

池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体生长、性腺发育和第二性征的变化

徐佳倩^{①②} 吴旭干^{①④*} 张鹏超^{①②} 何杰^{①④} 樊宇薇^③
柳梅梅^{①②} 成永旭^{①④}

① 上海海洋大学, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306; ② 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; ③ 上海海洋大学海洋学院 上海 201306; ④ 上海海洋大学, 上海市教委水产动物遗传育种协同创新中心 上海 201306

摘要: 为进一步了解中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 2龄雄体在池塘养殖条件下的生长发育规律, 本研究采用养殖实验、活体解剖和显微观察方法, 首先研究了池塘养殖过程中二龄雄体的生长、性腺指数(GSI)、肝胰腺指数(HSI)和第二性征(主要包括大螯绒毛长度及其覆盖比例)的变化情况, 并探讨了这些指标间的相关性, 其次, 对成熟雄体的生殖系统外观和组成进行了拍照和描述。结果显示:

(1) 池塘养殖条件下中华绒螯蟹2龄雄体的体重、甲壳长、甲壳宽和体厚增长主要发生在3~8月, 其中4~5月间的增重率和特定增长率最高, 9~12月间的体重和形态学参数增长均不显著; 肥满度总体上呈先下降后上升的趋势。(2) 2龄雄体池塘养殖早期性腺发育较慢, 3~5月肉眼很难发现, 6月份生精区已经清晰可见, 7~11月份性腺指数显著增加, 7月份部分个体储精囊中已有精荚, 8月份副性腺体积开始迅速增加, 整体上, 肝胰腺指数(HSI)和性腺指数(GSI)呈显著负相关, 而性腺指数(GSI)与生殖蜕壳前的雄体体重及月份均呈显著正相关。(3) 2龄雄体的大螯绒毛长度及其内侧绒毛覆盖比例在4~8月呈显著增长趋势, 其余月份增加不显著, 绒毛长度与覆盖比例、绒毛长度与体重、绒毛覆盖比例与体重、绒毛长度与性腺指数、绒毛覆盖比例与性腺指数都呈显著正相关。(4) 2龄成熟雄体的生殖系统由体内和体外两大部分构成, 体内部分主要包括精巢、输精管(分为前、中、后三个部分)、副性腺和射精管, 输精管后端储存着大量精荚, 体外部分主要由阴茎和交接器组成。综上, 池塘养殖中华绒螯蟹2龄雄体的生长、性腺发育与其第二性征关系密切, 雄体生殖系统组成复杂, 今后需要深入研究雄体的性腺发育规律和分期。

关键词: 中华绒螯蟹; 池塘养殖; 二龄雄体; 生长; 性腺发育; 第二性征

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 03-434-15

Growth, Gonadal Development and Secondary Sexual Characteristics of Pond-reared Male Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) during the

基金项目 上海市大学生创新活动计划项目 (No. 2013-07), 上海市科学技术委员会项目 (No. 13231203504, 13DZ2280500), 科技部港澳台科技合作专项项目 (No. 2014DFT30270), 上海高校水产学一流学科建设项目 (No. 2012-62-0908);

* 通讯作者, E-mail: xgwu@shou.edu.cn;

第一作者介绍 徐佳倩, 女, 本科生; 研究方向: 水产动物繁殖生物学; E-mail: xujiaqian1015@foxmail.com。

收稿日期: 2015-05-25, 修回日期: 2015-11-26 DOI: 10.13859/j.cjz.201603011

Second Year Culture

XU Jia-Qian^{①②} WU Xu-Gan^{①③*} ZHANG Peng-Chao^{①②} HE Jie^{①④} FAN Yu-Wei^③
LIU Mei-Mei^{①②} CHENG Yong-Xu^{①④}

① Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ② College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ③ College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ④ Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding Center certificated by Shanghai municipal education commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: For the further understanding of the growth and development pattern during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*, this study was designed to investigate the changes of growth parameters, gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), length of chela hair and their coverage ratio on the front chela during the second year culture of male *E. sinensis* using culture experiment, vivisection and microscopic observation, and their relationships were further analyzed among these indices. We used the software SPSS 17.0 to analysis the experimental data, and did homogeneity of variance test by Levene. When the data did not meet the homogeneity of variance, arcsine or square root were performed for the percentage data. An analysis of variance (ANOVA) was used to test the experimental results, and Tukey s-b(K) was used for multiple comparisons. When the data was converted still not satisfied with the homogeneity of variance, we used Games-Howell nonparametric test for multiple comparisons. When $P < 0.05$, it was significantly different and we drew charts on Excel. Then, the overall appearance and composition of mature reproductive system were photographed and described for the male *E. sinensis*. The results showed that: (1) The significant increase mainly existed during the period of March to August for the body weight (BW), carapace length (CL), carapace width (CW), and body thick (BT) during the second year culture of pond-reared male *E. sinensis* (Table 1), and the highest of weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) were found during April to May (Fig. 1); no significant differences were found for the body weight and the other morphological parameters during the period of September to December (Table 1). The changing trend of condition factor (CF) was shown as 'high-low-high', and the lowest CF was recorded at May (Table 1). (2) The gonadal development was very slow during the early stage (March to May), and it was difficult to find male gonad for this period. The testis was eye-visible from June, and the GSI increased significantly from July to November (Fig. 3a). At July, spermatophore could be found in seminal vesicle for some crabs while the volume of accessory gland increased rapidly until August. Overall, there was a significant negative correlation between GSI and HSI (Fig. 3b) while significant positive correlations were found between GSI and BW before the puberty molting (Fig. 4a) as well as GSI and month (Fig. 4b). (3) The hair length and the coverage ratio on the front chela increased significantly from April to August and no significant change was found during the other months (Fig. 5, 6). There were significant positive correlations between hair length and coverage ratio on the front chela, hair length and BW, hair coverage ratio of chela and BW, hair length and GSI, as well as hair coverage ratio and GSI (Table 2). (4) The reproductive system of mature male *E. sinensis* consists of internal and external parts, and the internal parts mainly included testis, vas deferens (divided into anterior, median and posterior parts), accessory gland, and ejaculatory duct while

the external part consists penis and petasma. The posterior vas deferens was also named as seminal vesicles because it contains plenty of spermatophores for mature males (Fig. 7). In conclusion, there are close relationships for growth, gonadal development and secondary sexual characteristics during the second year culture of pond-reared male *E. sinensis*. The composition of male reproductive system is complex, and further study should be conducted to investigate the gonadal development pattern and staging for male *E. sinensis*.

Key words: *Eriocheir sinensis*; Pond culture; Second year male; Growth; Gonadal development; Secondary sexual characteristics

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 是我国重要的淡水养殖种类之一, 年养殖产量 70 万吨左右, 我国绝大部分地区均开展其人工养殖, 池塘养殖是其主要的养殖方式 (农业部渔业渔政管理局 2014)。中华绒螯蟹的生长是通过蜕壳实现的, 只有系统研究池塘养殖条件下中华绒螯蟹的生长和性腺发育规律, 才能在养殖过程中对其进行科学管理 (何杰 2005)。肌肉、肝胰腺和性腺是中华绒螯蟹的主要可食部位 (Shao et al. 2013), 性腺发育的优劣直接关系到其食用价值和经济价值 (Wu et al. 2007)。因此, 探明池塘养殖条件下中华绒螯蟹的生长和性腺发育规律不仅可以为中华绒螯蟹的养殖管理、亲本培育和繁殖交配等提供科学依据, 且可以为膏蟹育肥和商品蟹适时捕捞上市等提供实践参考 (滕炜鸣等 2008, 朱清顺等 2012)。迄今为止, 有关中华绒螯蟹雄体生长发育规律的研究较少, 有限的研究主要集中于 2 龄雄体 8 ~ 11 月性腺指数变化 (李应森等 2001, 滕炜鸣等 2008, He et al. 2014)、精子发生及其精巢发育的组织学的研究 (堵南山等 1988a, b, 吴萍等 2003, 马丹丹等 2006)。这些研究中样品来源的随机性较大, 也没有能够将雄体生长规律、性腺发育和第二性征变化结合起来, 故中华绒螯蟹雄体性腺发育规律的研究仍有待进一步加强。有研究表明, 中华绒螯蟹雄体性腺指数从 6 月份开始就迅速变大, 精巢由精原细胞期进入精细胞期 (马丹丹等 2006), 但是池塘养殖条件下, 中华绒螯蟹雄体性腺指数和第二性征的变化却未见完整报道。中华绒螯蟹雄体的第二性征主要为腹脐和大螯绒毛, 雄体

