

三峡库区木洞江段鱼类群落结构的季节变化*

杨少荣^{1,2} 高欣¹ 马宝珊³ 孔焰⁴ 刘焕章^{1**}

(¹中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护重点实验室 武汉 430072)

(²中国科学院研究生院 北京 100049)

(³华中农业大学水产学院 武汉 430070)

(⁴西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室 重庆 400715)

摘要 于2007年6月~2008年11月在三峡库区木洞江段逐月进行鱼类资源调查,分析三峡库区木洞江段鱼类群落特征的季节变化,并结合水文条件变化,评价鱼类群落结构变化与环境因子之间的关系.结果表明,捕获的4 739尾鱼类隶属于3目7科38种,其中圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)、宜昌鳅鮡(*Gobiobotia filifer*)、铜鱼(*C. heterodon*)、光泽黄颡鱼(*P. nitidus*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)为优势种,占总尾数的89.87%. Margalef丰富度指数(*D*)与Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)在夏季月份较高,其他月份较低,而Pielou均匀度指数(*J'*)相对较稳定.对主要物种进行聚类分析,10个主要物种被聚合为两大类群:定居种和季节性出现的物种.按月份聚类分析的结果表明三峡库区木洞江段鱼类群落结构季节性变化显著.水位和水温是影响该江段鱼类群落结构的主要环境因子.图6表1参22

关键词 三峡库区;木洞江段;鱼类群落结构;季节变化;聚类分析

CLC Q959.408 (2719)

Seasonal Dynamics of Fish Community in Mudong Section of the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River, China*

YANG Shaorong^{1,2}, GAO Xin¹, MA Baoshan³, KONG Yan⁴ & LIU Huanzhang^{1**}

(¹Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

(²Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(³Fisheries College, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

(⁴Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract Based on the monthly investigation data of fish community and environmental factors in the Mudong section of the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River, China from June 2007 to November 2008, the seasonal dynamics of fish community and the relationship between the community structures and environmental factors were studied. A total of 4 739 individuals were taxonomically identified, belonging to 38 species of 7 families in 3 orders. Of them, *Coreius guichenoti*, *Pelteobagrus vachelli*, *Gobiobotia filifer*, *Coreius heterodon*, *Pelteobagrus nitidus*, and *Saurogobio dabryi* were the dominant species, accounting for 89.87% of the total. Margalef index (*D*) and Shannon-Wiener index (*H'*) were higher in summer than in other seasons, and Pielou's evenness index (*J'*) was stable through every month. The ten most common species were separated into two major groups, i.e., resident species and seasonal species. The cluster analysis of the monthly samples indicated a significant seasonal change in the fish community. The results showed that water temperature and water level had significant effects on this pattern. Fig 6, Tab 1, Ref 22

Keywords Three Gorges Reservoir; Mudong section; fish community; seasonal dynamics; cluster analysis

CLC Q959.408 (2719)

三峡水利枢纽工程位于西陵峡中段的三斗坪镇,库区位于重庆市和湖北省交界处.库区内鱼类资源丰富,是众多长江上游特有、珍稀、重要经济鱼类的栖息地^[1~4].2006年10月,库区水位蓄水达156 m,回水达重庆江北区铜锣峡.2008年9

月,三峡水库开始试验性蓄水到172 m,蓄水后木洞江段水流变缓.2009年三峡水库完成三期蓄水,水位达到175 m.之后三峡工程进入运行期,洪水期水库的调蓄和泄洪,致使水位发生比较频繁的变动,且幅度较大.研究表明,水环境的变化显著影响鱼类的生存与繁衍,从而导致鱼类种类组成、群落结构、物种多样性等诸多方面发生变化^[5].

三峡库区鱼类资源情况历来引人关注,一些学者对三峡蓄水前后库区鱼类资源情况进行了研究^[3~4],而对三峡库区鱼类群落结构特征的研究较少.本文根据2007年6月~2008年11月对三峡库区木洞江段鱼类的调查资料,分析该江段鱼类种类、生物多样性的季节变化情况,并运用群落聚类和排序分析探讨该江段鱼类群落结构及其与环境因子的关系,为

收稿日期:2009-10-14 接受日期:2009-11-25

*国家自然科学基金项目(No. 40432003)、中国科学院知识创新工程重大项目(No. KZCX1-YW-08-01)和国务院三峡工程建设委员会办公室生态环境项目(No. SX2007-019)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40432003), the Major Project of Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (No. KZCX1-YW-08-01), and the Ecological Environment Program of the State Council Three Gorges Project Construction Committee Office of China (No. SX2007-019)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: hzliu@ihb.ac.cn)

