

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

何 杰^{1,2}, 吴旭干¹, 龙晓文¹, 马明君¹, 黄 庆³, 赵恒亮¹, 成永旭^{2*}

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

2. 上海海洋大学上海高校知识服务平台水产动物遗传育种中心, 上海 201306;

3. 上海市崇明县水产技术推广站, 上海 202150)

摘要:采用形态学测量和生化分析等方法,比较了野生和池塘养殖条件下长江水系中华绒螯蟹扣蟹的形态学、肝胰腺指数(HSI)、常规生化组成和脂肪酸组成。结果发现:野生和池塘养殖扣蟹的形态学特征差异较大,雌雄个体均有4个贡献较大的主成分(PC1, PC2, PC3, PC4),其中PC1的贡献率均远高于其他主成分,两者PC1分别由16和19个主要影响变量构成;所测36个形态学指标中,两群体雄蟹和雌蟹分别有25和22个形态学指标差异显著,进一步筛选判别贡献率较大的4~5个指标分别建立判断方程,综合判别准确率达95%以上;野生扣蟹的HSI、组织中总脂、躯体肌肉的16:0、18:1n9和20:4n6含量均高于池塘养殖扣蟹,后者组织中水分含量、躯体肌肉中的18:0、20:5n3和22:6n3高于前者。研究表明,野生和池塘养殖扣蟹的形态学和生化组成均存在较大差异,可以根据两群体扣蟹的形态学差异和判别方程鉴别两种扣蟹蟹种。

关键词:中华绒螯蟹;扣蟹;野生捕捞;池塘养殖;形态学;生化组成

中图分类号:S 966.12

文献标志码:A

20世纪90年代以来,随着中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)人工育苗和养殖技术的发展,中华绒螯蟹已成为我国重要的养殖蟹类之一,其中长江水系中华绒螯蟹在该养殖产业中具有举足轻重的作用^[1]。但是,由于许多育苗场为了片面追求经济效益,采用小规格亲本(雌:60~100 g/只;雄:80~150 g/只)进行人工繁殖,导致长江水系中华绒螯蟹养殖群体的种质严重退化,加之不同水系间中华绒螯蟹的盲目引种,加剧了长江水系中华绒螯蟹的种质混杂,致使目前养殖群体商品蟹的规格越来越小,一龄蟹种和二龄成蟹的早熟率越来越高^[1-2]。有研究表明,与长江水系池塘养殖扣蟹相比,野生扣蟹在养殖性能上仍具有明显的优势,如成活率高、大规格成蟹比例高以及性腺成熟晚等^[3-4],这为合理利用长江水系中

中华绒螯蟹野生群体进行池塘养殖、遗传育种和提纯复壮提供了良好的物质基础。另外,有资料显示,随着长江流域禁渔期和开展中华绒螯蟹增殖放流等工作的实行,长江流域中华绒螯蟹野生资源在一定程度上得以恢复,野生亲本、大眼幼体和扣蟹的数量已有上升趋势^[5-6]。因此,许多养殖生产者均希望利用野生扣蟹(蟹种)进行成蟹的池塘养殖,导致长江野生扣蟹供不应求,价格居高不下,过渡捕捞也时有发生。在利益驱使下,一些不法商贩以假乱真,采用池塘养殖中华绒螯蟹扣蟹充当野生扣蟹,给中华绒螯蟹养殖生产造成了一定的危害,所以迫切需要开发一种准确实用的方法来判别和鉴定长江水系中华绒螯蟹野生和池塘养殖扣蟹。

由于水产动物往往随生长环境的改变而选择

收稿日期:2015-01-09 修回日期:2015-06-27

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A409-5);上海市科委科技崇明专项(13231203504);上海高校水产学一流学科建设项目(沪教科2012-62);崇明县科技攻关项目(CK2012-07,CK2015-21)

通信作者:成永旭,E-mail:yxcheng@shou.edu.cn

相应的生存策略,其形质要素(形态与体质状况)会有不同程度的改变^[7],形质要素已经成为水产动物种群鉴别、种质鉴定、良种选育与评价的重要指标^[8-11]。迄今为止,国内众多学者运用中华绒螯蟹形质要素进行了一系列的研究^[12-16],但是有关长江水系野生和养殖扣蟹的形质差异尚未见报道。野生和养殖扣蟹除生长环境存在差异外,其饵料组成也有所不同,这势必会造成两者体内生化组成的差异^[15]。先前的研究表明,通过分析野生和养殖三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)初孵化幼体的生化组成,可以准确区别这两种幼体^[17]。鉴于此,本实验较系统地比较了野生捕捞和池塘养殖中华绒螯蟹扣蟹的形态学和生化组成等指标的差异,进一步筛选出鉴别野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹的方法,结果不仅为中华绒螯蟹养殖生产中的野生和养殖蟹种鉴别提供实践参考,

且可进一步应用于长江水系中华绒螯蟹优良性状的发掘与良种培育。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用长江水系野生中华绒螯蟹扣蟹于2013年2月26日采自江苏镇江江段(32°11', 119°27'E),由当地渔民通过拖网捕获。池塘养殖中华绒螯蟹扣蟹于2013年2月28日取自上海海洋大学崇明养殖基地,扣蟹养殖过程中全程投喂人工配合饲料(欣欣1#,2#和3#扣蟹饲料,浙江欣欣饲料有限公司生产,蛋白含量分别为38%、35%和32%)。分别挑选肢体健全的野生蟹与人工养殖蟹雌雄各50只进行形态学测量和生化组成分析,参试扣蟹的平均体质量、甲壳长、甲壳宽和体厚见表1。

表1 野生和池塘养殖扣蟹的体质量、甲壳长、甲壳宽和体厚
Tab. 1 The body weight, carapace length, carapace width and body thickness of wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis*

项目 item	野生扣蟹 WC		养殖扣蟹 PR	
	雄体 male	雌体 female	雄体 male	雌体 female
样品量/只 sample number	50	50	50	50
体质量范围/g range of the weight	6.14 ~ 15.02	6.28 ~ 14.83	6.55 ~ 14.71	6.25 ~ 14.42
体质量/g weight	9.28 ± 2.99	9.15 ± 2.78	9.15 ± 3.02	9.20 ± 3.14
甲壳长/mm carapace length	24.36 ± 2.54	24.64 ± 2.23	24.04 ± 2.96	24.38 ± 2.98
甲壳宽/mm carapace width	27.55 ± 2.76	27.25 ± 2.87	26.98 ± 2.84	27.55 ± 3.23
体厚/mm body thickness	12.29 ± 2.02	12.01 ± 1.79	12.01 ± 1.88	12.26 ± 2.01

1.2 形态学测量方法

参考李晨虹等^[13]方法,选取了头胸甲、步足等部位的28个测量点(图1),使用游标卡尺进行测量(精度为0.01 mm),测量参数为36个可量性状,共得7200个形态学数据。

1.3 形态差异分析

为校正样本规格差异对特征值的影响,将每只蟹的所有形态特征值分别除以它的壳长值(L),然后使用SPSS 13.0软件进行数据处理。

主成分分析 根据所有实验样本的形质评价指标值进行主成分分析,其中主成分分析以特征值大于1且累计贡献率大于60%为原则,确定主成分(PC)的提取个数。

判别分析 利用形态特征对野生和人工养殖扣蟹进行判别分析,建立判别公式。采用判别公式随机判断野生和池塘养殖扣蟹各40只,雌雄

各半,然后统计判别准确率,计算公式:

$$\text{判别准确率 P1}(\%) = 100 \times \frac{\text{判别正确的数目}}{\text{实测数目}}$$

$$\text{判别准确率 P2}(\%) = 100 \times \frac{\text{判别正确的数目}}{\text{判别数目}}$$

$$\text{综合判别率} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\sum_{i=1}^k B_i}$$

式中, A_i 为第*i*个群体判别正确的中华绒螯蟹数目, B_i 为第*i*群体实际判别的中华绒螯蟹数目, k 为群体数。

1.4 生化组成分析

形态学指标测量 对所有野生与养殖扣蟹进行活体解剖,取出全部肝胰腺,并称重(精确到0.001 g),计算肝胰腺指数(HSI,%) = 100 × 肝胰腺重/体质量。同时取出躯体肌肉(去除大螯、头胸甲、鳃、三角膜、心脏和肠道等),所有组织保

