

doi: 10.7541/2020.072

阳澄湖原产及“洗澡”中华绒螯蟹背甲的几何形态分析

薛峻仁¹ 姜涛² 陈修报² 骆仁军¹ 刘洪波² 杨健^{1,2}

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院长江中下游渔业生态环境评价与资源养护重点实验室, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

摘要: 为有效确认非阳澄湖产“洗澡蟹”与阳澄湖原产中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)背甲形态的差异, 研究运用几何形态分析法, 比较研究了前者在阳澄湖中人为“洗澡”式养殖1个月始末时, 其与阳澄湖原产蟹的背甲形态特征。背甲的形态分析基于所建立的35个地标点系统来进行, 即背甲经图像处理提取地标点坐标, 开展相对扭曲主成分以及判别分析, 再利用薄板样条分析和网格变形将形态变异矢量可视化。相对扭曲得分的逐步判别分析结果显示: “洗澡”式养殖前后阳澄湖原产蟹与非阳澄湖产蟹背甲形态差异均极其显著, 判别准确率均为100%。网格变形结果进一步发现, 与非阳澄湖蟹情况不同, “洗澡”式养殖前后的阳澄湖产蟹背甲形态变化不显著。研究首次定量证实, 非阳澄湖产中华绒螯蟹即使在阳澄湖“洗澡”式养殖1个月, 背甲形态仍无法与原产蟹趋同。这种差异性具有区别阳澄湖原产和“洗澡”蟹的应用潜力。

关键词: 阳澄湖; 中华绒螯蟹; “洗澡蟹”; 几何形态分析; 地标点

中图分类号: S968.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)03-0587-08

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)又称河蟹、大闸蟹, 隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳总纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、绒螯蟹属(*Eriocheir*)^[1]。该蟹原产于我国, 目前已入侵至欧洲^[2]及美洲^[3]。大闸蟹为我国传统的名贵水产品 and 重要的经济甲壳类动物。2017年其年总产量已经达到了 7.5×10^8 kg^[4]。其可食部分富含矿质元素^[5]、粗蛋白、粗脂肪与氨基酸等^[6], 具有较高的营养价值。

我国中华绒螯蟹养殖主要集中在长江流域, 其中江苏省为我国中华绒螯蟹养殖的主产地, 年产量 3.5×10^8 kg^[4], 约占全国产量的50%^[7]; 特别是苏州市阳澄湖中华绒螯蟹因其历史悠久、品优味美最为著名, 且于2005年被原国家质检总局认定为“阳澄湖大闸蟹”地理标志产品实施了原产地保护。值得注意的是, 阳澄湖蟹年产量仅 2×10^6 kg, 但市面上销售标称为阳澄湖的蟹量却远超阳澄湖蟹的实际产量^[8]。假冒阳澄湖蟹进行不法销售的情况给原产大闸蟹的声誉造成了严重损害。虽然近年来防伪

技术不断改进, 但假冒原产蟹的违法行为仍然很难防范^[9]; 其中“洗澡蟹”(即将外地蟹移至阳澄湖水域养殖数日, 甚至过水后即冒充“阳澄湖大闸蟹”销售)是最为主要的假冒方式^[10, 11]。但迄今尚无针对“洗澡蟹”和原产蟹形态及品质异同的比较研究。本研究尝试运用几何形态分析法, 利用阳澄湖实地养殖的原产蟹(从扣蟹一直养到成蟹)及养成于其他湖泊产地, 被笔者特意引入到前者养殖水域“洗澡”的大闸蟹; 对其在相同水域“洗澡”1个月始末时的外部形态进行比较研究, 以期确认几何形态学特征在区别阳澄湖原产和“洗澡”蟹上的应用潜力提供理论依据和数据支撑。笔者曾对中华绒螯蟹的背甲和腹甲进行过前期的几何形态分析法研究效果的比对。由于对于判别不同产地中华绒螯蟹准确率而言, 腹甲的效果较差(雌、雄形状相异, 前者平均分别为83.75%、98.75%), 而背甲的效果很好(雌、雄形状相似, 两者均达100%)^[12]; 故本研究中只使用背甲来进行上述比较研究。

收稿日期: 2019-04-23; **修订日期:** 2019-08-18

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31772850); 无锡市留学人员科技活动项目择优资助项目(5-17034)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31772850); Scientific Research Foundation of Wuxi City for Returned Overseas Chinese Scholars (5-17034)]

作者简介: 薛峻仁(1995—), 男, 硕士研究生; 主要从事渔业生态环境保护研究。E-mail: 935072585@qq.com

通信作者: 杨健, E-mail: jiany@ffrc.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料

中华绒螯蟹的阳澄湖成蟹样本分别于2018年9月和10月采自阳澄湖围网养殖区(31°26'N, 120°49'E)。非阳澄湖成蟹样本于同年9月采集于江苏省同属长江流域的另一湖泊围网养殖区。所采的非阳澄湖围网养殖样本一部分个体运回实验室后进行“洗澡”前的形态测量, 剩余个体带放至阳澄湖上述原产蟹相同围网养殖区内“洗澡”养殖1个月, 与10月阳澄湖原产样本蟹同日采集, 进行“洗澡”后的形态测量。外来“洗澡”蟹两类中华绒螯蟹和原产蟹所使用的苗种均来自于江苏南通如东大闸蟹的苗种场(亲本均为长江水系中华绒螯蟹)。“洗澡”始末时两类蟹各选取规格相近的中华绒螯蟹20只(♀、♂各10只)活体进行上述形态学比较测定(表1), 所有阳澄湖原产蟹均符合国标GB/T19957-2005^[13]所定义的原产蟹(即至少从扣蟹养到成蟹保持同一水域)要求。

