

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17002

贵州境内 3 个野生大眼鲮群体的形态差异

陈薛伟杰^{1,2}, 郭健康³, 杨志², 曹恒源¹, 安苗¹

1. 贵州大学 动物科学学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079;

3. 修文县农业局 贵州 贵阳 550200

摘要: 为探讨长江和珠江流域野生大眼鲮(*Siniperca kneri*)的外形差异, 本研究基于形态学和框架测量数据, 运用多元分析法比较了长江流域乌江沿河、锦江铜仁大眼鲮群体和珠江流域北盘江关岭大眼鲮群体的形态特征。结果表明, 铜仁段大眼鲮群体的眼最小, 沿河段大眼鲮群体的体型最薄, 而关岭段大眼鲮群体的体型最厚, 吻最短但尾柄最长。经数据标准化和参数选择后, 12 个性状参数的数据被用来进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。主成分分析提取了 2 个主成分, 其累计贡献率为 64.255%, 其中第 1 主成分主要受体宽、尾柄形态、眼间距等性状参数的影响, 而第 2 主成分主要受吻长和眼径大小的影响。应用逐步判别方法(discriminant function analysis, DFA)建立了这 3 个群体的特征判别函数, 其交互验证判别准确率为 91.85%。在 3 个群体之间具有显著差异的 12 项性状的差异系数(coefficient of difference, CD)均未达到 1.28 这一亚种分化临界值。长江流域乌江沿河和锦江铜仁大眼鲮群体的外形较为相似, 而它们与珠江流域北盘江关岭大眼鲮群体的形态差异较大, 但本研究 3 个群体的形态变异仍为同一物种下的不同地理种群的形态变异, 该变异还没有达到亚种变异水平。

关键词: 大眼鲮; 多元分析; 差异系数; 种群鉴定

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)01-0034-10

鱼类形态特征作为辨识鱼类不同种群的依据, 不仅是研究短期内环境变异对鱼体表型可塑性影响的重要工具, 也是进行鱼类资源管理的有利工具^[1-3]。研究表明, 不同采样区域鱼类在形态上的稳定变异能够揭示不同区域种群在生长、死亡以及繁殖特征上的差异, 进而形成与当地环境相适应的地理种群^[3-6]。因此, 对不同地理种群形态变异的研究, 可以为种质资源鉴别及评价、良种选育和资源保护提供理论依据^[3,6]。在对不同地理种群的形态变异的识别研究中, 除遗传学方法外^[7-8], 基于传统形态学和框架结构数据的多元分析法也已在国内外不同鱼类形态变异识别中被广泛运用^[2-4, 6, 9-10]。

大眼鲮(*Siniperca kneri*)隶属于鲈形目(Perciformes), 鲈科(Serranidae), 鲮属, 是淡水鱼类中

的名贵品种^[10-12], 其分布于中国淮河水系以南的大小河流和湖泊中, 为中国南方特有种^[10,12]。目前, 有关大眼鲮的年龄生长、繁殖特征、遗传结构等方面已有较多研究^[13-15], 但关于不同地理区域大眼鲮的形态学差异, 仅有杨慧荣等^[10]对珠江流域 3 条主要河流群体的比较研究, 缺乏对长江流域相关河流群体的比较研究, 特别是长江流域群体与珠江流域群体的形态学比较研究。作为大眼鲮的主要分布区域之一, 贵州省内的乌江、锦江分别为长江、沅水的一级支流, 其均位于长江流域内, 而境内的北盘江则属于珠江流域西江上源红水河的大型支流, 其可以近似代表珠江流域的大眼鲮群体^[8,11], 因此对这 3 条河流大眼鲮群体的形态学比较, 可以分析比较不同流域之间大眼鲮的形态变异。本研究将传统形态学测定和框

收稿日期: 2017-01-09; 修订日期: 2017-02-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660741).

作者简介: 陈薛伟杰(1990-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水产动物遗传育种与利用. E-mail: xwjchen@foxmail.com

通信作者: 安苗, 副教授. E-mail: gzuam@163.com

架测量相结合, 采用主成分分析和判别分析等多元分析法, 从不同方向定量比较长江和珠江流域大眼鲈群体的形态差异性, 并通过筛选群体形态差异显著的指标建立不同群体外形特征判别函数, 旨在为不同区域大眼鲈种群的鉴别及区分、良种的选育和资源的保护提供基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 样本采集

野生大眼鲈采自 3 个国家级水产种质资源保护区, 共计 233 尾。其中, 乌江黄颡鱼国家级水产种质资源保护区沿河县城河段 70 尾, 体长 10.60~26.30 cm, 体重 26.80~438.30 g; 锦江河特有鱼类国家级水产种质资源保护区铜仁段 32 尾, 体长 19.50~25.10 cm, 体重 191.40~400.10 g; 北盘江九盘段特有鱼类国家级水产种质资源保护区关岭段 131 尾, 体长 11.10~19.00 cm, 体重 40.76~211.35 g。

1.2 参数测量

测定了传统形态学和框架结构的 25 个参数^[3,10,16], 共 5825 条数据, 分为 10 项常规可量性状以及 15 项框架结构性状。

常规可量性状: 全长(TL)、体长(BL)、体高(BD)、体宽(BW)、头长(HL)、吻长(SL)、眼径(ED)、眼间距(ID)、尾柄长(CPL)、尾柄高(CPW), 共 10 项(图 1)。距离采用电子数显卡尺测量, 精确度为 0.1 mm。重量采用电子天平称量, 精确到 0.1 g。

