

洱海鱼类群落的空间分布格局

费骥慧¹, 汪兴中², 邵晓阳^{1,2*}

(1. 杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036;

2. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据 2009 年 8—11 月对洱海鱼类调查获得的有关资料, 研究了洱海鱼类群落的空间分布格局, 旨在为洱海鱼类资源的保护和利用提供有价值的资料。研究结果表明: 洱海鱼类群落可分为 3 种群落类型, 分别为洱海西岸与南北端湖滨带群落类型(群落 I)、东岸与湖心区群落类型(群落 II)和上游小型湖泊群落类型(群落 III)。群落 I 的主要特征种为鲮(*Hemiculter leucisculus*)、鲫(*Carassius auratus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、黄魮(*Hypseleotris swinhonis*)、子陵栉鲌虎鱼(*Ctenogobius giurinus*), 对群落内平均相似性贡献率为 80.71%。群落 II 的主要特征种为鱮(*Aristichthys nobilis*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*), 对群落内平均相似性贡献率为 98.20%。群落 III 的主要特征种为鲫、麦穗鱼、长身鱮(*Acheilognathus elongatus*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、中华鲮(*Oryzias latipes sinensis*)、子陵栉鲌虎鱼等, 对群落内平均相似性贡献率为 94.94%。群落 I 和群落 III 在种类和数量组成上以小型鱼类为主, 群落 II 则以大中型鱼类为主, 鱼类群落在空间分布上的环境差异明显。

关键词: 鱼类群落; 鱼类多样性; 空间格局; 洱海

中图分类号: Q 152; S 917.4

文献标志码: A

空间是群落中物种间资源分离的一个重要资源轴^[1]。近年来, 随着基于系统保护理念的“新保护生物学”的兴起和发展, 针对不同尺度保护对象(如群落、生态系统等)的空间分析已经成为一种必不可少的研究手段^[2-3]。目前, 对于鱼类群落的时空格局分析已经成为海洋^[4]、江河^[5]以及湖泊^[6]鱼类多样性保护与渔业资源研究的重要内容之一。

洱海是云南省第二大高原湖泊, 是滇西重要的渔业基地。自上世纪 60 年代以来, 已有许多学者对洱海鱼类进行过研究, 主要在洱海鱼类资源调查与渔业利用^[7-9], 区系组成与类型分化^[10-11]、增养殖^[12]、多样性评价^[13-14]、环境影响^[15-16]等方

面, 取得了较多的研究成果, 如洱海原有鱼类区系组成贫乏, 特有种类多^[10-11]、人工引种带来大量外来鱼类后, 鱼类区系改造巨大, 土著鱼类逐渐消亡^[13-14]等观点, 已经被广大学者所接受。但由于持续放苗等原因, 近年来洱海鱼类区系的改变仍在加剧, 但针对洱海现有鱼类群落结构及其空间分布问题的系统性研究还相对较少。本文根据 2009 年对洱海鱼类资源调查所获得的有关资料, 应用多样性指数和多元分析的方法对洱海流域鱼类群落的空间分布格局进行了研究, 分析和探讨了洱海现有的鱼类群落结构组成、空间分布及其环境特征, 旨在为洱海鱼类资源的保护与利用提供参考资料。

收稿日期: 2012-02-28

修回日期: 2012-04-09

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07526-002-07)

通讯作者: 邵晓阳, E-mail:shaoxyhz@qq.com

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

洱海位于云南省西部大理白族自治州境内(25.36~25.58°N、100.05~100.17°E),海拔1972 m。该湖因地质断裂陷落而成,生态系统相对封闭,其平面形态呈南北向的耳状,湖面面积250 km²,南北长42 km,东西宽3~9 km,湖岸线长117 km,平均水深10.5 m,最大水深21.5 m,正常蓄水量28.8亿m³(水位1974 m,海防高程),历史最高水位1975.6 m,最低水位1970.5 m,常年水温10~20℃,水温垂直分布具有正温性的特点,属暖性湖泊。

1.2 调查方法

根据洱海地形、地貌特点,结合渔民居住地、交通状况等因素,在洱海湖区及附近设下河村、海东镇、文笔村、青山、莲花曲、双廊、红山、上关、海舌、金圭寺、下波湖、下鸡邑、才村、龙龕村、洱滨村、大关邑、西湖、茈碧湖、海西海等19个站点作为鱼类群落调查定点采样点。此外,另设下山口、海印村作为补充调查点(图1)。分别于2009年8月和11月进行了2次调查,每次调查为期1个月,期间每个站点采样3次。

