

文章编号: 1000-0615(2018)08-1285-14

DOI: 10.11964/jfc.20170510852

## 遗传选育对野生和养殖中华绒螯蟹蟹种形态学特征的影响

姜晓东<sup>1,2</sup>, 吴旭干<sup>1,2,3</sup>, 何杰<sup>1,2</sup>, 邓登<sup>4</sup>, 向朝林<sup>4</sup>, 成永旭<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306;

4. 深圳市澳华农牧有限公司, 广东深圳 518054)

**摘要:** 以野生和养殖蟹种及其选育后代作为研究对象, 实验采用单因素方差分析、判别分析、主成分分析和聚类分析等方法对各组形态特征进行分析。结果显示, (1)野生和养殖群体原代(G0)雌雄个体分别有16和15个形态指标差异显著, 而选育2代后36个形态学指标均无显著差异; (2)判别分析中野生和养殖G0的判别准确率高达93%~100%, 而2群体G1和G2个体判别准确率仅为56.67%~76.67%, 且G2判别率低于G1; (3)主成分散点图显示野生群体G0与G1、G2个体分别可以形成较集中的区域, 而主成分分析难以区分养殖群体G0、G1和G2个体; (4)聚类分析将6种群蟹种分为2支, 其中养殖群体G0、G1和G2与野生群体G1和G2聚为一支, 而野生G0单独聚为一支。研究表明, 长江野生和池塘养殖蟹种的形态学差异较大, 但在选育过程中逐渐消失, 最终与养殖群体趋于一致, 因此形态学特征不能作为中华绒螯蟹良种选育的可靠指标。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 遗传选育; 形态学特征; 野生群体; 养殖群体

**中图分类号:** Q 347; S 966.1

**文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称大闸蟹, 是我国重要的经济蟹类, 得益于20世纪90年代中华绒螯蟹规模化人工育苗技术的推广应用, 中华绒螯蟹养殖业迅速发展, 现已成为中国渔业生产中发展最为迅速、最具特色的支柱产业之一<sup>[1]</sup>。在中华绒螯蟹多年人工繁殖和养殖过程中, 由于采用小规格亲本进行人工繁殖、近交退化和种质混杂等原因, 中华绒螯蟹养殖群体种质退化严重, 表现为一龄性早熟率较高、蟹种规格变小以及抗病力下降<sup>[2-4]</sup>, 因此, 开展中华绒螯蟹良种选育意义重大<sup>[5-6]</sup>。以往的研究表明, 长江水系野生蟹种具有较好的养殖效果和免疫抗病性能<sup>[3]</sup>, 在成蟹养殖阶段表现为大规格成蟹多、生殖蜕壳和性腺成熟时间较晚<sup>[7]</sup>, 因此长江野生蟹种的市场需求量较大, 蟹种价格更高<sup>[8]</sup>。

由于长江水系野生蟹种的形态学特征与池塘养殖蟹种差异较大, 如额刺和疣突明显、步足较长<sup>[8]</sup>, 此外, 野生蟹种养殖的成蟹往往规格较大、成活率较高<sup>[7]</sup>, 因此通常认为具有这些形态学特征的野生蟹种质量较好, 并将这些形态学特征作为蟹种质量评价的常用指标之一<sup>[9-10]</sup>。迄今为止, 尚不清楚野生蟹种“额刺和疣突明显、步足较长”的形态学特征是否可以作为中华绒螯蟹良种选育的外部形态学指标并稳定遗传, 这在一定程度影响了蟹种质量的评价和良种选育指标的筛选。有研究表明, 美洲蓝蟹(*Callinectes sapidus*)的侧刺长度等形态学特征与养殖环境及是否存在敌害生物关系密切<sup>[11-12]</sup>, 这暗示中华绒螯蟹额刺和疣突是否明显、步足长度等特征可能与生长环境有关。鉴于此, 本实

收稿日期: 2017-05-29 修回日期: 2017-10-20

资助项目: 上海高校水产学高峰学科建设项目(2015-0908); 上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2015)第1-7号]; 上海市科委工程技术中心能力提升项目(16DZ2281200); 深圳市澳华农牧有限公司横向项目(D-8006-16-0088)

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

验运用单因素方差分析、判别分析、主成分分析和聚类分析等多种方法比较野生和养殖蟹种选育前后的形态学差异,并进一步比较了2种群形态学差异在选育过程中的变化情况,以期为中华绒螯蟹良种选育和蟹种质量的鉴别提供科学依据和参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 蟹种来源

实验用蟹共6组,分别为原代(G0)、选育一代(G1)和选育二代(G2)的长江野生和池塘养殖蟹种,其中野生G0蟹种于2010年12月采集于长江镇江江段(121°24'E, 31°44'N),池塘养殖G0蟹种同时间段取自于上海海洋大学崇明中华绒螯蟹研究基地,均为未经选育的常规养殖群体;两群体G1和G2个体分别于2011年12月和2013年12月采集于上海海洋大学崇明中华绒螯蟹研究基地的蟹种养殖池塘,为野生和养殖群体中华绒螯蟹分别以延后和提前2龄成熟时间为主要选育指标,兼顾生长性能选育1代和2代之后的蟹种<sup>[8]</sup>。为避免测量时间不同对形态数据的影响,所有蟹种采集后均需保存于-40℃冰箱,待所有样本采集齐全后再统一测量。

### 1.2 形态测量

实验样本共360只,包括2群体G0、G1和G2蟹种雌雄各30只。测量方法参考李晨虹等<sup>[13]</sup>的方法,选取头胸甲、步足等部位的28个测量点,使用游标卡尺(型号:M150,上海精美量具厂生产,最大量程为150 mm,精确度0.01 mm)测量36个可量性状,测量位点见图1。

### 1.3 数据分析

为校正蟹种规格差异对特征值的影响,每个特征值均需除以体长(L1)。综合使用主成分分析、逐步判别分析、聚类分析和单因素方差分析等分析方法处理后的形态特征参数,分析软件为SPSS 19.00。另外,由于雌雄蟹种的形态特征存在一定的差异<sup>[10]</sup>,本实验中雌雄个体的形态参数分开分析。

**单因素方差分析** 进行方差分析前先用Levene法对各个指标的数据进行方差齐性检验,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,采用单因子ANOVA对

实验结果进行方差分析,采用Tukey's-b (K)法进行多重比较;采用双尾T-test (independent samples t-test)检查2群体形态学指标间的差异性。当数据转换后仍不满足齐性方差时,采用Games-Howell非参数检验多重比较,分析结果均用平均值±标准差(mean±SD)表示。

**逐步判别分析** 为探究2群体形态特征差异在选育过程中的变化情况,分别对选育前后两群体的形态特征参数进行逐步判别分析。先选出对判别贡献较大的形态学参数,建立相应判别公式,然后每组随机选择雌雄个体各30只,测量相关形态学指标后代入判别公式并统计判别准确率。

**主成分分析** 为进一步探究养殖和野生群体形态特征及2群体形态特征差异在选育过程中的变化情况,先使用主成分分析分别比较G0、G1和G2时2群体之间的形态特征差异,再分别比较2群体G0、G1和G2之间形态特征参数,从而得到各主成分的特征值和贡献率,并根据各组贡献率最大的第一主成分和第二主成分绘制主成分散点图。

**聚类分析** 根据各组蟹种形态变量的平均值,采用欧氏距离的未加权组内平均法进行系统聚类分析,绘出可以反映不同选育群体形态相似情况的树状图。

## 2 结果

### 2.1 形态学特征比较

养殖和野生蟹种形态特征差异在选育过程中的变化情况表明,野生和养殖G0个体的形态特征差异较大,所测的36个形态特征中,雌雄个体分别有16和15个形态指标存在显著差异( $P<0.05$ )(表1,表2);而选育一代后2群体差异显著的形态特征数量明显减少,雌雄个体分别仅有1和5个形态参数差异显著;选育两代之后2群体形态特征均无显著差异,说明形态特征差异基本消失(图1)。

