

文章编号: 1000-0615(2017)01-0109-14

DOI: 10.11964/jfc.20160110239

## 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

赵恒亮<sup>1,2</sup>, 吴旭干<sup>1</sup>, 姜晓东<sup>1,2</sup>, 龙晓文<sup>1,2</sup>,  
何杰<sup>1,2</sup>, 刘乃更<sup>3</sup>, 成永旭<sup>1,2\*</sup>

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学上海市教委水产动物遗传育种协同创新中心, 上海 201306;

3. 盘锦光合蟹业有限公司, 辽宁 盘锦 124200)

**摘要:** 为研究长江、黄河和辽河中华绒螯蟹养殖种群在相同养殖条件下的成蟹性腺发育和营养组成, 采用养殖实验和生化分析方法, 比较了池塘养殖条件下3种群雌体的性腺发育情况, 在此基础上比较了雌体的可食率、肥满度和可食组织中的营养组成, 结果显示: (1)3种群雌体性腺发育速度存在显著差异, 性腺发育顺序为辽河种群>黄河种群>长江种群, 但10月底辽河和黄河种群的卵巢指数无显著差异。(2)在体质量和卵巢指数接近的条件下, 3种群雌体膏蟹的肝胰腺指数、出肉率、总可食率和肥满度均无显著差异。(3)3种雌体卵巢、肝胰腺和肌肉中的常规生化成分含量接近, 仅长江种群雌体肌肉和肝胰腺中的灰分含量显著高于其他3种群, 其他指标均无显著差异。(4)3种群卵巢中脂肪酸组成接近, 但长江种群卵巢中C22:6n3(DHA)百分含量显著高于黄河种群; 3种群雌体肝胰腺和肌肉中的脂肪酸组成相近, 仅肝胰腺中的C20:1n9和C20:4n6含量存在显著差异。(5)长江种群雌体卵巢中的苯丙氨酸、酪氨酸、色氨酸、天冬氨酸和丝氨酸含量均显著高于辽河种群; 黄河种群雌体肌肉中大部分必需氨基酸(EAA)和非必需氨基酸(NEAA)含量均为最高, 故其总氨基酸(TAA)含量也显著高于其他两个种群。(6)3种群雌体卵巢和肌肉中均无限制性氨基酸, 长江种群雌体卵巢和黄河种群雌体肌肉中的平均必需氨基酸分(EAAS)分别最高; 整体上, 雌体卵巢中的平均EAAS高于肌肉组织。研究表明, 长江种群雌体卵巢发育速度最慢, 辽河种群相对较快, 3种群雌体可食组织中的常规营养成分和脂肪酸含量接近, 肌肉中的氨基酸含量存在较大差异, 但其卵巢和肌肉中均无限制性氨基酸。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 卵巢发育; 营养组成; 池塘养殖; 地理种群

**中图分类号:** S 966

**文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*, 以下简称河蟹)属甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda), 为我国特有的养殖经济蟹类, 2014年全国成蟹养殖总产量近80万t<sup>[1]</sup>。尽管我国绝大部分地区都有一定的河蟹养殖面积, 但主要养殖区域集中在辽

河、黄河和长江流域, 分别养殖辽河、黄河和长江种群河蟹, 其中长江流域的河蟹养殖规模最大, 产量通常占全国的80%以上<sup>[2-3]</sup>。先前有关不同地理种群河蟹养殖性能和性腺发育的研究主要集中在长江和辽河种群的比较<sup>[4-7]</sup>, 尚未见黄河种

收稿日期: 2016-01-18 修回日期: 2016-07-11

资助项目: 上海科技兴农推广项目(沪农科推字2015D1-7号); 科技部科技型中小企业技术创新项目(14C26213201214); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A409); 上海高校水产学高峰学科建设项目(2015-62-0908)

通信作者: 成永旭, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

群河蟹的相关报道, 这不利于河蟹种质资源评价和优异种质发掘利用。性腺、肝胰腺和肌肉为蟹类的主要可食部位, 性腺的发育情况直接影响着其上市时间和食用价值, 而可食率和肥满度是河蟹品质评价的重要指标<sup>[8-9]</sup>。

随着人民生活水平不断提高, 消费者越来越关注水产品的营养组成和风味, 因而水产品可食组织中的营养组成已经成为种质资源评价和遗传选育中的重要评价指标<sup>[10-13]</sup>。有研究表明, 不同种群或品系水生动物在相同/相似的养殖条件下养殖, 其营养组成也可能存在较大差异, 这为水生动物的品质改良和选育提供了思路<sup>[13-15]</sup>。长江、黄河和辽河种群河蟹是我国主要的养殖种群, 迄今为止尚未见相同养殖条件下其可食组织营养组成的比较研究。因此, 本实验首先比较了辽河、黄河和长江野生种群大眼幼体在池塘养殖条件下长到成蟹阶段的卵巢发育情况, 在此基础上测定和比较了体质量和卵巢指数接近雌体的可食率、肥满度和可食组织中常规生化组成、脂肪酸组成和氨基酸含量, 以期为不同地理种群河蟹种质资源评价利用和遗传育种提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 蟹种来源、放养和实验池塘

3种群野生大眼幼体于2013年5月底至6月初分别采自长江口(上海崇明附近, 121.40°E, 31.73°N)、黄河口(山东东营附近, 118.52°E, 37.61°N)和辽河口(辽宁盘锦, 122.70°E, 40.70°N), 由当地渔民采用鳗苗定置网捕捞而得。大眼幼体活体空运到上海海洋大学崇明基地进行扣蟹养殖。在上海海洋大学崇明基地选择12口条件相似的小型实验池塘(长×宽×深=7.8 m×7.8 m×0.7 m)进行扣蟹养殖, 扣蟹养殖管理方法参照何杰等<sup>[16]</sup>的方法; 2014年初选取12口面积相等的室外实验池塘(长×宽=10.4 m×7.6 m)进行成蟹实验, 池塘四周围设有60 cm高的防逃围网, 围网内侧顶部缝有35 cm高的光滑塑料防逃板防止实验蟹逃逸或混杂。2月中旬使用漂白粉对池塘进行消毒清塘, 两周后种植伊乐藻(*Elodea nuttallii*)供蟹隐蔽。3月初从3个种群中选取十足健全、活力充沛、体质量接近的扣蟹用于成蟹养殖实验, 3种群扣蟹平均体质量为长江7.13 g、