存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中待生化分析。由于单只幼蟹的胰腺和肌肉较少,故将同种扣蟹 5 只个体的胰腺或躯体样品合并,因此生化分析每组样品各 4 个重复。

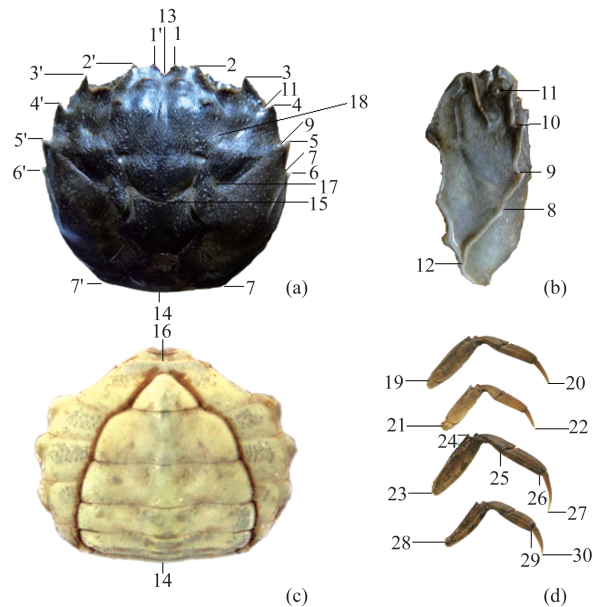


图 1 中华绒螯蟹测量点位置图

(a) 背甲背面测量点位置;(b) 背甲侧面测量点位置;(c) 腹甲测量点位置;(d) 身体右侧 4 步足测量点位置

Fig. 1 Landmark points for morphological measurements of *E. sinensis*

(a) Measuring point on the back of the carapace; (b) Measuring point on the one side of the carapace; (c) Measuring point on the breastplate; (d) Measuring point on the four step feet on the right side of the body

A1:1-1', A2:2-2', A3:3-3', A4:4-4', A5:5-5', A6:6-6', A7:7-7', B1:7-8, B2:7-9, B3:7-10, B4:7-11, C1:12-8, C2:12-9, C3:12-10, C4:12-11, L1:13-14, L2:13-15, L3:15-14, L4:14-16, L5:16-13, H: The body height of measuring point 16, S1:12-18, S3:17-4, S5:17-5, S6:17-6, S7:17-7, T1:23-24, T2:25-26, T3:29-30, T4: The width of measuring point 29, F1:19-20, F2:21-22, F3:23-27, F4:28-30

常规营养成分测定 按 AOAC^[18] 的标准方法测定水分 ($105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重) 和蛋白质含量 (凯氏定氮法); 按 Folch 法^[19] 采用氯仿: 甲醇 (体积比 $V/V=2:1$) 提取总脂并测定其含量; 采用苯酚-硫酸法测定碳水化合物含量, 标样为葡萄糖^[20]。

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-甲醇溶液对总脂进行甲酯化处理, 旋转蒸发到所需浓

度进行脂肪酸分析。所用仪器为 Agilent 6890 气相色谱, 毛细管柱型号为 Omegawax320 ($30.0\text{ m}\times 0.32\text{ mm}$, USA), 进样口和氢火焰检测器的温度均为 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, 起始柱温度为 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。脂肪酸含量计算采用面积百分比法。

1.5 数据处理

利用 SPSS 13.0 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 (means \pm SD) 表示, 在 Excel 下绘制相关图表, 采用双尾 t-test (Independent samples t-test) 分析野生和人工养殖中华绒螯蟹扣蟹各个指标的差异, 取 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹形态学比较

主成分分析 雄蟹和雌蟹均列出了 4 个主成分 (依次记录为 PC1-PC4), 其中雄蟹总方差的贡献率分别为 PC1 = 28.558, PC2 = 17.105, PC3 = 8.760, PC4 = 7.070, 雌蟹总方差的贡献率分别为 PC1 = 34.709, PC2 = 12.617, PC3 = 7.776, PC4 = 5.911 (表 2)。由此可见, 雄蟹和雌蟹 PC1 的贡献率均远高于其他主成分。将载荷绝对值 $P > 0.5$ 的变量确定为主要影响变量, 对于雄蟹而言, PC1 的 22 个正相关影响变量中 10 个为主要影响变量, 14 个负相关变量中有 6 个为主要影响变量; 雌蟹 PC1 的 21 个正相关影响变量中有 11 个主要影响变量, 15 个负相关影响变量中有 8 个主要影响变量。雄蟹 PC1 中的主要正相关影响变量集中在 T1 ~ T3 和 F2 ~ F4 等指标, 主要负相关影响变量集中在 B1 ~ B4、C1 ~ C4 及 H 等指标, 而雌蟹却与其相反, 表现出明显的性别差异; 此外, 雌雄蟹 PC2 ~ PC4 中载荷绝对值 $P > 0.5$ 的主要影响变量个数都远少于 PC1。因此, PC1 在区分长江水系野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹具有极其重要的作用。

为进一步阐明 PC1 在区分野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹中的重要性, 实验绘制了 PC1 与其他主成分得分的散布图 (图 2)。结果可见, 雄体和雌体的 PC1 均能准确区分野生和养殖扣蟹群体, 野生扣蟹的 PC1 得分绝大多数小于 0.0, 而养殖扣蟹 PC1 得分绝大多数大于 0.0。而在

其他主成分轴上,野生和养殖扣蟹均有较多的重叠,所以仅靠 PC2、PC3 或 PC4 均不能很好地区分两群体扣蟹,必须与 PC1 结合才能对两群体进行准确的判别。

表 2 野生和人工养殖扣蟹的形态特征指标主成分分析
Tab. 2 The principal component analysis of morphological indices of wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis*

项目 item	雄蟹 male				雌蟹 female			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
A1/L	-0.054	-0.057	0.031	0.370	0.161	-0.342	0.466	0.280
A2/L	0.806	0.113	0.321	-0.007	-0.615	0.000	0.438	0.031
A3/L	0.483	0.245	0.486	0.384	-0.280	0.214	0.242	0.053
A4/L	0.357	0.224	-0.371	0.313	-0.537	0.137	-0.003	-0.223
A5/L	0.348	0.468	-0.092	0.501	0.024	0.553	0.396	-0.203
A6/L	0.550	0.566	-0.0250	0.163	-0.056	0.792	0.130	-0.053
A7/L	0.617	0.040	-0.176	0.186	-0.187	0.262	0.306	0.498
B1/L	-0.304	0.568	-0.047	-0.207	0.428	0.456	0.042	0.477
B2/L	-0.350	0.772	-0.104	-0.146	0.643	0.498	0.138	-0.018
B3/L	-0.164	0.770	0.005	-0.230	-0.002	0.302	0.523	-0.283
B4/L	-0.103	0.801	0.051	-0.132	0.567	0.406	-0.044	0.054
C1/L	-0.806	0.306	0.373	-0.120	0.802	0.161	-0.149	0.099
C2/L	-0.654	0.422	0.412	-0.066	0.855	0.153	-0.067	-0.171
C3/L	-0.619	0.488	0.414	-0.110	0.840	0.103	0.015	-0.104
C4/L	-0.633	0.546	0.331	0.024	0.814	0.199	0.001	-0.164
L1/L	0.048	0.408	0.100	-0.177	0.161	0.219	0.365	0.310
L2/L	-0.096	0.246	0.452	0.193	0.681	0.224	0.155	-0.307
L3/L	-0.192	0.308	-0.308	-0.326	0.141	0.230	-0.025	0.435
L4/L	0.135	0.376	-0.015	-0.062	0.028	0.256	0.418	0.614
L5/L	0.254	0.126	0.461	0.245	0.104	0.321	0.267	-0.334
H/L	-0.546	0.188	0.041	0.311	0.669	0.288	-0.019	0.226
S1/L	0.069	0.665	-0.0344	-0.192	0.642	0.430	-0.392	0.249
S2/L	-0.568	0.582	0.109	0.039	0.853	0.214	-0.211	-0.080
S3/L	-0.160	0.304	0.285	0.562	0.632	0.130	0.485	-0.112
S4/L	0.162	0.317	-0.074	0.384	0.437	0.254	0.443	-0.386
S5/L	0.208	0.444	-0.309	0.545	0.035	0.650	-0.157	-0.263
S6/L	0.464	0.505	-0.449	0.363	-0.258	0.493	-0.474	-0.093
S7/L	0.167	0.485	-0.542	-0.424	0.312	0.457	-0.489	0.269
T1/L	0.909	0.105	0.137	-0.222	-0.874	0.348	-0.006	0.038
T2/L	0.903	0.091	0.145	-0.164	-0.870	0.371	-0.072	-0.020
T3/L	0.843	0.095	0.243	-0.069	-0.843	0.286	0.052	-0.010
T4/L	0.128	0.389	-0.432	-0.019	-0.014	0.270	-0.439	-0.112
F1/L	0.728	0.271	0.462	-0.159	-0.806	0.417	0.049	-0.034
F2/L	0.888	0.168	0.221	-0.199	-0.879	0.326	-0.061	0.007
F3/L	0.891	0.219	0.226	-0.167	-0.877	0.372	-0.083	-0.027
F4/L	0.880	0.159	0.187	-0.256	-0.859	0.357	-0.072	-0.004
特征值 eigenvalue	10.281	6.158	3.154	2.545	12.495	4.542	2.799	2.218
贡献率/% contribution	28.558	17.105	8.760	7.070	34.709	12.617	7.776	5.911
累计贡献率/% cumulative contribution	28.558	45.663	54.423	61.494	34.709	47.327	55.103	61.014