该江段鱼类资源的科学管理和可持续利用提供参考,并为三峡工程的生态环境效应评价提供背景资料。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2007年6月~2008年11月每月在三峡库区重庆市木洞江段(29°34'N, 106°50'E)(图1)用船罟进行调查(网高1.8 m、宽4.5 m、长8 m,网目为2 cm),每次约1 h。当场鉴定鱼的种类,逐尾测量体长、体重。没有鉴定到种的鱼类标本,用5%~10%的福尔马林浸泡,运回实验室进行鉴定和测量。种类鉴定参照《四川鱼类志》^[6]。同时,记录了2007年6月~2008年11月木洞江段的水温,并从中国长江三峡集团公司(<http://www.ctgpc.com.cn/sx/sqsk.php>)查得各月三峡上游水位。

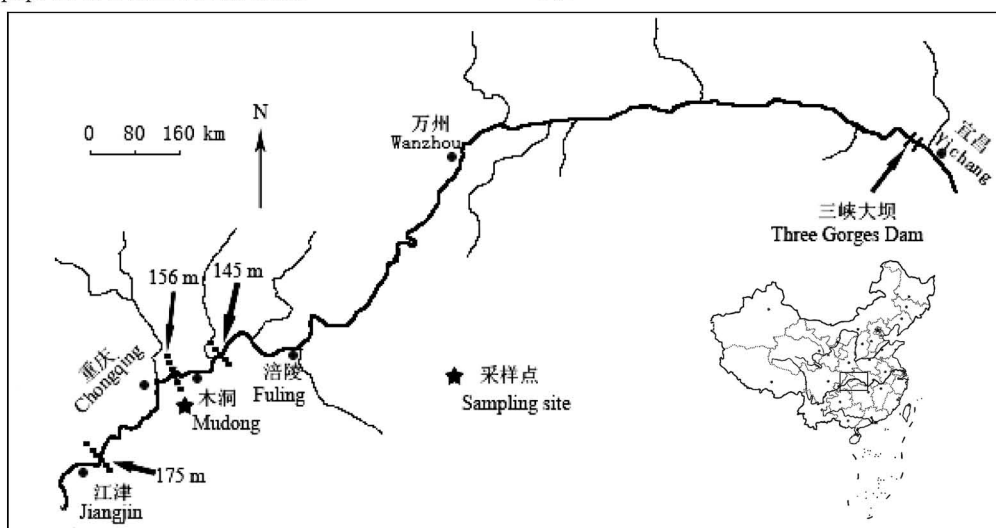


图1 调查采样点示意图(虚线分别表示145 m、156 m和175 m尾水)

Fig. 1 Location of the sampling sites in the Three Gorges Reservoir (These broken lines locate the end of backwater formed by the fillings. Flood control limited water level is 145 m; second filling raised the water level up to 156 m; third filling raised the water level up to 175 m)

1.2 数据分析

1) 群落优势种分析: 依照相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)^[7]进行划分。计算公式为: $IRI = (P_N + P_m)F \times 10^5$ (其中 P_N 为某物种尾数百分比, P_m 为某物种质量百分比, F 为调查期间出现的频率)。本文选取IRI值大于5 000的物种为优势种^[8]。

2) 生物多样性分析: 采用以下多样性特征值进行研究^[9-12]。

Margalef丰富度指数: $D = (S-1)/\ln N$

Shannon-Wiener多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$

Pielou均匀度指数: $J' = H'/\ln S$

上式中, S 为一个取样中的物种总数, N 为一个取样中总尾数, P_i 为第 i 种占总尾数的比例。

3) 群落结构相似性分析: 以木洞江段鱼类的种类和丰度组成原始数据矩阵, 矩阵的样本为采样的18个月份, 矩阵的变量为每个月份中的鱼类种类。

以Bray-Curtis相似性系数为基础构建每个月份间的相似性矩阵, 采用等级聚类(非加权的组平均, 即UPGMA)的分类方法(Cluster analysis)和非度量多维标度排序方法(Non-

metric multidimensional scaling, 简称 MDS)分析木洞江段鱼类群落的结构特征, 在不同相似矩阵的基础上建立聚类分析图和MDS平面图。排序分析时, 以月份的鱼类种类为指标, 将调查月份在二维空间排列, 进行月份的多维标度排序。对物种数据进行处理^[13], 去除尾数百分比小于1%的种类后对10种主要鱼类进行物种的聚类 and 排序分析。任意两样本的距离代表它们的相似程度。距离越近, 相似程度越高。检验MDS分析结果的优劣根据胁迫系数(Stress)来衡量。0 < stress < 0.01, 完全可信; 0.01 < stress < 0.05, 可信的; 0.05 < stress < 0.1, 基本可信; 0.1 < stress < 0.2, 仍有参考价值, 具有一定意义, 但某些细节不可信; 0.2 < stress < 0.3, 几乎是任意的, 不可信^[14-16]。