框架结构性状: 设置 8 个解剖学坐标点 1~8, 测量 15 个框架结构性状 1-3~6-8 (图 2)。

1.3 数据分析

1.3.1 数据标准化和参数选择 为了消除鱼体规格大小对实验结果的影响, 将除体长外的 24 个传统可量性状和框架数据除以体长并采用下式进行标准化:

$$M_{\text{adj}} = \lg \left(\frac{M}{\text{BL}} + 1 \right)$$

式中, M 为原始测量数据; M_{adj} 为标准化后的数据; BL 为体长(cm)。

基于标准化的数据, 采用单因素方差分析方法(one-way ANOVA)筛选在 3 个采样区域间具有显著差异的参数^[17]。基于单因素方差分析的结果, 采用 Pearson 相关性法筛选反映信息独立性的参数, 并剔除反映冗余信息的参数, 以减少参数的多重共线性^[17]。

1.3.2 主成分分析 基于所选择的参数, 运用主成分分析法对 233 尾样品标准化后的数据进行分析。首先采用 KMO 和 Bartlett's 球度检验确定所分析数据对于主成分分析的适合情况, 其中, KMO 值越接近 1 以及 Bartlett's 球度检验显示的 P 值小于 0.05, 均表明所分析的数据适合进行主成分分析^[3,10,17]。通过建立相关系数矩阵, 以主成分法提取公因子, 选择特征值大于 1 的因子为主要因子, 并采用方差最大正交旋转法(varimax)对因

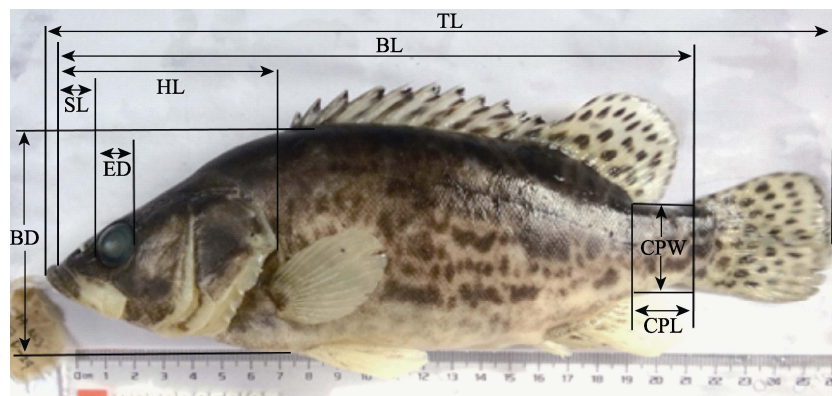


图 1 大眼鲈形态测量

TL: 全长; BL: 体长; BD: 体高; HL: 头长; SL: 吻长; ED: 眼径; CPL: 尾柄长; CPW: 尾柄高。

Fig. 1 Measurements on *Siniperca kneri*

TL: total length; BL: body length; BD: body depth; HL: head length; SL: snout length; ED: eye diameter; CPL: caudal peduncle length; CPW: caudal peduncle width.

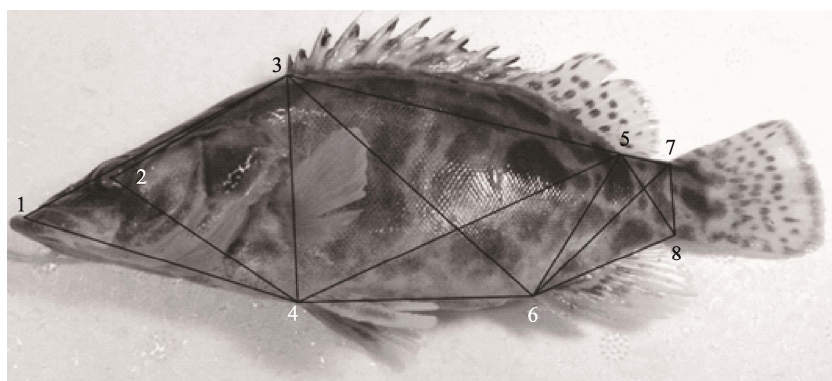


图 2 大眼鲈框架结构示意图

8 个解剖学同源坐标点, 1: 吻前端; 2: 眼径中点; 3: 背鳍基部起点; 4: 腹鳍基部起点; 5: 背鳍基部后末端; 6: 臀鳍基部起点; 7: 尾鳍基部背部起点; 8: 尾鳍基部腹部起点。

Fig. 2 Frame structure diagram of *Siniperca kneri*

Eight landmarks of anatomy, 1: tip of snout; 2: middle of eye diameter; 3: origin of dorsal fin base; 4: origin of pelvic fin base; 5: posterior end of dorsal-fin base; 6: origin of anal fin base; 7: dorsal origin of caudal fin base; 8: ventral origin of caudal fin base.

