

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15452

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

赵恒亮^{1,2}, 吴旭干¹, 龙晓文^{1,2}, 何杰^{1,2}, 姜晓东^{1,2}, 刘乃更³, 成永旭^{1,2}

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: 采用养殖实验和生化分析方法, 在相似的池塘条件下将辽河、黄河和长江种群中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)扣蟹养殖至成蟹, 比较了三群体雄体成蟹的性腺指数、肝胰腺指数、出肉率、总可食率和肥满度, 进一步测定和比较了可食组织中的常规生化成分、脂肪酸及氨基酸, 旨在评价三种种群雄体成蟹的营养品质和可食率。研究结果显示: (1)黄河种群中华绒螯蟹的性腺指数略高于其他两种种群, 长江种群中华绒螯蟹的肝胰腺指数、出肉率、总可食率和肥满度最高, 但均无显著差异($P>0.05$)。 (2)辽河种群性腺中蛋白质含量显著高于其他两种种群($P<0.05$), 三群体性腺中水分、脂肪和灰分含量差异不显著($P>0.05$); 长江种群肝胰腺的水分含量最低, 但其蛋白质、脂肪和灰分含量高于其他两种种群; 黄河种群肌肉中脂肪含量显著低于辽河种群的含量, 而其灰分含量显著高于黄河种群($P<0.05$), 水分和蛋白质含量无显著差异($P>0.05$)。 (3)三种种群性腺中主要多不饱和脂肪酸(PUFA)含量相近, 长江种群性腺中 Σ PUFA、 Σ n6PUFA 和总高度不饱和脂肪酸(Σ HUFA)含量最高; 三种种群肝胰腺中各 PUFA、 Σ PUFA 和 Σ HUFA 含量无显著差异($P>0.05$); 三种种群肌肉中 $C_{18:3n3}$ (LNA)和 $C_{20:5n3}$ (EPA)的含量存在显著差异, 且黄河种群的这两种脂肪酸含量都显著高于辽河种群($P<0.05$)。 (4)辽河种群性腺中的蛋氨酸和半胱氨酸含量显著高于其他两种种群($P<0.05$), 且辽河种群的总必需氨基酸(EAA)、总非必需氨基酸(NEAA)和总氨基酸(TAA)含量高于黄河和长江种群; 长江种群雄体肌肉中的 EAA、总 EAA、总 NEAA、TAA 含量最高。 (5)辽河种群性腺中存在 3 种限制性氨基酸(赖氨酸、缬氨酸和色氨酸), 且其平均必需氨基酸分(EAAS)最低; 三种种群肌肉中均无限制性氨基酸, 辽河水系 EAAS 仍然最低。综上, 不同种群中华绒螯蟹性腺发育和营养成分具有一定的差异, 这可能与发育阶段和遗传因素有关。

关键词: 中华绒螯蟹; 地理种群; 性腺发育; 可食率; 营养组成; 池塘养殖

中图分类号: S966

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)05-1117-13

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)简称河蟹, 因其味鲜肉美, 营养价值高, 已成为我国重要的养殖蟹类之一, 近几年我国成蟹养殖产量达 70 万 t 左右, 总产值超过 400 亿^[1-2]。中华绒螯蟹种群曾广泛分布于我国沿海的各大水系, 如辽河、黄河、

长江、瓯江和闽江等水系^[3-4]。自 20 世纪 60 年代以来, 由于过渡捕捞、入海和沿江河流的水闸对其洄游通道的阻挡及环境污染等原因, 野生中华绒螯蟹资源急剧下降, 因此自 20 世纪 80 年代以来, 中华绒螯蟹养殖业在我国各地蓬勃发展, 在

收稿日期: 2015-12-03; 修订日期: 2016-02-21.

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA10A409); 科技部港澳台科技合作专项项目(2014DFT30270); 科技部科技型中小企业技术创新项目(14C26213201214); 上海高校水产学高峰学科建设项目(2015-62-0908).

作者简介: 赵恒亮(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为中华绒螯蟹生态养殖与良种选育. E-mail: keyzhao539@163.com

通信作者: 吴旭干, 副教授. E-mail: xgwu@shou.edu.cn

全国大部分地区都有养殖^[5-6]。目前,我国中华绒螯蟹养殖主要集中于长江流域、黄河流域和辽河流域,分别养殖长江水系、黄河水系和辽河水系的中华绒螯蟹群体^[7],其中长江流域的养殖规模和总产量最高^[8]。

先前研究表明,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,这为水生动物品质改良和选育提供了思路^[9-11]。长江、黄河和辽河水系中华绒螯蟹是我国主要的养殖群体,迄今为止,尚未见长江、黄河和辽河水系中华绒螯蟹在相同养殖条件下其可食组织营养组成的比较研究。除了肌肉外,肝胰腺和性腺也是中华绒螯蟹重要的可食组织,因此性腺发育良好的河蟹通常具有较高的食用价值,故性腺指数和可食率也是中华绒螯蟹品质评价的重要指标^[12-13]。鉴于此,本研究采用辽河、黄河和长江种群中华绒螯蟹扣蟹,在相似条件下进行成蟹池塘养殖,首先比较了雄体成蟹的性腺指数、肝胰腺指数、出肉率、总可食率和肥满度,进一步测定和比较了 3 种可食组织(性腺、肝胰腺和肌肉)中的常规生化成分、脂肪酸和氨基酸含量,旨在为不同地理种群中华绒螯蟹种质资源评价、优异性状挖掘利用和品质育种提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验用蟹养殖和采样

长江、黄河和辽河中华绒螯蟹种群野生大眼幼体于 2013 年 6 月采自长江口(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获得,活体空运至上海海洋大学崇明基地进行扣蟹和成蟹养殖。分别选择条件相似的 4 口扣蟹实验池塘进行扣蟹培育。2014 年初,分别选择一定数量的 3 种群扣蟹,平均体重为 7 g 左右,进行成蟹池塘养殖,选用 12 只面积相等的小型室外实验池塘(实际水面长×宽=10.4 m×7.6 m)进行养殖实验,放养密度约为 1.8 只/平方米。池塘四周设有 60 cm 高的防逃围网,围网内侧顶部缝有 35 cm 高的塑料防逃板,防止实验蟹逃跑或混杂。实验期间投喂浙江欣欣饲料有限公司生产的沉性膨化饲料,随着养殖期间逐渐增大饲料粒径,粒径分别为 2.0 mm、2.5 mm 和 3.5 mm。本研究比较了三种种群中华绒螯蟹雄体的性腺发育情况和可食组织营养成分,2014 年 10 月底对三种种群进行随机采样,每口实验池塘各采集体重接近的雄体 2 只,每群体雄体共采样 8 只。用干毛巾擦干样品的体表水分后,分别测定体重、甲壳长、甲壳宽和体厚,具体见表 1。