生长过程中腹脐形状基本无变化, 但大螯上的绒毛长度及其覆盖大螯的面积比例随着生长发育而变化, 通常完成生殖蜕壳的雄体, 大螯正面和背面全部覆盖致密的绒毛 (吴萍等 2003, 王武等 2013), 雄体性腺发育过程中大螯绒毛等第二性征与体重和性腺指数的关系尚不清楚。鉴于此, 本文较系统研究了池塘养殖条件下中华绒螯蟹雄体生长、性腺指数、大螯绒毛长度及其覆盖比例的变化, 探讨这些指标间的相关关系, 结果可以为中华绒螯蟹 2 龄雄体 (指中华绒螯蟹大眼幼体养殖第 1 年后的蟹种, 从次年 3 月放养的蟹种至 11 ~ 12 月份性腺发育基本成熟的这段时间) 的养殖管理、捕捞上市、亲本选择和强化培育等提供理论参考和实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验池塘和蟹种放养

养殖实验于 2014 年 3 ~ 12 月在上海海洋大学崇明中华绒螯蟹科研基地进行, 选择 3 口长 × 宽 × 深为 48.0 m × 35.0 m × 1.5 m 的池塘, 池塘四周设有 40.0 cm 高的塑料防逃板。3 月初用漂白粉对实验池塘进行消毒和清塘, 2 周后在各池塘中种植伊乐藻 (*Elodea canadensis*) 供中华绒螯蟹隐蔽, 伊乐藻株距和行距分别为 1.5 m、2.0 m。蟹种来源于本基地的扣蟹养殖池塘, 3 月中旬挑选规格相近、十足健全、活力充沛的扣蟹用于成蟹养殖, 雌雄蟹种初始体重分别为 $(4.20 \pm 0.65) \text{ g}$ ($n = 20$) 和 $(4.21 \pm 0.55) \text{ g}$ ($n = 20$), 放养前采用 30.0 mg/L 的聚维酮碘溶液浸泡消毒 0.5 h, 放养密度约为

2 只/m²。为调控水质和控制野杂鱼数量, 分别于 3 月和 5 月在每口池塘内放养 30 尾白鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和 25 尾鳊鱼 (*Siniperca chuatsi*); 4 月和 7 月分别在每口池塘中投放 60.0 kg 螺蛳 (*Cipangopaludina chinensis*) 作为成蟹的补充饵料, 螺蛳也可清除残饵和粪便等, 保持池塘水质清新。

1.2 养殖管理

当 4 月初池塘平均水温升高至 12℃ 以上时开始投喂人工配合饲料 (浙江欣欣饲料有限公司生产的成蟹饲料, 依次为成蟹 1#、2# 和 3#, 粒径分别为 2.0、2.5 和 3.5 mm), 早期每 2 ~ 3 d 投喂一次, 当池塘平均水温高于 18℃ 时, 每日投喂一次, 投喂量约占蟹体重的 0.5% ~ 4.0%, 具体根据水温和摄食情况确定。养殖期间, 根据伊乐藻的生长情况逐步加深水位, 高温期水位控制在 1.0 ~ 1.2 m 左右, 根据实际情况割除池塘中过多的伊乐藻, 防止夜间和阴雨天缺氧。6 ~ 9 月, 每 15 d 全池泼洒聚维酮碘进行水体消毒或者采用微生态制剂调节水质, 夜间采用微孔增氧设施进行池塘底部增氧。养殖期间, 定期检测水体的 pH、溶氧、氨氮和亚硝酸盐含量, 根据池塘水质情况不定期换水, 每次换水 10.0% ~ 40.0%, 维持良好水质, 从而有利于中华绒螯蟹成蟹的正常生长和发育。

1.3 实验采样和数据采集

1.3.1 生长指标

每月 25 日左右采用地笼网抓捕或者徒手采样, 每口池塘随机采样 15 只雄体以进一步测量雄体的生长和发育情况, 称重前首先用干毛巾擦去蟹体表水分, 采用 JY1002 电子天平 (上海浦春计量仪器有限公司, 最大量程为 1 000 g, 精确度为 0.01 g) 精确称重, 然后采用三圈牌 M150 游标卡尺 (上海精美量具厂生产, 最大量程为 150 mm, 精确度 0.02 mm) 精确测量甲壳长 (carapace length, CL)、甲壳宽 (carapace width, CW) 和体厚 (body thick, BT)。根据以下公式分别计算增重率 (weight gain rate, WGR)、特定生长率 (specific growth rate, SGR) 和肥满度 (condition factor,

CF)。增重率 (%) = $100 \times (W_t - W_{t-1}) / W_{t-1}$, 特定生长率 (% / d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_{t-1}) / D$, 肥满度 (g/cm³) = $W / \text{甲壳长}^3$, 式中, W_t 和 W_{t-1} 分别为第 t 月和第 $t-1$ 月蟹的平均重量 (单位 g), D 为采样的间隔时间 (单位 d), W 为蟹体重 (单位 g), 蟹甲壳长单位 mm。

1.3.2 性腺发育

对采样的 15 只蟹称重并测量甲壳长、宽、厚后进行活体解剖, 取出每只雄体的全部肝胰腺和性腺系统 (包括精巢、输精管、副性腺和射精管), 用 JA5003B 电子天平 (上海越平科学仪器有限公司, 最大量程为 500 g, 精确到 0.001 g) 称量各组织重量, 分别计算性腺指数 (gonadosomatic index, GSI) 和肝胰腺指数 (hepatosomatic index, HSI), 性腺指数 (%) = $100 \times \text{性腺总重量} / \text{体重}$, 和肝胰腺指数 (%) = $100 \times \text{肝胰腺总重量} / \text{体重}$ 。采用 12 月份的采样个体, 对性腺发育成熟的雄性生殖系统进行外观拍照, 首先取出完整的雄性生殖系统进行整体拍照, 然后解剖出交接器、精巢、输精管、副性腺、射精管等各组成部分进行单独拍照, 以描述雄体生殖系统的外观和组成。

1.3.3 大螯绒毛长度及其覆盖大螯掌节面积比例

由于 4 ~ 6 月, 雄体大螯掌节正面覆盖的绒毛较少, 且绒毛长度相差较大, 故很难在大螯正面的固定部位取足够数量的绒毛测量其长度, 而大螯掌节背面从 3 月起就完全覆盖绒毛, 且长度相差较小。为统一标准测量绒毛长度, 故对每月采样个体均取大螯背面靠腕节的绒毛以测量其长度, 每月测量 10 ~ 15 个个体, 每只个体随机测量 100 根绒毛。每月雄体大螯绒毛的平均长度根据每月实际测量的所有个体计算而来。测量和拍照均在显微镜下进行 (Leica DM2500, 德国徕卡公司生产), 该显微镜配有徕卡自动数码摄像系统 (Leica DFC295 数码拍照系统) 和图片处理软件 (Leica Application Suite V3.8)。采用数码相机对大螯掌节正反面进行拍照, 采用图片处理软件测量大螯掌节正面的绒毛覆盖面积百分比。由于大螯背面从 3

月起就完全覆盖绒毛，因此仅测量大鳌正面的绒毛覆盖比例。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件对实验数据进行统计分析，用 Levene 法进行方差齐性检验，当数据不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或者平方根处理，采用单因子 ANOVA 对实验结果进行方差分析，采用 Tukey s-b(K)法进行多重比较；当数据转换后仍不满足齐性方差时，采用 Games-Howell 非参数检验法进行多重比较。取 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 生长情况

池塘养殖中华绒螯蟹 2 龄雄体的体重、甲壳长、甲壳宽和体厚增长主要发生在 3~8 月，各月份间体重和上述 3 个形态学参数均显著增加 ($P < 0.05$)；9~12 月，仅 9 月间体重差异显著，其余月份间这 4 个参数的差异均不显著 ($P > 0.05$) (表 1)。就 3~9 月间各月增重率而言，4~5 月间的增重率最高，而 6~7 月和 8~9 月间的增重率较低，仅为 31.2% 和 9.6%，其余月份间的增重率均在 92.0% ~

