

DOI: 10.5846/stxb201309302395

杨志,唐会元,朱迪,刘宏高,万力,陶江平,乔晔,常剑波.三峡水库 175 m 试验性蓄水期库区及其上游江段鱼类群落结构时空分布格局.生态学报,2015,35(15):5064-5075.

Yang Z, Tang H Y, Zhu D, Liu H G, Wan Li, Tao J P, Qiao Y, Chang J B. Spatiotemporal patterns of fish community structures in the Three Gorges Reservoir and its upstream during the 175-m-deep impoundment. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5064-5075.

三峡水库 175 m 试验性蓄水期库区及其上游江段鱼类群落结构时空分布格局

杨 志,唐会元,朱 迪,刘宏高,万 力,陶江平,乔 晔,常剑波*

水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,水利部中国科学院水工程生态研究所,武汉 430079

摘要: 根据 2010—2012 年在三峡水库及其上游江段 5 个江段的商业性渔获物调查结果,对该区域鱼类群落结构的时空分布格局进行了分析。调查中共收集到鱼类 87 种,隶属于 8 目 18 科 63 属。沿坝前江段溯河而上至库尾以上流水江段,鱼类种类数逐渐增加。采用聚类分析(CA)和非度量多维标度(NMDS)方法对三峡水库 175 m 试验性蓄水期间各江段的鱼类种类组成进行分析,发现这 5 个调查江段的鱼类种类组成可以分为两个类群:类群 I 包括秭归、巫山、云阳 3 个库区的江段,其鱼类种类组成在各年间的差异程度较大;而类群 II 包括库尾的涪陵江段以及上游的江津江段,其鱼类种类组成在各年间差异程度较小。采用 CA 和 NMDS 方法对鱼类群落结构时空分布格局的分析结果表明,5 个调查江段的鱼类群落结构在各年间可以分为不同类群;云阳与涪陵江段的鱼类群落结构的相似性逐年增加,而与秭归、巫山江段的相似性逐年减少;涪陵江段与江津江段的鱼类群落结构相似性也呈逐年减少趋势。总体而言,175m 试验性蓄水对库中和库尾江段的鱼类群落结构的影响较大,但对库首以及库尾以上流水江段的影响均较小。

关键词: 三峡水库; 蓄水; 鱼类; 种类组成; 群落结构; 时空分布格局; 聚类分析; 非度量多维标度

Spatiotemporal patterns of fish community structures in the Three Gorges Reservoir and its upstream during the 175-m-deep impoundment

YANG Zhi, TANG Huiyuan, ZHU Di, LIU Honggao, WAN Li, TAO Jiangping, QIAO Ye, CHANG Jianbo*

Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China

Abstract: The Three Gorges Dam on the Yangtze River is one of the largest dams in the world. The water level of the Three Gorges Reservoir (TGR) reached up to 135 m during the first stage of impoundment in 2003 and up to 156 m during the second stage of impoundment in 2006. The third stage of impoundment was conducted in September 2010, during which the water level in the TGR raised to 175 m. Previous studies showed that environmental changes that resulted from the two previous impoundments of the TGR have consequently caused changes in the species composition and structure of the fish communities in the TGR. However, only a few studies were conducted to determine the effect of the 175-m-deep experimental impoundment, which is the highest water level of the TGR, on the fish communities. In this study, we conducted surveys of the commercial catch over 167 days from 2010 to 2012 in five sections of the main stream (Zigui, Wushan, Yunyang, Fuling, and Jiangjin) located in the TGR and the upper Yangtze to reveal the spatiotemporal changes in the structure of the fish communities. A total of 87 fish species belonging to eight orders, 18 families, and 63 genera were

基金项目: 国家自然科学基金项目(51209151, 51179109, 51379134); 三峡工程与环境监测系统项目(SX[2010]-009); 中国长江三峡集团公司项目(0799527)

