

文章编号: 1674-5566(2020)02-00226-08

DOI:10.12024/jsou.20180602350

## 长江和闽江水系野生中华绒螯蟹生殖性能及其胚胎生化组成的比较

孙秋凤<sup>1,2</sup>, 姜晓东<sup>1</sup>, 徐建峰<sup>2</sup>, 李清清<sup>1</sup>, 成永旭<sup>1,3,4</sup>, 吴旭干<sup>1,3,4</sup>

(1. 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; 2. 福建连江县水产技术推广站, 福建 连江 350500; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种上海市协同创新中心, 上海 201306; 4. 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:** 系统比较了长江和闽江水系野生河蟹(以下分别简称长江组和闽江组)的生殖性能、胚胎色泽及其生化组成, 结果显示:(1) 长江和闽江水系野生河蟹的抱卵量、生殖力、生殖指数、单卵湿质量和干质量均无显著差异( $P > 0.05$ ), 但长江组亲本所产胚胎的卵径显著高于闽江组( $P < 0.05$ ); (2) 两组冻干胚胎的亮度( $L^*$ )、红度( $a^*$ )、黄度( $b^*$ )和色差( $dE^*$ )值均无显著性差异( $P > 0.05$ ), 长江组和闽江组胚胎中的总类胡萝卜素湿质量含量分别为 0.44 和 0.47 mg/g, 两者也无显著差异; (3) 两组胚胎中的水分、粗蛋白和粗脂肪接近( $P > 0.05$ ), 两者胚胎中 C16:0、C18:0、C16:1n7、C18:1n9、C18:1n7、C18:2n6、C20:4n6、C20:5n3 和 C22:6n3 为主要脂肪酸种类, 含量均在 4% 以上, 其中长江组胚胎中的 C18:2n6 百分比含量显著高于闽江组。综上, 闽江水系野生河蟹的生殖性能及其胚胎中的生化组成与长江水系野生河蟹接近, 需要进一步研究闽江水系河蟹的养殖性能, 为闽江水系河蟹种质资源的开发利用提供基础资料。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 野生亲本; 闽江群体; 繁殖性能; 生化组成

**中图分类号:** S 966.16 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 简称河蟹, 是我国重要的经济蟹类, 年养殖产量大约 80 万 t 左右<sup>[1]</sup>。河蟹自然种群曾经广泛分布于我国沿海各大水系<sup>[2-5]</sup>, 由于 20 世纪 60 年代以来的过渡捕捞、水利工程阻挡其洄游通道、栖息地丧失和环境污染等原因导致野生资源急剧下降<sup>[6]</sup>, 因此河蟹养殖业在我国迅速发展<sup>[7-9]</sup>。通常认为长江水系河蟹个体大、生长快, 因此长江水系河蟹成为我国河蟹养殖最重要的养殖群体<sup>[6,9]</sup>。闽江水系河蟹是我国重要的河蟹野生种质资源<sup>[10]</sup>, 先前的生产性养殖经验表明, 闽江水系河蟹具有一定的养殖价值, 其成蟹个体较大<sup>[11]</sup>。迄今为止, 有关闽江水系河蟹种质资源评价的研究极少, 仅见少量有关其种群遗传的报道<sup>[10,12]</sup>。

长江和闽江水系中华绒螯蟹(以下简称河

蟹)是我国重要的中华绒螯蟹地方种群, 系统评价其繁殖和养殖性能有利于其资源保护、种质资源评价和开发利用。生殖性能和养殖性能是河蟹种质资源评价的重要指标, 这些指标对于评价其潜在的增养殖价值至关重要<sup>[13-16]</sup>。河蟹生殖性能主要包括抱卵量、生殖力和亲本成活率等指标, 是评价亲本质量的重要参数<sup>[17-18]</sup>。甲壳动物胚胎的生化组成可能与其孵化率及初孵幼体质量密切相关<sup>[19-21]</sup>。脂肪酸和类胡萝卜素是甲壳动物胚胎中重要的两类营养物质<sup>[22-24]</sup>, 在胚胎发育、色泽形成和抗氧化能力等方面起着极其重要的作用<sup>[25-26]</sup>。因此, 胚胎中脂肪酸组成、色泽和类胡萝卜素是评价甲壳动物胚胎质量的重要指标。

鉴于此, 本研究初步比较了长江水系和闽江

收稿日期: 2018-06-28 修回日期: 2019-02-09

基金项目: 农业部现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-48); 上海市教委曙光计划项目(17SG46); 上海市科委工程技术中心能力提升项目(16DZ2281200); 福建省连江县科技计划项目(2017KG06); 深圳市澳华农牧有限公司横向项目(D-8006-16-0188)

