

入侵种麦穗鱼的形态特征分析

曾 燊

(西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 西华师范大学生命科学学院, 四川 南充 637009)

摘要:研究不同生境条件下入侵种的形态差异是了解生物入侵的重要手段。运用多变量形态度量学和框架结构形态学方法,测量了采自四川南充、石棉、茂县和西昌共4个不同栖息地的94尾麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)标本,在双筒解剖镜下检视,采用电子数显游标卡尺测量了侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞以及背鳍、胸鳍、腹鳍、臀鳍的分枝鳍条共7个可数性状。应用多变量形态度量学方法,选择18个框架结构性状和16个常规性状进行主成分分析。结果表明,3个主成分的累计贡献率达到76.59%,4个不同地点的标本聚在一起没有分开,表明入侵种麦穗鱼各居群间的形态没有显著差异。结合文献资料分析了麦穗鱼入侵的原因,指出了在进行经济鱼类引种过程中,应针对麦穗鱼制定有效地管理措施,实行早期的监测和预警系统,防止麦穗鱼的卵、苗种和幼鱼等人为入侵;已发现的麦穗鱼应该及时处理,避免其在引入地进一步扩散;对于已经在引入地建立了自然种群的麦穗鱼,应根据生物学原理(如生理、生态因子的耐受性、食性、繁殖特性、寄生虫感染等)进行综合治理,使其对土著鱼类的危害处在可控范围之内。

关键词:麦穗鱼;生物入侵;多变量形态度量学

中图分类号:X176 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)02-0115-06

形态特征是生物与环境长期相互作用的结果。鱼类对特定环境条件的适应,必然会在其生活习性、形态结构和生理机能等方面发生适应性变化;其中,形态学特征的变化较之于生理机能和生活习性的变化更为具体,易于比较观察,是探讨生物与环境间相适应的重要依据(曹文宣等,1981)。在环境中,与形态特征密切相关的因子主要有温度、食物质量和可得性、种间竞争、种内竞争等(Berven & Gill, 1983; Angilletta & Dunham, 2003)。这些因子对形态特征的影响过程又因生境的不同而呈现出多样化特性;因此,比较不同生境条件下生物体的形态差异一直是现代生物学的热点之一(Schmidt-Nielsen, 1984; Chown & Klok, 2003)。

传统的鱼类形态特征主要是依据 Hubbs & Lagler (1964)所描述的形态测量距离去度量鱼体的外部形态,但这种方法所用的可量性状都是二维均匀分布,且多集中在头部和尾柄部,不能准确、全面地描述鱼类的形态;而多变量形态度量学(multivariate morphometrics)方法选取一定数量的同源坐标点(landmarks),采用框架结构(truss network),从多维

空间去度量鱼体外部形态,其反应的形态差异更为全面和可靠。采用多变量形态度量学方法对鱼体框架结构的测量数据进行分析,在鱼类地理群体间的形态差异、生态变异、两性异形和物种分类等方面应用广泛(Somers, 1986; Meyer, 1990; Voss et al, 1990; 杨军山和陈毅峰, 2004)。

麦穗鱼(*Pseudorasbora parva* Temminck & Schlegel, 1846)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鲃亚科(Gobioninae)、麦穗鱼属(*Pseudorasbora*),是一种小型鱼类,广泛分布于东亚各种淡水水域中;其食性广、世代周期短、性成熟早、繁殖力强,对不同栖息环境有着较强的适应性,在不到50年的时间内,几乎入侵到欧亚地区的所有国家(Gozlan et al, 2002)。麦穗鱼的入侵给当地鱼类生态带来了巨大影响,甚至威胁到一些土著种的生存,如云南的滇池、洱海和抚仙湖就有多种土著鱼类因麦穗鱼等入侵种而日趋减少或濒临灭绝(Yan & Chen, 2009)。目前,有关麦穗鱼的研究主要集中在生物学、两性异形、种群动态和毒性试验等方面,而有关其地理群体间形态差异的研究较为匮乏(陈叙龙等, 1994; Adamek & Siddiqui, 1997; Rosecchi et al, 2001; 杨瑞斌等, 2004; Pollux & Korosi, 2006)。本文拟通过多变量形态度量学来分析麦穗鱼地理群体间是否存在形态上的差异,探讨其入侵与土著种保护之间的关系。