样点的整体分布为:西湖、茈碧湖、海西海3个站点位于洱海上游。下河村、海东镇、文笔村、青山、莲花曲、双廊、红山7个站点自南向北依次分布于洱海东岸;上关、海舌、下波湖、下鸡邑、才村、龙龕村、洱滨村、大关邑8个站点自北向南依次分布于洱海西岸。其中,红山、上关2个站点处于洱海北端湖湾区;洱滨村、大关邑、下河村3个站点处于洱海南端湖湾区。金圭寺则位于洱海湖心区。通过实地调查,记录各站点水深、水深梯度变化、底质类型、水草丰富度等生态因子指标,具体如下(表1)。

各站点采用的网具主要为刺网和张网,其中刺网网目规格1.8~17 cm(三层刺网以网目最小层计),张网网目规格0.4 cm,下网时间下午5点左右,收网时间次日凌晨5点前后,间隔时间约12 h。每个站点随机采样,统计当次渔获量(记录渔获物中每一种类的重量和尾数,若渔获量较少,则全部收集;若渔获量较大,则随机抽样统计)。对于采集到的鱼种主要参照《云南鱼类志》^[17-18]进行鉴定分类。

1.3 分析方法

鱼类群落多样性测度主要采用Shannon-Wiener指数^[19]、Pielou均匀度指数^[19],相似性系数主要采

用Sorenson指数^[20]和Bray-Curtis相似性系数^[20],具体计算公式如下:

$$(1) \text{ Shannon-Wiener 指数: } S_w = -\sum_{i=1}^n p_i \lg p_i$$

式中, n 为群落的物种数目, p_i 为属于种 i 的个体占群落全部个体的比例。

$$(2) \text{ Pielou 均匀度指数: } J_{sw} = S_w / \lg n$$

式中, n 为群落的物种数目, S_w 即Shannon-Wiener指数。

$$(3) \text{ Sorenson 指数: } C_s = 2j / (a+b)$$

式中, j 为两个群落的共有物种数; a 和 b 分别为群落A和B中的总物种数。

$$(4) \text{ Bray-Curtis 相似性系数: } C_N = 2jN / (aN + bN)$$

式中, aN 和 bN 分别为群落A和B的生物量(数量或重量); jN 为群落A(jNa)和B(jNb)共有种中个体生物量(数量或重量)较小者之和,即 $jN = \sum \min(jNa + jNb)$ 。

鉴于一些少见种对群落多元分析影响较小,因此选取出现频率大于6%(即至少在2个调查点记录到)的物种作为分析对象,将各站点每一物种的渔获量数据换算成每小时的样本数量(用尾数表示,单位ind/h),构建“站点×鱼类尾数”列表。对各站点鱼类数量进行四次方根转换后计算各站点间的Bray-Curtis相似性系数(C_N),应用CLUSTER聚类分析和MDS多维尺度分析研究各站点鱼类群落结构特征。聚类分析在决定以何种相似性水平来分组时往往带有主观任意性,MDS多维标度能与之互补,并相互验证分析结果的正确性^[21]。检验MDS的拟合优度采用压力系数($stress$),通常认为, $stress < 0.2$ 时,其图形具有一定的解析意义; $stress \leq 0.1$ 时,具有较好的拟合度; $stress < 0.05$ 时,图形具有代表性^[4]。应用ANOSIM相似性分析^[21-22]检验不同群落组之间差异的显著性,并应用SIMPER相似性百分比^[21-22]分析各鱼类对群落组内相似性和组间相异性的平均贡献率,并将贡献率 $\geq 5\%$ 的鱼类定义为主要特征种类。以上数据处理采用PRIMER软件进行。

2 结果

2.1 种类组成

调查共记录到鱼类23种,隶属于5目,9科,21属。其中鲤科鱼类最多,总计14种,占鱼类总数的60.9%;鳅科、合鳃鱼科、塘鳢科、鳢科、青鲂科、胎鲂科、银鱼科鱼类各1种,各占4.3%;鰕虎鱼科

