

文章编号: 1674-5566(2018)04-0603-08

DOI:10.12024/jsou.20171102179

云南红河水系李仙江麦穗鱼不同地理居群的形态分化

胡俊仪^{1,2}, 杨丽萍^{1,2}, 郑文佳^{1,2}, 刘慧芬^{1,2}, 董丹丹^{1,2}, 祝亚楠^{1,2}, 刘冉冉^{1,2}, 聂国兴^{1,2}

(1. 河南师范大学 水产学院, 河南 新乡 453007; 2. 河南省水产动物养殖工程技术研究中心, 河南 新乡 453007)

摘要: 对采自李仙江流域江城、墨江和镇沅三个居群 89 尾麦穗鱼标本进行 11 个常规性状和 16 个框架结构性状的测量, 应用多变量形态度量学结合主成分分析、判别分析和差异系数分析等 3 种方法比较李仙江 3 个地理居群间的形态差异。结果均支持镇沅居群较为独立。其中, 主成分分析中 PC1、PC2 和 PC3 贡献率分别为 55.094%、8.397%、6.988%, 累积贡献率达 70.469%, 在 PC1、PC2 散点图中, 镇沅居群个体基本独立分出。应用判别分析, 从 27 个性状变量逐步筛选出对区分 3 个居群标本贡献较大的 7 个性状 ($P < 0.01$), 建立麦穗鱼三个地理居群的判别函数式, 发现对镇沅居群的判别率高达 100%, 对江城、墨江居群的判别率均为 96.7%。同样起主要贡献作用的 7 个性状与体长的比值进行形态差异系数分析, 发现江城居群与镇沅居群之间差异系数大于 1.28 的性状有 3 个, 墨江居群与镇沅居群之间亦有 3 个。镇沅居群产生形态变异, 除可能受来源、生境因素影响外, 遗传因素也发挥着不可忽视的作用。因此在后续研究中还需借助分子生物学手段进行分析。

关键词: 李仙江; 麦穗鱼; 形态度量学; 主成分分析; 判别分析

中图分类号: Q 954 **文献标志码:** A

麦穗鱼 (*Pseudorasbora Parva*) 隶属于鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 麦穗鱼属 (*Pseudorasbora*), 其原产地为中国东部、日本、韩国和蒙古^[1]。目前麦穗鱼随经济鱼类引种已扩散至我国西部地区及世界各地, 分布区域达到 35 个国家和地区, 遍布亚洲、欧洲及大洋洲^[2]。麦穗鱼在云南天然分布于金沙江和南盘江水系^[3], 在 1963 至 1970 年间引进“四大家鱼”等经济鱼类时, 被带入洱海等滇中湖泊^[4], 现已广泛分布于云南伊洛瓦底江、怒江、澜沧江、红河水系等非天然分布水体^[5]。

李仙江属红河水系一级支流, 发源于大理南涧, 流域涉及景东、镇沅、普洱、墨江等县。把边江和阿墨江为李仙江的两条一级支流, 二者在江城三锅桩附近汇合, 始称李仙江^[6]。中国科学院昆明动物研究所和西南林业大学先后对李仙江

鱼类组成进行了调查, 使得李仙江鱼类记录达到 64 种 (亚种), 其中, 包括 6 种外来种, 分别为麦穗鱼、高体鳊鱼 (*Rhodeus ocellatu*)、波氏吻鰕虎鱼 (*Rhinogobius cliffordpopei*)、子陵吻鰕虎鱼 (*Rhinogobius giurinus*)、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 和食蚊鱼 (*Gambusia affinis*)^[7-8]。入侵风险评估结果显示, 麦穗鱼为高入侵风险鱼类, 可与同一生态位土著鱼类竞争饵料, 威胁其生存, 造成不可估计的经济及生物多样性损失^[9]。

入侵成功的生物往往具有较为灵活的生活史、较强的形态可塑力和繁殖力^[10]。其中形态可塑性情况是生物体遗传或表观遗传与环境相互作用的直接体现^[11]。1966 年麦穗鱼进入波兰, 入侵波兰的居群在约 30 年后形态上产生了显著变异^[12]。随后, 对欧洲地区麦穗鱼进行较为全面

收稿日期: 2017-11-26 修回日期: 2018-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1504304); 河南省高校科技创新团队支持计划项目 (14IRTSTHN013); 河南师范大学博士科研启动基金 (qd13047)

作者简介: 胡俊仪 (1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 2321724592@qq.com

