



# 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟选育第五代生长性能和性腺发育比较

范陈伟<sup>1,2</sup>, 姜晓东<sup>1,2</sup>, 成永旭<sup>1,2,3</sup>, 吴旭干<sup>1,2,3</sup>

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 农业农村部淡水种质资源重点实验室, 上海 201306

3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306

E-mail: 1456130014@qq.com



## 研究背景

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)，是我国重要的经济养殖蟹类之一。具有较高的经济价值和食用价值，河蟹养殖总产量已近77.87万t，已逐渐成为我国水产养殖行业发展最迅速、最具特色的水产品产业之一。但是近年来，我国河蟹种业的保护措施比较薄弱，普遍用小规格河蟹亲本进行繁育，加上无序引种和苗种盲目放流，导致河蟹种质退化，严重制约了河蟹养殖产业绿色发展，及时开展河蟹的良种培育工作至关重要。而选择育种是一种传统有效的新品种培育方法，通过对群体的反复选择淘汰、优中选优，培育出符合选育目标的优良个体。该方法能够分离并固定优良性状，保留有益的变异，提高河蟹的经济性状，提纯和复壮河蟹品种。

到目前为止，已经选育出“江海21”、“长江1号”、“长江2号”、“诺亚一号”以及“光合一号”五个新品种，但是这些新品种仅仅从单一的生长性能上进行选育，缺乏性腺发育以及营养品质的选育。

本课题组以长江水系野生和养殖的中华绒螯蟹作为基础群体，进行中华绒螯蟹二龄早熟和二龄晚熟群体的选育研究，对河蟹的生殖蜕壳和性腺发育进行选育，至今已选育到G5代，但是尚不清楚其在第五代G5生长性能和性腺发育如何。因此，本文从生长性能和性腺发育等方面对奇数年G5扣蟹和成蟹在网箱养殖和池塘养殖效果方面进行比较，用于进一步开展中华绒螯蟹的种质资源评价和良种培育研究，为河蟹新品种的申报提供数据来源。



图1 中华绒螯蟹

## 材料与方法

### 1 扣蟹阶段养殖实验

#### 1.1 大眼幼体来源

本实验用二龄早熟、二龄晚熟和对照组的大眼幼体均来自上海海洋大学如东海蟹遗传育种中心，其中两选育群体均由上海海洋大学甲壳动物营养繁殖课题组自2010年底以长江水系养殖和野生中华绒螯蟹为基础种群，经过多年选育而成，目前已选育至第五代（G5）。两选育群体和对照组群体亲本于2018年11月取自常州市金坛水产站河蟹养殖基地，雌蟹体质量范围在90~160g，雄蟹体质量范围在140g~210g，选择肢体健全、健康有活力的亲本蟹用于繁育，对照组亲本为生产上常用的未经选育的普通河蟹品种，其规格为生产上常用的亲本规格。将各组亲本分别放入3口条件相似的实验池塘（长×宽×深为14m×11m×2m）中，池内海水盐度为18左右，池塘四周有设置防逃板。亲本进入池塘2天后开始投喂冰鲜鱼，日投喂量为体质量的2%~5%，具体投喂量根据前一天的残饵和水温情况进行调整。

2019年1月中旬排干池水后，剔除每个池塘里的所有公蟹，同时检查池内母蟹的抱卵情况，各组母蟹的抱卵率均多于90%。随后在相似的室外条件下开展亲本越冬、挂笼和幼体培育等工作。待2019年5月将淡化后所得的大眼幼体运送至上海海洋大学崇明整新基地，用于进一步的扣蟹室外网箱养殖实验。

### 1.2 养殖管理

试验设置12个面积相等的围隔（长×宽=7.8m×7.8m）作为养殖池塘，来比较三群体在扣蟹阶段的养殖性能差异。围隔四周设有双层防逃网，防逃网上缘设置25cm高的PE塑料防逃围板。为保持试验组水质一致，围隔之间水体相互连通。每个围隔中间有1个长×宽×深为6m×4m×0.7m的水坑，水坑四周平台上种植水稻以净化水质。为了便于采样和回捕扣蟹，在水坑中用毛竹架设1个长×宽×高为2m×2m×1m的网箱，网片孔径为0.425mm，网箱内外缝有30cm高的防逃塑料板。每个网箱中放入约1500只大眼幼体，每个规格组设4个平行网箱，网箱内放置伊乐藻供幼蟹隐蔽和蜕壳。日投喂破碎料量为1~5g，根据气候、水温和摄食情况进行适当调整。