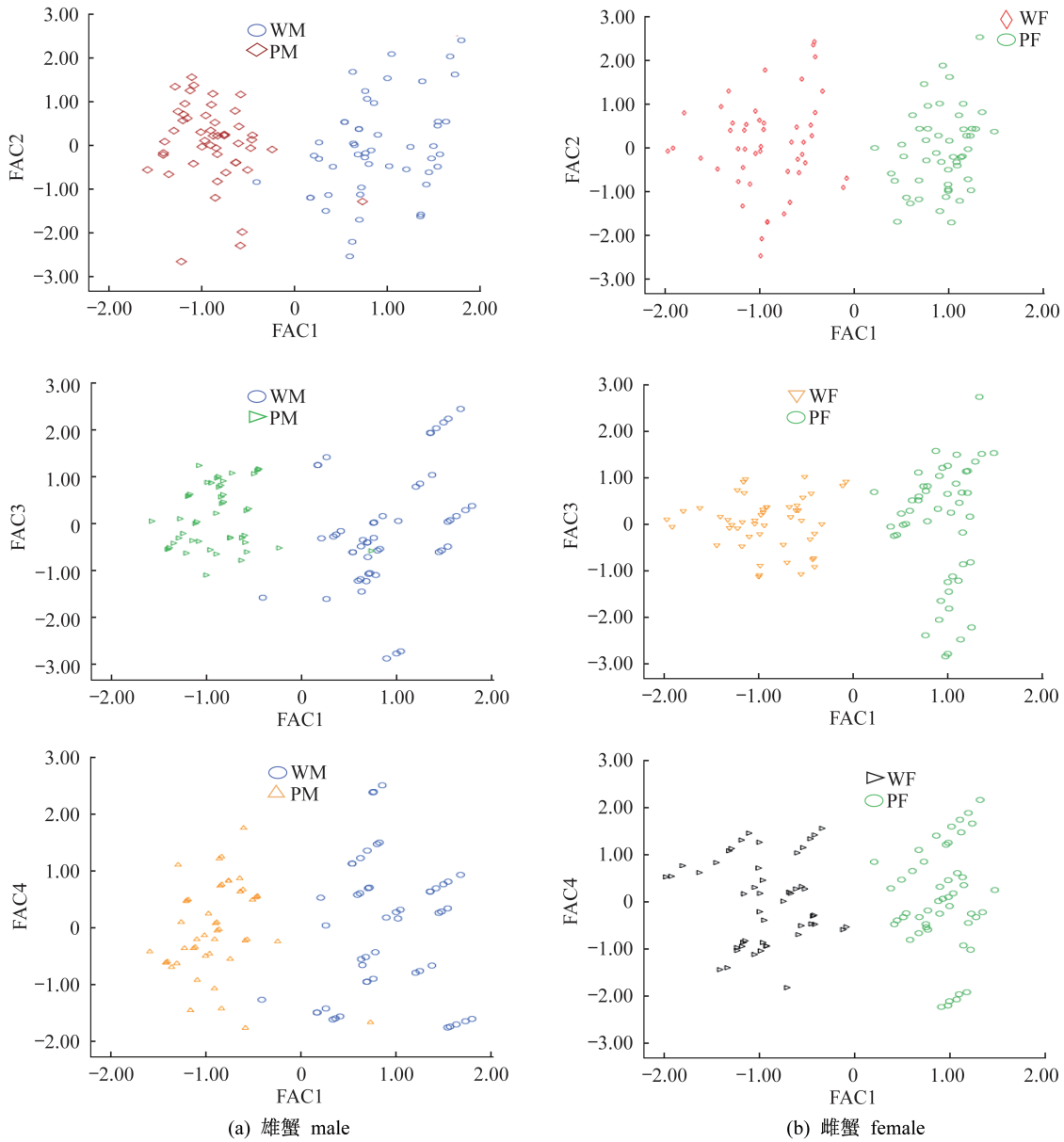


图 2 野生和养殖扣蟹形态特征的主要主成分散布图 (FAC 为主成分)

Fig. 2 The scatter diagram of major principal components for the morphological parameters of wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis* (factor score)

判别分析 野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹的形态特征差异较大,所测 36 个形态特征中,雄蟹间有 25 个形态指标存在显著差异 ($P < 0.05$),其中 21 个存在极显著差异 ($P < 0.01$);雌蟹间有 22 个形态指标存在显著差异 ($P < 0.05$),其中 20 个存在极显著差异 ($P < 0.01$) (表 3)。两群体扣蟹雄蟹和雌蟹间存在差异的形态指标不尽相同,如两组雄蟹的 B3 和 C3 存在极显著差异 ($P < 0.01$),在雌蟹间差异不显著 ($P > 0.05$);两组雌蟹的 L1 和 S1 存在极显著差异 ($P < 0.01$),而雄

蟹间差异不显著 ($P > 0.05$)。

为更具体地判别野生和养殖扣蟹群体的归属,分别从雄蟹和雌蟹的 36 个比例性状中筛选出对判别贡献率较大的 4~5 个变量(雄蟹:F4/L、S6/L、H/L、C2/L;雌蟹:F4/L、S2/L、C2/L、B1/L、A1/L)进行判别分析,建立 4 个判别方程。

野生雄蟹(WM):

$$\text{Factor}(1) = -2\,328.457 + 558.264(F4/L) + 1\,231.495(S6/L) + 5\,207.981\,9(H/L) + 2\,073.571(C2/L)$$

养殖雄蟹 (PM):

$$\text{Factor}(2) = -2\,386.547 + 516.386(F4/L) + \\ 1\,149.375(S6/L) + 5\,024.116(H/L) + \\ 2\,354.479(C2/L)$$

野生雌蟹 (WF):

$$\text{Factor}(3) = -5\,001.227 - 158.264(F4/L) + \\ 7\,018.335(S2/L) + 4\,384.428(C2/L) + \\ 7\,461.562(B1/L) + 8\,014.012(A1/L)$$

养殖雌蟹 (PF):

$$\text{Factor}(4) = -5\,547.625 - 259.387(F4/L) + \\ 8\,267.258(S2/L) + 4\,516.245(C2/L) + \\ 7\,567.106(B1/L) + 8\,021.366(A1/L)$$

利用测量数据,随机取长江水系野生和养殖扣蟹雌雄各 40 只测量相关指标,然后用以上公式判断归宿,雄蟹和雌蟹的综合判别准确率分别为 97.5% 和 100% (表 4),进一步证实了上述判别方程的准确性。

