

鄱阳湖银鱼多样性及其时空格局

王忠锁^{1, 2}, 陈明华³, 吕 颀², 许崇任^{2, *}, 雷光春^{2, *}

(1. 首都师范大学生命科学学院, 北京 100037; 2. 北京大学生命科学学院, 北京 100871; 3. 南昌大学生命科学学院, 南昌 330047)

摘要:采用专门设计的银鱼拖网系统地调查了鄱阳湖银鱼夏季索饵期和春季产卵期的空间分布格局。结果显示鄱阳湖银鱼物种多样性低、空间分布不均匀; 3 种银鱼的相对丰度差异悬殊, 小型物种寡齿新银鱼相对丰度最高(71.5%), 体型中等的太湖新银鱼次之(25.6%), 而体型较大的短吻间银鱼相对丰度最低(2.9%)。春季银鱼空间分布不均匀, 南部受保护区丰富度(R)高于北部受干扰生境; 产卵场分布格局种间差异显著: 2 种新银鱼南北都有分布, 寡齿新银鱼分布最广(发生率 $IO = 70.0\%$), 太湖新银鱼次之($IO = 55.0\%$), 而短吻间银鱼仅见于南部水域($IO = 30.0\%$)。夏季银鱼分布广泛, 种间分布格局相近, 彼此相关显著。表明鄱阳湖银鱼区系多样性结构与其产卵场分布格局和状况相关, 而受夏季银鱼索饵场空间布局影响不大。以物种多样性参数为变量的聚类分析将 40 个调查样点聚为 6 类, 其中 3 类生境对银鱼区系稳定贡献显著, 应受到优先保护。

关键词:鄱阳湖; 长江; 银鱼; 生物多样性; 空间格局

文章编号: 1000-0933(2006)05-1337-08 **中图分类号:** Q143, Q178, Q958, S931.1 **文献标识码:** A

Species diversity and spatio-temporal distribution patterns of icefishes (Salangidae) in Poyang Lake

WANG Zhong-Suo^{1, 2}, CHEN Ming-Hua³, LÜ Cai², XU Chong-Ren^{2, *}, LEI Guang-Chun^{2, *} (1. College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100037, China; 2. College of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. College of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330047, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1337 ~ 1344.

Abstract: This paper reports the species diversity and spatial distribution patterns of icefishes (Salangidae) in both feeding and breeding seasons in Poyang Lake, eastern China. The data were collected by a series of comprehensive surveys in the summer of 2002 and the spring of 2003, with a specially designed icefish trawl. The survey focused on 40 sampling sites with a total area of 50 ha along shallow bays, where had been identified as suitable habitats for icefishes.

Three species of icefishes, *Neosalanx oligodontis*, *Neosalanx taihuensis* and *Hemisanx brachyrostralis*, were recorded from the survey, among which *N. oligodontis*, the smallest icefish, was the most predominant species with the highest relative abundance (P_i) of 71.5%, whereas, the largest icefish, *H. brachyrostralis* was the rarest species with the relative abundance of 2.9% only, and the intermediate sized icefish, *N. taihuensis* ranked as the second in predominance ($P_i = 25.6\%$), according to the summer data.

In summer, the distribution patterns of the three icefishes correlated with each other significantly, indicated similar habitat selection for feeding. Species richness index (R) and Shannon-Wiener diversity index (H') was higher in the south than in the north part of the lake, which correlated well with the conservation status of the lake, e.g. the least disturbed area recorded with the highest species diversity of icefish assemblage.

基金项目: 国家重点基础研究 973 资助项目(G2000046805); 国家自然科学基金资助项目(30570290)

收稿日期: 2006-03-10; **修订日期:** 2006-04-20

作者简介: 王忠锁(1967~), 男, 安徽人, 博士, 主要从事种群生态学和保护生物学研究. E-mail: zhongsuo@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xchr@pku.edu.cn; lei@ramsar.org

Foundation item: The project was supported by National Key Basic Research 973 Plan of China (No. G2000046805) and National Natural Science Foundation of China (No. 30570290)

Received date: 2006-03-10; **Accepted date:** 2006-04-20

Biography: WANG Zhong-Suo, Ph.D., mainly engaged in population ecology and conservation biology. E-mail: zhongsuo@yahoo.com.cn

In spring, however, the three species showed significant difference in spawning field selection. *N. oligodontis* occurred most diffusively in both northern and southern parts of the lake with the incidence of occurrence (IO) of 70.0%; *N. taihuensis* showed similar occurrence pattern but occurred in lower incidence ($IO = 55.0\%$), whereas *H. brachystralis* only laid eggs in the southern area and had the lowest incidence of occurrence ($IO = 30.0\%$). This result indicated that the habitats in southern area were highly qualified for all of the three species to spawn, but the northern habitats were just suitable for one (i.e. *N. oligodontis*) or in certain conditions for two (i.e. *Neosalanx*) species.

Hierarchical cluster analysis distinguished the 40 sampling sites into six habitat types, among which three types of habitats contributed significantly to the consistence of icefish assemblage. The southern habitats turned out to be the most important ones for the persistence and stability of icefish diversity in Poyang Lake.