160.0% 之间 (图 1a)；特定生长率 (SGR) 的变化规律与增重率类似，3~9 月平均特定生长率为 1.97 (图 1b)。在 2 龄雄体生长过程中，肥满度总体上呈先下降后上升的趋势，6 月份肥满度最小，仅为 0.55，最大值出现在 9 月和 11 月，均为 0.66 (表 1)。雄体的甲壳长、甲壳宽、体厚均与体重呈显著正相关，回归曲线及方程见图 2a~c，三者与体重间均为幂函数关系；甲壳长与甲壳宽、甲壳长与体厚、甲壳宽与体厚间均为线性正相关 (图 2d~f)。

2.2 性腺指数和肝胰腺指数的变化

2 龄雄体池塘养殖早期性腺发育较慢，3~5 月雄体性腺系统非常小，解剖时很难发现；6 月份精巢已经肉眼可见，大部分个体的精巢呈透明细带状，个别已经呈土黄色，此时平均性腺指数 (含副性腺和输精管) 仅为 0.2%；7 月份雄体性腺指数进一步增加，平均性腺指数达 0.6%，此时部分个体储精囊中已有精荚，副性腺已经出现，但非常小，不易发现；8 月份性腺指数迅速增加到 1.0%，副性腺已经非常明显；此后性腺指数进一步增加，主要是由于副性腺重量增加造成的。整体上，6~7 月、7~8 月和 9~10 月间的性腺指数增加幅度较大 (增幅达

表 1 中华绒螯蟹二龄雄体池塘养殖过程中体重、甲壳长、甲壳宽、体厚和肥满度的变化

Table 1 Changes of body weight, carapace length, carapace width, body thick and condition factor during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

月份 Month	体重 (g) Body weight	甲壳长 (mm) Carapace length	甲壳宽 (mm) Carapace width	体厚 (mm) Body thick	肥满度 (g/cm ³) Condition factor
3 月 Mar.	4.20 ± 0.65 ^a	18.98 ± 0.95 ^a	21.33 ± 1.13 ^a	9.61 ± 0.56 ^a	0.61 ± 0.04 ^{c,d}
4 月 Apr.	8.54 ± 1.91 ^a	24.49 ± 2.09 ^b	25.85 ± 2.17 ^b	12.57 ± 1.21 ^b	0.58 ± 0.04 ^{a,b,c}
5 月 May	22.25 ± 8.98 ^b	32.95 ± 5.71 ^c	35.44 ± 4.76 ^c	17.18 ± 2.56 ^c	0.56 ± 0.04 ^{a,b}
6 月 Jun.	52.43 ± 8.17 ^c	45.73 ± 2.64 ^d	48.52 ± 2.88 ^d	24.04 ± 2.32 ^d	0.55 ± 0.05 ^a
7 月 Jul.	68.79 ± 9.59 ^d	49.26 ± 2.32 ^e	52.62 ± 2.49 ^e	26.47 ± 1.59 ^e	0.57 ± 0.03 ^{a,b,c}
8 月 Aug.	132.27 ± 8.17 ^e	60.43 ± 1.00 ^f	64.66 ± 1.35 ^f	32.07 ± 0.99 ^f	0.60 ± 0.03 ^{b,c}
9 月 Sep.	145.03 ± 12.44 ^f	60.22 ± 1.23 ^f	65.06 ± 1.48 ^f	31.67 ± 0.94 ^f	0.66 ± 0.05 ^e
10 月 Oct.	148.41 ± 13.06 ^f	61.14 ± 2.11 ^f	65.82 ± 3.90 ^f	31.95 ± 0.87 ^f	0.65 ± 0.03 ^{d,e}
11 月 Nov.	152.30 ± 10.02 ^f	61.24 ± 1.08 ^f	64.77 ± 1.24 ^f	32.38 ± 1.34 ^f	0.66 ± 0.04 ^e
12 月 Dec.	156.18 ± 21.06 ^f	62.31 ± 2.91 ^f	65.88 ± 3.29 ^f	33.25 ± 1.70 ^f	0.64 ± 0.02 ^{d,e}

同列数据右上标不含有相同字母的数据间差异显著 ($P < 0.05$)。

The values in the same column without the same superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

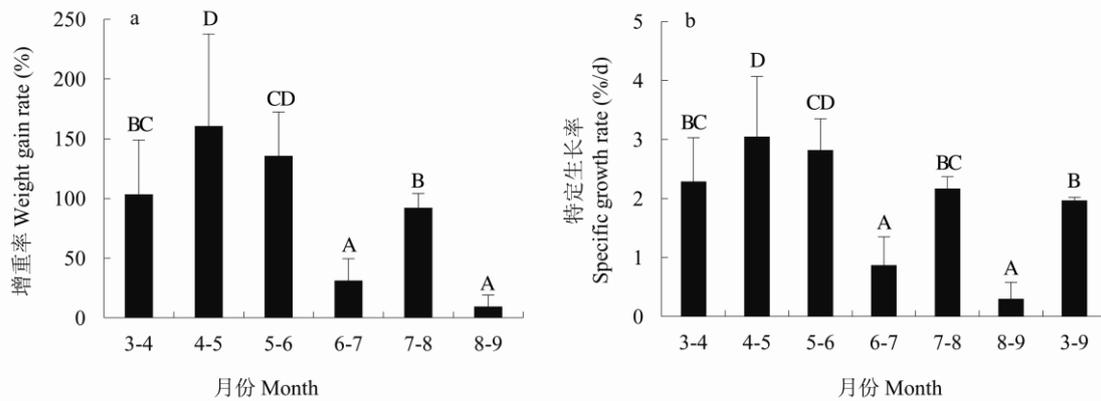


图1 中华绒螯蟹二龄雄体池塘养殖过程中增重率 (a) 和特定生长率 (b) 的变化

Fig. 1 Changes of weight gain rate (a) and specific growth rate (b) during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

柱形上不含有相同字母表示其间差异显著 ($P < 0.05$)。

The columns without the same letters are significantly different ($P < 0.05$).

100.0%左右), 其余月份间增加幅度较小(图3a)。就肝胰腺指数而言, 2龄雄体在9个月的养殖过程中, 肝胰腺指数呈现“高-低-高-低-高-低”的变化规律, 最低值出现在12月份, 最高值出现在6月份。整体上肝胰腺指数与性腺指数呈显著负相关($n = 121, P < 0.05, r = -0.626$, 图3b)。生殖蜕壳前雄体体重与性腺指数呈现显著正相关(图4a), 这暗示生殖蜕壳前雄蟹性腺已经开始发育; 此外, 雄体性腺指数随着发育时间(月份)而显著增加(图4b)。

2.3 不同月份绒毛长度及其大螯正面绒毛覆盖面积比例的变化

中华绒螯蟹2龄雄体生长过程中大螯外观变化及绒毛显微照片见图5, 随着体重增加, 大螯正面绒毛的覆盖比例越来越大(图5b), 绒毛长度越来越长(图5c), 大螯绒毛上实际上还有许多微绒毛(micro-hair)(图5d)。大螯绒毛长度及其正面绒毛覆盖比例在4~8月呈显著增长趋势, 其余月份增加不显著(图6), 特别是8~12月, 雄体大螯内侧绒毛覆盖比例均在70.0%~80.0%之间。大螯绒毛长度在5~6月和7~8月间显著增加, 增加幅度分别为47.2%和49.6%; 大螯绒毛正面覆盖比例在4~5月增加

幅度最大, 达116.2%, 其次为5~6月, 增加幅度为70.0%, 其余月份间增加幅度均小于50.0%。

2龄雄体生长发育过程中绒毛长度与其覆盖比例、绒毛长度与体重、绒毛覆盖比例与体重、绒毛长度与性腺指数、绒毛覆盖比例与性腺指数都呈显著正相关, 回归方程和相关系数见表2。就生殖蜕壳后的个体而言, 仅绒毛覆盖比例与体重呈显著正相关(表2), 这说明体重越大的雄体绒毛覆盖比例有增大趋势; 其余参数间均无显著相关性, 这说明雄体生殖蜕壳后绒毛长度及其覆盖比例均无显著变化。