表 3 野生和养殖扣蟹的重要形态特征比较

Tab. 3 The comparison of important morphological indices of wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis*

项目 item	野生雄蟹 WM	养殖雄蟹 PM	<i>P</i>	野生雌蟹 WF	养殖雌蟹 PF	<i>P</i>
A2/L	0.29 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.000	0.28 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.001
A3/L	0.73 ± 0.02	0.71 ± 0.02	0.525	0.72 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.024
A4/L	0.96 ± 0.07	0.92 ± 0.02	0.001	0.99 ± 0.07	0.92 ± 0.02	0.000
A7/L	0.54 ± 0.02	0.52 ± 0.01	0.046	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.385
B1/L	0.61 ± 0.01	0.61 ± 0.01	0.001	0.60 ± 0.01	0.61 ± 0.01	0.000
B2/L	0.71 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.000	0.70 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.000
B3/L	0.83 ± 0.01	0.83 ± 0.01	0.000	0.83 ± 0.01	0.83 ± 0.03	0.209
B4/L	0.89 ± 0.01	0.90 ± 0.01	0.001	0.89 ± 0.01	0.90 ± 0.01	0.000
C1/L	0.25 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.000	0.25 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.000
C2/L	0.38 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.000	0.38 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.000
C3/L	0.52 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.000	0.52 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.441
C4/L	0.64 ± 0.01	0.66 ± 0.01	0.000	0.64 ± 0.01	0.66 ± 0.01	0.569
L1/L	1.00 ± 0.01	1.00 ± 0.04	0.080	1.00 ± 0.00	1.01 ± 0.03	0.000
L2/L	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.010	0.55 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.000
L4/L	0.740.01	0.74 ± 0.01	0.022	0.74 ± 0.01	0.74 ± 0.01	0.581
H/L	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.000	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.000
S1/L	0.45 ± 0.01	0.44 ± 0.01	0.524	0.43 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.000
S2/L	0.52 ± 0.01	0.54 ± 0.02	0.000	0.51 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.000
S3/L	0.47 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.029	0.46 ± 0.01	0.47 ± 0.01	0.000
S6/L	0.37 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.010	0.37 ± 0.01	0.36 ± 0.01	0.049
S7/L	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.458	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.027
T1/L	0.78 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.000	0.77 ± 0.03	0.70 ± 0.02	0.000
T2/L	0.55 ± 0.03	0.49 ± 0.02	0.000	0.56 ± 0.03	0.50 ± 0.02	0.000
T3/L	0.53 ± 0.04	0.47 ± 0.02	0.000	0.52 ± 0.02	0.47 ± 0.02	0.000
T4/L	0.07 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.794	0.07 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.355
F1/L	1.51 ± 0.06	1.45 ± 0.04	0.000	1.51 ± 0.05	1.43 ± 0.04	0.000
F2/L	2.11 ± 0.09	1.95 ± 0.06	0.000	2.11 ± 0.08	1.93 ± 0.50	0.000
F3/L	2.18 ± 0.11	2.00 ± 0.07	0.000	2.19 ± 0.09	2.00 ± 0.05	0.000
F4/L	1.63 ± 0.07	1.48 ± 0.05	0.000	1.64 ± 0.06	1.50 ± 0.04	0.000

表 4 野生和养殖扣蟹的判别分类结果

Tab. 4 The discriminating results of wild-caught and pond-reared juvenile *E. Sinensis*

群体 population	野生 WC	养殖 PR	判别准确率/% discriminant accuracy		综合判别 准确率/% synthetic discriminant accuracy
			P1	P2	
雄体 male					
野生 WC	38	2	100	95	97.5
养殖 PR	2	38	95	100	
雌体 female					
野生 WC	40	0	100	100	100
养殖 PR	0	40	100	100	

2.2 野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹肝胰腺和躯体肌肉生化组成比较

肝胰腺指数和常规生化成分 无论是雌蟹还是雄蟹,野生扣蟹的肝胰腺指数(HSI)均显著高于人工养殖扣蟹(雌蟹: $P = 0.01$,雄蟹: $P = 0.02$)(图3)。无论是雌蟹还是雄蟹,养殖扣蟹的水分含量极显著高于野生群体扣蟹($P < 0.01$),但其肝胰腺总脂含量显著低于野生扣蟹

($P < 0.05$); 尽管养殖扣蟹肝胰腺中的蛋白质和总糖含量略高于野生扣蟹,但是统计学上均无显著差异($P > 0.05$)。就躯体肌肉而言,野生雄蟹的总脂和总糖含量显著高于养殖雄蟹($P < 0.05$),水分含量与之相反;野生雌蟹躯体肌肉的水分含量也显著低于养殖扣蟹,但前者的蛋白质和总脂含量极显著高于后者($P < 0.01$)。

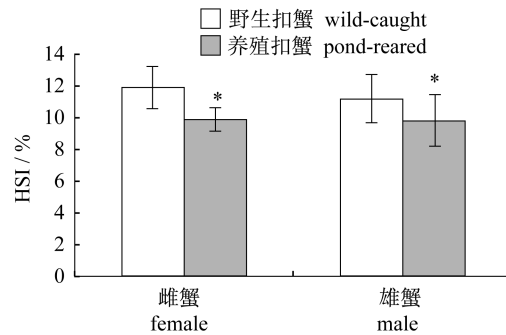


图 3 野生和养殖扣蟹的肝胰腺指数(HSI)比较

* 表示差异显著

Fig. 3 The comparison of hepatosomatic index (HSI) between wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis*

“*” indicates significant differences between two populations

表 5 野生和养殖扣蟹肝胰腺、躯体肌肉中的常规生化组成(湿重)

Tab. 5 The proximate composition of hepatopancreas and muscle for wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis* (wet weight)

组织 tissue	野生雄蟹 CM	养殖雄蟹 PM	<i>P</i>	野生雌蟹 WF	养殖雌蟹 PF	<i>P</i>
肝胰腺 hepatopancreas						
水分 moisture	39.89 ± 0.96	45.27 ± 0.79	0.000	42.93 ± 1.91	48.20 ± 1.86	0.007
蛋白质 protein	8.87 ± 0.26	9.99 ± 0.83	0.079	9.49 ± 0.64	10.05 ± 0.96	0.374
总脂 total lipid	45.21 ± 1.14	37.42 ± 1.67	0.001	41.16 ± 1.11	34.18 ± 2.30	0.002
总糖 total carbohydrate	0.65 ± 0.12	0.68 ± 0.12	0.758	0.60 ± 0.09	0.71 ± 0.19	0.364
躯体肌肉 muscle						
水分 moisture	68.90 ± 0.73	72.08 ± 0.58	0.001	68.00 ± 0.61	72.61 ± 1.37	0.001
蛋白质 protein	15.82 ± 0.91	15.22 ± 0.56	0.324	17.12 ± 0.42	15.22 ± 0.81	0.006
总脂 total lipid	1.40 ± 0.20	1.12 ± 0.03	0.036	1.40 ± 0.12	1.05 ± 0.10	0.004
总糖 total carbohydrate	0.55 ± 0.03	0.35 ± 0.04	0.001	0.32 ± 0.05	0.28 ± 0.03	0.263

野生和养殖扣蟹肝胰腺和躯体肌肉的脂肪酸组成 雄性养殖扣蟹肝胰腺饱和脂肪酸(SFA)中的C16:0和C17:0显著高于野生扣蟹,但养殖蟹的C18:0含量极显著低于野生蟹($P < 0.01$),整体上养殖扣蟹肝胰腺中 Σ SFA显著高于野生蟹($P < 0.05$);养殖扣蟹与野生扣蟹肝胰腺中的各单不饱和脂肪酸(MUFA)含量均无显著差异

($P > 0.05$),肝胰腺中的MUFA均以C16:1n-7和C18:1n9为主;两群体肝胰腺中的多不饱和脂肪酸(PUFA)存在一定的差异,养殖蟹的 Σ PUFA和 Σ n-6PUFA含量显著低于野生蟹($P < 0.05$),但是野生蟹的C18:4n3、C20:3n3和C20:4n3含量显著高于养殖扣蟹(表6)。两群体雌蟹肝胰腺中的脂肪酸含量差异与雄蟹的结果差距较大,除C15