作者简介: 孙秋凤(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产养殖。E-mail:2944377156@qq.com

通信作者: 吴旭干, E-mail:xgwu@shou.edu.cn

水系野生河蟹的繁殖性能、胚胎质量、胚胎色泽及其生化组成,旨在为闽江水系河蟹的繁殖生物学研究和种质资源开发利用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 亲本蟹的来源和暂养

长江和闽江野生群体河蟹野生亲本于 2016 年 11 月中下旬分别采集于长江干流的江苏镇江江段(119.27°E, 32.11°N)和福建连江县丹阳镇附近(119.08°E, 26.08°N)。每个群体分别随机挑选肢体健全、体无损伤、活力较好、体质量接近的雌蟹 40 只,雄蟹 20 只用于实验,雌体体质量均在 100~120 g 之间,雄体体质量在 130~170 g 之间。两群体的亲本活体运输到上海海洋大学崇明科研基地,暂养于室内循环水系统中,暂养水槽为双层平底的 PE 圆桶(Φ108 cm × H120 cm),每个水槽中放入 15 只左右雌蟹或 10 只左右雄蟹,暂养期间 24 h 充气,每天下午 5:00 投喂适量的配合饲料。

### 1.2 亲本交配

交配实验在上海海洋大学崇明基地的室内海水循环水系统中进行,长江和闽江野生组各用 3 个双层 PE 桶(直径 × 高 = 108 cm × 120 cm)进行交配实验,每只桶中分别放入 6 只雌蟹和 3 只雄蟹进行交配(雌雄比为 2:1)。桶中装有 70 cm 深的半咸水(盐度为 17 左右),桶底铺 10 cm 厚的细沙以供河蟹产卵,同时放入半圆形的 PVC 管(直径为 15 cm)供河蟹遮蔽用。每天记录每个桶里河蟹的抱卵和投喂配合饲料情况,交配两周后剔除雄蟹以防影响雌蟹的产卵。亲本雌蟹抱卵一周后,将抱卵蟹从交配桶中取出,擦干其体表水分并取下全部卵块,剔除携卵附肢后分别对卵块和去卵后的雌蟹进行称重,所有卵块保存于 -80 °C 冰箱用于后续实验。

### 1.3 亲本生殖性能测定

亲本蟹产卵一周后,从长江组和闽江组中各取 6 只抱卵蟹(每个养殖桶内取两只抱卵蟹)用于生殖性能相关参数测定。首先用镊子小心取下腹部所有卵块,剔除携卵附肢,然后从每只抱卵蟹的卵块中取 10 mg 左右的胚胎,用百万分之一的电子天平(型号:Sartorius CPA225D,精确度 0.001 mg,德国 Sartorius 公司)精确称重后进行计数,据此计算出单个卵的湿质量,每只抱卵蟹重

复测定 3 次。根据单卵湿质量、卵块湿质量和抱卵蟹净体质量(去卵后蟹质量),分别计算出抱卵量(egg production)、生殖力(fecundity)和生殖指数(reproductive effort),具体参照吴旭干等<sup>[13]</sup>的方法。

### 1.4 卵径、单卵湿质量和干质量测定

卵径测定:从长江组和闽江组各取 6 只胚胎发育处于囊胚期的抱卵蟹,从每只抱卵蟹的卵块中随机取一部分胚胎在显微镜下用目测微尺测量卵径(精确到 10 μm),每只抱卵蟹重复测定 50 个卵。

单卵湿质量和干质量测定:单卵湿质量的测定参照 1.3 节中的方法;将称重和计数后的湿卵置于 70 °C 烘箱中烘干至恒重,在干燥皿中冷却至室温后精确称重,根据此计算出单卵干质量,每只抱卵蟹重复测定 3 次。湿卵称重前需要用碳酸氢氨等渗液冲洗,以去除胚胎表面海水,防止海水烘干后的残留盐分导致其干质量增加,具体方法参考文献<sup>[27]</sup>。

