

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)野生和养殖蟹种对池塘养殖成蟹可食率和营养品质的影响研究*

何杰^{1,2} 吴旭干^{1,3} 龙晓文^{1,3} 赵恒亮^{1,3} 姜晓东^{1,3}
王幼鹏⁴ 成永旭^{1,3}

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306; 2. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所 舟山 316002; 3. 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; 4. 宿迁旭邦水产科技有限公司 泗洪 223900)

摘要 长江水系野生中华绒螯蟹(以下简称河蟹)蟹种比经过多代人工养殖的池塘群体蟹种具有更好的养殖性能,尚不清楚两种蟹种养成后成蟹的可食率及其营养品质是否存在差异。本研究采用养殖实验和生化分析方法,比较了长江水系野生和养殖蟹种经池塘养成成蟹的可食率、肥满度、常规生化成分、脂肪酸和氨基酸组成。结果显示:(1)在相似的体重条件下,野生群体成蟹的肝胰腺指数极显著高于养殖群体($P<0.01$),性腺指数显著低于养殖群体($P<0.05$),两群体间的出肉率、总可食率及肥满度无显著差异($P>0.05$);(2)两群体成蟹肝胰腺和性腺中的常规营养组成接近,但野生群体雄体肝胰腺和性腺中的碳水化合物含量显著高于养殖群体雄体($P<0.05$);无论雌体还是雄体,野生群体肌肉中的粗蛋白含量显著低于养殖群体,但野生雄体肌肉中的粗脂肪含量和雌体肌肉中的碳水化合物显著高于后者($P<0.05$);(3)就野生雌体脂肪酸组成而言,野生群体成蟹肝胰腺、卵巢和肌肉中的 C18:1n9 含量显著高于养殖群体雌体,但其 C20:5n3、C22:6n3、 Σ PUFA 和 Σ HUFA 显著低于后者;就雄体而言,野生群体成蟹三种可食组织中的 C18:2n6 高于养殖群体,但其 C20:5n3 和 C20:4n6 低于养殖群体;整体上,肌肉中的 HUFA 含量显著高于肝胰腺和性腺;(4)就氨基酸组成而言,两群体雌体和雄体性腺中的氨基酸含量接近,均无显著差异,仅精巢中组氨酸和精氨酸含量存在显著差异;无论雌体还是雄体,养殖群体肌肉中的主要氨基酸和总氨基酸含量略高于野生群体,仅异亮氨酸和赖氨酸含量差异显著;此外,野生群体雄蟹肌肉中的亮氨酸、天冬氨酸、丝氨酸和组氨酸含量也显著高于养殖群体。综上,野生群体和养殖群体蟹种养成后成蟹的性腺指数和肝胰腺指数存在显著差异,但是两者总可食率和肥满度接近,整体上两群体脂肪酸组成存在较大差异,但是氨基酸组成较为接近。

关键词 中华绒螯蟹;野生蟹种;养殖蟹种;成蟹养殖;营养品质

中图分类号 S968 **doi:** 10.11693/hyhz201401

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹,因其具有营养丰富、风味独特等优点,已成为我国重要的养殖经济蟹类(He *et al.*, 2014)。自 20 世纪 80 年代以

来,河蟹人工育苗技术取得突破,增养殖在全国各地迅速推广,2013 年全国河蟹养殖总产量达 72.99 万吨(农业部渔业渔政管理局, 2014),其中长江流域作为

* 国家 863 高技术发展计划项目,2012AA10A409-5 号;科技部港澳台科技合作专项项目,2014DFT30270 号;科技部科技型中小企业技术创新项目,14C26213201214 号;上海高校水产学一流学科建设项目,2012-62-0908 号。何杰,博士, E-mail: he_0902@126.com

通讯作者:成永旭, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn; 吴旭干, E-mail: xgwu@shou.edu.cn

收稿日期: 2015-11-26, 收修改稿日期: 2015-12-29

我国河蟹的主产区, 主要养殖长江水系河蟹, 产量占全国总产量的 90%左右(王武等, 2013)。近年来, 由于育苗场持续采用小规格亲本进行人工育苗、近亲繁殖和不同水系间的盲目引种等原因, 长江水系河蟹养殖群体种质退化越趋严重, 导致商品蟹规格变小和品质下降(Sui *et al.*, 2009; 王武等, 2013)。先前的研究表明, 与长江水系河蟹养殖群体相比, 长江野生蟹种在池塘养殖条件下具有养成成体规格大、性腺成熟晚等特点, 总体上表现出更好的养殖性能(He *et al.*, 2014), 因此采用长江野生河蟹作为基础群体进行良种选育具有一定的可行性(何杰等, 2015a)。

先前研究表明, 在相同养殖条件下, 不同种群的同种水生动物营养组成可能存在较大差异, 且可以通过遗传育种进行品质改良(Neira *et al.*, 2004; Grahl-Nielsen *et al.*, 2010)。迄今为止, 尚不清楚养殖群体河蟹品质退化是否与遗传因素有关, 这不利于开展河蟹的品质育种工作。性腺、肝胰腺和肌肉是河蟹主要的可食用组织, 这些组织中的常规营养成分、必需脂肪酸和必需氨基酸组成是评价其营养品质的重要依据(Chen *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2007)。另外, 饵料、养殖环境和遗传因素均可能影响河蟹可食率和营养品质(朱清顺等, 2007; Shao *et al.*, 2013, 2014; 马明君, 2015), 有研究表明, 长江野生和池塘养殖河蟹在可食率、感官评价、常规生化组成、脂肪酸和氨基酸组成等方面均存在显著差异(朱清顺等, 2007; 马明君, 2015); 由于长江野生河蟹和池塘养殖河蟹在生长环境和饵料组成均存在较大差异(何杰等, 2015b), 尚无法确定这种差异是否与遗传因素有关。鉴于此, 本研究在相似的池塘养殖条件下, 采用长江水系野生和养殖群体河蟹蟹种进行成蟹养殖, 首先比较了其养成成蟹的性腺指数、肝胰腺指数、出肉率、总可食率和肥满度等生物学参数, 在此基础上测定和比较了肝胰腺、性腺和肌肉中的常规营养组成、脂肪酸和氨基酸组成, 以期为河蟹的品质选育和营养调控提供参考, 同时也为野生蟹种的合理开发利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 扣蟹来源及实验设计

长江水系野生蟹种于 2013 年 3 月捕捞自长江镇江江段(32°11' N, 119°27' E), 为渔民采用小型拖网捕捞而得; 池塘养殖蟹种取自上海海洋大学崇明蟹种养殖基地, 为未经遗传选育的常规养殖群体。从两群体中分别挑选规格接近、肢体完整的健康蟹种备用于