收稿日期: 2013-09-30; **修订日期:** 2014-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jbchang@mail.ihe.ac.cn

recorded during these surveys. The number of species gradually increased from the front reservoir to the tail reservoir in the annual surveys. Cluster analysis (CA) and nonmetric multidimensional scaling (NMDS) resolved two groups of fish species at the five surveyed sections with Jaccard similarity of 58.60% ($R=0.883$, $P<0.01$). In particular, the species inhabiting the front and middle reservoirs, including the Zigui, Wushan, and Yunyang sections, were classified into one group. that had significant variations were observed among all years of the three sections. The species inhabiting the tail reservoir and the upper Yangtze River, including the Fuling and Jiangjin sections, were classified as another group that did not exhibit significant annual variations in the species compositions. Moreover, CA and NMDS showed that the spatial pattern of fish communities varied yearly. The annual increase in the similarity of fish communities was observed between the Yunyang and Fuling sections, and annual decrease was observed between the Yuyang and Zigui/Fuling sections as well as between the Fuling and Jiangjin sections. In summary, the front reservoir was dominated by lentic species, such as *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenceinnes in Cuvier et Valenciennes), *Pseudobrama simoni* (Bleeker), *Aristichthys nobilis* (Richardson), and *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky). The tail reservoir and upper Yangtze River were dominated by lotic species, such as *Coreius heterokon* (Bleeker), *Coreius guichenoti* (Sauyage et Dabry), *Rhinogobio ventralis* (Savage et Dabry), and *Rhinogobio cylindricus* (Günther). Additionally, species in the middle and tail reservoirs shifted from lotic species to lentic species with the increase in water level of the TGR. This study shows that the 175-m-deep experimental impoundment of the TGR immediately affected the structures of fish communities in the TGR, especially in the middle and the tail reservoirs, possibly because of the alteration of flow regimes that results from the increasing water level.

Key Words: the Three Gorges Reservoir; impoundment; fish; species composition; community structure; temporal and spatial distribution pattern; cluster analysis(CA); non-metric multidimensional scaling(NMDS)

三峡水库位于湖北省西部和重庆市东、中部,幅员面积约 5.8 万 km^2 ,鱼类资源丰富,历史上是多种珍稀、特有鱼类的盛产地和栖息场所^[1-2]。三峡水库经过多次蓄水,其中在 2003 年 6 月蓄水至 135 m,在 2006 年 9 月二期蓄水至 156 m,在 2008 年 10 月蓄水至 172 m,在 2010 年 10 月 26 日,其试验性蓄水成功蓄至 175 m,首次达到工程设计的最高蓄水位^[3]。国内外研究表明,库区倒灌后,库区江段的水文、水化学等特征将会发生较大的变化^[4-5],而库区江段内的水生生物包括鱼类的种类组成和群落结构也会随之发生变化^[6-7]。

已有部分学者对三峡库区的渔业资源^[8-9]、群落结构^[10-11]以及鱼类时空分布格局^[12-13]等进行了研究,但研究主要集中在三峡水库 172 m 蓄水以前以及部分江段(主要为过渡带水域),缺乏对 175 m 试验性蓄水期间库区及其库尾上游自然河道鱼类种类组成和群落结构的动态变化,特别是逐年变化的对比研究。本研究基于 2010—2012 年在三峡库区 5 个江段的渔获物调查数据,采用多种数据统计方法,对 175 m 试验性蓄水期间三峡库区鱼类的种类组成和群落结构的变动特征及其逐年变化进行了研究与分析,旨在通过了解三峡蓄水完成时库区水域鱼类群落的组成特征和变化趋势,为该江段鱼类资源的保护、可持续利用以及三峡工程的生态环境效应评价提供基础参考资料。

1 材料与方法

1.1 调查江段与调查时间

调查江段包括三峡库区干流的秭归(ZG)、巫山(WSH)、云阳(YY)、涪陵(FL)、江津(JJ)5 个江段,其中秭归、巫山调查江段位于库首江段、云阳调查江段位于库中江段、涪陵调查江段位于库尾江段、江津调查江段位于三峡库尾以上的流水江段(图 1)。调查年份为 2010 年至 2012 年,每年均调查两次,每年调查月份为 5—7 月和 10—12 月。不同江段的具体调查时间、调查范围如表 1 所示。

