

文章编号: 1674 - 5566(2011)05 - 0677 - 05

几何形态学方法区分短吻鲷地方种群的研究

冯 波, 程罗妹

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025)

摘 要: 运用传统形态测量方法和地标点方法对广东阳江和湛江两个短吻鲷的形态特征进行了分析。传统测量方法的主成分分析的前两个主成分(76.29%)能明显地区分出两个种群。相对扭曲主成分分析前3个主成分(64.03%)也能明显地区分出两个种群,但效果差于传统方法的主成分分析。网格变形图显示,两地短吻鲷的形态差异主要表现在头部。地标点法避免了传统的多变量形态测量方法的信息冗余、包含的形状信息不够完整等问题,并能够重建图形,突出局部的形变,能够直观地比较出研究对象之间的细微差别。

传统的形态测量法是应用多变量统计学工具描述类群内和类群间的形态变异,如线性距离的测量,数量、比例或者角度大小^[1]。在20世纪80年代后期和90年代前期,在形态结构数值化和数据分析的方法上有了重要突破。该方法最初是强调捕捉感兴趣的几何形态结构,通过一定规则测量其结构,将其转换成数字信息,并分析保留这些信息。ROHLF和MARCUS称其为几何形态测量法(geometric morphometrics)^[2],它比较偏向于使用所谓的地标点(Landmarks)数据,利用坐标系统量化个体之间的形变。目前该方法在国外已经被广泛地应用于鱼类的功能性形态学、生态形态学、形态进化学及系统分类学等方面的研究^[3]。国内对鱼类形态学测量方法的研究只发展到衍架网络法(box-truss)^[4-7],地标点方法的应用研究尚未展开。本文将利用该方法对南海短吻鲷两个地方种群的形态进行比较,推进该方法在国内鱼类形态学领域的应用研究。

研究亮点: 地标点法是国外最新发展出并被广泛使用的形态测量方法,该方法以地标点的坐标来表示生物的形状信息,再通过旋转与重叠,用网格图形和相对扭曲分析样本间的形状差异。本文在国内首次使用该方法有效地区分了短吻鲷的不同地方种群。

关键词: 几何形态测量; 地标点法; 多变量形态测量

中图分类号: S 917

文献标志码: A

1 材料与方法

本研究的样本于2009年6月分别采自广东阳江闸坡港(34尾)和湛江港(37尾)。用电子天平测定每尾鱼的体重,精确到0.01 g;用游标卡尺测量鱼体长度,精确度为0.01 cm。选取了12个地标点如图1,测量了12个性状距离(表1)。

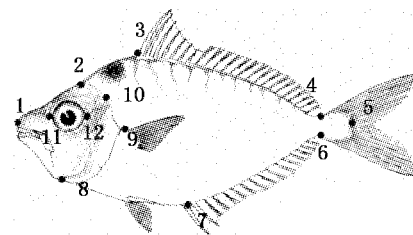


图1 短吻鲷形态测量的地标点

Fig.1 Landmarks of morphometrics for *Leiognathus brevirostris*

1. 吻端; 2. 鳃盖骨前端上侧; 3. 背鳍基部前端; 4、6. 尾柄最狭处; 5. 侧线末梢; 7. 腹鳍基部前端; 8. 颊部; 9. 胸鳍起点; 10. 侧线起点; 11、12. 眼径。

收稿日期: 2010-12-21

修回日期: 2011-04-25

基金项目: 广东省教育厅引进人才专项资金(0909128); 广东海洋大学科研启动费(1012380)