黄河7.02 g和辽河7.39 g。每口池塘放入扣蟹140只, 密度约为1.8只/m<sup>2</sup>, 雌雄各半, 每种群各重复4口池塘。

### 1.2 成蟹养殖管理

当3月底池塘日平均水温升至12°C以上时, 开始投喂人工配合饲料, 每日17:00左右投喂一次, 投喂量约占蟹重的0.5%~4.0%, 具体根据水温和摄食情况调整投喂量, 投喂后3~4 h检查食台上残饵情况, 实验期间依次投喂浙江欣欣饲料有限公司生产的沉性成蟹膨化饲料1#、2#和3#, 蛋白含量依次为41.3%、38.8%和37.3%, 粒径分别为2.0、2.5和3.5 mm。为调控池塘水质和控制野杂鱼数量, 在3月和5月别在每口池塘放养3条鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)鱼种(体质量约500 g)和3条鳊(*Siniperca chuatsi*)苗(体质量约3~5 g); 4月初在每口池塘投放9 kg螺蛳(*Bellamya quadrata*)作为补充饵料, 同时清除残饵和粪便, 净化水质。实验期间根据水温和伊乐藻生长情况, 逐步加深水位, 高温期水位控制在1.0~1.2 m, 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、溶解氧、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%~30%, 维持良好水质, 从而有利于河蟹成蟹的正常生长和发育, 实验期间pH为7.0~8.5, 氨氮小于0.4 mg/L, 亚硝酸盐小于0.05 mg/L, 这些水质指标均在河蟹养殖的适宜范围内。每日测定和记录各池塘的平均水温。

### 1.3 实验采样和活体解剖

8月底大部分池塘养殖雌体成蟹已完成生殖蜕壳, 开始启动卵巢发育<sup>[17]</sup>, 因此从8月底开始, 每月30日左右, 从每口实验池塘分别采集体质量接近的雌体3只, 进行活体解剖, 并比较3种群河蟹的卵巢发育情况。解剖前首先用干毛巾擦干河蟹体表水分, 再分别测定体质量、甲壳长、甲壳宽和体厚等, 然后解剖取出全部肝胰腺和性腺, 并用电子天平准确称重(精确到0.001 g), 最后分别计算肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI, %)=肝胰脏重/体质量×100和卵巢指数(gonadosomatic index, GSI, %)=卵巢重/体质量×100。

为了比较3种群河蟹雌体膏蟹的可食率、饱满度和可食组织的营养组成等,11月初从每口池塘分别挑选体质量相近的雌体4~5只,称重后首先解剖取出肝胰腺和卵巢,然后刮出附肢和腹部的全部肌肉,准确称重。然后依据各组织质量和体质量,分别计算肝胰腺指数、性腺指数和出肉率(meat yield, MY, %)=肌肉重/体质量 $\times$ 100,总可食率为肝胰腺指数、性腺指数和出肉率之和。饱满度的计算按照倪国彬等<sup>[17]</sup>的方法,饱满度(CF, g/cm<sup>3</sup>)=体质量/甲壳长<sup>3</sup>。称重后所有样品保存于-40℃冰箱中待生化测定。为保证3种群雌体的卵巢发育阶段基本一致,每种群分别挑选卵巢指数为7%~9%的雌体6~8只,取其卵巢、肝胰腺和肌肉用于后续生化分析。

#### 1.4 生化成分测定

**常规营养成分测定** 按照AOAC<sup>[18]</sup>的标准方法测定水分(105℃下烘干至恒重)、蛋白(凯氏定氮法)和灰分(550℃下灼烧至恒重)含量;按Folch法<sup>[19]</sup>采用氯仿:甲醇(V/V=2:1)提取总脂并测定其含量,每种样品重复测定4~5次。

**脂类和脂肪酸组成分析** 根据Wu等<sup>[20]</sup>的方法进行脂肪酸分析。采用14%的三氟化硼-甲醇(V/V)对总脂进行甲酯化处理<sup>[21]</sup>,旋转蒸发到所需浓度进行脂肪酸分析。所用仪器为Agilent6890气相色谱,毛细管柱型号为Omegawax320(30.0 m $\times$ 0.32 mm, USA),进样口和氢火焰检测器的温度均为260℃,起始柱温为60℃,逐步升温到260℃直到所有脂肪酸全部出峰。氢气的流速为30 mL/min;空气流速为300 mL/min,补偿气体氮气的流速为25 mL/min,分流比为1:50;压力为60 kPa。脂肪酸含量的计算采用面积百分比法。

**氨基酸分析** 总氨基酸和色氨酸的测定按照Chen等<sup>[22]</sup>的方法进行。总氨基酸测定采用酸水解法,取冻干后的样品0.1 g左右,采用6 mol/L盐酸,在110℃条件下水解24 h,水解产物用蒸馏水稀释并定容到50 mL,离心后取上清液过滤。取1 mL过滤后的上清液在50℃条件下蒸干,以去除盐酸,再加2~5 mL 0.02 mol/L盐酸溶解,取1  $\mu$ L溶液用于氨基酸分析,所用仪器为Hitachi 835-50氨基酸自动分析仪。色氨酸测定采用5 mol/L NaOH水解,水解产物采用6 mol/L HCl盐酸中和,然后进行离心、过滤、蒸发和重溶解,具体方法同上,采用反相高效液相色谱法分离和

测定色氨酸含量,荧光检测器的激发和发射波长分别为280 nm和360 nm。甲硫氨酸和半胱氨酸测定采用过甲酸氧化水解法<sup>[23]</sup>。按照FAO/WHO/UNU<sup>[24]</sup>方法区分必需氨基酸和非必需氨基酸,计算必需氨基酸分值(essential amino acid score, EAAS),EAAS=100 $\times$ 样品中必需氨基酸含量/FAO参考蛋白中必需氨基酸含量,其中FAO参考蛋白中必需氨基酸含量主要依据学龄前(2~5岁)儿童的必需氨基酸需求量确定。

#### 1.5 数据处理

采用SPSS 19.0软件对实验数据进行统计分析,所有数据均采用平均值 $\pm$ 标准差表示。采用Levene法进行方差齐性检验,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非参数检验多重比较,取 $P<0.05$ 为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 三种群河蟹雌体的性腺发育和可食率比较

8月底3种群雌体成蟹大部分已经完成生殖蜕壳,卵巢开始快速发育,长江种群雌体8—10月卵巢指数显著低于辽河和黄河种群( $P<0.05$ )(图1-a),9月底,3种群间卵巢指数存在显著差异( $P<0.05$ ),辽河种群最高,长江种群最低,黄河种群居于两者之间;其余月份黄河和辽河种群的卵巢指数无显著差异。就肝胰腺指数而言(图1-b),3种群肝胰腺指数在8月底和10月底无显著差异( $P>0.05$ );9月底,3种群雌体肝胰腺指数存在显著差异( $P<0.05$ ),辽河种群肝胰腺指数显著低于长江种群( $P<0.05$ ),黄河种群居于两者之间。整体上,3种群雌体卵巢指数均随着时间推移而逐渐升高,而肝胰腺指数呈下降趋势;就不同种群雌体性腺发育顺序而言,辽河种群发育时间最早,黄河种群次之,长江种群发育时间最晚(图1)。在体质量和卵巢指数接近的条件下,3种群雌体的肝胰腺指数、出肉率、总可食率和饱满度均无显著差异( $P>0.05$ ),说明3种群雌体膏蟹的可食率无显著差异(表1)。