1.2 地标点的建立与提取

在设定的高度使用数码相机(Nikon COOLPIX P6000)对非阳澄湖9月的样本、“洗澡”后的10月样

表1 本研究中中华绒螯蟹群体的形态测量信息

Tab. 1 Morphometric information of *E. sinensis* populations in the present study ($n=20$, Mean $\pm$ SD)

产地 Geographical origin	体质量 Weight (g)	壳长Shell length (mm)	壳宽Shell width (mm)	体高Body height (mm)
非阳澄湖蟹 (9月)NYC (September)	108.10 $\pm$ 20.78	57.40 $\pm$ 2.58	64.76 $\pm$ 3.62	31.86 $\pm$ 1.33
阳澄湖蟹 (9月)YC (September)	101.88 $\pm$ 13.23	55.58 $\pm$ 3.09	63.06 $\pm$ 3.62	30.72 $\pm$ 1.89
非阳澄湖蟹 (10月)NYC (October)	111.44 $\pm$ 20.12	56.39 $\pm$ 1.95	62.93 $\pm$ 3.23	30.83 $\pm$ 1.02
阳澄湖蟹 (10月)YC (October)	116.92 $\pm$ 26.05	57.51 $\pm$ 3.29	63.96 $\pm$ 4.03	31.34 $\pm$ 2.03

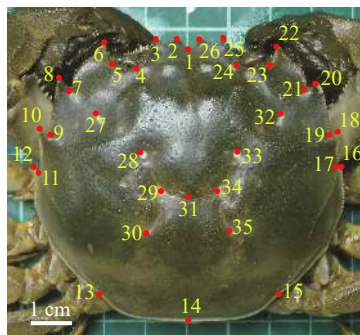


图1 中华绒螯蟹背甲地标点位置图

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

本和阳澄湖成蟹样本进行拍摄。地标点的选择需特征明显且易识别, 主要可分为3类, 即以不同组织间交点为特征的I型地标点, 以结构中凹陷或凸起点为特征的II型地标点和以结构极值点为特征的III型地标点^[14]。利用tpsdig2软件对拍摄并经过处理的背甲照片建立地标点(图1和表2), 获取地标点的x、y坐标值(2D), 建立地表点的数据文件。

1.3 平均形与薄板样条分析

地标点的有效性利用tpsSmall软件的最小平方和法则回归分析来检验。用tpsRelw进行普氏叠加等操作, 计算出地标点质心距离, 进而获取平均型(Mean shape)、相对扭曲指数矩阵和数据报告。通过tpsRegr软件的薄板样条分析, 获取成蟹背甲的网格图, 以用于把握背甲的形态变化特征^[12]。

1.4 判别分析

采用Bayes法基于各样本的相对扭曲得分(Relative warps scores)实施逐步判别分析。用SPSS 23.0进行相关统计学分析。

2 结果

2.1 几何形态分析

9月和10月中华绒螯蟹背甲地标点数据的切空间距离(Distance in tangent space, y轴)与普氏距离(Procruste distance, x轴)回归系数分别为0.999830和0.999819, 均接近1, 说明本研究所选取的地标点是有效的, 可以应用于后续的几何形态研究。

利用tpsRelw软件在叠印过程中计算出所有样本的平均形(图2)。在对9月中华绒螯蟹背甲地标点数据进行的 landmark 点法分析中, 贡献率最高的地标点分别为11、12、16和17地标点, 共解释了47.80%的形态差异, 其余31个地标点解释了52.20%的形态差异。在对10月中华绒螯蟹进行的 landmark 点法分析中, 贡献率最高的地标点是16、17、18和19地标点, 共解释了42.25%的形态差异, 其余31个地标点解释了57.75%的形态差异。

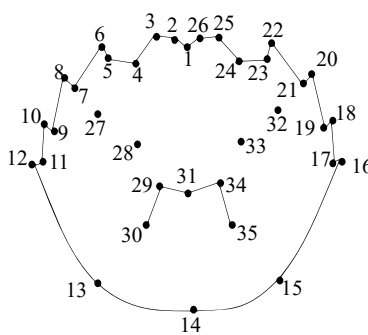


表 2 地标点类型与定义

Tab. 2 The landmark types and definition

地标点类型Landmark types	定义Definition
II 型 Type II	2、3、25、26 额缘
4、24	额缘与第一侧齿之间的凹点
5、23	第一侧齿内侧顶点
6、22	第一侧齿外侧顶点
7、21	第二侧齿内侧顶点
8、20	第二侧齿外侧顶点
9、19	第三侧齿内侧顶点
10、18	第三侧齿外侧顶点
11、17	第四侧齿内侧顶点
12、16	第四侧齿外侧顶点
13、15	后侧缘凹点
27、32	中腮区两孔与第二侧齿之间的凹点
28、33	中腮区两孔
29、34	M型花纹上顶点
30、35	M型花纹下顶点
31	M型花纹中心
III 型 Type III	1 额缘中心
14	壳长的下顶点