实验, 野生蟹种雌雄平均体重分别为(6.58±0.55)g 和(6.95±0.74)g, 池塘养殖蟹种平均体重分别为(6.31±0.62)g 和(6.45±0.67)g。蟹种养成实验在上海崇明雨池水产养殖合作社进行, 选择六口面积相等的室外土池(长×宽×深=85m×55m×1.5m)进行成蟹养殖实验, 蟹种放养密度均为 10000 只/hm², 放养前采用 30mg/L 的聚维酮碘溶液浸泡消毒 0.5h。

1.2 养殖管理

2013 年 2 月使用漂白粉对实验池塘进行整体消毒, 10d 后种植伊乐藻, 伊乐藻株距为 1.5m, 行距为 2m。为调控水质和控制野杂鱼数量, 在每口池塘内放养 20 条白鲢和 50 条鳊鱼鱼种。同时投放 600kg 螺蛳作为成蟹的补充饵料, 以清除残饵和粪便等, 保持水质清新。

实验于 4 月 1 日开始正式投喂, 每日下午 17:00 左右按表 1 进行投喂, 每个池塘放置一个食台以观察摄食情况, 投喂后 3—4h 检查食台上残饵情况, 根据水温 and 摄食情况调整投喂量。养殖期间, 根据伊乐藻的长势控制水位, 高温期水位一般在 1—1.2m 左右, 必要时割除池塘中过多的伊乐藻, 防止夜间和阴雨天缺氧。8 月份在各池塘中补种适量水花生供蟹隐蔽和蜕壳。6—9 月, 每 15d 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, 定期测定水质(包括溶氧、pH、氨氮和亚硝酸盐等指标), 根据实际情况不定期换水, 每次换水 10%—30%, 维持良好水质, 从而有利于河蟹在成蟹养殖过程中的正常生长和发育, 实验期间 pH 为 7.0—8.5, 氨氮 <0.4mg/L, 亚硝酸盐 <0.05mg/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。

表 1 投喂配合饲料的种类和营养成分
Tab.1 Type and nutrient composition of formulated feed

饲料种类	粒径 (mm)	粗蛋白含量 (%)	总脂含量 (%)	投喂时间
成蟹 1#	2.0	41.3	10.4	4 月—6 月中
成蟹 2#	2.5	38.8	9.5	6 月中—8 月中
成蟹 3#	3.5	37.3	7.5	8 月底—11 月底

1.3 样品采集

11 月 28 日, 从每口实验池塘中随机取 8 只蟹(雌雄各半), 用吸水纸擦干蟹体表水分后, 准确称重(精确度 0.01g), 用游标卡尺(精确度 0.001mm)测量壳长、壳宽后进行活体解剖, 用镊子等工具取出全部肝胰

腺、性腺和肌肉,并精确称重(精确到 0.001g)后分别计算每只蟹的肝胰腺指数[hepatosomatic index, HSI(%)]、性腺指数[gonadosomatic index, GSI(%)]、出肉率[meat yield, MY(%)]、总可食率[total edible yield, TEY(%)]及肥满度[condition factor, CF(%)]。

$$\text{HSI}(\%) = W_H/W \times 100\%$$

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

$$\text{MY}(\%) = W_M/W \times 100\%$$

$$\text{TEY}(\%) = \text{HSI}(\%) + \text{GSI}(\%) + \text{MY}(\%)$$

$$\text{CF}(\%) = W/L^3 \times 100\%$$

式中, W_H 指肝胰腺重, W_G 指性腺重, W_M 指肌肉重, W 指体重, L 指甲壳长。称重后,所有样品低温保存(-40 °C),待生化分析。

1.4 生化分析

常规营养组成分析:采用 AOAC(1995)的方法测定水分和蛋白质含量;按 Folch 等(1957)法,采用氯仿:甲醇($V/V=2:1$)提取各组织中的总脂并测定其含量;以葡萄糖为标样,采用苯酚-硫酸法测定碳水化合物含量(Kocher *et al.*, 1978)。

脂肪酸组成分析:根据吴旭干等(2014)的方法进行脂肪酸分析,具体采用 14%的三氟化硼-甲醇溶液对总脂进行甲酯化处理,然后旋转蒸发到所需浓度进行脂肪酸分析,所用仪器为美国 Agilent 公司生产的高效气相色谱仪 6890A(G1530A)。

氨基酸分析:按照 Chen 等(2007)的方法进行总氨基酸分析,所用仪器为德国赛卡姆公司氨基酸自动分析仪(S-433D)。色氨酸测定采用碱性水解法,甲硫氨酸和半胱氨酸测定采用酸性水解法(Spindler *et al.*, 1984),分析方法如上。另外,根据 FAO 等(1985)方法计算必需氨基酸的分值(essential amino acid score, EAAS):

$$\text{EAAS} = \frac{\text{样品中必需氨基酸含量}}{\text{FAO参考蛋白中必需氨基酸含量}} \times 100$$

1.5 数据处理

所有数据采用平均值±标准误(Mean±SE)表示。采用 SPSS 17.0 软件对实验数据进行统计分析,用 Levene 法进行方差齐性检验,当数据不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或者平方根处理,用 t 检验(Independent samples t -test)检查两群体间各指标的差异性,取 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 两群体成蟹的组织系数和可食率

由表 2 可见,在体重接近的条件下,无论雌体还是雄体,野生和养殖蟹种养成商品蟹的肝胰腺指数和性腺指数均存在显著差异($P < 0.01$),即野生群体的肝胰腺指数显著高于养殖群体,而性腺指数显著低于养殖群体;而两群体间的出肉率、总可食率及肥满度均较为接近,无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 两群体成蟹的常规生化组成

野生和养殖蟹种经池塘养成成蟹的肝胰腺、性腺及肌肉的常规生化成分见表 3。无论雌体还是雄体,野生群体和养殖群体肝胰腺中的水分、粗蛋白和粗脂肪含量较为接近,野生群体肝胰腺中的碳水化合物含量略高于养殖群体,但两者雄体肝胰腺中存在显著差异($P < 0.01$);就性腺而言,两群体间仅野生雄蟹的碳水化合物含量显著高于养殖雄蟹,无论雌体还是雄体,两群体其余各常规营养成分均较为接近;就肌肉而言,无论是雌体还是雄体,野生群体的粗蛋白含量显著低于养殖群体,而野生雄体的粗脂肪含量和野生雌体的碳水化合物含量显著高于养殖群体的对应性别成蟹($P < 0.05$)。

表 2 两群体成蟹组织系数和总可食率的比较

Tab.2 Tissue indices and total edible yield of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles

项目	雌体			雄体		
	野生	养殖	P	野生	养殖	P
体重(g)	137.39±5.22	133.63±2.77	0.281	178.04±4.18	178.13±5.39	0.982
甲壳长(mm)	60.31±0.78	60.07±0.48	0.647	63.68±0.98	63.46±0.68	0.880
甲壳宽(mm)	67.73±0.99	66.48±0.62	0.072	71.56±1.60	70.58±0.53	0.060
肝胰腺指数(%)	7.21±0.40	6.11±0.29	0.001	7.89±1.30	6.42±0.34	0.000
性腺指数(%)	9.15±0.51	10.96±0.56	0.000	2.61±0.17	3.09±0.28	0.023
出肉率(%)	18.99±0.83	19.17±0.76	0.787	21.76±1.32	21.90±1.04	0.891
总可食率(%)	35.35±0.98	36.23±0.97	0.277	32.26±3.13	31.41±1.08	0.428
肥满度(%)	62.51±0.78	61.64±0.65	0.351	70.04±0.85	69.95±1.02	0.285