### 1.5 胚胎色泽和总类胡萝卜素含量的测定

胚胎冷冻干燥后用于色泽和总类胡萝卜素测定。色泽测定前粉碎过 60 目筛,然后将粉碎后的胚胎样品平铺于直径为 50 mm 的小培养皿中,用表面色度计(型号:Lovibond-RT200,英国罗维朋 Tintometer)测定冻干胚胎的亮度( $L^*$ 值)、红/绿(+/-,  $a^*$ 值)、黄/蓝(+/-,  $b^*$ 值)和色差( $dE^*$ 值),每只抱卵蟹随机测量 6 个点取平均值作为该个体的色泽参数。冻干卵块测完色泽指标后,-40 °C 冰箱中保存,用于后续总类胡萝卜素含量和其他生化成分测定。

冻干胚胎中的总类胡萝卜素的提取和测定参考 LONG 等<sup>[28]</sup>方法,取 0.2~0.3 g 冻干胚胎加入 80% 丙酮水溶液(丙酮/水体积比为 4:1)充分溶解样品,超声波震荡 5 min 后,离心取出上清液,然后用 100% 丙酮重复提取 4~5 次,直至提取液无色(基本不含有类胡萝卜素),合并上清液后用丙酮定容至 15 mL 待测定。采用分光光度计(型号:T6 新世纪,北京普析通用仪器有限责任公司)测定定容后提取液的 OD 值,测定波长为 474 nm。采用纯化虾青素(纯度:97%,德国 Dr. Ehrenstorfer 公司)作为标准品制备标准曲线,根据标准曲线计算样品中总类胡萝卜素含量。

### 1.6 胚胎中常规生化和脂肪酸的测定

取 0.2 g 湿胚胎 70 °C 烘干至恒重测定胚胎中的水分含量;采用凯氏定氮法测定冻干样品中的粗蛋白含量<sup>[29]</sup>。总脂和脂肪酸组成测定参考吴旭干等<sup>[30]</sup>的方法,用氯仿/甲醇[V(氯仿)/V(甲醇)=2:1]法抽提总脂,三氟化硼-甲醇法对总脂进行甲脂化,采用正己烷提取甲酯化后的脂肪酸甲酯,使用 Agilent 7890B-5977A 气质连用仪进行脂肪酸分析,色谱柱为 Omegawax-320 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.2 μm;美国 Supelco 公司生产),进样口温度为 240 °C,分流比 30:1,采用 Supelco-37 脂肪酸甲酯混合标准品(货号:47885-U,美国 Supelco 公司生产)作为脂肪酸定性的依据,采用面积百分比法对脂肪酸组成进行相对定量。

### 1.7 数据分析

所有数据均用平均值±标准差表示,所有分析均采用 SPSS 19.0 进行统计分析,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。

采用独立样本 T 检验分析两组间各指标间的差异性。

## 2 结果

### 2.1 生殖性能和胚胎质量

长江野生组和闽江野生组雌体的抱卵量、生殖力和生殖指数见表 1。整体上闽江野生组的抱卵量、生殖力和生殖指数都略高于长江野生组,由于两组雌体生殖性能的组内差异均较大,故统计学上无显著性差异( $P < 0.05$ )。两组雌体的平均抱卵量和生殖力分别为 32~34 万/只雌体和 2 866~3 031 个卵/克体质量。就相关性而言,两群体的抱卵量均与雌体壳宽呈显著正相关性( $P < 0.05$ ),但两者的生殖力和生殖指数均与壳宽无显著相关性( $P > 0.05$ )。两组雌体所产的胚胎卵径、单卵湿质量和单卵干质量见表 2。长江野生组的卵径显著高于闽江野生组( $P < 0.05$ ),闽江野生组的单卵湿质量和干质量均略高于长江野生组,但两组间均无显性差异( $P > 0.05$ )。

表 1 长江和闽江水系野生中华绒螯蟹生殖性能的比较

Tab. 1 The comparison of reproductive performance of the wild *E. sinensis* broodstock between Yangtze and Minjiang populations

项目 Items	长江野生群体 Yangtze population	闽江野生群体 Minjiang population
抱卵量 Egg production(万/只)	32.41 ± 7.87	34.70 ± 9.13
生殖力 Fecundity(个卵/克体质量)	2866.16 ± 652.44	3031.01 ± 859.19
生殖指数 Reproductive effort/%	9.48 ± 1.38	10.17 ± 2.62

表 2 长江水系和闽江水系野生中华绒螯蟹雌体卵径和单卵质量的比较

Tab. 2 The comparison of egg diameter, egg wet weight and egg dry weight produced by the wild *E. sinensis*

项目 Items	长江野生群体 Yangtze population	闽江野生群体 Minjiang population
卵径 Egg diameter/μm	338.51 ± 16.27 <sup>a</sup>	324.90 ± 15.22 <sup>b</sup>
单卵湿质量 Egg wet weight/μg	33.86 ± 3.93	35.52 ± 6.76
单卵干质量 Egg dry weight/μg	11.66 ± 1.27	12.19 ± 2.36