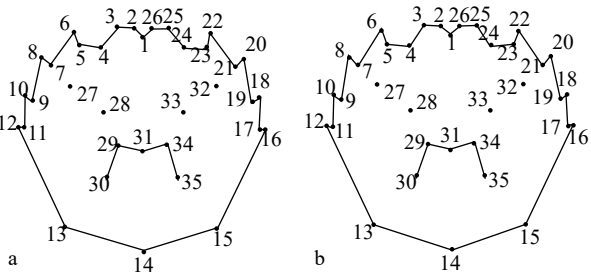


图 2 阳澄湖蟹和非阳澄湖蟹背甲的总体平均型

Fig. 2 General mean types of the carapace for *E. sinensis* of Yangcheng Lake and Non-Yangcheng Lake origin

a. 九月; b. 十月

a. September; b. October

对9月的非阳澄湖和阳澄湖中华绒螯蟹背甲地标点数据进行相对扭曲主成分分析, 前3个主成分的总贡献率为7.72%, 表明各因子线性关系弱, 降维效果差, 无法对总体进行有效的解释。对10月非阳澄湖与阳澄湖中华绒螯蟹背甲地标点数据的相对扭曲主成分分析结果显示, 前3个主成份的总贡献率为7.72%, 降维效果差, 同样无法对总体进行有效的解释。

使用tpsRegr软件将不同产地中华绒螯蟹的差异可视化, 进行网格变形分析后, 从网格图可以发现, 两个产地之间的中华绒螯蟹背甲差异没有非常明显, 所以所有结果均放大10倍进行比较与分析。

从9月份的非阳澄湖蟹与阳澄湖蟹的雄蟹背甲的网格图(图 3)中可以发现, 非阳澄湖产中华绒螯蟹的第四侧齿(11、12地标点)向外侧扩展, 背甲后侧缘的3个特征点(13、14、15地标点)向内侧收缩, 阳澄湖蟹的背甲底部更加平缓。非阳澄湖蟹的M型花纹的顶点(29、30、34、35地标点)均向外扩张, 花纹更宽更长, 其余地标点没有显著的差异。

从9月份的非阳澄湖蟹与阳澄湖蟹的雌蟹背甲的网格图(图 3)中可以发现, 非阳澄湖蟹额缘的端点(1、2、26地标点)向两边伸展, 顶部更宽。各侧齿之间没有明显的差异, 非阳澄湖蟹后侧缘3个特征点(13、14、15地标点)均向内收缩, M型花纹左下角与右下角的顶点(30、35地标点)均向外伸展, 花纹更宽。其余地标点没有显著的差异。

从10月份的“洗澡蟹”与阳澄湖蟹的雄蟹背甲网格图(图 4)中可以发现, “洗澡蟹”的第一侧齿(5、6地标点)向内收缩, 第四侧齿(11、12地标点)向外伸展。M型花纹的顶点(29、30、34、35地标点)均向内收缩, 非阳澄湖蟹的M型花纹更短更窄。其余地标点没有显著的差异。

从10月份的“洗澡蟹”与阳澄湖蟹的雌蟹背甲网格图(图 4)中可以发现, 阳澄湖蟹的第四侧齿(11、12地标点)均向内收缩, M型花纹(29、30地标点)左侧顶点向外伸展, M型花纹更宽。后侧缘3个

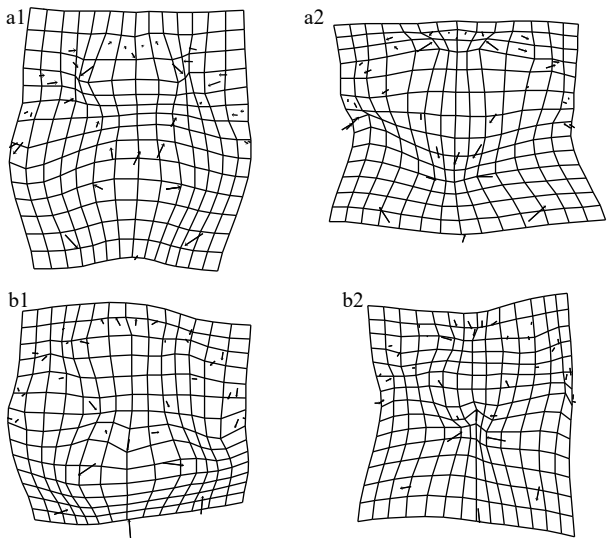


图 3 九月中华绒螯蟹背甲网格变形图与变异可视化(变异扩大10倍)

Fig. 3 Grid deformation and variation visualization of the carapace for *E. sinensis* in September (variation enlarged 10 times)

a. 雄蟹; b. 雌蟹; 1. 非阳澄湖蟹; 2. 阳澄湖蟹; 下同

a. Male crab; b. Female crab; 1. Crabs of Non-Yangcheng Lake origin; 2. Crabs of Yangcheng Lake origin; the same applies below