Above all, this study indicated that the quality and distribution pattern of spawning field had shed high light on the icefish assemblage, and suggests paying more attention to the spawning field protection for the conservation and restoration of the wild icefishes in Poyang Lake.

Key words: Poyang Lake; the Yangtze River; icefish; biodiversity; spatial pattern

空间分布格局是物种在长期进化过程中形成的一种适应性特征,集中反映了异质性生境对物种空间资源利用的影响^[1, 2]。近缘种对共享生境的差异性选择导致其空间分布格局的种间分异,并决定了彼此对特定环境扰动的差异性应答^[3]。最终表现为环境变迁过程中物种区系组成及相对丰度的变动。

银鱼为 1 年生小型鱼类,对环境变化反应敏感。在近 50a 时间内,天然银鱼生活水域遭受严重的人为破坏,银鱼资源呈现出世界范围的持续衰退^[4]。长江流域天然淡水银鱼的衰退与流域尺度上的水面缩减、生境退化相关显著^[5]。然而单个水体内的银鱼空间分布格局及其形成机制的研究尚未见报道。本文总结 2002 ~ 2003 年间鄱阳湖银鱼调查数据,分析其物种组成、空间分布格局及其季节性变动,揭示生境退化对银鱼区系结构的影响,为银鱼资源管理和保护提供科学依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

鄱阳湖位于长江中、下游交接处(28°02' ~ 29°46'N, 115°50' ~ 116°46'E),系流域内最大的通江湖泊。湖泊形态南北长(173.0 km),东西窄(2.8 ~ 74.0 km),湖岸曲折,湖汊、港、湾众多,生境异质性极高。其周边较大的湖汊或湖湾多被筑坝阻隔为大小不等的子湖(内湖),惟中央主湖区保持自然通江(外湖)。内湖以养殖渔业为主,水位多人工调控,其鱼类区系组成区别于外湖,不在本调查范围。外湖鱼类与长江自然交流,渔业以天然捕捞为主,鱼类多样性较高。据湖泊特征将调查工作覆盖的外湖分为 3 个区域,即松门山以北的狭长通江水道(I 区)、松门山以(东)南的宽阔水体(II 区)和主湖区南部的狭窄深水湖区(III 区,图 1)。

1.2 采样方法

基于 2001 年 7 月鄱阳湖银鱼多样性的预调查,经广泛走访湖区渔民和渔业管理者,并参考陈国华等的研究经验^[6, 7],设立了 40 个调查样点(sampling site, 图 1): I 区 10 个(1 ~ 10 号)、II 区 17 个(11 ~ 23 号, 37 ~ 40 号)、III 区 13 个(24 ~ 36 号)。其中春季枯水期实际采样样点为 36 个(II 区 37 ~ 40 号样点显露为洲滩)。每样点重复采样 3 次。样点主要设置于银鱼喜居的避风、静水湖湾^[6]。调查样点以 GPS 定位,以保证不同季节调查的空间一致性。

夏季调查于 2002 年 7 月 1 日 ~ 8 月 20 日进行,春季调查覆盖所有银鱼的产卵峰期(2003 年 2 月 18 日 ~ 4 月 28 日)。采样网具为根据传统的专业银鱼网改制而成的“银鱼拖网(icefish trawl)”。在保持各部分比例不变的前提下,该网尺寸显著缩减,以减小对银鱼资源的负面影响:引网长 5m(网目 3mm × 3mm)、主网长 10m(网目 2mm × 2mm)、囊网长 3m(网目 0.5mm × 1mm)。双船拖曳作业时有效作业宽度 10m,深 1.5m,拖网速度 2.5 km/h(GPS 测控)。每样方(sample)拖网 30 min,样方面积约 $1.25 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。所获银鱼分类计数:单种个体数少于 500 时直接计数,多于 500 时以随机抽取的 100 尾鱼的个体均重(精确到 0.01g)推算渔获个体数(取整数)。

春季银鱼产卵场的判断以性腺发育至 V 期的亲鱼(可肉眼直接分辨)和早期仔鱼(平游期以前)的发生为标准^[7]。

1.3 数据分析

银鱼物种相对丰度和物种多样性参数的计算采用夏季数据,因为夏季银鱼区系组成最稳定并最具代表性^[8]。物种多样性参数及计算公式如下:

(1) 丰富度指数(richness index, R)

$$R = S$$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数(diversity index, H')

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i)$$

(3) Pielou 均匀度指数(evenness index, J')

$$J' = H' / \ln S$$

(4) Simpson 优势度指数(dominance index, D)

$$D = \sum (P_i)^2$$

式中, S 为物种数, 物种相对丰度 $P_i = n_i / N$, n_i 为种 i 的个体数, N 为样本总个体数。

无银鱼分布的调查位点的各多样性指数值均定义为“0”。

春季银鱼的物种比例受银鱼产卵影响,银鱼种群年龄组成(亲、子代)和种群大小变动频繁^[8]。早期仔鱼的分布又高度集中,捕获仔鱼个体粘连,导致物种个体数量统计误差过大。加之 3 种银鱼非同步产卵,不同时间银鱼个体数量比例差异显著^[4]。因此 2003 年春季银鱼