收稿日期:2011-11-17

基金项目:校科研启动基金支持(10B028)。

作者简介:曾燊,1981年生,男,理学博士,主要从事鱼类生态学和形态学研究。E-mail: biologyfe@gmail.com

1 材料与方法

1.1 样本来源

2010年7-8月,通过小型撒网分别在四川的南充、石棉、茂县和西昌(图1)采集到94尾成熟的麦穗鱼个体(表1),用福尔马林液浸泡固定后保存于西华师范大学生命科学学院标本室,待用于其形态学分析。

表1 麦穗鱼标本的采集地和检视量

Tab.1 Specimen numbers and sampling locations of *P. parva*

采集地	标本数/个
南充 Nanchong	28
石棉 Shimianxian	39
茂县 Miaoxian	16
西昌 Xichang	11

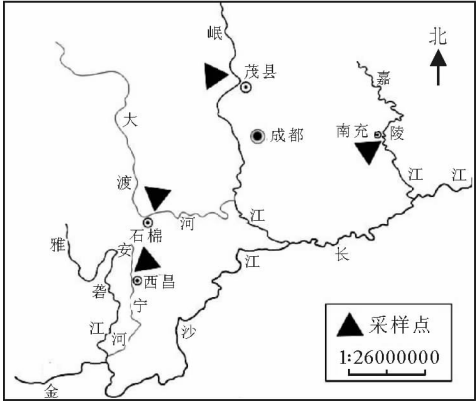


图1 麦穗鱼标本采集地的分布示意

Fig.1 The sampling sites of *P. parva* in this study

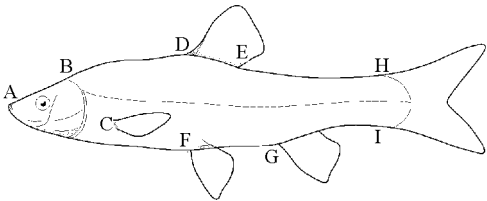
1.2 多变量形态度量学

运用多变量形态度量学研究的方法,选用了9个解剖学坐标点(landmarks of anatomy)(图2),共测量了18个框架结构性状(frame character)和16个常规性状(general character),共计34个性状。麦穗鱼标本在双筒解剖镜下检视,采用电子数显游标卡尺(electronic digital caliper)测量了侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞以及背鳍、胸鳍、腹鳍、臀鳍的分枝鳍条共7个可数性状,精确到0.1 mm。

1.3 数据分析

可数性状标准化后直接进行主成分分析。可量性状的测量值经对数转换($\log_{10}$)以消除异速生长及体型差异对分析结果的影响(谢仲桂等,2003;闵锐等,2009)。主成分分析(principal component analysis, PCA)在SPSS 13.0 for Windows (SPSS Inc.)上完成,使用因子分析(factor analysis)中默认设置

对数据进行标准化,选择相关矩阵(correlation matrix)协助因子分析。



A:吻端;B:头骨后末端;C:胸鳍起点;D:背鳍起点;E:背鳍基部末端;F:腹鳍起点;G:臀鳍起点;H:尾鳍背部起点;I:尾鳍腹部起点。

图2 麦穗鱼的框架性状

A: snout tip; B: posterior point of neurocranium; C: origin of pectoral fin; D: origin of dorsal fin; E: posterior end of dorsal-fin base; F: origin of pelvic fin; G: origin of anal fin; H: dorsal origin of caudal fin; I: ventral origin of caudal fin.