子负荷矩阵进行旋转, 从而获得各主成分的特征值和贡献率。基于各因子得分, 绘制主成分分析结果散点图^[10]。

1.3.3 逐步判别函数分析 采用逐步判别函数分析法筛选关键参数, 并建立 3 个不同类群的线性判别函数, 参考杨慧荣等^[10]和 Poulet^[18]计算判别准确率、交互验证判别准确率和综合判别率。

1.3.4 差异系数 参照 Mayr 等^[19]对亚种进行识别和划分的 75%规则, 对 3 个大眼鲈群体 20 项性状比的差异系数进行差异性分析。分析公式为:

$$CD = |M_1 - M_2| / (SD_1 + SD_2)$$

式中, M_1 、 M_2 分别代表 2 个群体某种性状参数的平均值, $SD_1 + SD_2$ 为对应的标准差。

数据的分析与处理采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 16.0 软件进行, 本研究的显著性水平设置为 0.05。

2 结果与分析

2.1 参数选择

将标准化后的数据进行单因素方差分析, 除参数 TL/BL、HL/BL、1~4/BL 和 4~2/BL 外, 其他 20 个参数在 3 个大眼鲈群体之间均在统计学上差异显著, 因此这 20 个参数将被用来进一步进行 Pearson 相关性分析(表 1)。经 Pearson 相关性分析, 剔除与 2 个或 2 个以上参数相关系数大于或等于 0.80 的参数, 最终获得 12 个参数(BD/BL、

BW/BL、SL/BL、ED/BL、ID/BL、CPL/BL、CPW/BL、3~2/BL、3~5/BL、5~7/BL、5~8/BL 和 7~8/BL)作为主成分分析和逐步判别函数分析的备选参数(表 2)。

2.2 主成分分析

KMO 和 Bartlett's 球度检验得出的 KMO 值和 P 值分别为 0.940 和 0.000, 均表明本研究所用数据非常适合进行主成分分析。主成分分析结果显示, 前 2 项主成分的特征值大于 1.0, 累计贡献率达到 64.255%, 即这 2 个相互独立的主成分包含了原有 12 个变量的 64.255%变异信息(表 3)。其中, 第 1 主成分贡献率为 54.742%, 第 2 主成分贡献率为 9.513%(表 3)。

从 3 个大眼鲈群体的前 2 个主成分来看, 主成分 1 中起关键作用的是 BW/BL、CPW/BL、CPL/BL、7~8/BL、5~7/BL、5~8/BL、ID/BL、3~2/BL 和 3~5/BL, 主要反映鱼体吻前端至尾鳍起点之间躯体纵向、横向和斜向大小差异; 主成分 2 中起关键作用的为 SL/BL 和 ED/BL, 分别反映了头部的长短和眼睛的大小(表 4)。

3 个大眼鲈群体主成分 1 和主成分 2 绘制的二维散布图如图 2 所示。图中显示, 沿河和铜仁群体均分布在主成分 1=0 的左侧, 而关岭群体则主要分布在主成分 1=0 的右侧; 沿河和铜仁群体之间存在部分重叠, 但这 2 个群体与关岭群体能够明显区分开来(图 3)。

表 1 3 个大眼鲈群体比例性状标准化的平均值及比较

Tab. 1 The mean values of standardized data of characters for the three *Siniperca kneri* populations and the comparisons among them

性状 character	采样区域 sampling area			统计量 statistical magnitude		性状 character	采样区域 sampling area			统计量 statistical magnitude	
	沿河 Yanhe	铜仁 Tongren	关岭 Guanling	<i>F</i>	<i>P</i>		沿河 Yanhe	铜仁 Tongren	关岭 Guanling	<i>F</i>	<i>P</i>
全长/体长 TL/BL	0.349	0.353	0.357	1.797	0.168	3~4/体长 3~4/BL	0.121	0.123	0.130	7.457	0.001
体高/体长 BD/BL	0.125	0.120	0.130	3.240	0.041	3~5/体长 3~5/BL	0.177	0.185	0.189	6.027	0.003
体宽/体长 BW/BL	0.056	0.067	0.073	50.925	0.000	3~6/体长 3~6/BL	0.166	0.166	0.181	18.937	0.000
头长/体长 HL/BL	0.145	0.143	0.144	0.283	0.754	5~4/体长 5~4/BL	0.176	0.184	0.194	19.856	0.000
吻长/体长 SL/BL	0.055	0.055	0.045	56.428	0.000	5~6/体长 5~6/BL	0.100	0.107	0.110	11.223	0.000
眼径/体长 ED/BL	0.033	0.028	0.032	12.681	0.000	5~7/体长 5~7/BL	0.042	0.042	0.045	9.033	0.000
眼间距/ 体长 ID/BL	0.026	0.026	0.028	5.454	0.005	5~8/体长 5~8/BL	0.063	0.062	0.070	9.654	0.000
尾柄长/ 体长 CPL/BL	0.042	0.042	0.049	26.722	0.000	7~6/体长 7~6/BL	0.100	0.107	0.110	11.223	0.000
尾柄高/ 体长 CPW/BL	0.043	0.046	0.052	21.277	0.000	7~8/体长 7~8/BL	0.048	0.047	0.055	23.073	0.000
1~3/体长 1~3/BL	0.149	0.151	0.156	5.105	0.007	8~6/体长 8~6/BL	0.102	0.107	0.112	16.603	0.000
1~4/体长 1~4/BL	0.149	0.150	0.151	0.209	0.812	6~4/体长 6~4/BL	0.118	0.116	0.131	27.334	0.000
3~2/体长 3~2/BL	0.098	0.102	0.105	4.085	0.018	4~2/体长 4~2/BL	0.109	0.110	0.110	0.101	0.904

表 2 3 个大眼鲈种群不同测量性状之间的皮尔逊相关性

Tab. 2 The Pearson correlations among different measured characters for the three *Siniperca kneri* populations