注:同行数据含有不相同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different( $P < 0.05$ )

### 2.2 胚胎色泽和总类胡萝卜素含量

两组冻干胚胎的色泽参数和总类胡萝卜素含量见表 3。整体上,闽江野生组的  $L^*$ (亮度)、 $a^*$ (红度)、 $b^*$ (黄度)、 $dE^*$ 值和总类胡萝卜素含量均高于长江野生组,但由于组内不同个体间差异较大,因此两组间色泽指标和总类胡萝卜素含

量均无显著性差异。长江野生组和闽江野生组的  $L^*$ 值分别为 50 和 54、 $a^*$ 值分别为 27 和 32、 $b^*$ 值分别为 46 和 48、 $dE^*$ 值分别为 74 和 75,两组胚胎中的总类胡萝卜素含量分别为 0.44 和 0.47 mg/g。

表3 长江水系和闽江水系野生中华绒螯蟹雌体胚胎色泽和总类胡萝卜素含量的比较  
 Tab.3 The comparison of color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $dE^*$ ) and total carotenoids in the egg produced by the wild *E. sinensis* broodstock between Yangtze and Minjiang populations

项目 Items	长江野生群体 Yangtze population	闽江野生群体 Minjiang population
$L^*$	50.51 ± 5.04	54.29 ± 5.02
$a^*$	27.28 ± 4.97	32.38 ± 6.23
$b^*$	46.18 ± 4.14	48.83 ± 8.34
$dE^*$	74.75 ± 5.59	75.98 ± 8.87
总类胡萝卜素 Total carotenoids/ (mg/g wet weight)	0.44 ± 0.13	0.47 ± 0.16

### 2.3 胚胎常规生化成分和脂肪酸组成

长江和闽江野生组胚胎中的常规生化和脂肪酸组成见表4。就常规生化成分而言,两组胚胎中的水分、粗蛋白和总脂含量并无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),胚胎中的水分含量为65%左右,粗蛋白和粗脂肪分别为18%和10%左右。就饱和脂肪酸组成(SFA)而言,两组胚胎中的总饱和脂肪酸( $\Sigma$ SFA)百分含量均为20%左右,均以C16:0和C18:0为主;就单不饱和脂肪酸(MUFA)而

言,两组胚胎中的 $\Sigma$ MUFA百分含量均为42%左右,其中C18:1n9占 $\Sigma$ MUFA的68%左右;就多不饱和脂肪酸组成(PUFA)而言,C18:2n6、C20:5n3和C22:6n3是3种含量最高PUFA,占其总量的80%左右;长江野生组的C18:2n6含量显著高于闽江野生组( $P < 0.05$ ),两组胚胎中的EPA、DHA、 $\Sigma$ PUFA和 $\Sigma$ n-3PUFA/ $\Sigma$ n-6PUFA值均无显著性差异( $P > 0.05$ ),两组卵中总高度不饱和脂肪酸( $\Sigma$ HUFA)含量为19%左右。

表4 长江野生和闽江野生中华绒螯蟹雌体卵常规生化成分和脂肪酸的比较  
 Tab.4 The comparison of proximate composition and fatty acid composition in the eggs produced by Yangtze and Minjiang wild *E. sinensis* broodstock

项目 Items	长江野生群体 Yangtze population	闽江野生群体 Minjiang population
水分 Moisture/(%湿质量)	65.96 ± 3.97	65.28 ± 4.70
粗蛋白 Crude protein/(%湿质量)	18.19 ± 1.10	18.99 ± 2.42
粗脂肪 Crude lipid/(%湿质量)	9.95 ± 1.24	10.08 ± 1.54
C14:0	1.02 ± 0.10	0.98 ± 0.17
C15:0	0.46 ± 0.07	0.43 ± 0.07
C16:0	12.94 ± 1.45	13.68 ± 1.77
C17:0	0.91 ± 0.07	0.90 ± 0.05
C18:0	5.12 ± 0.91	5.23 ± 1.13
$\Sigma$ SFA	20.46 ± 1.86	21.23 ± 2.15
C16:1n7	6.28 ± 1.20	6.17 ± 0.84
C18:1n9	28.12 ± 1.36	29.52 ± 1.37
C18:1n7	5.05 ± 2.25	5.02 ± 0.62
C20:1n9	1.67 ± 0.47	1.89 ± 0.75
$\Sigma$ MUFA	41.11 ± 2.46	42.61 ± 1.84
C18:2n6	14.72 ± 1.78 <sup>a</sup>	12.02 ± 1.29 <sup>b</sup>
C18:3n3	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.03
C20:4n6(ARA)	4.68 ± 0.91	4.91 ± 0.33
C20:5n3(EPA)	7.33 ± 0.35	7.13 ± 0.64
C22:5n3	1.58 ± 0.11	1.48 ± 0.38
C22:6n3(DHA)	5.76 ± 1.60	5.87 ± 1.78
$\Sigma$ PUFA	34.20 ± 2.75	31.54 ± 0.84
$\Sigma$ n-3PUFA	14.80 ± 1.76	14.62 ± 1.78
$\Sigma$ n-6PUFA	19.40 ± 2.53	16.93 ± 1.35
n-3/n-6	0.78 ± 0.18	0.87 ± 0.17
$\Sigma$ HUFA	19.48 ± 1.86	19.52 ± 1.69