通过相似性分析(Analysis of similarities, 简称 ANOSIM)来检验不同矩阵间差异的显著性, 组内所有站位的平均秩相似性与组间所有站位间的平均秩相似性之间的差异用 R 表示, 域值为-1~1。R值通常在0~1之间, 表示站位间组内和组间的差异程度; 当 R 值为1时, 所有站位间种类组成的相似性高于不同组间任何站位的相似性; R 值接近0时的零假设成立, 表明组内和组间具有相同的相似性。由于不同组间的相似性高于组内的相似性, 故 R 值小于0时是不太可能的^[14-16]。

群落结构分析使用PRIMER 5.0软件包(Plymouth Marine Laboratory, UK)完成。

2 结果与分析

2.1 水文变化

从图2的水温变化可看出, 从2007年8月~2008年2月水温逐渐递减至最低水温, 2008年2~7月水温逐渐递增至最高水温, 2008年7~11月水温又有逐渐降低的趋势。从三峡上游水位变化可以看出, 2007年7~9月约144 m, 10月后上涨, 2007年10月~2008年1月约155 m运行, 随后2008年6~9月退至约145 m运行, 10月底再上升至约162 m, 11月三峡试验性蓄水到172 m, 水位达最高。

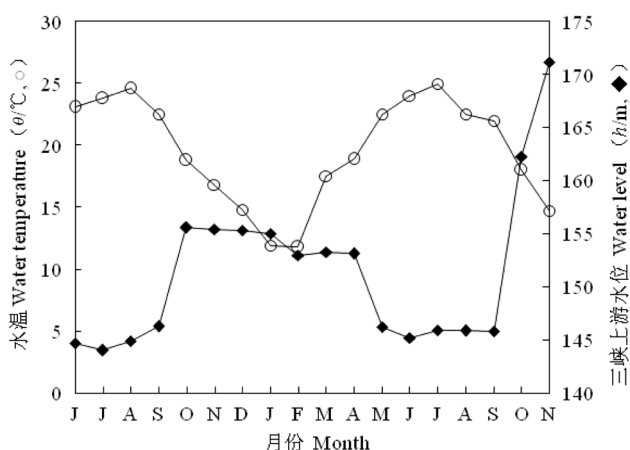


图2 三峡库区木洞江段水温和三峡上游水位的月变化
Fig. 2 Monthly water temperature at Mudong section and monthly water level of the Three Gorges Reservoir

2.2 鱼类种类组成

本次调查共采集到鱼类4 739尾, 24.95 kg, 共38种, 隶属于3目7科21属(表1)。其中, 鲤科鱼类比例最高, 共21种, 占55.3%; 其次是鳊科, 7种, 占18.4%; 鲃科4种, 占10.5%; 平鳍鳅科和鲴科各2种, 占5.3%; 鮡科和鰕虎鱼科各1种, 仅占2.6%。渔获物中还包括圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、长鳍吻鲈(*Rhinogobio ventralis*)、中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)、圆筒吻鲈(*Rhinogobio cylindricus*)、异鳃鲃(*Xenophysogobio boulengeri*)、小眼薄鳅(*Leptobotia microphthalmia*)、张氏鲃(*Hemiculter tchangi*)等7种长江上游特有鱼类。渔获物以小型鱼类或幼鱼为主, 绝大多数鱼类体长不超过150 mm。

2.3 优势种

根据相对重要性指数(IRI)的计算结果, 圆口铜鱼(*C. guichenoti*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)、宜昌鳊鲴(*Gobiobotia filifer*)、铜鱼(*C. heterodon*)、光泽黄颡鱼

表1 三峡库区木洞江段鱼类种类组成

Table 1 Species composition of fishes in Mudong section of the Three Gorges Reservoir