性状 character								相关性 correlation													
体高/ 体长 BD/ BL	体宽/ 体长 BW/ BL	吻长/ 体长 SL/ BL	眼径/ 体长 ED/ BL	眼间 距/体 长 ID/ BL	尾柄 长/体 长 CPL/ BL	尾柄 高/体 长 CPW/ BL	1~3/ 体长 BL	3~2/ 体长 BL	3~4/ 体长 BL	3~5/ 体长 BL	3~6/ 体长 BL	5~4/ 体长 BL	5~6/ 体长 BL	5~7/ 体长 BL	5~8/ 体长 BL	7~6/ 体长 BL	7~8/ 体长 BL	8~6/ 体长 BL	6~4/ 体长 BL		
体高/ 体长 BD/BL	0.44	0.28	0.45	0.41	0.37	0.42	0.53	0.42	0.54	0.38	0.50	0.49	0.41	0.37	0.36	0.41	0.43	0.47	0.48		
体宽/ 体长 BW/BL	0.44		0.13	0.45	0.59	0.67	0.76	0.70	0.61	0.78	0.57	0.80	0.79	0.70	0.68	0.58	0.70	0.66	0.76	0.79	
吻长/ 体长 SL/BL	0.28	0.13		0.51	0.23	0.19	0.19	0.49	0.36	0.45	0.33	0.33	0.29	0.33	0.31	0.24	0.33	0.21	0.29	0.20	
眼径/ 体长 ED/BL	0.45	0.45	0.51		0.57	0.57	0.49	0.58	0.53	0.64	0.48	0.62	0.64	0.53	0.58	0.47	0.53	0.53	0.61	0.64	

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

性状 character								相关性 correlation												
体高/ 体长 BD/ BL	体宽/ 体长 BW/ BL	吻长/ 体长 SL/ BL	眼径/ 体长 ED/ BL	眼间 距/体 长 ID/ BL	尾柄 长/体 长 CPL/ BL	尾柄 高/体 长 CPW/ BL	1~3/ 体长 1~3/ BL	3~2/ 体长 3~2/ BL	3~4/ 体长 3~4/ BL	3~5/ 体长 3~5/ BL	3~6/ 体长 3~6/ BL	5~4/ 体长 5~4/ BL	5~6/ 体长 5~6/ BL	5~7/ 体长 5~7/ BL	5~8/ 体长 5~8/ BL	7~6/ 体长 7~6/ BL	7~8/ 体长 7~8/ BL	8~6/ 体长 8~6/ BL	6~4/ 体长 6~4/ BL	
眼间距/ 体长 ID/BL	0.41	0.59	0.23	0.57		0.60	0.60	0.53	0.68	0.56	0.70	0.67	0.58	0.67	0.55	0.58	0.62	0.70	0.70	0.64
尾柄长/ 体长 CPL/BL	0.37	0.67	0.19	0.56	0.57		0.60	0.60	0.53	0.68	0.56	0.70	0.67	0.58	0.67	0.55	0.58	0.62	0.70	0.70
尾柄高/ 体长 CPW/BL	0.42	0.76	0.19	0.48	0.49	0.60		0.65	0.58	0.73	0.54	0.73	0.70	0.63	0.59	0.54	0.63	0.63	0.69	0.69
1~3/ 体长 1~3/BL	0.53	0.70	0.49	0.69	0.58	0.60	0.65		0.70	0.87	0.64	0.81	0.76	0.73	0.68	0.61	0.73	0.66	0.76	0.75
3~2/ 体长 3~2/BL	0.42	0.61	0.36	0.53	0.53	0.53	0.58	0.70		0.73	0.56	0.70	0.67	0.63	0.59	0.52	0.63	0.59	0.65	0.63
3~4/ 体长 3~4/BL	0.54	0.78	0.45	0.69	0.64	0.68	0.73	0.87	0.73		0.67	0.90	0.83	0.81	0.74	0.67	0.80	0.76	0.83	0.84
3~5/ 体长 3~5/BL	0.38	0.57	0.33	0.54	0.48	0.56	0.54	0.64	0.56	0.67		0.65	0.71	0.58	0.58	0.50	0.58	0.53	0.65	0.63
3~6/ 体长 3~6/BL	0.50	0.80	0.33	0.63	0.62	0.70	0.73	0.81	0.70	0.90	0.65		0.81	0.74	0.73	0.64	0.74	0.74	0.79	0.83
5~4/ 体长 5~4/BL	0.49	0.79	0.29	0.60	0.64	0.67	0.70	0.76	0.67	0.83	0.71	0.81		0.69	0.68	0.60	0.69	0.68	0.80	0.85
5~6/ 体长 5~6/BL	0.41	0.70	0.33	0.53	0.53	0.58	0.63	0.73	0.63	0.81	0.58	0.74	0.69		0.63	0.53	1.00	0.62	0.71	0.71
5~7/ 体长 5~7/BL	0.37	0.68	0.31	0.59	0.58	0.67	0.59	0.68	0.59	0.74	0.58	0.73	0.68	0.63		0.59	0.63	0.62	0.69	0.73
5~8/ 体长 5~8/BL	0.36	0.58	0.24	0.52	0.47	0.55	0.54	0.61	0.52	0.67	0.50	0.64	0.60	0.53	0.59		0.53	0.56	0.65	0.60
7~6/ 体长 7~6/BL	0.41	0.70	0.33	0.53	0.53	0.58	0.63	0.73	0.63	0.80	0.58	0.74	0.69	1.00	0.63	0.53		0.62	0.71	0.71
7~8/ 体长 7~8/BL	0.43	0.66	0.21	0.52	0.53	0.62	0.63	0.66	0.59	0.76	0.53	0.74	0.68	0.62	0.62	0.56	0.62		0.68	0.73
8~6/ 体长 8~6/BL	0.47	0.76	0.29	0.59	0.61	0.70	0.69	0.76	0.65	0.83	0.65	0.79	0.80	0.71	0.69	0.65	0.71	0.68		0.81
6~4/ 体长 6~4/BL	0.48	0.79	0.20	0.64	0.64	0.70	0.69	0.75	0.63	0.84	0.63	0.83	0.85	0.71	0.73	0.60	0.71	0.73	0.81	

注：黑体表示相关性大于或等于 0.80.

