

# 中华绒螯蟹一龄早熟和二龄成熟家系 生长规律的比较研究

朱王玲<sup>①</sup> 姜晓东<sup>①</sup> 吴旭干<sup>①\*</sup> 何杰<sup>①②</sup> 葛永春<sup>②</sup> 成永旭<sup>①②</sup>

① 上海海洋大学 农业部淡水种质资源重点实验室 上海 201306; ② 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:** 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 1 龄性早熟是扣蟹养殖过程中的一个重要问题, 尚不清楚 1 龄性早熟和 2 龄正常性成熟后代的生长发育规律是否存在差异, 本研究通过构建 1 龄性早熟和正常性成熟中华绒螯蟹家系, 综合比较了单养条件下两种家系子一代 (以下简称早熟 F1 和正常 F1) 在扣蟹和成蟹阶段的生长蜕壳规律、雌蟹腹脐覆盖腹甲宽度比例、成熟后的性腺指数 (GSI) 和肝胰腺指数 (HSI)。结果显示: (1) 早熟 F1 雄体在第 1、2 次和第 7、8 次蜕壳后的体重显著大于正常 F1 雄体 ( $P < 0.05$ ); 而早熟 F1 雌体在第 1 ~ 5 次和第 7 次蜕壳后的体重显著大于正常 F1 雌体 ( $P < 0.05$ ); (2) 第 1 和 2 次蜕壳后早熟 F1 的增重率较高, 正常 F1 在第 3 ~ 8 次蜕壳后的增重率略高于早熟 F1, 两群体在扣蟹阶段的特定生长率均呈下降趋势, 且正常 F1 高于早熟 F1, 其中雌雄个体在第 3 ~ 4 次蜕壳后的特定生长率均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); (3) 早熟 F1 在第 1 ~ 5 次蜕壳间隔较长, 而第 6 ~ 8 次蜕壳间隔较短; 两种家系在扣蟹养殖阶段蜕壳 4 ~ 6 次, 成蟹养殖阶段蜕壳 2 ~ 4 次, 其中早熟 F1 在扣蟹阶段的平均蜕壳次数低于正常 F1, 而在成蟹阶段的平均蜕壳次数高于正常 F1; (4) 早熟 F1 腹脐覆盖腹甲宽度比例一直高于正常 F1, 但二者无显著差异 ( $P > 0.05$ ); (5) 无论雌体还是雄体, 早熟 F1 和正常 F1 的性腺指数和肝胰腺指数均无显著差异, 单养条件下性腺均可发育成熟 ( $P > 0.05$ )。综上, 单养条件下, 中华绒螯蟹早熟 F1 和正常 F1 的生长模式存在显著差异, 两者都可以完成生殖蜕壳和性腺发育成熟, 这为今后深入研究中华绒螯蟹个体生物学提供了理论依据和参考资料。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 性早熟; 生长性能; 第二性征

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 06-1037-11

## The Comparative Study on Growth Characteristics of Offspring from One-year Precocious and Two-year Normally Mature Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*)

**基金项目** 科技部港澳台科技合作专项项目 (No. 2014DFT30270), 上海市科委工程技术中心能力提升项目 (No. 16DZ2281200, 13DZ2280500), 上海市科技兴农推广项目 [No. 沪农科推字(2015)第 1-7 号], 上海高校水产学高峰学科建设项目 (No. 2015-62-0908), 深圳市澳华农牧有限公司横向项目;

\* 通讯作者, E-mail: xgwu@shou.edu.cn;

**第一作者介绍** 朱王玲, 女, 硕士研究生; 研究方向: 甲壳动物营养生理和增养殖学; E-mail: 736454475@qq.com.

**收稿日期:** 2017-01-06, **修回日期:** 2017-03-27 DOI: 10.13859/j.cjz.201706013

ZHU Wang-Ling<sup>①</sup> JIANG Xiao-Dong<sup>①</sup> WU Xu-Gan<sup>①\*</sup> HE Jie<sup>①②</sup>  
GE Yong-Chun<sup>②</sup> CHENG Yong-Xu<sup>①②</sup>

① Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

② Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding Center Certificated by Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** The difference of growth performance between one-year precious crabs Chinese Mitten Crab (*Eridcheir sinensis*) and two-year normally mature crabs has been remained unclear. Therefore, we compare the growth performance, coverage ratio of venter, gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) between one-year precious crabs (PF) and two-year normally mature crabs (NF) through monoculture in this study. The results showed that: (1) The individuals of PF were weighed more heavy than the individuals of NF significantly during 1<sup>st</sup> - 2<sup>nd</sup> and 7<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> molts for males ( $P < 0.05$ ), while for the females the body weight difference showed a significant difference between crabs of PF and NF during 1<sup>st</sup> - 5<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> molts ( $P < 0.05$ , Fig. 2), crabs of PF were more heavy; (2) The carapace length and carapace width of PF individuals were larger than NF individuals for both females and males with no significant difference (Fig. 3, Fig. 4); (3) In term of weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR), PF individuals possessed higher WGR after 1<sup>st</sup> - 2<sup>nd</sup> molts but lower WGR after 3<sup>rd</sup> - 8<sup>th</sup> molts; a downward trend were showed in the SGR of the two families during the juvenile crab culture stage, and NF individuals were higher than PF individuals with significant differences during 3<sup>rd</sup> - 4<sup>th</sup> molts for both males and females ( $P < 0.05$ , Fig. 5, Fig. 6); (4) The PF individuals possessed longer interval during the 1<sup>st</sup> - 5<sup>th</sup> molts but shorter interval during 6<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> molts than NF individuals (Fig. 7); (5) The lower molting frequency in juvenile crab culture stage and higher molting frequency in adult crab culture stage of PF individuals (Fig. 8, Fig. 9); (6) In terms of the coverage ratio of venter by sternite, PF individuals was always higher than NF individual with no significance difference ( $P > 0.05$ , Fig. 10); (7) For both males and females, no significant difference were observed on the GSI and HSI between FP and NP individuals after their puberty molting ( $P > 0.05$ ) (Fig. 11). In conclusion, both PF and NF individuals could complete puberty molting and gonadal development through monoculture with significant difference existed on the growth patterns between them, this would provide theoretical foundation and reference material for further study on the individual biology of *E. sinensis*.