### 2.2 判别分析

为比较野生和养殖群体选育前后形态特征差异的变化情况,分别从2群体G0、G1和G2的36个比例性状中筛选出对判别贡献率较大的4~6个变量建立判别方程,用于选育前后2群体的初步判别。

表 1 养殖和野生蟹种雌体形态特征差异在选育过程中的变化情况

Tab. 1 The differences of morphological indices between female wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis* during selection

指标 index	G0		G1		G2	
	养殖 PR	野生 WC	养殖 PR	野生 WC	养殖 PR	野生 WC
A1/L	0.078±0.008	0.080±0.009	0.076±0.008	0.077±0.009	0.077±0.009	0.078±0.008
A2/L	0.264±0.011	0.284±0.011*	0.263±0.010	0.264±0.013	0.263±0.010	0.264±0.011
A3/L	0.715±0.013	0.724±0.021	0.713±0.017	0.715±0.018	0.713±0.014	0.714±0.016
A4/L	0.912±0.011	0.926±0.022*	0.912±0.015	0.914±0.016	0.914±0.010	0.916±0.016
A5/L	1.054±0.014	1.053±0.023	1.052±0.017	1.053±0.016	1.051±0.012	1.052±0.014
A6/L	1.123±0.017	1.135±0.026	1.121±0.017	1.121±0.016	1.122±0.014	1.121±0.014
A7/L	0.556±0.012	0.550±0.016	0.556±0.028	0.554±0.014	0.553±0.014	0.552±0.012
B1/L	0.611±0.008	0.609±0.015	0.609±0.019	0.609±0.013	0.609±0.020	0.611±0.014
B2/L	0.716±0.011	0.717±0.016	0.715±0.019	0.719±0.012	0.715±0.011	0.718±0.013
B3/L	0.845±0.010	0.841±0.018	0.845±0.018	0.841±0.020	0.844±0.008	0.841±0.012
B4/L	0.937±0.048	0.912±0.018*	0.937±0.011	0.938±0.012	0.938±0.010	0.943±0.011
C1/L	0.262±0.013	0.251±0.018*	0.261±0.011	0.262±0.012	0.261±0.012	0.262±0.016
C2/L	0.382±0.012	0.396±0.015*	0.384±0.022	0.383±0.010	0.386±0.013	0.389±0.014
C3/L	0.529±0.014	0.518±0.017	0.531±0.014	0.534±0.010	0.530±0.009	0.531±0.015
C4/L	0.645±0.015	0.633±0.017	0.646±0.034	0.646±0.011	0.647±0.012	0.651±0.012
L2/L	0.551±0.008	0.566±0.015*	0.556±0.010	0.567±0.007*	0.557±0.008	0.558±0.009
L3/L	0.495±0.023	0.500±0.009	0.494±0.013	0.497±0.008	0.498±0.006	0.498±0.007
L4/L	0.716±0.009	0.705±0.015	0.717±0.014	0.718±0.010	0.716±0.010	0.719±0.010
L5/L	0.449±0.011	0.450±0.011	0.447±0.014	0.441±0.010	0.443±0.009	0.444±0.014
H/L	0.509±0.010	0.505±0.010*	0.509±0.012	0.510±0.009	0.510±0.005	0.511±0.012
S1/L	0.535±0.015	0.542±0.014*	0.534±0.016	0.537±0.009	0.533±0.013	0.537±0.016
S2/L	0.515±0.009	0.524±0.013*	0.514±0.092	0.518±0.016	0.516±0.013	0.517±0.013
S3/L	0.478±0.010	0.475±0.011	0.475±0.034	0.473±0.016	0.475±0.010	0.472±0.013
S4/L	0.408±0.009	0.403±0.012	0.408±0.038	0.405±0.019	0.405±0.007	0.401±0.010
S5/L	0.347±0.010	0.343±0.010	0.448±0.035	0.344±0.018	0.349±0.009	0.344±0.009
S6/L	0.361±0.010	0.365±0.011	0.364±0.037	0.367±0.016	0.363±0.010	0.365±0.011
S7/L	0.549±0.015	0.545±0.013	0.549±0.027	0.547±0.012	0.549±0.012	0.547±0.012
T1/L	0.697±0.030	0.766±0.040*	0.697±0.048	0.706±0.044	0.697±0.022	0.701±0.024
T2/L	0.495±0.023	0.542±0.026*	0.494±0.020	0.495±0.025	0.492±0.017	0.493±0.016
T3/L	0.395±0.023	0.394±0.024*	0.388±0.029	0.377±0.020	0.397±0.017	0.388±0.020
T4/L	0.056±0.004	0.058±0.005	0.054±0.004	0.056±0.004	0.055±0.003	0.057±0.003
F1/L	1.450±0.055	1.464±0.033*	1.446±0.047	1.454±0.081	1.446±0.050	1.443±0.037
F2/L	1.995±0.070	2.111±0.073*	1.995±0.082	1.997±0.104	1.997±0.065	1.995±0.072
F3/L	2.026±0.082	2.138±0.054*	2.028±0.057	2.031±0.251	2.025±0.059	2.021±0.066
F4/L	1.472±0.055	1.648±0.045*	1.482±0.057	1.485±0.084	1.486±0.046	1.473±0.054

注: “\*”表示2群体差异显著( $P<0.05$ )。下同Notes: “\*” indicates significant differences between two populations ( $P<0.05$ ). PR.pond-reared;WC.wild-caught. The same below

表 2 养殖和野生蟹种雄体形态特征差异在选育过程中的变化情况

Tab. 2 The differences of morphological indices between male wild-caught and pond-reared juvenile *E. sinensis* during selection