Note: The correlation larger than or equal to 0.80 was shown in bold.

表 3 3 种大眼鲈主成分分析的特征值和累积贡献率(主成分 1~6)

Tab. 3 Eigenvalue and cumulative contribution of variance calculated by principal component analysis from the correlation matrix of thirty-four morphological characters of three *Siniperca kneri* populations

参数 parameter	主成分 principal component					
	1	2	3	4	5	6
特征值 eigenvalue	6.569	1.142	0.706	0.588	0.506	0.476
贡献率/% contribution	54.742	9.513	5.887	4.901	4.217	3.963
累积贡献率/% cumulative contribution	54.742	64.255	70.142	75.044	79.261	83.224

表 4 3 个大眼鲈群体的 12 个性状在前两个主成分的因子负荷值

Tab. 4 The factor loadings for 12 characters of *Siniperca kneri* on the first two principal components

性状 character	主成分 1 the first principal component	主成分 2 the second principal component
体宽/体长 BW/BL	0.895	0.065
尾柄高/体长 CPW/BL	0.815	0.129
尾柄长/体长 CPL/BL	0.797	0.188
7~8/体长 7~8/BL	0.786	0.208
5~7/体长 5~7/BL	0.763	0.320
5~8/体长 5~8/BL	0.692	0.260
眼间距/体长 ID/BL	0.670	0.306
3~2/体长 3~2/BL	0.658	0.416
3~5/体长 3~5/BL	0.631	0.406
吻长/体长 SL/BL	-0.008	0.920
眼径/体长 ED/BL	0.497	0.687
体高/体长 BD/BL	0.435	0.442

表 5 3 个大眼鲈群体的 Fisher 线性判别函数系数

Tab. 5 Linear discriminated functions of three *Siniperca kneri* populations

参数 parameter	性状 character	群体 population		
		沿河 Yanhe	铜仁 Tongren	关岭 Guanling
X_1	体宽/体长 BW/BL	1207	1432	1555
X_2	吻长/体长 SL/BL	1458	1494	909.569
X_3	眼径/体长 ED/BL	2809	2168	2755
X_4	尾柄长/体长 CPL/BL	841.963	901.268	1124
X_5	3~5/体长 3~5/BL	528.671	572.005	579.359
X_6	7~8/体长 7~8/BL	1404	1369	1654
	常数 constant	-219.451	-224.240	-247.235

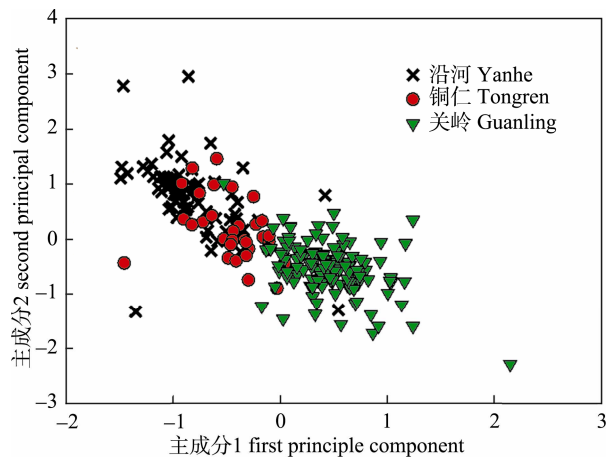


图 3 3 个大眼鲈群体前两个主成分散点图

Fig. 3 Distribution of the first and second principal component coordinates of three *Siniperca kneri* populations

2.3 逐步判别分析

3 个群体的逐步判别分析结果见表 5。表 5 显示 BW/BL、SL/BL、ED/BL、CPL/BL、3~5/BL

和 7~8/BL 为判别 3 个种群的显著性状参数。采用这 6 个性状参数建立了 3 个大眼鲈群体的判别公式:

沿河大眼鲈群体:

$$Y=-219.451+122.890X_1+1458X_2+2809X_3+841.963X_4+528.671X_5+1404X_6$$

铜仁大眼鲈群体:

$$Y=-224.240+1432X_1+1494X_2+2168X_3+901.268X_4+572.005X_5+1369X_6$$

关岭大眼鲈群体:

$$Y=-247.235+1555X_1+909.569X_2+2755X_3+1124X_4+579.359X_5+1654X_6$$

3 个大眼鲈群体的判别归类结果见表 6。由表 6 可知: 非交互验证时, 沿河、铜仁和关岭群体分别有 8 尾、3 尾和 5 尾判别错误, 判别准确率分别为 87.5%、90.0%、96.2%, 综合判别准确率为 93.13%。交互验证时沿河群体的判别准确率为 87.14%, 铜仁群体为 87.50%, 关岭群体为 95.42%,

表 6 3 种大眼鲈的判别分类结果
Tab. 6 Classification results of three *Siniperca kneri* populations