**Key words:** Chinese Mitten Crab, *Eriocheir sinensis*; Sexual precocity; Growth performance; Secondary sexual character

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 俗称大闸蟹, 随着 20 世纪 80 年代中华绒螯蟹人工育苗和养殖技术的突破, 其人工养殖规模迅速扩大, 2015 年我国成蟹养殖总产量高达 82.33 万吨, 已成为我国重要的淡水养殖品种之一 (农业部渔业渔政管理局 2016)。中华绒螯蟹在扣蟹养殖阶段普遍存在 1 龄性早熟的现象 (魏薇等 2007, Wu et al. 2010), 这给中华绒螯蟹养殖业

带来了巨大的经济损失 (Wu et al. 2011, 董鹏生等 2016)。由于一龄性早熟蟹不能作为蟹种进行次年的成蟹养殖, 且 1 龄性早熟蟹的体重 (15~40 g/只) 远低于正常成蟹 (100~200 g/只), 因此 1 龄性早熟蟹的经济价值较低 (Wu et al. 2010)。

有研究表明, 不同种群或家系的中华绒螯蟹在相同条件下养殖, 扣蟹阶段的 1 龄性早熟



率差异较大(朱清顺等 2012, 郑岩等 2013), 这暗示中华绒螯蟹 1 龄性早熟可能与其遗传特性相关(杜晓燕等 2000, Qiu et al. 2016)。最新的研究结果表明, 在群体养殖条件下, 中华绒螯蟹 1 龄性早熟子一代(早熟 F1)和 2 龄正常性成熟子一代(正常 F1)在扣蟹阶段的生长模式有所不同, 尽管早熟 F1 的大部分个体并没有表现为 1 龄性早熟, 但其 1 龄性早熟率和成活率均略高于正常 F1(董鹏生等 2016)。因此, 比较早熟 F1 和正常 F1 在扣蟹和成蟹阶段的生长发育规律, 对于进一步了解中华绒螯蟹 1 龄性早熟的形成原因和中华绒螯蟹的生长发育规律具有重要的现实意义和一定的理论价值。由于先前研究仅在群体养殖条件下比较了早熟和正常 F1 在扣蟹阶段养殖性能, 且没有涉及到蜕壳间隔、每次蜕壳的生长率、腹脐形态变化和性腺发育等重要指标, 因此尚无法全面评估早熟 F1 和正常 F1 生长发育是否存在差异。鉴于此, 本研究采用单个体养殖方式, 比较了早熟 F1 和正常成熟 F1 在扣蟹和成蟹养殖阶段生长情况、蜕壳周期、雌体第二性征和性腺发育情况, 以期为后续深入研究中华绒螯蟹的 1 龄性早熟机制及中华绒螯蟹的生长发育规律提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用蟹

中华绒螯蟹 1 龄早熟和 2 龄成熟家系亲本均选自于上海海洋大学崇明基地的实验池塘, 为本课题组自行构建的中华绒螯蟹家系。雌雄亲本均于 2014 年 3 月运至位于江苏如东的上海海洋大学中华绒螯蟹遗传育种基地进行人工繁殖, 每对家系亲本分别在双层 PVC 桶(直径  $\times$  高 = 1.08 m  $\times$  1 m)内进行单独交配和育苗, 分别获得 1 龄早熟和 2 龄成熟家系的大眼幼体。5 月中旬将培育出的两种家系大眼幼体运至上海海洋大学崇明基地的 40 目网箱(长  $\times$  宽  $\times$  高 = 2 m  $\times$  2 m  $\times$  1 m)中进行扣蟹早期阶段养殖。6 月下旬从两群体中分别挑选 3 个家系的

扣蟹进行对比实验, 实验家系的亲本信息见表 1。生长至 5 个月左右的早熟 F1 雌雄个体初始体重分别为  $(0.49 \pm 0.05)$  g 和  $(0.50 \pm 0.04)$  g, 正常 F1 雌雄个体初始体重分别为  $(0.49 \pm 0.04)$  g 和  $(0.50 \pm 0.04)$  g, 这些个体大多数为蜕壳 5 次的幼蟹。

### 1.2 实验设计

1 龄早熟和 2 龄成熟家系每组精心挑选体重接近 (0.5 g 左右)、肢体健全的雌雄豆蟹各 30 只作为实验用蟹, 室内循环水槽暂养 3 ~ 5 d 后取出用毛巾擦干体表水分称重, 然后移入室内单养设施开始正式实验。中华绒螯蟹的常规养殖分为两年, 第一年为扣蟹养殖, 第二年为成蟹养殖, 单个体养殖条件下中华绒螯蟹对养殖空间的需求也随着体重的增加而增加, 因此在扣蟹和成蟹养殖阶段分别采用不同规格的塑料盒或圆柱形网笼单养中华绒螯蟹。在扣蟹养殖阶段(当年 7 ~ 12 月份), 采用小规格塑料盒(长  $\times$  宽  $\times$  高为 38 cm  $\times$  27 cm  $\times$  21 cm)进行单个体养殖; 成蟹养殖早期(次年 1 ~ 4 月份)采用大规格塑料盒(长  $\times$  宽  $\times$  高为 48 cm  $\times$  32 cm  $\times$  27 cm)进行单养, 成蟹养殖中后期(次年 5 ~ 11 月份)采用圆柱形网笼(直径  $\times$  高 = 0.6 m  $\times$  0.4 m)进行单养。

扣蟹养殖阶段和成蟹养殖早期, 单养塑料盒置于水深为 12 cm 的循环水槽中, 循环速度为每日 20 次左右, 单养塑料盒四周设有小孔, 便于水流流通和排污, 盒顶部加带孔盖子防逃, 同时保证光照, 养殖盒中放置 PVC 管作为隐蔽物。成蟹养殖中后期单养网笼置于室外塘边, 入水深度为 20 ~ 30 cm, 待网笼内所有个体均完成生殖蜕壳后方可结束实验。