表 3 两群体成蟹肝胰腺、性腺和肌肉中的常规营养成分(%湿重)

Tab.3 Proximate composition in hepatopancreas, gonad and muscle of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles (% wet weight)

项目	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
肝胰腺						
水分(%)	50.19±4.02	45.37±1.16	0.283	49.46±0.68	50.87±2.58	0.609
粗蛋白(%)	8.72±0.64	8.67±0.29	0.530	8.56±0.52	9.98±0.59	0.069
粗脂肪(%)	40.93±6.11	44.17±2.54	0.638	44.03±1.04	39.34±3.80	0.269
碳水化合物(%)	1.20±0.10	1.12±0.25	0.799	1.51±0.12	1.04±0.14	0.033
性腺						
水分(%)	49.37±0.55	49.76±0.69	0.668	71.30±0.61	70.65±0.39	0.397
粗蛋白(%)	30.72±0.42	30.98±0.47	0.682	18.76±0.34	19.45±0.25	0.139
粗脂肪(%)	17.56±0.39	17.17±0.40	0.509	0.64±0.02	0.63±0.01	0.539
碳水化合物(%)	1.53±0.04	1.49±0.04	0.500	0.29±0.02	0.22±0.01	0.027
肌肉						
水分(%)	76.98±0.55	76.58±0.52	0.614	77.57±0.35	76.97±0.14	0.156
粗蛋白(%)	17.65±0.26	18.88±0.44	0.042	17.89±0.24	18.95±0.22	0.013
粗脂肪(%)	1.12±0.04	1.09±0.04	0.597	1.20±0.03	1.11±0.02	0.042
碳水化合物(%)	0.96±0.10	0.64±0.04	0.017	0.65±0.05	0.62±0.04	0.682

2.3 两群体成蟹的脂肪酸组成的比较

两群体成蟹肝胰腺的脂肪酸组成见表 4。就雌体而言,野生群体肝胰腺中的 C16:0 和 C18:1n9 含量显著高于养殖群体,但野生群体的 C17:1n、C18:2n6、C20:5n3 和 C22:6n3 含量显著低于养殖群体($P<0.05$);就雄体而言,野生群体肝胰腺中 C18:1n9 显著高于养殖群体,但 C17:0、C18:0、C17:1n、C20:4n6、C20:5n3 和 C22:6n3 含量显著低于养殖群体。整体上,无论雌体还是雄体,野生群体肝胰腺中的单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著高于养殖群体,但是高度不饱和脂肪酸(HUFA)和 n3/n6 比例显著低于养殖群体。

两群体成蟹性腺中的脂肪酸含量见表 5。就雌体而言,野生群体性腺中的 C16:1n7、C18:1n9 和 C18:1n7 含量显著高于养殖群体,但野生群体的 C20:1n9、C16:3n4、C18:2n6、C20:3n6、C20:4n6、C20:5n3 和 C22:6n3 含量显著低于养殖群体($P<0.05$);就雄体而言,野生群体性腺中 C18:1n9 和 C20:3n6 显著高于养殖群体,但 C20:1n9、C22:6n3 含量显著低于养殖群体。整体上,野生雌体性腺中的 MUFA 含量显著高于养殖群体,ΣPUFA、HUFA、n3/n6 比例显著低于养殖群体($P<0.05$),但两群体雄蟹间的差异较小。

两群体成蟹肌肉中的脂肪酸含量见表 6。就雌体而言,野生群体肌肉中的 C14:0、C16:1n7 和 C18:1n9 含量显著高于养殖群体,但野生群体的 C20:3n6、

C20:5n3 和 C22:6n3 含量显著低于养殖群体($P<0.05$);就雄体而言,野生群体肌肉中 C16:0 和 C18:2n6 显著高于养殖群体,但 C24:0、C20:3n3 和 C20:5n3 含量显著低于养殖群体。整体上,野生雌体肌肉中的 MUFA 含量显著高于养殖群体,但是 ΣPUFA、HUFA、Σn-3PUFA 比例显著低于养殖群体($P<0.05$),而野生雄体的 ΣSFA 和 Σn-6PUFA 含量显著高于养殖群体,n3/n6 的比例和 ΣHUFA 含量显著小于养殖群体。

2.4 两群体成蟹的氨基酸组成

两群体成蟹性腺和肌肉中均检测出 18 种氨基酸,其中人体必需氨基酸 10 种(表 7)。就雌体卵巢而言,尽管野生群体卵巢中必需氨基酸含量、非必需氨基酸含量以及总氨基酸量均略高于养殖群体,但两群体卵巢中 18 种氨基酸含量均无显著差异($P>0.05$);就雄体而言,野生群体性腺中的赖氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸的含量略高于养殖群体,其它种类氨基酸含量均为野生群体低于养殖群体,两群体精巢中仅组氨酸和脯氨酸含量存在显著差异($P<0.05$),其它种类均无显著差异($P>0.05$)。

表 8 为两群体成蟹肌肉中的氨基酸组成。就雌体而言,两者仅异亮氨酸和蛋氨酸含量差异显著,其余各种氨基酸的含量、必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量以及总氨基酸量均无显著差异;两群体雄体间的氨基酸含量差异较大,除蛋氨酸、谷氨酸、甘氨酸

表4 两群体成蟹肝胰腺中的主要脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab.4 Fatty acid composition in the hepatopancreas of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles (% total fatty acids)