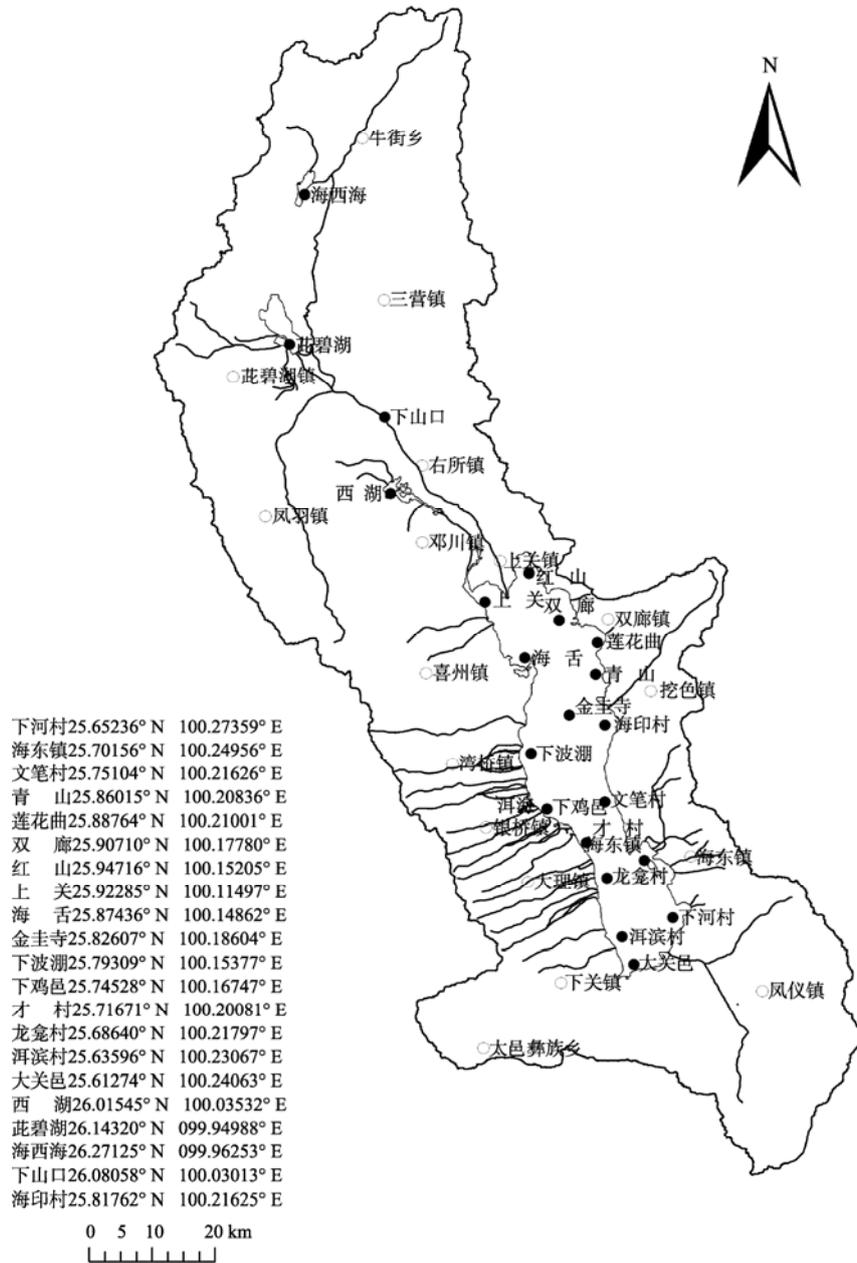


图 1 洱海鱼类调查点分布
 Fig.1 Distribution of fish survey stations in the Erhai Lake

鱼类 2 种, 占 8.7%。鲤科鱼类中, 鲮亚科种类最多, 有 3 种, 占鲤科鱼类数的 21.4%; 鲤亚科、雅罗鱼亚科、鲃亚科、鮡亚科和鲢亚科各 2 种, 各占 14.3%; 裂腹鱼亚科 1 种, 占 7.1%(表 2)。

2.2 各站点鱼类群落的划分

根据“站点×数量”列表计算 Bray-Curtis 相似性系数矩阵进行聚类分析结果与多维标度(MDS)分析基本相似。各站点鱼类组成可划分为 3 种群落类型, 分别定义为群落 I、群落 II 和群落 III。群落 I

包括 1、2、3、5、7、8、9、11、13、15、16 号站点, 主要位于洱海西岸及南北端湖滨浅滩区; 群落 II 包括 4、6、10、12、14 号站点, 主要位于洱海东岸中部以及湖心区; 群落 III 包括 17、18、19 号站点, 主要为洱海上游小型湖泊区。相似性分析 (ANOSIM)表明不同群落类型间鱼类组成差异极显著($R=0.838, P<0.01$); 不同群落类型两两之间鱼类组成差异显著 ($R_{C I/C II}=0.892, P<0.01$; $R_{C I/C III}=0.653, P<0.01$; $R_{C II/C III}=1, P<0.05$)。MDS 标