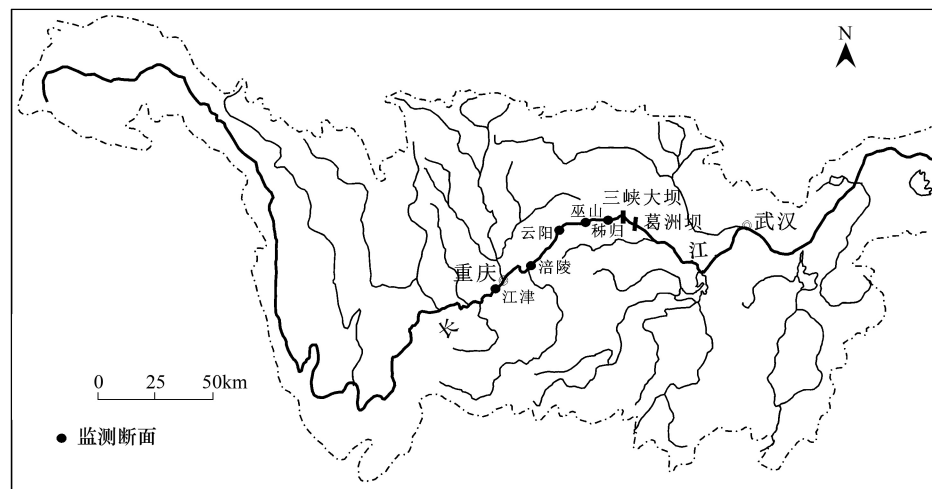


图1 监测江段示意图

Fig.1 Schematic diagram of the monitor sections

表1 2010—2012 年间 5 个调查江段的具体调查时间、调查范围

Table 1 Specific investigated times and areas of five sections from 2010 to 2012

江段 Sections	调查时间 Investigated times			调查范围 Investigated areas
	2010	2011	2012	
秭归	6月25日—6月29日; 11月10日—11月13日	6月20日—6月25日; 11月15日—11月19日	6月10日—6月15日; 11月17日—11月22日	银杏沱—太平溪
巫山	7月1日—7月6日; 11月15日—11月20日	6月26日—7月1日; 11月20日—11月25日	6月16日—6月21日; 11月23日—11月28日	东岗村—建平乡(长江); 大宁河口—姚家坳(大宁河)
云阳	7月7日—7月13日; 11月21日—11月26日	7月2日—7月7日; 11月26日—12月1日	6月22日—6月27日; 11月29日—12月4日	黄坝村—江南村;小江河口
涪陵	7月14日—7月18日; 11月27日—12月2日	7月8日—7月12日; 12月2日—12月7日	6月29日—7月7日; 12月5日—12月10日	平垣村—石家咀(长江); 乌江河口—白涛镇(乌江)
江津	7月19日—7月21日; 12月3日—12月9日	7月13日—7月16日; 12月8日—12月10日	7月8日—7月13日; 12月11日—12月13日	龙华镇—李家河

1.2 调查方法

参照张觉民等^[14]的监测方法,对调查江段的渔业资源进行现场实地调查。调查渔具以定置刺网和虾笼为主,辅以饵料、扳罾、撒网等,其中定置刺网的网目大小为2—10 cm,网高为2—5 m,网长为80—130 m,虾笼长宽为35 cm×45 cm。2010—2012年共计调查167 d,收集各种网具渔获物249船次。对收集的渔获物样本依《四川鱼类志》^[15]、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷)》^[16]、《横断山区鱼类》^[17]等文献进行逐尾鉴定,并逐尾测量鱼类个体的全长(精确到1 mm)、体长(精确到1 mm)、体重(精确到0.1 g)。对个别没有在当时鉴定到种的鱼类标本,用5%—10%的福尔马林浸泡后,运回实验室进行二次鉴定和测量。