作者简介: 冯 波(1977—),男,讲师,博士,研究方向为海洋渔业开发与保护。E-mail:fengb@gdou.edu.cn

表 1 形态测距
Tab. 1 Distance of landmarks

序号	测距	定义
1	1-5	体长
2	1-2	吻端至鳃盖骨前端上侧长
3	2-3	鳃盖骨前端上侧至背鳍基部前端长
4	3-4	背鳍基部前端至尾柄最狭处长
5	4-6	尾柄高
6	6-7	尾柄最狭处至腹鳍基部前端长
7	7-8	腹鳍基部前端至颊部长
8	1-8	颊部至吻端长
9	11-12	眼径
10	3-7	背鳍基部前端至腹鳍基部前端长
11	7-9	腹鳍基部前端至胸鳍起点长
12	3-9	胸鳍起点至背鳍基部前端长

1.1 测量值的标准化

消除异速生长带来的变动,除体长外的 11 个形态测量值按 ELLIOTT 等^[8]提出的公式进行了标准化:

$$M_{\text{adj}} = M \left(\frac{L_s}{L_0} \right)^b \quad (1)$$

式中: M 是原先测量值; M_{adj} 是按体长调整后的测量值; L_0 是标准体长; L_s 是所有样本鱼标准体长的平均值; 参数 b 是 $\log M$ 与 $\log L_0$ 回归的斜率。计算转换变量与标准体长之间的相关系数, 检验在消除数据中的体长效应时数据转换是否有效。标准化后的测量值与标准体长无显著相关性, 因异速生长造成的体长效应被成功消除。

1.2 主成分分析

运用 SPSS 15.0 软件对两个短吻鲷群体样本标准化后的 11 个形态特征数据进行主成分分析, 得到各主成分负荷值和贡献率, 并根据各主成分的得分绘制主成分散点图。

1.3 几何形态分析

采用数码相机对短吻鲷样本拍照并输入计算机, 利用 tpsdig2 软件在短吻鲷相片上按图 1 标点, 对 1-10 地标点建立坐标点数据文件。用 tpsRelw 软件叠印出地标点分布情况, 对每个样本的地标点进行平移置中、旋转和大小校正, 计算出所有样本地标点的平均坐标, 求出平均形 (mean shape), 据此进行局部扭曲 (partial warps) 和相对扭曲主成分分析 (relative warps), 保存软

件生成的相对扭曲指数 (relative warps scores) 矩阵和分析报告, 用 tpsRegr 软件绘出两个短吻鲷的网格变形图, 比较两地的形态差异。

2 结果

2.1 形态特征差异

11 个形态测量值与体长的比值作为形态分析的性状, 以消除样本大小差异对形态特征的影响。各群体间的范围值存在交叉, 但仍有一定差异 (表 2)。湛江群体的鱼体平均比例值比阳江的略高, 除了 3-7/体长和 6-7/体长外, 平均值差基本在 1 的范围内。各部位的变异系数也不同, 变异系数差最大的是 4-6/体长, 最小的是 3-7/体长。4-6/体长和 11-12/体长两个形态特征的变异系数差较大, 平均变异系数差 1.27, 所以两个群体的样本在尾柄高、眼径有较大的测量值波动。

2.2 主成分分析

经 KMO 和 Bartlett 检验表明: Bartlett 值为 856.195, 11 个形态特征值在群体间差异极显著 ($P < 0.001$); KMO 值为 0.858, 其值接近 1, 说明用主成分分析的结果是比较理想的。两个群体的形态特征变量主成分分析结果表明, 第 1、2 主成分的累积贡献率为 76.29%。因子载荷值的绝对值越大, 贡献也越大。由表 3 中可知, 对主成分 1 有贡献的主要有 7-8、7-9、3-7、1-2 等变量; 对主成分 2 有贡献的主要有 1-8、1-2 变量。第 1、第 2 主成分的得分散点图可以明显地区分出两个种群 (图 2)。

2.3 几何形态分析

由 tpsRelw 软件根据地标点数据文件计算出的平均形以及所有样本地标点数据重叠后的效果如图 3、4。

相对扭曲主成分分析提取了多达 16 个主成分, 前 3 个主成分贡献分别为 22.71%、17.29%、15.47%。第 1、第 2 主成分得分散点图区分两个种群的效果好于第 1、3 主成分得分散点图 (图 5)。10 个地标点在相对扭曲分析时的贡献率如表 4, 地标点 2、4、6、9、10 的贡献率较大。