Fig.2 Frame character for *P. parva*

2 结果

2.1 可数性状

在所检测的标本中,7个可数性状中只有2个性状(胸鳍分支鳍条数和侧线鳞数)存在变异;其中,石棉、茂县地理群体胸鳍分支鳍条数和侧线鳞数目比南充、西昌地理群体多(表2),但方差分析表明,4个地理群体中,这2个变异性状的差异并不显著性($F_{\text{胸鳍分支}}=0.398, F_{\text{侧线鳞}}=0.343; P>0.05$);由此可见,麦穗鱼4个地理群体(南充、石棉、茂县、西昌)间可数性状未见显著性差异。

2.2 可量性状

对麦穗鱼检视标本形态性状及其主成分因子负荷分析表明,前3个主成分的累计贡献率达到76.59%(>75%),主成分因子分析详见表3。但由于PC1的因子载荷全部为正值,说明标本个体间大小差异显著,但相互区分不明显。其他的主成分反映形态上的差异。从表3可以看出,在PC2中具有较大因子载荷的性状是体长、尾柄长、胸鳍长和吻长;在PC3中具有较大因子载荷的性状是吻长、体长、头长、眼径、吻端至头骨后末端长度及头骨后末端至胸鳍起点长度。

分别以PC1、PC2、PC3为X-Y轴,以不同采集地的标本为类别,利用因子得分数据进行了二维相关分析,得到如图3~图5所示的主成分分析结果散点图。综合3个散点图可知,4个地理群体的麦穗鱼(南充、石棉、茂县、西昌)的个体分布相互混杂在一起,从PC1轴、PC2轴或PC3轴,均无法将它们区分开。

表 2 不同地区麦穗鱼可数性状的差异

Tab.2 The differences in meristic characters of *P. parva* among different habitats

性 状	南充(<i>n</i> = 28)	石棉(<i>n</i> = 39)	茂县 (<i>n</i> = 16)	西昌(<i>n</i> = 11)
侧线上鳞数目 AL	5	5	5	5
	34 (<i>n</i> = 4)	34 (<i>n</i> = 4)	34 (<i>n</i> = 1)	34 (<i>n</i> = 3)
侧线鳞数目 LS	35 (<i>n</i> = 5)	35 (<i>n</i> = 10)	35 (<i>n</i> = 3)	35 (<i>n</i> = 4)
	36 (<i>n</i> = 19)	36 (<i>n</i> = 25)	36 (<i>n</i> = 12)	36 (<i>n</i> = 4)
侧线下鳞数目 BLS	4	4	4	4
背鳍分枝鳍条数 D	III - 7	III - 7	III - 7	III - 7
	I - 12 (<i>n</i> = 5)	I - 12 (<i>n</i> = 7)	I - 12 (<i>n</i> = 2)	I - 12 (<i>n</i> = 4)
臀鳍分枝鳍条数 A	I - 13 (<i>n</i> = 13)	I - 13 (<i>n</i> = 20)	I - 13 (<i>n</i> = 9)	I - 13 (<i>n</i> = 6)
	I - 14 (<i>n</i> = 10)	I - 14 (<i>n</i> = 12)	I - 14 (<i>n</i> = 5)	I - 14 (<i>n</i> = 1)
胸鳍分枝鳍条数 P	I - 7	I - 7	I - 7	I - 7
腹鳍分枝鳍条数 V	III - 6	III - 6	III - 6	III - 6

表 3 麦穗鱼检视标本形态性状及其主成分因子负荷

Tab.3 Morphometric characteristics and principle components extracted from examined materials of *P. parva*