表 1 各站点环境因子指标
Tab. 1 Environment index of each survey station in the Erhai Lake

站点代码 no. of station	调查点 station	水深/m water deep	水深梯度变化 water depth gradient	底质 substrate	水草丰富度 aquatic plant richness
1	下河村 Xiahecun	1~12	小	泥沙	中
2	海东镇 Haidongzhen	1~15	小	泥沙	中
3	文笔村 Wenbicun	4~8	中	泥沙	中
4	青山 Qingshan	6.5	大	淤泥	中
5	莲花曲 Lianhuaqu	5	大	淤泥	高
6	双廊 Shuanglang	10	大	淤泥	低
7	红山 Hongshan	2~6	小	泥沙	中
8	上关 Shangguan	2~6	小	淤泥	高
9	海舌 Haishe	10	小	泥沙	高
10	金圭寺 Jinguisi	15~20	大	淤泥	低
11	下坡湖 Xiabopeng	3~6	小	泥沙	中
12	下鸡邑 Xiajiyi	12~13	中	泥沙	中
13	才村 Caicun	2~5	小	淤泥	高
14	龙龕 Longkan	6~10	中	淤泥	低
15	洱滨村 Erbincun	8	小	淤泥	中
16	大关邑 Daguanyi	2~6	小	淤泥	高
17	西湖 Xihu	1~8	小	淤泥	高
18	茈碧湖 Zibihu	2~8	中	淤泥	高
19	海西海 Haixihai	5~10	中	淤泥	高
20	下山口 Xiashankou	4	大	砾石	低
21	海印村 Haiyincun	6~12	大	泥沙	低

表 2 洱海渔获物种类组成与数量
Tab. 2 Species composition and number of fish sampled in the Erhai Lake

	鱼种 species	尾数 individual		
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	大理裂腹鱼 <i>Schizothorax tallensis</i>	4	
		鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	67	
		鲫 <i>Carassius auratus</i>	4 103	
		青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	2	
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	35	
		鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	132	
		鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	258	
		团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	32	
		麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	43 111	
		中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	4 073	
		高体鲮 <i>R. ocellatus</i>	1	
		长身鲮 <i>Acheilognathus elongatus</i>	13 951	
		棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	20 791	
		鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	4 729	
鳅形目 Cyprinodontiformes	鳅科 Cobitidae	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	952	
		青鳉科 Oryziidae	中华青鳉 <i>Oryzias latipes sinensis</i>	17
合鳃鱼目 Synbranchiformes	胎鳉科 Poeciliidae	食蚊鱼 <i>Gambusia affinis</i>	52	
		合鳃鱼科 Synbranchidae	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	4
鲈形目 Perciformes	鳢科 Channidae	乌鳢 <i>Channa argus</i>	22	
		塘鳢科 Eleotridae	黄魮 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	5 813
		鰕虎鱼科 Gobiidae	波氏栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius clifordpopei</i>	1 855
		子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	25 062	
鲑形目 Salmoniformes	银鱼科 Salangidae	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	14 988	
总计 total			140 054	

度结果可用二维图像表示, 其压力系数 $stress=0.1$, 是一个较好的排序。因此, 可以认为这样的群落划分是可行的(图 2 和图 3)。

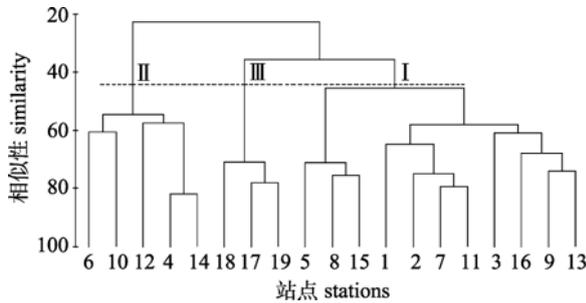


图 2 各站点鱼类群落聚类树状图

1~19 为站点代码。

Fig. 2 Cluster analysis of fish communities in 19 stations in the Erhai Lake

1 to 19 is the code of station.

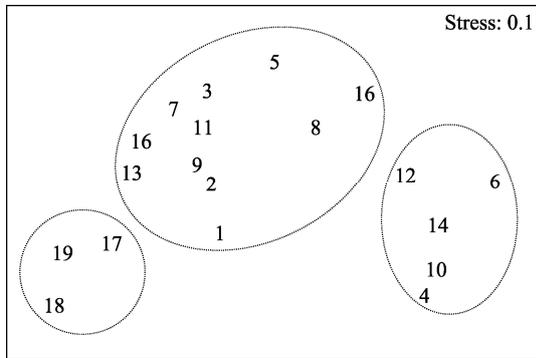


图 3 各站点鱼类群落 MDS 标序图

1~19 为站点代码。

Fig. 3 MDS of fish communities in 19 stations in the Erhai Lake

1 to 19 is the code of station.