特征点(13、14、15地标点)均向外扩展,底部更加的平缓。其余地标点没有显著的差异。

从图3和图4中华绒螯蟹的差异可视化比较可以看出,“洗澡”前后阳澄湖蟹与本研究所使用非阳澄湖蟹形态差异均主要集中于第四侧齿、M型花纹和后侧缘处。

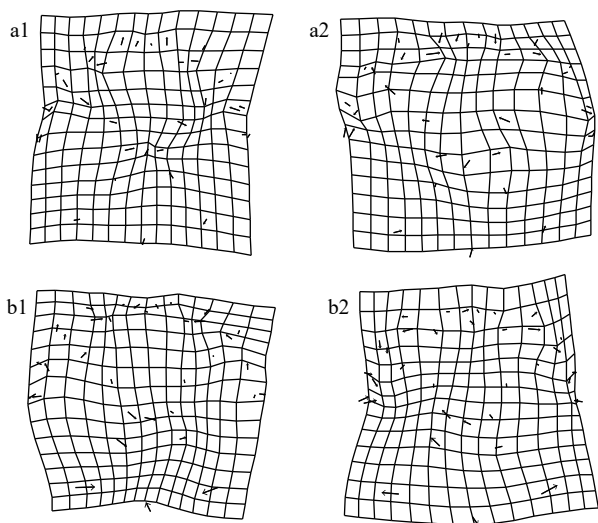


图4 十月中华绒螯蟹背甲网格变形图与变异可视化(变异扩大10倍)

Fig. 4 Grid deformation and variation visualization of the carapace for *E. sinensis* in October (variation enlarged 10 times)

非阳澄湖蟹“洗澡”前后雄蟹与雌蟹的背甲形态均发生了显著变化;且导致差异的主要地标点趋势相同,即M型花纹的顶点(29、30、34、35地标点)均向内收缩,M型花纹均变得更短更窄。后侧缘3个特征点(13、14、15地标点)向外侧略微扩展,底部变得平缓。

2.2 判别分析

通过对9月与10月的阳澄湖蟹与非阳澄湖蟹的逐步判别分析(图5和表3),可以发现,对9月与10月阳澄湖蟹与非阳澄湖蟹的判别准确率可以达到100%正确率。对同一产地的雄蟹与雌蟹也可以100%准确的判别。9月与10月的交互验证正确率均可以达到95%。在交互验证中,9月的非阳澄湖雄蟹有1只误判入阳澄湖雄蟹,有1只非阳澄湖雌蟹误判入阳澄湖雄蟹。10月的交互验证结果中有两只阳澄湖雄蟹误判入非阳澄湖雄蟹中。

通过对阳澄湖与非阳澄湖“洗澡”前后的雄蟹和雌蟹的判别分析散点图可以发现(图6),阳澄湖雄蟹在9月与10月已经趋于稳定,几乎没有发生变化。非阳澄湖中华绒螯蟹雄蟹“洗澡”前后不仅自身的背甲形态变化较大,而且与阳澄湖蟹的背甲相比也都存在较大差异。这些形态差异均可以准确

的判别出来。对于雌蟹的判别分析散点图中,阳澄湖蟹变化也较小,趋于稳定。非阳澄湖雌蟹在“洗澡”后的自身形态变化虽不如雄蟹的变化明显;但无论是“洗澡”前、还是后,与阳澄湖原产蟹的差异均较大,不会趋同。

3 讨论

3.1 “洗澡蟹”形态差异分析

中华绒螯蟹的消费季节一般开始于每年9月,以10—11月为高峰。这段时间也正是“洗澡蟹”最严重的危害期。为不法利益最大化,只有非阳澄湖产的成蟹才会被用作“洗澡蟹”。本研究中的两类蟹在“洗澡”始末时均达前人报道的成蟹规格^[15]。值得注意的是,因为两类蟹苗种来源相似、种质相同,理论上其背甲的形态应该相像;但实际上在“洗澡”开始前两者之间背甲的形态就已经相异(图5和图6)。郑朝臣等^[12]在对长江水系的太湖、洪泽湖、高宝湖、长荡湖、阳澄湖以及巴城、兴化“泓膏”养殖水域和长江口崇明自然水域等地产中华绒螯蟹形态上差异的比较研究发现,即使来源于种质特点相似(长江水系亲本蟹在射阳所育大眼幼体或在南通/崇明所育扣蟹)的苗种,在经过至少从扣蟹养到商品成蟹近1年的养殖或生长时间后,上述8个产地蟹的背甲会出现显著的产地差异性变化,利用几何形态分析法甚至可获100%的产地判别准确率。因此可以想见,成蟹规格的“洗澡蟹”与阳澄湖原产蟹在经过了从扣蟹养到成蟹长期的养殖期后,其背甲的形态应该也已形成了对两产地水环境相

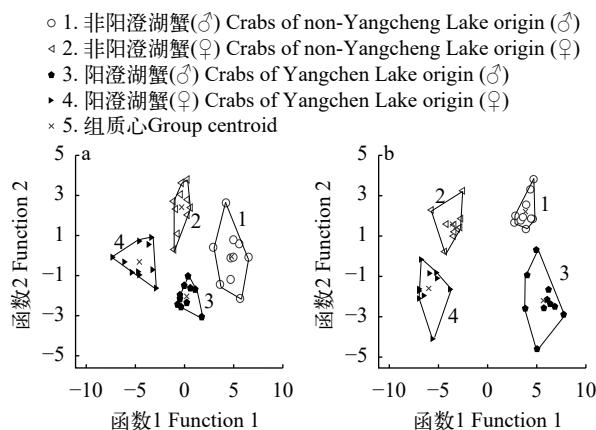


图5 基于背甲的中华绒螯蟹判别分析散点图

Fig. 5 The discriminate analysis plots of *E. sinensis* by carapace geometrical morphometry

a. 判别分析散点图(9月); b. 判别分析散点图(10月)

a. The discriminate analysis plots (September); b. The discriminate analysis plots (October)