科 Family	种类 Species	质量 Weight (m/g)	质量百分比 Percent (P/%)	尾数 Number	尾数百分比 Percent (P/%)	体长范围 Size (l/mm)
鲤科 Cyprinidae	飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	139.9	0.56	16	0.34	45~139
	寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	66.2	0.27	9	0.19	55~123
	鲃 <i>Hemiculter leucisculus</i>	41.8	0.17	5	0.11	84~111
	贝氏鲃 <i>Hemiculter bleekeri</i>	137.7	0.55	13	0.27	78~119
	张氏鲃 <i>Hemiculter tchangi</i> ¹⁾	11.8	0.05	2	0.04	75~93
	蛇鲈 <i>Saurogobio dabryi</i>	1593.4	6.39	176	3.71	37~158
	长蛇鲈 <i>Saurogobio dumerili</i>	6.2	0.03	1	0.02	82
	光唇蛇鲈 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	451.9	1.81	35	0.74	76~159
	吻鲈 <i>Rhinogobio typus</i>	453.8	1.82	18	0.38	27~219
	长鳍吻鲈 <i>Rhinogobio ventralis</i> ¹⁾	368.7	1.48	53	1.12	24~137
	圆筒吻鲈 <i>Rhinogobio cylindricus</i> ¹⁾	593.7	2.38	35	0.74	21~213
	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	1764.8	7.07	109	2.30	29~225
	圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i> ¹⁾	7264.3	29.12	1075	22.68	20~193
	银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	163.6	0.66	29	0.61	28~106
	唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	4.3	0.02	3	0.06	41~48
	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	4.0	0.02	1	0.02	61
	似鲮 <i>Pseudogobio vaillanti</i>	178.3	0.71	10	0.21	48~132
	似鲮 <i>Pseudobrama simony</i>	15.7	0.06	1	0.02	92
	宜昌鳊鲴 <i>Gobiobotia filifer</i>	3343.4	13.40	1204	25.41	21~100
	异鳃鲃 <i>Xenophysogobio boulengeri</i> ¹⁾	59.8	0.24	67	1.41	26~65
	鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.4	<0.01	1	0.02	26
平鳍鳅科 Homalopteridae	犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	1.7	0.01	3	0.06	34~58
	中华金沙鳅 <i>Jinshaia sinensis</i> ¹⁾	1.0	<0.01	3	0.06	28~44
鳅科 Cobitidae	薄鳅 <i>Leptobotia pellegrini</i>	1.3	0.01	1	0.02	45
	紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i>	29.4	0.12	5	0.11	40~85
	小眼薄鳅 <i>Leptobotia microphthalmia</i> ¹⁾	11.6	0.05	2	0.04	52~85
	花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	24.0	0.10	1	0.02	140
鳊科 Bagridae	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	51.6	0.21	29	0.61	27~64
	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	1693.0	6.79	448	9.45	25~128
	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	5350.0	21.45	1247	26.31	22~156
	长吻鲿 <i>Leiocassis longirostris</i>	605.9	2.43	53	1.12	32~254
	粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>	147.3	0.59	13	0.27	46~140
	凹尾拟鲿 <i>Pseudobagrus emarginatus</i>	2.0	0.01	1	0.02	48
	短尾拟鲿 <i>Pseudobagrus brevicaudatus</i>	41.1	0.16	3	0.06	73~110
鲴科 Siluridae	鲴 <i>Silurus asotus</i>	98.1	0.39	2	0.04	58~404
	南方鲴 <i>Silurus meridionalis</i>	100.1	0.40	2	0.04	63~169
鮡科 Sisoridae	中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>	119.7	0.48	61	1.29	21~73
鰕虎鱼科 Gobiidae	子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	3.8	0.02	2	0.04	37~52
合计 Total		24945.5	100.00	4739	100.00	

