,成蟹性腺成熟时间主要集中于10—11月,导致其销售有明显的季节限制<sup>[4]</sup>。商品蟹集中销售不仅使市场竞争过度,更阻碍了中华绒螯蟹养殖产业的健康可持续发展。中华绒螯蟹“六月黄”(简称“六月黄”)通常指农历六月已经完成2~3次蜕壳的亚成体雄蟹,体质量通常为75~125 g。此类中华绒螯蟹性腺尚未

发育成熟,而肝胰腺饱满,呈金黄色,口感鲜甜,故称“六月黄”。先前研究表明,“六月黄”的常规生化、脂质组成、矿物质含量和必需氨基酸指数均与二龄性成熟的成蟹相似<sup>[5]</sup>,但其肝胰腺中蛋白质、氨基酸和多不饱和脂肪酸含量略高于成体<sup>[6-7]</sup>。因此,提早上市的“六月黄”能够满足消费者“尝鲜”需求,获得消费市场青睐。成蟹养殖过程中,雄蟹的生长速度、平均规格和总可食率均高于雌蟹<sup>[8-9]</sup>,消费者更加青睐大规格高品质的雄蟹,市场销售的“六月黄”也以雄蟹为主。因此,

收稿日期: 2024-03-13 修回日期: 2024-05-15

**基金项目:** 湖州市重点研发计划项目农业“双强”专项(2023ZD2036);上海市河蟹产业体系专项(沪农科产字[2022]第4号);常州市农业科技创新和示范推广项目(KCSF[2023]08);上海市崇明区农业科创项目(2022CNKC-01-05);江苏省农业农村厅种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS[2021]127)

**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。E-mail:478660221@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>

对于养殖从业者而言,为降低年末成蟹集中上市的压力,中华绒螯蟹“六月黄”养殖具有较大的市场应用潜力。

甲壳动物生长发育的具体表现由内部因素和外部因素共同决定。内部因素主要为养殖主体迭代遗传的固有特性<sup>[10]</sup>,外部因素主要为养殖水体<sup>[11]</sup>、栖息环境<sup>[12]</sup>、饵料投喂<sup>[13]</sup>和放养密度<sup>[14]</sup>等。随着中华绒螯蟹产业的不断发展,为进一步提高产量和经济效益,放养密度已经成为了众多养殖从业者关注的热点问题。养殖密度过低导致中华绒螯蟹产量减少,经济效益不佳;而密度过高又会抑制生长、机体免疫下降,甚至加剧自相残杀,进而影响养殖成活率<sup>[15-16]</sup>。已有研究<sup>[17-18]</sup>评估了放养密度对中华绒螯蟹成蟹养殖性能的影响,但“六月黄”关键养殖技术的相关研究仍处于起步阶段,尚不清楚“六月黄”养殖的适宜放养密度。因此,本文比较分析放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”养殖性能和经济效益的影响,探明池塘养殖条件下“六月黄”养殖模式的适宜放养密度,为“六月黄”养殖提供实验参考和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 池塘准备及蟹种投放

本实验于2023年2—7月在江苏金坛区水产技术推广中心指前基地进行。以已有中华绒螯蟹养殖密度的相关研究及“六月黄”业内实际养殖情况调研结果为主要参考依据<sup>[17-18]</sup>,将12个面积相等的室外养殖池塘(长×宽=23 m×23 m)随机分为3个密度实验组:1.5只/m<sup>2</sup>(低密度组)、2.25只/m<sup>2</sup>(中密度组)和3只/m<sup>2</sup>(高密度组),每组分别设置4个重复池塘,每个池塘塘埂四周设有0.6 m高PVC隔板,避免实验蟹逃窜。2023年1月10日加水至0.3 m后,使用漂白粉(1 125 kg/hm<sup>2</sup>)对实验池塘进行杀菌消毒,10 d后在池塘底部按照株距1.2 m和行距1.5 m间隔种植伊乐藻(*Elodea nuttallii*),供中华绒螯蟹隐蔽和蜕壳。2月上旬,实验蟹种选自中华绒螯蟹选育新品系“长荡湖1号”B系,挑选健康有活力的雄体蟹种[平均体质量为(20.43 ± 0.11)g],按设定放养密度投放至对应的实验池塘中。

### 1.2 养殖管理

大规模纯雄蟹种对水草要求较高,栽种伊乐

藻后及时观察水草生长情况,适当补用草肥促使其快速生根,植株生长过盛时及时进行梳理,确保水草覆盖池塘面积不低于60%。当池塘水温升高至10℃时(2月底)开始投喂河蟹配合饲料(粗蛋白质≤45.0%;粗脂肪≥6.0%;粗灰分≤18.0%;水分≤12.0%),初始投喂量约占塘内实验蟹总质量的2%。每个池塘安放2个食台用以观察中华绒螯蟹当日摄食情况,并据此灵活调整下次投喂量。池塘底部设有微孔增氧设施,阴雨天及时进行曝气增氧。每日观察水体变化情况,定期检测每个实验池塘的水质指标,氨氮(<0.4 mg/L)、溶氧(>3 mg/L)、pH(7.0~9.0)、亚硝酸盐(<0.15 mg/L)等,适时换水以保持实验池塘水质适宜中华绒螯蟹生长。

## 1.3 数据采集及分析

### 1.3.1 生长情况

实验开始后,每月15日依据3个实验组设定的放养密度,利用地笼抓捕的方式分别随机采集30、45和60只个体,将每只个体体表水分擦干后,使用电子天平精确称重(精确到0.01 g),并记录每只实验蟹的体质量,依此计算每月平均体质量、增重率(Weight growth rate, WGR)和特定生长率(Specific growth rate, SGR)。计算公式:

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

$$S_{GR} = (\ln W_t - \ln W_{t-1}) / D \times 100\% \quad (2)$$

式中: $W_{GR}$ 为增重率,%; $S_{GR}$ 为特定生长率,%/d; $W_t$ 为第 $t$ 月采样时实验蟹的平均体质量,g; $W_{t-1}$ 为第 $t-1$ 月采样时实验蟹的平均体质量,g; $D$ 为采样的间隔时间,d。

### 1.3.2 组织系数

7月1日,依据3个实验组设定的放养密度,利用地笼抓捕的方式分别随机采集体质量相近的4、6和8只个体。擦净体表水分后,利用电子天平精确称量每只实验蟹的体质量。随后,活体解剖出每只个体全部的肝胰腺并精确称重,用于计算肝胰腺指数(Hepatosomatic index, HSI)。用剪刀和镊子精准刮出每只个体全部的肌肉并精确称重,用于计算出肉率(Meat yield, MY)。总可食率(Total edible yield, TEY)为HSI和MY之和。计算公式:

$$H_{SI} = W_H / W \times 100\% \quad (3)$$

$$M_Y = W_M / W \times 100\% \quad (4)$$

$$T_{EY} = H_{SI} + M_Y \quad (5)$$

式中: $H_{SI}$ 为肝胰腺指数,%; $M_V$ 为出肉率,%; $T_{EV}$ 为总可食率,%; $W$ 为实验蟹的体质量,g; $W_H$ 为实验蟹的肝胰腺质量,g; $W_M$ 为实验蟹的肌肉质量,g。

### 1.3.3 养殖效果

实验于7月5日结束,通过地笼抓捕、干塘后捡拾等方式捕获各实验池塘的“六月黄”。统计各池塘实验蟹成活个体数量、产量及附肢残缺的蟹数量,用以计算每个实验组的最终平均体质量、成活率(Survival rate, SR)、单位面积产量(Yield, Y)和残肢率(Limb loss rate, LLR),并据此计算对应的饲料系数(Feed conversion rate, FCR)。参考王世会等<sup>[19]</sup>以及周边“六月黄”收购点规格分级方法将每个池塘最终捕获的实验蟹根据体质量分为8个等级,分别为 $\leq 74.99$  g、75.00~89.99 g、90.00~99.99 g、100.00~109.99 g、110.00~124.99 g、125.00~139.99 g、140.00~149.99 g、 $\geq 150$  g,统计各规格等级中华绒螯蟹的组成比例。存活率、单位面积产量以及饲料系数计算公式:

$$S_R = N_f / N_i \times 100\% \quad (6)$$

$$Y = Y_f / S \quad (7)$$

$$L_{LR} = N_c / N_f \times 100\% \quad (8)$$

$$F_{CR} = W_f / (W_t - W_0) \quad (9)$$

式中: $S_R$ 为成活率,%; $Y$ 为产量,g/m<sup>2</sup>; $L_{LR}$ 为残肢率,%; $F_{CR}$ 为饲料系数; $N_f$ 为最终存活个体数量; $N_i$ 为最初投放个体数量; $Y_f$ 为产量,g; $S$ 为池塘水面积,m<sup>2</sup>; $N_c$ 为最终附肢残缺的蟹数量; $W_f$ 为消耗的饲料总质量,g; $W_t$ 为“六月黄”总质量,g; $W_0$ 为投放蟹种总质量,g。

### 1.3.4 经济效益

经济效益分析中的成本主要包括池塘租金、蟹种、饲料、人工、药品、池塘维护、电费和其他杂费等,各项支出按实际使用量和当地价格计算;收入为商品蟹销售所得,各规格商品蟹的价格参考实验结束时江苏当地的“六月黄”市场平均交易价格(表1)。净利润(Net profit, NP)和投资回报率(Return on investment, ROI)计算公式:

$$N_p = I_c - I_n \quad (10)$$

$$R_{OI} = P_n / I_n \times 100\% \quad (11)$$

式中: $N_p$ 为净利润,10<sup>3</sup>元/hm<sup>2</sup>; $R_{OI}$ 为投资回报率,%; $I_c$ 为总收入; $I_n$ 为总投入。

表1 2023年江苏中华绒螯蟹“六月黄”市场价格

Tab. 1 Jiangsu market price of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June in 2023

| 单只蟹体质量<br>Individual body mass/g | $\leq 74.99$ | 75.00 ~<br>89.99 | 90.00 ~<br>99.99 | 100.00 ~<br>109.99 | 110.00 ~<br>124.99 | 125.00 ~<br>139.99 | 140.00 ~<br>149.99 | $\geq 150$ |
|----------------------------------|--------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 价格 Price/(元/kg)                  | 44           | 54               | 64               | 80                 | 90                 | 100                | 110                | 130        |

## 1.4 数据分析

实验数据用Excel 2019进行录入和整理,采用SPSS 19.0软件进行数据处理和统计分析,采用Levene法进行方差齐性检验,采用ANOVA法进行方差分析,多重比较采用Duncan's法,取 $P < 0.05$ 为差异显著。采用GraphPad Prism 8.0进行作图,最终呈现的所有实验数据均以平均值 $\pm$ 标准误(Mean $\pm$ SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 养殖过程中的水温变化

养殖实验期间的池塘水体温度变化情况如图1所示,温度记录仪的测量探头放置于池塘水面以下30 cm左右,确保测量探头四周没有水草、青苔等杂物。整个养殖期间最高日平均水温为30.2℃,最低水温为6.1℃。2—3月的水温在5~