脂肪酸	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
C14:0	0.68±0.06	1.01±0.05	0.002	1.44±0.15	2.00±0.18	0.046
C16:0	16.67±0.54	14.48±0.50	0.013	14.80±0.24	15.16±0.51	0.458
C17:0	0.79±0.11	0.74±0.10	0.750	0.46±0.05	1.01±0.14	0.005
C18:0	2.08±0.70	2.33±0.06	0.704	1.99±0.13	2.39±0.14	0.031
ΣSFA	20.64±1.28	18.74±0.63	0.202	18.35±0.49	20.02±0.43	0.001
C16:1n7	10.08±1.29	8.15±0.78	0.203	8.70±0.50	8.03±0.56	0.313
C17:1n7	0.56±0.02	0.71±0.04	0.009	0.55±0.07	0.74±0.03	0.045
C18:1n9	35.48±0.73	28.36±0.73	0.000	34.68±0.95	27.79±0.74	0.000
C18:1n7	4.19±0.42	3.56±0.18	0.173	2.99±0.27	3.38±0.16	0.173
C20:1n9	0.71±0.07	1.52±0.39	0.070	1.24±0.42	1.57±0.26	0.458
C20:1n7	1.62±0.22	1.59±0.08	0.903	1.30±0.15	1.57±0.19	0.317
ΣMUFA	53.20±1.30	44.51±0.89	0.000	49.69±0.56	43.49±0.87	0.000
C18:2n6	14.22±1.30	18.84±0.56	0.006	18.43±2.01	13.31±2.41	0.077
C18:3n3	1.41±0.15	2.73±0.15	0.000	1.86±0.44	2.35±0.44	0.369
C20:2n6	1.71±0.36	1.53±0.19	0.644	1.14±0.19	1.55±0.26	0.152
C20:3n6	0.21±0.04	0.25±0.04	0.293	0.46±0.23	0.53±0.27	0.824
C20:4n6	0.98±0.31	1.24±0.09	0.389	0.97±0.06	1.98±0.15	0.000
C20:3n3	0.46±0.10	0.50±0.03	0.728	0.33±0.04	0.47±0.08	0.095
C20:5n3	0.91±0.25	1.75±0.11	0.010	1.35±0.19	2.65±0.38	0.004
C22:6n3	1.03±0.29	2.81±0.33	0.002	1.68±0.12	4.34±0.67	0.001
ΣPUFA	21.32±0.86	31.00±0.90	0.000	27.39±1.11	28.48±1.70	0.537
Σn-3PUFA	4.29±0.62	8.81±0.59	0.000	6.36±0.88	11.12±0.94	0.001
Σn-6PUFA	17.02±0.94	22.18±0.68	0.001	21.03±1.87	17.36±2.44	0.183
n3/n6	0.26±0.04	0.40±0.03	0.019	0.33±0.07	0.73±0.15	0.015
ΣHUFA	3.92±1.06	7.61±0.63	0.011	5.63±0.77	10.99±1.03	0.000
DHA/EPA	1.14±0.15	1.59±0.14	0.042	1.33±0.17	1.64±0.10	0.095

表中仅列出含量大于0.4%的数据

表5 两群体成蟹性腺中的主要脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab.5 Fatty acid composition in the gonad of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles (% total fatty acids)

脂肪酸	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
C14:0	0.60±0.09	0.55±0.07	0.399	0.40±0.05	0.31±0.05	0.255
C16:0	13.06±0.45	11.20±0.62	0.061	8.76±0.39	8.84±0.51	0.901
C18:0	3.26±0.11	3.54±0.09	0.111	6.04±0.17	6.03±0.06	0.967
C22:0	0.07±0.01	0.10±0.01	0.164	0.89±0.08	0.81±0.06	0.429
C23:0	0.30±0.04	0.46±0.05	0.053	0.54±0.09	0.39±0.01	0.143
C24:0	0.74±0.04	0.83±0.07	0.383	0.71±0.13	0.75±0.04	0.790
ΣSFA	18.26±0.44	16.87±0.57	0.117	17.39±0.40	17.29±0.46	0.870
C16:1n7	11.77±0.32	7.62±0.83	0.004	2.38±0.27	2.69±0.27	0.448
C18:1n9	28.23±0.42	23.62±0.73	0.002	18.27±0.95	19.37±0.87	0.417
C18:1n7	5.33±0.55	3.98±0.31	0.063	4.58±0.35	4.25±0.13	0.403
C20:1n9	0.78±0.06	1.25±0.16	0.044	1.36±0.14	1.80±0.05	0.018
C22:1	0.32±0.04	0.26±0.08	0.552	0.53±0.10	0.49±0.04	0.704
ΣMUFA	46.84±0.29	37.12±1.32	0.000	27.46±0.81	29.21±1.09	0.235
C16:3n4	0.20±0.02	0.40±0.03	0.002	0.37±0.04	0.44±0.03	0.187
C18:2n6	13.47±0.55	16.70±0.91	0.027	9.35±0.14	5.62±0.45	0.000
C18:3n3	2.85±0.26	3.55±0.16	0.058	0.89±0.05	0.85±0.11	0.754
C18:4n3	0.16±0.01	0.19±0.02	0.172	0.72±0.07	0.73±0.03	0.958
C20:3n6	0.95±0.04	1.22±0.08	0.033	2.82±0.13	2.06±0.10	0.002
C20:4n6	2.77±0.12	3.79±0.21	0.007	11.96±0.67	12.93±0.45	0.263
C20:4n3	0.21±0.03	0.27±0.03	0.275	0.18±0.04	0.13±0.01	0.232
C20:5n3	5.31±0.31	8.02±0.39	0.001	13.45±1.21	11.01±0.55	0.103
C22:6n3	4.72±0.50	7.07±0.71	0.042	10.91±0.34	13.04±0.42	0.004
ΣPUFA	31.76±0.51	42.19±1.83	0.002	52.28±1.32	47.60±1.56	0.051
Σn-3PUFA	13.90±0.64	19.89±1.21	0.005	27.04±1.56	26.38±0.91	0.722
Σn-6PUFA	17.68±0.52	22.16±0.97	0.008	25.00±0.63	21.18±0.90	0.008
n3/n6	0.79±0.05	0.90±0.05	0.210	1.09±0.08	1.25±0.05	0.132
ΣHUFA	14.62±0.77	21.16±1.35	0.006	40.20±1.21	39.78±1.25	0.814
DHA/EPA	0.88±0.05	0.87±0.05	0.891	0.83±0.07	1.19±0.05	0.003

表 6 两群体成蟹肌肉中的主要脂肪酸组成(%总脂肪酸)
Tab.6 Fatty acid composition in the muscle of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles (% total fatty acids)