通信作者: 聂国兴, E-mail: niegx@htu.cn

的形态学分析发现,麦穗鱼的确存在显著的形态变异,即便是同一国家的不同居群,虽然形态上非常相似,但也存在差异^[13]。然而曾燊^[14]对四川南充、石棉、茂县和西昌入侵麦穗鱼居群间的形态学研究发现,这些居群在形态上没有显著差异。

麦穗鱼作为外来种进入云南的时间与欧洲引入时间类似,红河水系李仙江由两条一级支流及干流组成。充足的引入时间及复杂的水域环境是否造成李仙江麦穗鱼形态出现变异? 本文通过多变量形态度量学方法结合主成分分析、判别分析和差异性分析来检验李仙江麦穗鱼地理

居群间的形态学变化,旨在为深入开展该种类形态分化、生态变异研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 标本来源

本研究检视标本分别于2015年1月采自镇沅五一水库、墨江碧溪、江城中寨,采集信息见表1和图1。均系福尔马林浸制标本,共89尾。标本鉴定参照褚新洛和陈银瑞^[3],陈宜喻^[5]。为方便所用标本在主成分散点图中识别,对同一采样点的标本给予统一的分组编号(表1)。

表1 麦穗鱼标本采集信息

Tab. 1 The sample size and localities information of *Pseudorasbora pava*

组号 Group number	采集点 Collection point	简写 Shorthand	经度 longitude	纬度 latitude	体长范围(mm) Body length	标本量 Sample number
1	江城县中寨镇	Jiangcheng	101°54'1.38"	22°33'22.10"	23.28-40.94	30
2	墨江县碧溪镇	Mojiang	101°42'12.00"	23°30'10.78"	23.93-34.22	30
3	镇沅五一水库	Zhenyuan	100°51'55.04"	23°58'34.04"	21.08-33.11	29

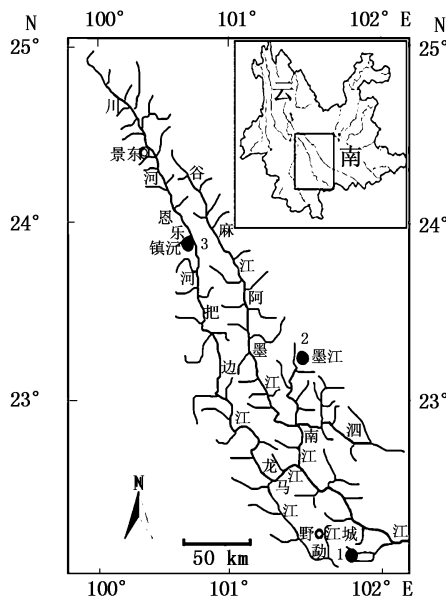


图1 李仙江麦穗鱼取样点分布图
(序号与表1的分组号对应)

Fig. 1 Distribution map of grouping species of *P. pava* from Lixianjiang (the number corresponds with the grouping number in Tab. 1)

1.2 多变量形态度量学分析

形态测量参照 ZAHORSKÁ^[13] 等的框架结构 (truss-protocol), 选择 23 个解剖学坐标点 (landmarks of anatomy) (图2), 采用电子数显卡尺测量两坐标点之间的直线距离, 常规性测量了

包括头长(11-8)、头高(15-2)、眼径(13-12)等在内的共计 11 个常规性状和 16 个框架结构性状。选择标本左侧进行测量, 测量数据精确到 0.1 mm。