15℃,自4月1日起,水温开始逐步平稳上升。

### 2.2 生长性能

放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”平均体质量的影响如图2所示,自4月15日起,各实验组平均体质量随着放养密度升高呈现下降趋势。5月15日低密度组平均体质量显著高于高密度组( $P < 0.05$ )。6月15日和7月5日时,3个实验组间的平均体质量均差异显著( $P < 0.05$ ),低密度组显著最高( $P < 0.05$ ),高密度组显著最低( $P < 0.05$ )。增重率(WGR)而言(图3),6月之前,低密度组WGR比中密度组和高密度组略有优势( $P > 0.05$ ),中密度组6—7月WGR显著高于其余两组( $P < 0.05$ )。2—7月整个实验周期结束,低密度组和中密度组总WGR显著高于高密度组( $P < 0.05$ )。各实验组间特定生长率(SGR)(图4)的变化趋势与WGR类似。

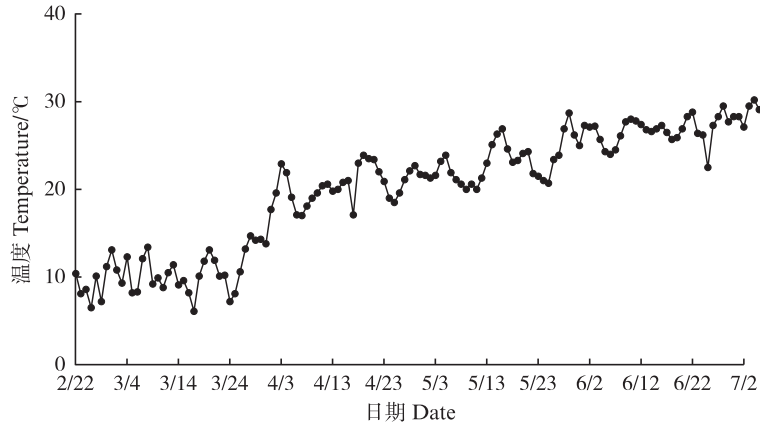
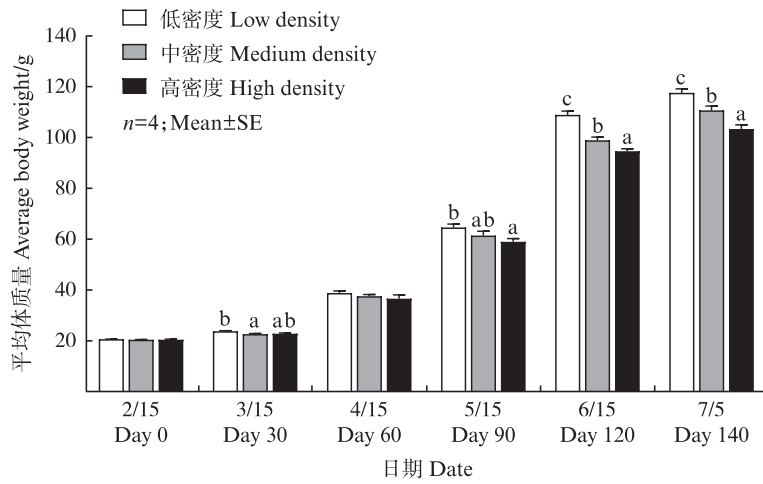


图 1 实验池塘水体温度变化情况

Fig. 1 Temperature variation of water in experimental pond

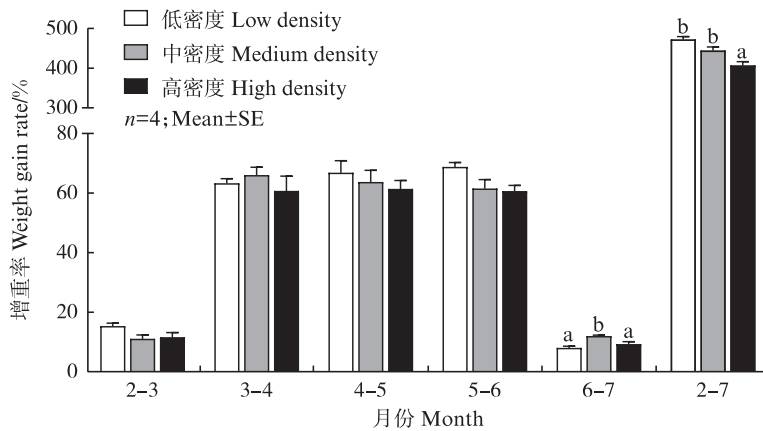


不同小写字母表示组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters show significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 2 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”平均体质量的影响

Fig. 2 Effects of stocking densities on body weight of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

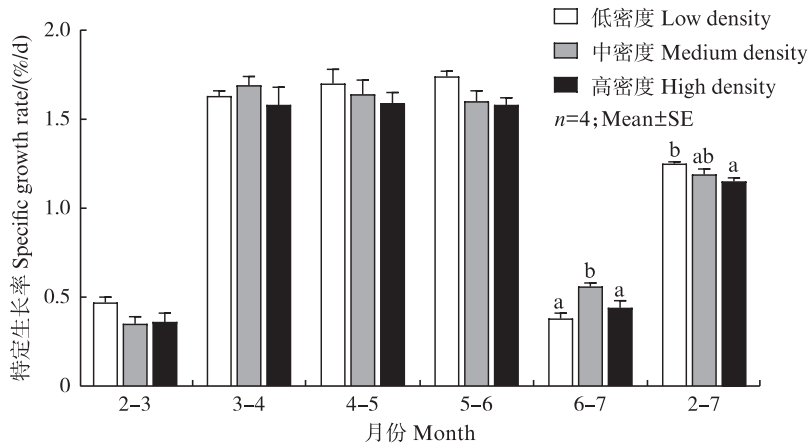


不同小写字母表示组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters show significant differences ( $P < 0.05$ ).

图 3 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”增重率的影响

Fig. 3 Effects of stocking densities on weight gain rate of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June



不同小写字母表示组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters show significant differences ( $P < 0.05$ ).