:0 和 C17:0 两种含量较低的脂肪酸外,其余 SFA 含量均无显著差异;两群体雌蟹肝胰腺中的多种 MUFA 差异显著,养殖雌蟹肝胰腺中 C14:1n7、C16:1n7、C18:1n7 和 C20:1n7 含量显著高于野生蟹 ($P < 0.05$),但养殖雌蟹肝胰腺中的 C18:1n9

显著低于野生蟹 ($P < 0.05$),整体上两者之间 Σ MUFA 差异不显著;除 C20:2n6 和 C22:5n3 两者 PUFA 外,野生和养殖扣蟹雌蟹肝胰腺中的 PUFA 均无显著差异。

表 6 野生和养殖扣蟹肝胰腺中脂肪酸组成
Tab. 6 The fatty acid composition in the hepatopancreas of wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis*

脂肪酸 fatty acids	% total fatty acids					
	野生雄蟹 CM	养殖雄蟹 PM	<i>P</i>	野生雌蟹 WF	养殖雌蟹 PF	<i>P</i>
C14:0	1.27 ± 0.11	1.46 ± 0.27	0.312	1.46 ± 0.53	1.54 ± 0.16	0.770
C15:0	0.48 ± 0.04	0.76 ± 0.14	0.123	0.44 ± 0.07	0.72 ± 0.02	0.000
C16:0	14.77 ± 1.01	17.11 ± 0.96	0.025	15.17 ± 0.97	15.93 ± 1.12	0.349
C17:0	0.48 ± 0.41	0.98 ± 0.04	0.000	0.68 ± 0.12	1.04 ± 0.08	0.002
C18:0	3.38 ± 0.10	2.64 ± 0.13	0.001	3.49 ± 1.03	2.51 ± 0.05	0.153
Σ SFA	20.72 ± 2.00	23.11 ± 0.82	0.033	21.41 ± 1.40	21.89 ± 0.93	0.582
C16:1n7	8.74 ± 1.14	11.22 ± 2.34	0.157	8.70 ± 0.98	11.38 ± 1.16	0.004
C18:1n9	27.31 ± 1.93	25.93 ± 0.73	0.238	29.63 ± 1.48	25.54 ± 2.15	0.020
C18:1n7	3.74 ± 0.23	2.87 ± 1.76	0.087	2.97 ± 0.55	3.80 ± 0.22	0.031
C20:1n9	1.07 ± 0.12	1.14 ± 0.27	0.715	1.15 ± 0.43	1.19 ± 0.42	0.871
C20:1n7	0.40 ± 0.05	0.46 ± 0.07	0.336	0.28 ± 0.08	0.55 ± 0.05	0.002
Σ MUFA	43.45 ± 1.29	44.92 ± 1.96	0.348	44.05 ± 1.04	44.45 ± 3.34	0.823
C18:2n6	13.73 ± 0.22	12.45 ± 1.07	0.103	13.82 ± 1.66	11.98 ± 1.15	0.118
C18:3n3	1.83 ± 0.16	2.09 ± 0.27	0.207	2.52 ± 0.65	2.17 ± 0.20	0.369
C20:2n6	0.98 ± 0.23	1.29 ± 0.13	0.079	1.09 ± 0.11	1.40 ± 0.11	0.007
C20:3n6	0.23 ± 0.07	0.23 ± 0.05	0.986	0.28 ± 0.08	0.55 ± 0.05	0.450
C20:4n6	2.36 ± 0.37	1.83 ± 0.33	0.097	1.98 ± 0.57	2.04 ± 0.43	0.866
C20:3n3	0.21 ± 0.05	0.38 ± 0.03	0.002	0.35 ± 0.08	0.45 ± 0.04	0.055
C20:4n3	0.20 ± 0.02	0.31 ± 0.06	0.036	0.25 ± 0.10	0.29 ± 0.07	0.552
C20:5n3	3.42 ± 0.62	2.74 ± 0.52	0.175	3.05 ± 0.58	2.89 ± 0.57	0.720
C22:5n3	0.59 ± 0.05	0.39 ± 0.13	0.694	0.89 ± 0.32	0.39 ± 0.10	0.023
C22:6n3	2.74 ± 0.20	2.40 ± 1.05	0.605	2.44 ± 0.56	2.82 ± 0.84	0.479
Σ PUFA ($\geq 18:2n$)	26.49 ± 0.35	24.40 ± 1.12	0.028	26.64 ± 1.26	24.99 ± 3.18	0.371
$\Sigma n3$ PUFA	9.19 ± 0.59	8.62 ± 1.53	0.574	9.55 ± 0.84	9.32 ± 1.85	0.832
$\Sigma n6$ PUFA	17.30 ± 0.40	15.79 ± 0.69	0.020	17.10 ± 1.48	15.67 ± 1.54	0.229
n3/n6	0.53 ± 0.04	0.55 ± 0.11	0.789	0.56 ± 0.08	0.59 ± 0.08	0.625
Σ HUFA ($\geq 20:3n$)	9.99 ± 0.77	8.80 ± 2.31	0.439	9.38 ± 1.61	9.81 ± 2.04	0.752

养殖扣蟹躯体肌肉中 C14:0、C15:0 显著低于野生扣蟹,而 C18:0 极显著高于野生扣蟹 ($P < 0.01$),以致两者之间 Σ SFA 差异不显著 ($P > 0.05$);整体上养殖雄蟹躯体肌肉中 Σ MUFA 含量显著低于野生雄蟹 ($P < 0.05$), Σ PUFA ($\geq 18:2n$)及 $\Sigma n3$ PUFA 含量显著高于野生雄蟹 ($P < 0.05$), Σ HUFA ($\geq 20:3n$)含量极显著高于野生

雄蟹 ($P < 0.01$),但是野生扣蟹 C20:4n6 显著高于养殖扣蟹 ($P < 0.05$)。雄性养殖扣蟹 C16:0、C18:1n7 及 Σ MUFA 显著低于野生扣蟹 ($P < 0.05$),而 C20:2n6、C20:3n3、C22:5n3 显著高于野生扣蟹 ($P < 0.05$),两者间 Σ SFA 和 Σ PUFA 差异不显著 ($P > 0.05$) (表 7)。

表 7 野生和养殖扣蟹躯体肌肉中脂肪酸组成
 Tab. 7 The fatty acid composition in the muscle of wild-caught
 and pond-reared juvenile *E. sinensis*