表 1 三种种群中华绒螯蟹采样雄体的体重和形态学参数
Tab. 1 The body weight and morphological indicators of sampled male *Eriocheir sinensis* from three populations

指标 indicator	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
体重/g body weight	139.70±34.48	143.02±27.29	137.45±30.51
甲壳长/mm carapace length	57.41±4.05	57.94±3.38	56.93±3.43
甲壳宽/mm carapace width	66.06±4.47	64.96±3.79	64.74±4.26
体厚/mm body thickness	33.15±4.86	30.84±2.09	30.55±2.16

1.2 活体解剖

对三种种群中华绒螯蟹体重、甲壳长、甲壳宽和体厚测量完成后,将所有个体冷冻麻醉后进行解剖,取出全部肝胰腺、性腺和肌肉,其中雄体性腺系统包括精巢、输精管和副性腺。采用电子天平准确称重(精确到 0.001 g),称重后将所有样品保存于-40℃冰箱中待测定生化成分。依据各组织

质量和体重,分别计算肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI, %)=肝胰脏重/体重×100,性腺指数(gonadosomatic index, GSI, %)=性腺重/体重×100,出肉率(meat yield, MY, %)=肌肉重/体重×100,总可食率为肝胰腺指数、性腺指数和出肉率三者之和。肥满度的计算按照倪国彬等^[14]的方法,肥满度(relative fatness, RF, g/cm³)=体重/甲壳长³。

1.3 生化成分测定

1.3.1 常规营养成分测定 按照 AOAC^[15]的标准方法测定水分(105℃下烘干至恒重)、蛋白质(凯氏定氮法)和灰分(550℃下灼烧至恒重)含量;按 Folch 法^[16]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。

1.3.2 脂类和脂肪酸组成分析 根据 Wu 等^[17]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^[18], 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 × 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℃, 逐步程序升温到 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。

1.3.3 氨基酸分析 总氨基酸测定按照 Chen 等^[19]的方法进行测定。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, 必要时重复两次, 再加 2~5 mL 0.02 mol/L 盐酸溶解, 取 1 μL 溶解液用于氨基酸分析, 所用仪器为 Hitachi 835-50 氨基酸自动分析仪。色氨酸测定采用 10%的氢氧化钾水解, 对二甲氨基苯甲醛显色, 590 nm 测定其吸光度^[20]。甲硫氨酸和半胱氨酸测定采用过甲酸氧化水解法^[21]。按照 FAO/WHO/UNU^[22]方法计算必需氨基酸评分

(essential amino acid score, EAAS), EAAS=100×样品中必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白质中必需氨基酸含量。

1.4 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±标准差($\bar{x} \pm SD$)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 one-way ANOVA 对实验结果进行分析, 差异显著时再用 Tukey 法进行多重比较, $P < 0.05$ 认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 三种群中华绒螯蟹雄体的性腺发育及可食率

三种群中华绒螯蟹雄体的性腺指数、肝胰腺指数、出肉率、总可食率及肥满度见表 2。三种群的各指标均无显著差异($P > 0.05$)。黄河种群中华绒螯蟹的性腺指数略高; 除性腺指数外, 长江种群中华绒螯蟹的其他指标均高于另外两个种群, 特别是出肉率和总可食率比其他两个种群高 2%~3%。

2.2 三种群中华绒螯蟹可食部位的常规营养成分

三种群雄体可食部位中的常规营养成分含量如表 3 所示。就雄体性腺而言, 辽河种群性腺中蛋白质含量显著高于黄河和长江种群($P < 0.05$), 三群体性腺中其余常规营养成分含量差异不显著($P > 0.05$), 黄河种群性腺中的灰分含量略低于其他两种群。就肝胰腺而言, 长江种群的平均水分含量最低, 但蛋白质、脂肪和灰分含量相对较高,

表 2 三种群中华绒螯蟹雄体的可食组织比例和肥满度
Tab. 2 The percentage of edible tissues and relative fatness of male *Eriocheir sinensis* from three populations

指标 indicator	辽河种群	黄河种群	长江种群
	Liaohe River population	Yellow River population	Yangtze River population
性腺指数/% GSI	2.39±0.51	2.55±0.43	2.28±0.41
肝胰腺指数/% HSI	7.24±1.04	7.13±1.85	7.39±1.31
出肉率/% MY	21.42±2.41	22.22±1.22	24.24±3.51
总可食率/% total edible yield	31.05±2.66	31.38±2.35	34.01±3.68
肥满度/g/cm ³ relative fatness	0.72±0.03	0.72±0.05	0.73±0.05

表 3 三种群中华绒螯蟹雄体可食部位中常规生化成分含量(%湿重)
Tab. 3 The proximate composition in the edible parts of male *Eriocheir sinensis* from three populations(%wet weight)
n=8; $\bar{X} \pm SD$

生化成分 proximate composition	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
性腺 gonad			
水分 moisture	72.69±0.54 ^a	72.88±0.84 ^a	73.37±1.00 ^a
蛋白质 protein	18.03±0.29 ^a	16.19±0.66 ^b	15.77±0.45 ^b
脂肪 lipid	0.90±0.07 ^a	0.86±0.05 ^a	0.89±0.11 ^a
灰分 ash	1.72±0.12 ^a	1.69±0.19 ^a	1.88±0.17 ^a
肝胰腺 hepatopancreas			
水分 moisture	47.29±1.90 ^a	47.73±2.86 ^a	44.53±6.17 ^a
蛋白质 protein	8.82±0.40 ^a	8.54±0.34 ^a	8.95±1.51 ^a
脂肪 lipid	43.21±2.92 ^a	37.08±4.14 ^a	43.97±8.40 ^a
灰分 ash	1.45±0.09 ^{ab}	1.38±0.06 ^b	1.55±0.02 ^a
肌肉 muscle			
水分 moisture	79.65±0.09 ^a	79.50±0.81 ^a	79.45±0.81 ^a
蛋白质 protein	15.09±0.36 ^a	14.34±0.52 ^a	14.59±0.55 ^a
脂肪 lipid	0.98±0.03 ^a	0.93±0.01 ^b	0.96±0.03 ^{ab}
灰分 ash	1.45±0.04 ^b	1.53±0.02 ^a	1.41±0.02 ^b

注：同行数据上标中不含有相同字母表示不同种群间差异显著($P<0.05$)。
Note: Values in the same row without the same superscripts are significantly different among different populations($P<0.05$).