### 1.3 养殖管理

室内扣蟹单养期间每日投喂配合饲料一次, 随着扣蟹生长依次投喂粒径分别为 1.2 mm、1.6 mm 和 1.8 mm 的扣蟹商品饲料(浙江欣欣饲料有限公司生产), 投饵率 3% ~ 6%, 具体根据水温和摄食情况适时调整, 投喂后 3 h 左右检查和记录单养塑料盒内残饵情况, 以便

表 1 1 龄早熟和 2 龄成熟家系繁殖亲本的数量及规格

Table 1 The number and size of the broodstock *Eridcheir sinensis* for the one year precocious family and two year normally mature family

| 类别<br>Family                      | 性别<br>Gender | 数量 (ind)<br>Quantity | 体重 (g)<br>Weight | 体长 (mm)<br>Carapace length | 体宽 (mm)<br>Carapace width |
|-----------------------------------|--------------|----------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 龄性早熟家系亲本<br>One-year precocious | 雄 Male       | 3                    | 20.64 ± 2.27     | 31.63 ± 1.09               | 35.67 ± 1.27              |
|                                   | 雌 Female     | 3                    | 19.74 ± 1.69     | 32.04 ± 1.21               | 36.09 ± 1.27              |
| 2 龄性成熟家系亲本<br>Two-year normally   | 雄 Male       | 3                    | 146.8 ± 31.6     | 58.24 ± 4.21               | 66.89 ± 3.18              |
|                                   | 雌 Female     | 3                    | 98.73 ± 1.30     | 54.21 ± 0.74               | 60.09 ± 0.37              |

及时调整投喂量, 每 3 d 用虹吸法去除盒底残饵和粪便一次; 成蟹养殖早期 (室内养殖期间) 每日投喂成蟹 1# 饲料 (浙江欣欣饲料有限公司生产), 室外池塘单养期间每日投喂活饵一次, 采用冰鱼和螺蛳交替投喂, 投喂时将网笼提出水面并清除残饵, 同样每日定时观察和记录单养个体的摄食情况, 定期洗刷网笼, 同时网笼内放置适量伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 供成蟹隐蔽、遮荫和蜕壳。整个实验期间均采用温度自动记录仪 (Elitech RC-4, 江苏省精创电器股份有限公司) 记录每日平均水温, 每日测定水体溶氧和 pH, 每 3 d 测定一次亚硝酸和氨氮, 并根据水质情况定期换水, 使水质保持在良好的范围内 (pH 7.5 ~ 9.0; 溶氧 > 5 mg/L; 氨氮 < 0.3 mg/L; 亚硝酸盐 < 0.10 mg/L)。

#### 1.4 实验指标测定

**1.4.1 生长性能** 实验开始后, 每日定时观察和记录每个单养中华绒螯蟹个体的蜕壳和死亡情况, 一旦发现蜕壳个体, 待其壳硬化后 (5 ~ 6 d) 用干毛巾擦去蟹体表水分, 采用 JY1002 型电子天平 (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, 采用 M150 型游标卡尺 (上海精美量具厂生产, 最大量程为 150 mm, 精确度 0.01 mm) 测量其甲壳长宽, 并根据以下公式计算每次蜕壳的蜕壳周期、增重率 (weight gain rate, WGR) 和特定生长率 (specific growth rate, SGR), 蜕壳间隔 (d) = 此次蜕壳日期 - 上次蜕壳日期, 增重率 (%) =  $100 \times (\text{蜕壳后质量} - \text{蜕壳前质量}) / \text{蜕壳前质量}$ , 特定生长率 (%/d) =  $100 \times$

( $\ln \text{蜕壳后质量} - \ln \text{蜕壳前质量}$ ) / 蜕壳间隔。

**1.4.2 雌蟹第二性征测量** 中华绒螯蟹雌体是否完成生殖蜕壳可以通过观察其腹脐形态来判别, 一般情况下, 成熟雌蟹腹脐完全覆盖腹甲, 而未成熟雌蟹腹脐呈桃型, 尚未完全覆盖腹甲 (张堂林等 1998), 但这些定性描述不能准确反映雌体腹脐覆盖情况与其蜕壳次数的关系, 因此本文从雌蟹腹甲选出 A、A' 和 B 3 个测量点 (图 1), A 和 A' 分别为第一步足与第二步足基部的交界处, B 为 AA' 连线与腹脐边缘的交点, 每次中华绒螯蟹蜕壳后称重时, 同时测量雌蟹腹甲相关长度。计算腹脐覆盖腹甲的比例 (R):  $R (\%) = 100 \times (D_{AA'} - 2D_{AB}) / D_{AA'}$ , 式中,

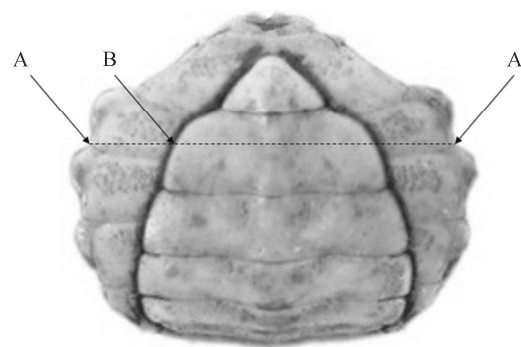


图 1 中华绒螯蟹雌体第二性征测量位点示意图

Fig. 1 The landmark points for secondary sexual character measurements of female *Eridcheir sinensis*

A 和 A' 分别为左右第一步足与第二步足基部的交界处, B 为 AA' 连线与腹脐边缘的交点。

A and A' are the junction of the first paracriopod and the second paracriopod on the right and left, respectively; B is the intersection of AA' and the edge of the navel.