2.3 各群落类型鱼类的多样性与相似性

通过 Sorenson 指数分析各群落类型间鱼类的相似性(表 3), 结果表明, 群落 II 与群落 III 之间的相似性最低($C_s=0.273$), 其次是群落 II 与群落 I 之间($C_s=0.462$)。Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数显示, 群落 II 的鱼类多样性指数最低($S_w=0.550$), 其均匀度指数则最高($J_{sw}=0.651$); 群落 I 和群落 III 的鱼类多样性指数则相对较高($S_w=0.658/0.741$)。生境的异质性和复杂性是影响鱼类群落结构与多样性的重要因素^[23]。群落 II 水体环境相对单一, 鱼类组成多样性低, 均匀度高; 相对而言, 群落 I 和群落 III 具有更为复杂的环境特点, 多浅滩、湖湾, 水草茂盛, 能为鱼类提供好的生存场地和更多的资源, 有利于鱼类的捕食、避难、繁殖等^[24], 多样性水平相对较高。

表 3 各群落类型鱼类多样性与相似性指数

Tab. 3 Fish species diversity index and similarity coefficient of communities in the Erhai Lake

Sorenson 指数 C_s	群落 I community I	群落 II community II	群落 III community III
群落 I community I	1.000	0.462	0.765
群落 II community II	0.462	1.000	0.273
群落 III community III	0.765	0.273	1.000
Shannon-Wiener 指数 S_w	0.658	0.550	0.741
Pielou 均匀度指数 J_{sw}	0.515	0.651	0.630

2.4 各群落类型的主要特征种

SIMPER 相似性百分比分析显示, 各群落类型内的平均相似性分别为 56.25%、60.87% 和 79.69%。表 4 列出了各群落类型内平均相似性贡献率大于 5% 的种类及其贡献率。群落 I 的主要特征种为鲮、鲫、麦穗鱼、黄魮、子陵栉鰕虎鱼、鲢等, 对群落内平均相似性贡献率为 80.71%, 在种类组成上以中小型鱼类为主。群落 II 的主要特征种为鳊、鲢、团头鲂、草鱼、鲤等, 对群落内平均相似性贡献率为 98.20%, 在种类组成上以大中型鱼类为主。群落 III 的主要特征种为麦穗鱼、长身鲮、子陵栉鰕虎鱼、鲫、黄魮、波氏栉鰕虎鱼、中华鲮、棒花鱼、泥鳅等, 对群落内平均相似性贡献率为 94.94%, 在种类组成上以小型鱼类为主。

群落 I 与群落 II、群落 III 之间的平均相异性分别为 76.80% 和 54.94%; 群落 II 与群落 III 之间的平均相异性为 91.62%。表 5 列出了各群落类型两两间平均相异性贡献率大于 5% 的种类及其贡献百分比。群落 I 与群落 II 之间的主要分歧种为鲮、鳊、麦穗鱼、鲢、鲫、团头鲂、黄魮、草鱼、子陵栉鰕虎鱼、鲤等, 对群落间平均相异性贡献率为 88.63%; 群落 I 与群落 III 之间的主要分歧种为鲮、长身鲮、棒花鱼、麦穗鱼、子陵栉鰕虎鱼、中华鲮、黄魮、泥鳅、波氏栉鰕虎鱼等, 对群落间平均相异性贡献率为 78.99%; 群落 II 与群落 III 之间的主要分歧种为麦穗鱼、鳊、鲢、长身鲮、子陵栉鰕虎鱼、黄魮等, 对群落间平均相异性贡献率为 85.82%。此外, 下山口是本次调查唯一采集到大理裂腹鱼的站点, 已被大理州洱海管理局列为保护区。

表 4 洱海各群落类型内主要特征种及其贡献率 (> 5%)

Tab. 4 Indicator species and their contribution rate (> 5%) within communities in the Erhai Lake

种类 species	贡献率/% contribution		
	群落 I community I	群落 II community II	群落 III community III
鲫 <i>C. auratus</i>	17.55	-	9.45
鲈 <i>H. leucisculus</i>	28.65	-	-
鲢 <i>H. molitrix</i>	6.19	34.16	-
鳊 <i>A. nobilis</i>	-	40.48	-
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	-	9.71	-
鲤 <i>C. carpio</i>	-	6.77	-
草鱼 <i>C. idella</i>	-	7.08	-
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	14.33	-	20.86
长身鱊 <i>A. elongatus</i>	-	-	15.31
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>	-	-	7.02
中华鲮 <i>R. sinensis</i>	-	-	8.05
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	-	-	5.94
黄魮 <i>H. swinhonis</i>	7.78	-	8.87
子陵栉鰕虎鱼 <i>C. clifordpopei</i>	6.21	-	10.9
波氏栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	-	-	8.54
合计 total	80.71	98.20	94.94

表 5 洱海各群落类型间主要分歧种及其贡献率 (> 5%)

Tab. 5 Discriminating species and their contribution rate (> 5%) between communities in the Erhai Lake