指标 index	G0		G1		G2	
	养殖 PR	野生 WC	养殖 PR	野生 WC	养殖 PR	野生 WC
A1/L	0.080±0.010	0.084±0.010	0.079±0.008	0.080±0.009	0.079±0.008	0.077±0.009
A2/L	0.263±0.011	0.274±0.024	0.262±0.012	0.268±0.011	0.263±0.007	0.264±0.008
A3/L	0.725±0.036	0.730±0.019	0.726±0.038	0.727±0.018	0.721±0.012	0.724±0.013
A4/L	0.914±0.016	0.931±0.020*	0.918±0.016	0.917±0.015	0.914±0.018	0.919±0.014
A5/L	1.041±0.013	1.053±0.014	1.043±0.018	1.046±0.018	1.045±0.024	1.044±0.013
A6/L	1.117±0.024	1.127±0.014	1.118±0.015	1.119±0.016	1.115±0.016	1.119±0.013
A7/L	0.525±0.015	0.530±0.019	0.526±0.015	0.526±0.018	0.528±0.026	0.522±0.016
B1/L	0.606±0.014	0.608±0.012	0.605±0.017	0.605±0.023	0.603±0.022	0.604±0.011
B2/L	0.710±0.012	0.716±0.011*	0.712±0.018	0.714±0.022*	0.712±0.025	0.711±0.012
B3/L	0.836±0.010	0.832±0.011	0.836±0.017	0.836±0.017	0.834±0.013	0.836±0.011
B4/L	0.935±0.011	0.928±0.012	0.938±0.016	0.929±0.018	0.937±0.012	0.934±0.008
C1/L	0.276±0.023	0.255±0.012*	0.271±0.027	0.276±0.023*	0.277±0.016	0.271±0.013
C2/L	0.403±0.021	0.389±0.015*	0.404±0.013	0.398±0.029*	0.407±0.017	0.403±0.010
C3/L	0.545±0.019	0.522±0.012*	0.549±0.014	0.536±0.053*	0.548±0.014	0.548±0.014
C4/L	0.658±0.018	0.638±0.012*	0.661±0.017	0.651±0.021*	0.665±0.016	0.666±0.012
L2/L	0.565±0.014	0.552±0.014	0.560±0.045 0	0.560±0.010	0.564±0.008	0.567±0.009
L3/L	0.508±0.007	0.511±0.008	0.506±0.010	0.508±0.023	0.506±0.007	0.507±0.006
L4/L	0.701±0.029	0.717±0.011	0.703±0.033	0.703±0.033	0.704±0.011	0.700±0.008
L5/L	0.448±0.008	0.446±0.010	0.444±0.010	0.443±0.010	0.443±0.027	0.449±0.011
H/L	0.528±0.011	0.506±0.011*	0.523±0.014	0.523±0.008	0.526±0.015	0.519±0.010
S1/L	0.496±0.048	0.535±0.016	0.637±0.010	0.635±0.012	0.539±0.015	0.534±0.013
S2/L	0.494±0.056	0.442±0.012*	0.563±0.027	0.542±0.021	0.515±0.008	0.517±0.009
S3/L	0.477±0.010	0.473±0.020	0.471±0.029	0.477±0.022	0.474±0.008	0.474±0.011
S4/L	0.405±0.009	0.408±0.019	0.401±0.033	0.406±0.028	0.404±0.008	0.403±0.009
S5/L	0.346±0.007	0.349±0.010	0.346±0.027	0.348±0.026	0.346±0.007	0.345±0.008
S6/L	0.360±0.009	0.377±0.012*	0.363±0.034	0.366±0.057	0.363±0.009	0.358±0.007
S7/L	0.545±0.013	0.537±0.021	0.542±0.034	0.545±0.021	0.548±0.009	0.544±0.010
T1/L	0.724±0.030	0.764±0.022*	0.724±0.039	0.729±0.047	0.721±0.018	0.723±0.022
T2/L	0.516±0.028	0.548±0.026*	0.494±0.030	0.495±0.026	0.498±0.013	0.498±0.021
T3/L	0.402±0.023	0.435±0.022*	0.405±0.024	0.406±0.027	0.404±0.016	0.400±0.016
T4/L	0.069±0.003	0.067±0.003	0.062±0.004	0.063±0.007	0.065±0.003	0.067±0.003
F1/L	1.458±0.071	1.516±0.042*	1.455±0.042	1.468±0.080	1.455±0.038	1.461±0.035
F2/L	1.900±0.095	2.155±0.117*	1.990±0.088	1.971±0.105	1.997±0.054	1.991±0.063
F3/L	2.065±0.091	2.128±0.064*	2.060±0.096	2.088±0.093	2.066±0.041	2.065±0.066
F4/L	1.493±0.060	1.633±0.055*	1.499±0.059	1.494±0.101	1.494±0.043	1.498±0.039

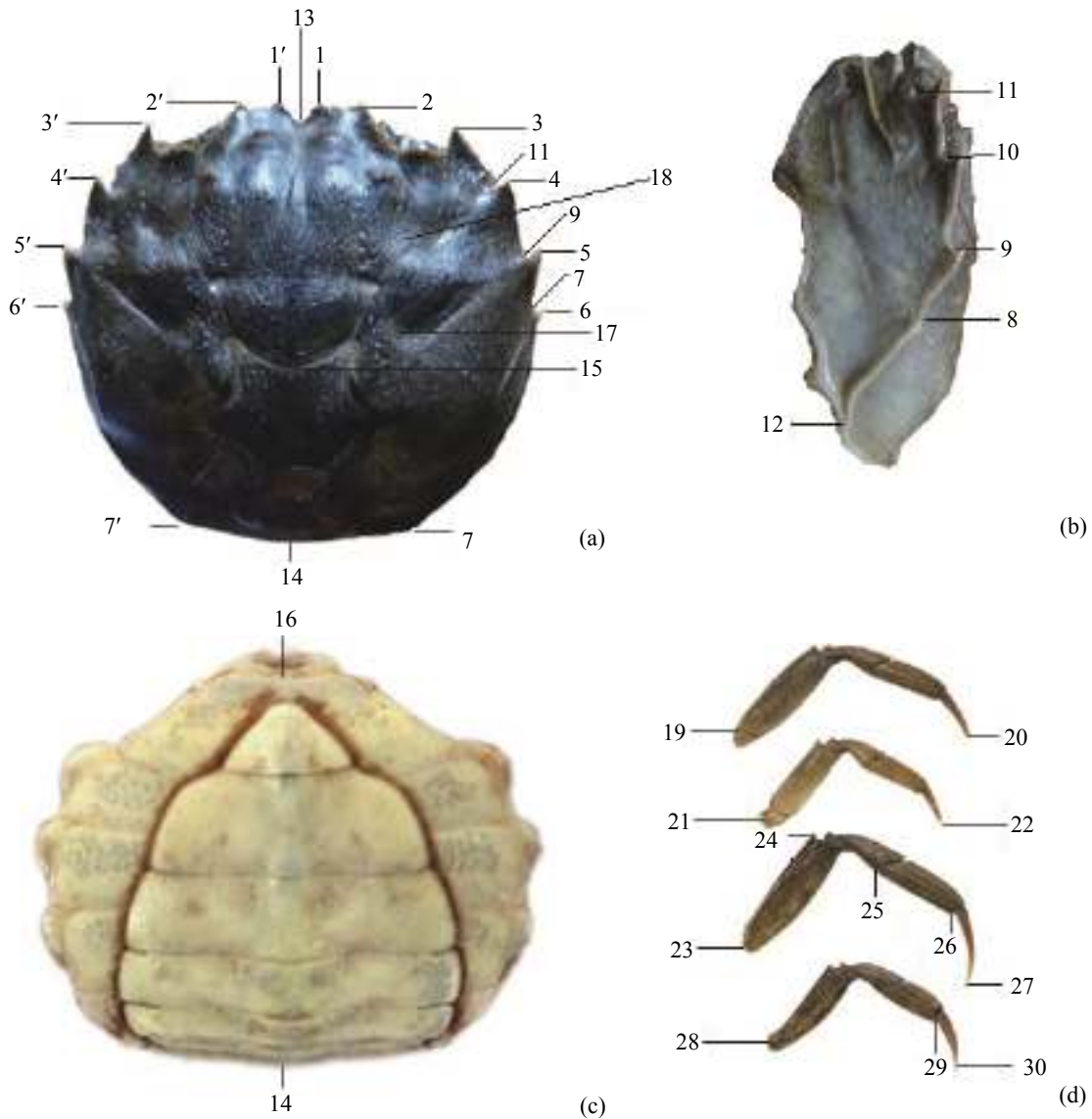


图 1 中华绒螯蟹测量点位置图(引自何杰等<sup>[8]</sup>)

(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。各测定参数: 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: 点16高度, S1:12-18, S2:17-2, S3:17-3, S4:17-4, S5:17-5, S6:17-6, S7:17-7, T1:23-24, T2:25-26, T3:29-30, T4: 点29处的宽度, F1:19-20, F2:23-24, F3:23-27, F4:28-30

Fig. 1 Locations for morphological measurement points of *E. sinensis*

(a) measuring points on the back of the carapace; (b) measuring points on the one side of the carapace; (c) measuring points on the breastplate; (d) measuring points on the four step feet on the right side of the body. morphological parameters: 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, S2:17-2, S3:17-3, S4:17-4, 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, F2:23-24, F3:23-27, F4:28-30

G0雌:  
 养殖 $F_1=780.10(A1/L)+2\ 744.84(B1/L)+$   
 $1\ 885.21(C2/L)+2\ 330.57(S2/L)-2\ 013.26$   
 野生 $F_2=932.65(A1/L)+2\ 608.56(B1/L)+$   
 $2\ 444.35(C2/L)+2\ 146.76(S2/L)-2\ 108.00$   
 G0雄:

养殖 $F_1=834.66(A1/L)+2\ 630.70(B1/L)+$   
 $2\ 467.37(C2/L)+2\ 120.30(S2/L)-2\ 115.55$   
 野生 $F_2=849.17(A1/L)+2\ 661.37(B1/L)+$   
 $2\ 265.64(C2/L)+2\ 199.21(S2/L)-2\ 078.94$   
 G1雌:  
 养殖 $F_1=-62.17(A1/L)+6\ 800.71(B4/L)+$

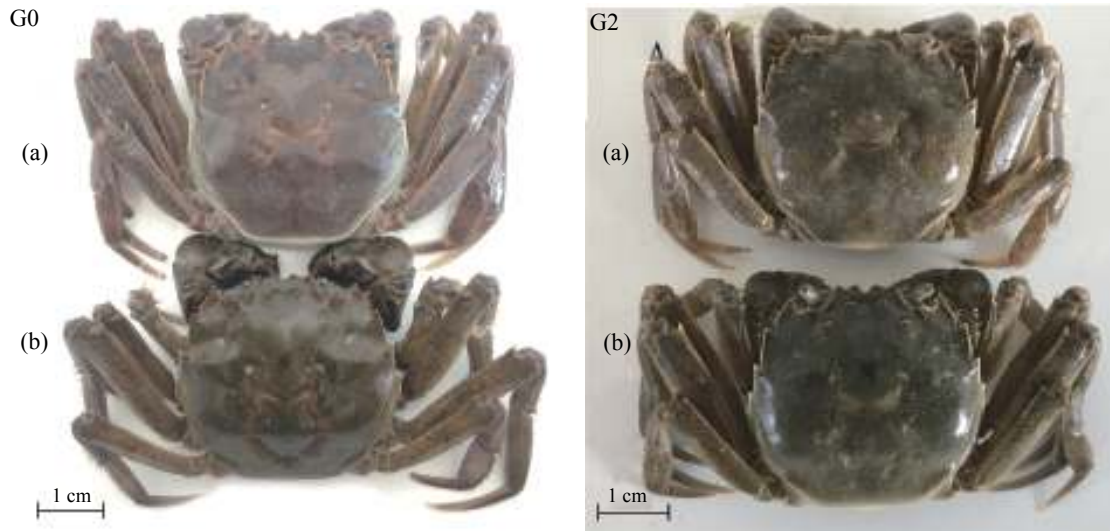


图2 选育前后野生蟹种(a)和养殖蟹种(b)形态特征的比较

G0: 未选育个体; G2: 选育2代后个体

Fig. 2 Morphology of wild-caught (a) and pond-reared (b) juvenile *E. sinensis* before and after breeding

G0: unselected juvenile; G2: juvenile after second generation of selection

$778.43(C1/L)+1\ 697.84(S1/L)+1\ 951.59(S2/L)-4\ 312.95$

野生  $F_2 = -19.52(A1/L)+7\ 378.71(B4/L)+415.41(C1/L)+1\ 178.62(S1/L)+1\ 611.87(S2/L)-4\ 244.88$

G1雄:

养殖  $F_1 = -136.51(A1/L)+7\ 434.87(B4/L)+393.57(C1/L)+1\ 196.25(S1/L)+1621.74(S2/L)-4\ 297.37$

野生  $F_2 = -72.73(A1/L)+7\ 204.76(B4/L)+529.14(C1/L)+1\ 357.57(S1/L)+1\ 728.40(S2/L)-4\ 285.07$

G2雌:

养殖  $F_1 = 4\ 784.28(B4/L)+1\ 056.22(L5/L)+2\ 286.68(S1/L)+2\ 011.68(T1/L)-970.38(T4/L)-133.12(F3/L)-3\ 775.12$

野生  $F_2 = 5\ 369.09(B4/L)+794.12(L5/L)+1\ 509.55(S1/L)+1\ 578.52(T1/L)-1\ 567.70(T4/L)-10.58(F3/L)-3\ 615.29$

G2雄:

养殖  $F_1 = 5\ 340.38(B4/L)+806.46(L5/L)+1\ 478.69(S1/L)+1\ 561.78(T1/L)-1\ 371.59(T4/L)-10.72(F3/L)-3\ 576.14$

野生  $F_2 = 5\ 164.58(B4/L)+885.60(L5/L)+1\ 758.31(S1/L)+1\ 717.33(T1/L)-1\ 303.22(T4/L)-$

$51.47(F3/L)-3\ 655.52$

建立判别方程后, 随机选取事先保存的2群体蟹种雌雄各30只测量相应指标, 代入上述判别公式判断蟹种的所属群体(表3)。结果显示2群体G0个体判别率较高, 均接近100%, 而2群体G1和G2个体的判别准确率明显低于G0, 仅为56.67%~76.67%, 其中2群体G2个体的判别率普遍低于G1。

### 2.3 主成分分析

分别对3组形态特征参数进行主成分分析, 得出的各主成分特征值及累计贡献率如表4所示。主成分分析中一般将60%作为确定主成分有效数量的累计贡献率, 本实验中野生和养殖G0个体第4主成分时其累计贡献率便已达60%, 而G1和G2个体第6和第7主成分时才达60%。

根据3组形态数据第一和第二主成分绘制的散点图: 养殖和野生G0个体被完全分为两块较集中的区域(图3), 说明2群体G0个体形态特征差异较大; 选育之后养殖和野生个体频繁交叉出现, 各组不能形成较集中区域(图4, 图5), 由此可见2群体蟹种选育2代后形态特征趋同。

养殖和野生群体选育3世代的特征值和累计贡献率结果显示, 养殖群体累计贡献率分别于

表 3 早熟和晚熟群体蟹种的判别准确率

Tab. 3 Discriminant results for morphological trait measurements of pond-reared and wild-caught *E. sinensis*

种群 population	样本数/只 sample number	判别结果/只 discrimination result				判别准确率/% accuracy of discrimination
		养殖	PR	野生	WC	
G0雌						
养殖 PR	30	30		0	100.00	
野生 WC	30	1		29	96.67	
G0雄						
养殖 PR	30	28		2	93.33	
野生 WC	30	0		30	100.00	
G1雌						
养殖 PR	30	23		7	76.67	
野生 WC	30	8		22	73.33	
G1雄						
养殖 PR	30	22		8	73.33	
野生 WC	30	7		23	76.67	
G2雌						
养殖 PR	30	17		13	56.67	
野生 WC	30	10		20	66.67	
G2雄						
养殖 PR	30	20		10	66.67	
野生 WC	30	9		21	70.00	

第6和第7主成分时才达到60%，而野生群体第4主成分时便已达60%(表4)。

表 4 3组蟹种雌雄个体主成分分析的特征值和累计贡献率

Tab. 4 Eigen value and cumulative contribution of principal component analysis of morphological parameters among pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis* during selection

主成分 principal component	G0雌 female		G0雄 male		G1雌 female		G1雄 male		G2雌 female		G2雄 male	
	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution
1	14.03	40.07	13.81	39.48	6.09	18.00	6.34	18.13	6.30	17.42	6.59	18.85
2	3.47	50.00	4.47	52.26	4.32	30.71	3.87	29.20	4.44	29.76	3.68	29.38
3	2.68	57.66	2.09	58.24	2.97	39.63	3.11	38.10	3.12	38.25	3.17	38.45
4	1.88	63.05	1.65	62.96	2.75	48.06	2.87	46.32	2.95	46.13	3.04	47.15
5	1.69	67.89	1.48	67.19	2.42	54.84	2.19	52.60	2.37	53.06	2.30	53.72
6	1.38	71.85	1.31	70.95	1.84	60.85	1.82	57.81	2.10	58.32	1.81	58.90
7	1.18	75.25	1.11	74.14	1.37	64.83	1.51	62.14	1.39	62.24	1.61	63.51