图4 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”特定生长率的影响

Fig. 4 Effects of stocking densities on specific growth rate of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

## 2.3 养殖效果

### 2.3.1 组织系数

放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”组织系数的影响如图5所示。3个实验组间肝胰腺指数(HSI)无显著差异( $P > 0.05$ );低密度组出肉率(MY)略高于中密度组,且两者均显著高于高密度组( $P < 0.05$ );低密度组总可食率(TEY)显著高于高密度组( $P < 0.05$ ),且略高于中密度组。

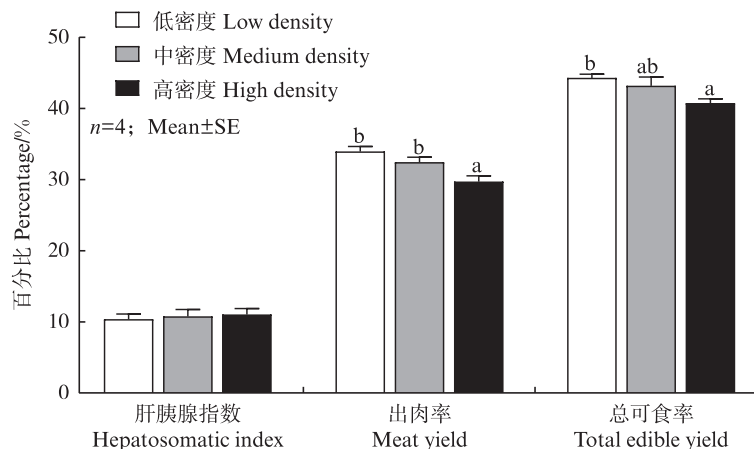
### 2.3.2 最终养殖效果

放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”最终养殖效果的影响如表2所示。低密度组最终平均体质量和成活率显著高于其余两组( $P < 0.05$ ),高密度

组最低。虽然高密度组产量显著高于低密度组和中密度组( $P < 0.05$ ),但其饲料系数和残肢率也最高,且显著高于低密度组( $P < 0.05$ )。3个实验组在未达标蟹比例方面无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.3.3 育成规格分布

放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”育成规格分布的影响如图6所示,各组均呈正态分布。高密度组在中小规格区间( $< 110$  g)内占比最高,尤其在小规格区间( $< 100$  g)占比显著高于低密度组( $P < 0.05$ )。低密度组在大规格区间( $\geq 110$  g)占比最高,且显著高于高密度组( $P < 0.05$ )。整体而言,3组实验蟹的育成规格随养殖密度提高而降低。



不同小写字母表示组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters show significant differences ( $P < 0.05$ ).

图5 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”组织系数的影响

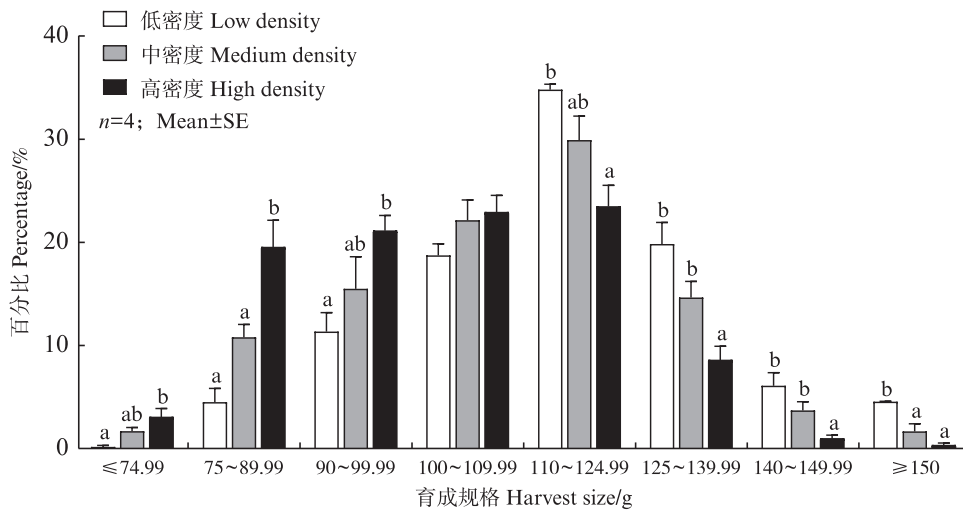
Fig. 5 Effects of stocking densities on tissue indices of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

表 2 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”最终养殖效果的影响  
Tab. 2 Effects of stocking densities on culture effect of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

| 项目 Item                        | 组别 Groups                  |                            |                            |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                | 低密度 Low density            | 中密度 Medium density         | 高密度 High density           |
| 最终平均体质量 Final body mass/g      | 117.48 ± 1.66 <sup>c</sup> | 110.61 ± 1.79 <sup>b</sup> | 103.36 ± 1.59 <sup>a</sup> |
| 成活率 Survival rate/%            | 72.29 ± 2.17 <sup>b</sup>  | 61.10 ± 1.61 <sup>a</sup>  | 56.16 ± 2.07 <sup>a</sup>  |
| 产量 Yield/(g/m <sup>2</sup> )   | 114.20 ± 2.12 <sup>a</sup> | 136.18 ± 4.23 <sup>b</sup> | 155.11 ± 3.75 <sup>c</sup> |
| 饲料系数 Feed conversion rate      | 1.07 ± 0.02 <sup>a</sup>   | 1.20 ± 0.04 <sup>b</sup>   | 1.29 ± 0.03 <sup>b</sup>   |
| 残肢率 Limb loss rate/%           | 1.79 ± 0.92 <sup>a</sup>   | 3.21 ± 1.07 <sup>ab</sup>  | 5.66 ± 0.63 <sup>b</sup>   |
| 未达标蟹比例 Unqualified crab rate/% | 9.81 ± 1.14                | 9.67 ± 1.00                | 10.04 ± 1.18               |

注:未达标蟹主要为软壳蟹和僵蟹;同行不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。

Notes: The unqualified crabs are mainly soft-shell crabs and stiff crabs; Different lowercase letters of the same line show significant differences (P<0.05).