种类 species	贡献率/% contribution		
	群落 I 和 II community I & II	群落 I 和 III community I & III	群落 II 和 III community II & III
鲫 <i>C. auratus</i>	8.42	-	5.51
鲈 <i>H. leucisculus</i>	15.46	15.34	-
鲢 <i>H. molitrix</i>	10.01	-	9.53
鳊 <i>A. nobilis</i>	12.39	-	11.5
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	6.77	-	5.23
鲤 <i>C. carpio</i>	5.97	-	-
草鱼 <i>C. idella</i>	6.34	-	-
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	10.63	8.98	12.8
长身鱊 <i>A. elongatus</i>	-	12.28	8.99
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>	-	9.22	6.25
中华鲮 <i>R. ocellatus</i>	-	7.47	5.6
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	-	6.10	-
黄魮 <i>H. swinhonis</i>	6.59	6.31	6.96
子陵栉鰕虎鱼 <i>C. clifordpopei</i>	6.05	7.53	7.76
波氏栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	-	5.76	5.69
合计 total	88.63	78.99	85.82

3 讨论

3.1 洱海鱼类区系组成及其变化

上世纪 50 年代,洱海有鱼类 17 种^[10],其中大、中型鱼类占 70.6%,该时期保持着以土著鱼类为主要优势种的结构特点,种类组成相对稳定。60 年代以后,洱海开始人工放养草鱼、鲢、鳊等种类,并随之带入了麦穗鱼、鰕虎鱼、黄魮等小型低值品

鱼;80 年代中后期又引入了太湖新银鱼,鱼类区系结构变得复杂,大、中型鱼类比例由 60 年代的 67.9% 下降至 90 年代的 31.6%。引种带来的大量外来鱼类,使洱海的鱼类种数在 60 年代上升至 28 种。但随着种间竞争的加剧,加上生境破坏,洱海土著鱼类逐渐减少,使得洱海鱼类种数由 70 年代的 23 种下降至 90 年代的 19 种^[13-14],鱼类多样性出现危机。

本次研究共记录到洱海鱼类 23 种, 根据褚新洛等^[25]整理分类的洱海原产土著鱼种名录, 除黄鳊、鲫、泥鳅、大理裂腹鱼为土著种外, 其余 19 种均为外来种, 替换率达 76.47%。在留存的 4 种原产种中, 黄鳊、鲫、泥鳅属于广布、底层鱼类, 耐污、生存力强; 大理裂腹鱼属洱海地区珍稀鱼类, 国家二级保护动物。本次调查仅在弥苴河的下山口发电站处有发现, 据当地渔民反应, 大理裂腹鱼在洱海湖区现已极少捕获。与上世纪末记录的洱海鱼类情况^[14]相比较, 有两种土著种——侧纹云南鳅 (*Yunnanilus pleurotaenia*) 和拟鳗副鳅 (*Paracobitis anguillioides*) 未采集到, 但新记录到鲦、高体鳊、乌鳢、长身鳊、食蚊鱼等 5 种外来鱼类。其中, 食蚊鱼为典型的 *r*-生存者, 曾被列为世界 100 种恶性外来入侵生物之一^[26], 其种群的发展值得关注。

一个外来物种能否成功实现入侵常常与外来种自身的生物学特性以及入侵地的环境特征有关^[27], 并且在生物入侵的过程中, 能从一个阶段进入下一阶段, 并最终完成所有转移形成入侵的概率是很低的^[28]。但就目前来看, 洱海的鱼类区系改造巨大, 并且这种区系改变的趋势正在往不利的方向发展, 即小型低值品鱼类入侵加剧, 对洱海的鱼类多样性威胁。究其原因, 主要有三个方面: 一是入侵洱海的鳊虎鱼、麦穗鱼等种类普遍具有生态幅宽、繁殖力大、竞争力强的特点, 这样的种类往往具有较强的入侵能力^[29], 易于形成入侵; 二是洱海湖区生态系统相对封闭, 原有鱼类种类区系组成贫乏, 多样性水平低^[10,14], 这样的环境易被入侵^[29-30], 三是引种过程中疏于管理, 在无意识的情况下反复“引入”野、杂鱼类, 并且忽视引种后的管理, 这种高频率的人为干扰进一步加剧了入侵^[30-31]。