河蟹在大眼幼体以及豆蟹阶段蜕壳频率高、成活率不稳定。为避免各网箱之间成活率差距悬殊，影响最终生长性能的比较，6月中旬将每个网箱内豆蟹的数量调整为400只（雌、雄各半），并将网箱内的伊乐藻替换为水花生，继续进行豆蟹至扣蟹阶段的养殖。每天17:00投喂配合饲料（浙江澳华饲料有限公司生产），随着扣蟹的蜕壳和生长，饲料粒径也随之增长，粒径分别为1.2mm、1.6mm、1.8mm，每天的投喂量为幼蟹总体质量的1%~6%。网箱中设有小型食台，每次投喂4h后，观察并记录饲料残留情况，据此调整次日投喂量。定期清理水花生，使其密度适中，防止其疯长造成缺氧和水质恶化而影响其摄食。每隔20d左右用聚维酮碘对养殖网箱消毒，根据水质进行定期换水，以保证水质符合扣蟹生长要求。

### 1.3 数据采集

调整密度前，将每个网箱里所有的豆蟹捞出，并统计每个网箱内豆蟹的数量，并称重，据此计算大眼幼体至豆蟹阶段的最终平均体质量、成活率以及增重倍数。调整密度后，每月15日随机从每个网箱里各采样200只豆蟹，用干毛巾轻轻擦拭蟹体表水分后，采用电子天平精确称量（精确到0.01g），准确记录每只扣蟹的性别和体质量，据此计算每个月的增重率（weight gain rate, WGR），计算公式如下：

$$\text{增重率(WGR, \%)} = 100 \times (W_2 - W_1) / W_1$$

式中， $W_1$ 和 $W_2$ 分别为日龄1和2时各组蟹的平均体质量(g)。网箱养殖实验于11月20日结束。随后捞出全部扣蟹，统计每个网箱内存活的扣蟹数量，分别计算雌、雄扣蟹和早熟蟹的平均体质量。对捕获的所有正常扣蟹按体质量进行规格划分，雌雄各分为5个等级：<1.50g、1.50~2.99g、3.00~4.49g、4.50~5.99g、≥6.00g，分别统计3品系扣蟹各规格等级所占的比例。

### 2 成蟹阶段养殖实验

#### 2.1 实验用蟹种来源

实验用二龄早熟、二龄晚熟及对照组扣蟹均取自上海海洋大学崇明基地扣蟹实验池塘，其中早熟和晚熟品系扣蟹由规格分别为125g和175g对应母本所繁育的大眼幼体养殖而成，对照组扣蟹为规格为100g左右未经选育母本所繁育的大眼幼体培育而成。三群体扣蟹规格接近，早熟群体雌雄扣蟹初始体质量分别为（7.88±0.11）（8.31±0.06）g，晚熟群体雌雄扣蟹初始体质量分别为（7.71±0.08）（8.13±0.03）g，对照组雌雄扣蟹初始体质量分别为（7.67±0.04）（8.10±0.12）g。扣蟹经30mg/L聚维酮碘溶液浸泡消毒0.5h后随机放养于养殖池塘内。养殖实验于2020年2~11月在上海海洋大学崇明基地的9个土池中（长×宽=12m×8m），每组扣蟹设置3个平行池塘。每个实验池塘放扣蟹100只，雌雄各半，初始密度约为1个/m<sup>2</sup>。

### 2.2 养殖管理

扣蟹放养前用漂白粉（南通市高阳漂白粉有限公司生产）对实验池塘进行消毒和清塘处理，用量为每个池塘10kg左右。消毒10~15天后种植伊乐藻（*Elodea nuttallii*），便于实验蟹躲避和隐蔽，株距为2m，行距为2m，并根据水草的生长情况与外界气候变化合理控制每个实验池塘水位。夏季高温期水位保持在1.0~1.2m，初期主要种植伊乐藻，养殖后期再搭配水花生（*Alternanthera philoxeroides*），根据情况及时剔除过多的伊乐藻，防止河蟹夜间和阴雨天缺氧。为了调节水质及控制野杂鱼，分别于3月和5月在每个池塘中放养5条白鲢和5条鳊鱼种。5~6月每个池塘投放10公斤左右螺蛳作为补充饲料，同时起到清除残饵和净化水质的作用。当池塘水温升高至12℃后开始投喂配合饲料（浙江澳华饲料有限公司生产），每天下午5点左右投喂，投喂量为蟹体质量的3~5%。每个成蟹实验塘设置一个食台用于观察实验蟹当天吃食情况，根据水温和残饵及时调整投喂量。7月初开始晚上给每个实验池塘开启底部微孔增氧。定期检查每个成蟹塘的氨氮（<0.4mg/L）、溶氧（>3mg/L）、pH（7.0~9.0）以及亚硝酸盐（<0.15mg/L）等水质指标。根据池塘水质情况，每半个月更换掉实验池塘30~50%的养殖水体，保持实验池塘水质良好。