脂肪酸	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
C14:0	0.18±0.01	0.15±0.03	0.040	0.11±0.01	0.17±0.04	0.601
C16:0	11.37±0.43	9.98±0.81	0.166	10.43±0.26	9.49±0.37	0.027
C18:0	6.10±0.10	6.53±0.11	0.019	6.96±0.18	6.62±0.06	0.086
C22:0	0.46±0.03	0.53±0.04	0.214	0.51±0.03	0.39±0.02	0.145
C24:0	0.88±0.39	0.80±0.08	0.481	0.69±0.04	0.91±0.06	0.013
ΣSFA	19.45±0.01	18.44±0.78	0.279	18.99±0.15	18.16±0.40	0.002
C16:1n7	3.39±0.01	2.36±0.29	0.037	2.40±0.13	2.42±0.16	0.561
C18:1n9	23.14±0.55	18.64±0.49	0.000	20.48±0.35	18.84±0.76	0.093
C18:1n7	3.30±0.16	3.17±0.15	0.581	3.07±0.10	3.83±0.12	0.952
C20:1n9	0.98±0.02	1.05±0.06	0.300	0.93±0.06	1.06±0.07	0.096
ΣMUFA	31.45±0.66	25.75±0.67	0.000	27.31±0.33	27.08±0.91	0.817
C18:2n6	12.29±0.81	12.69±0.64	0.709	13.67±0.23	7.85±1.25	0.002
C18:3n6	0.48±0.10	0.19±0.05	0.054	0.32±0.06	0.42±0.09	0.356
C18:3n3	1.53±0.17	1.49±0.08	0.868	1.59±0.62	1.41±0.26	0.816
C18:4n3	0.49±0.02	0.53±0.03	0.296	0.58±0.03	0.48±0.03	0.058
C20:3n6	1.54±0.12	2.05±0.14	0.021	1.73±0.05	1.68±0.09	0.596
C20:4n6	5.18±0.17	5.49±0.36	0.463	5.48±0.24	6.27±0.52	0.213
C20:3n3	0.45±0.04	0.53±0.04	0.183	0.30±0.02	0.42±0.04	0.044
C20:5n3	13.77±0.25	16.19±0.51	0.003	15.48±0.60	18.04±0.50	0.019
C22:6n3	9.65±0.75	12.99±0.79	0.016	12.17±0.62	13.42±0.81	0.274
ΣPUFA	46.63±0.61	53.29±1.56	0.004	52.30±0.29	50.99±1.12	0.289
Σn-3PUFA	26.48±0.86	32.31±1.19	0.004	30.56±0.23	34.27±0.99	0.008
Σn-6PUFA	19.99±0.77	20.88±0.74	0.428	21.60±0.09	16.62±2.61	0.004
n3/n6	1.34±0.09	1.55±0.07	0.085	1.42±0.01	2.10±0.17	0.005
ΣHUFA	31.18±1.05	37.83±1.62	0.009	35.60±1.02	40.32±0.73	0.010
ΣDHA/EPA	0.70±0.05	0.80±0.04	0.122	0.79±0.05	0.74±0.04	0.492

表 7 两群体成蟹性腺中的氨基酸含量(mg/g 湿重)
Tab.7 Amino acids contents in gonad of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles

氨基酸	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
异亮氨酸	13.65±0.47	13.00±0.34	0.121	10.43±0.20	10.84±0.17	0.159
亮氨酸	22.78±0.70	21.75±0.45	0.100	14.60±0.29	15.11±0.20	0.179
赖氨酸	18.79±0.70	18.14±0.64	0.304	8.43±0.16	8.11±0.09	0.129
蛋氨酸	6.06±0.85	5.97±0.77	0.902	1.39±0.02	1.33±0.11	0.534
半胱氨酸	3.98±0.13	4.19±0.46	0.498	4.35±0.64	3.99±0.67	0.648
苯丙氨酸	13.94±0.55	13.11±0.39	0.102	6.96±0.10	7.23±0.07	0.059
酪氨酸	14.27±0.53	13.48±0.35	0.099	6.43±0.06	6.59±0.09	0.164
苏氨酸	15.53±0.46	15.01±0.34	0.185	16.04±0.45	16.75±0.24	0.193
缬氨酸	17.71±0.54	16.96±0.30	0.104	6.50±0.03	6.25±0.17	0.173
色氨酸	5.26±0.38	5.14±0.60	0.772	1.55±0.06	1.63±0.22	0.660
必需氨基酸	131.97±2.77	126.76±3.29	0.104	76.67±1.93	77.83±2.04	0.621
天冬氨酸	25.88±0.83	24.79±0.77	0.175	21.80±0.05	22.49±0.33	0.101
丝氨酸	16.73±0.51	15.94±0.21	0.070	8.61±0.08	8.82±0.12	0.162
谷氨酸	36.40±1.09	34.78±0.86	0.113	24.32±0.26	24.42±0.33	0.757
甘氨酸	13.62±0.35	13.24±0.04	0.134	7.21±0.07	7.02±0.10	0.113
丙氨酸	14.55±0.39	14.01±0.29	0.123	12.33±0.28	12.23±0.24	0.724
组氨酸	7.88±0.34	7.54±0.31	0.275	4.94±0.02	5.24±0.07	0.031
精氨酸	21.23±0.72	20.30±0.34	0.114	7.93±0.06	7.46±0.09	0.027
脯氨酸	14.41±0.21	13.96±0.47	0.195	24.74±0.58	26.04±0.34	0.114
非必需氨基酸	150.70±3.47	144.56±2.83	0.076	111.88±1.21	113.73±1.63	0.327
总氨基酸	282.67±6.23	271.32±6.00	0.085	188.56±3.14	191.56±3.67	0.472
EAA/TAA	0.47±0.00	0.47±0.00	1.000	0.41±0.00	0.41±0.00	1.000

同行数据含有不同上标表示差异显著($P<0.05$); EAA: 必需氨基酸; NEAA: 非必需氨基酸; TAA: 总氨基酸

表 8 两群体成蟹肌肉中的氨基酸含量(mg/g 湿重)

Tab.8 Amino acids contents in muscle of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles

氨基酸	雌体			雄体		
	野生	养殖	<i>P</i>	野生	养殖	<i>P</i>
异亮氨酸	6.98±0.15	7.35±0.05	0.015	7.22±0.16	7.59±0.11	0.028
亮氨酸	11.83±0.29	12.77±0.69	0.098	12.07±0.27	12.79±0.20	0.021
赖氨酸	11.42±0.36	12.28±0.12	0.017	12.26±0.38	13.34±0.22	0.013
蛋氨酸	2.82±0.09	2.95±0.11	0.199	3.78±0.17	3.51±0.19	0.140
半胱氨酸	2.92±0.31	2.62±0.38	0.344	2.44±0.22	2.58±0.36	0.589
苯丙氨酸	6.71±0.18	6.93±0.08	0.130	6.70±0.17	7.28±0.08	0.006
酪氨酸	6.67±0.23	6.91±0.15	0.210	6.82±0.09	7.38±0.03	0.001
苏氨酸	6.96±0.23	7.25±0.15	0.130	7.16±0.15	7.64±0.15	0.016
缬氨酸	7.28±0.23	7.58±0.09	0.108	7.28±0.08	8.00±0.17	0.002
色氨酸	2.18±0.10	2.29±0.14	0.357	2.28±0.12	2.38±0.21	0.510
必需氨基酸	65.79±1.76	68.93±0.97	0.054	68.01±1.43	72.50±0.89	0.010
天冬氨酸	15.29±0.49	15.69±0.21	0.255	15.47±0.41	16.67±0.28	0.014
丝氨酸	6.37±0.21	6.56±0.11	0.251	6.66±0.15	6.97±0.11	0.047
谷氨酸	23.63±0.64	24.57±0.74	0.171	25.28±0.12	26.14±0.57	0.063
甘氨酸	10.63±0.60	10.80±0.47	0.719	11.51±0.94	12.02±1.06	0.562
丙氨酸	13.47±0.82	13.73±0.28	0.633	13.63±0.32	13.29±0.20	0.193
组氨酸	4.55±0.16	4.62±0.12	0.602	4.80±0.19	5.34±0.09	0.011
精氨酸	14.99±0.98	15.76±0.23	0.256	15.49±0.73	16.59±0.57	0.108
脯氨酸	9.33±0.71	10.04±0.57	0.248	9.94±0.69	9.88±0.76	0.933
非必需氨基酸	98.26±3.33	101.76±1.73	0.181	102.77±1.52	106.91±1.88	0.042
总氨基酸	164.05±5.07	170.69±1.59	0.096	170.78±2.64	179.41±2.71	0.017
EAA/TAA	0.40±0.00	0.40±0.00	1.000	0.40±0.00	0.40±0.00	1.000