¹⁾ 长江上游特有鱼类 ¹⁾ Endemic to the Upper Yangtze River

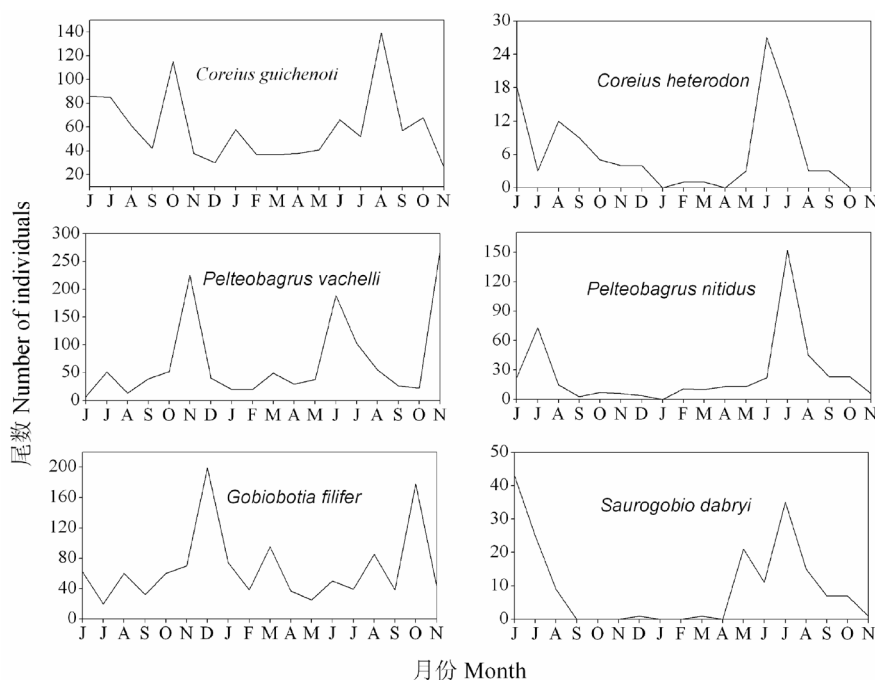


图3 三峡库区木洞江段鱼类优势种类丰度月变化

Fig. 3 Monthly variation of dominant species abundance of fish community in Mudong section of the Three Gorges Reservoir

(*Pelteobagrus nitidus*) 和蛇鮈 (*Saurogobio dabryi*) 为木洞江段的优势种, 合计占总尾数的89.87%, 其中圆口铜鱼为最优种, 占总尾数的22.70%。

从图3可以看出, 几种优势种在各月均占一定数量, 但也有一定的波动。圆口铜鱼以夏季和秋季较多, 瓦氏黄颡鱼在2007年11月~2008年11月所占比例较大, 宜昌鳅鮡也以秋冬季较多, 铜鱼、蛇鮈、光泽黄颡鱼的出现呈现明显的季节性, 主要出现在夏季。

2.4 生物多样性指数的月变化

2007年6月~2008年11月三峡库区木洞江段鱼类多样性指数变化见图4。Margalef丰富度指数 (D) 与Shannon-Wiener

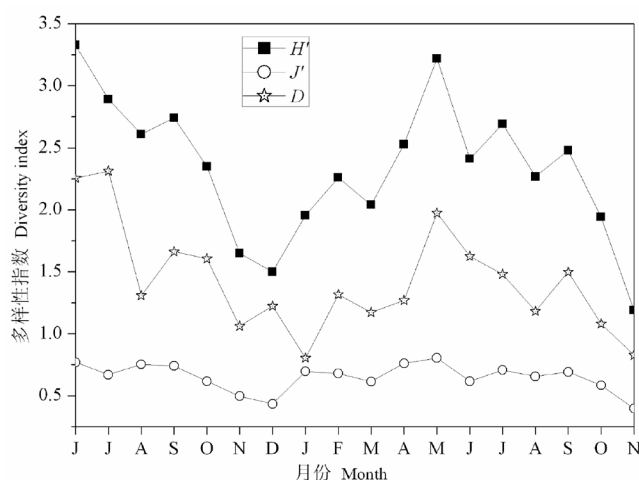


图4 三峡库区木洞江段鱼类多样性指数月变化

Fig. 4 Monthly variation of the diversity indices of fish community in Mudong section of the Three Gorges Reservoir

H' : Shannon-Wiener多样性指数; J' : Pielou均匀度指数; D : Margalef丰富度指数
 H' : Shannon-Wiener index; J' : Pielou evenness index; D : Margalef richness index

多样性指数 (H') 在夏季月份较高, 其他月份较低。Margalef丰富度指数在2008年7月达最高 (2.313 0), 2008年1月为最低 (0.805 2); Shannon-Wiener多样性指数在2007年6月达最高 (3.327 9), 2008年11月为最低 (1.190 0)。而Pielou均匀度指数 (J') 相对较稳定, 在1~9月变化不大, 在10月开始明显减小, 12月可能达到最小值。

2.5 鱼类群落结构分析

2.5.1 月份间分析 根据等级聚类分析可知, 在61.23%的Bray-Curtis相似性水平上可将18个调查月份分为两个类群: 类群I包括2007年8~12月份、2008年1~4月份和2008年8~11月份; 类群II包括2007年6、7月份和2008年5~7月份, 主要为夏季月份 (图5)。