分布格局分析中仅采用各种银鱼“有或无”(presence / absence)的定性数据。

银鱼物种发生率(incidence of occurrence, IO)是指有物种发生的样点数占总样点数的百分率。

银鱼分布格局的聚类分析采用最短距离法对银鱼区系多样性参数作 Q 聚类,以判断银鱼分布与生境类型间的相关关系。聚类分析以夏季银鱼多样性参数和春季银鱼发生数据为变量,具体包括:夏季银鱼的物种丰富度(R)、单样点渔获个体总数(N)、物种多样性指数(H')、均匀度指数(J')和优势度指数(D),春季各样点 3 种银鱼的“有/无”发生数据。数据分析以 MsExcel2003 和 Minitab14 软件包进行。

2 结果和分析

2.1 鄱阳湖银鱼物种多样性组成

本次调查共鉴定出银鱼 2 亚科 2 属 3 种。新银鱼亚科(*Neosalanginae*)有新银鱼属(*Neosalanx*)的太湖新银鱼(*N. taihuensis*)和寡齿新银鱼(*N. oligodontis*) 2 种,银鱼亚科(*Salanginae*)有间银鱼属(*Hemisanx*)的短吻间银鱼(*H. brachyrostralis*) 1 种(表 1)。

夏季银鱼渔获物的组成分析表明,新银鱼属为鄱阳湖绝对优势类群,占银鱼总个体数的 97.1%,而间银鱼属个体比例仅为 2.9%。在物种水平上,寡齿新银鱼个体数量优势明显($P_i = 0.71$),太湖新银鱼次之($P_i = 0.26$),而短吻间银鱼相对丰度最低($P_i = 0.03$)。

夏季有银鱼分布的 36 个样点 108 网次渔获物分析表明,银鱼单网渔获个体数(catch per unit effort, CPUE)变动幅度大,3 种银鱼 108 网的 CPUE 总体标准差均大于相应平均值(表 1)。表明夏季 3 种银鱼在鄱阳湖内的

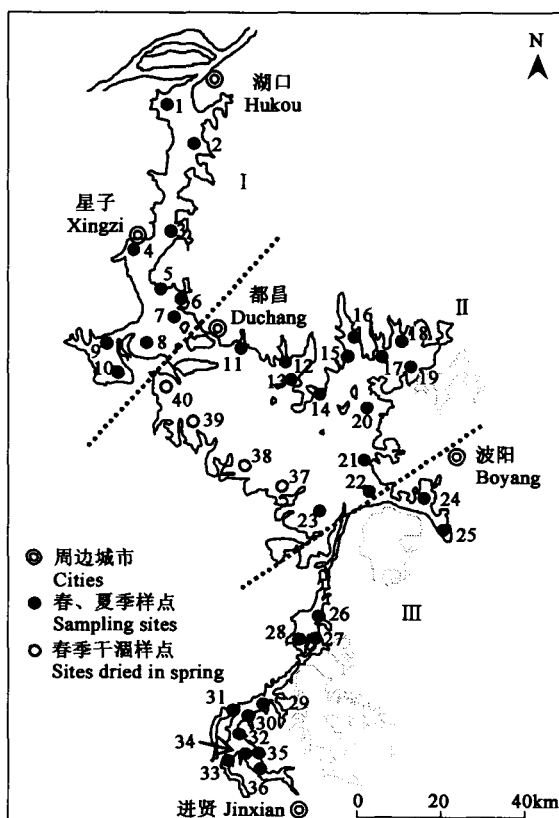


图 1 鄱阳湖银鱼调查区域和采样位点分布图

Fig. 1 Sketch map of the study area of icefish survey in Poyang Lake with 40 sampling sites illustrated

虚线为 I、II、III 湖区分界线 Dashed lines divide the study area into three parts of I, II and III

数量分布均极不均匀。

表 1 鄱阳湖银鱼物种数及其相对丰度

Table 1 Icefish species and their relative abundances in the Poyang Lake

种名(拉丁名) Species (Latin name)	单网渔获个体数 CPUE*			个体总数 (N)	相对丰度 (P _i)
	最小 Min.	最大 Max.	均值(±标准差) Mean (± S. D.)		
寡齿新银鱼 <i>Neosalanx oligodontis</i>	0	4791	820.99(1038.67)	91951	0.71
太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	0	1856	296.32(352.15)	32892	0.26
短吻间银鱼 <i>Hemisanx brachyrostralis</i>	0	165	33.65 (44.27)	3769	0.03

* CPUE: Catch per unit effort

2.2 夏季(索饵期)银鱼空间分布格局

夏季鄱阳湖银鱼空间分布较为广泛,40 个样点银鱼发生率(10)达 90.0%。除Ⅱ区西侧 37~40 号样点外都有银鱼发生(图 2a)。银鱼发生格局表现出如下特点:

(1) 寡齿新银鱼和太湖新银鱼分布广泛 二者广泛分布于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ湖区的 1~36 号样点(10=90.0%),并表现为空间上共分布(coexistence,表 2),二者发生格局相关极显著($r=0.76, p<0.001$)。