和丙氨酸含量无显著差异外,野生群体雄体肌肉中的其它氨基酸含量均低于养殖雄蟹,故野生群体雄体必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量和总氨基酸亮也显著低于养殖群体($P<0.05$)。

参照FAO/WHO/UNU的标准对两群体性腺和肌肉中必需氨基酸分值(EAAS)进行了评价(表9),结果

发现:无论雌体还是雄体,野生群体性腺和肌肉中的平均EAAS高于养殖群体;就不同组织而言,性腺中的平均EAAS高于肌肉。整体上,雌雄体肌肉和雌体卵巢中的EAAS均大于100,无限制性氨基酸;雄蟹性腺中赖氨酸、色氨酸和缬氨酸的EAAS低于100,是雄体性腺中的限制性氨基酸。

表 9 两群体成蟹性腺和肌肉中的必需氨基酸分值

Tab.9 Essential amino acids score (EAAS) of gonad and muscle of pond-reared adult *E. sinensis* cultured from wild-caught and pond-reared juveniles

必需氨基酸	性腺				肌肉			
	雌体		雄体		雌体		雄体	
	野生	养殖	野生	养殖	野生	养殖	野生	养殖
异亮氨酸	159	150	199	119	141	139	144	143
亮氨酸	112	106	118	118	102	102	102	102
赖氨酸	105	101	78	72	112	112	118	121
蛋氨酸+半胱氨酸	131	131	122	109	130	118	139	128
苯丙氨酸+酪氨酸	146	136	113	113	120	116	120	123
苏氨酸	149	142	251	253	116	113	118	119
色氨酸	156	151	75	76	112	110	116	114
缬氨酸	165	156	99	92	118	115	116	121
平均值	140	134	132	129	119	116	122	121

EAAS=100×样品中某必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白中必需氨基酸含量(FAO/WHO/UNU, 1985)

3 讨论

3.1 两群体成蟹性腺发育和可食部分比例的比较

肝胰腺(蟹黄)、性腺(蟹膏)和肌肉是河蟹最重要的可食部分,三者所占体质量的比例是评价商品蟹质量的重要指标(Wu *et al.*, 2007)。本研究结果表明,在相似的养殖条件下,野生群体成蟹 11 月底的性腺指数显著低于养殖群体,这说明野生蟹种在池塘成蟹养殖过程中的性腺发育速度明显慢于养殖扣蟹,这与先前的研究结果基本一致(He *et al.*, 2014)。造成这种性腺发育速度差异的可能原因如下:(1)池塘养殖蟹种的有效积温高于长江野生蟹种。水体积温是影响甲壳动物蜕壳的重要因素之一,通常积温越高,蜕壳周期越短(陈再忠, 2002; Daoud *et al.*, 2010)。池塘养殖蟹种在生长过程中的平均水温高于长江野生蟹种的平均水温(张列士等, 2001),且长江水系野生大眼幼体出现时间通常晚于池塘养殖群体的土池培育大眼幼体近 1 个月,故池塘养殖蟹种比长江野生蟹种具有更高的有效积温(张列士等, 2002),导致其在成蟹养殖过程中生长蜕壳和生殖蜕壳提前,故性腺发育快于野生蟹种,这在先前的研究已经被证实(He *et al.*, 2014);(2)池塘养殖群体的种质退化可能是其二年性早熟的重要原因。有研究表明,经过多年人工繁殖和养殖的长江水系池塘养殖群体中华绒螯蟹遗传多样性较低,存在较严重的种质退化和种质混杂(刘青等, 2015; 何杰等, 2015b);有研究者通过形态学研究结果表明长江水系中华绒螯蟹养殖群体已受辽河水系中华绒螯蟹的基因污染(马海涛等, 2007; 王武等, 2007),而辽河水系中华绒螯蟹具有二龄早熟特性(李晨虹等, 2002);(3)长江野生蟹种对池塘养殖环境和配合饲料不适应可能也是其生长发育较慢的原因之一。由于长江野生蟹种在长江中的活动空间较大、食性较杂,在池塘养殖早期可能对养殖环境及饲料不太适应,而池塘养殖群体蟹种经过多世代人工繁殖和养殖,已经适应人工养殖环境和配合饲料。

尽管池塘养殖群体性腺指数高于野生群体,但是其肝胰腺指数显著低于野生群体,故两种群成蟹的总可食率和肥满度接近。肝胰腺是河蟹营养物质的储存和消化器官,存储着大量脂类(成永旭等, 1998),在性腺发育过程中,由于肝胰腺中储存的营养物质向性腺中转移,因此性腺指数较高的个体,其肝胰腺指数相对较低(韦众等, 1999; 滕炜鸣等, 2008),这可能是野生群体肝胰腺指数高于养殖群体的重要原因。

整体上,野生群体具有二龄晚熟特性、养殖群体具有二龄早熟特性,今后可以进一步这种不同成熟时间的特性进行良种选育,培育不同上市时间的中华绒螯蟹品系,均衡商品蟹的市场供应时间。

3.2 两群体成蟹常规生化、脂肪酸及氨基酸含量的比较

河蟹的营养组成受养殖环境、饵料以及自身发育阶段等因素的影响(朱清顺等, 2007; Shao *et al.*, 2013, 2014; 马明君, 2015),本研究中尽管野生和养殖蟹种在放养起始阶段机体肝胰腺、肌肉中的常规生化组成存在较大差异,如野生扣蟹肝胰腺中的粗脂肪含量显著高于养殖扣蟹,水分含量显著低于后者(何杰等, 2015b),但在相似的养殖条件下经过 8 个月成蟹养殖,所得成蟹各组织中的常规生化组成均较为接近,野生和养殖群体间无明显差异,这可能与肌肉和性腺中的常规生化组成较为稳定有关(Wu *et al.*, 2007)。野生群体雄蟹肝胰腺和性腺中的碳水化合物含量显著高于养殖群体,这可能与野生群体性腺尚属于快速发育阶段,肝胰腺和性腺中代谢较为旺盛,需要足够的碳水化合物供应性腺发育或供能(于智勇等, 2007)。