脂肪酸 fatty acids	% total fatty acids					
	野生雄蟹 WM	养殖雄蟹 PM	<i>P</i>	野生雌蟹 WF	养殖雌蟹 PF	<i>P</i>
C14:0	0.55 ± 0.12	0.39 ± 0.05	0.047	0.46 ± 0.10	0.34 ± 0.08	0.102
C15:0	0.34 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.039	0.26 ± 0.02	0.45 ± 0.26	0.195
C16:0	10.53 ± 1.39	9.74 ± 0.46	0.430	10.36 ± 0.42	9.21 ± 0.16	0.007
C17:0	0.91 ± 0.07	0.78 ± 0.02	0.070	0.78 ± 0.09	1.01 ± 0.32	0.216
C18:0	5.74 ± 0.06	6.19 ± 0.17	0.009	5.98 ± 0.45	6.42 ± 0.16	0.122
ΣSFA	18.48 ± 1.63	17.96 ± 0.58	0.643	18.28 ± 0.56	18.24 ± 0.38	0.898
C16:1n7	4.05 ± 0.94	2.63 ± 0.35	0.037	3.25 ± 0.82	1.76 ± 0.58	0.024
C17:1n7	0.74 ± 0.16	0.50 ± 0.11	0.065	0.50 ± 0.08	0.68 ± 0.31	0.332
C18:1n9	15.67 ± 0.98	14.58 ± 0.22	0.189	16.45 ± 1.63	13.53 ± 0.88	0.028
C18:1n7	3.97 ± 0.37	3.71 ± 0.15	0.247	3.89 ± 0.26	4.04 ± 0.41	0.581
C20:1n9	1.40 ± 0.38	1.35 ± 0.09	0.785	1.35 ± 0.17	0.40 ± 0.27	0.000
C20:1n7	0.28 ± 0.06	0.29 ± 0.05	0.866	0.25 ± 0.04	0.93 ± 0.65	0.127
C22:1n9	0.38 ± 0.10	0.24 ± 0.09	0.109	0.27 ± 0.10	0.36 ± 0.13	0.287
ΣMUFA	26.58 ± 1.54	23.38 ± 0.63	0.012	26.06 ± 2.26	21.77 ± 0.56	0.027
C18:2n6	7.22 ± 0.75	7.72 ± 0.74	0.423	7.74 ± 1.45	8.31 ± 1.16	0.118
C18:3n3	1.18 ± 0.15	1.13 ± 0.14	0.661	1.37 ± 0.27	1.65 ± 0.48	0.369
C20:2n6	1.44 ± 0.36	1.83 ± 0.06	0.204	1.56 ± 0.19	1.11 ± 0.45	0.007
C20:4n6	6.57 ± 0.75	5.32 ± 0.31	0.027	6.35 ± 0.65	4.85 ± 0.95	0.866
C20:3n3	0.31 ± 0.15	0.50 ± 0.04	0.053	0.37 ± 0.07	0.21 ± 0.05	0.055
C20:5n3	15.84 ± 0.70	16.92 ± 0.70	0.100	16.14 ± 1.33	17.62 ± 1.03	0.720
C22:5n3	1.76 ± 1.31	2.96 ± 0.92	0.212	2.41 ± 0.93	0.50 ± 0.38	0.023
C22:6n3	9.95 ± 0.69	13.40 ± 0.96	0.003	10.18 ± 1.13	13.44 ± 1.78	0.479
ΣPUFA(≥18:2n)	44.27 ± 2.16	49.76 ± 1.60	0.011	46.12 ± 2.23	47.67 ± 0.97	0.250
Σn3PUFA	29.04 ± 1.71	34.90 ± 0.88	0.002	30.47 ± 2.41	33.40 ± 0.94	0.064
Σn6PUFA	15.23 ± 0.47	14.86 ± 0.91	0.524	15.65 ± 1.09	14.27 ± 0.79	0.087
n3/n6	1.91 ± 0.06	2.35 ± 0.12	0.002	1.96 ± 0.23	2.35 ± 0.17	0.034
ΣHUFA(≥20:3n)	34.43 ± 2.09	39.21 ± 0.77	0.008	35.45 ± 3.30	36.60 ± 0.79	0.522

3 讨论

3.1 多元分析在中华绒螯蟹种群鉴定中的应用

迄今为止,国内外已从形态学、同工酶、DNA 分子标记等多层次上对中华绒螯蟹的群体遗传、系统发生、生物进化等方面开展了大量的研究工作^[13,21-24]。表型,尤其是形态学研究作为一种直观方便和简单实用的技术手段,已开始应用于中华绒螯蟹种质鉴定、种群判别、产地判别等研究领域^[12,25-27]。多元分析方法是形态学研究的主要技术手段,包括聚类分析、主成分分析、判别分析

等,聚类分析可将不同种群进行归类,量化种群间的相似性,分析种群间的亲缘关系^[25];主成分分析可通过降维处理将多个形态性状概括为少量几个最佳变量,从而分析种群间的差异程度,在各主成分中找出差异较大的形态参数,有助于探究导致种群间产生差异的真实原因^[7];判别分析是通过建立判别方程,从形态特征对种群进行量化判别^[12]。本实验运用了主成分分析和判别分析两种方法比较了野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹形态学特征,从表 2 可见,主成分一(PC1)的贡献率远高于其他主成分,由图 2 可见仅通过主成分一即可

清晰地区分野生和养殖群体扣蟹;另外,本实验所建立的判别方程仅需测量 4~5 个形态学指标即可有效区分长江水系野生和养殖扣蟹,准确率高达 95% 以上。

3.2 野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹形态差异的原因分析

甲壳动物形态学的特征受遗传因子和环境因子共同影响^[26]。许加武等^[12]、李晨虹等^[13]、耿绪云等^[28]比较了辽河、黄河、长江、瓯江等我国沿海各水系中华绒螯蟹的形态学特征,表明各水系中华绒螯蟹在形态学上都有一定差异,比如与辽河水系中华绒螯蟹相比,长江水系蟹内额齿间距较大,前后缘较窄小,体较薄,第四步足长节较长等。本结果显示,野生和养殖长江水系中华绒螯蟹扣蟹的形态特征差异较大,所测 36 个形态学指标,其中 20 多个存在显著差异(雄 25 个,雌 22 个),且主要集中在 B1~B4, C1~C4, H, T1~T3, F1~F4 等形态参数。推测其主要原因是由于近年来人为原因导致长江水系中华绒螯蟹养殖群体受到其他各水系中华绒螯蟹的污染,导致种质混杂,形态学发生变异^[25];同时作者认为长江野生条件下的中华绒螯蟹和池塘养殖条件下的中华绒螯蟹在种群密度、敌害生物、饵料条件和水质条件等方面均存在较大差异,整体上经历的自然选择强度不同,导致两群体形态学特征在各自的环境选择下受到不同影响。Davis 等^[29]研究发现,在敌害生物存在条件下,蓝蟹(*Portunus sanguinolentus*)的背甲形态会发生变化,其棘会变得更细和尖锐,增强自卫能力;王志铮等^[7]研究养殖模式对日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)形质差异影响时发现,营养状况(食物密度及食物获得难易程度)对动物体的生长速度、养成周期及形态特征等具有重要的影响,说明食物条件会影响水生动物的形态学特征。本研究养殖扣蟹以摄食配合饲料为主,无敌害生物存在,而长江流域的野生扣蟹主要摄食水草、有机碎屑和贝类(如螺蛳、河蚌等)等底栖动物^[30],饵料丰度和可得性远低于池塘养殖环境下,并且容易遭受敌害生物的侵袭,野生扣蟹在长江中需要大幅度地运动来搜寻食物以及防御敌害,加之长江具有一定的水流,为了不顺流而下回到长江口,野生扣蟹在长江中必须不断朝上游爬行或者用步足将自身相对固定于长江中某一江段,因此野生扣蟹的步足等肢

体(T1~T3, F1~F4)更为发达和修长^[31]。

3.3 野生和养殖中华绒螯蟹扣蟹生化成分差异的原因分析

肝胰腺是中华绒螯蟹最重要的营养物质消化吸收和储存器官,对于中华绒螯蟹的生长和性腺发育起着极其重要的作用,肝胰腺指数及其生化组成可以在很大程度上反映中华绒螯蟹的营养状况^[32-33]。无论雌体还是雄体,野生扣蟹的肝胰腺指数和总脂含量均显著高于养殖群体,一方面可能是野生和养殖扣蟹的饵料组成不同,以致机体营养积累有所差异;另一方面可能是由于本实验的采样时间均在 2 月底,长江流域的池塘养殖扣蟹在越冬期间(12 月—翌年 3 月)由于水温较低,很少摄食^[31],因此肝胰腺中储存的营养物质较少;由于长江中下游的水深(6~11 m)远大于池塘(0.6~1.2 m),且长江中的水体体积远大于扣蟹养殖池塘,推测长江底部的冬季水温应高于扣蟹养殖池塘,长江中的野生扣蟹在越冬期间可能仍然具有摄食活动,因此野生扣蟹的肝胰腺指数和总脂含量较高,水分含量较低。先前的研究表明,中华绒螯蟹幼蟹饥饿或越冬期间,肝胰腺指数及其脂肪含量显著下降,而水分含量显著上升^[34]。中华绒螯蟹肝胰腺主要储存的为脂类,以用于蜕壳或生长^[32,35],因此,肝胰腺中的蛋白质和碳水化合物的含量相对较低,且两种群间无显著差异。野生和养殖扣蟹躯体肌肉中的常规营养成分差异规律基本与肝胰腺的差异类似,但躯体肌肉的常规生化组成又具有其自身组织特异性,如躯体肌肉中的总脂和总糖含量较低,粗蛋白含量较高,这与先前有关中华绒螯蟹幼蟹不同组织生化组成的报道基本一致^[33,36]。