2.4 成熟雄性生殖系统的组成和外观

2龄成熟雄体的生殖系统组成较为复杂, 包括体内(图7a)和体外(图7b)两大部分。体内部分主要由精巢、输精管前端、输精管中端、输精管后端(即储精囊)、副性腺和射精管6部分组成; 体外部分由交接器和阴茎构成。解剖去除背甲后, 生精区、储精囊和副性腺清晰可见(图7c)。精巢位于头胸甲前缘, 呈外开喇叭状(图7d), 通常占体重的0.4%左右; 输精管前端较为细长且多处盘曲(图7e), 中段相对较粗(图7f), 但是要细于后端的储精囊

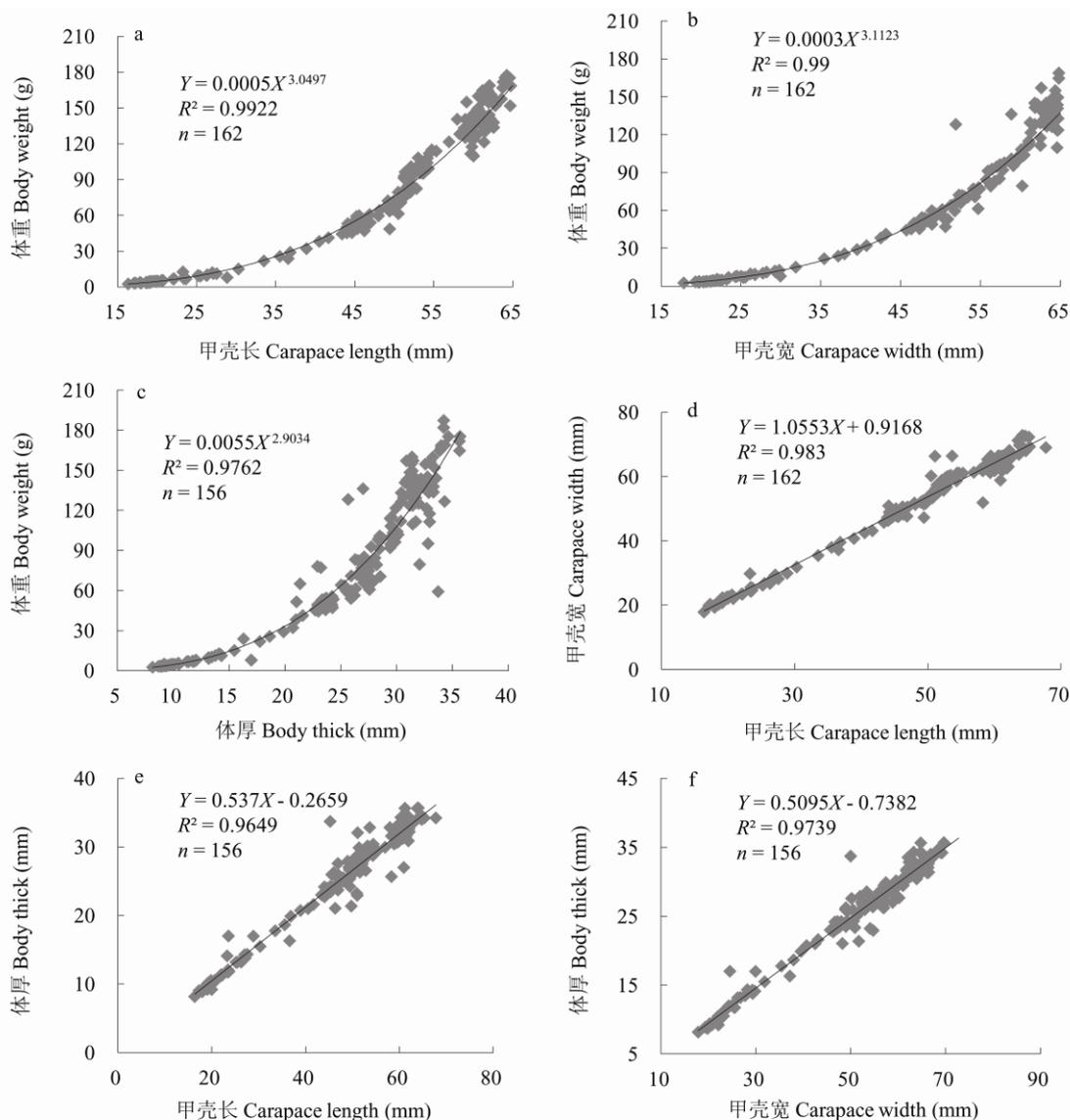


图2 中华绒螯蟹二龄雄体体重、甲壳长、甲壳宽和体厚的回归曲线

Fig. 2 Regression curves for the body weight, carapace length, carapace width, body thick during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

a. 甲壳长与体重; b. 甲壳宽和体重; c. 体厚和体重; d. 甲壳长和甲壳宽; e. 甲壳长和体厚; f. 甲壳宽和体厚。

a. Carapace length and body weight; b. Carapace width and body weight; c. Body thick and body weight; d. Carapace length and carapace width; e. Carapace length and body thick; f. Carapace width and body thick.

(图7g); 储精囊(输精管后端)位于心的正下方,外观呈乳白色,储精囊管径相对较粗,直径3.0~4.0 mm,储精囊中有很多椭圆形的精荚,长径为100~200 μm,在显微镜下很容易发现(图7h);副性腺呈白色絮状,由许多盲

管组成(图7i),副性腺是雄体生殖系统中重量最大的组成部分,通常占雄体体内生殖系统总重量的70.0%左右,占体重的2.5%。射精管较为细长(图7j),位于副性腺后,用于连接副性腺和体外的阴茎。

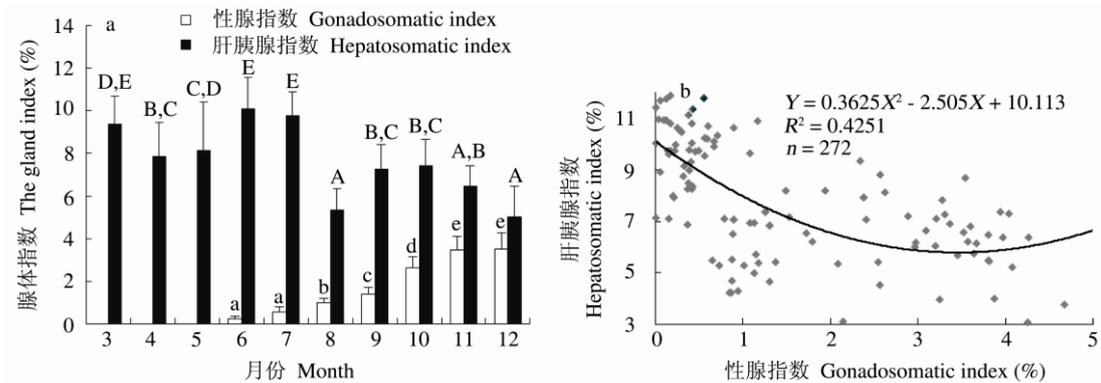


图3 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体肝胰腺指数和性腺指数的变化及其回归曲线

Fig. 3 Changes of hepatosomatic index (HSI) and gonadosomatic index (GSI) at the different months and their regression curve during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

a. 肝胰腺指数和性腺指数的变化; b. 肝胰腺指数和性腺指数的关系; 柱形上不含有相同字母表示其间差异显著 ($P < 0.05$)。

a. Changes of hepatosomatic index (HSI) and gonadosomatic index (GSI); b. Relationship of hepatosomatic index (HSI) and gonadosomatic index (GSI); The columns without the same letters are significantly different ($P < 0.05$).