群体 population	非交互验证判入群体 sentenced population when no cross-validated			判别准确率/% accuracy rate of discrimination	交互验证判入群体 sentenced population by cross-validated			判别准确率/% accuracy rate of discrimination
	沿河 Yanhe	铜仁 Tongren	关岭 Guanling		沿河 Yanhe	铜仁 Tongren	关岭 Guanling	
沿河(70 尾) Yanhe (70 ind.)	62	6	2	88.57	61	6	3	87.14
铜仁(32 尾) Tongren (32 ind.)	3	29	0	90.63	3	28	1	87.50
关岭(131 尾) Guanling (131ind.)	2	3	126	96.18	3	3	125	95.40

综合判别准确率为 91.85%。交互验证结果与直接使用判别公式进行判别的结果的准确率均非常高而且接近,说明判别公式是可信的。

2.4 性状差异性分析

对 3 个大眼鲈群体的 12 项显著性状进行差异性分析,其结果见表 7。3 个大眼鲈群体的所有显

著性状的差异系数值均小于亚种分类的阈值 1.28,因此可以初步断定它们之间的差异属于不同地理种群内的差异,还未达到亚种水平。

3 讨论

本研究基于多种多元统计分析法,对贵州 3 条河流的大眼鲈群体的形态变异进行了分析。主成分分析结果表明:乌江沿河群体与锦江河铜仁群体的形态较为接近,而与北盘江关岭群体的形态差异较为明显(图 2)。主成分分析中特征值大于 1.0 的前 2 个主成分能够解释不同群体间总变异方差的 64.255%,显示这 2 个相互独立的主要因子能够反映不同群体间的形态差异。2 个主要成分中,主成分 1 主要反映鱼体从头部至尾柄之间躯体在纵向、横向和斜向的差异,其中,体宽/体长、尾柄高/体长和尾柄长/体长这 3 个比例性状的因子负荷值排在前 3 位,表明躯体宽度以及尾部形态是区分不同群体差异较为明显的性状,主成分 2 中起关键作用的为吻长/体长和眼径/体长,表明吻部的长度以及眼睛的大小也是区分 3 个地理种群的重要性状参数。就 2 个主成分而言,头部和尾部上部分性状特征的差异是导致这 3 个地理种群形态差异最为关键的因素。已有研究也表明,头部和尾部区域的部分性状是区分许多鱼类不同地理种群差异的关键因素^[16,20-22]。尽管如此,由于不同鱼类在种间形态上的差异,所以也有许多鱼类在地理种群上的区分主要依据鱼体其他区域的性状参数^[23-24]。

尽管主成分分析法已在确定不同群体间的

表 7 3 个大眼鲈群体间 12 项性状的差异系数
Tab. 7 Variation coefficient of 12 characters of three
Siniperca kneri populations

性状 character	沿河 vs 铜仁 Yanhe vs Tongren	沿河 vs 关岭 Yanhe vs Guanling	铜仁 vs 关岭 Tongren vs Guanling
体高/体长 BD/BL	0.210	0.010	0.270
体宽/体长 BW/BL	0.839	0.724	0.400
吻长/体长 SL/BL	0.373	0.582	0.340
眼径/体长 ED/BL	0.973	0.039	0.449
眼间距/体长 ID/BL	0.007	0.306	0.322
尾柄长/体长 CPL/BL	0.145	0.445	0.457
尾柄高/体长 CPW/BL	0.363	0.470	0.368
3~2/体长 3~2/BL	0.578	0.264	0.179
3~5/体长 3~5/BL	0.393	0.224	0.164
5~7/体长 5~7/BL	0.204	0.435	0.363
5~8/体长 5~8/BL	0.135	0.440	0.394
7~8/体长 7~8/BL	0.028	0.448	0.441

种群形态差异、亲缘关系等方面得到了广泛的运用^[3, 9-10, 22, 25], 但是必须进行主成分分析数据的预处理以及数据适用性分析^[6, 17, 23]。Tzeng 等^[26]和 Kinsey 等^[27]的研究表明, 样品个体大小变化对数据的影响通常较为明显, 未对原始测量数据进行标准化, 有可能会造成数据不能满足如正态性、方差齐次性等某些统计方法运用的假设前提, 从而得出错误的分析结果。而且, 主成分分析法适用性前提为通过 KMO 和 Bartlett's 球度检验, 因此, 必须进行数据的协方差矩阵或相关矩阵检验, 能够收敛即为正定矩阵。为使矩阵收敛, 样本量的大小以及分析参数的相关性均需要进行分析^[17]。样本量太少或分析参数高度相关, 均会产生非正定矩阵, 从而使得矩阵无法收敛而不能得到正确的分析结果。在本研究中, 尽管样本数量满足统计学要求, 但是未进行参数选择时, 该样本数据是无法通过 KMO 和 Bartlett's 球度检验的。为此, 采用以下方法和步骤进行了参数选择: 首先采用单因素方差分析方法(one-way ANOVA)筛选出在 3 个采样区域间具有显著差异的性状参数; 然后采用 Pearson 相关性法对这些性状参数进行分析, 剔除部分高度相关的参数。经过参数选择, 选择后的样本数据通过了 KMO 和 Bartlett's 球度检验。

研究表明, 鱼类的外部形态除受遗传因子影响以外, 外部环境因子的影响也不可忽视^[10, 26-28]。不同地理种群之间形态的变异通常是局域生境差异引起的表型可塑性的结果, 而水温、浊度、食物的可获得性以及水体的流速和水深等通常为局域生境, 特别是淡水鱼类局域生境中导致表型差异的关键因子^[10-11, 26]。Poulet^[18]的研究表明, 一般情况下, 地理隔离距离的大小与不同地理种群形态差异的大小呈正相关关系。本研究中, 沿河群体和铜仁群体之间的外形差异较小, 其很可能与这 2 个群体所在的水域地理位置较近、海拔高度相差不大、生存环境类似有关, 而关岭群体采集于北盘江中游, 与其他 2 个大眼鲈群体的地理位置相距较远, 海拔高度以及栖息生境相差也较大, 从而与其他 2 个群体的外形差异较为显著。但差异系数的分析结果显示, 3 个大眼鲈群体显著性