表 2 两个短吻蝠群体的 11 个形态测量值对体长的变化特征
Tab.2 Relationship of measured body proportions for two *Leignathus brevirostris* stocks

比例	样本	范围/%	$\bar{x} \pm SD$	$\Delta\bar{x}$	t	$V/\%$	ΔV
1-2/体长	阳江	18.79~24.83	21.59±1.22	0.98	2.84	5.67	1.45
	湛江	16.21~24.57	22.57±1.61			7.12	
2-3/体长	阳江	21.46~27.70	24.29±1.47	0.63	1.66	6.05	0.65
	湛江	22.77~31.51	24.92±1.67			6.70	
3-4/体长	阳江	52.61~59.67	55.28±1.93	0.79	2.01	3.49	1.1
	湛江	51.51~56.76	54.49±1.30			2.39	
4-6/体长	阳江	5.90~7.93	7.19±0.46	0.95	6.15	6.33	3.22
	湛江	6.62~10.73	8.14±0.78			9.55	
6-7/体长	阳江	41.65~54.35	45.32±2.43	2.23	4.50	5.37	1.52
	湛江	38.41~46.86	43.09±1.66			3.85	
7-8/体长	阳江	31.16~42.65	39.49±2.01	0.71	1.68	5.10	1.38
	湛江	37.96~45.23	40.20±1.49			3.72	
1-8/体长	阳江	15.31~19.70	17.44±0.94	0.15	0.64	5.41	0.29
	湛江	15.01~19.36	17.59±1.00			5.70	
11-12/体长	阳江	8.35~10.83	9.57±0.62	0.15	1.20	6.51	2.32
	湛江	8.98~10.47	9.72±0.41			4.19	
3-7/体长	阳江	43.27~49.14	46.26±1.25	1.01	3.29	2.69	0.07
	湛江	44.79~49.49	47.27±1.31			2.76	
7-9/体长	阳江	22.58~30.21	27.45±1.28	0.59	2.27	4.65	1.55
	湛江	25.91~30.07	28.04±0.87			3.10	
3-9/体长	阳江	23.3~26.91	24.97±0.93	0.32	1.52	3.71	0.41
	湛江	23.97~27.36	25.29±0.83			3.30	

注: \bar{x} 为形态特征平均值; $\Delta\bar{x}$ 为形态特征平均值差; t 为秩检验; v 为变异系数; Δv 为变异系数差。

表 3 11 个形态学特征值主成分分析的因子载荷值

Tab.3 Loadings of principal components for 11 morphological characteristics

性状	主成分 1	主成分 2
7-8	0.907	0.263
7-9	0.819	0.302
3-7	0.685	0.442
1-2	0.591	0.703
3-9	0.583	0.458
3-4	0.497	0.302
11-12	0.443	0.519
4-6	0.398	0.529
2-3	0.314	0.131
1-8	0.218	0.875
6-7	0.001	0.134

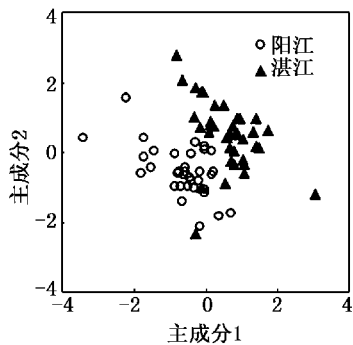


图 2 两个短吻蝠群体主成分得分散点图
Fig.2 Scatter plots of scores on the first and second principal component analysis for two *Leignathus brevirostris* stocks