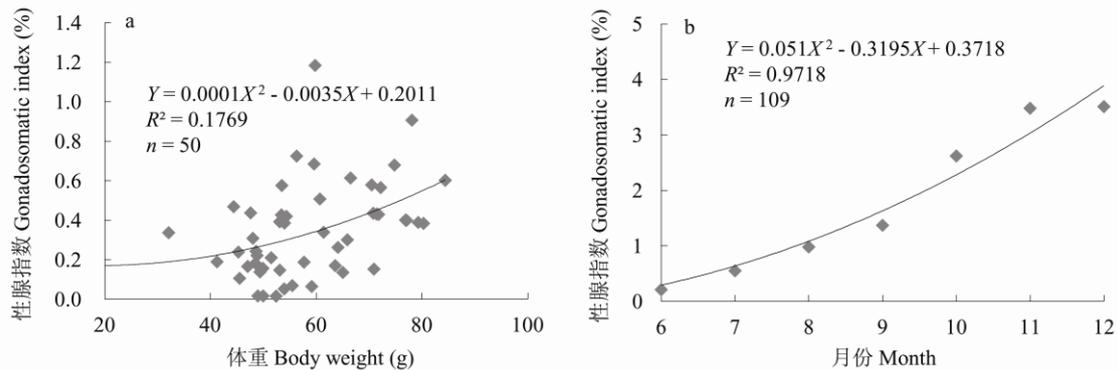


图4 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体生殖蜕壳前体重和性腺指数及性腺指数和月份的关系

Fig. 4 Relationship of gonadosomatic index (GSI) and body weight before the puberty molting as well as gonadosomatic index (GSI) and month during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

a. 生殖蜕壳前体重和性腺指数的关系; b. 性腺指数和月份的关系。

a. Relationship of gonadosomatic index and body weight before puberty molting; b. Relationship of gonadosomatic index and month.

3 讨论

3.1 池塘养殖二龄雄体的生长规律

同其他甲壳动物类似, 中华绒螯蟹 2 龄雄体的生长具有跳跃式的特点, 这是因为中华绒螯蟹每次蜕壳后甲壳和体重才会发生增长 (赵乃刚等 1988, 何杰 2005, 曾文涛等 2012)。有关池塘养殖条件下, 长江水系 2 龄雄体的蜕

壳和生长规律目前主要停留在推测阶段, 尚不清楚准确的蜕壳时间、每次蜕壳后增重率、蜕壳次数和个体差异等 (何杰 2005, 王武等 2013)。王武等 (2013) 根据长江水系中华绒螯蟹池塘养殖条件下的群体增重, 推测长江水系雌雄中华绒螯蟹在成蟹养殖阶段均蜕壳 5 次, 在良好的投喂和水质条件下, 前 3 次蜕壳后的平均增重率均在 100% 左右, 后 2 次蜕壳的增

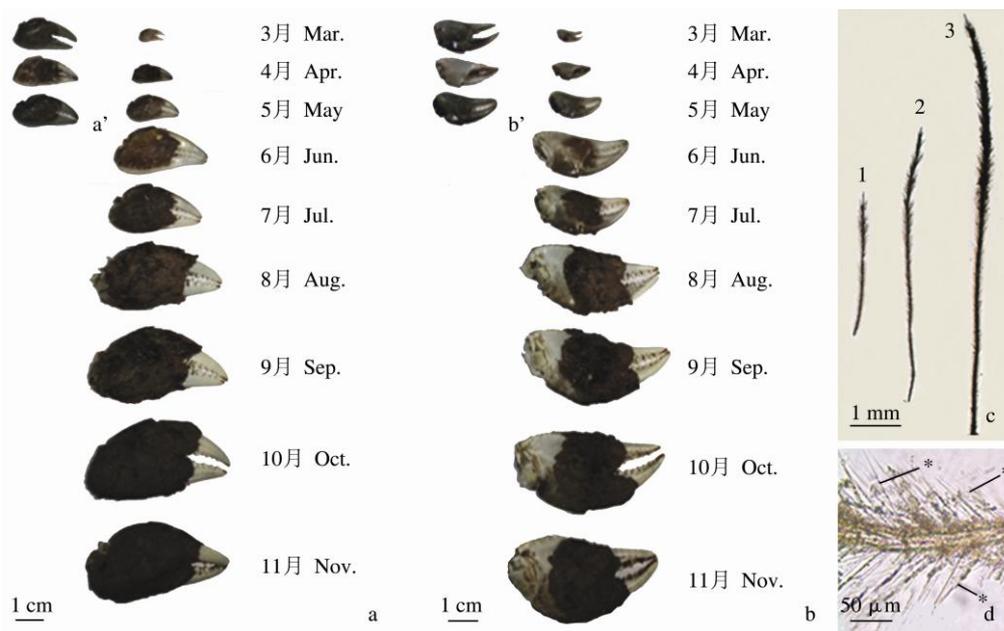


图5 中华绒螯蟹二龄雄体生长过程中大螯外观及绒毛长度的变化

Fig. 5 Change of appearance of chela and its hair length during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

a. 大螯背面外观；a'. 3~5月份大螯背面放大图；b. 大螯正面外观；b'. 3~5月份大螯正面放大图；c. 不同月份大螯背面绒毛显微照片：1为4月雄体（体重10.21 g）的大螯绒毛，2为6月雄体（体重65.04 g）大螯绒毛，3为11月雄体（体重154.99 g）大螯绒毛；d. 体重140.55 g雄体大螯绒毛的放大显微照片，“*”为微绒毛。

a. Back appearance of chela, “a'” means the enlarged back appearance of chela from March to May; b. Front appearance of chela, “b'” means the enlarged front appearance of chela from March to May; c. Photomicrographs of back hair for chela at different months, ‘1’ shows the back hair of male chela in the April (body weight = 10.21 g), ‘2’ shows the back hair of male chela in the June (body weight = 65.04 g), ‘3’ shows the back hair of male chela in the November (body weight = 154.99 g); d. Enlarged photomicrographs of male hair (body weight = 140.55 g), “*” means micro-hair.

重率在 70%以上。本研究中发现，2 龄雄体池塘养殖过程中有 3 次明显的蜕壳高峰期，第一次为 3 月底至 4 月初、第二次为 4 月底至 5 月初、最后一次为 8 月中至 9 月初，此后几乎观察不到池塘中蜕壳的雄体，从 5 月中旬至 8 月初，池塘中陆续可发现部分正在蜕壳或者刚蜕壳的个体，蜕壳高峰并不明显。研究中还发现，5~8 月份，采样个体间的体重和甲壳长宽差异较大，如 5 月 25 日，采样个体的体重在 10.30~53.20 g 之间，这提示此时有些个体仅蜕壳 1 次，有些个体可能已经蜕壳 2~3 次，它们的蜕壳时间和次数并不同步。此外，即使在相同的蜕壳

次数下，中华绒螯蟹个体间的体重差异也较大（杨培根等 1998，曾文涛等 2012），这可能也是造成本研究中个体间体重差异较大的一个重要原因。由于中华绒螯蟹成体在实验水槽和池塘养殖条件下的生长蜕壳情况差距较大（黄姝等 2014），因此要探明池塘养殖条件下，2 龄雄体准确的蜕壳时间、每次蜕壳后增重率、蜕壳次数和个体差异，首先需要建立中华绒螯蟹单个体标记和跟踪监测方法。由于中华绒螯蟹生长过程中存在多次蜕壳，因此传统的挂标签、蟹壳标记等方法无法有效跟踪监测其蜕壳和生长，因此需要开发金属芯片或分子标记的方法

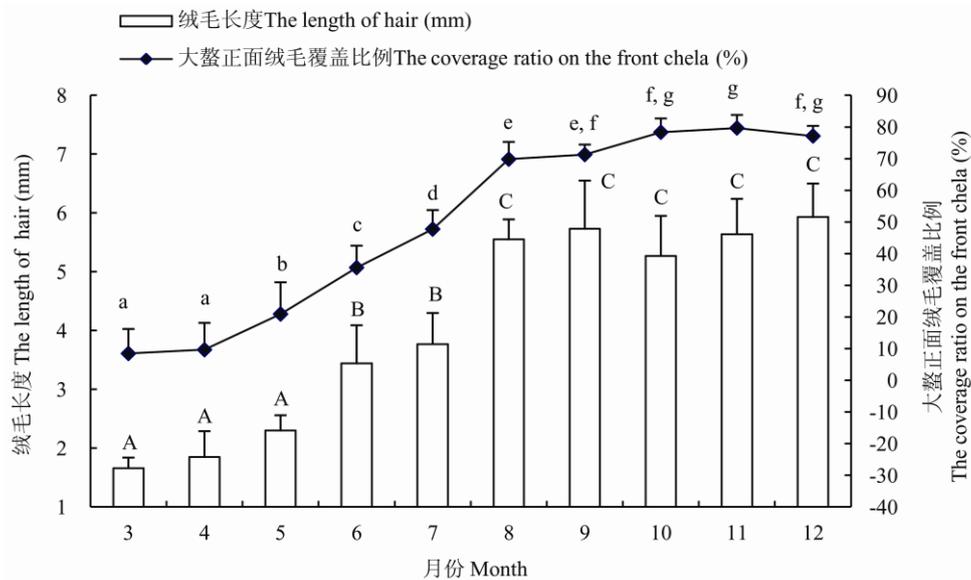


图6 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体不同月份绒毛长度和大螯正面绒毛覆盖比例变化

Fig. 6 Changes of the hair length and the coverage ratio on the front chela at different months during the second year culture of pond-reared male *Eriocheir sinensis*

同类数据点上不含有相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The value dots in the same class without the same letters are significantly different ($P < 0.05$).