性状	编号	PC1	PC2	PC3	性状	编号	PC1	PC2	PC3
体长	SL	0.225	0.812	0.483	头骨后末端至背鳍起点	B - D	0.873	-0.073	0.071
体高	BD	0.870	0.002	0.075	头骨后末端至腹鳍起点	B - F	0.943	-0.049	0.036
头长	HL	0.649	-0.002	-0.138	胸鳍起点至背鳍起点	C - D	0.930	-0.041	0.042
头高	HD	0.956	0.037	-0.050	胸鳍起点至腹鳍起点	C - F	0.869	-0.063	0.079
吻长	LS	0.293	-0.491	0.739	背鳍起点至腹鳍起点	D - F	0.949	-0.060	0.092
眼径	ED	0.757	-0.082	-0.149	背鳍起点至背鳍基部末端	D - E	0.843	0.081	-0.053
尾柄长	CPL	0.563	0.127	0.019	背鳍起点至臀鳍起点	D - G	0.940	-0.033	0.045
尾柄高	CPD	0.969	-0.011	-0.005	背鳍基部末端至腹鳍起点	E - F	0.948	-0.016	0.081
背鳍长	DF	0.861	0.032	-0.019	腹鳍起点至臀鳍起点	F - G	0.892	-0.083	0.066
背鳍基长	Dbl	0.843	0.081	-0.053	背鳍基部末端至臀鳍起点	E - G	0.846	-0.091	0.056
胸鳍长	PF	0.676	0.103	-0.009	背鳍基部末端至尾鳍背部起点	E - H	0.937	-0.016	-0.004
腹鳍长	VF	0.945	0.028	-0.052	背鳍基部末端至尾鳍腹部起点	E - I	0.959	-0.024	-0.018
臀鳍	AF	0.915	0.048	-0.036	臀鳍起点至尾鳍背部起点	G - H	0.955	0.013	0.005
臀鳍基长	AbL	0.876	0.099	-0.002	臀鳍起点至尾鳍腹部起点	G - I	0.933	0.022	0.014
眼间距	IW	0.892	0.006	-0.099	尾鳍背部起点至尾鳍腹部起点	H - I	0.952	0.008	-0.017
吻端至头骨后末端	A - B	0.895	-0.022	-0.152	体重	W	0.761	0.033	-0.033
吻端至胸鳍起点	A - C	0.942	-0.033	-0.082	贡献率/%		48.24	21.56	6.79
头骨后末端至胸鳍起点	B - C	0.751	0.009	-0.161	累计贡献率/%		48.24	69.80	76.59