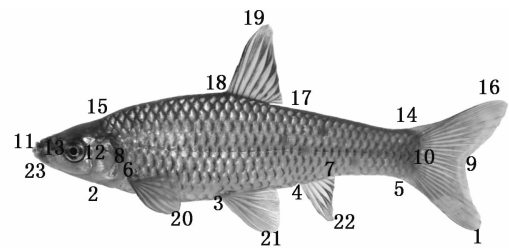


图2 麦穗鱼测量框架图

Fig. 2 Frame characters for *P. pava*

1. 尾鳍下叶末端; 2. 鳃峡; 3. 腹鳍起点; 4. 臀鳍起点; 5. 尾鳍腹侧起点; 6. 胸鳍起点; 7. 臀鳍基部末端; 8. 鳃盖后缘; 9. 尾鳍上下叶最凹处; 10. 尾鳍基部; 11. 吻端; 12. 眼眶后缘; 13. 眼眶前缘; 14. 尾鳍背侧起点; 15. 枕骨后缘; 16. 尾鳍上叶末端; 17. 背鳍基部末端; 18. 背鳍起点; 19. 背鳍鳍条末端; 20. 胸鳍鳍条末端; 21. 腹鳍鳍条末端; 22. 臀鳍鳍条末端; 23. 口裂终点
1. Terminal of caudal fin upper lobe; 2. Gill Gorge; 3. Origin of pelvic fin; 4. Origin of anal fin; 5. Ventral origin of caudal fin; 6. Origin of pectoral fin; 7. Terminal of anal fin base; 8. Terminal of operculum; 9. The most concave of caudal fin; 10. Caudal fin base; 11. Tip of snout; 12. Behind of orbit; 13. Frontier of orbit; 14. Dorsal origin of caudal fin; 15. Behind of occipital bone; 16. Terminal of caudal fin inferior lobe; 17. Terminal of dorsal fin base; 18. Origin of dorsal fin; 19. Terminal of dorsal fin rays; 20. Terminal of pectoral fin rays; 21. Terminal of pelvic fin rays; 22. Terminal of anal fin rays; 23. Terminal of mouth

1.3 数据分析

测量数据通过 Microsoft Excel 2010 进行初步统计和数据标准化。可量性状的测量值经对数转换(\log_{10})消除体型差异及异速生长对分析结果的影响,除体长外的其他形态测量值按 ELLIOTT^[15]等提出的公式进行了标准化:

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

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^[15]。

主成分分析(principle analysis, PCA)在 SPSS 22.0 软件中进行。确定进行分析的变量是否适合因子分析时, 选择 KMO 和 Bartlett 球形度检验^[16]。使用因子分析(Factor analysis)中的默认设置, 选择协方差矩阵(Covariance matrix)和 Varimax 正交旋转法; 将各个主成分的得分值(Scores)进一步制成散点图进行分析。

通过因子分析, 从 11 个常规变量和 16 框架结构性状数据中筛选出对区分 3 个种群贡献较大的 7 个性状, 使用 SPSS 22.0 软件中的 Fisher 判别函数进行分析^[17], 分别建立该 3 个种群的判别函数式, 并检验其判别准确率。

为辅助主成分分析方法对物种形态变异的有效性分析, 进一步通过地理种群形态差异系数(coefficient of difference, CD)进行分析, 以确定不同居群的散点是否为种内不同地理种群的差异。差异系数计算公式: $CD = |M_1 - M_2| / (SD_1 + SD_2)$, M_1 和 M_2 分别为 1、2 种群某参数标准化后的均值, SD_1 和 SD_2 分别为 1、2 种群某参数的标准差^[18]。

2 结果与分析

2.1 主成分分析

经 KMO 和 Bartlett 检验表明: KMO 值为 0.905, 其值接近 1; Bartlett 值为 2 882.986, 形态特征值在居群间差异极显著($P < 0.001$), 说明原有变量适合进行因子分析。

主成分分析结果显示, 主成分 1(PC1)、主成分 2(PC2) 和主成分 3(PC3) 的贡献率分别为 55.094%, 8.397% 和 6.988%, 累积贡献率为 70.469%。第一主成分主要反应的是麦穗鱼鱼鳍鳍位特征以及尾部形态特征, 第二主成分主要反应的是鱼类臀鳍特征, 第三主成分主要反应的是鱼类体高特征。说明可以用几个相互独立的因子来概括不同采样点居群间的形体差异。所有采集点标本凭借 PC1 和 PC2 的分值散点大致分为 2 群: 镇沅居群, 江城和墨江居群(图 3A), 而 PC2 和 PC3 的分值散点图(图 3B) 则不能将三者有效区分。

镇沅居群凭借 PC1 的分值散点与江城居群和墨江居群区分, 以 PC1 负荷绝对值大小排序, 处于前 7 位的是吻端至腹鳍起点距离(11-3)、腹鳍起点至臀鳍起点距离(3-4)背鳍基部末端至尾鳍基部距离(17-10)、背鳍基部末端至尾鳍背侧起点距离(17-14)、腹鳍长(3-21)、背鳍基部末端至臀鳍起点距离(17-4)、尾柄高(14-5), 表明与江城和墨江标本相区别时, 镇沅居群的腹鳍、背鳍、臀鳍、尾鳍间相对位置及腹鳍长和尾柄高起到主要贡献作用。