脂肪酸是脂类物质的重要组成部分,它对动物的生长、发育和繁殖起着极为关键的作用^[37-38]。由于食物中脂类物质需要通过肝胰腺吸收后转运到其他组织,因此肝胰腺的脂肪酸组成通常受食物影响较大,具有较高的相关性^[38]。但是肝胰腺中通常会将高度不饱和脂肪酸运输到其他组织供其生长之用,同时储存较多的饱和单不饱和脂肪酸供能量代谢用^[35,37]。本实验结果表明,野生和池塘养殖中华绒螯蟹扣蟹肝胰腺中多种脂肪酸存在显著差异,整体上野生扣蟹肝胰腺中的 18:0、18:1n9、18:1n7 和 Σ PUFA 高于池塘养殖扣蟹,后者的 17:0、16:1n7 和 20:1n7 高于野

生扣蟹,这暗示着两者饵料中的脂肪酸组成可能存在一定差异。长江野生扣蟹的饵料组成较为复杂,可能包括水草、有机碎屑和贝类等底栖动物^[31],因此其脂肪酸组成相对平衡,加之其越冬期间仍然能够少量摄食,整体上使野生扣蟹肝胰腺的营养状况优于池塘养殖扣蟹。野生扣蟹躯体肌肉中多种 MUFA 和 20:4n6 高于养殖扣蟹,但 20:5n3 和 22:6n3 低于养殖扣蟹,其可能原因如下:① MUFA 是甲壳动物主要的能量脂肪酸,饥饿期间通常优先使用这些脂肪酸^[39],由于长江野生扣蟹越冬期间可能仍然摄食,肝胰腺中具有足够 MUFA 来提供能量,因此肌肉中的 MUFA 动用较少,故躯体肌肉中的 MUFA 相对较高;② 池塘养殖扣蟹主要摄食配合饲料,配合饲料中添加了一定含量的海水鱼油,鱼油中富含 20:5n3 和 22:6n3 等 n-3 系列高度不饱和脂肪酸,因此扣蟹生长过程中已经在肌肉中积累了较多的这些脂肪酸,同时池塘养殖扣蟹越冬过程中消耗了肝胰腺和肌肉中的 MUFA,因此躯体肌肉中的 20:5n3 和 22:6n3 相对含量升高;③ 先前有关中华绒螯蟹幼蟹的研究表明,当饲料中缺乏 n-3HUFA,幼蟹可以通过增加 18:2n6 和 20:4n6 的吸收和转化,在一定程度上抵消 HUFA 缺乏带来的负面影响^[38]。因此,推测认为野生扣蟹天然饵料中可能 20:5n3 相对较低,因此需要吸收较多的 20:4n6 来提高躯体肌肉中总 HUFA 含量。进一步研究需要探明长江野生扣蟹的主要饵料组成,并比较长江野生扣蟹主要天然饵料和池塘养殖扣蟹投喂饲料的脂肪酸组成,以深入理解野生扣蟹的营养生理,优化中华绒螯蟹幼蟹的饲料配方。无论肝胰腺还是肌肉,野生和池塘扣蟹的脂肪酸组成均表现出一定的性别差异,这暗示中华绒螯蟹在扣蟹阶段脂肪酸营养需求已经存在一定的差异^[33,38]。

先前的研究还表明,水生动物肌肉中的脂肪酸指纹图谱可以用于一些种类的种质鉴定和种群判断^[10,40]。进一步研究表明,不同地理种群或品系水生动物在相同的条件下养殖,其肌肉中的脂肪酸组成也有所不同,这说明肌肉中脂肪酸组成可能和遗传有关,并且可以通过遗传育种来改良^[41-42]。尽管本结果表明野生和池塘养殖长江水系中华绒螯蟹扣蟹的脂肪酸组成存在较大差异,但需要进一步确认这种差异是否和遗传有关,

以及重要脂肪酸含量的遗传力,为中华绒螯蟹的品质育种提供理论基础。

参考文献:

- [1] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological culture of Chinese mitten crab aquaculture [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2013: 59 - 84. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖, 第三章, 河蟹种质资源保护. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59 - 84.]
- [2] Sui L Y, Wille M, Cheng Y X, et al. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 2011, 315: 16 - 19.
- [3] Zhou G, Zhu Q S, Hu B L. A preliminary study on the growth of different population *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 2003, 24(6): 34 - 37. [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. 水产养殖, 2003, 24(6): 34 - 37.]
- [4] Li X H, Xu Z Q, Pan J L, et al. Genetic diversity of selected stock of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 236 - 242. [李晓晖, 许志强, 潘建林, 等. 中华绒螯蟹人工选育群体的遗传多样性. 中国水产科学, 2010, 17(2): 236 - 242.]
- [5] Chen X H, Zhu Q S, Yan W H, et al. Chinese Mitten-handed crab's resource current situation and countermeasure for protection in the Jiangsu section of the Yangze river [J]. Aquaculture, 2007, 24(6): 34 - 37. [陈校辉, 朱清顺, 严维辉, 等. 长江江苏段中华绒螯蟹资源现状及保护对策初探 [J]. 水产养殖, 2007, 24(6): 34 - 37.]
- [6] Liu K, Tang T, Duan J R, et al. Population characteristics and factors affecting the Chinese mitten crab fishery in Jiuduansha, Yangtze River Estuary [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 614 - 623. [刘凯, 汤滔, 段金荣, 等. 长江口九段沙水域中华绒螯蟹汛期特征及影响因素. 中国水产科学, 2013, 20(3): 614 - 623.]
- [7] Wang Z Z, Yang L, Zhu W D. Morphological and quality difference of adult *Anguilla japonica* under three aquaculture models [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1385 - 1392. [王志铮, 杨磊, 朱卫东. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1385 - 1392.]
- [8] Liu Z F, Xiong G L, Huang K Q, et al. Population identification of the *Trichiurus haumela* from the east China sea [J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21

- (3):282-287. [刘子藩,熊国强,黄克勤,等. 东海带鱼种群鉴别研究. 水产学报,1997,21(3):282-287.]
- [9] Wei K J, Xiong B X, Zhao X H, *et al.* Morphological variations and discriminant analysis of five freshwater unionid species (Bivalvia: Unionidae) [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(1):13-18. [魏开建,熊邦喜,赵小红,等. 五种蚌的形态变异与判别分析. 水产学报,2003,27(1):13-18.]
- [10] Dong Z G. The study on morphology, biochemistry, molecular phylogeography and genetic diversity of the swimming crab PHD thesis of *Portunus trituberculatus* along China Coast [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012:19-29. [董志国. 中国沿海三疣梭子蟹群体形态、生化与分子遗传多样性研究. 上海:上海海洋大学,2012:19-29.]
- [11] Li M Y, Zheng Y F, Guan D D. 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. [李明云,郑岳夫,管丹东. 大黄鱼四家系肌肉营养成分差异及品质选育分析. 水产学报,2009,33(4):632-638.]
- [12] Xu J W, Ren M R, Li S F. Morphological identification of population of *Eriocheir sinensis* from Changjiang, Liaohe and Oujiang rivers [J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(3):269-275. [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学判别. 水产学报,1997,21(3):269-275.]
- [13] Li C H, Li S F. Phylogenesis of population of mitten crabs (*Eriocheir sinensis*, *Eriocheir japonicus*) in six river systems of mainland China: morphology discriminant analysis [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(4):337-342. [李晨虹,李思发. 中国大陆沿海六水系绒螯蟹(中华绒螯蟹和日本绒螯蟹)群体亲缘关系:形态判别. 水产学报,1999,23(4):337-342.]
- [14] Wang Q, Li X D, Dai W, *et al.* The morphological discrimination of population of mitten crab in different river systems [J]. Fisheries Science, 2006, 25(3):125-128. [王茜,李晓东,戴伟,等. 不同水系绒螯蟹群体外部形态的判别分析. 水产科学,2006,25(3):125-128.]
- [15] Zhu Q S, Bai R F. Comparison of biological characteristics between cultured and wild crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Jiangsu Journal of Agriculture Science, 2007, 23(3):218-223. [朱清顺,柏如发. 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,2007,23(3):218-223.]
- [16] Su S P. Effects of different rearing methods on the morphological characteristics of *Eriocheir sinensis* larvae [J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(6):36-37. [苏时萍. 苗种的培育方式对中华绒螯蟹幼体形态特征的影响. 水利渔业,2007,27(6):36-37.]
- [17] Wu X G, Zhou B, Cheng Y, *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.
- [18] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th edition [M]. Arlington, VA, USA: Association of Analytical Communities, 1995.
- [19] Folch J, Lee M, Sloane-stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1):497-509.
- [20] Kochert A G. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric [C]//Hellebust J A, Craigie J S. Handbook of phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods. Cambridge: Cambridge University Press, 1978:95-97.
- [21] Li S F, Zhou S M. Phylogenesis of populations of mitten crabs (*Eriocheir sinensis*, *E. japonicus*) in six river systems of mainland China: RAPD fingerprinting marker [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(4):325-330. [李思发,邹曙明. 中国大陆沿海六水系绒螯蟹(中华绒螯蟹和日本绒螯蟹)群体亲缘关系:RAPD 指纹标记. 水产学报,1999,23(4):325-330.]
- [22] Qiu G F, Xu Q T, Wang L Q, *et al.* Molecular taxonomy and phylogeny of four species of *Eriocheir* (Decapoda: brachyura: grapsidae) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2001, 47(6):640-647. [邱高峰,徐巧婷,王丽卿,等. 四种绒螯蟹分子分类与系统发育. 动物学报,2001,47(6):640-647.]
- [23] Sun H Y, Zhou K Y, Yang X J. Phylogenetic relationships of the mitten crabs inferred from Mitochondrial 16S rDNA partial sequences (Crustacean, Decapoda) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2003, 49(5):592-599. [孙红英,周开亚,杨小军. 从线粒体 16S rDNA 序列探讨绒螯蟹类的系统发生关系. 动物学报,2003,49(5):592-599.]