1.3 数据分析

(1)群落相似度分析 以Jaccard相似性系数为基础构建不同江段不同年份之间的相似性矩阵,采用等级聚类(非加权的组平均,即UPGMA的分类方法(Cluster analysis, CA))和非度量多维标度排序方法(Non-metric multidimensional scaling,简称NMDS)分析三峡库区及其上游监测江段2010—2012年间各个江段不同年份之间的鱼类种类组成的变化情况;基于主要鱼类种类的丰度,以Bray-Curtis相似性系数为基础构建相同江段不同年份和不同江段不同年份之间的相似性矩阵,采用CA和NMDS方法分析三峡库区及其上游监测江段2010—2012年间相同江段不同年份和不同江段不同年份之间的鱼类群落结构变化^[18-19];本文中,选取各年样本中至少有1年丰度大于1%的种类为该江段的主要鱼类种类;采用单因素的相似性分析(one-way analysis of similarities, one-way ANOSIM)对CA结果进行差异检验,并采用百分比相似性分析(Similarity Percentage,

SIMPER)对丰度聚类分析的结果进行分析,获得引起不同年份之间鱼类群落结构差异的主要种类^[19]。检验 NMDS 分析结果的优劣用胁强系数来衡量,通常认为当胁强系数(Stress) < 0.2 时,可用 NMDS 的二维点图表示,其图形有一定的解释意义;当胁强系数 < 0.1 时,可以认为是一个好的排序;当胁强系数 < 0.05 时,具有很好的代表性^[19]。

(2)参考代应贵和陈毅峰^[20]和朱瑜等^[21]等文献资料,按照生境偏好和产卵类型将所采集到的鱼类划分为喜流水类群和喜静缓流类群,其中喜流水类群为偏好流水生境,且其在自然环境中的产卵过程需要在流水中才能完成的种类,而喜静缓流类群为适应静缓流生境,且其在自然环境中的产卵过程在静缓流中能够完成的种类。

(3)采用 PRIMER 6.0 和 r 软件 3.0.1 版进行 CA、NMDS、SIMPER、One-way ANOSIM 分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 种类组成及其年间变化

2010—2012 年共在三峡库区及其上游干流 5 个江段统计渔获物 249 船次,1331.98 kg,27444 尾,共鉴定出种类 87 种,隶属于 8 目 18 科 63 属。其中以鲤形目的种类数最多,有 4 科 45 属 62 种,占总种类数的 71.26%,鲇形目次之,有 4 科 7 属 13 种,占总种类数的 14.94%(附表 1)。2010—2012 年间,江津江段发现的种类数最多,共有 65 种,其次为涪陵、云阳、巫山江段,分别为 64、54 和 52 种,秭归江段发现的种类数最少,为 51 种(附表 1)。沿坝前江段溯河而上直到库尾以上的流水江段,各江段的种类数逐渐增加(图 2)。87 种调查发现的鱼类中,达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)为国家一级重点保护野生动物,胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)为国家二级重点保护野生动物,达氏鲟、胭脂鱼、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)和长薄鳅(*Leptobotia elongata*)被列入中国濒危动物红皮书保护名录(附表 1)。

CA 结果表明,在 58.60% 的 Jaccard 相似性水平上

可将 5 个监测江段的鱼类种类组成为两个类群:类群 I 包括秭归、巫山和云阳 3 个江段;类群 II 包括涪陵和江津 2 个江段(图 3)。One-way ANOSIM 检验显示类群 I 和类群 II 的种类组成在统计学上差异显著($R = 1.00, P < 0.01$)。NMDS 图则表明库尾的涪陵江段以及库尾以上的江津江段的鱼类种类组成在各年间差异程度较小,而其他 3 个江段的鱼类种类组成在各年间的差异程度较大(Stress = 0.08 < 0.01)(图 3)。