2.2 判别分析

逐步对 11 个常规变量和 16 框架结构性状变量进行筛选, 选择对区分 3 个地理居群麦穗鱼有显著贡献的 7 个变量($P < 0.01$), 按照差异大小依次为吻端至腹鳍起点距离(11-3)、腹鳍起点至臀鳍起点距离(3-4)、背鳍基部末端至尾鳍基部距离(17-10)、背鳍基部末端至尾鳍背侧起点距离(17-14)、腹鳍长(3-21)、背鳍基部末端至臀鳍起点距离(17-4)、尾柄高(14-5)。以此 7 个性状为自变量, 建立麦穗鱼 3 个地理种群的判别函数式:

$$\text{江城种群: } Y_1 = 9.543X_1 + 8.320X_2 + 3.132X_3 + 67.891X_4 + 7.739X_5 + 8.025X_6 + 6.440X_7 - 201.964$$

$$\text{墨江种群: } Y_2 = 12.792X_1 + 14.450X_2 + 2.668X_3 + 7.5317X_4 + 6.569X_5 + 6.007X_6 + 4.064X_7 - 208.892$$

$$\text{镇沅种群: } Y_3 = 9.864X_1 - 0.349X_2 + 4.567X_3 + 10.557X_4 + 8.259X_5 + 10.7562X_6 + 8.2903X_7 - 286.2322$$

用上述 3 式分别对麦穗鱼江城居群、墨江居

群和镇沅居群的个体进行判别分类,其中镇沅居群的判别率高达 100%,江城居群、墨江居群的判

别率均为 96.7%。综合判别率为 97.8% (表 2)。

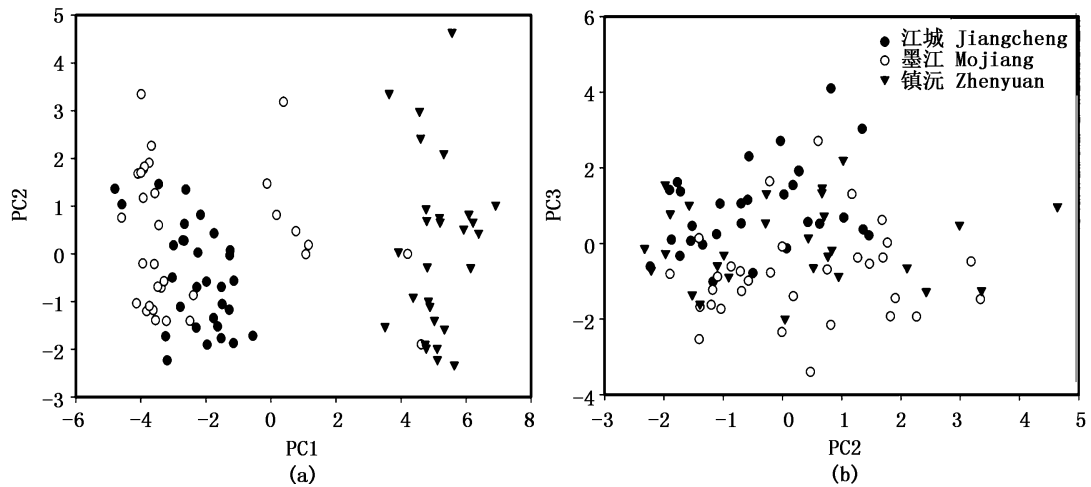


图 3 李仙江麦穗鱼 3 个居群主成分分析散点图

Fig. 3 Scatter plots for the Lixianjiang three groups of principal component analysis

(a) 第 1、2 主成分散点图; (b) 第 2、3 主成分散点图

(a) Scatter plot of scores on PC1 and PC2; (b) Scatter plot of scores on PC2 and PC3

表 2 李仙江麦穗鱼 3 个地理种群的判别结果

Tab. 2 Discriminant results of *P. pava* populations from Jiangcheng, Mojiang and Zhenyuan in Lixianjiang

观测种群 Observed population	预测种群 Predict population			判别准确率/% Identification accuracy	综合判别率/% Total discriminant accuracy
	江城 Jiangcheng	墨江 Mojiang	镇沅 Zhenyuan		
江城 Jiangcheng	29	1	0	96.7	97.8
墨江 Mojiang	1	29	0	96.7	
镇沅 Zhenyuan	0	0	29	100	
合计 Total	30	30	29		

2.3 性状差异性

取主成分分析中起主要贡献作用的 5 个框架性状和 2 个常规性状与体长的比值进行形态差异系数分析。发现,江城地理居群与镇沅地理居群之间差异系数大于 1.28 的比例性状有 3 个,墨江地理居群与镇沅地理居群之间亦有 3 个。但是,江城地理居群和墨江地理居群之间最大仅为 0.46(表 3)。

3 讨论

多变量形态度量分析,主要通过汇集物种外部形态框架结构中的多维空间变量信息,然后利用 SPSS 等统计学软件进行统计分析,从中筛选出有效的差异形态变量,用于对传统度量学方法难以辨别的物种进行鉴定。从而确定物种的有