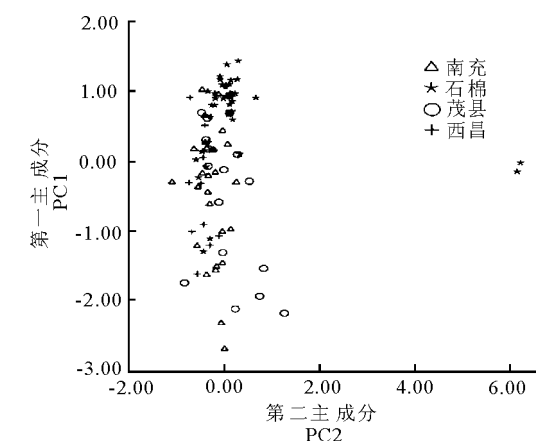


图 3 麦穗鱼第一与第二主成分散点分布
Fig.3 Scattered-plots of scores on PC1 and PC2 of *P. parva*

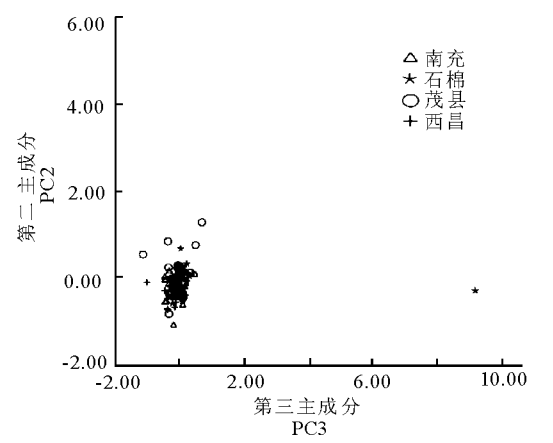


图 4 麦穗鱼第二与第三主成分散点分布
Fig.4 Scattered-plots of scores on PC2 and PC3 of *P. parva*

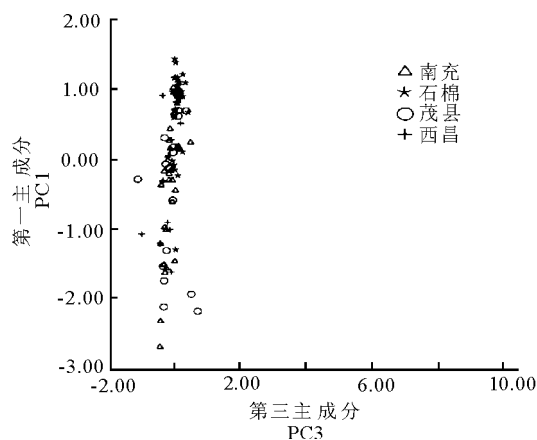


图5 麦穗鱼第一与第三主成分散点分布

Fig.5 Scattered-plots of scores on PC1 and PC3 of *P. parva*

3 讨论

3.1 麦穗鱼地理群体间的形态差异

生物入侵已经成为一个世界性的环境问题(Sakai et al, 2000);一个物种能够成功成为入侵种往往与其本身的生物学特征密切相关。在欧洲,许多入侵种呈现出形态差异(Robert & Alcorn, 1945; Peterson & Fausch, 2003)。因此,比较入侵种地理种群间的生物学差异就成为理解生物入侵的一个重要手段(Tomecek et al, 2007)。

本文采用多变量形态度量学方法研究了南充、石棉、茂县和西昌4个地理麦穗鱼群体的形态,虽然发现可数性状(胸鳍分支鳍条数和侧线鳞数)和可量性状(体长、尾柄长、胸鳍长、吻长、头长、眼径、吻端至头骨后末端长度及头骨后末端至胸鳍起点长度)上存在一定的变异,但这些差异并不显著,无法对麦穗鱼不同居群进行有效地区分;表明麦穗鱼之所以能够成功地在新环境中建立种群并出现入侵式扩散,主要与其广泛的食性(Adamek & Siddiqui, 1997; 杨瑞斌等, 2004)、较高的繁殖力(Rosecchi et al, 2001)和强大的生理耐受性(陈叙龙等, 1994; Pollux & Korosi, 2006)等密切相关;此外,有关麦穗鱼两性形态间的差异也有一些报道。Libosvárský等(1990)比较发现,雌性麦穗鱼要比雄性的体型小,其原因可能是与麦穗鱼在繁殖时的守巢行为相关。在繁殖季节,雌性更喜欢选择个体较大的雄性来交配(Katano & Mackawa, 1997)。因此,两性间的形态差异与麦穗鱼是否成功入侵并无直接联系。

3.2 麦穗鱼入侵与土著种的保护

随着20世纪中后期经济鱼类的引种,麦穗鱼从

其原有的分布地——长江中下游已经扩散到世界各地,并成功地建立了自然群体,给引入地带来了极大的生态威胁。Declerck等(2002)发现,比利时某保护区中麦穗鱼与2种土著鱼类——欧洲鮡(*Gobio gobio*)和拟鲤(*Rutilus rutilus*)在食物组成上存在明显的重叠,使土著种的种群数量急剧减少,甚至消失。在我国云南滇池、洱海和抚仙湖等湖泊,鱼类多样性和土著种资源量的日益降低就与麦穗鱼的入侵有关;麦穗鱼不仅消耗了大量的饵料食物,同时还吞食鱼卵,直接损害土著鱼类种群的繁衍(陈银瑞, 1998; Xie et al, 2000);另外,麦穗鱼还是许多病原微生物的中间寄主,如麝猫后睾吸虫(*Opisthorchis viverrini*) (Sithithaworn & Haswell-Elkins, 2003)和扁形弯口吸虫(*Clinostomum complanatum*) (Aohagi et al, 1992);在韩国,麦穗鱼甚至被视为中华肝吸虫(*Clonorchis sinensis*)是否存在的指示种(Kim et al, 2008)。因此,在进行经济鱼类引种过程中,应该针对麦穗鱼来制定有效地管理措施,如实行早期的监测和预警系统,防止麦穗鱼的卵、苗种和幼鱼等人为侵入;已发现的麦穗鱼应该及时的处理,避免其在引入地进一步扩散;对于已经在引入地建立了自然种群的麦穗鱼,应该根据生物学(如生理、生态因子的耐受性、食性、繁殖特性、寄生虫感染等)进行综合治理,使其对土著鱼类的危害处在可控范围之内。