且灰分含量显著高于黄河种群($P<0.05$)，黄河种群肝胰腺中的脂肪含量最低；三种群肌肉中水分和蛋白质含量无显著差异($P>0.05$)，黄河种群肌肉中脂肪含量显著低于辽河种群的含量，而其灰分含量显著高于其他两种群($P<0.05$)。

2.3 三种群中华绒螯蟹可食部位的脂肪酸组成

三种群雄体性腺中的脂肪酸组成见表 4，性腺中总饱和脂肪酸(Σ SFA)百分含量占 20%左右，主要成分为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ ，三种群性腺中大部分 SFA 含量无显著差异($P>0.05$)；就雄体性腺中单不饱和脂肪酸(MUFA)而言， $C_{18:1n9}$ 含量远高于其他脂肪酸，且三种群间差异显著，黄河种群性腺中的 $C_{18:1n9}$ 含量显著高于其他两个种群($P<0.05$)，故黄河种群的总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)含量也高于辽河和长江种群；三种群成蟹性腺中多不饱和脂肪酸(PUFA)的主要成分为 $C_{20:5n3}$ (EPA) $>C_{20:4n6}$ (ARA) $>C_{18:2n6}$ (LOA) $>C_{22:6n3}$ (DHA) $>C_{22:5n3}$ (DPA) $>C_{18:3n3}$ (LNA)，三种群各主要 PUFA 含量均无显著差异($P>0.05$)，长江种群性腺中总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)、 Σ n6PUFA 和总高度不饱和脂肪酸

(Σ HUFA)含量最高，其中 Σ PUFA 含量显著高于黄河种群的含量($P<0.05$)。

3 种群成蟹雄体肝胰腺中 SFA 主要包括 $C_{14:0}$ 、 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ ， Σ SFA 含量均在 22%左右，其中 $C_{16:0}$ 含量占 Σ SFA 含量的 80%以上，三种群肝胰腺中仅 $C_{18:0}$ 含量有显著差异，其余 SFA 含量均无显著差异；肝胰腺中 MUFA 主要成分为 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 和 $C_{16:1}$ ，其中 $C_{18:1n9}$ 含量远高于其他脂肪酸含量，长江种群的 $C_{18:1n9}$ 和 Σ MUFA 含量均高于其他两个种群；肝胰腺中 PUFA 的主要成分为 LOA (19%~20%)、DHA(4%~5%)和 EPA(2%~3%)，LNA 和 ARA 的百分比含量相对较低，均小于 3%，三种群肝胰腺中主要 PUFA 含量无显著差异($P>0.05$)，各群体肝胰腺中 Σ PUFA 和 Σ HUFA 含量分别为 30%和 7%~9%(表 5)。

三种群雄体肌肉中脂肪酸组成见表 6，肌肉中 SFA 主要为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ ，其中辽河种群肌肉中 $C_{16:0}$ 含量最高， $C_{18:0}$ 含量相对较低，但是和其他两个种群间无显著差异；肌肉中 MUFA 主要脂肪酸为 $C_{18:1n9}$ ，百分含量占总脂肪酸的 20%以上，

表 4 三种群中华绒螯蟹雄体性腺中的主要脂肪酸组成
Tab. 4 The fatty acid composition in gonad of male *Eriocheir sinensis* from three populations

n=8; $\bar{X} \pm \text{SD}$; %总脂肪酸 % total fatty acids			
脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
C _{14:0}	0.32±0.10 ^a	0.33±0.10 ^a	0.25±0.11 ^a
C _{15:0}	1.12±0.37 ^a	0.33±0.19 ^b	0.47±0.26 ^{ab}
C _{16:0}	9.92±0.92 ^a	10.47±0.94 ^a	9.45±0.84 ^a
C _{17:0}	0.45±0.04 ^a	0.36±0.04 ^b	0.32±0.05 ^b
C _{18:0}	7.64±0.34 ^a	7.22±0.43 ^a	7.55±0.49 ^a
C _{20:0}	0.34±0.07 ^a	0.31±0.09 ^a	0.37±0.03 ^a
C _{22:0}	0.30±0.05 ^b	0.48±0.09 ^a	0.34±0.04 ^b
ΣSFA	20.10±0.60 ^a	19.51±0.31 ^a	18.76±1.17 ^a
C _{16:1}	2.24±0.63 ^a	3.71±0.54 ^a	2.10±0.29 ^a
C _{18:1n9}	18.87±0.65 ^b	21.86±0.50 ^a	19.56±0.84 ^b
C _{18:1n7}	3.47±0.27 ^a	3.54±0.49 ^a	3.97±0.39 ^a
C _{20:1n9}	1.84±0.16 ^a	1.80±0.30 ^a	1.88±0.22 ^a
C _{20:1n7}	0.64±0.05 ^a	0.68±0.15 ^a	0.69±0.03 ^a
C _{22:1n9}	0.27±0.10 ^a	0.30±0.01 ^a	0.22±0.04 ^a
ΣMUFA	27.59±1.02 ^b	32.12±1.19 ^a	28.58±0.54 ^{ab}
C _{18:2n6}	10.02±1.29 ^a	10.31±1.49 ^a	9.95±1.51 ^a
C _{18:3n3}	1.07±0.19 ^a	1.00±0.36 ^a	0.98±0.22 ^a
C _{20:4n6}	11.03±1.49 ^a	10.05±0.40 ^a	12.23±2.24 ^a
C _{20:5n3}	17.90±2.42 ^a	15.57±1.05 ^a	17.45±0.92 ^a
C _{22:5n3}	1.40±0.12 ^a	2.22±0.74 ^a	2.28±0.56 ^a
C _{22:6n3}	6.94±0.81 ^a	6.89±0.22 ^a	7.18±0.35 ^a
ΣPUFA	48.35±1.25 ^{ab}	46.04±0.08 ^b	50.08±1.70 ^a
Σn3PUFA	25.91±1.38 ^a	23.45±0.91 ^a	25.61±0.73 ^a
Σn6PUFA	21.04±0.71 ^a	20.36±1.21 ^a	22.18±0.64 ^a
n3/n6	1.23±0.09 ^a	1.15±0.03 ^a	1.15±0.03 ^a
ΣHUFA	35.86±2.42 ^a	32.51±0.98 ^a	36.86±2.67 ^a
DHA/EPA	0.39±0.07 ^a	0.44±0.02 ^a	0.41±0.02 ^a

注: 同行数据上标中含有不相同字母表示不同种群间差异显著($P < 0.05$); 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 among different populations ($P < 0.05$); the fatty acid with more than 0.3% of total fatty acids is shown in the table.