根据2群体形态参数第一和第二主成分绘制的散点图, 养殖群体G0、G1和G2个体之间频繁交叉出现, 各组别不能形成较集中区域, 这说明养殖群体蟹种在选育过程中的形态特征变化较小(图6); 野生群体中G0个体与G1和G2个体被完全分为2块较集中的区域(图7), 由此可见, 野生群体蟹种选育1代后形态特征变化较大, 而选育2代后基本未发生变化。

## 2.4 聚类分析

采用欧式距离系数、最短距离法构建的聚类图发现, 无论雌体还是雄体, 该聚类分析将实验样本分为2大组, 其中养殖群体的3组蟹种(PG0、PG1和PG2)与野生群体选育后的2组蟹种(WG1和WG2)先聚为一支, 而野生群体原代(WG0)趋异程度较高, 被聚为独立的一支(图8)。

## 3 讨论

以往研究表明长江水系野生蟹种的额刺和疣突明显、步足较长<sup>[8]</sup>, 而长江水系池塘养殖蟹种、其他水系野生蟹种和日本绒螯蟹(*E. japonicus*)通常额刺都不够尖锐、疣突不明显<sup>[10, 13]</sup>。有研究推测, 长江水系池塘养殖蟹种额刺不够尖锐、疣突不明显可能是由于种质混杂所致<sup>[14]</sup>。本研究结果, 长江野生蟹种选育2代后, 所测定的36个形态学特征和未经选育的池塘养殖蟹种均无显著差异, 这说明“额刺尖锐、疣突明显、步足较长”等形态学特征均不能作为中华绒螯蟹良种选育的可靠指标。

表 5 养殖和野生群体主成分分析的特征值和累计贡献率

Tab. 5 Eigen value and cumulative contribution of principal component analysis of morphological parameters among pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis* during selection

主成分 principal component	养殖雌 PR female		养殖雄 PR male		野生雌 WC female		野生雄 WC male	
	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution	特征值 eigenvalue	累计贡献率 contribution
1	7.10	20.29	6.87	19.65	14.02	40.08	13.71	39.18
2	4.56	33.32	5.31	34.84	3.60	50.38	4.33	51.55
3	3.11	42.22	2.93	43.21	2.68	58.05	2.03	57.38
4	2.37	49.01	2.26	49.67	1.88	63.44	1.64	62.07
5	2.07	54.94	1.66	54.44	1.57	67.93	1.33	65.88
6	1.79	60.07	1.57	58.95	1.23	71.46	1.23	69.41
7	1.34	63.91	1.34	62.80	1.10	74.61	1.07	72.47

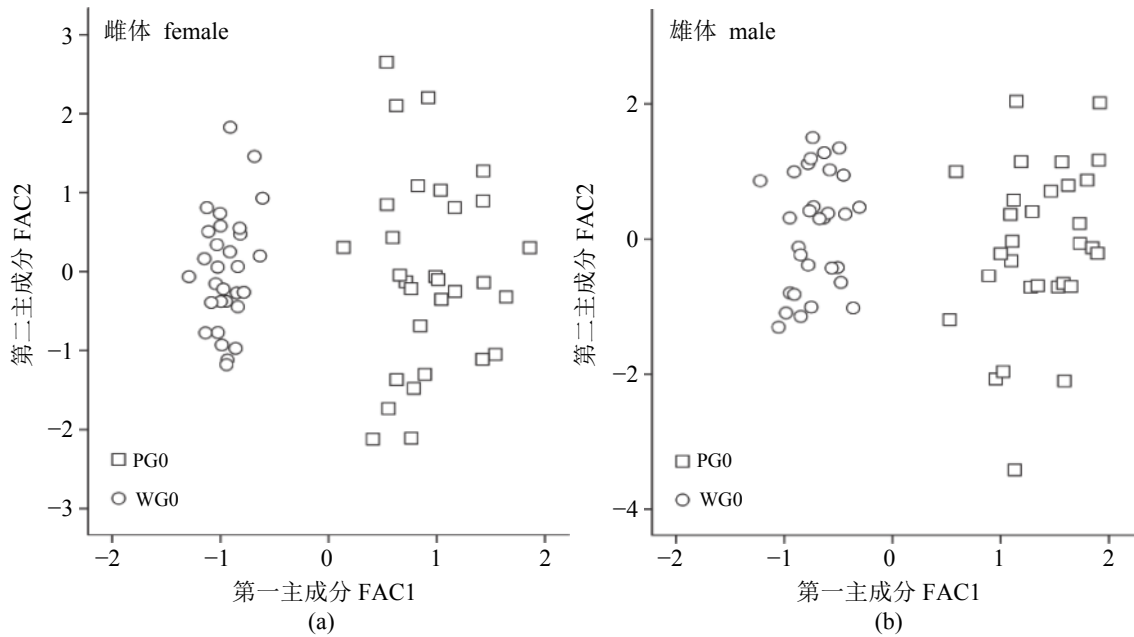


图 3 养殖和野生群体蟹种G0形态特征的第一和第二主成分散点图

Fig. 3 The scatter diagram of first and second principal component for the morphological parameters of unselected pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis*

形态特征是鱼类选育工作中的重要改良指标<sup>[15]</sup>，而有关甲壳动物形态学特征改良的相关报道较少。本实验以中华绒螯蟹野生和养殖群体为选育奠基群体，并尝试以形态特征作为指标进行良种选育，结果表明选育1代后野生群体“额刺尖锐、疣突明显、步足较长”的特征便已基本消失。进一步运用多元分析法来评估选育效果，主成分分析结果显示，养殖群体在选育过程中形态特征变化较小，而野生群体在选育过程中形态特征变化较大；单因素方差分析和判

别分析表明，野生和养殖群体的形态特征差异在选育过程中逐代减缓，且选育2代后2群体形态特征趋于一致，这说明生长环境对蟹种的形态学特征影响较大，由于野生和养殖群体选育后代的蟹种均在池塘养殖条件下进行人工养殖，因此选育2代后，2群体蟹种的形态学特征基本无显著差异。以往研究表明中华绒螯蟹形态特征是环境因素和遗传因素共同作用的结果<sup>[16-17]</sup>，本研究中野生群体在长江野生自然环境中所特有的形态特征“额刺尖锐、疣突明显、步足较长”在