注:  $\Sigma$ SFA为总饱和脂肪酸;  $\Sigma$ MUFA为总单不饱和脂肪酸;  $\Sigma$ PUFA为总多不饱和脂肪酸;  $\Sigma$ HUFA为总高度不饱和脂肪酸

Notes:  $\Sigma$ SFA means total saturated fatty acids;  $\Sigma$ MUFA means total mono-unsaturated fatty acid;  $\Sigma$ PUFA means total poly-unsaturated fatty acid;  $\Sigma$ HUFA means total highly-unsaturated fatty acid

### 3 讨论

#### 3.1 生殖性能和胚胎质量的比较

河蟹生殖性能通常受营养条件、性腺发育和生长环境等因素的影响<sup>[13,31-32]</sup>。先前研究表明,河蟹雌体亲本投喂优质饲料进行强化培育后,其卵巢指数、产卵量和生殖力显著高于没有强化培育的雌体<sup>[13]</sup>,河蟹亲本饲料中的  $V_c$ 、 $V_E$  磷脂和高度不饱和脂肪酸的含量及组成均可能会影响其卵巢发育、生殖性能和初孵幼体质量<sup>[17,33-35]</sup>。长江和闽江水系野生河蟹的饵料组成较为复杂,主要包括水草、有机碎屑和底栖贝类等<sup>[6]</sup>。本研究首次比较了长江野生河蟹和闽江野生河蟹亲本对其生殖性能和胚胎质量的影响,结果表明闽江野生河蟹亲本的抱卵量、生殖力和生殖指数都略高于长江野生河蟹亲本,这可能是由于闽江水系和长江水系野生群体河蟹的遗传因素、饵料条件和生长环境等综合因素造成的。今后需要进一步比较闽江和长江水系野生河蟹子一代在相同条件下养殖后的生殖性能,这样可以消除饵料条件和生长环境对两种群河蟹生殖性能的影响。

#### 3.2 胚胎色泽和生化成分的比较

先前的研究表明,甲壳动物的色泽与其类胡萝卜素组成和含量密切相关<sup>[28,36]</sup>,但甲壳动物自身不能从头合成类胡萝卜素,主要依赖从食物中获取外源性类胡萝卜素<sup>[37-38]</sup>。本研究结果表明闽江野生河蟹胚胎的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $dE^*$  值和总类胡萝卜素含量均略高于长江野生河蟹,这可能是由于闽江水系野生河蟹所摄食饵料中含有更高的类胡萝卜素含量。由于闽江所处位置比长江流域的纬度更低,故其年平均水温相对较高,较高的水温可能有利于水生植物合成类胡萝卜素,进而通过食物链传递给河蟹。先前的研究表明,在饲料中添加一定量的类胡萝卜素可以提高虾蟹类的存活率、生长、体色和生殖性能等<sup>[39-41]</sup>。

河蟹胚胎中的常规生化成分不仅与胚胎质量有关,且在一定程度上决定着初孵幼体的质量<sup>[13,17,32,42]</sup>。本研究结果显示,长江和闽江野生河蟹胚胎中的水分、粗蛋白和粗脂肪含量均无显著性差异,这暗示河蟹胚胎中的常规生化组成较稳定,可能受生长环境和饵料条件的影响较小<sup>[13,17,42]</sup>。这与先前对日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 和秀丽白虾 (*Exopalaemon modestus*) 的