表 5 三种群中华绒螯蟹雄体肝胰腺中的主要脂肪酸组成
Tab. 5 The fatty acid composition in hepatopancreas of male *Eriocheir sinensis* from three populations

n=8; $\bar{X} \pm \text{SD}$; %总脂肪酸 % total fatty acids			
脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
C _{14:0}	1.20±0.13 ^a	1.09±0.07 ^a	1.03±0.30 ^a
C _{15:0}	0.30±0.06 ^a	0.33±0.09 ^a	0.31±0.10 ^a
C _{16:0}	18.24±1.87 ^a	19.06±0.92 ^a	19.28±0.77 ^a
C _{17:0}	0.23±0.06 ^a	0.31±0.11 ^a	0.29±0.03 ^a
C _{18:0}	2.49±0.09 ^a	2.02±0.11 ^b	2.24±0.38 ^{ab}
ΣSFA	22.58±1.73 ^a	22.90±1.07 ^a	23.27±0.35 ^a
C _{16:1}	6.92±1.78 ^a	5.96±0.60 ^a	5.83±1.57 ^a
C _{17:1}	0.48±0.10 ^a	0.39±0.04 ^a	0.41±0.08 ^a
C _{18:1n9}	30.29±1.40 ^a	31.71±2.84 ^a	34.84±6.43 ^a

(待续 to be continued)

(续表 5 Tab. 5 continued)

脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
C _{18:1n7}	3.15±0.31 ^a	2.30±0.39 ^b	2.68±0.28 ^{ab}
C _{20:1n9}	0.78±0.09 ^a	0.84±0.30 ^a	1.09±0.29 ^a
C _{20:1n7}	0.48±0.17 ^a	0.35±0.18 ^a	0.66±0.06 ^a
ΣMUFA	43.32±1.70 ^a	41.73±3.11 ^a	45.66±4.43 ^a
C _{18:2n6}	19.37±4.28 ^a	20.73±2.34 ^a	19.02±2.21 ^a
C _{18:3n3}	2.92±0.64 ^a	2.64±0.39 ^a	2.13±0.77 ^a
C _{20:4n6}	1.13±0.25 ^a	1.10±0.41 ^a	1.12±0.30 ^a
C _{20:5n3}	3.08±0.36 ^a	2.49±0.49 ^a	2.15±0.88 ^a
C _{22:6n3}	5.02±0.28 ^a	4.32±0.71 ^a	4.25±0.81 ^a
ΣPUFA	31.51±3.27 ^a	31.29±2.92 ^a	28.68±3.61 ^a
Σn3PUFA	11.02±0.40 ^a	9.45±1.20 ^a	8.53±2.11 ^a
Σn6PUFA	20.50±3.54 ^a	21.84±1.81 ^a	20.15±1.94 ^a
n3/n6	0.54±0.15 ^a	0.43±0.03 ^a	0.42±0.08 ^a
ΣHUFA	9.23±0.65 ^a	7.91±0.90 ^a	7.52±1.69 ^a
DHA/EPA	1.63±0.16 ^a	1.73±0.24 ^a	1.98±0.44 ^a

注: 同行数据上标中含有不相同字母表示不同种群间差异显著($P<0.05$); 表中仅列出含量大于 0.3% 的数据。

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

表 6 三种群中华绒螯蟹雄体肌肉中的主要脂肪酸组成

Tab. 6 The fatty acid composition in muscle of male *Eriocheir sinensis* from three populations $n=8$; $\bar{x} \pm SD$; %总脂肪酸 % total fatty acids

脂肪酸 fatty acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
C _{16:0}	11.69±0.23 ^a	11.01±0.01 ^b	11.17±0.12 ^{ab}
C _{18:0}	5.72±0.39 ^a	5.90±0.18 ^a	5.96±0.30 ^a
ΣSFA	17.62±0.19 ^a	17.09±0.41 ^a	17.32±0.19 ^a
C _{16:1}	1.41±0.07 ^a	1.31±0.17 ^a	1.22±0.29 ^a
C _{18:1n9}	21.13±1.41 ^a	20.11±0.73 ^a	21.53±0.88 ^a
C _{18:1n7}	2.64±0.12 ^a	2.47±0.05 ^a	2.49±0.21 ^a
C _{20:1n9}	1.74±0.08 ^a	1.80±0.10 ^a	1.75±0.10 ^a
ΣMUFA	23.37±1.13 ^a	26.15±0.61 ^a	27.45±0.38 ^a
C _{18:2n6}	11.45±0.45 ^a	12.36±1.24 ^a	11.22±0.58 ^a
C _{18:3n3}	0.38±0.01 ^b	1.12±0.30 ^a	0.84±0.21 ^a
C _{20:4n6}	4.83±0.65 ^a	5.22±0.31 ^a	5.11±0.35 ^a
C _{20:5n3}	22.50±0.36 ^b	23.70±0.86 ^a	23.30±0.42 ^{ab}
C _{22:6n3}	11.19±0.15 ^a	11.12±0.47 ^a	11.66±0.73 ^a
ΣPUFA	50.35±0.81 ^c	53.52±0.29 ^a	52.13±0.73 ^b
Σn3PUFA	34.07±0.70 ^b	35.95±0.88 ^a	35.80±0.61 ^a
Σn6PUFA	16.28±0.77 ^a	17.57±0.91 ^a	16.33±0.80 ^a
n3/n6	2.09±0.11 ^a	2.05±0.15 ^a	2.19±0.12 ^a
ΣHUFA	38.52±0.76 ^a	40.04±1.21 ^a	40.07±0.53 ^a
DHA/EPA	0.50±0.01 ^a	0.47±0.01 ^a	0.50±0.03 ^a

注: 同行数据上标中含有不相同字母表示不同种群间差异显著($P<0.05$); 表中仅列出含量大于 0.3% 的数据。

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

三种群中华绒螯蟹肌肉中各 MUFA 含量差异均不显著; 肌肉中 PUFA 的主要成分为 EPA (C_{20:5n3})、LOA (C_{18:2n6})和 DHA (C_{22:6n3}), 含量均大于 10%, 三种群肌肉中仅 EPA 和 LNA (C_{18:3n3})含量有显著差异, 黄河群体这两种脂肪酸显著高于辽河群体($P<0.05$)。