### 2.3 数据采集

自5月15日起，每隔60天左右用电动地笼网捕捉采样，每个池塘随机采集雌雄个体各15只以了解各品系河蟹的生长和发育情况，称重前用毛巾擦拭河蟹体表水分后用电子天平精确称重（精确到0.01g），据此计算各采样时间点河蟹的增重率（WGR）。自7月25日起每隔20d采样1次，每池塘随机采样30只个体，雌雄各半，分别统计各池塘内河蟹完成生殖蜕壳的个体比例，根据王武的方法判断采样个体是否已经完成生殖蜕壳：雄性主要依据交接器是否突出和硬化、大螯绒毛覆盖面积和长度、壳是否为青色等来判断；雌性主要依据腹脐形状、腹脐绒毛长度和壳的颜色等来判断，据此计算生殖蜕壳率（puberty molting rate, %）。

为了比较三群体在成蟹养殖阶段的性腺发育速度，当观察到完成生殖蜕壳的比例达到80%后，雄性从10月5日起每隔20天从各池塘内随机采集3只蟹，雌性从9月5日起每隔30天从各池塘内随机采集3只蟹，擦去体表水分后精确称量（精确到0.01g），随后解剖取出全部肝胰腺和性腺并称重（精确到0.01g），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：

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

$$\text{肝胰腺指数HSI (\%)} = W_H / W \times 100\%$$

式中， $W_G$ 为性腺重， $W_H$ 为肝胰腺重， $W$ 为对应的河蟹体质量。实验于11月20日停止，排干实验塘后，对最终捕获的所有成蟹按体重进行规格分级，雌蟹分为6级：<120.00g、120.00~144.99g、145.00~169.99g、170.00~194.99g、195.00~219.99g和≥220.00g；雄蟹分为5级：<80.00g、80.00~99.99g、100.00~119.99g、120.00~139.99g和≥140.00g，分别统计三品系成蟹各规格所占比例。

### 3 数据统计分析

采用SPSS 26.0软件对实验数据进行统计分析，所有数据均以平均值±标准误差（Mean ± SE）表示。采用Levene法对所有数据进行方差齐性检验，当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用ANOVA法对实验结果进行方差分析，采用Duncan氏法进行多重比较，取P<0.05为差异显著。在GraphPad Prism软件上绘制相关图表。

## A. 扣蟹阶段的养殖性能

项目	早熟	晚熟	对照
平均体质量/g	0.47±0.05	0.48±0.04	0.45±0.09
成活率/%	60.12±9.42	65.97±14.38	63.37±6.05
增重倍数/%	69.65±3.98	71.05±6.55	66.97±6.69