效性及潜在的种下阶元的存在^[19]。本研究选用的 27 个测量指标参照了 ZÁHORSKÁ^[13]对欧洲麦穗鱼形态特征进行分析的相应指标,指标的选择上具有代表性,也较为充分,能够反映麦穗鱼的形态结构特点。

对形态测量数据的分析,分类学常用的方法为因子分析即主成分分析和差异系数分析进行鉴别^[20-22]。而判别分析法,可利用数学方法建立判别方程,对种群来源进行归类分析,也是一种可对数据进行有效提取的一种重要手段,目前逐渐在形态学分析中有所应用^[23-24]。此三种方法在鱼类形态多变量分析过程中可相互补充、相互印证,实现对数据的充分挖掘,已被广泛应用于鱼类分类学及生态学研究^[25-27]。

表 3 与主成分相关性状的差异性分析
 Tab. 3 Analysis of characters relative to principal components

性状 Character	江城 Jiangcheng			墨江 Mojiang			镇沅 Zhenyuan			差异系数 CDDifference coefficient		
	均值 Mean	区间 Range	标准差 Standard deviation	均值 Mean	区间 Range	标准差 Standard deviation	均值 Mean	区间 Range	标准差 Standard deviation	江城与墨江 Jiangcheng and Mojiang	江城与镇沅 Jiangcheng and Zhenyuan	墨江与镇沅 Mojiang and Zhenyuan
吻端至腹鳍起点距离 (11-3)/体长 S-V/BL	0.57	0.51-0.67	0.09	0.61	0.57-0.69	0.10	0.40	0.36-0.48	0.05	0.24	1.29	1.51
腹鳍起点至臀鳍起点距 (3-4)/体长 V-A/BL	0.18	0.14-0.22	0.03	0.18	0.15-0.24	0.06	0.19	0.15-0.24	0.02	0.01	0.10	0.05
背鳍基部末端至臀鳍起点距 (17-4)/体长 TD-A/BL	0.40	0.37-0.46	0.10	0.42	0.36-0.45	0.07	0.14	0.12-0.15	0.02	0.13	2.09	2.90
背鳍基部末端至尾鳍基部距 (17-10)/体长 TD-CB/BL	0.30	0.28-0.36	0.05	0.35	0.30-0.38	0.06	0.31	0.29-0.35	0.04	0.46	0.08	0.46
背鳍基部末端至尾鳍背侧 起点距(17-14)/体长 TD-DC/BL	0.24	0.20-0.29	0.04	0.30	0.25-0.33	0.08	0.28	0.24-0.33	0.05	0.44	0.42	0.12
尾柄高 14-5/体长 CPD/BL	0.21	0.18-0.24	0.05	0.23	0.19-0.26	0.04	0.08	0.07-0.10	0.01	0.19	2.08	2.89
腹鳍长(3-21)/体长 VF/BL	0.16	0.22-0.32	0.05	0.13	0.22-0.29	0.02	0.17	0.15-0.22	0.02	0.43	0.14	1.00

注:BL,体长

Notes:BL,Body length

本研究通过主成分分析方法可将标本大致分为两群,其中,镇沅居群相对独立,而江城、墨江居群不能完全区分开来。区分镇沅居群的 7 个性状是吻端至腹鳍起点距离、腹鳍起点至臀鳍起点距离、背鳍基部末端至尾鳍基部距离、背鳍基部末端至尾鳍背侧起点距离、腹鳍长、背鳍基部末端至臀鳍起点距离、尾柄高,表明镇沅居群的麦穗鱼鱼鳍特征以及尾部形态特征与江城和墨江居群有显著差异。在差异系数分析结果中,5 个框架性状、2 个常规性状中镇沅地理居群与江城居群存在差异的有 3 个,而与墨江地理居群存在差异的达 3 个,同样显示镇沅居群麦穗鱼具有一定程度的分化。通过判别分析建立麦穗鱼 3 个地理种群的判别函数,对镇沅居群的判别率高达 100%,与主成分分析结果一致。而另外两个江城和墨江居群的内分别仅有 1 个判错,判别率高达 96.7%。通过判别函数,可有效区分三个种群。三种方法均支持镇沅居群形态特征与其他两个居群存在显著差异。

镇沅麦穗鱼居群相对独立,可能由多方面原因造成。包括麦穗鱼来源,生境差异及地理隔离。首先,李仙江麦穗鱼是引进“四大家鱼”等经济鱼类时被引种带入,但是何时,从何地引入,目前无法确认。麦穗鱼自然分布非常广泛,长江、珠江、黄河等均有分布,这三大水系均有可能