不同小写字母表示组间显著性差异(P<0.05)。

Different lowercase letters show significant differences (P<0.05).

图 6 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”育成规格分布的影响

Fig. 6 Effects of stocking densities on harvest size distribution of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

### 2.4 经济效益

2023年江苏不同规格中华绒螯蟹“六月黄”的价格变化情况如图7所示,在端午节(6月22日)后市场价格开始呈现明显下跌趋势,在7月1日、7月6日、7月15日及7月20日有4次短暂的小幅上涨,随后各规格价格均趋于平稳。

放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”经济效益的影响如表3所示。“六月黄”养殖成本主要包括池塘租金、蟹种、饲料、人工和药品,这5项占总成本的85.17%~88.63%。其中,可变成本为蟹种和饲料投入,高密度组在可变成本的投入分别比中密度组和低密度组高26.79%和75.93%。因此,高密度组总成本显著高于中密度组(P<0.05),而中密度组又显著高于低密度组(P<0.05)。总收入主要取决于各

实验组“六月黄”的育成规格和最终产量,净利润为总收入与总成本之差。高密度组总收入显著最高(P<0.05),低密度组显著最低(P<0.05)。高密度组净利润显著高于低密度组(P<0.05),且略高于中密度组,投资回报率则恰好相反。

### 3 讨论

采用12个约529 m<sup>2</sup>室外土池进行“六月黄”养殖实验,各实验池塘的塘底土质、增氧设施、防逃设施等中华绒螯蟹养殖条件均与金坛本地“小精高”养殖模式相同,“六月黄”蟹种筛选、水草种养、水质调控、饵料投喂等管理技术均与实际生产养殖相近,各实验组仅在蟹种投放上设置3个不同放养密度。

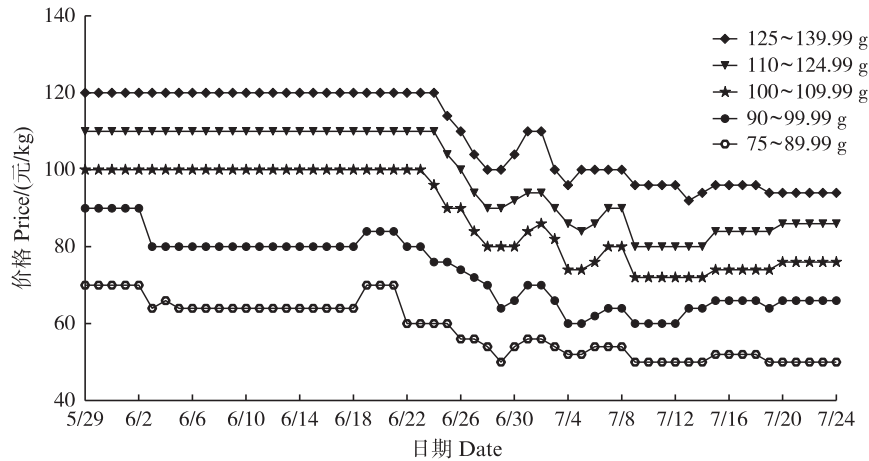


图7 2023年江苏不同规格中华绒螯蟹“六月黄”的价格变化情况

Fig. 7 Market price changes of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June with different sizes in Jiangsu in 2023

表3 放养密度对中华绒螯蟹“六月黄”经济效益的影响

Tab. 3 Effects of stocking densities on economic profits of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June  $10^3$ 元/hm<sup>2</sup>

| 项目 Item                    | 组别 Groups                  |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                            | 低密度 Low density            | 中密度 Medium density         | 高密度 High density           |
| 池塘租赁 Land rental           | 11.25                      | 11.25                      | 11.25                      |
| 蟹种 Crab seed               | 12.33 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 18.30 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 24.49 ± 0.27 <sup>c</sup>  |
| 饲料 Feed                    | 9.73 ± 0.08 <sup>a</sup>   | 12.31 ± 0.06 <sup>b</sup>  | 14.32 ± 0.12 <sup>c</sup>  |
| 人工 Labor                   | 7.50                       | 7.50                       | 7.50                       |
| 药品 Drug                    | 7.50                       | 7.50                       | 7.50                       |
| 池塘维护 Pond maintenance      | 4.50                       | 4.50                       | 4.50                       |
| 水草 Aquatic plant           | 2.25                       | 2.25                       | 2.25                       |
| 电费 Electric charge         | 0.90                       | 0.90                       | 0.90                       |
| 其他杂费 Others                | 0.75                       | 0.75                       | 0.75                       |
| 总成本 Total cost             | 56.71 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 65.26 ± 0.08 <sup>b</sup>  | 73.46 ± 0.15 <sup>c</sup>  |
| 总收入 Total return           | 113.03 ± 0.76 <sup>a</sup> | 125.37 ± 0.99 <sup>b</sup> | 137.35 ± 0.80 <sup>c</sup> |
| 净利润 Net profit             | 56.32 ± 0.76 <sup>a</sup>  | 60.11 ± 1.03 <sup>ab</sup> | 63.89 ± 0.87 <sup>b</sup>  |
| 投资回报率 Return on investment | 99.32 ± 1.36 <sup>b</sup>  | 92.12 ± 1.64 <sup>ab</sup> | 86.98 ± 1.29 <sup>a</sup>  |

注:同行不同小写字母表示显著性差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Different lowercase letters of the same line show significant differences ( $P < 0.05$ ).