2.4 三种群雄蟹可食部位的氨基酸组成

三种群雄体性腺中氨基酸组成见表 7, 性腺中共检测出 19 种氨基酸, 其中人体必需的氨基酸 (EAA)10 种。10 种 EAA 中含量高于 5 mg/g(湿重)的有 7 种, 含量由高到低依次为苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、缬氨酸, 半胱氨酸和色氨酸含量较低, 色氨酸含量仅为 1.7 mg/g 湿重。就三种群雄体性腺中必需氨基酸

含量而言, 辽河种群性腺中的蛋氨酸和半胱氨酸含量显著高于其他两种群($P<0.05$), 而长江种群的缬氨酸含量显著高于辽河种群和黄河种群($P<0.05$), 整体上, 辽河种群的总 EAA 含量显著高于黄河种群($P<0.05$), 长江种群含量居于两者之间。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>脯氨酸>天冬氨酸>丙氨酸, 这 4 种氨基酸含量占 NEAA 总含量的 70%以上; 辽河种群性腺中的谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸的含量显著高于长江种群或黄河种群($P<0.05$), 整体上, 辽河种群性腺的总 NEAA 和总氨基酸(TAA)含量略高于黄河和长江种群, 但差异不显著($P>0.05$)。

表 7 三种群中华绒螯蟹雄体性腺中的主要氨基酸组成
Tab. 7 The amino acids contents in gonad of male *Eriocheir sinensis* from three populations

$n=8; \bar{X} \pm SD; \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 湿重 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ wet weight

氨基酸 amino acid	辽河种群 Liaoh River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
异亮氨酸 isoleucine	9.14±0.13 ^a	8.93±0.17 ^a	8.83±0.16 ^a
亮氨酸 leucine	12.18±0.11 ^a	11.91±0.14 ^a	11.92±0.23 ^a
赖氨酸 lysine	7.35±0.14 ^a	7.30±0.17 ^a	7.59±0.08 ^a
蛋氨酸 methionine	1.79±0.00 ^a	1.45±0.08 ^b	1.52±0.06 ^b
半胱氨酸 cystine	4.12±0.14 ^a	3.58±0.07 ^b	3.58±0.20 ^b
苯丙氨酸 phenylalanine	6.23±0.07 ^a	6.13±0.08 ^a	6.15±0.21 ^a
酪氨酸 tyrosine	5.77±0.10 ^a	5.68±0.12 ^a	5.58±0.12 ^a
苏氨酸 threonine	13.33±0.04 ^a	13.14±0.27 ^a	12.97±0.28 ^a
缬氨酸 valine	5.62±0.08 ^b	5.64±0.08 ^b	5.98±0.01 ^a
色氨酸 tryptophan	1.76±0.03 ^a	1.76±0.03 ^a	1.80±0.00 ^a
必需氨基酸 EAA	67.29±0.47 ^a	65.51±1.08 ^b	65.90±0.79 ^{ab}
天冬氨酸 aspartic acid	18.82±0.29 ^a	18.57±0.13 ^a	18.33±0.56 ^a
丝氨酸 serine	7.23±0.05 ^a	7.12±0.05 ^a	7.23±0.18 ^a
谷氨酸 glutamic acid	20.99±0.26 ^a	20.65±0.09 ^{ab}	20.61±0.13 ^b
甘氨酸 glycine	6.05±0.11 ^a	5.86±0.00 ^b	5.94±0.03 ^{ab}
丙氨酸 alanine	10.37±0.27 ^a	9.88±0.09 ^b	9.94±0.14 ^b
组氨酸 histidine	5.18±0.09 ^b	5.29±0.02 ^{ab}	5.72±0.42 ^a
精氨酸 arginine	6.91±0.20 ^{ab}	6.77±0.09 ^b	7.13±0.11 ^a
脯氨酸 proline	20.06±0.47 ^a	19.77±0.36 ^{ab}	19.11±0.42 ^b
牛磺酸 taurine	0.93±0.03 ^a	0.85±0.06 ^a	1.07±0.23 ^a
非必需氨基酸 NEAA	96.53±0.83 ^a	94.76±0.65 ^a	95.09±1.50 ^a
总氨基酸 TAA	163.82±1.31 ^a	160.27±1.73 ^a	161.00±2.28 ^a
EAA/TAA	0.41±0.00 ^a	0.41±0.00 ^a	0.41±0.00 ^a

注: 同行数据上标中不含有相同字母表示不同种群差异显著($P<0.05$).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different among different populations ($P < 0.05$); EAA means essential fatty acids; NEAA means no-essential fatty acids; TAA means total amino acids.

三种群雄蟹肌肉中的氨基酸组成见表 8, 肌肉 EAA 中亮氨酸和赖氨酸含量较高(大于 10 mg/g 湿重), 蛋氨酸、半胱氨酸和色氨酸含量较低, 均小于 3 mg/g 湿重。就不同种群肌肉中 EAA 含量而言, 长江种群雄体肌肉中的 EAA 含量最高, 黄河种群雄体肌肉中的 EAA 含量最低, 其中长江种群肌肉中的亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸和色氨酸的含量显著高于黄河种群 ($P<0.05$), 故长江种群雄体肌肉中总 EAA 含量显著高于黄河种群($P<0.05$)。NEAA 中牛磺酸和组氨酸含量较低, 其余氨基酸含量均大于 5 mg/g 湿重, 长江种群肌肉中天冬氨酸、丝氨酸、组氨酸和精氨酸含量显著高于黄河种群($P<0.05$); 整体上, 黄河种群雄体肌肉中总 NEAA 和 TAA 含量显著

低于辽河和长江种群($P<0.05$)。

参照 FAO/WHO/UNU 的标准对三种群中华绒螯蟹雄性性腺和肌肉中必需氨基酸评分(EAAS)进行评价(表 9), 辽河种群雄体性腺和肌肉中大部分 EAAS 都低于其他两种群, 长江种群和黄河种群间各 EAAS 的差别不大。就性腺而言, 辽河种群的赖氨酸、缬氨酸和色氨酸的 EAAS 均低于 100, 是其限制性氨基酸, 其他两种群仅赖氨酸为限制性氨基酸; 三种群雄体肌肉中 EAAS 均高于 100, 无限制性氨基酸。