来跟踪监测池塘养殖河蟹的蜕皮和生长。

本研究中 2 龄雄体群体在 3 月底至 6 月底的每月平均增重率均大于 100%，这也提示 4~6 月份，雄体平均每月蜕壳 1 次，6~7 月增重率仅为 31% 左右，提示此期间只有部分个体蜕壳，这可能与此阶段水温较高，中华绒螯蟹生长变慢有关 (张列士等 2002)。在水质和食物条件相同的情况下，低于适宜水温时，水温越高，中华绒螯蟹生长蜕壳越快；超过适宜水温，中华绒螯蟹生长蜕壳变慢 (陈再忠 2002, 王武等 2013)。先前研究表明，池塘养殖条件下，平均水温低于 28℃，适当提高水温对中华绒螯蟹生长蜕壳有利，平均水温超过 30℃，中华绒螯蟹几乎不再生长蜕壳，甚至出现死亡现象 (时冬头等 2013)。本研究中，饵料投喂充足、水质良好，水温应该是影响其生长蜕壳的主要因素，3 月底至 6 月底，实验池塘的日平均水温为 11~25℃，有利于雄体生长，而 6 月底至 8 月底，日平均水温在 26~32℃ 之间，经常超过

28℃，因此 7 月份中华绒螯蟹生长较慢，本研究发现 6 月底至 7 月底的增重率仅为 31.0% 左右；而 7~8 月底增重率达 92.0%，这与本研究中观察到大量雄体在 8 月中下旬发生生殖蜕壳 (成蟹阶段的最后一次蜕壳) 的结果相一致；8 月底后雄体增重率较低，这与雄体已经完成生殖蜕壳，不再蜕壳，主要进行性腺发育有关，故增重率较低 (He et al. 2014)。

中华绒螯蟹 2 龄雄体甲壳长、甲壳宽和甲壳厚均与体重呈现幂函数关系，而前三者间均呈现线性关系，这与先前对幼蟹的研究结果基本一致 (汪留全等 1989, 张堂林等 2001)，但是由于生长阶段的差异，其回归方程的参数与先前报道并不一致。今后可以利用这些回归方程，从体重或者一个形态学指标推算 2 龄雄体的其他指标值，可以降低研究中的测量工作量，提高效率。

3.2 池塘养殖二龄雄体的性腺发育与第二性征的变化

表2 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雄体的第二性征与体重和性腺指数的回归方程和相关系数

Table 2 Regression equation and correlation coefficient for the body weight, gonadosomatic index (GSI) with secondary sexual characteristics of pond-reared male *Eriocheir sinensis* during the second year culture

相关参数 Parameter	方程 Equation	回归系数 Regression coefficients (R^2)	样本量 Sample size (n)	相关系数 Correlation coefficient (r)	显著性 Significa nce (P)
覆盖比例 (Y) 和绒毛长度 (X) Length of hair and coverage ratio	$Y = -2.3014X^2 + 33.896X - 44.047$	0.800 4	79	0.910	< 0.001
绒毛长度 (Y) 和体重 (X) Length of hair and body weight	$Y = 0.9897X^{0.3382}$	0.849 4	82	0.932	< 0.001
大螯绒毛覆盖比例 (Y) 和体重 (X) Coverage ratio of chela's hair and body weight	$Y = -0.0024X^2 + 0.8628X + 2.3214$	0.933 2	127	0.960	< 0.001
绒毛长度 (Y) 和性腺指数 (X) Length of hair and GSI	$Y = -0.2838X^2 + 1.6964X + 3.4423$	0.507 8	62	0.581	< 0.001
大螯绒毛覆盖比例 (Y) 和性腺指数 (X) Coverage ratio of chela's hair and GSI	$Y = -4.7497X^2 + 29.754X + 35.709$	0.805 2	90	0.793	< 0.001
生殖蜕壳后绒毛长度 (Y) 和体重 (X) Length of hair and weight after puberty molting	$Y = -0.0002X^2 + 0.0505X + 1.7426$	0.103 1	52	0.253	> 0.050
生殖蜕壳后大螯绒毛覆盖比例 (Y) 和体重 (X) Coverage ratio of chela's hair and weight after puberty molting	$Y = 0.0015X^2 - 0.3185X + 90.778$	0.117 8	67	0.267	< 0.050
生殖蜕壳后覆盖比例 (Y) 和绒毛长度 (X) Length of hair and coverage ratio after puberty molting	$Y = 0.9141X^2 - 11.284X + 109.47$	0.028 2	46	- 0.148	> 0.050
生殖蜕壳后绒毛长度 (Y) 和性腺指数 (X) Length of hair and GSI after puberty molting	$Y = 0.1446X^2 - 0.8025X + 6.3839$	0.068 7	52	- 0.076	> 0.050
生殖蜕壳后绒毛覆盖比例 (Y) 和性腺指数 (X) Coverage ratio of chela's hair and GSI after puberty molting	$Y = 70.44X^{0.082}$	0.380 4	52	0.253	> 0.050

性腺指数是反映雄体生殖系统发育状况的一个重要指标, 由于雄体的精巢占体重的比例通常较低, 且输精管和副性腺中均存在大量精子或精荚(堵南山等 1988b, 孙菊香 2007), 因此通常所说的中华绒螯蟹雄体性腺指数是指精巢、输精管和副性腺的总重量占体重的百分比(李思发等 2001, He et al. 2014)。本研究结果表明, 中华绒螯蟹成熟雄体的精巢重量仅占体重的 0.4%, 输精管重量占体重的 0.6%, 而副性腺重量占体重的比例高达 2.5%左右, 这提示, 研究中华绒螯蟹雄体的性腺发育需要考虑输精管和副性腺的发育情况。本研究观察到,

7月底雄体副性腺非常小, 肉眼不易发现, 但8月底副性腺已经非常明显, 占体重比例达 0.5%左右, 副性腺体积的显著增加主要发生在生殖蜕壳后(9~11月), 这为今后研究雄体生殖系统的发育过程提供了重要线索。本研究还发现, 中华绒螯蟹雄体生殖蜕壳前(6~8月)精巢和输精管的发育速度较快, 7月底雄体输精管中已经存在部分精荚, 且两者的总重量已占体重的 0.5%左右, 这说明雄体的精巢发育和精子发生在生殖蜕壳前已开始了, 先前的研究结果也证实了这一结论(堵南山等 1988b, 马丹丹等 2006)。由于中华绒螯蟹雄体的精子发生是一个