表 3 基于背甲的不同产地中华绒螯蟹交互验证分析结果

Tab. 3 Discriminant analysis for different geographical origins of *E. sinensis* by carapace geometrical morphometry

月份Month		产地Geographical origin	判别准确率Discriminant accuracy (%)			
			非阳澄湖蟹 NYC (♂)	非阳澄湖蟹 NYC (♀)	阳澄湖蟹YC (♂)	阳澄湖蟹YC (♀)
九月 September	逐步判别结果Result of GDA	非阳澄湖蟹(♂) NYC (♂)	10(100%)	0	0	0
		非阳澄湖蟹(♀) NYC (♀)	0	10(100%)	0	0
		阳澄湖蟹(♂) YC (♂)	0	0	10(100%)	0
		阳澄湖蟹(♀) YC (♀)	0	0	0	10(100%)
	交互验证结果Result of cross-validation	非阳澄湖蟹(♂) NYC (♂)	9(90%)	0	1(10%)	0
		非阳澄湖蟹(♀) NYC (♀)	0	9(90%)	1(10%)	0
		阳澄湖蟹(♂) YC (♂)	0	0	10(100%)	0
		阳澄湖蟹(♀) YC (♀)	0	0	0	10(100%)
十月 October	逐步判别结果Result of GDA	非阳澄湖蟹(♂) NYC (♂)	10(100%)	0	0	0
		非阳澄湖蟹(♀) NYC (♀)	0	10(100%)	0	0
		阳澄湖蟹(♂) YC (♂)	0	0	10(100%)	0
		阳澄湖蟹(♀) YC (♀)	0	0	0	10(100%)
	交互验证结果Result of cross-validation	非阳澄湖蟹(♂) NYC (♂)	10(100%)	0	0	0
		非阳澄湖蟹(♀) NYC (♀)	0	10(100%)	0	0
		阳澄湖蟹(♂) YC (♂)	2(20%)	0	8(80%)	0
		阳澄湖蟹(♀) YC (♀)	0	0	0	10(100%)

注: YC. 阳澄湖蟹; NYC. 非阳澄湖蟹
Note: YC. crabs of Yangcheng Lake origin; NYC. crabs of non-Yangcheng Lake origin

- 1. 阳澄湖蟹 (9月) Crabs of Yangcheng Lake origin (September)
- △ 2. 阳澄湖蟹 (10月) Crabs of Yangcheng Lake origin (October)
- 3. 非阳澄湖蟹 (9月) Crabs of non-Yangcheng Lake origin (September)
- 4. 非阳澄湖蟹 (10月) Crabs of non-Yangcheng Lake origin (October)
- × 5. 组质心 Group centroid

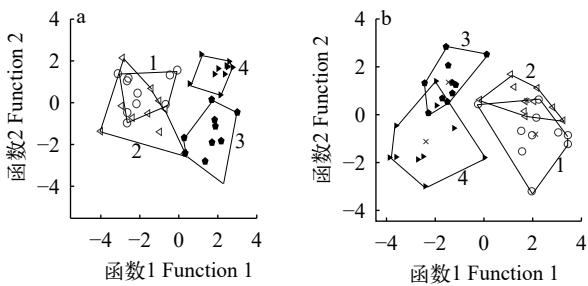


图 6 基于背甲的中华绒螯蟹判别分析散点图

Fig. 6 The discriminate analysis plots of *E. sinensis* by carapace geometrical morphometry

a. 判别分析散点图(♂); b. 判别分析散点图(♀)

a. The discriminate analysis plots (♂); b. The discriminate analysis plots (♀)

应的适应性变化。Sarà等^[16]通过地标点研究尖吻重牙鲷(*Diplodus puntazzo*)发现, 养殖于不同环境条件(养殖池单养、远岸网箱单养、与金头鲷(*Sparus aurata*) 养殖池混养)下, 鱼的形态要在8个月后才会有明显的适应性变化。张秀霞等^[17]通过地标点法对8个野生唐鱼(*Tanichthys albonubes*)种群的研究发现, 长期相互独立的生境条件和地理隔离使唐鱼的

头部形态出现差异。由此可以看出, 鱼、蟹要改变原有身体形态很可能需要长期栖息(如>8个月)于不同产地生境后才会发生。本研究中“洗澡蟹”仅1个月短期转换生境养殖于阳澄湖中, 虽然可见适应性的变化, 但其原有产地而形成的形态特征并未消失, 仍可通过几何形态分析其差异与阳澄湖原产蟹进行准确地区分。