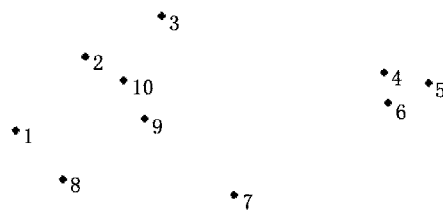


图 3 平均形
Fig.3 Mean shape



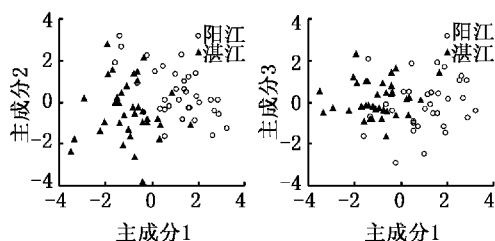
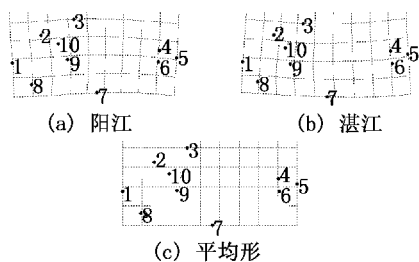
图 4 重叠后的地标点
Fig.4 The superimposed landmarks

两地短吻蝠形态的网格变形如图 6。相对于平均形而言,两地短吻蝠的差异主要表现在头部:地标点 1、2、8、9、10 的相对位置变形较大。湛江短吻蝠地标点 1、8、9、10 趋向靠拢,地标点 5 向上移动;阳江短吻蝠地标点 1、8、9、10 趋向分散,地标点 5 向下移动。

表4 不同地标点在相对扭曲分析时的贡献率

Tab.4 Relative contribution of each landmark on relative warps

地标点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
贡献率/%	0.02	0.10	0.01	0.11	0.02	0.13	0.01	0.02	0.17	0.39

图5 相对扭曲主成分得分散点图
(主成分得分放大了100倍)Fig.5 Scatter plots of relative warp scores
(principal component scores are enlarged 100 times)图6 阳江和湛江短吻蝠的网格变形图
(形变放大了3倍)Fig.6 Grid deformation of *Leioognathus brevirostris*
in Yangjiang and Zhanjiang
(Deformations are enlarged three times)

3 讨论

3.1 两种方法的比较

本研究用两种方法区分出了短吻蝠两个地方种群。传统的形态测量方法在主成分分析时第1、2主成分方差解释率高,而表现得比几何形态法好。这可能是因地标点法只采用了10个地标的信息,造成了相对扭曲时第1、2主成分的方差解释率较低,通过增加特征地标点数可以解决这一问题。与传统的方法相比,地标点方法避免了多变量形态测量法的信息冗余,涵盖的形状信息不够完整,仅能从表格检查数据等问题^[9]。地标点法最大的优点是重建了图形,突出了局部的形变,能够直观地比较出研究对象之间

的细微差别。为了促进几何形态学方法的研究与应用,ROHLF等人创建了专门的网站(<http://life.bio.sunysb.edu/morph>),提供了丰富的资讯,方便使用者的研究和利用。

3.2 地标点的选择

地标点法应用的效果很大程度上取决于取点的准确。BOOKSTEIN^[10]指出生物学上可应用的地标点有3类:(1)独立的组织特征如,鼻孔、肛门或者棘条的嵌入点,能被精确定位,最为一致的地标点,在生物测量上最易解释的一类;(2)形态测量中的突出特征如鳍条、棘刺和拐点,对测量很有帮助,但不同个体间位置并不统一;(3)形态结构上的极端点如吻端、尾梢、最长点和最宽点,测量中很常见,因为取位很主观,不一定可靠。WINANS^[11]也指出同源地标点如鳍膜着生点,比末梢点如尾柄最狭窄的部位,能更有效地用于种群鉴定。本研究中的地标点2、4、6属于第三类地标点,它们在相对扭曲主分析时的贡献率较大,也可能是这个原因,造成了分析效果不如传统方法。