参考文献

- 曹文宣, 陈宜瑜, 武云飞, 等. 1981. 裂腹鱼类的起源和演化及其与青藏高原隆起的关系[M]. 北京: 科学出版社: 118-130.
- 陈叙龙, 张富国, 张文成, 等. 1994. 亚硒酸钠对麦穗鱼的遗传毒性效应研究[J]. 南开大学学报: 自然科学版, (3): 87-90.
- 陈银瑞, 杨君兴, 李再云. 1998. 云南鱼类多样性和面临的危机[J]. 生物多样性, 6(4): 272-277.
- 闵锐, 叶莲, 陈小勇, 等. 2009. 滇池金线鲃形态度量学分析[J]. 动物学研究, 30(6): 707-712.
- 谢仲桂, 谢从新, 张鄂. 2003. 我国华属鱼类形态差异及其物种有效性的研究[J]. 动物学研究, 24(5): 321-330.
- 杨军山, 陈毅峰. 2004. 副沙鳅属的多变量形态分析[J]. 动物分类学报, 29(1): 10-16.
- 杨瑞斌, 边书京, 周洁, 等. 2004. 梁子湖麦穗鱼食性的研究[J]. 华中农业大学学报, 23(2): 331-334.
- Adamek Z, Siddiqui M A. 1997. Reproduction parameters in a natural population of topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva*, and its consequences and food characteristics with re-