2.2 生态类型及其年际变化

87 种鱼类中,喜流水类群共有 43 种,占总种数的 49.43%,喜静缓流类群共有 44 种,占总种数的 50.57%。2010—2012 年间,喜流水类群在秭归、巫山、云阳和江津江段渔获物中的种类数上升,而在涪陵江段渔获物中的种类数明显减少;各江段喜静缓流类群在渔获物中的种类数的年际变动趋势与喜流水类群在渔获物中的种类数的年际变动趋势相反(图 4)。所有江段中,不同生态类型鱼类种类数在巫山和涪陵江段改变最为明显,而在其他江段变化不大,其中又以秭归江段改变程度最小(图 4)。

2.3 渔获物结构

5 个调查江段排在重量百分比前 10 位的种类如下表 2 所示,其中在三峡库区秭归至涪陵江段,以鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲤(*Cyprinus (Cyprinus) carpio*)、鳊(*Aristichthys nobilis*)、鳊(*Parabramis*

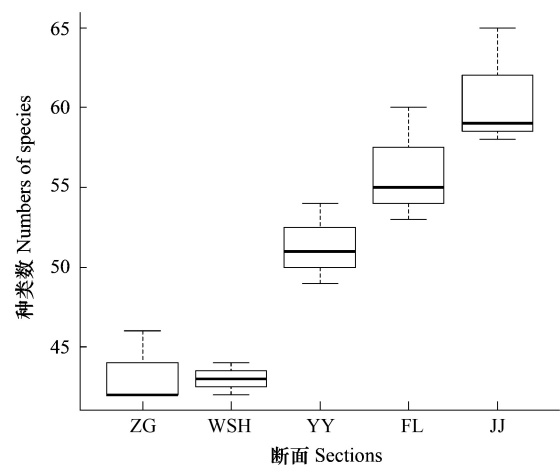


图2 三峡水库及其上游江段 5 个调查江段的鱼类种类数 (2010—2012 年)

Fig.2 Fish species numbers of five investigated sections in the Three Gorges Reservoir and its upstream (2010—2012)

ZG: 秭归江段; WSH: 巫山江段; YY: 云阳江段; FL: 涪陵江段; JJ: 江津江段

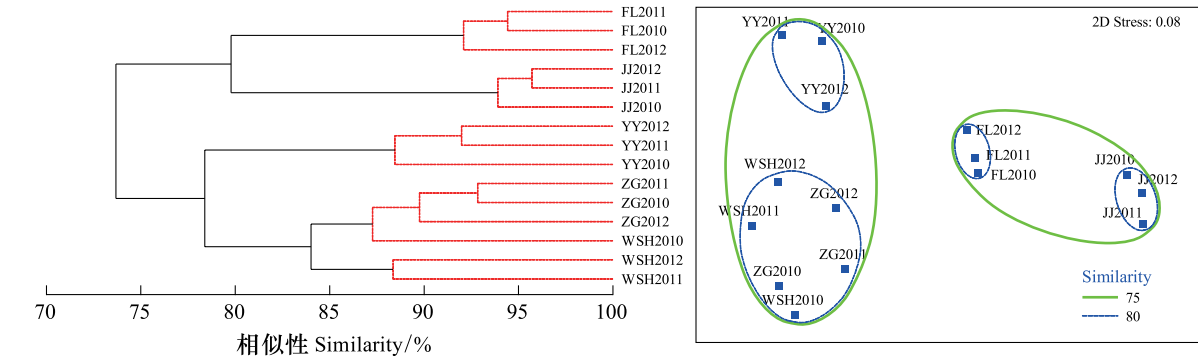


图 3 2010—2012 年间 5 个调查江段的鱼类种类组成聚类图和 NMDS 图

Fig.3 Cluster analysis and NMDS of fish species compositions of five investigated sections from 2010 to 2012