可食部位中的脂肪酸和氨基酸的组成及含量是评价蟹类营养品质的重要指标(汪倩等, 2013; 吴旭干等, 2014)。本研究野生和养殖蟹种、养成成蟹在肝胰腺、性腺、肌肉中的脂肪酸含量均存在很大差异,整体上野生群体在各组织中的SFA和MUFA含量较高,而PUFA的含量较低,并且野生群体肌肉中的各类氨基酸含量也较低于养殖群体,作者认为一方面可能是品质遗传所致,已有研究表明,不同地理种群/品系的银鲑(*Oncorhynchus kisutch*)和欧洲扇贝(*Pecten maximus*)在相同条件下养殖,其肌肉中的脂肪酸组成有所不同;4种不同种群的淡水鲶鱼子代在相同条件下养殖,其肌肉中的氨基酸组成也存在明显差异(Hoffman *et al.*, 1995),说明部分水生生物肌肉中的脂肪酸、氨基酸组成可能和遗传有关,并可通过遗传育种来改良(Neira *et al.*, 2004; Grahl-Nielsen *et al.*, 2010)。另一方面,两群体间脂肪酸含量的差异也可能与其性腺发育有关。养殖群体肝胰中DHA和EPA高于野生群体,16:0和18:0含量低于野生群体,这可能是因为养殖群体此时性腺发育基本成熟,性腺中不再需要大量的DHA和EPA,因此肝胰腺中积累了相对较高的DHA和EPA。无论雌体还是雄体,养殖群体性腺中的DHA均显著高于野生群体,但野生群体卵巢16:1n7和18:1n9含量高,这可能是因为野生群体性腺

还处在快速发育过程中,性腺中DHA积累不足,故卵巢中16:1n7和18:1n9相对含量较低(马明君,2015)。肌肉中仅养殖雌体肌肉中DHA和EPA显著高于野生群体,可能是因为野生群体性腺发育较慢,肌肉中尚未积累到足够的DHA和EPA;也可能是因为养殖群体长期适应人工养殖环境,对配合饲料中的EPA和DHA利用较高,而长江野生河蟹天然饵料中EPA和DHA含量相对较低,因此野生群体对饲料中的EPA和DHA利用率较低(何杰等,2015b)。单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸含量(PUFA)和n-3PUFA/n-6PUFA比值对人体健康较为重要,通常认为MUFA和PUFA有益于人体健康,可以降低胆固醇和血脂沉积(王光慈,2001)。FAO等(1994)推荐人类膳食中的n-3/n-6适宜比值为0.1—0.2,大于此值对人类健康更加有益,食品中MUFA和n-3PUFA含量越高越有利于人体健康。本研究结果表明两群体各可食部位的n-3/n-6比值均大于0.2,因此河蟹各可食组织均具有较高的脂肪酸营养价值。C22:6n3(DHA)、C20:5n3(EPA)和C20:4n6(ARA)不仅对甲壳动物自身的生长、蜕壳和生殖有着重要作用(成永旭等,1998;常国亮等,2008;Wu *et al.*,2011),并且对人类具有促进神经发育、降血脂、抗血栓及抗肿瘤等生理功能(唐传核等,2000),因此其含量和组成也是评价脂肪酸营养价值的重要指标。综上,养殖群体和野生群体可食部位具有较高的脂肪酸营养价值,两者各有优势,野生群体中的MUFA含量较高,养殖中的n3/n6、 Σ HUFA和DHA/EPA较高。

必需氨基酸分(EAAS)和必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)比值是评价水产品氨基酸营养价值的重要指标(吴旭干等,2014),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,EAA/TAA理想比值为0.4左右(FAO *et al.*,1985)。本研究结果表明,野生和养殖群体性腺及肌肉中的氨基酸组成接近,大部分氨基酸含量均无显著差异,整体上野生群体性腺和肌肉中的平均EAAS均高于养殖群体,这说明野生种群河蟹的营养价值略优于养殖群体。河蟹卵巢和肌肉中的必需氨基酸分均大于100,这说明肌肉和卵巢的氨基酸营养价值较高,精巢的必需氨基酸营养价值较差,赖氨酸、色氨酸和缬氨酸为其限制性氨基酸。两群体河蟹性腺和肌肉中的EAA/TAA均等于或大于0.4,这也说明河蟹的性腺和肌肉均具有较高的氨基酸营养价值。就不同可食组织而言,河蟹卵巢中的平均EAAS和EAA/TAA比值均

大于肌肉和精巢,这说明卵巢的氨基酸营养价值优于肌肉和精巢。河蟹膏蟹蒸煮后,味道十分鲜美,这可能与其体内高含量的呈味氨基酸有关,成蟹卵巢和肌肉中的两种鲜味氨基酸(谷氨酸和天冬氨酸)含量均高于15mg/g湿重,此外甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸这三种甜味氨基酸含量也较高(倪娟等,2003;吴旭干等,2014)。

综上,野生群体和养殖群体蟹种养成后成蟹的总可食率和肥满度接近,养殖群体的性腺指数较高,野生群体的肝胰腺指数高于养殖群体;无论雌体还是雄体,两者肌肉、肝胰腺和性腺中的常规营养成分含量接近,但养殖群体的脂肪酸营养价值略优于野生群体,野生群体的氨基酸营养价值略高于养殖群体,有关其重要品质的遗传力有待进一步深入研究。

参 考 文 献

- 于智勇,吴旭干,常国亮等,2007.中华绒螯蟹第二次卵巢发育期间卵巢和肝胰腺中主要生化成分的变化.水生生物学报,31(6):799—806
- 马明君,2015.不同养殖模式下中华绒螯蟹营养品质比较.上海:上海海洋大学硕士学位论文
- 马海涛,常玉梅,于冬梅等,2007.利用微卫星分子标记分析四个中华绒螯蟹群体的遗传多样性(英文).动物学研究,2(2):126—133
- 王武,王成辉,马旭洲,2013.河蟹生态养殖.北京:中国农业出版社,59—84
- 王武,徐灿,张文博等,2007.四个地方种群绒螯蟹形态差异的比较研究.中国农学通报,23(6):648—653
- 王光慈,2001.食品营养学.北京:中国农业出版社,19—24
- 韦众,鲍传和,1999.池塘养殖与湖泊放流河蟹的性腺肝脏指数比较.淡水渔业,29(9):16—17
- 成永旭,严生良,王武等,1998.饲料中磷脂和多不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹大眼幼体育成仔蟹的成活率和生长的影响.水产学报,22(1):9—15
- 朱清顺,柏如发,2007.池塘养殖的中华绒螯蟹与长江野生中华绒螯蟹生物学特性比较.江苏农业学报,23(3):218—223
- 刘青,刘皓,吴旭干等,2015.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.海洋与湖沼,46(4):958—968
- 农业部渔业渔政管理局,2014.2014年中国渔业统计年鉴.北京:中国农业出版社
- 李晨虹,李思发,邢益于等,2002.池养长江蟹、辽河蟹生长性能及其遗传环境交互作用分析.水生生物学报,26(4):335—341
- 吴旭干,汪倩,楼宝等,2014.育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响.水产学报,38(2):170—182
- 何杰,吴旭干,龙晓文等,2015a.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.海洋与湖沼,46(4):808—818
- 何杰,吴旭干,龙晓文等,2015b.池塘养殖和野生长江水系