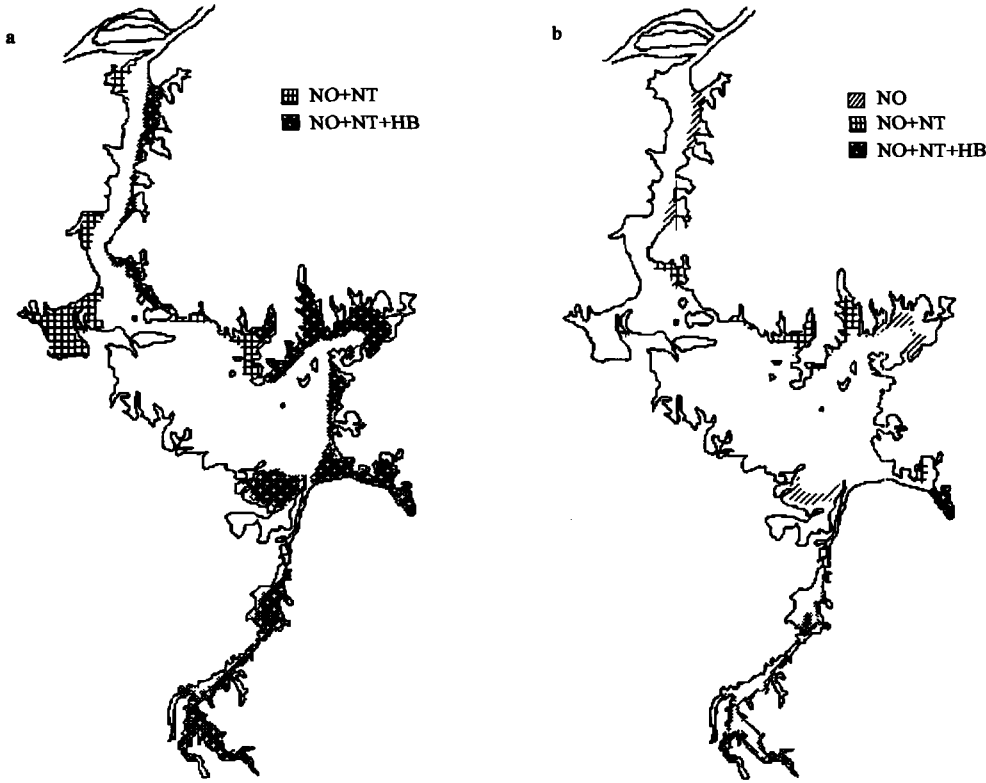


图 2 3 种银鱼夏季(a)和春季(b)的分布格局

Fig.2 Sketch map of the distribution patterns of the three icefish species in summer(a) and spring (b)

NO:寡齿新银鱼 *N. oligodontis*; NT:太湖新银鱼 *N. taihuensis*; HB:短吻间银鱼 *H. brachyrostralis*

(2) 短吻间银鱼的空间分布范围相对狭窄 在Ⅰ、Ⅱ区西侧的 9 个样点和Ⅱ区北侧的 11 号样点未见分布,发生率(10=75.0%)低于两种新银鱼(图 2a,表 2)。但其个体数量的空间分布格局却与寡齿新银鱼相关显著($r=0.37, p<0.05$),与太湖新银鱼相关极显著($r=0.65, p<0.001$)。

(3) 南部银鱼物种多样性高于北部 首先,南部物种丰富度(R)较高:Ⅲ区样点基本上 $R=3$ (仅 24 号样点 $R=2$),而北部(Ⅰ、Ⅱ区) $R=3$ 的样点仅占 66.7%(18 个),另有 14.8%(4 个)和 18.5%(5 个)的样点 $R=0$

或 2(图 2a,表 2)。其次,南部(Ⅲ区)物种多样性指数($H' = 0.80 \pm 0.12$, S.D.)高于北部湖区($H' = 0.50 \pm 0.24$, S.D.),二者差异极显著($t = -5.20$, $p < 0.001$, $DF = 37$)。

(4) 东侧银鱼多样性高于西侧 Ⅰ区和Ⅱ区西侧 40.0%的样点 $R = 0$ 、50.0%的样点 $R = 2$,仅 10.0%的样点 $R = 3$;而东侧 $R = 3$ 的样点占 92.6%,另 7.6%的样点 $R = 2$ (图 2a)。东侧物种多样性指数也显著($t = -3.21$, $p < 0.05$, $DF = 9$)高于西侧样点。

2.3 春季(繁殖期)银鱼空间分布格局

春季鄱阳湖银鱼总体分布范围比夏季狭窄得多。银鱼的产卵场局限于湖区的南部和东部,即Ⅲ区和Ⅰ、Ⅱ区东(北)侧部分静水湖湾处。产卵场分布同样呈现“南高北低、东高西低”的格局(图 2b)。