是其引种来源。造成镇沅地区样品形态特征差异较大的原因极有可能是镇沅地区麦穗鱼样品的来源与其他地区不同。其次,生境方面,由于流域的东侧降雨大于西侧,因此李仙江流域的东侧支流阿墨江的径流深要大于西侧把边江的径流深^[6],水文环境的差异可能导致镇沅与墨江的麦穗鱼鱼鳍特征以及尾部形态特征产生差异。此外,地理隔离也可能是一方面原因。本研究取样点镇沅和墨江分属于李仙江一级支流把边江和阿墨江,江城属李仙江干流流域。镇沅与墨江直线距离虽然较近,为 100.33 km,但中间有云岭山脉分隔,在自然状况下,河流不能跨越山脉流动,除人为因素外,二者间无法进行自然交流。相对孤立的环境下,也容易形成特殊的地理种群。尽管仅仅 100.33km 的隔离太短。但由于地理位置特殊性,也可能造成其产生形态变异的原因。

在李仙江流域的镇沅、墨江、江城三地中,麦穗鱼形态差异的出现可能还与时间变异有关。外来物种形态变异受到时间进程显现出来的变异称之为时间变异。麦穗鱼引入欧洲约半个世纪,8 个不同国家的麦穗鱼居群(4 个罗马尼亚居群,2 个斯洛伐克居群,1 个英国居群和 1 个法国居群)分别在头长、臀鳍基部末端至尾鳍基部距离、尾叉长、尾下叶长度等形态学参数上存在显

著差异^[13]。此外,小范围的波兰地区的麦穗鱼间也同样出现了形态显变异^[12]。其他入侵种同样存在此现象。鰕虎鱼(*Neogobius kessleri*)在1990s 早期在多瑙河中游出现,随后种群数量大幅增加,在短短 10 几年里其形态发生了强烈变化,表现出极强的表型适应性^[28]。麦穗鱼进入云南的时间与进入欧洲的时间接近^[4],在半个世纪的时间内,麦穗鱼在镇沅、墨江、江城三地相对独立的地理环境中,形态差异的出现可能体现出空间和时间变异的累积。

物种表型的表现形式除受环境因素影响外,遗传因素也发挥着不容忽视的作用。物种内部形态变异的呈现也同样体现着环境和遗传两种因素的协同效应^[29]。然而本文仅从形态度量学角度探讨了李仙江流域的 3 个麦穗鱼种群形态分化、差异的特点。李仙江麦穗鱼形态变异的产生是环境异质性的结果还是遗传因素的影响,二者的影响程度如何? 两因素协同作用的贡献率分别是多少? 此外,环境异质性因素中时间变异及空间变异对总的形态变异的贡献程度也有待进一步分析。今后有望借助于微卫星^[30]、线粒体 Cytb、核基因序列 rpS7、简化基因组 SNP 位点等分子生物学手段对李仙江和原产地麦穗鱼进行分析,判断李仙江麦穗鱼的来源,阐明其形态变异的产生的具体原因。

参考文献:

- [1] GOZLAN R E, ANDREOU D, ASAEDA T, et al. Pancontinental invasion of *Pseudorasbora parva*: towards a better understanding of freshwater fish invasions [J]. *Fish and Fisheries*, 2010, 11(4): 315-340.
- [2] KARABANOV D P, KODUKHOVA Y V. Stone moroco *Pseudorasbora parva* (Cyprinidae): New species in the ichthyofauna of Vietnam[J]. *Journal of Ichthyology*, 2013, 53(3): 235-239.
- [3] 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
CHU X L, CHEN Y R. The fishes of Yunnan, China (1) [M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [4] 张玉娟, 张乃明, 高阳俊. 云南省生物入侵现状分析[J]. *云南环境科学*, 2004, 23(1): 10-14.
ZHANG Y J, ZHANG N M, GAO Y J. Analysis of the present situation of biological invasion in Yunnan province [J]. *Yunnan Environmental Science*, 2004, 23(1): 10-14.
- [5] 陈宜瑜. 中国动物志: 硬骨鱼纲. 鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
CHEN Y Y. China fauna. Osteichthyes. Carp shape mesh (volume) [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [6] 王国华. 李仙江流域水文特性[J]. *山西建筑*, 2009, 35(30): 361-362.
WANG G H. The hydrographic characteristics of Lixian river drainage area [J]. *Shanxi Architecture*, 2009, 35(30): 361-362.
- [7] 杨剑, 潘晓赋, 陈小勇, 等. 李仙江鱼类资源的现状与保护对策[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(2): 54-60.
YANG J, PAN X F, CHEN X Y, et al. Status and conservation strategy of fish resources in Lixianjiang River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(2): 54-60.
- [8] 杨丽萍, 杨琴, 李奇生, 等. 李仙江鱼类的区系存在度分析[J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(2): 184-188.
YANG L P, YANG Q, LI Q S, et al. Analysis of the value of faunal presence of fish in the Lixian River [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39(2): 184-188.
- [9] 杨丽萍, 杨琴, 宁航, 等. 李仙江流域外来鱼种调查及风险分析[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(13): 177-179.
YANG L P, YANG Q, NING H, et al. Investigation and risk analysis of introduced fishes in Lixianjiang basin [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(13): 177-179.
- [10] PHILLIPS B L, SHINE R. Adapting to an invasive species: toxic cane toads induce morphological change in Australian snakes [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(49): 17150-17155.
- [11] 李光雷, 喻树迅, 范术丽, 等. 表观遗传学研究进展[J]. *生物技术通报*, 2011, 31(1): 40-49.
LI G L, YU S X, FAN S L, et al. Advances of research on epigenetics [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2011, 31(1): 40-49.
- [12] KOTUSZ J, WITKOWSKI A. Morphometrics of *Pseudorasbora parva* (Schlegel, 1842) (Cyprinidae: Gobioninae), a species introduced into the Polish waters [J]. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 1998, 28(2): 3-14.
- [13] ZÁHORSKÁ E, KOVÁČ V, FALKA I, et al. Morphological variability of the Asiatic cyprinid, topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva*, in its introduced European range [J]. *Journal of Fish Biology*, 2009, 74(1): 167-185.
- [14] 曾燊. 入侵种麦穗鱼的形态特征分析[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(2): 115-120.
ZENG Y. Morphometrics analysis of the invasive *Pseudorasbora parva* from different habitats [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(2): 115-120.
- [15] 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(2): 202-220.
- [16] 闵锐, 叶莲, 陈小勇, 等. 滇池金线鲃形态度量学分析 (Cypriniformes: Cyprinidae) [J]. *动物学研究*, 2009, 30