$D_{AA'}$ 指 AA'-之间距离， $D_{AB}$ 指 AB 之间距离。

**1.4.3 性腺发育** 单养网笼内中华绒螯蟹完成生殖蜕壳需要 100 d 左右，在蜕壳后期由于天气逐渐转冷，水温也较之以前下降，中华绒螯蟹基本不再摄食，对所有存活的中华绒螯蟹进行活体解剖，取出每只蟹的全部肝胰腺和性腺，用电子天平精确称重（精确 0.01 g），计算肝胰腺指数（ $I_{HS}$ ，%）和性腺指数（ $I_{GS}$ ，%）， $I_{HS}$ （%）=（ $W_H/W$ ）× 100， $I_{GS}$ （%）=（ $W_G/W$ ）× 100，式中， $W_H$ 为肝胰腺重， $W_G$ 为性腺重， $W$ 为体重。

1.5 统计分析

所有数据均采用平均值 ± 标准误表示。采用 SPSS 13.0 软件对实验数据进行统计分析，用 Levene 方法进行方差齐次性检测，当不满足使用齐性方差时进行反正弦或平方根处理，用  $T$  检验（independent samples  $t$ -test）分析两种家系各指标间的差异性，采用 Sigmaplot 10.0 软件绘图，取  $P < 0.05$  为差异显著， $P < 0.01$  为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 生长情况

单养条件下两种中华绒螯蟹家系 F1 的平

均体重、壳长和壳宽变化情况见图 2 ~ 4。早 F1 雄体在第 1、2 次和第 7、8 次蜕壳后的体重显著大于正常 F1 雄体（ $P < 0.05$ ）；而早熟 F1 雌体在第 1 ~ 5 次和第 7 次蜕壳后的体重显著大于正常 F1 雌体（ $P < 0.05$ ）；两群体壳长和壳宽的差异情况与体重类似，早熟 F1 个体的壳长和壳宽均大于正常 F1。

早熟 F1 和正常 F1 每次蜕壳后的增重率和特定生长率变化情况见图 5 和图 6。早熟 F1 雄体第 1 次蜕壳后和雌体 1、2 次蜕壳后的增重率显著高于正常 F1（ $P < 0.05$ ）；无论雌体还是雄体，第 3 ~ 8 次蜕壳后，正常 F1 的增重率均高于早熟 F1，其中雄体第 8 次蜕壳后的增重率差异显著（ $P < 0.05$ ）。早熟 F1 雄体第 3 和第 4 次蜕壳后、雌体第 3 ~ 5 次蜕壳后的特定生长率显著低于正常 F1；无论雌体还是雄体，早熟 F1 和正常 F1 1 ~ 5 次蜕壳后的特定生长率呈下降趋势，而 6 ~ 8 次蜕壳后为上升趋势。

2.2 蜕壳间隔及蜕壳次数

图 7 为早熟和正常 F1 在单养期间的蜕壳间隔。无论雌雄，正常 F1 在实验期间第 3 ~ 5 次的蜕壳间隔显著短于早熟 F1（ $P < 0.05$ ），第 6 次蜕壳间隔早熟 F1 短于正常 F1。整体上，第 1 ~ 6 次蜕壳间隔呈增加趋势，第 7 和第 8 次蜕

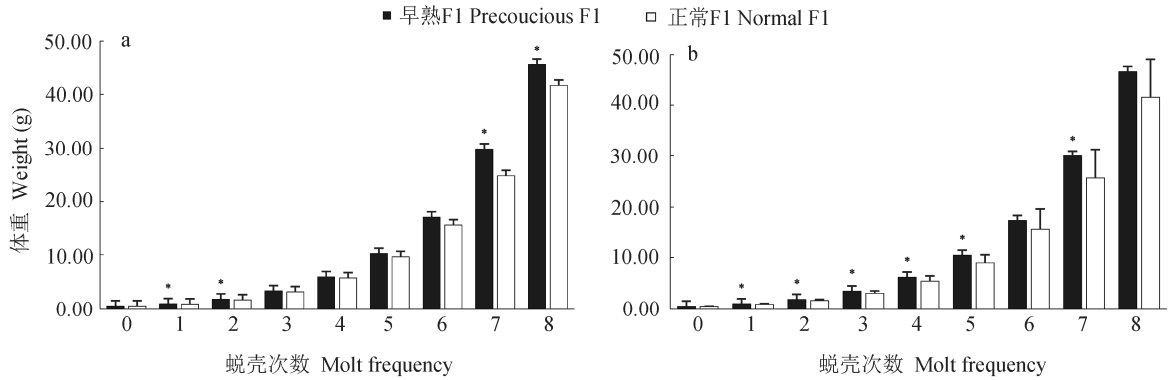


图 2 中华绒螯蟹两家系 F1 养殖过程中蜕壳后的体重比较

Fig. 2 The changes of body weight of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著（ $P < 0.05$ ）。“\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

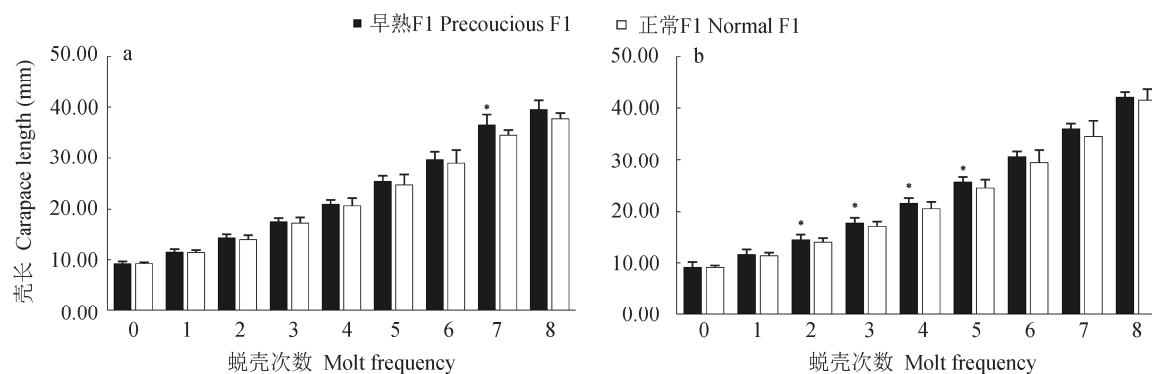


图3 中华绒螯蟹两家系 F1 养殖过程中蜕壳后的壳长比较

Fig. 3 The changes of carapace length of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著 ( $P < 0.05$ )。 “\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