3.2 地标点的选择及其对背甲形态判别效果的影响

在对9月中华绒螯蟹背甲的分析中, 贡献率最高的地标点分别为11、12、16和17地标点, 共解释了47.80%的形态差异, 其余31个地标点解释了52.20%的形态差异。在对10月中华绒螯蟹进行的分析中, 贡献率最高的地标点是16、17、18和19地标点, 共解释了42.25%的形态差异, 其余31个地标点解释了57.75%的形态差异。这些贡献率较高的地标点均为各侧齿内外侧顶点, 属于II型地标点。结合本研究结果来看, 所选地标点能够解释不同中华绒螯蟹群体形态学上的主要变异信息(判别准确率达100%, 交互验证结果也高于80%)。在相关研究中, 侯刚等^[18]使用地标点法对红棘金线鱼(*Nemipterus nemurus*)、金线鱼(*N. virgatus*)、深水金线鱼(*N. bathybius*)和日本金线鱼(*N. japonicus*)矢耳石进行研究时, 判别准确率可以达到了91.3%, 其中I型与II型地标点贡献率较高。与之相比, 冯波等^[19]使

用地标点法与传统形态学方法对不同种群短吻鲷(*Leiognathus brevirostris*)进行区分的时候,发现地标点法的区分效果不如传统形态学方法,通过分析发现其选取的Ⅲ型地标点较多且解释了主要的形态学变异信息。由此可见在利用地标点法进行不同群体形态学差异比较时,以Ⅰ型和Ⅱ型地标点为优,同时为了避免造成信息缺失,少量选择界限较为明显且不易受到主观因素影响的Ⅲ型地标点(如本研究中地标点14)。

3.3 背甲形态判别“洗澡蟹”的潜力

几何形态分析是形态测量学的一种重要方法^[20,21]。目前已广泛应用于招潮蟹(*Genus uca*)^[22]、蓝黑鲷(*Labeo calbasu*)^[23]、兔脂鲤(*Leporinus cylindriciformis*)^[24]和梭子蟹(*Portunus pelagicus*)^[25]等生物的形态的种内、种间差异性研究或种群判别的研究中。迄今对于不同产地的中华绒螯蟹的判别,已有从形态学^[26-28]、分子生物学^[29]和生理生化指标^[30-32]等不同角度的尝试,其中以几何形态分析^[12]、元素“指纹”^[33]和电子舌^[34]所获的产地判别准确率较高,尤其是几何形态分析具有可进行非致死测定且判别准确的优点。在笔者实验室的前期研究中,郑朝臣等^[12]通过地标点法对活体中华绒螯蟹的背甲与腹甲进行分析,准确地判别出了长江水系8个不同湖泊产地的中华绒螯蟹,其中对雄蟹背甲、雄蟹腹甲、雌蟹背甲、雌蟹腹甲的判别准确率分别达到了100%、98.75%、100%和83.75%。相比于传统的形态测量较低的判别准确率^[35],不仅在判别准确率上有了明显的提升,同时对于背甲的判别准确率还达到了100%,平均的判别准确率达到了运用元素“指纹”与同位素的^[33]判别准确率。

本研究运用地标点法对“洗澡蟹”与阳澄湖原产蟹的背甲进行判别。判别结果显示(图5),在“洗澡”前,通过对相对扭曲得分进行逐步判别分析,对非阳澄湖蟹和阳澄湖蟹的判别准确率可以达到100%,交互验证的准确率依然可以达到95%。在将非阳澄湖的中华绒螯蟹于阳澄湖中进行1个月的“洗澡”之后,再次通过地标点法与同月阳澄湖产中华绒螯蟹进行甄别,逐步判别准确率仍然可以达到100%,并且交互验证准确率依旧可以达到95%,有效证明了于阳澄湖中“洗澡”的非阳澄湖产的中华绒螯蟹即使“洗澡”1个月时间,也无法“洗白”变成阳澄湖原产蟹的背甲形态。

本研究通过几何形态学方法对“洗澡蟹”与阳澄湖原产蟹进行了准确地鉴别,有效地证明了即使1个月“洗澡”也无法有效地改变非阳澄湖产与阳澄湖原产蟹间的形态差异。几何形态学方法的判别

准确潜力非常高并且可以进行差异可视化分析,并且还拥有快速、方便和非致死的优点。在今后的进一步研究中,拟尝试将其应用于中华绒螯蟹生长过程中以探索中华绒螯蟹在某固定的环境条件(特别是水质、水环境微量元素含量、水草丰度、流速及水体交换量、养殖密度等)下达到背甲形态稳定所需要的时间,并且通过形态差异可视化来深入探索中华绒螯蟹生长过程中具体的形态变化,以便尝试开发可操作推广的基于几何形态分析的背甲识别技术,为保护阳澄湖原产中华绒螯蟹提供一条创新性的途径。

参考文献:

- [1] Du N S. On the classification of *Eriocheir* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2002, **29**(1): 10-12. [堵南山. 关于绒螯蟹属的分类 [J]. 水产科技情报, 2002, **29**(1): 10-12.]
- [2] Herborg L M, Rushton S P, Clare A S, *et al.* Spread of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*, H. Milne Edwards) in continental Europe: analysis of a historical data set [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **503**(1-3): 21-28.
- [3] Rudnick D A, Hieb K, Grimmer K F, *et al.* Patterns and processes of biological invasion: The Chinese mitten crab in San Francisco Bay [J]. *Basic & Applied Ecology*, 2003, **4**(3): 249-262.
- [4] MOAC (Ministry of Agriculture, China). China Fisheries Yearbook, 2018 [M]. Beijing: China Agriculture Publisher, 2018: 24-34. [农业部渔业渔政管理局编制. 中国渔业统计年鉴, 2018 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 24-34.]
- [5] Li Q, Cai Y Q, Sheng X S. Distribution and assessment of minerals in mitten crab [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, **15**(2): 207-210. [李庆, 蔡友琼, 沈晓盛. 中华绒螯蟹中微量元素的分布及评估 [J]. 上海水产大学学报, 2006, **15**(2): 207-210.]
- [6] Huang C H, Yang P H, Han Q, *et al.* Nutrients analysis on the edible parts of *Eriocheir sinensis* H. Milne-Edwards [J]. *Food & Machinery*, 2013, **29**(1): 61-65. [黄春红, 杨品红, 韩庆, 等. 池塘精养中华绒螯蟹营养成分分析与评价 [J]. 食品与机械, 2013, **29**(1): 61-65.]
- [7] Wang W, Wang C H, Ma X Z. River Crab Ecological Aquaculture [M]. Beijing: China Agriculture Publisher, 2013: 5-6. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 5-6.]
- [8] Song Q H, Zhao Y F. My opinion on brand construction of river crab industry [J]. *Scientific Fish Farming*, 2017, **33**(3): 13-16. [宋迁红, 赵永锋. 河蟹产业品牌建设之我见 [J]. 科学养鱼, 2017, **33**(3): 13-16.]
- [9] Liu H. Study on the status quo and development of original Yangcheng Lake crabs cultivation [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2014, **35**(5): 183-

186. [刘翠. 特色农产品原产地养殖现状与发展研究——以阳澄湖大闸蟹为例 [J]. 中国农机化学报, 2014, **35**(5): 183-186.]
- [10] Yu M H. Honghu Lake crabs will not become Yangcheng Lake crabs after “bathing” [J]. *People-Rule of Law*, 2017, (12): 80. [余明辉. 洪湖蟹“洗澡”也变不成阳澄湖大闸蟹 [J]. 人民法治, 2017, (12): 80.]
- [11] Long Y, Zhang S J. The secret of the “bathed crab” [J]. *Agricultural Products Market Weekly*, 2012, (38): 50-52. [龙毅, 张少杰. “洗澡蟹”的秘密 [J]. 农产品市场周刊, 2012, (38): 50-52.]
- [12] Zheng C C, Jiang T, Luo R J, *et al.* Landmark-based morphometric identification of different geographical origins for the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, **41**(12): 1896-1907. [郑朝臣, 姜涛, 骆仁军, 等. 不同产地中华绒螯蟹形态差异的地标点法分析 [J]. 水产学报, 2017, **41**(12): 1896-1907.]
- [13] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Product of geographical indication—Yangcheng Lake Chinese mitten crab GB/T19957-2005 [S]. Beijing, 2005. [中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 地理标志产品阳澄湖大闸蟹 (GB/T19957-2005) [S]. 北京, 2005.]
- [14] Chen X J, Fang Z, Su H, *et al.* Review and application of geometric morphometrics in aquatic animals [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, **37**(12): 1873-1885. [陈新军, 方舟, 苏杭, 等. 几何形态测量学在水生动物中的应用及其进展 [J]. 水产学报, 2013, **37**(12): 1873-1885.]
- [15] 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.
- [16] Sarà M, Favaloro E, Mazzola A. Comparative morphometrics of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo* Cetti, 1777), reared in different conditions [J]. *Aquacultural Engineering*, 1999, **19**(3): 195-209.
- [17] Zhang X X, Zhu Q Y, Zhao J. Geometric morphometric analysis of body-form variability in populations of *Tanichthys albonubes* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, **41**(9): 1365-1373. [张秀霞, 朱巧莹, 赵俊. 利用几何形态测量学方法分析唐鱼群体的形态变异 [J]. 水产学报, 2017, **41**(9): 1365-1373.]
- [18] Hou G, Wang X F, Zhu L X, *et al.* Geometric morphometrics of sagittal otolith of four nemipterus fish species [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, **45**(3): 496-503. [侯刚, 王学锋, 朱立新, 等. 基于几何形态测量学的4种金线鱼矢耳石识别研究 [J]. 海洋与湖沼, 2014, **45**(3): 496-503.]
- [19] Feng B, Cheng L M. Identifying *Leiognathus brevirostris* stocks by geometric morphometrics [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, **20**(5): 677-681. [冯波, 程罗妹. 几何形态学方法区分短吻鲷地方种群的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2011, **20**(5): 677-681.]
- [20] Klingenberg C P. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches [J]. *Nature Reviews Genetics*, 2010, **11**(9): 623-635.
- [21] Klingenberg C P. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms [J]. *Gene*, 2002, **287**(1-2): 3-10.
- [22] Hampton K R, Hopkins M J, McNamara J C, *et al.* Intraspecific variation in carapace morphology among fiddler crabs (*Genus uca*) from the Atlantic coast of Brazil [J]. *Aquatic Biology*, 2014, **20**(1): 53-67.
- [23] Hossain M A R, Nahiduzzaman M, Saha D, *et al.* Landmark-based morphometric and meristic variations of the endangered carp, kalibaus *Labeo calbasu*, from stocks of two isolated rivers, the Jamuna and Halda, and a hatchery [J]. *Zoological Studies*, 2010, **49**(4): 556-563.
- [24] Sidlauskas B L, Mol J H, Vari R P. Dealing with allometry in linear and geometric morphometrics: a taxonomic case study in the *Leporinus cylindriciformis* group (Characiformes: Anostomidae) with description of a new species from Suriname [J]. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2011, **162**(1): 103-130.
- [25] Sanchez M L S, Gorospe J G, Gorospe J N, *et al.* Describing geographic differences in carapace shape in the blue swimming crab *Portunus pelagicus* from Mindanao Bays, Philippines [J]. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation*, 2013, **6**(6): 622-634.
- [26] Wang W, Xu C, Zhang W B, *et al.* Comparative studies on morphological differences among four local populations of mitten crab [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, **23**(6): 648-653. [王武, 徐灿, 张文博, 等. 四个地方种群绒螯蟹形态差异的比较研究 [J]. 中国农学通报, 2007, **23**(6): 648-653.]
- [27] Cao Z, Feng G P, Zhuang P, *et al.* Morphological difference analysis between migratory population and cultured population of *Eriocheir sinensis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, **43**(6): 3-7. [曹侦, 冯广朋, 庄平, 等. 长江中华绒螯蟹洄游群体与养殖群体形态差异分析 [J]. 淡水渔业, 2013, **43**(6): 3-7.]
- [28] Lu Y, Lu 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 Fisheries Sciences of China*, 2016, **23**(2): 382-395. [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.]
- [29] Liu Q, Liu H, Wu X G, *et al.* Genetic variation of wild and cultured populations of Chinese mitten crab *Eriocheir*