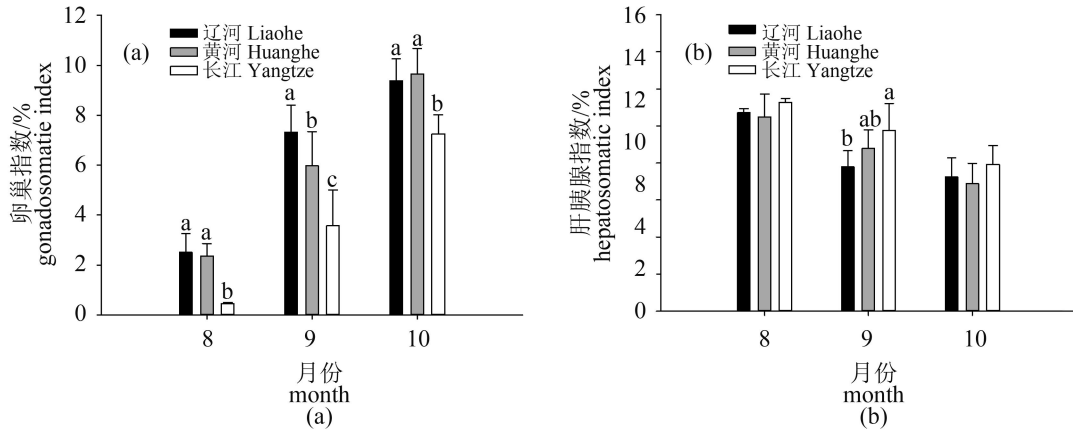


图 1 三种群河蟹雌体成蟹养殖过程中卵巢指数(a)和肝胰腺指数(b)的变化

不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Fig. 1 The gonadosomatic index (a) and hepatosomatic index (b) of adult female *E. sinensis* from three populations during the second year culture stage

Columns without the same letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

表 1 三种群河蟹雌体的体质量、卵巢指数、肝胰腺指数、出肉率、总可食率及饱满度

Tab. 1 Body weight, gonadosomatic index, hepatosomatic index, meat yield, total edible yield and relative fatness of female *E. sinensis* from three populations

	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
体质量/g body weight	87.50±5.89	87.58±3.66	87.69±2.75
卵巢指数/% GSI	8.11±0.42	8.46±0.50	8.11±0.44
肝胰腺指数/% HSI	5.73±1.13	6.16±2.07	6.20±1.32
出肉率/% MY	18.34±1.35	18.32±1.11	18.75±0.96
总可食率/% total edible yield	32.68±1.12	32.94±1.88	33.06±0.96
饱满度/(g/cm <sup>3</sup> ) relative fatness	0.62±0.03	0.63±0.01	0.63±0.02

注：同行数据上标中不含有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 三种群河蟹雌体可食部位的主要生化成分

3种群卵巢中各常规营养成分含量相近，黄河种群卵巢中的脂肪和灰分含量略低于其他两种群，长江种群的蛋白含量略高于其他两种群；长江种群肝胰腺中的脂肪、灰分含量略高于其他两种群，其水分含量略低于其他两种群，仅灰分含量显著高于其他两种群 ( $P < 0.05$ )；长江种群肌肉中的灰分含量也显著高于其他两种群 ( $P < 0.05$ )，3种群肌肉中的其余常规营养成分含量相近(表2)。

### 2.3 三种群河蟹可食部位的脂肪酸组成

3种群卵巢中饱和脂肪酸(SFA)主要成分为

C16:0和C18:0，占总饱和脂肪酸含量的90%以上，3种群卵巢中SFA含量无显著差异；卵巢中主要单不饱和脂肪酸(MUFA)含量顺序为C18:1n9>C16:1>C18:1n7，且C18:1n9含量远高于其他脂肪酸，3种群卵巢中的各MUFA含量均无显著差异；3种群卵巢中多不饱和脂肪酸(PUFA)含量高低顺序为C18:2n6 (LOA)>C20:5n3(EPA)>C22:6n3(DHA)>C18:3n3(LNA)>C20:4n6(ARA)，长江种群卵巢中的DHA相对含量显著高于黄河种群，3种群卵巢中其余多不饱和脂肪酸、总多不饱和脂肪酸( $\Sigma$ PUFA)和总高度不饱和脂肪酸( $\Sigma$ HUFA)含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ )(表3)。

3种群雌体肝胰腺中的SFA主要包括C14:0、C16:0和C18:0，其中C16:0含量占 $\Sigma$ SFA含量

表 2 三种群河蟹雌体可食组织中的常规生化成分含量(湿重)  
Tab. 2 The proximate composition in the edible parts of female *E.sinensis* from three populations (wet weight) %

	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
<b>卵巢 ovary</b>			
水分 moisture	50.04±1.15	50.48±0.94	50.26±1.71
蛋白 protein	29.92±0.21	29.94±0.38	30.35±0.31
脂肪 lipid	16.39±1.30	15.82±0.65	16.24±0.94
灰分 ash	2.06±0.06	1.97±0.08	2.03±0.09
<b>肝胰腺 hepatopancreas</b>			
水分 moisture	41.57±3.58	43.18±2.50	39.31±2.74
蛋白 protein	8.71±0.66	8.56±0.51	8.54±0.02
脂肪 lipid	46.44±2.16	44.81±3.45	47.27±2.12
灰分 ash	1.55±0.02 <sup>b</sup>	1.47±0.06 <sup>b</sup>	1.66±0.06 <sup>a</sup>
<b>肌肉 muscle</b>			
水分 moisture	81.92±0.74	82.08±0.90	81.50±0.77
蛋白 protein	13.37±0.63	13.28±0.31	13.35±0.34
脂肪 lipid	1.16±0.03	1.15±0.04	1.19±0.08
灰分 ash	1.30±0.05 <sup>b</sup>	1.31±0.01 <sup>b</sup>	1.38±0.01 <sup>a</sup>

注: 同行数据不含有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 ( $P<0.05$ )

的80%以上, 3种群肝胰腺中各SFA含量均无显著差异( $P>0.05$ ),  $\Sigma$ SFA含量均在23%左右; 肝胰腺中MUFA主要成分为C18:1n9和C16:1, 3种群肝胰腺中仅C20:1n9含量存在显著差异, 尽管黄河种群肝胰腺中的C18:1n9和 $\Sigma$ MUFA含量均高于其他两个种群, 但由于不同个体间的差异较大, 故统计学上差异不显著( $P>0.05$ ); 肝胰腺中PUFA的主要成分为LOA(18~20%)和DHA(3%左右), 尽管3种群肝胰腺中ARA的百分比含量均较低(0.5%~0.9%), 但长江种群肝胰腺中的ARA相对含量显著高于黄河种群( $P<0.05$ ), 且整体上黄河种群肝胰腺中的 $\Sigma$ PUFA和 $\Sigma$ HUFA含量均最低(表4)。