南部(Ⅲ区)产卵场基本为 3 种银鱼所共享,仅 24 号样点未见短吻间银鱼繁殖群体。北部(Ⅰ、Ⅱ区)产卵场仅见 2 种新银鱼产卵群体,其中 9 个样点(5~7、11~16)为二者所共享,6 个样点(2、3、17~19、23)仅有寡齿新银鱼产卵群体分布(图 2b)。种间比较显示,寡齿新银鱼产卵场分布最广,70.0%的样点适合其繁殖;太湖新银鱼产卵场分布较窄,55.0%的样点调查到其产卵亲体或早期仔鱼;产卵场分布最窄的是短吻间银鱼,其产卵场仅见于湖泊的南部,调查样点中短吻间银鱼产卵群体出现率仅 30.0%(图 2b,表 2)。

表 2 40 个调查样点夏季银鱼多样性特征值和春季繁殖群体“有/无”发生格局统计表

Table 2 Statistics of the diversity indexes in summer and the present/absent patterns in spring of the icefishes in the 40 sampling sites

样点 Site	夏季 Summer					春季 Spring		
	R^*	N	H'	J'	D	NO	NT	HB
1	2	104	0.5543	0.7997	0.6323	0	0	0
2	3	208	0.4925	0.4483	0.7208	1	0	0
3	3	116	0.6633	0.6037	0.5979	1	0	0
4	2	110	0.5477	0.7902	0.6383	0	0	0
5	3	1083	0.6984	0.6357	0.5234	1	1	0
6	3	5325	0.5621	0.5116	0.6464	1	1	0
7	3	1135	0.7505	0.6831	0.5197	1	1	0
8	2	47	0.3373	0.4866	0.8110	0	0	0
9	2	68	0.6420	0.9262	0.5503	0	0	0
10	3	270	0.4956	0.4511	0.6945	0	0	0
11	2	444	0.5392	0.7778	0.6459	1	1	0
12	3	2061	0.5835	0.5311	0.6427	1	1	0
13	3	1250	0.6092	0.5545	0.6227	1	1	0
14	3	1744	0.5597	0.5094	0.6788	1	1	0
15	3	3261	0.3714	0.3381	0.8008	1	1	0
16	3	4069	0.4530	0.4123	0.7557	1	1	0
17	3	1353	0.6270	0.5708	0.5981	1	0	0
18	3	722	0.5724	0.5210	0.6358	1	0	0
19	3	1065	0.4255	0.3873	0.7728	1	0	0
20	3	20	0.7073	0.6438	0.6006	0	0	0
21	3	296	0.6158	0.5605	0.6631	0	0	0
22	3	287	0.8416	0.7660	0.4934	0	0	0
23	3	259	0.8080	0.7355	0.4997	1	0	0
24	3	3741	0.6315	0.5748	0.6295	1	1	0
25	3	3356	0.7610	0.6927	0.5191	1	1	1
26	3	1194	0.8195	0.7459	0.4678	1	1	1
27	3	1169	0.7267	0.6615	0.5093	1	1	1
28	3	69	0.7219	0.6571	0.5093	1	1	1
29	3	1790	0.8320	0.7574	0.4629	1	1	1
30	3	1041	0.9338	0.8500	0.4369	1	1	1
31	3	1010	0.9633	0.8768	0.4082	1	1	1
32	3	1089	0.9016	0.8206	0.4483	1	1	1
33	3	50	0.5662	0.5154	0.6809	1	1	1
34	3	1360	0.9317	0.8480	0.4252	1	1	1
35	3	496	0.7098	0.6461	0.6027	1	1	1
36	3	1224	0.9051	0.8239	0.4485	1	1	1
37	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
38	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
39	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
40	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0

* R : 物种丰富度 Species richness; N : 样点平均单网渔获个体数(取整数) Mean catch of individuals on each site (integer); H' : 多样性指数 Diversity index; J' : 均匀度指数 Evenness index; D : 优势度指数 Dominance index; NO、NT、HB: 定义同图 2 Defined as that in Fig. 2

短吻间银鱼产卵场中两种新银鱼产卵群体发生率达 100.0%, 而太湖新银鱼产卵场中寡齿新银鱼产卵群体发生率也为 100.0% (图 2b)。意味着短吻间银鱼只能利用新银鱼产卵场中条件较好的生境, 产卵条件要求最高。相反, 寡齿新银鱼对产卵条件的要求最低, 环境适应力最强。

3 种银鱼产卵群体发生格局的差异显著性检验 (t -test) 显示, 短吻间银鱼产卵群体发生格局与寡齿新银鱼差异极显著 ($t = 3.85, p < 0.001, DF = 78$), 与太湖新银鱼差异显著 ($t = 2.31, p < 0.05, DF = 78$)。而 2 种新银鱼产卵场分布格局差异不显著。

2.4 银鱼空间分布格局的系统聚类分析

以夏季银鱼的多样性参数和春季银鱼的“有/无”发生数据为变量 (表 2), 对 40 个调查样点的系统聚类分析结果显示: 在银鱼发生格局相似性水平为 60.2% 时, 调查样点聚为 6 类 (图 3, A ~ F), 区分出对银鱼发生格局贡献不同的 6 个生境类型:

(A) 春季水浅、底质硬泥、水面狭窄; 无银鱼产卵; 夏季有 2 种新银鱼分布;