差异性状的差异系数值均小于亚种分类的阈值 1.28^[19], 表明虽然 3 个大眼鲈群体间存在一定程度的性状差异, 但这些差异仍然属于种内不同地理群体上的差异, 还未达到亚种水平。这一结果与采用遗传分析方法对 3 个种群进行的分析结果相一致^[8]。尽管遗传分析方法能够正确地鉴别不同地理种群, 但是本研究采用 6 个性状参数建立的种群判别函数对个体的种群识别, 不仅准确性较好, 而且相较遗传学分析方法更为方便、迅速且对鱼体伤害小, 有利于对不同地理种群进行快速、无损伤的鉴定。因此, 本研究结果可以为本研究区域内大眼鲈群体的无损、快速良种选育提供参考。

参考文献:

- [1] Cadrin S X, Friedland K D, Waldman J R. Stock identification methods: applications in fishery science[J]. E Streams Electronic Reviews of Science & Technology, 2012(1): 68-69.
- [2] Bagherian A, Rahmani H. Morphological discrimination between two populations of shemaya, *chalcaburnus chalcoides* (actinopterygii, cyprinidae), using a truss network[J]. Animal Biodiversity & Conservation, 2009, 32(1): 1-8.
- [3] Mohaddasi M, Shabanipour N, Abdolmaleki S. Morphometric variation among four populations of shemaya (*Alburnus chalcoides*) in the south of caspian sea using truss network[J]. The Journal of Basic & Applied Zoology, 2013, 66(2): 87-92.
- [4] Swain D P, Foote C J. Stocks and chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification[J]. Fisheries Research, 1999, 43(1): 1123-1128.
- [5] Cadrin S X. Advances in morphometric identification of fishery stocks[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2000, 10(1): 91-112.
- [6] Liu C Z, Yan L P, Li J S, et al. Morphological differences between breeding stocks of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China and Yellow seas[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(4): 908-917. [刘楚珠, 严利平, 李建生, 等. 基于框架法的东黄海日本鲭产卵群体形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2011, 18(4): 908-917.]
- [7] Jayasankar P, Thomas P C, Paulton M P, et al. Morphometric and genetic analyzes of Indian mackerel (*Rastrelliger kana-gurta*) from Peninsular India[J]. Asian Fisheries Science, 2004, 17: 201-215.
- [8] Guo J K, An M, Wang J N, et al. Sequence analysis of rDNA ITS-1 from three populations of *Siniperca kneri* in Gui-