MDS排序的胁强系数 (Stress) 在0.1~0.2之间, 表明MDS排序的二维点阵图结果是可以接受的。聚类分析的两个组别在MDS图上也有所反映, 类群I分布在排序图的左边, 类群II分布在排序图的右边。应用ANOSM分析进行显著性检验, 月份的检验结果为 $R = 0.634$ ($R < 1$), P (level%) = 0.1% ($P < 0.05$), 表明两个群聚存在显著性差异。

2.5.2 物种间分析 对三峡库区木洞江段18个月份调查的10种主要鱼类进行了CLUSTER聚类和MDS排序分析 (图6)。MDS排序的胁强系数为0.02, 表明MDS排序的二维点阵图可以很好地解释鱼类物种间的相似关系。在34.81%的Bray-Curtis相似性水平上将鱼类物种分为两个类群, 应用ANOSM分析进行显著性检验, 物种的检验结果为 $R = 0.634$ ($R < 1$), P (level%) = 1% ($P < 0.05$), 表明两个群聚存在显著性差异。类群A包括蛇鮈、光泽黄颡鱼、宜昌鳅鮡、圆口铜鱼、瓦氏黄颡鱼、异鳔鳅鮡, 大部分物种在各月都占较大数量; 类群B包括中华纹胸鮡 (*Glyptothorax sinense*)、长吻鮡 (*Leiocassis longirostris*)、铜鱼、长鳍吻鮡, 主要出现在夏季月份。

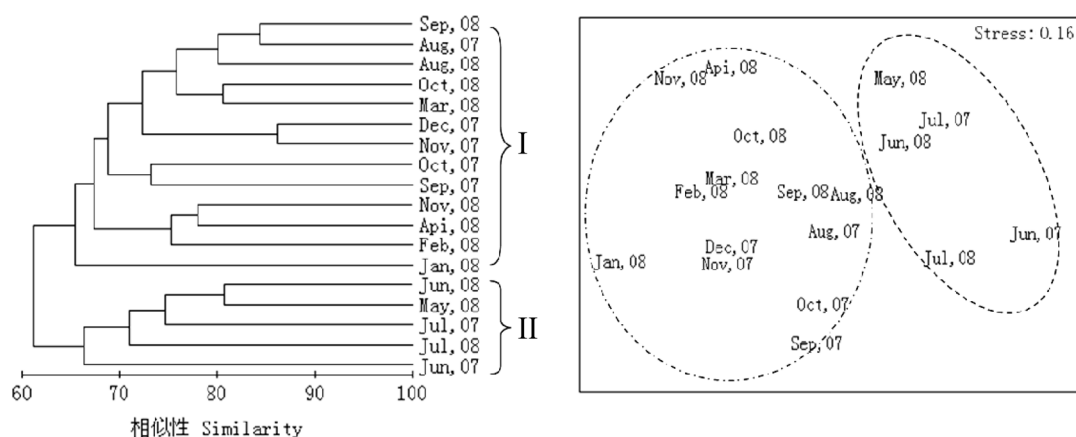


图5 三峡库区木洞江段18个月鱼类丰度的聚类分析图

Fig. 5 Dendrogram and MDS ordination plot of monthly fish abundance data obtained from Mudong section of the Three Gorges Reservoir, between June 2007 and November 2008

排序分析胁迫系数=0.16 Stress for the MDS ordination = 0.16

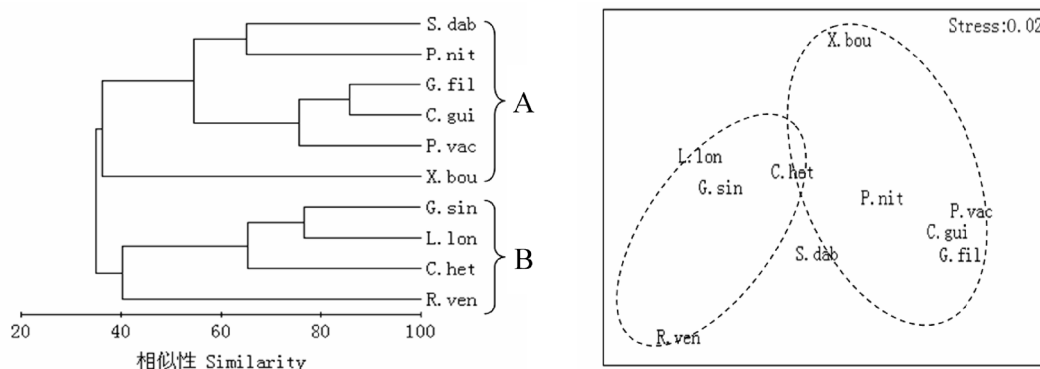


图6 三峡库区木洞江段18个月鱼类物种的聚类分析图

Fig. 6 Dendrogram and MDS ordination plot showing similarity between fish species in the 18 sampling months in Mudong section of the Three Gorges Reservoir