- (6): 707-712.
MIN R, YE L, CHEN X Y, et al. Morphometrics analysis of *Sinocyclocheilus grahami* (Cypriniformes: Cyprinidae) [J]. Zoological Research, 2009, 30(6): 707-712.
- [17] 任志娟. SPSS 中判别分析方法的正确使用[J]. 统计与决策, 2006, (3): 157.
REN Z J. Proper use of discriminant analysis in SPSS[J]. Statistics and Decision, 2006, (3): 157.
- [18] MAYRE, LINSLEY E G, USINGER R L. Methods and principles of systematic zoology [M]. New York: McGraw-Hill, 1953.
- [19] 刘彩霞, 彭作刚, 何舜平. 长臀鲩属鱼类多变量形态分析及物种有效性研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 507-512.
LIU C X, PENG Z G, HE S P. Studies on species classification for genus *Cranoglanis* peters with the method of morphometrics [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(5): 507-512.
- [20] 杨琴, 周伟, 舒树森. 云南盘鮠不同地理居群的形态变异及分化[J]. 动物分类学报, 2011, 36(1): 117-124.
YANG Q, ZHOU W, SHU S S. Morphological variations and differentiation of *Discogobio yunnanensis* from different population [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2011, 36(1): 117-124.
- [21] 姚景龙, 严云志, 高勇, 等. 扁头鲃地理种群形态变异的研究兼论大鳍鲃的物种有效性 [J]. 动物分类学报, 2007, 32(4): 814-821.
YAO J L, YAN Y Z, GAO Y, et al. Study on morphological variations of *Pareuchiloglanis kamengensis* and species validity of *P. Macropterus* in Southwestern of China [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2007, 32(4): 814-821.
- [22] 徐衡, 胡永来, 徐义平, 等. 浙江彩虹明樱蛤群体的形态和遗传多样性分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(4): 508-514.
XU H, HU R L, XU Y P, et al. The analysis of genetic diversity and morphology of *Moerella iridescens* in Zhejiang Province [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(4): 508-514.
- [23] 梁超, 杨爱国, 刘志鸿, 等. 4 个地理群体魁蚶 (*Scapharca broughtonii*) 的形态差异与判别分析 [J]. 海洋科学, 2011, 35(11): 108-113.
LIANG C, YANG A G, LIU Z H, et al. Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Scapharca broughtonii* Schrenck [J]. Marine Sciences, 2011, 35(11): 108-113.
- [24] 李秀启, 安丽, 王亚楠, 等. 南水北调东线南四湖湖鲚种群的形态判别与地理亲缘关系 [J]. 水生态学杂志, 2015, 36(2): 81-87.
LI X Q, AN L, WANG Y N, et al. Morphological discriminant analysis and phylogeography of *Coilia ectenes* in Nansi lake on the Eastern Route of the South-to-North Water Transfer Project [J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(2): 81-87.
- [25] 马爱军, 王新安, 孙志宾, 等. 红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 三个不同群体的形态差异分析 [J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 166-172.
MA A J, WANG X A, SUN Z B, et al. Morphological variations among three different populations of *Takifugu rubripes* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 166-172.
- [26] 代应贵, 岳晓炯, 尹邦一. 濒危鱼类稀有白甲鱼沅江种群与西江种群形态度量学性状的差异性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 641-647.
DAI Y G, YUE X J, YIN B Y. Morphometrics differences between the populations of endangered species *Onychostoma rara* from Yuanjiang River and Xijiang River systems, Southwest China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 641-647.
- [27] 廖锐, 区又君, 勾效伟, 等. 黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼的形态差异和判别分析 [J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(4): 305-310.
LIAO R, OU Y J, GOU X W, et al. Morphological variations and discrimination of four fish species Chinese bahaba *Bahaba flavolabiata*, large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*, Ting' wak *Wak tingi* and spinyhead croaker *Collichthys lucidus* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(4): 305-310.
- [28] KOVÁČ V, SIRYOVÁ S. Ontogenetic variability in external morphology of bighead goby *Neogobius kessleri* from the Middle Danube, Slovakia [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2005, 21(4): 312-315.
- [29] 杨继. 植物种内形态变异的机制及其研究方法 [J]. 武汉植物学研究, 1991, 9(2): 185-195.
YANG J. Intraspecific variation in plant and the exploring methods [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1991, 9(2): 185-195.
- [30] 马洪雨, 郭金峰, 岳永生, 等. 东平湖麦穗鱼群体遗传结构的微卫星标记分析 [J]. 生命科学研究, 2006, 10(1): 67-70.
MA H Y, GUO J F, YUE Y S, et al. Genetic variation of *Pseudorasbora parva* in Dongping Lake Using microsatellites [J]. Life Science Research, 2006, 10(1): 67-70.

Morphological differentiation of *Pseudorasbora parva* among different geographical populations from Lixianjiang

HU Junyi^{1,2}, YANG Liping^{1,2}, ZHENG Wenjia^{1,2}, LIU Huifen^{1,2}, DONG Dandan^{1,2}, ZHU Ya'nan^{1,2}, LIU Ranran^{1,2}, NIE Guoxing^{1,2}

(1. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, Henan, China; 2. Engineering Technology Research Center of Henan Province for Aquatic Animal Cultivation, Henan Normal University, Xinxiang 453007, Henan, China)

Abstract: In this study, 11 normal characters and 16 frame traits had been measured in 89 *Pseudorasbora parva* among different geographical populations (Zhenyuan, Mojiang and Jiangcheng) from Lixianjiang, Red River drainage. These data were analyzed by three different methods, the principal component analysis (PCA), the discriminant analysis and the coefficient of difference analysis to compare the morphological differences among the three geographical populations of *P. parva*. The results showed that Zhenyuan population was independent from the other populations. In PCA analysis, the contribution rates of PC1, PC2 and PC3 were 55.094%, 8.397%, and 6.988% respectively, and cumulatively to 70.469%. Furthermore, largely independent samples in Zhenyuan were separated in the scatter plot results by the PC1 and PC2. Also in the discriminant analysis, the discriminant rate based on 7 characters variable ($P < 0.01$) reached 100% in Zhenyuan populations, while 96.7% both in Mojiang and Jiangcheng populations. Then, the same 7 traits with body length ratio were used for coefficient of difference analysis, and it was found that both with 3 characters with the more difference coefficient than 1.28 between Jiangcheng and Zhenyuan, Mojiang and Zhenyuan populations. It is speculated that there are morphological variations in Zhenyuan *P. parva*. Except the real source of the *P. parva*, environmental factors, genetic factors may also play a significant role in morphological variation. Therefore, it is necessary to study it by means of molecular biology in future.

Key words: Lixianjiang; *Pseudorasbora parva*; morphometric variation; principal component analysis; discriminant analysis