3 讨论

3.1 三种群雄体性腺发育、可食率和肥满度的比较
性腺、肝胰腺和肌肉为中华绒螯蟹的三大可

表 8 三种群中华绒螯蟹雄体肌肉中的主要氨基酸组成
Tab. 8 The amino acids contents in muscle of male *Eriocheir sinensis* from three populations
 $n=8$; $\bar{X} \pm SD$; $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 湿重 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ wet weight

氨基酸 amino acid	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
异亮氨酸 isoleucine	6.33±0.17 ^a	6.02±0.12 ^a	6.36±0.16 ^a
亮氨酸 leucine	10.40±0.21 ^{ab}	9.95±0.21 ^b	10.59±0.23 ^a
赖氨酸 lysine	10.38±0.24 ^{ab}	9.98±0.18 ^b	10.79±0.23 ^a
蛋氨酸 methionine	2.97±0.21 ^a	2.72±0.26 ^a	2.98±0.18 ^a
半胱氨酸 cystine	1.85±0.24 ^a	2.03±0.18 ^a	2.06±0.11 ^a
苯丙氨酸 phenylalanine	5.76±0.16 ^{ab}	5.51±0.14 ^b	5.93±0.13 ^a
酪氨酸 tyrosine	5.90±0.17 ^a	5.64±0.06 ^a	6.02±0.23 ^a
苏氨酸 threonine	6.23±0.13 ^{ab}	5.99±0.05 ^b	6.39±0.14 ^a
缬氨酸 valine	6.51±0.16 ^{ab}	6.21±0.11 ^b	6.58±0.15 ^a
色氨酸 tryptophan	1.65±0.01 ^b	1.65±0.02 ^b	1.75±0.02 ^a
必需氨基酸 EAA	57.98±1.49 ^{ab}	55.70±0.89 ^b	59.44±1.25 ^a
天冬氨酸 aspartic acid	13.01±0.32 ^{ab}	12.58±0.27 ^b	13.42±0.28 ^a
丝氨酸 serine	5.51±0.13 ^{ab}	5.30±0.05 ^b	5.73±0.14 ^a
谷氨酸 glutamic acid	21.71±0.45 ^a	20.77±0.73 ^a	21.90±0.33 ^a
甘氨酸 glycine	9.65±0.32 ^a	9.49±0.31 ^a	9.59±0.68 ^a
丙氨酸 alanine	10.17±0.19 ^a	9.90±0.39 ^a	10.13±0.23 ^a
组氨酸 histidine	4.49±0.13 ^{ab}	4.39±0.05 ^b	4.73±0.61 ^a
精氨酸 arginine	12.57±0.39 ^{ab}	11.55±0.95 ^b	13.27±0.32 ^a
脯氨酸 proline	7.82±1.20 ^a	8.04±0.29 ^a	7.93±0.61 ^a
牛磺酸 taurine	1.14±0.05 ^a	1.04±0.09 ^a	1.03±0.06 ^a
非必需氨基酸 NEAA	86.06±0.56 ^a	83.05±1.15 ^b	87.43±0.49 ^a
总氨基酸 TAA	144.04±2.05 ^a	138.75±2.03 ^b	147.17±1.54 ^a
EAA/TAA	0.40±0.00 ^a	0.40±0.00 ^a	0.40±0.00 ^a

注: 同行数据上标中不含有相同字母表示不同种群差异显著($P<0.05$).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different among different populations ($P < 0.05$); EAA means essential fatty acids; NEAA means no-essential fatty acids; TAA means total amino acids.

表 9 三种群中华绒螯蟹雄体性腺和肌肉的必需氨基酸评分
Tab. 9 The essential amino acids score (EAAS) of gonad and muscle of male *Eriocheir sinensis* from three populations
mg·g⁻¹ 湿重 mg·g⁻¹ wet weight

必需氨基酸 essential amino acid	性腺 gonad			肌肉 muscle		
	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population	辽河种群 Liaohe River population	黄河种群 Yellow River population	长江种群 Yangtze River population
异亮氨酸 isoleucine	181	199	197	151	154	151
亮氨酸 leucine	103	113	113	105	108	107
赖氨酸 lysine	70	79	82	119	123	124
蛋氨酸+半胱氨酸 methionine+cystine	131	126	128	129	136	135
苯丙氨酸+酪氨酸 phenylalanine+tyrosine	106	117	116	123	126	126
苏氨酸 threonine	218	242	238	122	126	125
缬氨酸 valine	89	101	106	125	127	125
色氨酸 tryptophan	89	100	102	100	107	106
平均值 mean	123	134	135	122	126	125

注: EAAS=100×样品中某必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白质中必需氨基酸含量(FAO/WHO/UNU, 1985).
Note: EAAS=100×one essential fatty acid content in sample/one essential fatty acid content in FAO reference protein.

食组织, 性腺发育好坏直接影响着膏蟹品质和经济价值^[17]。本研究结果表明, 10 月底三种群中华绒螯蟹雄体的性腺指数和肝胰腺指数并无显著差异, 这说明三种群中华绒螯蟹 10 月底性腺发育状况并无显著差异。先前研究表明, 在长江流域相同/相似的养殖条件下, 辽河种群中华绒螯蟹的生殖蜕壳时间早于长江种群, 故性腺发育时间也早于长江种群, 但到 10 月底, 长江群体和辽河群体雄体的性腺指数并无显著差异^[23], 这可能是因为长江水系雄体后期性腺发育较快。有关黄河种群中华绒螯蟹在池塘养殖条件下生长和性腺发育的研究极少, 最新的研究结果表明, 尽管 10 月底三种群性腺指数无显著差异, 但是其生殖蜕壳时间由早到晚依次是辽河种群、黄河种群、长江种群^[24], 这为中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系培育提供了基础资料和育种材料。尽管长江种群成体雄蟹的出肉率和肥满度略高于其他两个种群, 但由于同一种群不同个体间的差异较大, 三者并无显著差异, 今后需进一步增加样本量, 对三者的出肉率和肥满度进行比较。通常认为长江种群中华绒螯蟹身体较厚, 肥满度高, 故肥满度和出肉率比辽河水系中华绒螯蟹高^[25], 这可能与辽河水系中华绒螯蟹混有日本绒螯蟹的基因有关, 而日本绒螯蟹的出肉率略低于中华绒螯蟹^[13]。整体上,