- [24] Chang Y M, Liang L Q, Ma H T. Microsatellite analysis of genetic diversity and population structure of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Genet Genomics, 2008, 35: 171 - 176.
- [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, 张博文, 等. 四个地方种群绒螯蟹形态差异的比较研究. 中国农学通报, 2007, 23 (6): 648 - 653.]
- [26] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Analysis of morphological variations among four wild populations of *Portunus trituberculatus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (2): 223 - 228. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 4 个野生群体形态差异分析. 中国水产科学, 2007, 14 (2): 223 - 228.]
- [27] Yang W B, SU Y P, Liu H B, et al. A comparative study of morphological characteristics and elemental fingerprints of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from three lakes [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19 (1): 84 - 93. [杨文斌, 苏彦平, 刘洪波. 长江水系 3 个湖泊中华绒蟹形态及元素“指纹”特征. 中国水产科学, 2012, 19 (1): 84 - 93.]
- [28] Gen X Y, Sun J S, Ma W L, et al. Comparison of morphological characteristic of *Eriocheir sinensis* from different drainage [J]. Tianjing Fisheries, 2003, 1: 29 - 32. [耿绪云, 孙金生, 马维林, 等. 不同水系中华绒螯蟹外部形态特征的比较. 天津水产, 2003, 1: 29 - 32.]
- [29] Davi J L D, Eckert-Mills M G, Young-Williams A C, et al. Morphological conditioning of a hatchery - raised invertebrate, *Callinectes sapidus*, to improve field survivorship after release [J]. Aquaculture, 2005, 243 (1 - 4): 147 - 158.
- [30] Wu X G, Cheng Y X, Sui L X, et al. Biochemical composition from pond-reared and lake-stocked adult *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture Research, 2007a, 38: 1459 - 1467.
- [31] Zhang L S, Li J. The breeding and culture of Chinese mitten crab [M]. Beijing: Jingdun Press, 2002: 124 - 196. [张列士, 李军. 河蟹增养殖技术. 北京: 金盾出版社, 2002. 5 - 248.]
- [32] Cheng Y X, Du N S, Lai W. Ultra structure of the hepatopancreatic R and F cells and lipid storage in the Chinese crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2000, 46 (1): 8 - 13. [成永旭, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹肝胰腺 R 和 F 细胞及其脂类储存的电镜研究. 动物学报, 2000, 46 (1): 8 - 13.]
- [33] Chang G L, Wu X G, Cheng Y X, et al. Effect of lipid nutrition on hepatosomatic index and biochemical composition of juvenile *Eriocheir sinensis* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39 (3): 276 - 283. [常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 不同脂类营养对中华绒螯蟹幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化组分的影响. 海洋与湖沼, 2008, 39 (3): 276 - 283.]
- [34] He J, Wang C, Shao L C, et al. Impacts of starvation on the juveniles of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Ecology, 2013, 32 (8): 2077 - 2084. [何杰, 王春, 邵路畅, 等. 饥饿胁迫对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 仔蟹的影响. 生态学杂志, 2013, 32 (8): 2077 - 2084.]
- [35] 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. 不同发育阶段中华绒螯蟹肝胰腺脂类和脂肪酸组成的变化. 动物学报, 1998, 44 (4): 420 - 429.]
- [36] 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]. Aquaculture Research, 2011, 42 (3): 457 - 468.
- [37] Wu X G, Cheng Y X, Nan T Z, et al. Effect of dietary supplementation of phospholipid and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) broodstock [J]. Aquaculture, 2007, 273 (4): 602 - 613.
- [38] Wu X G, Chang G L, Cheng Y X, et al. Effect of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acids on the gonadal development, lipid class and fatty acid composition of precocious of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16: 25 - 36.
- [39] Cheng Y X, Wang Z K, Du N S, et al. The changes of the lipid composition in ovary and hepatopancreas during the period of the ovarian fast development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* after 3 months starvation [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31 (Suppl. 1): 74 - 79. [成永旭, 王宗凯, 堵南山, 等. 饥饿对中华绒螯蟹卵巢快速发育阶段的

- 脂类与肝胰腺脂类的影响. 水产学报, 2007, 31 (增刊): 74 - 79.]
- [40] Dalsgaard J, St John M, Kattner G, *et al.* Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment [J]. *Advances in Marine Biology*, 2003, 46: 225 - 340.
- [41] 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: 117 - 131.
- [42] 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: 478 - 488.

Comparative studies of morphology and biochemical composition between wild-caught and pond-reared juvenile Chinese mitten crab for Yangtze population

HE Jie^{1,2}, WU Xugan¹, LONG Xiaowen¹, MA Mingjun¹, HUANG Qing³,
ZHAO Hengliang¹, 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. Aquatic Animal Breeding Center of Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Chongming County Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 202150, China)

Abstract: Based on the morphological measurement and biochemical analysis, this study was conducted to compare the morphology, hepatosomatic index (HSI) and biochemical composition between wild-caught (WC) and pond-reared (PR) juvenile *Eriocheir sinensis*. The results showed that: the significant differences were found on the morphology of WC and PR. There were four of dominated principal component (i. e. PC1-PC4) for both females and males. PC1 contributed more significantly to the principal component analysis than the other PC, and PC1 of both gender consist of 16 and 19 main variables, respectively. Among the 36 morphological indices, there were 25 and 22 indices with significant differences between WC and PR, for males and females. Four to five indices were further selected to establish discriminant equation, and those equations had more than 95% of accuracy for distinguishing WC and PR. WC had the higher HSI, tissue total lipids, muscular 16:0, 18:1n9 and 20:4n6 levels, but the lower moisture contents, muscular 18:0, 20:5n3 and 22:6n3 levels than PR. Therefore, the effective identification methods are established based on their morphology and biochemical composition between WC and PR.

Key words: *Eriocheir sinensis*; juvenile; wild-caught; pond-reared; morphology; biochemical composition

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

Funding projects: National High Technology R & D Program of China (863 program, 2012AA10A409); Shanghai Universities First-class Disciplines project of fisheries (2012 - 62) from Shanghai Municipal Education Committee; Projects from Shanghai Municipal Science and Technology Commission (13231203504); The R & D project (CK2012 - 07, CK2015 - 21) of Science & Technology Committee of Chongming County