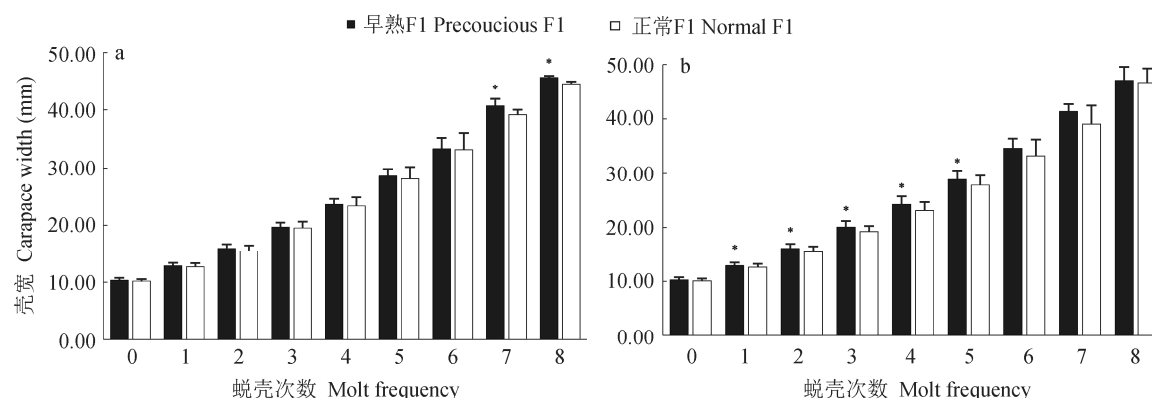


图4 中华绒螯蟹两家系 F1 养殖过程中蜕壳后的壳宽变化

Fig. 4 The changes of carapace width of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著 ( $P < 0.05$ )。 “\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

壳间隔基本一致。

两家系在扣蟹养殖阶段蜕壳 4 ~ 6 次 (图 8), 其中早熟 F1 雌雄个体的平均蜕壳次数均为 4.9, 略低于正常 F1 个体 (雄雌均为 5.1); 两群体在成蟹阶段蜕壳 2 ~ 4 次 (图 9), 其中早熟 F1 雌雄个体在成蟹阶段的平均蜕壳次数均为 3.1, 略高于正常 F1 个体 (雌雄均 2.9)。

### 2.3 第二性征与性腺发育

早熟和正常 F1 雌体随着蜕壳次数增加腹脐覆盖腹甲比例 ( $R$ ) 不断增加 (图 10), 成体腹脐覆盖腹甲比例达 75.57% ~ 77.37%。

无论雄体还是雌体, 早熟 F1 的性腺指数略高于正常 F1, 但无显著差异, 雄体性腺指数达 4% 左右, 雌体性腺指数为 12% 左右; 两种家系的肝胰腺指数也无显著差异, 但雄体高于雌体 (图 11)。

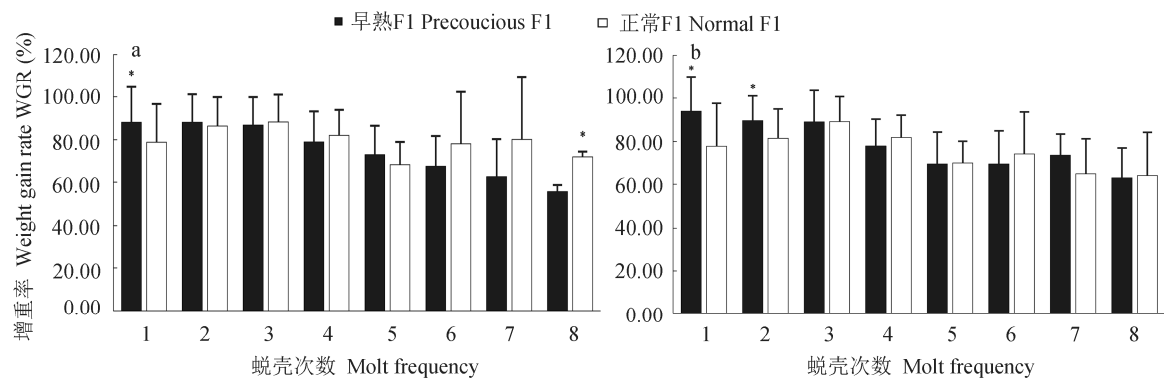


图 5 单养条件下中华绒螯蟹早熟和正常 F1 蜕壳后的增重率变化

Fig. 5 The changes of weight gain rate (WGR) of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著 ( $P < 0.05$ )。“\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

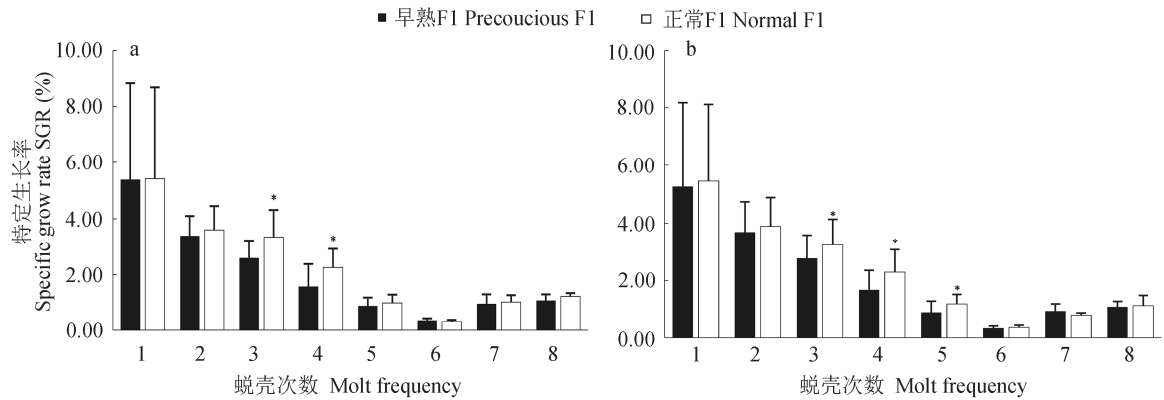


图 6 中华绒螯蟹两家系 F1 养殖过程中蜕壳后的特定生长率比较

Fig. 6 The changes of specific grow rate (SGR) of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著 ( $P < 0.05$ )。“\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