三种群中华绒螯蟹的可食率、肥满度的差异不显著, 长江种群略高于其他两种群, 说明长江流域池塘养殖的长江种群雄体食用价值较高。

3.2 三种群雄体可食组织中常规营养成分含量的比较

可食组织中的生化组成是评价水产品营养价值的重要指标^[26], 其营养组成受遗传因素、发育阶段、养殖环境和饵料种类等多种因素影响^[27-29]。本研究结果表明, 在相似的养殖条件和相同饵料条件下, 辽河种群中华绒螯蟹雄体性腺中的蛋白质含量显著高于其他两种群, 这可能是由于辽河种群雄体性腺发育快于其他两个种群, 蛋白质是雄体性腺中含量最高的常规营养成分^[30]。先前的研究表明, 池塘养殖长江种群中华绒螯蟹雄体到 12 月中下旬性腺发育才完全成熟, 此时性腺指数高达 3.5%左右^[1], 本研究样品采自 10 月底, 此时长江种群雄体性腺指数仅为 2.28%, 尚未达到成熟, 因此性腺继续发育, 其蛋白质含量可能会进一步上升。肝胰腺是甲壳动物储存营养物质消化和储存器官^[27, 31], 性腺发育过程中肝胰腺中储存的营养物质可能会向性腺转移^[32]。本研究长江种群雄体肝胰腺中的水分含量较低, 而其他营养成分略高于其他两种群, 这可能暗示长江种群雄体性腺发育成熟时间较晚, 因此肝胰腺中的营养

物质含量较高。整体上,三种种群雄体肌肉中的常规营养成分较接近,这是因为肌肉中的常规营养成分含量比较稳定,不容易受到种群和饵料条件影响^[12, 24]。三种群肌肉中的脂肪和灰分含量存在显著差异,可能与其遗传或发育阶段有关,具体原因有待进一步深入研究。

3.3 三种种群雄体可食组织中脂肪酸和氨基酸含量的比较

必需脂肪酸和必需氨基酸组成是评价水产品营养品质的重要依据^[12, 17],其含量和组成受遗传和环境因素协同调控^[28]。在相似的养殖环境下,三种种群中华绒螯蟹雄体性腺、肝胰腺和肌肉中大部分脂肪酸百分含量接近,无显著差异,这说明三种种群中华绒螯蟹的脂肪酸营养价值接近。对中华绒螯蟹肌肉和雄体性腺而言,其脂肪酸组成不易受到饵料和环境条件的影响,因为这些组织中主要含有磷脂,磷脂为重要脂肪酸组成,如ARA(C_{20:4n6})、EPA(C_{20:5n3})和DHA(C_{22:6n3}),较稳定的脂肪酸组成才能维持这些组织中的正常生理功能^[12, 33]。相对而言,肝胰腺中的脂肪酸组成容易受到饵料中脂肪酸组成的影响^[29]。本研究中辽河种群肝胰腺中的DHA和EPA略高于长江种群和黄河种群肝胰腺,这可能是因为后两者性腺还处于快速发育时期,肝胰腺中有限的DHA和EPA被转运到性腺中去了。食品中n-3/n-6比值、SFA、MUFA和PUFA之比(S:M:P)和HUFA组成和含量是评价其脂肪酸营养价值的重要指标^[17, 34-35],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^[35],食品中MUFA和n-3PUFA含量越高越有利于人体健康。本研究结果表明三群体各可食部位的n-3/n-6比值均大于0.4, MUFA和PUFA含量远高于SFA,且雄体肌肉和性腺中均含有较高比例的HUFA,因此中华绒螯蟹雄体各可食组织均具有较高的脂肪酸营养价值,且雄体性腺和肌肉的脂肪酸营养价值优于肝胰腺。

必需氨基酸评分(EAAS)是评价水产品氨基酸营养价值的重要指标,食品中某种氨基酸的EAAS大于100说明该氨基酸是食品中非限制性氨基酸,EAAS越高说明该氨基酸的营养价值越

高^[22]。尽管辽河种群雄体性腺中总蛋白质含量显著高于其他两种群,但其性腺中存在三种限制性氨基酸,这可能与其性腺发育更加成熟有关,性腺发育过程中非必需氨基酸的含量可能增加较快,故其性腺中的水分含量相对较低,干物质中的总蛋白含量较高,但某些必需氨基酸占总蛋白的比例有所下降。辽河种群雄体性腺中的赖氨酸、缬氨酸和色氨酸的EAAS低于黄河和长江种群,也可能与其遗传特性有关,先前研究也表明不同种群或品系水生动物在相同的养殖条件下养殖,其氨基酸组成可能存在部分差异^[10, 36]。长江种群肌肉中的EAA和NEAA均显著高于黄河种群,其平均EAAS也高于辽河种群,这说明长江种群雄体肌肉的氨基酸营养价值最高,这为中华绒螯蟹的品质育种提供了思路。

综上,在相似/相同条件下,辽河种群中华绒螯蟹雄体的性腺指数及性腺中蛋白质含量显著高于长江和黄河种群,三种群性腺C_{18:1n9}、肝胰腺C_{18:0}和C_{18:1n7}、肌肉C_{20:5n3}含量存在显著差异;三种群肌肉和性腺中的氨基酸组成接近,但长江和黄河种群的必需氨基酸分略高于辽河种群。三种种群雄体的营养品质差异可能也与遗传和发育阶段有关,进一步研究需要探明中华绒螯蟹重要营养品质的遗传力,从而为其品质育种供理论支撑。

参考文献:

- [1] He J, Wu X G, Cheng Y X, 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.
- [2] Chinese Fishery Statistical Yearbook: 2014[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014: 56-58. [农业部渔业渔政管理局. 2014年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 56-58.]
- [3] Xu J W, Ren R M, 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. [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.]