排序分析胁迫系数=0.02 Stress for the MDS ordination = 0.02

C. gui: 圆口铜鱼 *Coreius guichenoti*; *P. vac*: 瓦氏黄颡鱼 *Pelteobagrus vachelli*; *G. fil*: 宜昌鳅鲇 *Gobiobotia filifer*; *C. het*: 铜鱼 *Coreius heterodon*; *P. nit*: 光泽黄颡鱼 *Pelteobagrus nitidus*; *S. dab*: 蛇鮈 *Saurogobio dabryi*; *L. lon*: 长吻鮠 *Leiocassis longirostris*; *R. ven*: 长鳍吻鮠 *Rhinogobio ventralis*; *G. sin*: 中华纹胸鮡 *Glyptothorax sinense*; *X. bou*: 异鳔鳅 *Xenophysogobio boulengeri*

3 讨论

本次调查以小型鱼类或大个体鱼类的幼鱼为主, 种类较丰富, 但是仅有圆口铜鱼等几种鱼类占优势, 大部分物种数量较少。这可能是因为木洞江段处在三峡库区, 受三峡蓄水的影响, 水环境不稳定, 大部分物种零星出现。优势种中铜鱼、光泽黄颡鱼、蛇鮈在夏季大量出现, 长鳍吻鮠、中华纹胸鮡、长吻鮠等鱼类在夏季也补充进来, 可能处在鱼类繁殖季节。故Margalef丰富度指数 (D) 与Shannon-Wiener多样性指数 (H') 在夏季月份较高, 其他月份较低。

月份聚类分析较好地将调查月份分成两个月份组, 两个月份组在MDS图上也有所反映 (图5), 说明聚类分析产生了较一致的结果, 客观地表现了三峡库区木洞江段鱼类群落季节性波动的特征。温度是决定库区鱼类生物群落结构变化的关键性非生物因子之一, 例如温度影响库区鱼类的繁殖、生存以及生境利用^[17-20]。水位的变化影响自然系统和水库物种的相互关系及群落结构^[5, 21]。本研究类群I为夏季月份, 三峡水库低水位运行, 回水未达木洞江段, 适应流水生活的鱼类增多, 另外水温较高, 处于鱼类繁殖季节, 上游产漂流

性卵的鱼类产生的卵漂流至木洞江段生长^[22], 因此类群I种类和丰度较高; 类群II的大部分月份水位较高, 水温较低, 种类和丰度相对较低。可见水位和水温应该是影响木洞江段鱼类群落结构的重要因素。

主要鱼类物种的聚类分析 (图6) 也揭示了物种季节性波动的特征。类群A中蛇鮈、光泽黄颡鱼、宜昌鳅鲇、圆口铜鱼、瓦氏黄颡鱼为木洞江段的优势种, 除蛇鮈、光泽黄颡鱼存在明显季节波动, 其它种类在各月均占一定数量 (图3), 应该是木洞江段的定居种; 类群B是季节性出现的种类, 中华纹胸鮡、长吻鮠、长鳍吻鮠主要出现在夏季月份, 铜鱼虽然是优势种, 但夏季数量较多, 其它月份零星出现。

本研究中调查的渔具船罟对鱼类有一定的选择性, 调查的江段也有一定的局限, 也许不能完全反映木洞江段鱼类群落结构, 今后应该对三峡库区鱼类资源进行大尺度、长时间的调查, 更好地揭示三峡库区鱼类群落结构时空变化规律, 本研究结果能够为后续三峡库区鱼类调查和管理工作提供一定的参考。未能调查到的其他非生物因素 (溶解氧、透明度、pH等) 和生物因素 (物种间的相互影响、人为因素、饵料