研究结果基本类似<sup>[43-44]</sup>。此外,长江野生河蟹胚胎中的 C18:2n6 含量显著高于闽江野生河蟹,这暗示长江野生河蟹饵料中可能含有更多的 C18:2n6。整体上,两水系野生河蟹胚胎中 DHA/EPA 和 n3/n6 值均较低、C18:2n6 含量较高(12% ~ 14%),这符合淡水甲壳动物胚胎脂肪酸组成的一般特性<sup>[13,32,44]</sup>。

### 4 结论

长江和闽江水系野生中华绒螯蟹生殖性能、胚胎质量、常规生化成分和脂肪酸组成接近,长江水系野生河蟹的卵径和胚胎中的 C18:2n6 均显著高于闽江野生河蟹,有关闽江水系野生河蟹的幼体质量、养殖性能和营养品质等有待进一步研究。本研究结果可为闽江水系河蟹的人工繁殖、资源开发和良种培育提供一定的科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2017 年中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 21-24.  
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture. China fisheries statistical yearbook in 2017 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 21-24.
- [2] 许加武, 任明荣, 李思发. 长江、辽河、瓯江中华绒螯蟹种群的形态判别[J]. 水产学报, 1997, 21(3): 269-274.  
XU J W, REN M R, LI S F. Morphological identification of population of *Eriocheir sinensis* from Changjiang, Liaohe and Oujiang Rivers[J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(3): 269-274.
- [3] 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.
- [4] 刘青, 刘皓, 吴旭干, 等. 长江、黄河和辽河水系中华绒螯蟹野生和养殖群体遗传变异的微卫星分析[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 958-968.  
LIU Q, LIU H, WU X G, et al. Genetic variation of wild and cultured populations of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from the Yangtze, Huanghe, and Liaohe River basins using microsatellite marker[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 958-968.
- [5] 卢义, 吴旭干, 何杰, 等. 长江、黄河、辽河水系中华绒螯蟹野生扣蟹的形态学及生化组成[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 382-395.  
LU Y, WU X G, HE J, et al. Comparative studies of the morphology and biochemical composition of wild juvenile Chinese mitten crabs from the Yangtze River, Yellow River and Liaohe River systems[J]. Journal of Fishery Sciences of

- China, 2016, 23(2): 382-395.
- [6] 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.  
WANG W, WANG C H, MA X Z. Ecological culture of Chinese mitten crabs [M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [7] CHENG Y X, WU X G, YANG X Z, et al. Current trends in hatchery techniques and stock enhancement for Chinese mitten crab, *Eriocheir japonica sinensis* [J]. Reviews in Fisheries Science, 2008, 16(1/3): 377-384.
- [8] SUI L Y, WILLE M, CHENG Y X, et al. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 2011, 315(1/2): 16-19.
- [9] 赵恒亮, 吴旭干, 龙晓文, 等. 长江、黄河和辽河种群中华绒螯蟹雄体成蟹可食组织营养组成的比较[J]. 中国水产科学, 2016, 23(5): 1117-1129.  
ZHAO H L, WU X G, LONG X W, et al. Nutritional composition of cultured adult male *Eriocheir sinensis* from Yangtze River, Yellow River and Liaohe River [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(5): 1117-1129.
- [10] XU J W, CHU K H. Genome scan of the mitten crab *Eriocheir sensu stricto* in East Asia: population differentiation, hybridization and adaptive speciation [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2012, 64(1): 118-129.
- [11] 李周明. 江河增殖毛蟹技术[J]. 福建农业, 2002(1): 21.  
LI Z M. Stock enhancement for Chinese mitten crab in rivers [J]. Fujian Agriculture, 2002(1): 21.
- [12] 周陆, 王成辉, 成起莹, 等. 闽江水系绒螯蟹的表型性状差异与分子遗传差异的比较与分析[J]. 动物学研究, 2012, 33(3): 314-318.  
ZHOU L, WANG C H, CHENG Q X, et al. Comparison and analysis between PST and FST of mitten crabs in the Minjiang River [J]. Zoological Research, 2012, 33(3): 314-318.
- [13] 吴旭干, 成永旭, 常国亮, 等. 亲本强化培育对中华绒螯蟹雌体生殖性能和 Z1 幼体质量的影响 [J]. 水产学报, 2007, 31(6): 757-764.  
WU X G, CHENG Y X, CHANG G L, et al. Effect of enriching broodstock on reproductive performance and Z1 quality of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 757-764.
- [14] 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.
- [15] 赵恒亮. 池塘养殖条件下中华绒螯蟹长江、黄河和辽河 3 个地理种群成蟹形态学、养殖性能和营养品质的比较研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.  
ZHAO H L. Comparative studies on morphology, culture performance and biochemical composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult *Eriocheir sinensis* reared in ponds [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [16] 赵恒亮, 吴旭干, 姜晓东, 等. 池塘养殖条件下长江、黄河和辽河种群中华绒螯蟹雌体卵巢发育和营养组成的比较研究 [J]. 水产学报, 2017, 41(1): 109-122.  
ZHAO H L, WU X G, JIANG X D, et al. Comparative study on gonadal development and nutritional composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult female *Eriocheir sinensis* cultured in earth ponds [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(1): 109-122.
- [17] 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.
- [18] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) females fed an optimized formulated diet and the razor clam *Sinonovacula constricta* [J]. Aquaculture Research, 2009, 40(12): 1335-1349.
- [19] WEN X B, CHEN L Q, ZHOU Z L, et al. Reproduction response of Chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) fed different sources of dietary lipid [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2002, 131(3): 675-681.
- [20] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab, *Portunus trituberculatus* [J]. Aquaculture, 2010, 303(1/4): 94-100.
- [21] WU X G, CHENG Y X, ZENG C S, et al. Reproductive performance and offspring quality of wild-caught and pond-reared swimming crab *Portunus trituberculatus* broodstock [J]. Aquaculture, 2010, 301(1/4): 78-84.
- [22] WOUTERS R, LAVENS P, NIETO J, et al. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development [J]. Aquaculture, 2001, 202(1/2): 1-21.
- [23] TORRES P, PENHA-LOPES G, NARCISO L, et al. Fatty acids dynamics during embryonic development in genus *Uca* (Brachyura: Ocypodidae), from the mangroves of Inhaca Island, Mozambique [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 80(3): 307-313.
- [24] ROSA R, CALADO R, ANDRADE A M, et al. Changes in amino acids and lipids during embryogenesis of European lobster, *Homarus gammarus* (Crustacea: Decapoda) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2005, 140(2): 241-249.
- [25] BARIM-OZ O, SAHIN H. The influence of dietary antioxidant on