放养密度是影响中华绒螯蟹生长发育的重要因素。先前研究表明<sup>[20]</sup>,饵料及活动空间受限的情况下,密度过高会引起养殖动物争斗行为过激,进而将原本用于生长发育的能量部分转移至日常活动。此外,放养密度的增加会提高水体的耗氧量、代谢物排出量及残饵量<sup>[21]</sup>,加剧养殖水体的恶化<sup>[22]</sup>,影响虾蟹正常的生长发育。本实验中5月后,低密度养殖带来的生长优势日益显著。

温度也是影响甲壳类生长发育的重要外部环境因子<sup>[23]</sup>,水温过低会严重抑制其摄食,进而降低其生长<sup>[24]</sup>。例如,在中华绒螯蟹<sup>[25-26]</sup>、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)<sup>[27]</sup>、拟穴青蟹(*Scylla paramanosain*)<sup>[28]</sup>中研究表明,在适宜温度

范围内,养殖对象增重率和存活率随水温上升而逐渐增加。本研究中,各组“六月黄”在2—3月的增重率和特定生长率最低,这可能是因为养殖前期水温较低(图1),直至3月末水温上升得以逐步改善。因此,在养殖前期池塘水温较低的情况下,研发“六月黄”专用饲料可能更有利于促使中华绒螯蟹提高摄食量、加快发育,从而实现“六月黄”提前上市。

可食组织系数直接决定商品蟹质量<sup>[29-30]</sup>。相较于性腺发育成熟的成蟹,“六月黄”可食部位主要为肝胰腺(蟹黄)和肌肉。本研究中,各组“六月黄”实验蟹肝胰腺指数差异不显著,集中在10.35%~11.02%,但显著高于生殖蜕壳后的成

蟹<sup>[31]</sup>,这与丁昊翔等<sup>[5]</sup>研究结果相近。这主要是因为“六月黄”仍未完成生殖蜕壳,性腺尚未发育,肝胰腺中积累的多不饱和脂肪酸显著高于成蟹<sup>[6]</sup>。低密度组和中密度组出肉率均显著高于高密度组,这是因为放养密度降低育成规格较大,而大规格个体更具摄食优势<sup>[32-33]</sup>,进而能够储存更多营养物质用于维持机体运动和代谢功能<sup>[34]</sup>。

成活率和产量是衡量水产作物养殖效果的重要指标<sup>[35]</sup>,同时实际生产中也为养殖从业人员所密切关注。本实验中,低密度组在成活率方面有显著优势,高密度组残肢率显著最高。这可能是放养密度升高,种间打斗行为频发加剧自相残杀的现象<sup>[36-37]</sup>。此外,中华绒螯蟹的生长发育与所处环境中水草的生长状况息息相关<sup>[38]</sup>，“六月黄”所用大规格雄体蟹种对水草的破坏能力强大<sup>[12]</sup>。本实验中的伊乐藻是1月底才开始种植,而伊乐藻在水温超过10℃的环境下才会逐步生长<sup>[39]</sup>。因此,投放蟹种时塘内水草长势不够旺盛,可用的隐蔽空间不足以容纳数量过多的实验蟹可能是导致高密度组“六月黄”成活率较低的另一原因。养殖过程中,池塘环境、蟹种质量以及管理方式基本一致,所以高密度组在产量上的显著优势应该得益于更高的放养密度<sup>[40]</sup>。

本研究中,总成本受“六月黄”各实验组蟹种和饲料影响,总收入仅为“六月黄”销售所得,净利润为总收入和总成本之差。低密度组“六月黄”所需蟹种和消耗的饲料更少,每公顷投入总成本低于高密度组。低密度组在最终育成规格和大规格( $\geq 110$  g)分布比例方面有优势,销售单价更高<sup>[41]</sup>,但受限于较低的养殖密度,其每公顷产量远低于高密度组,进而其总收入低于高密度组。3个实验组中总收入的差距大于总成本,因此低密度组净利润远低于高密度组,但其投资回报率远高于高密度组。值得一提的是,每个实验组都有10%左右的未达标蟹,主要是捕获时部分个体恰逢蜕壳不久,外壳硬化不足导致整体偏软,不适合长途运输进而不被商贩认可,无法出售。今后的“六月黄”养殖中,可以在捕蟹前1~2周,向养殖池塘中补充外源钙质协助中华绒螯蟹快速硬壳、降低蜕壳损耗,提高经济效益<sup>[42]</sup>。

#### 4 结论

综上所述,中华绒螯蟹“六月黄”在池塘养殖条件

下,低密度养殖模式可以提高整体育成规格、成活率和总可食率,同时降低饲料系数和残肢率;高密度养殖模式尽管成活率和整体规格偏小,但单位面积产量和净利润却最高。“六月黄”养殖模式具有养殖周期短、生产操作简单、投资成本低、收益高等特点。综合考虑,中华绒螯蟹“六月黄”养殖模式下蟹种放养密度以3只/m<sup>2</sup>为宜。

#### 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): 602-613.
- [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): e0219260.
- [4] 滕炜鸣,成永旭,吴旭干,等. 莱茵种群和长江种群子一代中华绒螯蟹性腺发育及相关生物学指数变化的比较[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 65-71.  
TENG W M, CHENG Y X, WU X G, et al. A comparative study on some biological index changes concerned with gonad development between two population of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*): Rhine and Yangtze [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(1): 65-71.
- [5] 丁昊翔,唐美君,姜晓东,等. 中国主要产地“六月黄”中华绒螯蟹的营养品质比较[J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 1052-1063.  
DING H X, TANG M J, JIANG X D, et al. Comparative study of the nutritional quality of outseason crab at lunar June (*Eriocheir sinensis*) from major Chinese production areas [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(7): 1052-1063.
- [6] 王帅,吴旭干,陶宁萍,等. 中华绒螯蟹六月黄营养及风味品质研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 219-227.  
WANG S, WU X G, TAO N P, et al. Nutritional and flavor quality analysis of Liu Yuehuang (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(4): 219-227.
- [7] 王友成,倪康达,江芝娟,等. 中华绒螯蟹“六月黄”与成蟹肝胰腺营养成分比较[J]. 水产科技情报, 2021, 48(4): 181-186.