3种群肌肉中的主要脂肪酸含量均无显著差异( $P>0.05$ )。就不同可食组织中的PUFA组成而言, 肌肉中的EPA和DHA含量较高, 但LOA含量较低(表5)。

#### 2.4 三种群河蟹可食部位的氨基酸组成

卵巢中共检测出19种氨基酸, 其中人体必需的氨基酸(EAA)10种。10种EAA中含量大于10 mg/g湿重的有7种, 含量高低顺序分别为亮氨酸>

赖氨酸>缬氨酸>苏氨酸>酪氨酸>苯丙氨酸>异亮氨酸, 蛋氨酸、半胱氨酸和色氨酸含量较低; 3种群雌体卵巢中必需氨基酸含量以长江种群卵巢中的大部分EAA含量均为最高, 其中苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸含量显著高于辽河种群的含( $P<0.05$ ), 因此长江种群的总EAA含量最高。非必需氨基酸(NEAA)中除牛磺酸的含量较低外, 其他氨基酸的含量相对较高, 其中谷氨酸、天冬氨酸和精氨酸3种氨基酸含量占NEAA总含量的50%以上; 长江种群雌体卵巢中的天冬氨酸、丝氨酸和脯氨酸的含量显著高于辽河种群( $P<0.05$ ); 整体上, 长江种群的总EAA、总NEAA和总氨基酸(TAA)含量均略高于黄河和辽河种群, 但差异不显著(表6)。

3种群肌肉中亮氨酸和赖氨酸含量较高(大于8 mg/g湿重), 蛋氨酸、半胱氨酸和色氨酸含量较低(小于3 mg/g湿重)。黄河种群雌体肌肉中的大部分EAA含量为最高, 其中异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、苏氨酸、缬氨酸和色氨酸的含量显著高于长江种群或辽河种群的含量( $P<0.05$ ), 故黄河种群雌体肌肉中总EAA含

表3 三种群河蟹雌体卵巢中的主要脂肪酸含量(总脂肪酸)  
**Tab. 3 The fatty acid composition in ovary of female *E. sinensis* from three populations (total fatty acids) %**

脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
C14 : 0	0.53±0.10	0.56±0.03	0.50±0.05
C16 : 0	13.56±0.52	12.94±0.40	13.01±0.61
C17 : 0	0.29±0.03	0.30±0.02	0.29±0.04
C18 : 0	4.00±0.36	4.13±0.53	4.11±0.78
∑SFA	18.73±0.76	18.22±0.65	18.20±0.45
C16 : 1	7.75±0.21	7.49±1.14	7.24±0.49
C17 : 1	0.42±0.04	0.52±0.08	0.43±0.09
C18 : 1n9	27.17±2.59	29.42±2.22	26.91±1.11
C18 : 1n7	4.34±0.45	5.25±0.41	4.57±0.86
C20 : 1n9	0.73±0.14	0.81±0.08	0.69±0.08
∑MUFA	40.64±2.73	43.71±2.74	39.99±0.99
C18 : 2n6	14.95±2.09	14.97±1.27	16.05±0.98
C18 : 3n3	3.01±0.64	2.65±0.15	2.79±0.18
C20 : 4n6	2.64±0.38	2.19±0.32	2.37±0.28
C20 : 5n3	9.15±0.43	9.61±1.08	9.40±1.12
C22 : 6n3	7.87±0.33 <sup>ab</sup>	7.23±0.72 <sup>b</sup>	8.13±0.37 <sup>a</sup>
∑PUFA	37.62±2.42	36.64±1.06	38.75±0.78
∑n3PUFA	20.03±0.84	19.49±1.30	20.32±1.18
∑n6PUFA	17.59±1.87	17.16±0.98	18.43±0.97
n3/n6	1.14±0.11	1.14±0.13	1.10±0.12
∑HUFA	19.66±0.61	19.02±1.41	19.90±1.08
DHA/EPA	0.86±0.04	0.75±0.06	0.86±0.08

注: 同行数据不含有相同字母表示差异显著( $P<0.05$ ); 下表注释同此。本表中仅列出含量大于0.3%的数据

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ), the same below; the fatty acid with more than 0.3% of total fatty acids is shown in the table

量显著高于其他两种群。NEAA中除牛磺酸和组氨酸含量较低外, 其余均大于4 mg/g湿重, 黄河种群肌肉中天冬氨酸、谷氨酸含量显著高于辽河种群或长江种群( $P<0.05$ ); 整体上, 黄河种群雌体肌肉中∑EAA和∑TAA含量显著高于其他两种群( $P<0.05$ )(表7)。

参照FAO/WHO/UNU(1985)的标准, 对3种群河蟹雌体卵巢和肌肉中必需氨基酸分值(EAAS)进行评价, 辽河种群雌体卵巢中大部分EAAS均低于其他两种群, 而长江种群肌肉中的大部分EAAS低于其他两种群。整体上, 长江种群卵巢的平均EAAS最高, 黄河种群肌肉中的平均

EAAS最高, 3种群卵巢和肌肉中所有EAAS均高于100, 无限制性氨基酸(表8)。

### 3 讨论

#### 3.1 三种群雌体性腺发育、可食率和肥满度的比较

性腺是河蟹重要的可食部位之一, 卵巢发育成熟或接近成熟的雌体具有较高的可食率、营养价值和食用价值, 因此雌体卵巢发育状况直接影响着其经济价值和上市时间<sup>[9, 20]</sup>。长江种群河蟹是我国最重要的养殖种群, 养殖区域主

表 4 三种群河蟹雌体肝胰腺中的主要脂肪酸含量 (总脂肪酸)

Tab. 4 The fatty acid composition in hepatopancreas of female *E. sinensis* from three populations (total fatty acids) %

脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
C14 : 0	1.05±0.19	0.95±0.13	1.12±0.07
C15 : 0	0.30±0.09	0.21±0.04	0.29±0.04
C16 : 0	19.61±2.66	20.33±1.72	19.31±1.14
C18 : 0	1.80±0.43	1.66±0.39	2.18±0.09
ΣSFA	23.09±2.55	23.43±1.46	23.26±0.97
C16 : 1	7.05±0.78	7.18±0.83	7.21±1.58
C17 : 1	0.38±0.04	0.29±0.20	0.45±0.07
C18 : 1n9	33.10±4.19	36.58±3.02	33.25±2.57
C18 : 1n7	2.37±0.27	2.56±0.67	3.05±0.16
C20 : 1n9	0.80±0.21 <sup>ab</sup>	0.67±0.06 <sup>b</sup>	0.95±0.14 <sup>a</sup>
C20 : 1n7	0.47±0.07	0.51±0.10	0.64±0.25
ΣMUFA	44.47±4.12	48.08±1.49	45.87±3.28
C18 : 2n6	20.12±1.74	18.30±0.93	18.41±3.42
C18 : 3n3	2.40±0.80	1.96±0.93	2.54±0.78
C20 : 4n6	0.83±0.32 <sup>ab</sup>	0.58±0.10 <sup>b</sup>	0.93±0.10 <sup>a</sup>
C20 : 5n3	2.25±0.41	2.01±0.41	2.25±0.28
C22 : 6n3	3.48±0.82	3.00±0.48	3.36±0.18
ΣPUFA	29.06±3.11	26.32±1.74	27.60±3.80
Σn3PUFA	8.12±1.75	6.97±0.94	8.15±0.70
Σn6PUFA	20.95±1.67	18.89±0.82	19.34±3.02
n3/n6	0.39±0.06	0.29±0.04	0.30±0.06
ΣHUFA	6.55±1.31	6.06±0.98	6.65±0.64
DHA/EPA	1.55±0.08	1.73±0.29	1.54±0.39