- ovarian eggs and levels of vitamin E, C, A, astaxanthin,  $\beta$ -carotene and oxidative stress in tissues of *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz) during reproduction [J]. Cellular and Molecular Biology, 2016, 62(14): 1-10.
- [26] WALKER A, ANDO S, SMITH G D, et al. The utilization of lipovitellin during blue crab (*Callinectes sapidus*) embryogenesis[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2006, 143(2): 201-208.
- [27] WU X G, ZENG C S, SOUTHGATE P C. Effects of starvation on survival, biomass, and lipid composition of newly hatched larvae of the blue swimmer crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) [J]. Aquaculture International, 2017, 25(1): 447-461.
- [28] LONG X W, WU X G, ZHAO L, et al. Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidation capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 2017, 473: 545-553.
- [29] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists [M]. 16th ed. Arlington: Association of Analytical Communities International, 1995.
- [30] 吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 170-182.
- WU X G, WANG Q, LOU B, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 170-182.
- [31] 成永旭, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹卵巢快速发育期内脂类积累以及对抱卵的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(2): 113-118.
- CHENG Y X, DU N S, LAI W. The lipid accumulations during the stages of the ovarian fast maturation and their effect on the spawning of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(2): 113-118.
- [32] 刘丽, 姜晓东, 吴旭干, 等. 育肥饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(4): 501-510.
- LIU L, JIANG X D, WU X G, et al. Effects of dietary fish oil replacement by vegetable oils on reproductive Performance of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(4): 501-510.
- [33] 艾春香, 陈立侨, 温小波, 等. 维生素 E、C 和 HUFA 交互作用对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(6): 533-541.
- AI C X, CHEN L Q, WEN X B, et al. Effect of vitamin E and vitamin C, highly unsaturated fatty acids, in broodstock diet on reproduction performance of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(6): 533-541.
- [34] 艾春香, 陈立侨, 周忠良, 等. 维生素 C、E 对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. 水产学报, 2003, 27(1): 62-68.
- AI C X, CHEN L Q, ZHOU Z L, et al. Effect of ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol in broodstock diet on reproductive performance of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(1): 62-68.
- [35] SUI L Y, WU X G, WILLE M, et al. Effect of dietary soybean lecithin on reproductive performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) Broodstock [J]. Aquaculture International, 2009, 17(1): 45-56.
- [36] WADE N M, ANDERSON M, SELLARS M J, et al. Mechanisms of colour adaptation in the prawn *Penaeus monodon* [J]. Journal of Experimental Biology, 2012, 215(2): 343-350.
- [37] YAMADA S, TANAKA Y, SAMESHIMA M, et al. Pigmentation of prawn (*Penaeus japonicus*) with carotenoids: I. Effect of dietary astaxanthin,  $\beta$ -carotene and canthaxanthin on pigmentation [J]. Aquaculture, 1990, 87(3/4): 323-330.
- [38] DALL W. Carotenoids versus retinoids (Vitamin A) as essential growth factors in penaeid prawns (*Penaeus semisulcatus*) [J]. Marine Biology, 1995, 124(2): 209-213.
- [39] CHIEN Y H, SHIAU W C. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* Bate [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2005, 318(2): 201-211.
- [40] PAIBULKICHAKUL C, PIYATIRATTIVORAKUL S, SORGELOOS P, et al. Improved maturation of pond-reared, black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) using fish oil and astaxanthin feed supplements [J]. Aquaculture, 2008, 282(1/4): 83-89.
- [41] NIU J, WEN H, LI C H, et al. Comparison effect of dietary astaxanthin and  $\beta$ -carotene in the presence and absence of cholesterol supplementation on growth performance, antioxidant capacity and gene expression of *Penaeus monodon* under normoxia and hypoxia condition [J]. Aquaculture, 2014, 422-423: 8-17.
- [42] 吴旭干, 于智勇, 成永旭, 等. 4 组生物饵料对中华绒螯蟹 Z4 到大眼幼体生长发育和脂肪酸组成的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 911-918.
- WU X G, YU Z Y, CHENG Y X, et al. Effect of four groups of live feeds on larval development, growth (from Z4 to Megalopa) and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(6): 911-918.
- [43] 张彤晴, 林海, 葛家春, 等. 日本沼虾和秀丽白虾野生群体肌肉营养品质分析[J]. 饲料研究, 2008(1): 59-63.
- ZHANG T Q, LIN H, GE J C, et al. Analysis of muscle nutritional quality of wild populations of *Macrobrachium nipponense* and *Exopalaemon modestus* [J]. Feed Research, 2008(1): 59-63.