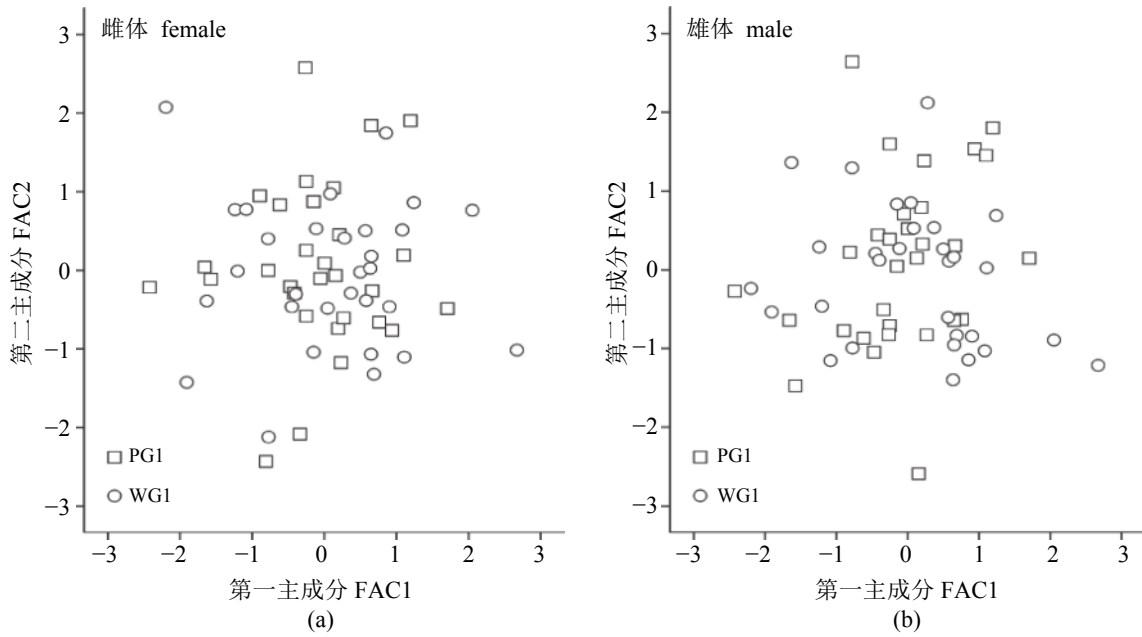


图 4 养殖和野生群体蟹种G1形态特征的第一和第二主成分散点图

Fig. 4 The scatter diagram of first and second principal component for the morphological parameters of pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis* after first generation of selection

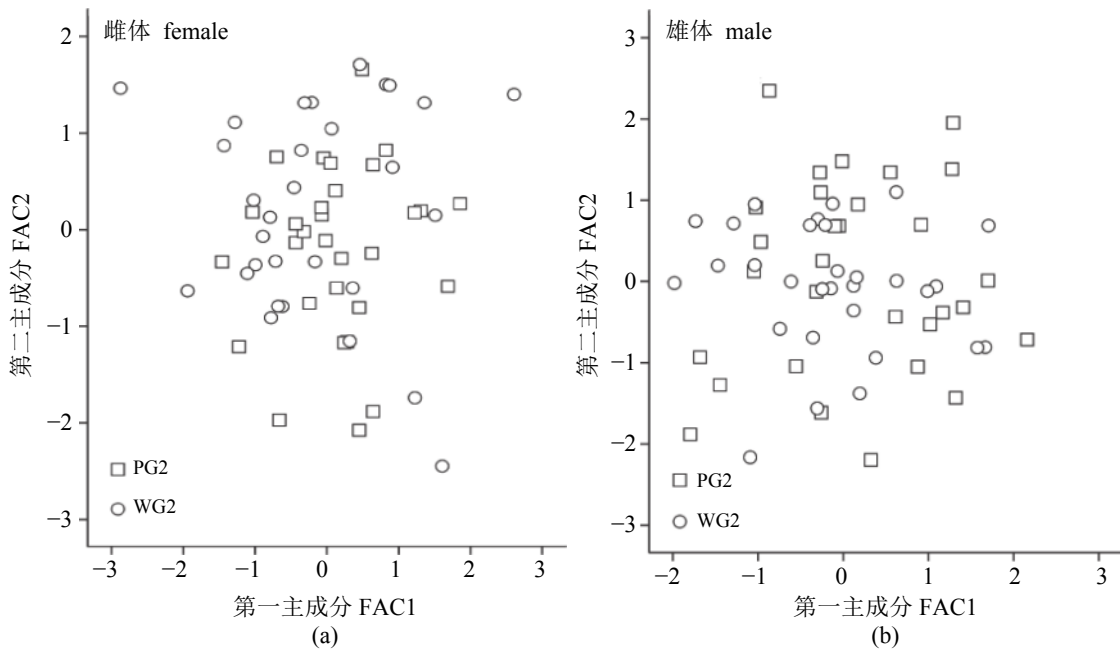


图 5 养殖和野生群体蟹种G2形态特征的第一和第二主成分散点图

Fig. 5 The scatter diagram of first and second principal component for the morphological parameters of pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis* after second generation of selection

移至养殖环境后逐代退化, 并趋于与养殖群体一致, 这说明环境因素对形态特征的贡献远大于遗传因素。以往对部分无脊椎动物的研究也表明动物生存环境对其形态学特征影响较大,

如美洲蓝蟹养殖群体的侧棘刺长普遍短于野生群体, 而放流数周且蜕壳数次后, 养殖群体的侧棘刺长增加明显且接近同等规格野生群体的刺长水平<sup>[11]</sup>; 同样地, 将锯缘青蟹(*Scylla*

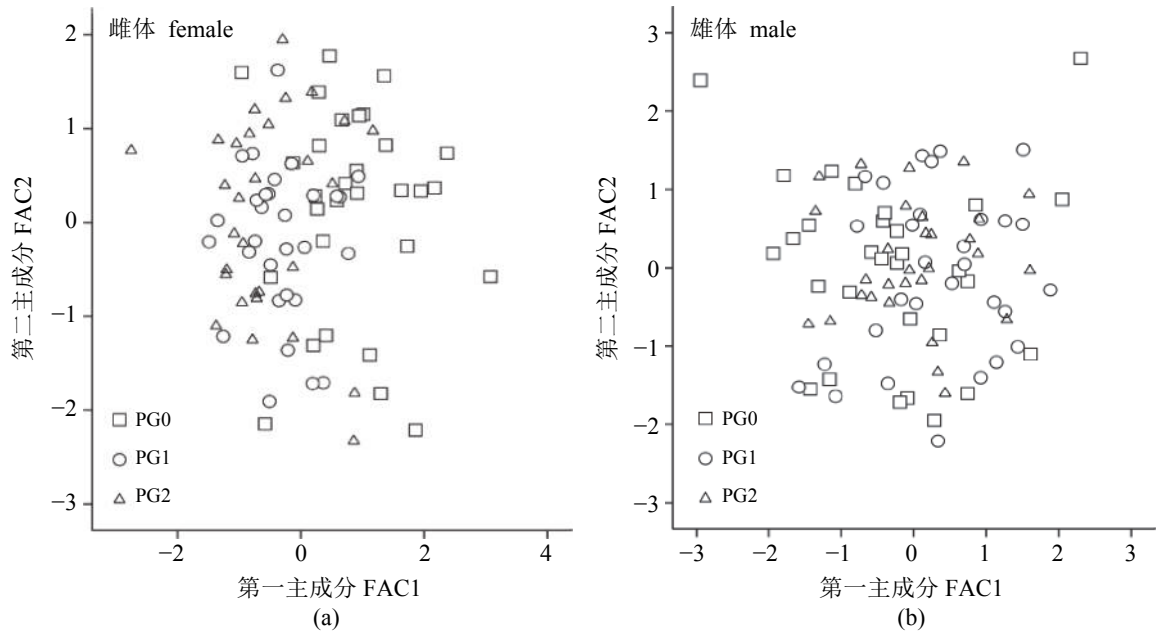


图 6 养殖群体蟹种选育过程中形态特征的第一和第二主成分散点图

Fig. 6 The scatter diagram of first and second principal component for the morphological parameters of pond-reared juvenile *E. sinensis* during selection