- sinensis* from the Yangtze, Huanghe, and Liaohe River basins using microsatellite marker [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, **46**(4): 958-968. [刘青, 刘皓, 吴旭干, 等. 长江、黄河和辽河水系中华绒螯蟹野生和养殖群体遗传变异的微卫星分析 [J]. 海洋与湖沼, 2015, **46**(4): 958-968.]
- [30] Wang S, He Y, Wang Y, *et al.* Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis* [J]. *Food Chemistry*, 2015, **200**: 24-31.
- [31] Gu S Q, Wang X C, Zhang J J, *et al.* Habitat recognition and grade evaluation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using electronic nose [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, **21**(1): 108-117. [顾赛麒, 王锡昌, 张晶晶, 等. 电子鼻在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定上的应用 [J]. 中国水产科学, 2014, **21**(1): 108-117.]
- [32] He S, Lin J L, Zhang D J, *et al.* Traceability of *Eriocheir sinensis* based on flavor linear discriminant and radar chart [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, **18**(7): 239-246. [何珊, 蔺佳良, 张迪骏, 等. 基于风味的线性判别和雷达图的中华绒螯蟹溯源 [J]. 中国食品学报, 2018, **18**(7): 239-246.]
- [33] Luo R J, Jiang T, Chen X B, *et al.* Determination of geographic origin of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using integrated stable isotope and multi-element analyses [J]. *Food Chemistry*, 2019, **274**: 1-7.
- [34] Zhang J J, Gu S Q, Ding Y T, *et al.* Habitat identification and grade evaluation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using electronic tongue [J]. *Food Science*, 2015, **36**(4): 141-146. [张晶晶, 顾赛麒, 丁玉庭, 等. 电子舌在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定的应用 [J]. 食品科学, 2015, **36**(4): 141-146.]
- [35] 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, 等. 长江水系3个湖泊中华绒蟹形态及元素“指纹”特征 [J]. 中国水产科学, 2012, **19**(1): 84-93.]

GEOMETRIC MORPHOMETRIC ANALYSIS ON THE CARAPACE DIFFERENCE BETWEEN “BATHED” AND YANGCHENG LAKE ORIGINATED *ERIOCHEIR SINENSIS*

XUE Jun-Ren¹, JIANG Tao², CHEN Xiu-Bao², LUO Ren-Jun¹, LIU Hong-Bo² and YANG Jian^{1,2}

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China; 2. Key Laboratory of Fishery Eco-Environment Assessment and Resources Conservation in Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: To explore carapace difference between Yangcheng Lake originated *Eriocheir sinensis* and one-month “bathed” *E. sinensis* crabs, landmark-based geometric morphometric analysis was used to comparatively study the carapace characteristics of the two type crabs in Yangcheng Lake. The carapace morphology was characterized by a 35-landmark point system. After image and the punctuation coordinates were processed, relative distortion and discriminant analysis were performed. Later, the morphological variation vector was visualized by using spline analysis and mesh deformation. The stepwise discriminant analysis of relative distortion scores showed that the discrimination accuracies for both Yangcheng Lake originated and “bathed” *E. sinensis* crabs were 100% at before and after bathing. According to the grid deformation diagram, there was no significant change in the carapace morphology of Yangcheng Lake originated crabs during one month period, unlike the situation of the “bathed” crabs. This study reveals for the first time the carapace difference between natively originated and one-month bathed *E. sinensis* crabs in Yangcheng Lake, which has a strong application potential for effectively distinguishing the latter from the former *E. sinensis*.

Key words: Yangcheng Lake; *Eriocheir sinensis*; “Bathed crab”; Geometric morphometric analysis; Landmark