- [44] 倪娟, 赵晓勤, 陈立侨, 等. 日本沼虾 4 种群肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 212-215.  
NI J, ZHAO X Q, CHEN L Q, et al. A comparison of nutritional quality in muscle of *Macrobrachium nipponensis* from four populations [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(3): 212-215.

## Comparison of the reproductive performance and their biochemical composition of the wild female *E. sinensis* broodstock between the Yangtze and Minjiang populations

SUN Qiufeng<sup>1,2</sup>, JIANG Xiaodong<sup>1</sup>, XU Jianfeng<sup>2</sup>, LI Qingqing<sup>1</sup>, CHENG Yongxu<sup>1,3,4</sup>, WU Xugan<sup>1,3,4</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Fujian Lianjiang Fisheries Extension Station, Fujian Lianjiang 350500, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This study was designed to compare the reproductive performance, embryonic color and biochemical composition of the wild female *E. sinensis* broodstock between the Yangtze and Minjiang populations. The results showed that: (1) There was no significant differences on egg production, fecundity, reproductive effort, individual egg wet weight and dry weight produced by wild female crabs between the Yangtze river and Minjiang river populations ( $P > 0.05$ ), but wild Yangtze river population had the significantly higher egg diameter than the Minjiang river population ( $P < 0.05$ ); (2) There was no significant difference in the parameters of lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) and color differences ( $dE^*$ ) ( $P > 0.05$ ); the total carotenoid contents in the eggs were 0.44 and 0.47 mg/g for Yangtze and Minjiang populations, respectively, and there was no significant difference between them; (3) The eggs had the close levels of moisture, crude protein and crude fat between two populations ( $P > 0.05$ ); C16:0, C18:0, C16:1n7, C18:1n9, C18:1n7, C18:2n6, C20:4n6, C20:5n3 and C22:6n3 are the major types of fatty acids in the embryo, and their percentage were more than 4% of total fatty acids. The wild Yangtze population had the significantly higher of C18:2n6 than the Minjiang population. In conclusion, wild Yangtze and Minjiang populations had the similar reproductive performance and biochemical composition in their eggs, and further researches should be focused on the evaluation of their culture performance and genetic diversity between the two populations.

**Key words:** Chinese mitten crab; wild broodstock; Minjiang river population; reproductive performance; biochemical composition