(B) 春季水浅、底质细沙或硬泥、水面较开阔; 寡齿新银鱼产卵场; 夏季有 3 种银鱼分布;

(C) 春季水深、底质沙、砾或新淤泥、湖湾口部开阔深水边缘; 2 种新银鱼产卵场; 夏季 3 种银鱼丰富;

(D) 春季水深 2.0m 以上、底质硬泥覆细沙, 南部陡岸边缘; 3 种银鱼优质产卵场; 夏季 3 种银鱼极丰富;

(E) 春季水深 2.0m 以上、沙底, 位于北部湖湾深处; 新银鱼产卵群体大; 夏季 3 种银鱼极丰富;

(F) 春季洲滩显露, 无水; 夏季无银鱼分布。

6 类生境对鄱阳湖银鱼区系稳定的贡献不同, 其重要性顺序为: $D > E > C > B > A > F$ 。其中生境 D 为湖泊南部 3 种银鱼共享的产卵场和索饵场, 对湖区银鱼物种多样性组成起决定性作用; C、E 共同构成 2 种新银鱼的产卵场 (C 为边缘、E 为核心), 对湖区银鱼总体数量 (银鱼产量) 贡献显著。

3 讨论

3.1 鄱阳湖银鱼资源状况

银鱼为鄱阳湖区重要的经济鱼类之一, 为湖区传统渔业的重要组成部分。历史上, 鄱阳湖银鱼以贡品“绣花针” (银鱼仔鱼晒制的鱼干) 而著称^[9]。传统的银鱼生产方式为风帆船拖网作业。因受风力条件限制, 其作业时间和适宜作业范围都有限^[9,10]。风向稳定的敞水区为主要作业场所, 而银鱼喜居的湖湾、港、汊 (潜在产卵场) 因避风反而成为天然的避难所 (refuge), 对银鱼资源保护起到了积极作用。

20 世纪 70 年代后期开始, 鄱阳湖银鱼生产方式发生了根本性的变化, 机动船逐渐替代了风帆船用于银鱼捕捞^[9]。机动船只的使用一方面显著提高渔业效率, 另一方面其作业范围也显著扩大。原本不适宜风帆船作业的避风湖湾因银鱼分布集中反而转变成重点捕捞区域。结果导致银鱼产卵场破坏和对银鱼产卵的扰动, 银鱼资源同步衰退。至 20 世纪 80 年代中期, 整个湖区天然银鱼产量由 20 世纪 60 年代的 600 t/a 下降到 100 t/a 左右^[10]。此后湖区机动船只的迅速增加, 对银鱼的捕捞压力也越来越大。银鱼资源进一步退化^[9]。至 20 世纪 90 年代中期, 鄱阳湖北部 (I、II 区) 的大部分水域银鱼资源基本失去了商业捕捞价值, 濒临经济绝灭水

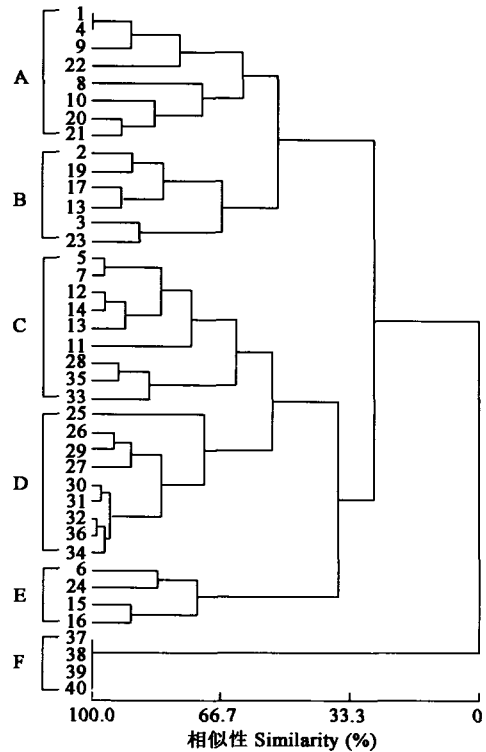


图 3 银鱼调查样点 (1~40) 的物种多样性特征系统聚类图

Fig.3 Hierarchical cluster dendrogram of the 40 sampling sites on the diversity indexes of icefish assemblage

A ~ F: 在相似性 60.2% 水平上调查样点的 6 个聚类 The 6 habitat clusters at the similarity level of 60.2%

平。2002~2003 年调查期间,湖区银鱼资源呈现严重的退化局面:

(1)银鱼种群缩减、产量低下 湖区银鱼年产量不足 50 t。

(2)银鱼分布范围缩减 南部青岚湖保护区(样点 26~36)为 3 种银鱼集中分别区,为银鱼多样性最高,区系最稳定的区域(表 2,图 3)。北部(I、II 区)的新妙湖坝下(样点 5~7)和西湖(样点 15~17)等局部水域对 2 种新银鱼续存意义重大。其它水域银鱼丰度小,物种单一,资源退化严重。