3.3 形态差异的原因

鱼类比其它脊椎动物更易受环境引起的形态变异。研究表明不同养殖条件下,鱼的生长发育形态有较大的差异,如鲤、银鲑等^[12-13]。说明自然地理环境的不同对鱼类的形态发育有很大的影响。广东闸坡港和湛江港的海域环境有明显的不同,闸坡港水域开阔,湛江港水域相对封闭。闸坡港的季节平均水温高于湛江港。其他如海流、底质和水化学环境等都有明显的差别^[14]。这些因素是导致两地的短吻蝠外部形态出现差异的重要原因。

参考文献:

- [1] 白明,杨星科.几何形态测量法在生物形态学研究中的应用[J].昆虫知识,2007,44(1):143-147.
- [2] ROHLF F J, MARCUS L F. A revolution in morphometrics [J]. Trends Ecol Evol, 1993, 8(4):129-132.
- [3] 萧旭峰,吴文哲.生物形状的科学——浅谈几何形态测量学之发展与应用[J].科学月刊,1998,29:624-633.

- [4] 程起群,李思发.刀鲚和湖鲚种群的形态判别[J].海洋科学,2004,28(11):39-43.
- [5] 楼宝,龚小玲,毛国民,等.青岛和舟山褐牙鲆群体形态差异分析[J].上海海洋大学学报,2009,18(1):14-20.
- [6] 龚小玲,李思发.鳊鲃属六种鱼类形态判别研究[J].动物分类学报,2010,35(3):562-567.
- [7] 李思发,王成辉,程起群.红鲤四品系的形态差异和种系关系[J].水产学报,2005,29(5):606-611.
- [8] ELLIOTT N G, HASKARD K, KOSLOW J A. Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia [J]. Journal of Fish Biology, 1995, 46: 202-220.
- [9] CADRIN S X. Advances in morphometric identification of fishery stocks [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2000, 10: 91-112.
- [10] BOOKSTEIN F L. Introduction to methods for landmark data [C]//ROHLF F J, BOOKSTEIN F L. Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop Vol. 2. Univ Michigan Mus Zool Spec Pub, 1990: 215-226.
- [11] WINANS G A. Using morphometric and meristic characters for identifying stocks of fish [C]//KUMPF H E, VAUGHT R N, GRIMES C B, et al. Proceedings of the Stock Identification Workshop Vol 199, NOAA Tech Mem NMFS-SEFC, 1987: 135-146.
- [12] LOY A, CICCOTI E, FERRUCCI L, et al. An application of automated feature extraction and geometric morphometrics: temperature-related changes in body form of *Cyprinus carpio* juveniles [J]. Aquacultural Engineering, 1996, 15(4): 301-311.
- [13] HARD J J, BEREJIKIAN B A, TEZAK E P, et al. Evidence for morphometric differentiation of wild and captive reared adult coho salmon: a geometric analysis [J]. Environmental Biology of Fishes, 2000, 58: 61-73.
- [14] 陈则实. 中国海湾志(第十分册) [M]. 北京: 海洋出版社, 1999: 87-249.

Identifying *Leiognathus brevirostris* stocks by geometric morphometrics

FENG Bo, CHENG Luo-mei

(Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, Guangdong, China)

Abstract: Morphology of two *Leiognathus brevirostris* stocks was analyzed by multivariate and geometric morphometrics. The first two principal components (76.29%) could obviously identify two stocks from Yangjiang and Zhanjiang in principal components analysis by multivariate morphometrics. The first three principal components (64.03%) could also obviously identify two stocks in relative warps analysis. Morphology difference was mainly on the head of *Leiognathus brevirostris* from grid deformation. Compared to traditional multivariate morphometrics, landmark method avoided uneven and redundant aspects of form, and allowed graphic reconstruction of shape to investigate minute shape variation among objects of study.

Key words: geometric morphometrics; landmark methods; multivariate morphometrics