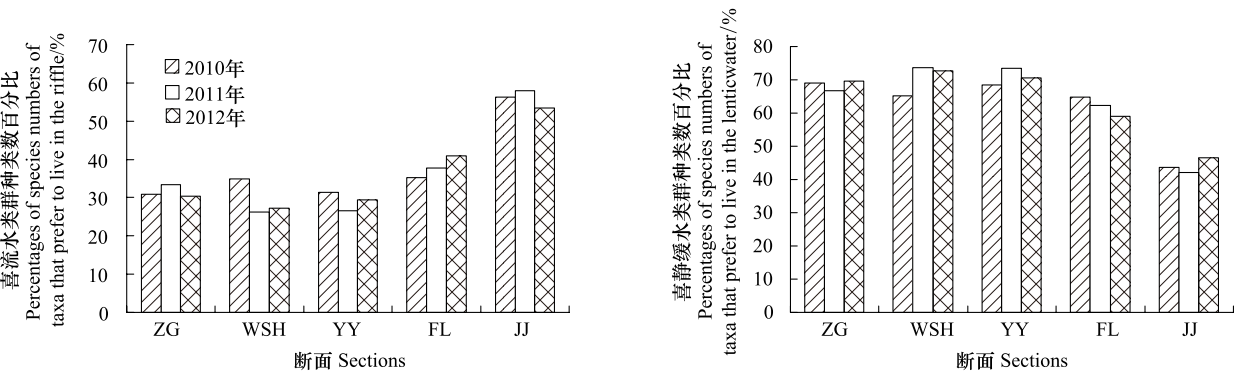


图 4 2010—2012 年间 5 个调查江段鱼类的生态类型及其年际变化

Fig.4 Ecotypes and their inter-annual variations of five investigated sections from 2010 to 2012

pekinensis)、餐鱼(*Hemiculter leucisculus*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)等鱼类在渔获物中所占的重量百分比比较高,但在云阳及其以上江段,圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)、蛇鲡(*Saurogobio dabryi*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)等鱼类在渔获物中的重量百分比逐渐增加;在库区上游江津江段,则以铜鱼、圆口铜鱼、长鳍吻鲡(*Rhinogobio ventralis*)、圆筒吻鲡(*Rhinogobio cylindricus*)、长薄鳅(*Leptobotia elongata*)、中华纹胸鲂(*Glyptothorax sinense*)等鱼类在渔获物中所占的重量百分比比较高。

表 2 2010—2012 年间 5 个调查江段的渔获物组成

Table 2 Compositions of fishery catches of five investigated sections from 2010 to 2012

种类 Species	重量百分比 Percentages of weight/%				
	秭归	巫山	云阳	涪陵	江津
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	13.74	32.3	27.6	21.3	
鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	18.03	11.51	9.94	7.5	5.91
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	13.07	4.61	4.92		
鲫 <i>Carassius auratus</i>	8.61	3.81	4.39	8.45	
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	7.4		6.63		
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	5.22				
鲇 <i>Silurus asotus</i>	3.9				
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	3.48				
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	2.55				
餐鱼 <i>Hemiculter leucisculus</i>	2.08	5.01			
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>		7.08		3.13	
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>		4.82	5.37		

续表

种类 Species	重量百分比 Percentages of weight/%				
	秭归	巫山	云阳	涪陵	江津
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>		4.8		11.02	3.72
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>		4.69		3.73	
鳢 <i>Elopichthys bambusa</i>		3.59		6.26	
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>			6.4		3.71
赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>			4.95		
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>			4.85	15.41	6.43
蒙古鲃 <i>Culter mongolicus mongolicus</i>			4.3		
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>				6.19	18.56
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>				5.16	
长鳍吻鮈 <i>Rhinogobio ventralis</i>					9.34
圆筒吻鮈 <i>Rhinogobio cylindricus</i>					8.32
长薄鳅 <i>Leptobotia elongata</i>					4.29
中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>					4.22
吻鮈 <i>Rhinogobio typus</i>					3.42
其它鱼类	21.92	17.78	20.65	11.85	32.08