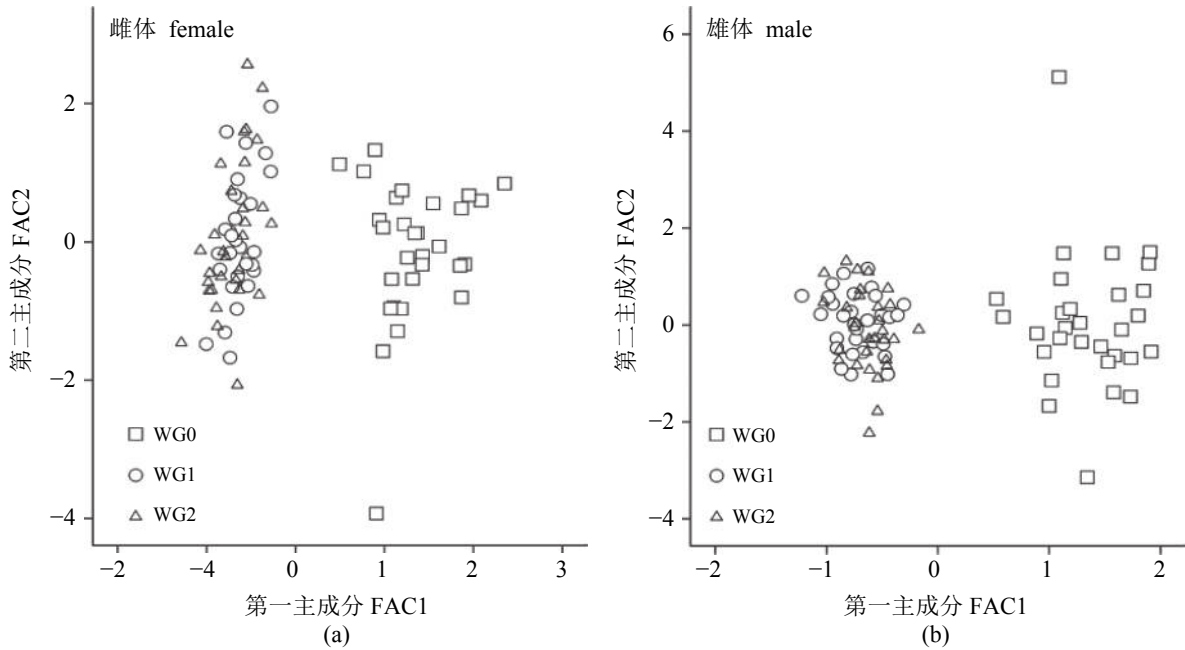


图 7 野生群体蟹种选育过程中形态特征的第一和第二主成分散点图

Fig. 7 The scatter diagram of first and second principal component for the morphological parameters of wild-caught juvenile *E. sinensis* during selection

*serrata*) 暂养在模拟的野生环境中一段时间后, 其在行为和形态上均得到一定改善, 从而可以提升抵御敌害的能力<sup>[18]</sup>; 此外, 将壳刺较短的人工养殖巨凤螺(*Strombus gigas*) 移至野生环境一段

时间后, 其壳刺长度也逐渐达到野生个体水平<sup>[19]</sup>。

在大多数水产动物的选育工作中, 生长速率和体质量是最为重要的经济性状, 水产动物的体型改良一般选取与体质量相关性较高的形

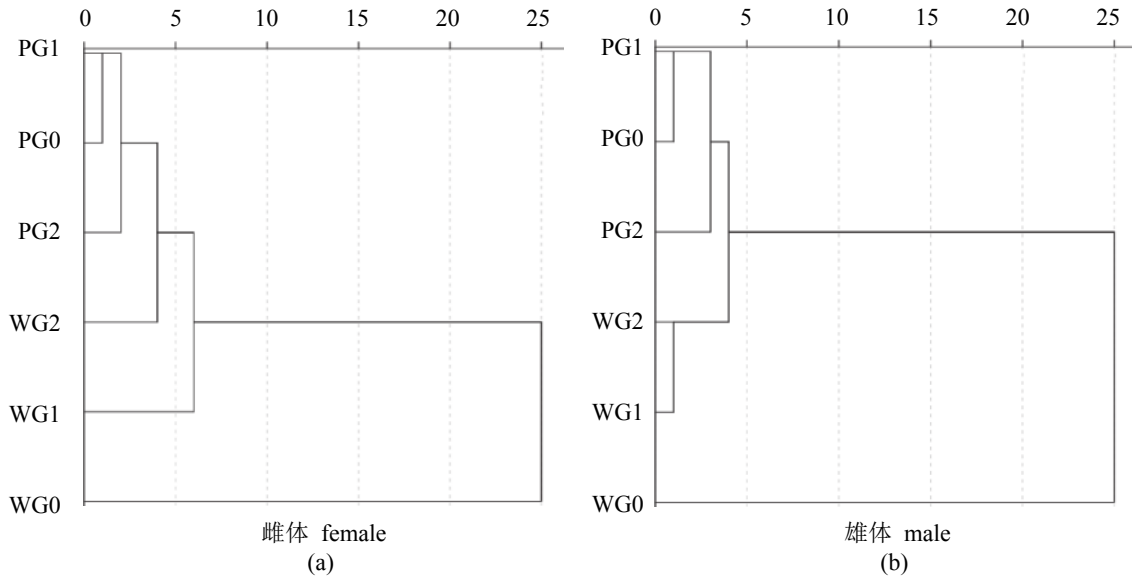


图 8 早熟和晚熟群体雌雄个体聚类图

Fig. 8 Diagram of cluster analysis of pond-reared and wild-caught juvenile *E. sinensis* during selection

态特征作为选育指标, 进而可以提高选育对象的肥满度、出肉率以及观赏性等经济性状<sup>[20-22]</sup>, 而受环境因素影响较大的形态特征很难作为改良指标并进行选育。与鱼类不同, 在生长环境改变的情况下, 甲壳动物的外部形态特征通常会随着蜕壳过程而作相应调整, 即表现为一定的可塑性<sup>[23-24]</sup>, 因此, 甲壳的形态学特征和步足长度等指标不适合作为甲壳动物的选育指标。这些形态特征虽不能作为选育指标, 但它们易受环境影响而表现出的可塑性在实际生产中亦具有一定的应用价值, 比如将美洲蓝蟹放入含有敌害生物的养殖环境(模拟野生环境)中, 其侧棘刺长在蜕壳数次后会显著增加, 从而提高它们放流后防御鱼类捕食的能力及成活率<sup>[13]</sup>; 此外部分枝角类暴露在含有捕食者的养殖环境中, 它们的背刺也会变长<sup>[23-24]</sup>。有关捕食鱼类对中华绒螯蟹形态特征的影响尚需进一步研究。

综上所述, 长江水系野生蟹种养成并选育2代后, “额刺尖锐、疣突明显、步足较长”的形态学特征逐代消失, 野生蟹种选育2代后的主要形态学指标与养殖群体基本一致, 这说明野生蟹种的形态特征不能作为中华绒螯蟹选育指标并稳定遗传。野生群体蟹种在人工养殖条件下每次蜕壳后形态特征的变化规律有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 王武, 王成辉, 马旭洲. 中华绒螯蟹生态养殖[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 59-84.  
Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological farming of Chinese mitten crab[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 59-84 (in Chinese).

[2] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 长江水系中华绒螯蟹野生和养殖群体选育子一代养殖性能和性腺发育的比较[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 808-818.  
He J, Wu X G, Long X W, et al. Culture performance and gonadal development of the first generation of selectively-bred Chinese mitten crabs from wild and cultured populations[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 808-818(in Chinese).

[3] 姜晓东, 吴旭干, 刘青, 等. 长江野生和池塘养殖中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)蟹种早期养殖性能、抗病力和非特异性免疫性能的比较[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(6): 131-137.  
Jiang X D, Wu X G, Liu Q, et al. Comparison of the early culture performance, the disease resistance, and the non-specific immunity between wild-caught and pond-reared juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(6): 131-137(in Chinese).