(3)银鱼区系小型化(size diminution)^[11] 小型种寡齿新银鱼为银鱼区系的绝对优势种(表 1),而体型最大的短吻间银鱼种群锐减,相对丰度不足 3.0%。银鱼的物种均匀度和物种的多样性水平低下(表 2),区系稳定性降低。

3.2 鄱阳湖银鱼多样性下降的原因分析

鄱阳湖银鱼多样性的退化集中表现为种群衰减和银鱼区系的小型化。究其原因,可以概括为以下 3 个主要方面:

(1)过度捕捞(over-fishing) 如前所述,湖区银鱼生产技术的革新和生产效率的提高加重了银鱼的生存压力,直接导致银鱼资源的同步退化,天然产量持续下滑。除此以外,银鱼区系的小型化现象在很大程度上也归因于过度的商业捕捞^[12~14]。选择性网具的使用和捕捞力度的增加会直接导致鱼类区系中大型鱼类相对丰度的降低和小型鱼类优势度的提高^[8,15]。专业网具的选择性导致大型鱼类承受较大的捕捞压力。结果表现为长期高强度的捕捞过程中大型银鱼占渔获物的比例越来越小。当银鱼生产效益趋近于最小值时,渔获对象主要为小型的寡齿新银鱼,而体型较大的短吻间银鱼等则已经被压制到极低的种群大小^[8]。鄱阳湖除 4~6 月的繁殖保护期外常年允许银鱼生产。这种长时间、无序化的捕捞和现代化高效率的捕捞技术对银鱼资源造成直接的冲击,应为银鱼小型化和种群衰退的主要原因。

(2)产卵场破坏 银鱼空间分布格局的季节性动态表明 3 种银鱼夏季空间资源的占用无明显种间差异,其发生率相近、空间分布格局(极)显著相关(图 2,表 2)。这种格局不能解释种间相对丰度的显著差异现象。相反,春季银鱼分布格局的(极)显著种间差异(图 2,表 2)与相应物种优势度(或相对丰度)的种间差异表现一致。表明产卵场格局及其变动与银鱼小型化和资源衰退具有密切的关系。

银鱼产卵场主要分布于浅水、避风的湖湾、港、汊(图 3-D、E、C)。这样的优质产卵生境在 20 世纪 60 年代前大约有 200km²,后因军山湖、内青岚湖、珠湖、矾山湖和新妙湖等大面积产卵场被围隔,导致银鱼产卵场严重丧失^[16]。至 1984 年银鱼产卵场破坏率近 40.0%^[7,9]。优质产卵场的大量丧失对 3 种银鱼具有不同的影响。短吻间银鱼(产卵条件苛刻)失去了北部几乎全部的产卵空间,其产卵场仅存于南部(III 区)最优的 D 类生境(图 2、图 3)。相比之下,2 种新银鱼产卵条件要求较低,在围垦过后尚可找到替代生境完成繁殖过程,因此繁殖规模远大于短吻间银鱼。

(3)产卵干扰 银鱼属冷水性鱼,产卵于枯水早春(2~5 月份)^[4],而鄱阳湖春季鱼类繁殖保护期为 4~6 月份。此前的渔事活动(包括银鱼捕捞和其它渔业行为)对银鱼繁殖过程具有巨大的干扰,尤其对于产卵较早的短吻间银鱼影响最大。短吻间银鱼产卵于 2~4 月份、峰期为 3 月中旬,几乎整个繁殖期都受到无序化的渔事干扰;而产卵于 3~5 月份的太湖新银鱼所受干扰主要表现在早期繁殖亲体死亡率的增加;相比之下寡齿新银鱼所受影响最小,其产卵期(4~5 月份)恰好是湖区鱼类繁殖保护期,基本无产卵干扰^[8]。早春渔事对 3 种银鱼繁殖过程的不同影响,直接导致彼此繁殖成功率的差异,最终导致银鱼区系的小型化和资源退化过程。

南部青岚湖银鱼繁殖保护区的保护效果为产卵干扰的假设提供了很好的反证。1985 以来 III 区水域的银鱼繁殖保护基本维持了南部的金溪湖(样点 26~28)、青岚湖(样点 29~36)和大莲子湖(样点 24~25)等水域的生境质量(图 3-D)。相比之下,北部的产卵场受上述各种人为干扰极其严重,电网泛滥、采砂、拖捕螺蛳等渔事活动频繁,致使较敏感种短吻间银鱼局部绝灭,太湖新银鱼繁殖成功率降低,而适应力较强的寡齿新银鱼成为竞争优势种。鄱阳湖南部银鱼产卵期保护成效对湖区银鱼多样性保护提供了可借鉴的经验。