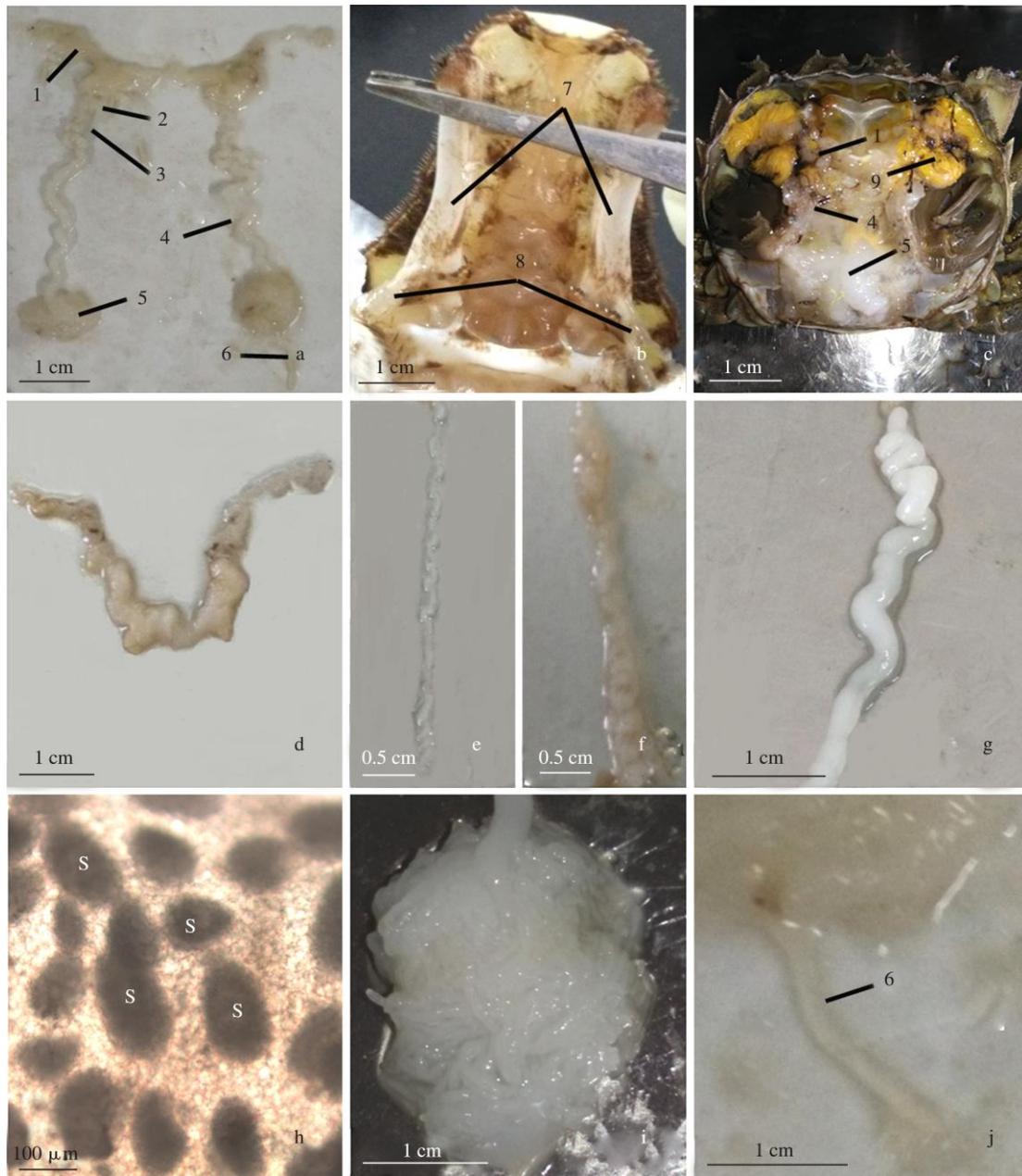


图7 中华绒螯蟹二龄雄体成蟹的生殖系统组成

Fig. 7 Reproductive system components of male Chinese mitten crab during the second year culture

a. 雄性体内生殖系统组成; b. 交接器和阴茎; c. 雄性体内生殖系统外观; d. 生精管; e. 输精管前端; f. 输精管中端; g. 输精管后端(储精囊); h. 储精囊中精荚(S)显微照片; i. 副性腺; j. 射精管。

a. The composition of inner reproductive system for male; b. Petasma and penis; c. Overall appearance of male reproductive system in the body; d. Testis; e. Anterior vas deferens; f. Median vas deferens; g. Posterior vas deferens (seminal vesicle); h. Photomicrographs of spermatophore (S) in seminal vesicle; i. Accessory gland; j. Ejaculatory duct.

1. 生精管; 2. 输精管前端; 3. 输精管中端; 4. 输精管后端(储精囊); 5. 副性腺; 6. 射精管; 7. 交接器; 8. 阴茎; 9. 肝胰腺。

1. Testis; 2. Anterior vas deferens; 3. Median vas deferens; 4. Posterior vas deferens (seminal vesicle); 5. Accessory gland; 6. Ejaculatory duct; 7. Petasma; 8. Penis; 9. Hepatopancreas.

较长时间的连续过程, 2 龄中华绒螯蟹精巢中 7 月至 11 月一直有精子发生, 且雄体性腺发育涉及到精荚形成和副性腺发育等 (堵南山等 1988a, 孙菊香 2007), 因此雄体生殖系统的发育需要综合考虑精子发生、精荚形成、输精管和副性腺发育等方面, 才能基于性腺指数、生殖系统外观、解剖学和组织学等建立一套完整的雄体性腺发育分期方法 (胡自强等 1997), 此方面还需要进一步开展大量详细的研究。

对甲壳动物而言, 根据性腺指数和第二性征初步判断雄体的性腺发育状况是科研和生产中最常用的重要方法 (Lyons et al. 2012, Zara et al. 2012, Shinozaki-Mendes et al. 2013), 大螯绒毛是中华绒螯蟹雄体重要的第二性征, 在二龄雄体生长过程中变化明显 (吴萍等 2003)。王武等 (2013) 研究表明, 2 龄雄体大螯正面的绒毛覆盖比例和蜕壳次数有关, 成蟹养殖阶段雄体通常蜕壳 5 次, 每次蜕壳后绒毛覆盖比例有所增加, 生殖蜕壳后大螯内侧几乎完全覆盖绒毛; 本研究结果表明, 在生殖蜕壳前, 池塘养殖 2 龄雄体大螯内侧的绒毛长度和绒毛覆盖比例呈显著增加趋势, 生殖蜕壳后绒毛覆盖比例高达 70% 以上, 且绒毛长度及其覆盖比例均不再增加, 因此, 建议把“大螯正面 70% 的绒毛覆盖比例和 5.6 mm 的绒毛长度”作为 2 龄雄体是否完成生殖蜕壳的重要指标。本研究报道了中华绒螯蟹池塘养殖过程中 2 龄雄体的性腺发育和第二性征的变化, 并分析了第二性征变化和性腺指数、体重和月份等指标间的相关关系, 这对于了解池塘养殖中华绒螯蟹雄体的性腺发育和捕捞上市等具有重要的意义。池塘养殖中华绒螯蟹 2 龄雄体大螯内侧的绒毛长度和覆盖比例变化主要发生在 5~6 月 (生长蜕壳) 和 7~8 月 (生殖蜕壳), 这提示在此期间雄体经历了两次重要蜕壳, 因此第二性征变化明显 (王武等 2013)。中华绒螯蟹雌雄亲本的强化培育通常在生殖蜕壳后进行 (吴旭干等 2007), 本研究结果表明, 中华绒螯蟹雄体生殖蜕壳前精巢已经开始快速发育, 性腺指数的变

化主要发生在 7~11 月, 因此为了提高中华绒螯蟹雄体亲本的生殖能力和精子质量, 其强化培育可能需要提前到 7 月份开始, 因为华东地区中华绒螯蟹雄体精子的大量发生通常从 7 月份开始 (堵南山等 1988b)。由于雄体性腺 (包括精巢、输精管和副性腺) 和肝胰腺是中华绒螯蟹两个重要的可食部位 (Wu et al. 2007), 池塘养殖雄体性腺指数在 11 月中下旬才达到最大值, 此时肝胰腺指数和肥满度也相对较高, 此后便开始下降, 食用价值和营养价值降低, 因此华东地区池塘养殖中华绒螯蟹雄体的最佳上市时间为 11 月份, 此时食用价值较高。