3.2 洱海鱼类群落空间分布及其环境特征

研究显示, 洱海鱼类群落在空间分布上可以较为明显地划分为三个群落类型。处于同一群落类型内的各站点具有较为相似的生境, 不同的群落类型间则体现出明显的生境差异。群落 I 的各站点普遍位于湖湾区或湖滨浅滩区, 分布水域水深 1~13 m, 水深梯度变化平缓, 底质以淤泥为主, 入湖溪流多, 水草丰富, 以茭草 (*Zizania caduciflora*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、水筛 (*Blyxa japonica*)、穗状狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、微齿眼子菜 (*Potamogeton*

maackianus)、菹草 (*Potamogeton crispus*)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 等种类为主。群落 II 的各站点主要位于湖区中部, 分布水域水深 6~20 m, 水深梯度变化大, 底质以泥沙或砾石为主, 水草丰富度较低, 仅分布有少量水筛、金鱼藻、穗状狐尾藻种类。就水体的物理化学指标来看, 南、北两端湖区的平均水温、氨氮以及高锰酸盐指数要率高于湖体中部^[32]。群落 III 的各站点位于洱海上游, 为 3 个相对独立的小型湖泊, 浅滩广布, 捕捞水域水深 1~10 m, 底质以淤泥为主, 水草丰富, 主要有芦苇 (*Phragmites australis*)、野菱 (*Trapa incisa*)、穗状狐尾藻、菹齿眼子菜 (*Potamogeton pectinatus*)、水筛、金鱼藻、菹草等种类。洱海不同湖区的环境差异, 在一定程度上决定了鱼类的空间分布——湖体中部较为适合个体较大、营敞水区生活的鱼类, 如鳊、鲢、草鱼等; 南、北两端湖湾区及西岸湖滨带较为适合个体较小、营沿岸浅水区生活的鱼类, 如鲫、鲮、麦穗鱼等。比较各站点的鱼类多样性指数可以发现, 西岸及南、北两端各站点的多样性指数普遍高于东岸及湖心区域, 这与洱海西岸及南、北两端广布的湖滨带湿地环境有关, 在一定程度上反映出越是复杂多样的生境结构, 其区域内生物的多样性就越高^[33]。此外, 下山口水电站是唯一发现大理裂腹鱼的站点, 此处水面面积较小, 无水草, 水质清澈, 最大水深 4 m, 水温 11.8 °C, 底质以砾石为主, 水下有小型岩洞, 较为适合大理裂腹鱼的生长, 已被大理州洱海管理局列为保护区。

参考文献:

- [1] Ross S T. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies[J]. *Copeia*, 1986(2): 352-388.
- [2] Lindenmayer D B, Franklin J F. Conservation forest biodiversity, a comprehensive multiscaled approach[M]. Washington: Island Press, 2002: 351.
- [3] 江洪, 马克平, 张艳丽, 等. 基于空间分析的保护生物学研究[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 562-578.
- [4] 李圣法, 程家骅, 严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4377-4386.
- [5] 傅萃长. 长江流域鱼类多样性空间格局与资源分析——兼论银鱼的生物多样性与系统发育[D]. 上海: 复旦大学, 2003.
- [6] 谢松光, 崔奕波, 李钟杰. 湖泊鱼类群落资源利用格局研究进展与方法[J]. *水生生物学报*, 2003, 27(1): 78-84.
- [7] 戴自福. 云南洱海的生态渔业研究[J]. *生态经济*, 1990 (2): 30-34.