生物的丰度等)可能对三峡库区木洞江段鱼类生物群落结构也有一定的影响,还需要进一步的调查和研究。

致谢 何学福、但胜国、罗毅平老师,姜伟、丁宝清、吴斌、辛建峰、林鹏程、陈怡宏、周灿等同学参与了野外采样工作。

References

- 1 四川省长江水产资源调查组. 四川省长江干流鱼类及鱼类资源调查报告. 四川省长江水产资源调查资料汇编, 1975. 1~22
- 2 Liu JK (刘建康), Cao WX (曹文宣). Fish resources of the Yangtze river basin and the tactics for their conservation. *Res & Environ Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 1992, **1** (1): 17~23
- 3 Duan XB (段辛斌), Chen DQ (陈大庆), Liu SP (刘绍平), Chi CG (池成贵), Yang RH (杨如恒). Studies on status of fishery resources in Three Gorges Reservoir reaches of the Yangtze river. *Acta Hydrobiol Sin* (水生生物学报), 2002, **26** (6): 605~611
- 4 Wu Q (吴强), Duan XB (段辛斌), Xu SY (徐树英), Xiong CX (熊传喜), Chen DQ (陈大庆). Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River. *Freshwater Fish* (淡水渔业), 2007, **37** (2): 70~75
- 5 Ploskey GR. Management of the physical and chemical environment: Effects of water-level changes on reservoir ecosystems, with implications for fisheries management. In: Hall GE, Van Den Avyle MJ eds. *Reservoir Fisheries Management: Strategies for the 80's*. Bethesda, Maryland, USA: Southern Division of the American Fisheries Society, 1986. 86~97
- 6 Ding RH (丁瑞华). *The Fishes of Sichuan, China*. Chengdu, China: Sichuan Publishing House of Science & Technology (成都: 四川科学技术出版社), 1994
- 7 Pinkas L, Oliphant MS, Iverson LK. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish Bull*, 1971 (152): 1~105
- 8 Zhang JB (张家波), Fan QX (樊启学), Wang WM (王卫民). 老江河鱼类种类多样性和优势种的初步研究. *Freshwater Fish* (淡水渔业), 1998, **28** (6): 14~17.
- 9 Margalef DR. Information theory in ecology. *Gen Syst*, 1958 (3): 36~71
- 10 Shannon CE, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1949
- 11 Pielou EC. *Mathematical Ecology*. New York, USA: John Wiley, 1977. 385
- 12 Liu QG (刘其根), Kong YJ (孔优佳), Chen LQ (陈立侨), Pu YF (卜一凡), Yan WB (严卫兵). Effect of pen aquaculture on community structure and species diversity of zoobenthos in Gehu lake. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2005, **11** (5): 566~570
- 13 Gauch HC. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Translated by Yang C (杨持), Yang ZZ (杨在中), Hao DY (郝敦元), Zeng SD (曾泗弟). Beijing, China: Science Press (北京: 科学出版社), 1989
- 14 Clarke KR. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust J Ecol*, 1993, **18**: 117~143.
- 15 Clarke KR, Gorley RN. *PRIMER v5: User manual/tutorial*. Plymouth, UK: Primer-E, 2001.
- 16 Clarke KR, Warwick RM. *Changes in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd Ed. Plymouth, UK: Primer-E, 2001
- 17 Irwin ER, Bettoli PW. Introduced clupeids in a southern reservoir: More evidence for system-specific reproductive styles. *Environ Biol Fishes*, 1995 (42): 151~159
- 18 Harper JL, Nammunga HE. Fish population trends in Texoma Reservoir following establishment of striped bass. In: Hall GE, Van Den Avyle MJ eds. *Reservoir Fisheries Management: Strategies for the 80's*. Bethesda, Maryland, USA: Southern Division of the American Fisheries Society, 1986. 156~165
- 19 Matthews WJ, Hill LG, Schellhaass SM. Depth distribution of striped bass and other fish in Lake Texoma (Oklahoma-Texas) during summer stratification. *Trans Amer Fisheries Soc*, 1985 (114): 84~91
- 20 Gido KB, Matthews WJ, Montgomery WL. Dynamics of the offshore fish assemblage in a southwestern reservoir (Lake Texoma, Oklahoma-Texas). *Copeia*, 2000. 917~930
- 21 Werner EE, Hall DJ, Werner MD. Littoral zone fish communities of two Florida lakes and a comparison with Michigan lakes. *Environ Biol Fishes*, 1978 (3): 163~172
- 22 Cao WX (曹文宣). 有关长江流域鱼类资源保护的几个问题. *Resour & Environ Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2008, **17** (2): 163~164