要集中于长江流域<sup>[3]</sup>。池塘养殖长江种群河蟹卵巢发育接近成熟(卵巢指数大于5%)或成熟时间,通常在10月中下旬至12月初,因此长江流域河蟹活体消费主要集中在10—11月<sup>[25]</sup>。培育不同性腺成熟时间的河蟹品系可以延长河蟹活体上市时间,可在一定程度上均衡市场供应<sup>[16]</sup>。本研究结果表明,3种群河蟹野生大眼幼体在成蟹养殖阶段的卵巢发育和生殖蜕壳时间存在显著差异,辽河种群卵巢发育速度最快,长江种群最慢,黄河种群介于两者之间,但是与辽河种群更为接近,这与基于微卫星聚类分析结果相近<sup>[2]</sup>。3个野生种群河蟹的卵巢发育时间随着地理纬度的升高而提前,这可能因为高纬度地区冬季来

临较早,河蟹需要提前启动性腺发育,才能在严冬来临之前基本完成卵巢发育,经过长期适应和进化,不同地理种群河蟹的卵巢发育速度已经具备了一定的遗传特性<sup>[9]</sup>。因此,辽河和黄河种群河蟹在长江流域进行池塘养殖,仍然在一定程度上保留着二龄早熟特性<sup>[5]</sup>。本研究结果显示,辽河种群的卵巢发育时间比长江种群提前1个月左右,比黄河种群提前15~20 d,由于辽河种群成蟹规格相对较小,而长江和黄河种群规格较大<sup>[5-6]</sup>,因此今后可以利用3种群河蟹性腺发育速度和成蟹规格等方面的差异,构建不同经济性状的河蟹家系和育种基础群,从而进行兼顾性腺成熟时间和成蟹体质量等多性状的良

表5 三种群河蟹雌体肌肉中的主要脂肪酸含量(总脂肪酸)  
 Tab. 5 The fatty acid composition in muscle of female *E. sinensis* from three populations (total fatty acids) %

脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaoh River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
C16:0	12.05±0.70	11.98±0.38	11.99±0.38
C18:0	5.71±0.38	6.08±0.52	6.27±0.23
ΣSFA	17.89±0.43	18.18±0.63	18.37±0.28
C16:1	1.64±0.13	1.80±0.39	1.77±0.15
C18:1n9	23.03±1.20	23.36±1.84	23.66±0.72
C18:1n7	2.85±0.17	2.96±0.36	3.01±0.19
C20:1n9	1.71±0.15	1.79±0.14	1.90±0.06
C22:1n9	0.30±0.03	0.30±0.06	0.31±0.04
ΣMUFA	29.63±1.03	30.39±2.13	30.44±0.71
C18:2n6	10.32±1.71	9.66±1.09	8.44±0.93
C18:3n3	0.94±0.22	0.92±0.25	0.83±0.24
C20:4n6	3.43±0.56	3.49±0.63	3.65±0.37
C20:5n3	21.80±1.52	21.82±2.55	21.95±0.95
C22:6n3	12.94±0.85	12.53±0.76	12.87±0.43
ΣPUFA	49.42±0.93	48.41±1.76	47.74±0.76
Σn3PUFA	35.68±1.61	35.26±2.18	35.65±0.67
Σn6PUFA	13.75±1.04 <sup>a</sup>	13.15±0.48 <sup>ab</sup>	12.09±0.60 <sup>b</sup>
n3/n6	2.60±0.32	2.68±0.25	2.95±0.16
ΣHUFA	38.17±2.14	37.83±2.84	38.46±1.05
DHA/EPA	0.59±0.04	0.57±0.06	0.59±0.03

种选育。通常认为,长江种群成蟹个体硕大、膏脂丰满、可食率高<sup>[3]</sup>。本研究结果表明,在体质量和卵巢指数接近的条件下,3种群雌体肝胰腺指数、出肉率、可食率和肥满度的结果均无显著差异,这表明河蟹的可食率和肥满度可能主要与饵料和养殖环境有关,由于本研究中3种群的养殖环境和投喂饵料基本一致,因此表明3种群雌体的可食率和肥满度均无显著差异。

### 3.2 三种群雌体可食组织中主要营养成分含量的比较

本研究表明,在相似的养殖条件和相同饵料条件下,3种群雌体卵巢、肝胰腺和肌肉中的常规生化组成接近,这表明这些常规营养成分主要受养殖环境和饵料影响<sup>[26-27]</sup>。就不同组织而言,卵巢中蛋白和脂肪含量均较高,这是因为成熟卵巢中需要积累足够的卵黄物质供其后胚

胎和早期幼体发育用<sup>[28]</sup>,而卵黄物质中主要是蛋白质和脂肪,且含量相对稳定<sup>[27]</sup>;肝胰腺是甲壳动物主要的脂类代谢和储存器官<sup>[29-30]</sup>,因此,3种群雌体肝胰腺中的脂肪含量均较高;3种群肌肉中的常规营养成分含量基本一致,这是因为肌肉中的常规营养成分不易受到种群和饵料条件影响,具有一定的保守性<sup>[9, 27]</sup>。

可食组织中的必需脂肪酸和必需氨基酸组成是评价水产品营养价值的重要指标<sup>[27, 31]</sup>,其组成可能受遗传<sup>[31]</sup>、饵料<sup>[32]</sup>和环境条件<sup>[33]</sup>等多种因素影响。本研究发现,3种群河蟹雌体在相似的养殖条件下,可食组织中的大部分脂肪酸百分含量无显著差异,这也说明3种群雌体的脂肪酸组成主要与养殖环境和投喂饵料有关<sup>[27]</sup>。甲壳动物卵巢发育过程中主要积累能量型脂肪酸,如:C16:0、C18:0和C18:1n9,供其后的胚胎



表 6 三种群河蟹雌体卵巢中的氨基酸含量 (湿重)  
Tab. 6 The amino acids contents in ovary of female *E. sinensis* from three populations (wet weight) mg/g