[4] 姜晓东, 吴旭干, 何杰, 等. 中华绒螯蟹2龄早熟、晚熟选育群体和非选育群体蟹种免疫性能的比较[J]. 海洋

- 渔业, 2017, 39(2): 181-189.
- Jiang X D, Wu X G, He J, *et al.* Comparison of immune performance of juvenile crabseeds among the second instar early-maturing, late-maturing and non-selective populations of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(2): 181-189(in Chinese).
- [5] 成永旭, 吴旭干, 何杰, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系选育进展[J]. 科学养鱼, 2016(5): 15-17.
- Cheng Y X, Wu X G, He J, *et al.* The breeding progress of second-year early-maturing and late-maturing strains of Chinese mitten crab[J]. *Scientific Fish Farming*, 2016(5): 15-17(in Chinese).
- [6] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 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[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 140-150.
- He J, Wu X G, Long X W, *et al.* Comparison in edible yield and nutritional quality of pond-cultured adult *Eriocheir sinensis* from wild-caught and pond-reared crabseeds[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(1): 140-150(in Chinese).
- [7] He J, Wu X G, Li J Y, *et al.* Comparison of the culture performance and profitability of wild-caught and captive pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) juveniles reared in grow-out ponds: implications for seed selection and genetic selection programs[J]. *Aquaculture*, 2014, 434: 48-56.
- [8] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 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[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1665-1678.
- He J, Wu X G, Long X W, *et al.* Comparative studies of morphology and biochemical composition between wild-caught and pond-reared juvenile Chinese mitten crab for Yangtze population[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(11): 1665-1678(in Chinese).
- [9] 张列士, 瞿纪军, 汪东冬. 长江、瓯江、辽河水系中华绒螯蟹种群生态和形态特征及蟹种质量鉴别[J]. 水产科技情报, 2000, 27(5): 200-205.
- Zhang L S, Qu J J, Wang D D. Ecological and morphological characteristics of populations of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from Changjiang, Oujiang and Liaohe Rivers and the quality identification of their young crabs[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2000, 27(5): 200-205(in Chinese).
- [10] 卢义, 吴旭干, 何杰, 等. 长江、黄河、辽河水系中华绒螯蟹野生扣蟹的形态学及生化组成[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 382-395.
- Lu Y, Wu X G, He J, *et al.* Comparative studies of the morphology and biochemical composition of wild juvenile Chinese mitten crabs from the Yangtze River, Yellow River and Liaohe River systems[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 382-395(in Chinese).
- [11] Davis J L D, Young-Williams A C, Aguilar R, *et al.* Differences between hatchery-raised and wild blue crabs: implications for stock enhancement potential[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2004, 133(1): 1-14.
- [12] Davis 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.
- [13] 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: 形态判别分析[J]. 水产学报, 1999, 23(4): 337-342.
- Li C H, Li S F. Phylogenesis of populations 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(in Chinese).
- [14] 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.
- 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(in Chinese).
- [15] 王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 红鳍东方鲀体型性状选育指标的综合判定[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 10-15.
- Wang X A, Ma A J, Zhuang Z M, *et al.* Judgment of selection index of morphological traits in *Fugu rubripes*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(6): 10-15(in Chinese).
- [16] 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[J]. 天津水产, 2003(1): 29-32.
- Geng X Y, Sun J S, Ma W L, *et al.* The morphological comparison of *Eriocheir sinensis* from different water systems[J]. *Tianjin Fisheries*, 2003(1): 29-32(in Chinese).

- [17] 李勇, 李思发, 王成辉, 等. 三水系中华绒螯蟹幼蟹形态判别程序的建立和使用[J]. 水产学报, 2001, 25(2): 120-126.  
Li Y, Li S F, Wang C H, *et al.* Establishment and application of morphological discrimination model for juveniles *Eriocheir sinensis* from Liaohe, Yangtze and Oujiang Rivers[J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(2): 120-126(in Chinese).
- [18] Parkes L, Qunitio E T, Le Vay L. Phenotypic differences between hatchery-reared and wild mud crabs, *Scylla Serrata*, and the effects of conditioning[J]. *Aquaculture International*, 2011, 19(2): 361-380.
- [19] Stoner A W, Davis M. Experimental outplanting of juvenile queen conch, *Strombus gigas*: comparison of wild and hatchery-reared stocks[J]. Fishery Bulletin, 1994, 92(2): 390-411.
- [20] Li Y D, Jiang S G, Huang J H, *et al.* Growth and survival variations of *Penaeus monodon* from six breeding families[J]. International Journal of Aquaculture, 2015, 5(39): 1-9.
- [21] Rutten M J M, Bovenhuis H, Komen H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)[J]. *Aquaculture*, 2005, 246(1-4): 125-132.
- [22] 史东杰, 梁拥军, 孙砚胜, 等. 锦鲤“御三家”新品系的选育[J]. 水产科技情报, 2014, 41(3): 152-154.  
Shi D J, Liang Y J, Sun Y S, *et al.* The selection of koi for new tribes[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2014, 41(3): 152-154(in Chinese).
- [23] Grant J W G, Bayly I A E. Predator induction of crests in morphs of the *Daphnia carinata* king complex[J]. *Limnology and Oceanography*, 1981, 26(2): 201-218.
- [24] Krueger D A, Dodson S I. Embryological induction and predation ecology in *Daphnia pulex*[J]. *Limnology and Oceanography*, 1981, 26(2): 219-223.

## Effects of selective breeding on the morphological characteristics of wild and cultured juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

JIANG Xiaodong<sup>1,2</sup>, WU Xugan<sup>1,2,3</sup>, HE Jie<sup>1,2</sup>, DENG Deng<sup>4</sup>,  
XIANG Chaolin<sup>4</sup>, CHENG Yongxu<sup>1,2,3\*</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Shenzhen Aohua Agriculture and Animal Husbandry Co. Ltd., Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** The morphology is an important criterion for the evaluation of crab breed quality of *Eriocheir sinensis*. High-quality crab breed were thought to possess patent rostral spine and verruca as well as relatively longer pereopods, but it remains unclear whether these morphological characteristics can be stably inherited and be served as indicators for selective breeding of *E. sinensis*. Therefore, thirty-six morphological indices were used to evaluate the changes and difference of juvenile *E. sinensis* from pond-reared (PR) and wild-caught (WC) populations before and their offspring from the first generation (G1) and the second generation (G2) after the selective breeding programs; and the analysis methods included One-Way Analysis of variance, discriminant analysis, principal component analysis and cluster analysis for discrimination. The results showed that: (1) in One-Way Analysis of variance, there were significant differences between unselected PR and WC populations (G0) in the 16 and 15 out of 36 morphological indices for females and males respectively, and these differences disappeared gradually during selection so that no significant difference could be found in 36 morphological indices after selection for two generations (G2); (2) in discriminant analysis, the accuracy rate of discrimination were 93%–100% between unselected populations and this value decreased obviously after first and second generation of selection (G1 and G2), only 56.67%–76.67%; (3) in principal component analysis, only G0 individuals of PR and WC population could be divided into two independent groups by the first two principal components; in terms of WC populations, G0 individuals were separated from G1 and G2 individuals, and it is hard to distinguish G0, G1 and G2 individuals of PR population between each other either; (4) in cluster analysis, G0, G1 and G2 individuals of PR population clustered with G1 and G2 individuals of WC population while G0 of WC individuals clustered independently, whether females or males. In conclusion, although there was significant difference in many morphological indices between WC and PR juveniles, these differences disappeared gradually during the selection process, and the similar morphological indices were found in the juveniles of G2 between PR and WC populations. Therefore, morphological characteristics could not be used as effective indices for the selective breeding of *E. sinensis*.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; selective breeding; morphology; wild population; cultural population

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

**Funding projects:** Shanghai Universities Top Disciplines Project of Fisheries from Shanghai Municipal Education Committee (2015-0908); Promotion Project of Shanghai to Make Science and Technology Bring Along Agriculture [(2015)1-7]; Ability Promotion Project of Engineering Technology Center of Shanghai Science and Technology Commission (16DZ2281200); Crossing Research Project of Shenzhen Aohua Agriculture and Animal Husbandry Co. Ltd. (D-8006-16-0088)