3 讨论

3.1 生长情况

早熟 F1 个体在实验期间的体重、壳长及壳宽均一直大于正常 F1,这可能与其亲本在扣蟹阶段的生长优势相关,1 龄性早熟个体的生长速度显著快于正常扣蟹,成熟时规格达 20 g 左右(刘乃更等 2016),而正常扣蟹的 1 龄规格只有 5 g 左右(何杰 2005),早熟 F1 可能部分

遗传了 1 龄性早熟个体(亲本)快速生长的特征。这与先前群体养殖的实验结果相反,群体养殖实验结果表明早熟 F1 家系最终成活率高,但最终平均体重较低,但统计学上无显著差异(董鹏生等 2016)。本实验中两种家系 F1 的初始体重接近,并且采用单个体养殖方法,每只中华绒螯蟹均在相同的养殖盒中进行养殖,可以排除密度对生长的影响,因此本实验结果更具说服力。

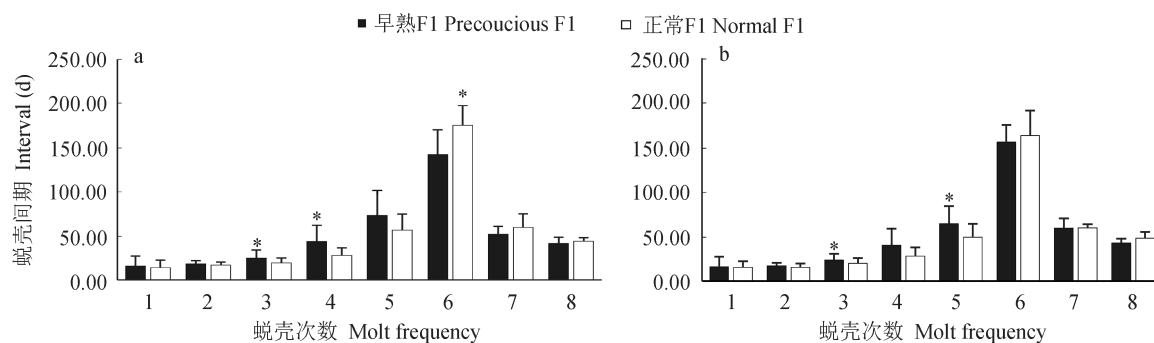


图7 中华绒螯蟹两家系 F1 养殖过程中蜕壳间隔比较

Fig. 7 The changes of molting interphase of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normal family after each molt

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

“\*”表示两群体差异显著 ( $P < 0.05$ )。 “\*” indicates there was a significant difference between the two types of families.

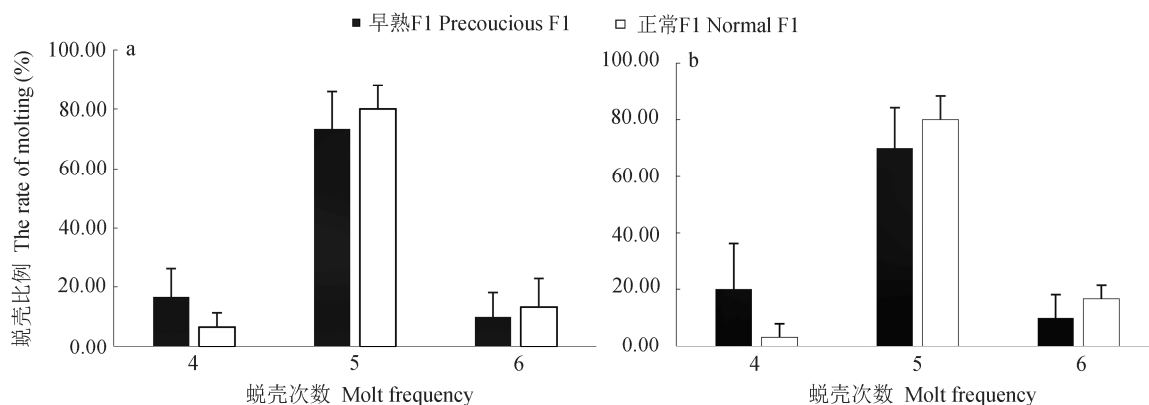


图8 中华绒螯蟹两家系 F1 在扣蟹养殖阶段蜕壳次数的比较

Fig. 8 The comparison of molting frequency of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normal family during the first year culture stage

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

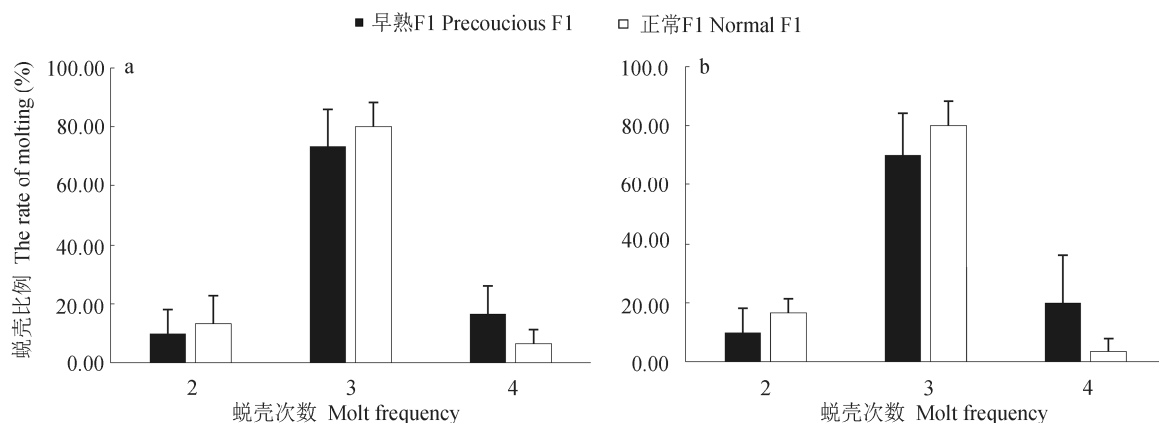


图9 中华绒螯蟹两家系 F1 在成蟹养殖阶段蜕壳次数的比较

Fig. 9 The comparison of molting frequency of *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normal family during the second year culture stage

a. 雄性; b. 雌性。a. Male; b. Female.