- WANG Y C, NI K D, JIANG Z J, et al. Comparison on major nutritional quality in hepatopancreas tissues between the June-caught and adult Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(4): 181-186.
- [8] 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.
- 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- 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.
- [11] 戴希贤. 四川盆地环境条件下幼蟹养殖池塘水环境及浮游生物群落结构特征[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- DAI X X. Characteristics of the water environment and plankton community structure in ponds for juvenile crabs culture under Sichuan basin environmental conditions [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [12] 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.
- 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.
- [13] 尹豪. 配合饲料替代冰鲜鱼进行投喂对中华绒螯蟹生长性能和营养品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- YIN H. Effect of feeding with compound feed instead of chilled fish on growth performance and nutritional quality of Chinese mitten crab [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023.
- [14] 王新. 稻蟹养殖模式下不同放养密度对中华绒螯蟹生长、营养品质及抗氧化能力的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- WANG X. Effects of different stocking densities on the growth, nutritional quality and antioxidant capacity of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in rice-crab culture mode [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2021.
- [15] WANG Q D, LIU J S, ZHANG S Y, et al. Sustainable farming practices of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) around Hongze Lake, lower Yangtze River Basin, China [J]. Ambio, 2016, 45(3): 361-373.
- [16] YUAN Q, QIAN J, REN Y, et al. Effects of stocking density and water temperature on survival and growth of the juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, reared under laboratory conditions [J]. Aquaculture, 2018, 495: 631-636.
- [17] ZHANG G B, JIANG X D, ZHOU W Q, et al. Stocking density affects culture performance and economic profit of adult all-female Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in earthen ponds [J]. Aquaculture, 2024, 581: 740352.
- [18] 孔娣, 曹正华, 荆晶, 等. 不同放养密度对河蟹生长性能的影响[J]. 水产养殖, 2023, 44(5): 30-35.
- KONG D, CAO Z H, JING J, et al. Effects of different stocking densities on the growth performance of pure male river crab [J]. Journal of Aquaculture, 2023, 44(5): 30-35.
- [19] 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 $F_1$ 养殖性能及可食率比较[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 664-676.
- 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.
- [20] DAMODARAN D, KOYA K M, MOJJADA S K, et al. Optimization of the stocking parameters for mud spiny lobster *Panulirus polyphagus* (Herbst, 1793) capture-based aquaculture in tropical open sea floating net cages [J]. Aquaculture Research, 2018, 49(2): 1080-1086.
- [21] 侯文杰, 臧维玲, 刘永士, 等. 室内凡纳滨对虾养殖密度对水质与生长的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 284-289.
- HOU W J, ZANG W L, LIU Y S, et al. Effects of stocking densities on growth and water quality in *Litopenaeus vannamei* indoor culture [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2010, 37(2): 284-289.
- [22] 陈亚坤, 郭冉, 夏辉, 等. 密度胁迫对凡纳滨对虾生长、水质因子及免疫力的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(3): 292-294.
- CHEN Y K, GUO R, XIA H, et al. Effects of density stress on growth, water quality factors and immunity of *Litopenaeus vannamei* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(3): 292-294.
- [23] 李志强. 温度变化对中华绒螯蟹生理功能的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- LI Z Q. Effects of temperature variation on physiological function of *Eriocheir sinensis* [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2023.