氨基酸 amino acids	辽河种群 Liaoh River population	黄河种群 Huanghe River population	长江种群 Yangtze River population
异亮氨酸 isoleucine	13.45±0.29	13.64±0.17	13.78±0.22
亮氨酸 leucine	22.48±0.38	22.89±0.33	23.44±0.44
赖氨酸 lysine	18.93±0.35	19.19±0.42	19.59±0.47
蛋氨酸 methionine	7.73±0.31	7.40±0.51	6.68±0.44
半胱氨酸 cystine	4.33±0.22	4.68±0.12	5.04±0.52
苯丙氨酸 phenylalanine	13.51±0.26 <sup>b</sup>	13.86±0.25 <sup>ab</sup>	14.25±0.25 <sup>a</sup>
酪氨酸 tyrosine	14.13±0.32 <sup>b</sup>	14.19±0.29 <sup>ab</sup>	14.87±0.26 <sup>a</sup>
苏氨酸 threonine	15.22±0.45	15.41±0.43	16.11±0.37
缬氨酸 valine	17.43±0.46	17.80±0.42	18.16±0.32
色氨酸 tryptophan	4.35±0.08 <sup>b</sup>	4.60±0.04 <sup>a</sup>	4.58±0.10 <sup>a</sup>
必需氨基酸 $\Sigma$ EAA	131.56±2.38	133.66±2.44	136.50±2.80
天冬氨酸 aspartic acid	25.00±0.43 <sup>b</sup>	25.94±0.31 <sup>ab</sup>	26.40±0.45 <sup>a</sup>
丝氨酸 serine	16.56±0.22 <sup>b</sup>	16.67±0.44 <sup>b</sup>	17.62±0.37 <sup>a</sup>
谷氨酸 glutamic acid	36.00±0.64	36.95±0.90	37.66±0.63
甘氨酸 glycine	13.21±0.33	12.95±0.37	12.66±0.12
丙氨酸 alanine	14.55±0.22	14.65±0.38	15.16±0.29
组氨酸 histidine	8.19±0.42	8.48±0.21	8.60±0.15
精氨酸 arginine	20.49±0.72	21.09±0.40	21.30±0.27
脯氨酸 proline	13.71±0.26 <sup>b</sup>	14.26±0.49 <sup>ab</sup>	14.97±0.35 <sup>a</sup>
牛磺酸 taurine	1.94±0.40	1.84±0.06	2.01±0.05
非必需氨基酸 $\Sigma$ NEAA	149.63±3.39	152.83±2.84	156.40±2.51
总氨基酸 $\Sigma$ TAA	281.19±5.65	286.49±4.85	292.89±5.31
EAA/TAA	0.47±0.00	0.47±0.00	0.47±0.00

发育<sup>[34-35]</sup>, 故卵巢中能量型脂肪酸含量高; 肝胰腺是甲壳动物的脂类代谢中心, 脂肪酸组成容易受到饵料中脂肪酸组成的影响<sup>[36]</sup>, 肝胰腺中的 C18:1 是其最主要的脂肪酸, 其含量随卵巢发育而提高<sup>[30]</sup>。河蟹肌肉的脂肪酸组成相对保守, 不易受环境和饵料的影响, 因为较稳定的脂肪酸组成才能维持其正常生理功能<sup>[27, 37]</sup>。就脂肪酸营养价值而言, n-3/n-6 比值、SFA:MUFA:PUFA 比(S:M:P)和 HUFA 组成及含量是评价其食品中脂肪酸营养价值的重要指标<sup>[20, 38-39]</sup>, 推荐人类膳食中的 n-3/n-6 适宜比值为 0.1~0.2 和 S:M:P 为 1:1:1<sup>[38]</sup>, 食物中足量平衡的 MUFA 和 n-3HUFA 对于人类健康十分重要<sup>[39]</sup>。本研究结果表明,

3 种群雌体可食部位的 n-3/n-6 比值均大于 0.29, 且 MUFA 和 PUFA 含量均远高于 SFA, 因此, 3 种群河蟹雌体可食组织均具有较高的脂肪酸营养价值。就不同组织而言, 肌肉和卵巢中的 HUFA 百分含量较高, 肝胰腺中的 SFA 和 MUFA 百分含量最高, 这说明肌肉和卵巢的脂肪酸营养价值高于肝胰腺, 具有一定的保健作用<sup>[38-39]</sup>。就氨基酸含量而言, 3 种群卵巢和肌肉中的氨基酸含量均存在一定的差异, 长江种群雌体卵巢中的大部分氨基酸和总氨基酸含量高于其他两种群, 而黄河种群肌肉中的大部分氨基酸和总氨基酸含量最高, 这说明不同种群河蟹的氨基酸组成可能与其遗传因素有关。就必需氨基酸分(EAAS)

表 7 三种群河蟹雌体肌肉中的主要氨基酸含量 (湿重)  
 Tab. 7 The amino acids contents in muscle of female *E.sinensis* from three populations (wet weight) mg/g

氨基酸 amino acids	辽河种群	黄河种群	长江种群
	Liaoh River population	Huanghe River population	Yangtze River population
异亮氨酸 isoleucine	5.05±0.04 <sup>b</sup>	5.25±0.08 <sup>a</sup>	5.00±0.06 <sup>b</sup>
亮氨酸 leucine	8.88±0.09 <sup>b</sup>	9.14±0.12 <sup>a</sup>	8.69±0.06 <sup>b</sup>
赖氨酸 lysine	9.14±0.08 <sup>a</sup>	9.31±0.06 <sup>a</sup>	8.95±0.08 <sup>b</sup>
蛋氨酸 methionine	2.37±0.11 <sup>b</sup>	2.67±0.04 <sup>a</sup>	2.38±0.03 <sup>b</sup>
半胱氨酸 cystine	1.62±0.07	1.76±0.22	1.82±0.09
苯丙氨酸 phenylalanine	4.97±0.10	5.16±0.07	4.96±0.09
酪氨酸 tyrosine	5.11±0.05 <sup>ab</sup>	5.23±0.11 <sup>a</sup>	5.01±0.08 <sup>b</sup>
苏氨酸 threonine	5.39±0.03 <sup>ab</sup>	5.52±0.10 <sup>a</sup>	5.25±0.03 <sup>b</sup>
缬氨酸 valine	5.32±0.07 <sup>b</sup>	5.56±0.10 <sup>a</sup>	5.30±0.06 <sup>b</sup>
色氨酸 tryptophan	1.55±0.02 <sup>a</sup>	1.50±0.02 <sup>b</sup>	1.45±0.01 <sup>c</sup>
必需氨基酸 ΣEAA	49.41±0.41 <sup>b</sup>	51.10±0.64 <sup>a</sup>	48.83±0.22 <sup>b</sup>
天冬氨酸 aspartic acid	11.32±0.09 <sup>b</sup>	11.70±0.14 <sup>a</sup>	11.16±0.04 <sup>b</sup>
丝氨酸 serine	5.06±0.04	5.17±0.17	4.96±0.04
谷氨酸 glutamic acid	17.95±0.16 <sup>b</sup>	18.87±0.27 <sup>a</sup>	18.38±0.45 <sup>ab</sup>
甘氨酸 glycine	7.39±0.62	7.22±0.16	7.40±0.48
丙氨酸 alanine	8.56±0.13	8.88±0.35	8.76±0.35
组氨酸 histidine	3.86±0.11	4.02±0.14	3.84±0.06
精氨酸 arginine	11.31±0.30	10.95±0.57	11.48±0.40
脯氨酸 proline	5.52±0.14	5.95±1.06	5.88±0.66
牛磺酸 taurine	0.84±0.09	0.75±0.08	0.83±0.06
非必需氨基酸 ΣNEAA	71.82±1.05	73.51±0.89	72.69±1.38
总氨基酸 ΣTAA	121.23±1.00 <sup>b</sup>	124.61±0.76 <sup>a</sup>	121.52±1.16 <sup>b</sup>
EAA/TAA	0.41±0.00	0.41±0.01	0.40±0.01