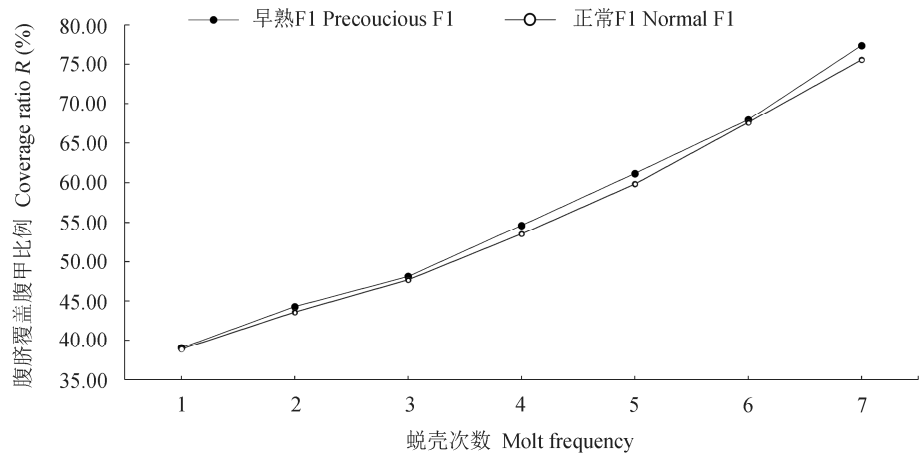


图 10 中华绒螯蟹两家系雌体腹脐覆盖腹甲比例的比较

Fig. 10 The comparison of coverage ratio on the sternite of female *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family after each molt

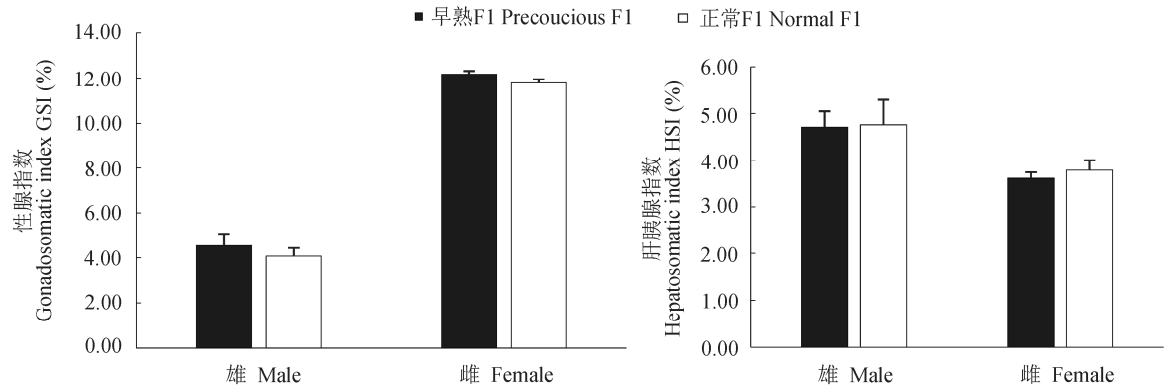


图 11 中华绒螯蟹两家系成体的性腺指数和肝胰腺指数比较

Fig. 11 The comparison of gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) of adult *Eridcheir sinensis* from one-year precocious family and two-year normally family

甲壳动物的生长是通过蜕壳实现的，最终规格决定于其蜕壳次数和每次蜕壳后的增重率 (Kibria 1993)，本实验中单养个体的最终成熟规格仅为 41.54 ~ 46.69 g，明显低于池塘养殖中华绒螯蟹的正常成蟹体重 (80 ~ 200 g 左右) (He et al. 2014)。本实验中单养个体在成蟹阶段仅蜕壳 2 ~ 4 次，便完成生殖蜕壳，2 龄成蟹池塘养殖过程中通常蜕壳 4 ~ 5 次 (张列士等 2001，何杰 2005)，这可能是由于单养网笼空间较小限制了中华绒螯蟹的蜕壳和生长，这种现象已经在红星梭子蟹 (*Portunus*

*sanguinolentus*) (Nicholson et al. 2008) 和光壳红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) (Manor et al. 2002) 中被证实。先前研究表明，三疣梭子蟹 (*P. trituberculatus*) (沈烈峰等 2013) 和拟穴青蟹 (*Scylla paramamosain*) (韦剑群等 2007) 在室外和室内单个体养殖条件下均可以正常生长发育，达到性成熟时的体重与群体养殖条件下并无差异。因此，不同甲壳动物的生活习性及其对养殖空间的要求可能存在较大差异，如何改进中华绒螯蟹单养设施使其能够生长至群体养殖条件下的成体规格仍有待进一步研究。

### 3.2 蜕壳间隔

本实验中,早熟 F1 在第 3~5 次蜕壳的蜕壳间隔长于正常 F1,且其体重大于正常 F1,这是因为蜕壳间隔较长的个体通常每次蜕壳后增重率大于蜕壳间隔较短的个体(Yuan et al. 2016),且规格较大的个体蜕壳间隔较长(Barki et al. 2004)。早熟 F1 第 6~8 次蜕壳间隔均短于正常 F1,这可能是由于早熟 F1 自第 6 次蜕壳起处于第二年天气回暖期,室内水温也逐渐回温,而正常 F1 的第 6 次蜕壳大多数发生在第一年扣蟹养殖后期,此时正值冬季,室内水温相对较低,故蜕壳间隔较长。早熟 F1 在扣蟹阶段的平均蜕壳次数低于正常 F1,而在成蟹阶段的平均蜕壳次数高于正常 F1,这可能与其生长模式不同有关,其形成原因有待进一步深入研究。本研究中,早熟 F1 和正常 F1 的蜕壳间隔均先增加后降低趋势,其可能原因有二,1) 随着中华绒螯蟹蜕壳次数的增加,大规格个体通常蜕壳间隔较长(张列士等 2001,何杰 2005); 2) 实验中的第 6 次蜕壳周期较长,主要是因为第 5 次蜕壳后,大部分扣蟹进入越冬期,越冬期间中华绒螯蟹通常不摄食,也不蜕壳,时间长达 90 d 左右,因此第 6 次蜕壳间隔长、特定增长率低。