表1 三群体在大眼幼体至扣蟹阶段的养殖性能

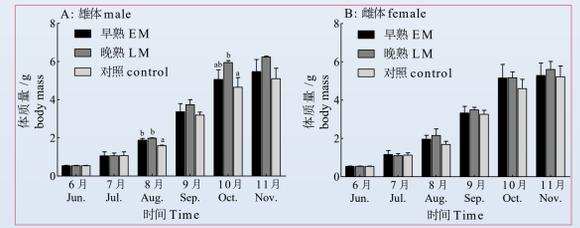


图2 二龄早熟和晚熟品系G5在扣蟹阶段的平均体质量

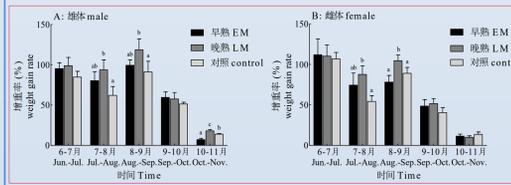


图3 二龄早熟和晚熟品系选育G5在扣蟹阶段的增重率（WGR）

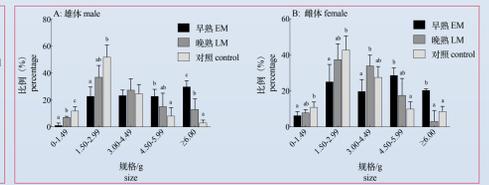


图4 二龄早熟和晚熟品系选育G5在扣蟹阶段的规格分布

## B. 成蟹阶段的养殖性能和性腺发育

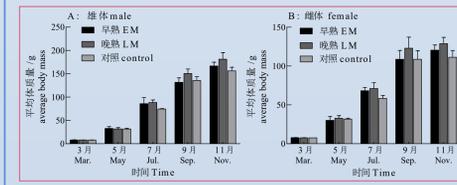


图5 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的平均体质量

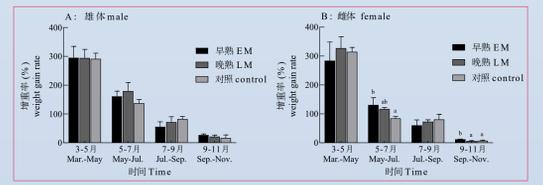


图6 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的增重率（WGR）

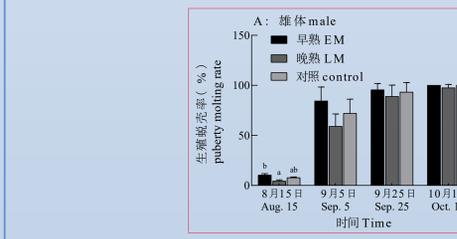


图7 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的生殖蜕壳率

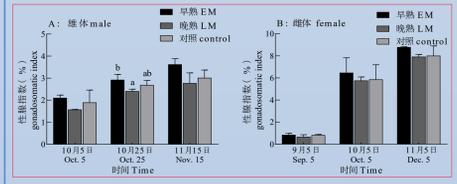


图8 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的性腺指数（GSI）

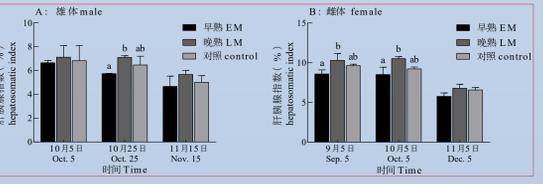


图9 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的肝胰腺指数（HSI）

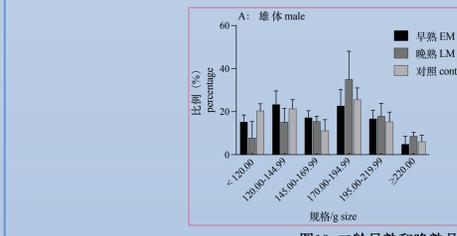


图10 二龄早熟和晚熟品系G5在成蟹阶段的规格分布

## 小结

经过5代选育后，中华绒螯蟹两选育群体扣蟹和成蟹的生长性能优于对照组，以性腺发育和生长为选育目标，其选育效果依然有一定程度的提高，性腺发育的速度也得到有效控制，因此其应用前景和市场广阔，为新品种的申报和后续的大规模推广提供重要的理论依据。

## 参考文献

- 王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59-84.
- RACOTTA I S, PALACIOS E, IBARRA A M. Shrimp larval quality in relation to broodstock condition[J]. *Aquaculture*, 2003, 227 (1/2/3/4): 107-130.
- 邓杰, 夏爱军, 潘建林, 等. 中华绒螯蟹“长江1号”的选育[J]. *水产养殖*, 2013, 34(4): 43-47.
- 成永旭, 吴旭干, 何杰, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系选育进展[J]. *科学养鱼*, 2016(5): 15-17.
- 成永旭, 王武, 李应森. 河蟹的人工繁殖和育苗技术[J]. *水产科技情报*, 2007, 34(2): 73-75.
- SUI L Y, ZHANG F M, WANG X M, et al. Genetic diversity and population structure of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in its native range[J]. *Marine Biology*, 2009, 156(8): 1573-1583.
- 周刚, 周军. 我国河蟹产业现状及可持续发展对策[J]. *中国水产*, 2011(2): 11-12.
- 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]. *海洋与湖泊*, 2015, 46(4): 808-818.
- Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)[J]. *Aquaculture*, 2005, 246(1-4): 125-132.
- He Y Y, WANG Q Y, TAN L Y, et al. Estimates of Heritability and Genetic Correlations for Growth Traits in Chinese Shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2011, 12(4): 613-616.
- 邓燕飞, 徐宇, 许志强, 等. 中华绒螯蟹遗传育种进展[J]. *水产养殖*, 2017, 38(6): 39-42.
- 姜晓东, 吴旭干, 何杰, 等. 选育选育对野生和养殖中华绒螯蟹形态学特征的影响[J]. *水产学报*, 2018, 42(8): 1285-1298.

## 致谢

本研究由现代农业产业技术体系专项资金项目（CARS-48）；上海市高水平地方高校建设科研项目（A1-2801-18-1003）；上海市科委工程技术中心能力提升项目（16DZ2281200）联合资助。

## 结果