- [8] 陈银瑞. 云南的鱼类资源及其利用和保护[J]. 自然资源, 1991 (1): 25-33.
- [9] 周霖. 云南土著鱼类资源现状及发展规划[J]. 水利渔业, 2005, 25(1): 51-52.
- [10] 李树深. 云南湖泊鱼类的区系及其类型分化[J]. 动物学报, 1982, 28(2): 169-176.
- [11] 褚新洛, 陈银瑞. 云南高原湖泊鱼类区系的生物学特点及渔业利用的途径[J]. 资源开发与保护杂志, 1989, 5(1): 3-8.
- [12] 王建生, 赵忠卫, 钟家尚, 等. 洱海鲤生物学特性及人工繁养殖技术的研究[J]. 水利渔业, 2004, 24(6): 43-45.
- [13] 吴庆龙, 王云飞. 洱海生物群落的历史演变分析[J]. 湖泊科学, 1999, 11(3): 267-272.
- [14] 杜宝汉, 李永安. 洱海鱼类多样性危机及解危对策[J]. 环境科学研究, 2001, 14(3): 42-55.
- [15] 赵凤琴. 洱海水质分析及综合评价[J]. 云南环境科学, 1998, 17 (3): 35-37.
- [16] 潘红玺, 王云飞, 董云生. 洱海富营养化影响因素分析[J]. 湖泊科学, 1999, 11(2): 184-188.
- [17] 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-377.
- [18] 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(下册) [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-313.
- [19] 冯广朋, 李钟杰, 谢从新, 等. 湖北牛山湖小型鱼类的群落结构及多样性[J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 299-304.
- [20] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II, β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- [21] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 58-64.
- [22] 任一平, 徐宾铎, 叶振江, 等. 青岛近海春、秋季渔业资源群落结构特征的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(5): 792-798.
- [23] Ornellas A B, Coutinho R. Spatial and temporal patterns of distribution and abundance of a tropical fish assemblage in a seasonal Sargassum bed, Cabo Frio Island, Brazil[J]. Journal of Fish Biology, 1998, 53(Supplement A): 198-208.
- [24] Babbitt K J, Tanner G W. Effects of cover and predator size on survival and development of *Rana utricularia* tadpoles[J]. Oecologia, 1998, 114(2): 258-262.
- [25] 褚新洛, 周伟. 洱海的鱼类[C]// 云南洱海科学论文集. 昆明: 云南民族出版社, 1989: 1-30.
- [26] Lowe S, Browne M, Boudjelas S. 100 of the world's worst invasive alien species[M]. Auckland, New Zealand: IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group, 2000: 9.
- [27] Moyle P B, Light T. Biological invasion of fresh water: empirical rules and assembly theory [J]. Biological Conservation, 1996, 78(2): 149-161.
- [28] 潘勇, 曹文宣, 徐立蒲, 等. 鱼类入侵的过程、机制及研究方法[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 687-692.
- [29] Reid D F, Orlova M I. Geological and evolutionary underpinnings for the success of Ponto-Caspian species invasions in the Baltic Sea and North American Great Lakes[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(7): 1144-1158.
- [30] Giaccone G, Di M V. Vegetazione marina relitta in Mediterraneo[J]. Marine Bioinvasions, 1997, 4(1): 388-392.
- [31] Ross R M, Lellis W A, Bennett R M, *et al.* Landscape determinants of non indigenous fish invasions[J]. Biological Invasions, 2001, 3(4): 347-361.
- [32] 彭文启, 王世岩, 刘晓波. 洱海水质评价[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005, 3(3): 192-198.
- [33] 杨君兴. 云南抚仙湖鱼类的若干生物学特性及其对湖泊环境的适应[J]. 动物学研究, 1994, 15(2): 1-9.

Spatial pattern of fish community in the Erhai Lake

FEI Ji-hui¹, WANG Xing-zhong², SHAO Xiao-yang^{1, 2*}

(1. College of Life and Environmental Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China;

2. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: The Erhai Lake is an extant production base of Yunnan province for aquatic products. Due to the environment and fishery pattern change, the fish fauna of the Erhai Lake are varied. How about the status? How about the fish community structure and its distribution? There are less typical reports till now. This study investigated species composition and abundance of fish at 21 sites in the Erhai Lake for two times in August and November 2009, respectively. The fish nets for each station at about 5:00 pm on the first day and harvested at 5:00 am on the second day. Three samples were conducted at each site for each sampling. Species composition and number of individuals, sampling time, environment factor, latitude and longitude of the sampling site, types of nets were recorded. The fishes were identified and classified. The data were analyzed and interpreted with diversity index (Shannon-Wiener index; Pielou index), similarity coefficient (Sorenson index; Bray-Curtis index) and various multivariate statistical methods (CLUSTER; MDS; ANOSIM; SIMPER). The results showed there were 23 species, belonging to 5 orders and 9 families. The fish community of Erhai Lake could be divided into three groups: alongshore community (C I), open water community (C II) and upstream community (CIII). Analysis of similarity (ANOSIM) and similarity of percentage (SIMPER) showed the differences among these groups were significant ($R=0.735$, $P<0.01$). The indicator species of C I were *Hemiculter leucisculus*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, etc., and their contribution of similarity in C I was 80.71%. The indicator species of C II were *Aristichthys nobilis*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Megalobrama amblycephala*, etc., and their contribution of similarity in C II was 98.2%. The indicator species of CIII were *C. auratus*, *P. parva*, *Acheilognathus elongates*, etc., and their contribution of similarity in CIII was 94.94%. The average contribution of dissimilarity between C I and C II was 76.8%, the discriminating species were *H. leucisculus*, *A. nobilis*, *P. parva*, etc., and their contribution of dissimilarity was 88.63%. The average contribution of dissimilarity between C I and CIII was 54.94%, the discriminating species were *H. leucisculus*, *A. elongates*, *Abbottina rivularis*, etc., and their contribution of dissimilarity was 78.99%. The average contribution of dissimilarity between C II and CIII was 91.62%, the discriminating species were *P. parva*, *H. molitrix*, *A. nobilis*, etc., and their contribution of dissimilarity was 85.82%. The C I and CIII were mainly composed of small sized fishes, and C II was larger ones. In conclusion, the diversity in spatial structure of fish community reflected the environmental heterogeneity in Erhai Lake.

Key words: fish community; fish diversity; spatial structure; Erhai Lake

Corresponding author: SHAO Xiao-yang. E-mail: shaoxyhz@qq.com