表 8 三种群河蟹雌体体性腺和肌肉的必需氨基酸分值

Tab. 8 The essential amino acids score (EAAS) of ovary and muscle of female *E.sinensis* from three populations

必需氨基酸 essential amino acid	卵巢 ovary			肌肉 muscle		
	辽河种群 Liaoh	黄河种群 Huanghe	长江种群 Yangtze	辽河种群 Liaoh	黄河种群 Huanghe	长江种群 Yangtze
异亮氨酸 isoleucine	160	162	164	139	144	137
亮氨酸 leucine	114	116	118	104	107	101
赖氨酸 lysine	109	110	113	121	124	119
蛋氨酸+半胱氨酸 methionine+cystine	161	161	156	123	136	129
苯丙氨酸+酪氨酸 phenylalanine+tyrosine	146	148	154	123	131	122
苏氨酸 threonine	149	151	158	122	125	119
缬氨酸 valine	166	169	173	117	122	117
色氨酸 tryptophan	132	139	139	108	105	101
平均值 mean	142	145	147	120	124	118

而言,3种群卵巢和肌肉中的EAAS均大于100,无限制性氨基酸,但长江种群卵巢和黄河种群肌肉的平均EAAS分别较高,这说明长江和黄河种群的氨基酸营养价值略高于辽河种群。就不同组织而言,3种群河蟹卵巢中的平均EAAS均高于对应的肌肉,这说明河蟹卵巢的氨基酸营养价值优于肌肉。

综上所述,在相似/相同的养殖条件下,3种群河蟹雌体的卵巢发育节律不同,辽河种群卵巢发育最早,长江种群卵巢成熟最晚,黄河种群介于两者之间;3种群雌体卵巢、肝胰腺和肌肉中的常规营养成分和脂肪酸组成接近,辽河种群雌体卵巢和肌肉的必需氨基酸和总氨基酸含量相对较低,3种群雌体的性腺发育和部分营养指标可能与其种群遗传特性有关。今后可以利用不同地理种群河蟹种质资源进行多性状良种选育,提高河蟹良种的养殖性能和经济性状。

#### 参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2015年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.  
Department of Agriculture Fisheries Fishery Administration. Chinese fishery statistical yearbook: 2015[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015(in Chinese).
- [2] 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(in Chinese).
- [3] 王武, 王成辉, 马旭洲. 中华绒螯蟹生态养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.  
Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological culture of chinese mitten crab aquaculture[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2013(in Chinese).
- [4] 周刚, 朱清顺, 胡本龙. 不同水系中华绒螯蟹生长比较的初步研究[J]. 水产养殖, 2003, 24(6): 34-37.  
Zhou G, Zhu Q S, Hu B L. A preliminary study on the growth of Chinese mitten crabs from different river systems[J]. *Journal of Aquaculture*, 2003, 24(6): 34-37(in Chinese).
- [5] 李晨虹, 李思发, 邢益于, 等. 池养长江蟹、辽河蟹生长性能及其遗传-环境交互作用分析[J]. 水生生物学学报, 2002, 26(4): 335-341.  
Li C H, Li S F, Xing Y Y, et al. Growth performance and its genotype-environment interaction analysis of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) populations from the Yangtze River and Liaohe River in ponds[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(4): 335-341(in Chinese).
- [6] 李应森, 郭延. 长江蟹和辽河蟹性腺及肝脏指数的比较研究[J]. 水利渔业, 2001, 21(1): 10-12.  
Li Y S, Guo Y. Comparative studies on the indexes of sexual glands and livers in the Chinese river crabs from the Yangtze River and the Liaohe River[J]. *Reservoir Fisheries*, 2001, 21(1): 10-12(in Chinese).
- [7] 李应森, 李思发, 徐广友, 等. 长江水系和辽河水系网围养殖中华绒螯蟹生长性能的比较[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(3): 189-193.  
Li Y S, Li S F, Xu G Y, et al. Comparison of growth performance of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in pen culture from the Yangtze and Liaohe river systems[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2000, 9(3): 189-193(in Chinese).
- [8] Shao L C, Wang C, He J, et al. Hepatopancreas and gonad quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(3): 217-227.
- [9] 吴旭干, 龙晓文, 刘乃更, 等. 中华绒螯蟹、日本绒螯蟹及其杂交种性腺发育和生化组成的比较研究[J]. 淡水渔业, 2015, 45(3): 3-8.  
Wu X G, Long X W, Liu N G, et al. Comparative study on gonadal development and biochemical composition among *Eriocheir sinensis*, *E. japonica* and their hybrids[J]. *Freshwater Fisheries*, 2015, 45(3): 3-8(in Chinese).
- [10] Kause A, Ritola O, Paananen T, et al. Coupling body weight and its composition: A quantitative genetic analysis in rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 2002, 211(1-4): 65-79.
- [11] Tobin D, Kause A, Mäntysaari E A, et al. Fat or lean? The quantitative genetic basis for selection strategies of muscle and body composition traits in breeding schemes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2006, 261(2): 510-521.
- [12] 高强, 杨国梁, 王军毅, 等. 罗氏沼虾"南太湖2号"选育群体肌肉营养成分分析[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 116-123.  
Gao Q, Yang G L, Wang J Y, et al. Analysis on muscle nutritive quality of a selected strain of *Macrobrachium rosenbergii*, "South Tailake No. 2"[J]. *Journal of*