### 3.3 第二性征与性腺发育

中华绒螯蟹的第二性征常被用来判别是否完成生殖蜕壳,如生殖蜕壳后雄蟹大螯完全覆盖浓密的绒毛并且交接器硬化(王武等 2013),生殖蜕壳后雌蟹腹脐完全覆盖腹甲且腹脐边缘长满绒毛,而未成熟雌蟹腹脐呈桃型,且不能完全覆盖腹甲(张堂林等 1998)。本研究采用腹脐覆盖腹甲的比例作为中华绒螯蟹雌体生长发育的第二性征,实验期间早熟 F1 雌体的腹脐覆盖腹甲比例一直高于正常 F1,完成生殖蜕壳后,两种家系 F1 腹脐覆盖腹甲比例均大于 75%,因此,75%这个比例可以作为雌体完成生殖蜕壳的量化指标。本研究结果表明,早熟 F1 和正常 F1 雌雄个体在单养条件下性腺均可发育成熟,尽管性腺发育成熟的雌雄个体体

重均低于池塘群体养殖条件下个体,但是其第二性征与池塘养殖成蟹接近(王武等 2013,徐佳倩等 2016)。

综上,早熟 F1 和正常 F1 在单养条件下生长和蜕壳规律存在一定差异,表现为整个养殖阶段早熟 F1 的体重、壳长及壳宽均大于正常 F1 个体,且尽管两种群体性腺发育速度差异不显著,但早熟 F1 个体的性腺发育速度也略快于正常 F1 个体,这可能与 1 龄早熟蟹生长速度较快的特性有关。此外,本研究结果表明,1 龄早熟 F1 个体亦可以生长至 2 龄正常成蟹规格,说明早熟蟹可以合理利用。

### 参 考 文 献

- Barki A, Karplus I. 2004. Size rank and growth potential in redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*): are stunted juveniles suitable for grow-out. *Aquaculture Research*, 35(6): 559–567.
- He J, Wu X G, Cheng Y X, 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: 48–56.
- Kibria G. 1993. Studies on molting, molting frequency and growth of shrimp (*Penaeus monodon*) fed on natural and compounded diets. *Asian Fisheries Science*, 6(2): 203–211.
- Manor R, Segev R, Leibovitz M P, et al. 2002. Intensification of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* culture II. Growout in a separate cell system. *Aquacultural Engineering*, 26(4): 263–276.
- Nicholson S, Mann D, Fotadar R, et al. 2008. The effects of holding space on growth and survival of individually reared three-spot crab (*Portunus sanguinolentus*). *Aquacultural Engineering*, 39(1): 30–36.
- Qiu G F, Xiong L W, Liu Z Q, et al. 2016. A first generation microsatellite-based linkage map of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*, and its application in quantitative trait loci (QTL) detection. *Aquaculture*, 451: 223–231.
- Wu X G, Chang G L, Cheng Y X, et al. 2010. Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal



- development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture Nutrition*, 16(1): 25–36.
- Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. 2011. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival and growth of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture Research*, 42(3): 457–468.
- Yuan Q, Wang Q, Zhang T, et al. 2016. Effects of water temperature on growth, feeding and molting of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture*, 468: 169–174.
- 董鹏生, 刘青, 吴旭干, 等. 2016. 中华绒螯蟹一龄性早熟和二龄成熟家系扣蟹阶段生长和早熟的比较研究. *上海海洋大学学报*, 25(1): 51–60.
- 杜晓燕, 张德隆. 2000. 池养中华绒螯蟹性早熟现象的初步分析. *大连海洋大学学报*, 15(4): 254–258.
- 何杰. 2005. 中华绒螯蟹池塘生态养殖群体生长特征研究. *水生态学杂志*, 25(6): 10–11, 28.
- 何杰. 2015. 遗传选育对长江中华绒螯蟹养殖性能、遗传多样性和营养品质的影响. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, 76–99.
- 刘乃更, 姜晓东, 刘青, 等. 2016. 中华绒螯蟹二龄早熟品系蟹种的池塘养殖中试与效果评价. *科学养鱼*, (9): 50–52.
- 农业部渔业渔政管理局. 2016. 2016 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社.
- 沈烈峰, 洪挺, 顾建明, 等. 2013. 三疣梭子蟹单体筐立体养殖技术研究. *河北渔业*, (4): 264–264.
- 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, 59–84.
- 韦剑群, 林琼武, 陈学雷, 等. 2007. 青蟹室内单个体立体笼养的试验. *厦门大学学报: 自然科学版*, 46(2): 248–253.
- 魏薇, 吴嘉敏, 魏华. 2007. 盐度对中华绒螯蟹性早熟生理机制的影响. *中国水产科学*, 14(2): 275–280.
- 徐佳倩, 吴旭干, 张鹏超, 等. 2016. 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. *动物学杂志*, 51(3): 1–15.
- 张列士, 陆锦天. 2001. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 蜕壳和生长的研究进展. *水产科技情报*, 28(6): 246–250.
- 张堂林, 方榕乐, 刘中锐. 1998. 池养幼蟹成活率、生长及雌蟹性成熟特征. *水利渔业*, (5): 10–12.
- 郑岩, 徐显峰. 2013. “光合 1 号”蟹苗与非选育蟹苗的对比养殖试验. *科学养鱼*, (11): 31–32.
- 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.