- [24] YUAN Q, WANG Q D, ZHANG T L, et al. Effects of water temperature on growth, feeding and molting of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Aquaculture*, 2017, 468: 169-174.
- [25] 李春波, 沈晨晨, 冯广朋, 等. 中华绒螯蟹栖息地因子适宜范围的研究进展[J]. *海洋渔业*, 2023, 45(6): 766-774.
- LI C B, SHEN C C, FENG G P, et al. Research progress on habitat suitability of *Eriocheir sinensis* [J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(6): 766-774.
- [26] 张凯军. 水温对中华绒螯蟹蜕壳生长及肠道微生物的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- ZHANG K J. Effects of water temperatures on molting, growth and gut microbiota of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [27] 万利涛. 反季节繁养模式下水温对三疣梭子蟹不同生长发育关键阶段的影响研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2023.
- WANG L T. Effects of water temperature on different growth and development key phases of *Portunus trituberculatus* under off-season breeding mode [D]. Zhoushan; Zhejiang Ocean University, 2023.
- [28] 陈琳, 滕爽爽, 陆振, 等. 水温和余氯对拟穴青蟹幼蟹的急性毒性研究[J]. *水产科学*, 2023, 42(5): 830-838.
- CHEN L, TENG S S, LU Z, et al. Acute toxicity of water temperature and residual chlorine to juvenile mud crab *Scylla paramamosain* [J]. *Fisheries Science*, 2023, 42(5): 830-838.
- [29] WU X G, CHENG Y X, SUI L Y, et al. Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock [J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38(14): 1459-1467.
- [30] PAN J, WU R F, WU X G, et al. Impacts of different feeding modes on the gonadal development, total edible yield, and nutritional composition of male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, 5(6): 300-307.
- [31] 祖露, 龙晓文, 徐建峰, 等. 闽江水系野生绒螯蟹的营养品质分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(5): 744-754.
- ZU L, LONG X W, XU J F, et al. Analysis of nutritional quality of wild adult mitten crab population, *Eriocheir sensu stricto*, from Minjiang River [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(5): 744-754.
- [32] DINGEMANSE N J, WOLF M. Recent models for adaptive personality differences: a review [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1560): 3947-3958.
- [33] LUTTBEG B, SIH A. Risk, resources and state-dependent adaptive behavioural syndromes [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1560): 3977-3990.
- [34] 王福辰, 王春, 马明君, 等. 3种不同饵料对越冬后再摄食至第一次蜕壳前中华绒螯蟹幼蟹能量密度和营养积累研究[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(2): 76-80.
- WANG F C, WANG C, MA M J, et al. Studies on energy density and nutrient accumulation in the young *Eriocheir sinensis* living after the last winter before the first molting in the second year [J]. *Journal of Biology*, 2016, 33(2): 76-80.
- [35] 姜晓东. 不同来源中华绒螯蟹种质量评价的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- JIANG X D. Quality evaluation of crabseed from different sourced *Eriocheir sinensis* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [36] ZHENG J B, MAO Y, SU Y Q, et al. Effects of stocking density on the survival, growth and physical injury of *Marsupenaeus japonicus* juveniles in a flowing water aquaculture system [J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(4): 1500-1506.
- [37] 杨志刚, 刘启彬, 姚琴琴, 等. 养殖密度和饵料组成对河蟹仔蟹生长和存活的影响[J]. *生物学杂志*, 2015, 32(6): 34-39.
- 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.
- [38] 刘庆华, 黄姝, 岳武成, 等. 伊乐藻对中华绒螯蟹生长和营养品质的影响[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 91-99.
- LIU Q H, HUANG S, YUE W C, et al. Effects of *Elodea nuttallii* on growth and nutritional quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 91-99.
- [39] ZEHNSDORF A, HUSSNER A, EISMANN F, et al. Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis* [J]. *Limnologica*, 2015, 51: 110-117.
- [40] 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.
- MAO Z F. Effects of pond culture density on growth performance of *Eriocheir sinensis* and aquaculture water environment [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [41] 吴明. 兴化市河蟹规模化养殖模式和效益及其对策研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
- WU M. Study on scale culture mode and benefit of crab in Xinghua City [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2023.
- [42] 杨航, 杨志刚, 张龙, 等. 中华绒螯蟹幼蟹在蜕壳周期内鳃和外壳的钙含量及组织结构变化[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(3): 484-491.
- YANG H, YANG Z G, ZHANG L, et al. Changes of calcium content and tissue structure in gill and carapaces of juvenile *Eriocheir sinensis* during the molting cycle [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(3): 484-491.

## Effects of stocking density on culture performance and economic profits of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June

PENG Tao<sup>1</sup>, ZHANG Dongdong<sup>1</sup>, ZHANG Guangbao<sup>1</sup>, ZHOU Jie<sup>2</sup>, CHEN Wenbin<sup>3</sup>, JIANG Renkui<sup>4</sup>, JIANG Xiaodong<sup>1,5</sup>, WU Xugan<sup>1,5,6</sup>

(1. Collaborative Innovation Center for Cultivating Elite Breeds and Green-culture of Aquaculture Animals, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Chongming Fisheries Technical Promotion Station, Shanghai 202150, China; 3. Changzhou Jintan District Fisheries Technical Promotion Center, Changzhou 213200, Jiangsu, China; 4. Jiangsu Changdang Lake Chinese mitten crab Co., Ltd., Changzhou 213200, Jiangsu, China; 5. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 6. National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to study the suitable stocking density of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June (*Eriocheir sinensis*) under pond culture conditions, male juvenile *E. sinensis* ( $20.43 \pm 0.11$  g) were divided into three different stocking density groups: 1. 5 ind./m<sup>2</sup> (low density group), 2. 25 ind./m<sup>2</sup> (medium density group) and 3 ind./m<sup>2</sup> (high density group). The growth performance, tissue indices, culture effect and economic profits of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June were compared through a 140-day culture experiment. The results showed that: (1) Since April 15, the average body weight of the low density group was always the highest, the medium density group was the second, and the high density group was the lowest. There were significant differences among the three groups on June 15 and July 5. The total weight gain rate (WGR) of the low density group was slightly higher than that of the medium density group, and both of them were significantly higher than that of the high density group ( $P < 0.05$ ). The meat yield (MY) of low density group and medium density group was significantly higher than that of high density group ( $P < 0.05$ ). The total edible yield (TEY) of low density group was significantly higher than that of high density group ( $P < 0.05$ ). (2) The final average body weight and survival rate (SR) of the low density group were significantly higher than those of the medium and high density groups ( $P < 0.05$ ), while the yield of the high density group was significantly higher than that of the medium and low density groups ( $P < 0.05$ ). The feed conversion rate (FCR) and limb loss rate (LLR) of the high density group were significantly higher than those of the low density group ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the high density group and the medium density group ( $P > 0.05$ ). In terms of size distribution, the proportion of larger-sized male *E. sinensis* ( $\geq 110$  g) of low density group was the highest and that of smaller-sized male crab ( $< 100$  g) was the lowest. (3) The total cost and total income of the high density group were the highest, the medium density group was the second, and the low density group was the lowest. The differences among them were significant ( $P < 0.05$ ). The net profit of the high density group was significantly higher than that of the low density group ( $P < 0.05$ ), and slightly higher than that of the medium density group. The return-on-investment (ROI) is just the opposite. The culture model of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June has the characteristics of short culture cycle, simple production operation, low investment cost and high income. Considering comprehensively, the suitable stocking density of out-season *E. sinensis* marketing in lunar June is 3 ind./m<sup>2</sup>.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; out-season *E. sinensis* marketing in lunar June; stocking density; culture performance; economic profits