- spect to sex dissimilarities[J]. Polish Archives of Hydrobiology, 44: 145 – 152.
- Angilletta J, Dunham A E. 2003. The temperature – size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general [J]. American Naturalist, 162(3): 332 – 342.
- Aohagi Y, Shibahara T, Machida N, et al. 1992. Clinostomum Complanatum (Trematoda, Clinostomatidae) in 5 new fish hosts in Japan[J]. Journal of Wildlife Diseases, 28: 467 – 469.
- Berven K A, Gill D E. 1983. Interpreting geographic variation in life-history traits[J]. Integrative and Comparative Biology, 23(1): 85 – 97.
- Chown S L, Klok C J. 2003. Altitudinal body size clines: latitudinal effects associated with changing seasonality [J]. Ecography, 26(4): 445 – 455.
- Declerck S, Louette G, Bie T D, et al. 2002. Patterns of diet overlap between populations of non-indigenous and native fishes in shallow ponds[J]. Journal of Fish Biology, 61(5): 1182 – 1197.
- Gozlan R E, Pinder A C, Shelley J. 2002. Occurrence of the Asiatic cyprinid *Pseudorasbora parva* in England[J]. Journal of Fish Biology, 61: 298 – 300.
- Hubbs C L, Lagler K F (ed). 1964. Fishes of the Great Lakes region[M]. Ann Arbor: University of Michigan.
- Katano O, Mackawa K. 1997. Reproductive regulation in the female Japanese minnow, *Pseudorasbora parva* (Cyprinidae) [J]. Environmental Biology of Fishes, 49: 197 – 205.
- Kim E M, Kim J L, Choi S Y, et al. 2008. Infection status of freshwater fish with Metacercariae of *Clonorchis sinensis* in Korea[J]. Korean Journal of Parasitology, 46(4): 247 – 251.
- Libosvřský J, Baruš V, Štěrba O. 1990. Facultative parasitism of *Pseudorasbora parva* (Pisces) [J]. Folia Zoologica, 39(4): 355 – 360.
- Meyer A. 1990. Morphometrics and allometry in the trophically polymorphic cichlid fish, *Cichlasoma citrinellum*: Alternative adaptations and ontogenetic changes in shape [J]. Journal of Zoology, 221(2): 237 – 260.
- Peterson D P, Fausch K D. 2003. Testing population-level mechanisms of invasion by a mobile vertebrate: a conceptual framework for salmonids in streams [J]. Biological Invasions, 5: 239 – 259.
- Pollux B J A, Korosi A. 2006. On the occurrence of the Asiatic cyprinid *Pseudorasbora parva* in the Netherlands [J]. Journal of Fish Biology, 69(5): 1575 – 1580.
- Robert R M, Alcorn J R. 1945. The Introduced Fishes of Nevada, with a History of their Introduction[J]. Transactions of The American Fisheries Society, 73(1): 173 – 193.
- Rosecchi E, Thomas F, Crivelli A J. 2001. Can life – history traits predict the fate of introduced species? A case study on two cyprinid fish in southern France[J]. Freshwater Biology, 46(6): 845 – 853.
- Sakai A K, Allendorf F W, Holt J S, et al. 2000. The population biology of invasive species[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 32(1): 305 – 332.
- Schmidt-Nielsen K (ed). 1984. Scaling: why is body size so important? [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sithithaworn P, Haswell – Elkins M. 2003. Epidemiology of *Opisthorchis viverrini*[J]. Acta Tropica, 88(3): 187 – 194.
- Somers K M. 1986. Multivariate allometry and removal of size with principal components analysis [J]. Systematic Zoology, 35(3): 359 – 368.
- Tomecek J, Kováč V, Katina S (ed). 2007. Biological flexibility of pumpkinseed, a successful coloniser throughout Europe [M]. Dordrecht: Springer; 307 – 336.
- Voss R S, Marcus L F, Escalante P P. 1990. Morphological evolution in muroid rodents I. Conservative patterns of cranio-metric covariance and their ontogenetic basis in the Neotropical genus *Zygodontomys*[J]. Evolution, 44(6): 1568 – 1587.
- Xie S, Cui Y, Zhang T, et al. 2000. Seasonal patterns in feeding ecology of three small fishes in the Biandantang Lake, China[J]. Journal of Fish Biology, 57(4): 867 – 880.
- Yan Y Z, Chen Y F. 2009. Variations in reproductive strategies between one invasive population and two native populations of *Pseudorasbora parva*[J]. Current Zoology, 55(1): 56 – 60.

(责任编辑 万月华)

Morphometrics Analysis of the Invasive *Pseudorasbora parva* from Different Habitats

ZENG Yu

(Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education,
College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637009, P. R. China)

Abstract: It is an important means to understand the ecology of biological invasions by studying the morphometric variations among different habitats. The *Pseudorasbora parva* is a small cyprinid species originating from Yangtze River and many countries and regions have been invaded by this species in less than 50 years. By the binocular microscope, we observed ninety-four specimens of *P. parva* from four different localities (Nanchong, Shimian, Maoxian and Xichang). All these 7 countable traits (such as lateral line scales, upper lateral-line scales, upper lateral-line scales, dorsal fin, pectoral fin, pelvic fin and anal fin) were measured by digital vernier caliper. Eighteen frames and sixteen general characteristics, thirty-four characteristics in sum were measured for multivariate morphometrics analysis. Based on the results of principal components analysis, specimens clustered together by scatter plots of scores could not be divided. This results indicated that there were no significant morphological differences among invasive *P. parva* from these four sites. Integrated with literature records, the threatening factors on the endemic fish diversity have been analyzed. In order to prevent the *P. parva* invasion, there are needs (i) to construct an early warning system with the aim of reducing the possibly of invasive *P. parva* accidental introduction; (ii) to eradicate the initial introduction prior to natural spread into open systems rapidly; (iii) to apply biological control methods monitoring the harmful influence of invasive species on the endemic fish, for example, parasites and pathogens infection, temperature limits, etc.

Key words: *Pseudorasbora parva*; biological invasion; multivariate morphometrics