- Fisheries of China, 2011, 35(1): 116-123(in Chinese).
- [13] 李明云, 郑岳夫, 管丹东, 等. 大黄鱼四家系肌肉营养成分差异及品质选育分析[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 632-638.  
Li M Y, Zheng Y F, Guan D D, *et al.* The nutrition of fatty acid and amino acid analysis of four genealogies *Pseudosciaena crocea* (Richardson)[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(4): 632-638(in Chinese).
- [14] Neira R, Lhorente J P, Araneda C, *et al.* Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): Phenotypic and genetic parameters[J]. Aquaculture, 2004, 241(1-4): 117-131.
- [15] 樊佳佳, 白俊杰, 李胜杰, 等. 大口黑鲈"优鲈1号"选育群体肌肉营养成分和品质评价[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 423-429.  
Fan J J, Bai J J, Li S J, *et al.* Nutrient composition and nutritive quality of the muscle of *Micropterus salmoides*, "Youlu No. 1"[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(3): 423-429(in Chinese).
- [16] 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]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 808-818.  
He J, Wu X G, Long X W, *et al.* Culture performance and gonadal development of the first generation of selectively-bred Chinese mitten crabs from wild and cultured populations[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 808-818(in Chinese).
- [17] 倪国彬, 何杰, 赵恒亮, 等. 池塘养殖中华绒螯蟹二龄雌体生长规律和生殖蜕壳时间的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(2): 125-131.  
Ni G B, He J, Zhao H L, *et al.* The study of growth pattern and puberty molting time of pond-reared female Chinese mitten crab during the second year culture[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(2): 125-131(in Chinese).
- [18] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists[M]. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [19] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [20] Wu X G, Zhou B, Cheng Y X, *et al.* Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(2): 154-159.
- [21] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol[J]. Journal of Lipid Research, 1964, 5(4): 600-608.
- [22] Chen D W, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [23] Spindler M, Stadler R, Tanner H. Amino acid analysis of feedstuffs: Determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(6): 1366-1371.
- [24] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO /WHO /UNU expert consultation[R]. World Health Organization Technical Report Series724. Geneva: WHO, 1985.
- [25] 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(in Chinese).
- [26] 张彤晴, 周刚, 朱清顺, 等. 不同增殖养殖水体中华绒螯蟹一般营养成分比较分析[J]. 水产养殖, 2006, 27(4): 8-10.  
Zhang T Q, Zhou G, Zhu Q S, *et al.* Comparison and analysis on general nutrition composition for mitten crab from different proliferation and culture waters[J]. Journal of Aquaculture, 2006, 27(4): 8-10(in Chinese).
- [27] 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.
- [28] Liu Z J, Wu X G, Cheng Y X, *et al.* Ovarian re-maturation following the first spawning in the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 417-426.

- [29] Vogt G. Life-cycle and functional cytology of the hepatopancreatic cells of *Astacus astacus* (Crustacea, Decapoda)[J]. *Zoomorphology*, 1994, 114(2): 83-101.
- [30] 成永旭, 堵南山, 赖伟. 不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J]. *动物学报*, 1998, 44(4): 420-429. Cheng Y X, Du N S, Lai W. Lipid composition in hepatopancreas of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* at different stages[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, 44(4): 420-429(in Chinese).
- [31] Grahl-Nielsen O, Jacobsen A, Christophersen G, et al. Fatty acid composition in adductor muscle of juvenile scallops (*Pecten maximus*) from five Norwegian populations reared in the same environment[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2010, 38(4): 478-488.
- [32] Wu X G, Chang G L, Cheng Y X, et al. 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*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 25-36.
- [33] Romano N, Wu X G, Zeng C S, et al. Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range[J]. *Marine Biology Research*, 2014, 10(5): 460-471.
- [34] 吴旭干, 姚桂桂, 杨筱珍, 等. 东海三疣梭子蟹第一次卵巢发育规律的研究[J]. *海洋学报*, 2007, 29(4): 120-127.
- Wu X G, Yao G G, Yang X Z, et al. A study on the ovarian development of *Portunus trituberculatus* in East China Sea during the first reproductive cycle[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 120-127(in Chinese).
- [35] 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*, 2010, 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*, 2010, 38(2): 170-182(in Chinese).
- [36] Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. Effects of dietary phospholipids and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival, growth and hepatic lipid composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(3): 457-468.
- [37] Chapelle S. Influence of salinity on the lipid composition and the fatty-acid pattern of muscle and hepatopancreas of the Chinese crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie*, 1978, 86(2): 393-401.
- [38] 孙远明. 食品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2006. Sun Y M. Food Nutrition[M]. Beijing: Science Press, 2006(in Chinese).
- [39] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition: Report of a joint expert consultation[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.

## Comparative study on gonadal development and nutritional composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult female *Eriocheir sinensis* cultured in earth ponds

ZHAO Hengliang<sup>1,2</sup>, WU Xugan<sup>1</sup>, JIANG Xiaodong<sup>1,2</sup>, LONG Xiaowen<sup>1,2</sup>,  
HE Jie<sup>1,2</sup>, LIU Naigeng<sup>3</sup>, CHENG Yongxu<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources,  
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

3. Panjin Guanghe Crab Industry Co. Ltd., Panjin 124200, China)

**Abstract:** This study was designed to investigate gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), meat yield (MY), total edible yield (TEY) and relative fatness (RF), and then, their proximate composition, fatty acids and amino acids composition and essential amino acid score were further detected and compared for the three edible parts (gonad, hepatopancreas and muscle) of pond-cultured female *Eriocheir sinensis* among Yangtze, Huang and Liao River populations. The results are shown as follows: (1) There were significant differences in the speed of ovarian development and GSI among three populations; the Liao River population had the highest GSI while Yangtze population had the lowest GSI during the period of August to end of September among three populations; however, the similar GSI was found between Liao River and Huang River populations in late October. (2) When the females had the similar GSI and body weight, no significant differences were found in HSI, MY, TEY and RF among three populations. (3) Female from three populations had the similar proximate composition for each edible part, while the Yangtze population had the significantly higher ash content in hepatopancreas and muscle than the other two populations. (4) For the fatty acid compositions in the ovaries, Yangtze population had the highest percentage of C22:6n3 (DHA) among three populations; except for C20:1n9 and C20:4n6 in the hepatopancreas, three populations females had the similar fatty acid composition in hepatopancreas and muscle. (5) The ovaries of Yangtze population had the significantly higher contents of phenylalanine, tyrosine, tryptophan, aspartic acid and serine than Liao River population; for the amino acid contents in the muscle, Huang River population had the highest contents for most amino acids, leading to the significantly higher total amino acid (TAA) than that of the other two populations. (6) No restrictive amino acids were found in the ovaries or muscle of three populations; the ovaries of Yangtze population had the highest mean essential amino acid score (EAAS) while the muscle of Huang River population had the highest mean EAAS among the three populations; despite of populations, the mean EAAS of ovaries was higher than that of muscle. In conclusion, Yangtze population had the slowest speed of ovarian development among three populations, while the fastest ovarian development was found in Liao River population. Females from three populations had the similar proximate composition and fatty acids levels in the three edible parts. Although the significant differences were detected for the contents of many amino acid in the muscle among three populations, no restrictive amino acids were found in ovaries and muscle.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; geographical population; ovarian development; nutritional composition; pond culture

**Corresponding author:** CHENG Yongxu. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

**Funding projects:** Agricultural and Technology Promotion Shanghai Municipal Agriculture Commission (2015D1-7); The Innovation Fund for Small and Medium-Sized Technology-Based Firms from the Ministry of Science and Technology of China (14C26213201214); National High Technology R&D Program of China (2012AA10A409); Shanghai University Top Disciplines Project of Fisheries Shanghai Municipal Education Committee (2015-62-0908)