- zhou[J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(6): 1383-1387. [郭健康, 安苗, 王金娜, 等. 贵州大眼鳊 3 个群体 rDNA ITS-1 序列分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(6): 1383-1387.]
- [9] Huang T, Zhao B, Babacar D, et al. Analysis of morphological differences between *Paramisgurnus dabryanus* and *Misgurnus anguillicaudatus formosa* cultured in Zhoushan archipelago[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(2): 83-87. [黄涛, 赵波, Babacar Diakhate, 等. 舟山群岛大鳞副泥鳅与台湾泥鳅的形态差异性分析[J]. 水生生态学杂志, 2016, 37(2): 83-87.]
- [10] Yang H R, Ouyang P H, Li G F, et al. Morphological differentiation among three wild populations of *Siniperca kneri* in Pearl River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(2): 447-457. [杨慧荣, 欧阳徘徊, 李桂峰, 等. 珠江流域 3 个野生大眼鳊群体的形态差异[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 447-457.]
- [11] Wu L, Zhao Z F, Zheng J Z, et al. Fish Fauna of Guizhou[M]. Guiyang: Guizhou People's Press, 1989: 259-266. [伍律, 赵执桴, 郑建州, 等. 贵州鱼类志[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989: 259-266.]
- [12] Ding R H. Fish Fauna of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 1994: 509-515. [丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 259-266.]
- [13] Wang G J, Xie J, Pang S X, et al. Reproductive biology of *Siniperca kneri* in Pearl River water system[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 30(1): 50-55. [王广军, 谢骏, 庞世勋, 等. 珠江水系大眼鳊的繁殖生物学[J]. 水产学报, 2012, 30(1): 50-55.]
- [14] Liu L Z, Li G F, Chen S J, et al. Age and growth of bigeye mandarin fish (*Siniperca kneri*) in Guishi Reservoir, Guangxi Province[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(2): 229-236. [刘凌志, 李桂峰, 陈石娟, 等. 广西龟山水库大眼鳊的年龄与生长特征[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 229-236.]
- [15] Chen D X, Chu W Y, Liu X L, et al. Phylogenetic studies of three sinipercid fishes (Perciformes: Sinipercidae) based on complete mitochondrial DNA sequences[J]. Mitochondrial DNA, 2012, 23(2): 70-76.
- [16] Liu J Y, Yang T B. Morphological variation of grey mullet *Mugil cephalus* in different geographical populations along china coast[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(5): 572-576. [刘建勇, 杨廷宝. 我国沿海鲻鱼(*Mugil cephalus*)不同地理群体形态差异研究[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 572-576.]
- [17] Song Z G, Xie L L, He H X. Practical Tutorial of SPSS 16: SPSS 16.0 Guide to Data Analysis[M]. Beijing: The People's Posts and Telecommunications Press, 2008: 112-256. [宋志刚, 谢蕾蕾, 何旭洪. SPSS 16 实用教程: SPSS 16.0 Guide to Data Analysis[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 112-256.]
- [18] Poulet N. Evidence of morphological discrete units in an endemic fish, the rostrum dace (*Leuciscus burdigalensis* Valenciennes 1844), within a small river basin[J]. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2008(388): 3.
- [19] Mayr E, Linsle E G, Usinger R L. Methods and Principles of Systematic Zoology[M]. New York: McGRAW Hill, 1953: 125-154.
- [20] Wang W, Chen L Q, Gu Z M, et al. Analysis of morphological variations among seven populations of *Erythroculter ilishaeformis*[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(3): 40-44. [王伟, 陈立侨, 顾志敏, 等. 7 个不同翘嘴红鲌群体的形态差异分析[J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 40-44.]
- [21] Qiao D L, Li S F. Morphological differences of three *Plagiognathops microlepis* populations[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(12): 2425-2430. [乔德亮, 李思发. 细鳞斜颌鲴三个群体形态差异[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2425-2430.]
- [22] Sen S, Jahageerdar S, Jaiswar A K, et al. Stock structure analysis of *Decapterus russelli* (Ruppell, 1830) from east and west coast of India using truss network analysis[J]. Fisheries Research, 2011, 112(1): 38-43.
- [23] Wang X A, Ma A J, Chen C, et al. Morphological variation in two wild populations of seven band grouper (*Epinephelus Septemfasciatus*)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(6): 655-660. [王新安, 马爱军, 陈超, 等. 七带石斑鱼 (*Epinephelus septemfasciatus*) 两个野生群体形态差异分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6): 655-660.]
- [24] Liu D J, Zhu S Y. Study of morphological difference of *Coelomactra antiquate* in Fujian and Jiangsu coasts[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(2): 29-34. [刘德经, 朱善央. 福建与江苏西施舌群体形态差异研究[J]. 南方水产科学, 2010, 6(2): 29-34.]
- [25] Li X J, Li A J, Li S F. Morphometric difference between blackchin tilapia *Sarotherodon melanotheron* and the other five tilapias revealed by multivariate statistical analysis[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(6): 683-688. [李学军, 李爱景, 李思发. 萨罗罗非鱼(*Sarotherodon melanotheron*)与其它 5 种罗非鱼形态差异的多元统计分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(6): 683-688.]
- [26] Tzeng T D, Yeh S Y. Morphological variation in the common mackerel (*Scomber japonicus*) off Taiwan[J]. Journal of the Fisheries Society of Taiwan, 2007, 34(2): 197-205.

- [27] Kinsey S T, Orsoy T, Bert T M, et al. Population structure of the Spanish sardine *Sardinella aurita*: natural morphological variation in a genetically homogeneous population[J]. Marine Biology, 1994, 118(2): 309-317.
- [28] Poulet N, Berrebi P, Crivelli A J, et al. Genetic and morphometric variations in the pikeperch (*Sander lucioperca* L.) of a fragmented delta[J]. Archiv für Hydrobiologie, 2004, 159(4): 531-554.

Morphological differences among three wild populations of *Siniperca kneri* sampled from Guizhou Province

CHEN Xueweijie^{1, 2}, GUO Jiankang³, YANG Zhi², CAO Hengyuan¹, AN Miao¹

1. College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources; Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China;
3. Xiuwen Agricultural Bureau, Guiyang 550200, China

Abstract: To analyze the morphometric differentiation of wild *Siniperca kneri* between the population from the Yangtze River Basin and that from the Pearl River Basin, the variation in morphological characteristics of *S. kneri* among three populations from three different sampling sections (Yanhe section of the Wujiang River, Tongren section of the Jinjiang River in the Yangtze River Basin, and Guanling section of the Beipanjiang River in the Pearl River Basin) were assessed using multivariate analysis methods based on the measured morphological data and the truss network. The results showed that among the three populations, the eyes of the individuals from the Tongren section were the smallest, the body width from the Yanhe section was the thinnest, and the population from the Guanling section had the thickest body width, the shortest snout length, but the longest caudal peduncle length. After standardization and parameter selection for original data, the data for 12 selected characters were used to conduct principal component analysis. Two principal components were constructed, which resulted in a cumulative contributory ratio of 64.255%. Principal component 1 was mainly affected by characters, including body width, caudal peduncle shape, and distance between the eyes, whereas principal component 2 was mainly affected by the length of the snout and size of the eyes. A stepwise discriminant method was used to establish the characteristic discriminant functions of the three stocks, which revealed that the total accuracy rate of discrimination by the cross-validated method was 91.85%. The coefficients of differences for the 12 characters among the three stocks did not reach the threshold value of 1.28, although the subspecies could be clearly discriminated. In short, the morphometric differentiation between the two populations from the Yanhe section and Tongren section in the Yangtze River Basin were low, whereas the morphological differences were higher between these two populations and the population from the Guanling section sampled from the Pearl River Basin. Nevertheless, the morphological variation of the three populations shown in this study represented morphological variation from different geographic populations of the same species, which had not reached the level of subspecies variation.

Key words: *Siniperca kneri*; multivariate analysis; coefficient of difference; population identification

Corresponding author: AN Miao. Email: gzuam@163.com