- [4] 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]. Mar Biol, 2009, 156: 1573–1583.
- [5] 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]. Rev Fish Sci, 2008, 16(1-3): 377–384.
- [6] Sui L Y, Wille M, Cheng Y X, et al. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2011, 315: 16–19.
- [7] 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. [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.]
- [8] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological Culture of Chinese Mitten Crab Aquaculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013. [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.]
- [9] Neira R, Lhorente J P, Araneda C, et al. Studies on carcass quality traits in two populations Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters[J]. Aquaculture, 2004, 241: 117–131.
- [10] 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. [李祥云, 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.]
- [11] 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. [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.]
- [12] 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]. Aquac Res, 2007, 38: 1459–1467.
- [13] Wu X G, Long X W, Cheng Y X, 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. [吴旭干, 龙晓文, 成永旭, 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.]
- [14] 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 Edition, 2015, 34(2): 125–131. [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.]
- [15] AOAC. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists[M]. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [16] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497–509.
- [17] 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]. J Food Compos Anal, 2010, 23: 154–159.
- [18] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol[J]. J Lipid Res, 1964, 5(4): 600–608.
- [19] Chen D W, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chem, 2007, 103(4): 1343–1349.
- [20] Matheson N A. The determination of tryptophan in purified proteins and in feeding-stuffs[J]. Brit J Nutr, 1974, 31(3): 393–400.
- [21] Spindler M, Stadler R, Tanner H. Amino acid analysis of feedstuffs: determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis[J]. J Agricult Food Chem, 1984, 32(6): 1366–1371.
- [22] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization technical report series 724[R]. Geneva: WHO, 1985.
- [23] Li Y S, Guo Y. Comparative study on gonadosomatic and hepatosomatic index Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) populations from the Yangtze River and Liaohe River[J]. Reservoir Fisheries, 2001, 21(1): 10–12. [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.]
- [24] Lu Y. Comparative studies on morphological characters, biochemical composition and culture performance of each Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from three river system[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [卢义. 三水系中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)形态特征、生化组成和养殖性能的比较研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [25] Wang W, Xu C, Zhang W B, et al. Comparative studies on morphological differences among four local populations of

- mitten crab[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(6): 648–653. [王武, 徐灿, 张文博, 等. 四个地方种群绒螯蟹形态差异的比较研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 648–653.]
- [26] 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: 65–79.
- [27] 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. [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.]
- [28] Grahal-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]. Biochem System Ecol, 2010, 38(4): 478–488.
- [29] Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival and growth of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Aquac Res, 2011, 42(3): 457–468.
- [30] 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 Ocean University, 2000, 9(3): 189–193. [李应森, 李思发, 徐广友, 等. 长江种群和辽河种群中华绒螯蟹网围养殖性能的比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2000, 9(3): 189–193.]
- [31] Vogt G, Storch V, Quintio E T, et al. Midgut gland as monitor organ for the nutritional value of the diets in *Penaeus monodon*(Decapoda)[J]. Aquaculture, 1985, 48: 1–12.
- [32] Teng W M, Wu X G, Cheng Y X, 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 Ocean University, 2008, 17(1): 65–71. [滕伟鸣, 吴旭干, 成永旭, 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]. 上海海洋大学学报, 2008, 17(1): 65–71.]
- [33] 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]. Arch Int Physiol Biochim, 1978, 86: 393–401.
- [34] 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.
- [35] Sun Y M. Food Nutrition[M]. Beijing: Science Press, 2006. [孙远明. 食品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.]
- [36] Hoffman L C, Prinsloo J F, Theron J, et al. The genotypic influence of four strains of *Clarias gariepinus* on the larvae body proximate, total lipid fatty acid, amino acid and mineral composition[J]. Comp Biochem Physiol B: Comp Biochem, 1995, 110(3): 589–597.

Nutritional composition of cultured adult male *Eriocheir sinensis* from Yangtze River, Yellow River and Liaohe River

ZHAO Hengliang^{1,2}, WU Xugan¹, LONG Xiaowen^{1,2}, HE Jie^{1,2}, JIANG Xiaodong¹, LIU Naigeng³, CHENG Yongxu^{1,2}

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: The Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, is one of the most important aquaculture species in China, with a commercial yield of 729 900 tons in 2013. The main culture areas are located in three main drainage basins, i.e., the Liaohe River, the Huanghe River, and the Yangtze River. The Yangtze delta is the largest culture area among the three drainage basins. Although pond-reared populations of *E. sinensis* originated from their native habitats, i.e., the Liaohe River, Yellow River and Yangtze River, the Yangtze River population generally has the

largest body size of adult crabs, the best growth performance, and superior taste among the three populations. To date, however, it is unclear whether there are any differences in gonadal development and nutritional composition of adult male *E. sinensis* among the three populations when they are cultured under similar pond conditions. In this study, we analyzed the gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), meat yield (MY), total edible yield (TEY), and relative fatness (RF) of pond-cultured male *E. sinensis*, comparing the Yangtze River, Yellow River, and Liaohe River populations. Then, the proximate composition, fatty acids and amino acids composition, and essential amino acid score were compared among the three edible parts (gonad, hepatopancreas, and muscle). The results showed that the GSI was slightly higher in the Yellow River population than in the other populations, while the Yangtze River population had higher HSI, MY, TEY, and RF than those of the other two populations. However, there were no significant differences in these indicators among the three populations. The protein content in the gonad was significantly higher in the Liaohe River population than in the other two populations ($P<0.05$), but moisture, lipid, and ash contents did not differ significantly among the three populations. The hepatopancreas of the Yangtze population had the lowest moisture content, but had higher protein, lipid, and ash contents than those of the other two populations. Compared with the Liaohe River population, the Yellow River population had significantly lower lipid content in the muscle ($P<0.05$). The ash content in the muscle was significantly higher in the Yellow River population than in the other two populations ($P<0.05$). The moisture and protein contents in muscle did not differ significantly among the three populations. The polyunsaturated fatty acids (PUFA) levels in the gonad were similar among the three populations, and the Yangtze population had the highest percentage of Σ PUFA, Σ n6PUFA, and total highly unsaturated fatty acid (HUFA) among the three populations. For the hepatopancreas, the percentages of all PUFAs, Σ PUFA, and Σ HUFA were similar among the three populations. Compared with the Liaohe River population, the Yellow River population had significantly higher levels of $C_{18:3n3}$ (LNA) and $C_{20:5n3}$ (EPA) in the muscle ($P<0.05$). The Liaohe River population had significantly higher methionine and cysteine contents in the gonad, compared with the other two populations ($P<0.05$), and the highest contents of total essential amino acids (Σ EAA), total nonessential amino acids (Σ NEAA), and total amino acids (TAA) in the gonad. Among the three populations, the Yangtze population had the highest Σ EAA, Σ NEAA, and TAA contents in the muscle. Lysine, valine, and tryptophan were the limited amino acids in the gonad of the Liaohe River population. This population had the lowest mean essential amino acid score (EAAS) for the gonad among the three populations. In all three populations, the muscle of male crabs contained balanced amino acids and no amino acids were limiting. Together, these results suggest that there are differences in gonadal development and nutritional composition among the three populations, and that these differences may be related to different developmental stages and genetic factors.

Key words: *Eriocheir sinensis*; geographical population; gonadal development; edible yield; nutritional composition; pond culture

Corresponding author: WU Xugan. E-mail: xgwu@shou.edu.cn