有关中华绒螯蟹成熟雄性生殖系统的组成已有少量报道, 描述了雄性生殖系统体内部分的组成并提供了模式图 (堵南山 1957, 堵南山等 1988b, 胡自强等 1997), 但缺乏对雄性生殖系统体外部分的关注, 也没有提供生殖系统各组成部分的活体照片, 这不利于研究者进行各组织鉴别和采样, 本研究提供了完整的雄性生殖系统整体及各组成部分的活体照片, 可以为中华绒螯蟹生殖生物学的研究提供基础资料。有关中华绒螯蟹输精管和副性腺的命名和功能还存在一些争议, 堵南山等 (1988b) 首次将中华绒螯蟹输精管分为输精细管和贮精囊, 根据组织学观察推测细管主要负责将精巢中排出的精子包装成精荚, 后端的粗管为贮精囊, 主要负责储存精荚, 由于精荚的形成是长达数月的持续过程, 因此需要将形成的精荚先储存在输精管后端的贮精囊中供交配用; 胡自强等 (1997) 进一步研究发现, 中华绒螯蟹输精细管和贮精囊之间还存在一段“比输精细管粗, 但比贮精囊细”的管道, 并认为这才是真正的输精管; 本研究中的确发现输精管中段存在一段外观和直径明显与输精细管明显不同的管道, 由于目前中华绒螯蟹输精管前段和中段的功能还停留在推测阶段, 因此在确定两者的主要区别和功能之前, 建议将其分别命名为“输精管前端”和“输精管中段”可能更加合理。中华绒螯蟹的副性腺是和输精管相连的一

个独立组织,这与很多蟹类不同,如美洲蓝蟹 (*Callinectes sapidus*) (Jivoff et al. 2007)、雪蟹 (*Chionoecetes opilio*) (Sainte-Marie et al. 1999) 和青蟹 (*Scylla serrata*) (叶海辉等 2002) 等,这些蟹类并没有独立的副性腺,有研究者将其输精管中后端称为“副性腺” (Sainte-Marie et al. 1999),这并不能等同于中华绒螯蟹的独立副性腺。尽管中华绒螯蟹成熟雄体的副性腺在生殖蜕壳后变化非常明显,且是雄性生殖系统的最大组成部分,但是迄今为止,人类对中华绒螯蟹雄体副性腺的生理功能所知甚少,有研究表明,中华绒螯蟹副性腺蛋白参与精荚膜的消化和精子顶体反应 (Hou et al. 2010),中华绒螯蟹副性腺及其分泌物在雄体性腺发育、交配、精荚保存、精荚破裂、精子获能和顶体反应等方面的确切功能有待于进一步研究。

参 考 文 献

- He J, Wu X G, Li J Y, et al. 2014. 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. *Aquaculture*, 434 (1/4): 48–56.
- Hou X L, Mao Q, He L, et al. 2010. Accessory sex gland proteins affect spermatophore digestion and spermatozoa acrosin activity in *Eriocheir sinensis*. *Journal of Crustacean Biology*, 30(3): 435–440.
- Jivoff P, Hines A H, Quackenbush S. 2007. Reproduction biology and embryonic development // Kennedy V S, Cronin L E. *The Blue Crab, Callinectes sapidus*. College Park, Maryland, USA: Maryland Sea Grant College, 255–298.
- Lyons L J, O'Riordan R M, Cross T F, et al. 2012. Reproductive biology of the shore crab *Carcinus maenas* (Decapoda, Portunidae): a macroscopic and histological view. *Invertebrate Reproduction and Development*, 56(2): 144–156.
- Sainte-Marie G, Sainte-Marie B. 1999. Reproductive products in the adult snow crab (*Chionoecetes opilio*). I. Observations on spermiogenesis and spermatophore formation in the vas deferens. *Canadian Journal of Zoology*, 77(3): 440–450.
- Shao L, Wang C, He J, et al. 2013. Hepatopancreas and gonad quality of Chinese mitten crab fattened with natural and formulated diets. *Journal of Food Quality*, 36(3): 217–227.
- Shinozaki-Mendes R A, Silva J R F, Santander-Neto J, et al. 2013. Reproductive biology of the land crab *Cardisoma guanhumi* (Decapoda: Gecarcinidae) in north-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(3): 761–768.
- Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, et al. 2007. Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock. *Aquaculture Research*, 38(14): 1459–1467.
- Zara F J, Toyama M H, Caetano F H, et al. 2012. Spermatogenesis, spermatophore and seminal fluid production in the Adult Blue Crab *Callinectes danae* (Portunidae). *Journal of Crustacean Biology*, 32(2): 249–262.
- 陈再忠. 2002. 中华绒螯蟹性早熟及其机理的研究. 上海: 上海水产大学博士学位论文, 13–20.
- 堵南山. 1957. 毛蟹的解剖. *华东师范大学学报: 自然科学版*, (1): 60–73.
- 堵南山, 薛鲁征, 赖伟. 1988a. 中华绒螯蟹精子的研究. *海洋与湖沼*, 19(1): 71–77.
- 堵南山, 薛鲁征, 赖伟. 1988b. 中华绒螯蟹雄性生殖系统的组织学研究. *动物学报*, 34(4): 329–335.
- 何杰. 2005. 中华绒螯蟹池塘生态养殖群体生长特征研究. *水利渔业*, 25(6): 10–28.
- 胡自强, 胡运瑾. 1997. 中华绒螯蟹生殖系统的形态学和组织结构. *湖南师范大学自然科学学报*, 20(3): 71–76.
- 黄姝, 王中清, 茅海成, 等. 2014. 中华绒螯蟹在实验室条件下的成蟹阶段蜕壳与生长观察. *上海海洋大学学报*, 23(3): 359–365.
- 李思发, 王成辉, 赵乃刚. 2001. 湖泊放养长江水系中华绒螯蟹的性成熟规律研究. *水生生物学报*, 25(4): 350–357.
- 李应森, 郭延. 2001. 长江蟹和辽中华绒螯蟹性腺及肝脏指数的比较研究. *水利渔业*, 21(1): 10–12.
- 马丹丹, 康现江, 董丽君, 等. 2006. 中华绒螯蟹精巢发育组织学. *水产科学*, 25(6): 291–296.
- 农业部渔业渔政管理局. 2014. 2014 年中国渔业统计年鉴. 北京:

- 中国农业出版社, 56–58.
- 时冬头, 许祥, 陈贤明. 2013. 中华绒螯蟹成蟹生长与主要气象因素的关系. *江苏农业科学*, 41(4): 226–228.
- 孙菊香. 2007. 中华绒螯蟹副性腺的结构和功能研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 15–25.
- 滕炜鸣, 成永旭, 吴旭干, 等. 2008. 莱茵种群和长江种群子一代中华绒螯蟹性腺发育及其相关生物学指数变化的比较. *上海海洋大学学报*, 17(1): 65–71.
- 汪留全, 周婉华. 1989. 池养中华绒螯蟹幼蟹生长特性的初步研究. *水产学报*, 13(1): 17–23.
- 王武, 王成辉, 马旭洲. 2013. 中华绒螯蟹生态养殖. 北京: 中国农业出版社, 20–58.
- 吴萍, 楼允东, 邱高峰. 2003. 中华绒螯蟹性腺发育的形态学、组织学和组织化学变化. *上海水产大学学报*, 12(2): 106–112.
- 吴旭干, 成永旭, 常国亮, 等. 2007. 亲本营养强化对中华绒螯蟹生殖性能和 Z1 幼体质量的影响. *水产学报*, 31(6): 757–764.
- 杨培根, 李晨虹. 1998. 笼养中华绒螯蟹的蜕壳与生长. *上海海洋大学学报*, 7(2): 158–161.
- 叶海辉, 李少菁, 黄辉洋, 等. 2002. 锯缘青蟹精巢发育的组织学观察. *动物学研究*, 23(2): 141–144.
- 曾文涛, 刘家寿, 张堂林, 等. 2012. 长江中游三个湖泊中华绒螯蟹生长变化研究. *淡水渔业*, 42(2): 47–54.
- 张列士, 李军. 2002. 中华绒螯蟹增养殖技术. 北京: 金盾出版社, 1–124.
- 张堂林, 李钟杰. 2001. 池养条件下中华绒螯蟹的若干生物学特征. *水生生物学报*, 25(5): 433–438.
- 赵乃刚, 堵南山, 包祥生, 等. 1988. 中华绒螯蟹的人工繁殖与增养殖. 合肥: 安徽省科技出版社, 75–77.
- 朱清顺, 柏如发, 邓燕飞. 2012. 中华绒螯蟹‘长江一号’生长性能比较研究. *农学学报*, 2(1): 53–57.