- 中华绒螯蟹扣蟹形态学及生化组成的比较研究. 水产学报, 39(11): 1665—1678
- 汪 倩, 吴旭干, 楼 宝等, 2013. 三疣梭子蟹不同部位肌肉主要营养成分分析. 营养学报, 35(3): 310—312
- 张列士, 李 军, 2002. 河蟹增养殖技术. 北京: 金盾出版社
- 张列士, 徐琴英, 2001. 自然及养殖水体河蟹性成熟和性早熟的研究. 水产科技情报, 28(3): 106—111
- 陈再忠, 2002. 中华绒螯蟹性早熟及其机理的研究. 上海: 上海海洋大学博士学位论文
- 倪 娟, 赵晓勤, 陈立侨等, 2003. 日本沼虾 4 种群肌肉营养成分的比较. 中国水产科学, 10(3): 212—215
- 唐传核, 徐建祥, 彭志英, 2000. 脂肪酸营养与功能的最新研究. 中国油脂, 25(6): 20—23
- 常国亮, 吴旭干, 成永旭等, 2008. 不同脂类营养对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化成分的影响. 海洋与湖沼, 39(3): 276—283
- 滕炜鸣, 成永旭, 吴旭干等, 2008. 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. 上海水产大学学报, 17(1): 65—71
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. Arlington, VA, USA: Association of Analytical Communities
- Chen D W, Zhang M, Shrestha S, 2007. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Food Chemistry, 103(4): 1343—1349
- Daoud D, Lambert Y, Audet C *et al*, 2010. Size and temperature-dependent variations in intermolt duration and size increment at molt of northern Shrimp, *Pandalus borealis*. Marine Biology, 157(12): 2655—2666
- FAO, WHO, 1994. Fats and oils in human nutrition. Report of a Joint Expert Consultation. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 168
- FAO, WHO, UNU, 1985. Energy and protein requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva, Switzerland: WHO, 121—123
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 226(1): 497—509
- Grahl-Nielsen O, Jacobsen A, Christophersen G *et al*, 2010. Fatty acid composition in adductor muscle of juvenile scallops (*Pecten maximus*) from five Norwegian populations reared in the same environment. Biochemical Systematics and Ecology, 38(4): 478—488
- He J, Wu X G, Li J Y *et al*, 2014. Comparison of the culture performance and profitability of wild-caught and captive pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) juveniles reared in grow-out ponds: implications for seed selection and genetic selection programs. Aquaculture, 434: 48—56
- Hoffman L C, Prinsloo J F, Theron J *et al*, 1995. The genotypic influence of four strains of *Clarias gariepinus* on the larvae body proximate, total lipid fatty acid, amino acid and mineral compositions. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 110(3): 589—597
- Kochert A G, 1978. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. In: Hellebust J A, Craigie J S eds. Handbook of Phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods. Cambridge, London, UK: Cambridge University Press, 95—97
- Neira R, Lhorente J P, Araneda C *et al*, 2004. Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters. Aquaculture, 241(1—4): 117—131
- Shao L C, Wang C, He J *et al*, 2013. Hepatopancreas and gonad quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets. Journal of Food Quality, 36(3): 217—227
- Shao L C, Wang C, He J *et al*, 2014. Meat quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets. Journal of Aquatic Food Product Technology, 23(1): 59—72
- Spindler M, Stadler R, Tanner H, 1984. Amino acid analysis of feedstuffs: determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 32(6): 1366—1371
- Sui L Y, Zhang F M, Wang X M *et al*, 2009. Genetic diversity and population structure of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in its native range. Marine Biology, 156(8): 1573—1583
- Wu X G, Cheng Y X, Sui L X *et al*, 2007. Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock. Aquaculture Research, 38(14): 1459—1467
- Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X *et al*, 2011. 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). Aquaculture Research, 42(3): 457—468

COMPARISON IN EDIBLE YIELD AND NUTRITIONAL QUALITY OF POND-CULTURED ADULT *ERIOCHEIR SINENSIS* FROM WILD-CAUGHT AND POND-REARED CRABSEEDS

HE Jie^{1,2}, WU Xu-Gan^{1,3}, LONG Xiao-Wen^{1,3}, ZHAO Heng-Liang^{1,3}, JIANG Xiao-Dong^{1,3},
WANG You-Peng⁴, CHENG Yong-Xu^{1,3}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine and Fishery Research Institute of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316002, China; 3. Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding Center Certificated by Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Suqian Xubang Fisheries Science and Technology Co., Ltd., Sihong 223900, China)

Abstract Although wild-caught juveniles (WC) of *Eriocheir sinensis* have better culture performance than pond-reared (PR) ones, it is unclear whether there are any differences in edible yield and nutritional quality. We conducted a culture experiment to analyze the biochemistry in terms of edible yield, condition factor, proximate composition, and fatty acid and amino acid compositions in edible tissues of adult crabs for WC and PR populations. Results show that first, the hepatosomatic index (HSI) of WC was significantly higher than that of PR ($P < 0.01$), but the gonadosomatic index (GSI) of WC was significantly lower than that of PR ($P < 0.05$). There were no significant differences in meat yield, total edible yield, and condition factor between the two populations ($P > 0.05$). Second, for both males and females, the adult crabs of WC and PR had similar proximate composition in hepatopancreas or gonads, but the carbohydrate content in hepatopancreas and gonads of WC males was extremely significantly higher than that of PR males ($P < 0.01$). Either females or males of WC had significantly lower protein levels than the PR; but significantly higher total lipids and carbohydrate content were found in muscle of the males and females of WC, respectively, than those in muscle of the same gender of PR ($P < 0.05$). Third, in fatty acid composition of females, WC females had significantly higher percentage of C18:1n9, but significantly lower levels of C20:5 n3, C22:6 n3, Σ PUFA, and Σ HUFA in hepatopancreas, ovary, and muscles than PR females. In fatty acid composition of males, WC males had higher C18:2n6 levels and lower levels of C20:5n3 and C20:4n6 than PR males. Overall, the percentage of total highly unsaturated fatty acids (HUFA) in muscle was significantly higher than that of hepatopancreas and gonads. Fourth, in both genders, amino acid composition in adult crabs of the two populations was similar for most of amino acids, except for arginine and histidine. No significant differences were found in other amino acid contents in gonads between two populations; either female or male adults of PR had slightly higher contents of major amino acids and total amino acids in muscle than those of WC. The only significant difference was found in contents of isoleucine and lysine. WC males had significantly higher leucine, aspartic, serine, and histidine contents in muscle than PR males. Therefore, the adults of WC and PR had significant differences in HSI and GSI, but similar in total edible yields and condition factor. Significant differences were found in fatty acid composition and in contents of some fatty acids, while similar amino acid compositions were found in gonads and muscle in the two populations.

Key words *Eriocheir sinensis*; wild-caught crabseeds; pond-reared crabseeds; adult crab culture; nutritional quality