4 结语和建议

鄱阳湖银鱼种群退化、物种多样性空间分布不均匀和银鱼区系小型化等状况表明湖区银鱼资源承受了较大的环境压力,资源退化严重。银鱼空间分布格局研究结果表明夏季 3 种银鱼均广泛分布且种间分布格局显著相关;而春季银鱼产卵场空间狭窄且银鱼产卵场分布格局种间差异显著。这种格局揭示出银鱼区系小型化和资源退化与产卵场退化和繁殖干扰相关密切。鄱阳湖南部银鱼产卵场保护区银鱼物种丰富、多样性水平高、银鱼区系组成稳定,而受破坏或干扰较严重的北部水域产卵场狭窄、物种丰富度和物种多样性水平低、银鱼区系组成季节性差异显著。这种差异提示产卵保护应为鄱阳湖银鱼多样性保护的关键环节。银鱼多样性特征的聚类分析结果进一步提示对鄱阳湖银鱼多样性及其分布格局贡献显著的优质产卵场和索饵场(图 3, D、E、C 3 类生境)应受到特别的保护。一方面应采取有力措施切实加强银鱼产卵场、产卵期保护,减小人为干扰;另一方面精心选择 D、E、C 类中代表性的生境斑块建立产卵保护区网络,促进繁殖群体间的个体交流和繁殖群体间的相互补充和拯救,实现区域内的动态共存。

References:

- [1] Brown J H. Macroecology. Chicago: the University of Chicago Press, 1995.
- [2] Hanski I. Metapopulation Ecology. New York: Oxford University Press, 1999.
- [3] Li J S, Song Y L, Wang X Z, *et al.* Spatial pattern of small mammals community diversity in different grazing pressure in montane desert-steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 51 ~ 58.
- [4] Wang Z S, Fu C Z, Lei G C. Biodiversity of Chinese icefishes (Salangidae) and their conserving strategies. *Biodiversity Science*, 2002, 10(3): 416 ~ 424.
- [5] Wang Z S, Lu C, Hu H J, *et al.* Freshwater icefishes (Salangidae) in the Yangtze River basin of China: Spatial distribution patterns and environmental determinants. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, 73(3): 253 ~ 262.
- [6] Zhang Y L. The phylogenetic biogeography of Salangidae. In: Zhang G X ed. Scientific treatise on systematic and evolutionary zoology. 2nd ed., Beijing: Science and Technology Press of China, 1993, 65 ~ 77.
- [7] Chen G H, Zhang W M, Dai N H. Reproducing field survey of Salangid fishes in Poyang Lake. *Freshwater Fishery*, 1986, 5: 13 ~ 16.
- [8] Wang Z S, Lu C, Hu H J, *et al.* Dynamics of icefish (Salangidae) stocks in Nanyi Lake, eastern China: degradation and overfishing. *Journal of Freshwater Ecology*, 2004, 19(3): 271 ~ 278.
- [9] Zhu X Q. Chorography of Jinxian County. Nanchang: Jiangxi People Press, 1989.
- [10] Chen G H, Zhang B. Study on the growth of Salangid fishes in Poyang Lake. *Jiangxi Science*, 1991, 9(4): 225 ~ 232.
- [11] Cao W X, Zhang G H, Ma J, *et al.* Preliminary studies on the phenomenon of size diminution of the fish resources in Lake Honghu. In: Honghu Research Group ed. Studies on comprehensive exploitation of aquatic biological productivity and improvement of ecological environment in Lake Honghu. Beijing: China Ocean Press, 1991. 148 ~ 152.
- [12] Stergiou K I. Overfishing, tropicalization of fish stocks, uncertainty and ecosystem management: resharpening Ockham's razor. *Fisheries Research*, 2002, 55(1): 1 ~ 9.
- [13] Myers R A, Barrowman N J, Hutchings J A, *et al.* Population dynamics of exploited fish stocks at low population levels. *Science*, 1995, 269: 1106 ~ 1108.
- [14] Wootton R J. Ecology of Teleost Fishes. London: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [15] Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H, *et al.* Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 2001, 293: 629 ~ 638.
- [16] Min Q. Study on the relationship between shape, water regime and innings of Poyang Lake. *Advances in Water Science*, 2000, 11(1): 76 ~ 81.

参考文献:

- [3] 李俊生,宋延龄,王学志,等. 放牧压力条件下荒漠草原小型哺乳动物群落多样性的空间格局. *生态学报*, 2005, 25(1): 51 ~ 58.
- [4] 王忠锁,傅萃长,雷光春. 中国银鱼的多样性及其保护对策. *生物多样性*, 2002, 10(4): 416 ~ 424.
- [6] 张玉玲. 银鱼科鱼类系统生物地理学初步研究. 见:张广学主编. 系统进化动物学论文集(第 2 集). 北京:中国科学技术出版社, 1993. 65 ~ 77.
- [7] 陈国华,李伟明,戴年华. 鄱阳湖银鱼的产卵场的调查. *淡水渔业*, 1986, 5: 13 ~ 16.
- [9] 朱啸秋主编. 进贤县志. 南昌:江西人民出版社, 1989.
- [10] 陈国华,张本. 鄱阳湖产银鱼生长的研究. *江西科学*, 1991, 9(4): 225 ~ 232.
- [11] 曹文宣,陈国华,马骏,等. 洪湖鱼类资源小型化现象的初步探讨. 见:洪湖研究课题组编. 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化的研究. 北京:中国海洋出版社, 1991. 148 ~ 152.
- [16] 闵霄. 近 50 年鄱阳湖形态和水情的变化及其与围垦的关系. *水科学进展*, 2000, 11(3): 76 ~ 81.