2.4 群落结构变化

3 年 5 个江段 15 组样本数据可以分为 2 大类,其中 ZG2010、ZG2011、ZG2012、WS2010、WS2011、WS2012、YY2010、YY2011 为 1 个相似类群(类群 A),而 YY2012、FL2010、FL2011、FL2012、JJ2010、JJ2011 和 JJ2012 为另一个相似类群(类群 B),两大类群的 Bray-Curtis 相似性仅为 26.12%(图 5),One-way ANOSIM 检验显示这两个类群的群落结构在统计学上差异显著($R=0.883, P<0.01$)。5 个监测江段的鱼类群落结构的逐年变动情况如图 6 所示,其中在 2010 年时,5 个江段的样本可以清晰地分为 2 大类群,其中秭归、巫山和云阳江段为 1 个类群;涪陵和江津江段为 1 个类群;在 2011 年时,5 个江段的鱼类群落结构可以分为 4 个类群,其中巫山和秭归江段为 1 个类群,而其他 3 个江段分别为 1 个类群;在 2012 年时,5 个江段的鱼类群落结构可以分为 3 个江段,其中秭归和巫山江段为 1 个类群,云阳和涪陵江段为 1 个类群,江津江段为 1 个类群(图 6)。同时,5 个监测江段的逐年变动也表明,云阳江段与涪陵江段的鱼类群落结构的相似性逐年增加,而江津江段与涪陵江段的鱼类群落结构的相似度则呈逐年减少趋势(图 6)。

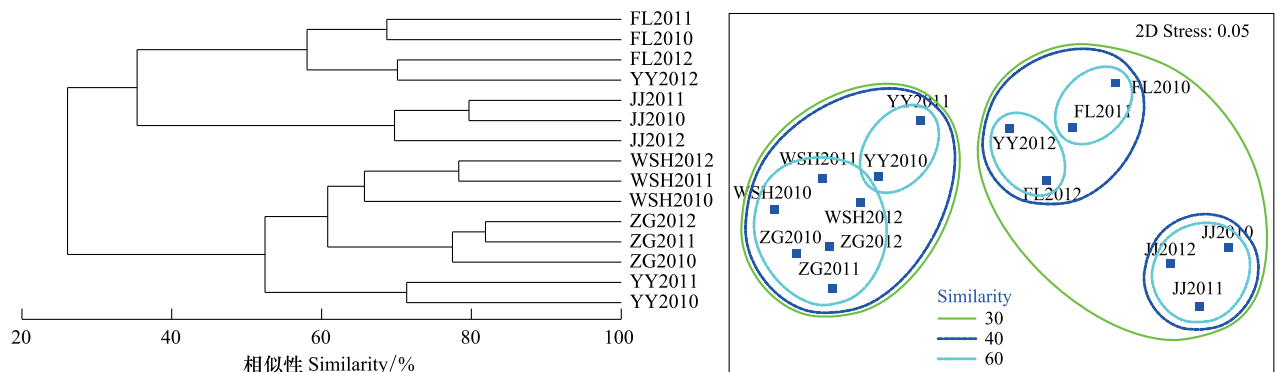


图 5 2010—2012 年间不同江段不同年份鱼类群落结构的 CA 图和 NMDS 图

Fig.5 CA and NMDS of the abundances of fish community structures in different years and different sections from 2010 to 2012

采用百分比相似性指数(SIMPER),比较引起类群 A 和类群 B 鱼类群落结构差异的主要种类(差异贡献率>2%)(表 3)。结果表明,导致类群 A 和类群 B 群落结构差异的种类主要是餐鱼、瓦氏黄颡鱼、中华纹胸鮡、圆口铜鱼、蛇鮈、中华鳊(*Rhodeus sinensis*)、光泽黄颡鱼(*Pelteobagrus nitidus*)、铜鱼、似鳊(*Pseudobrama*

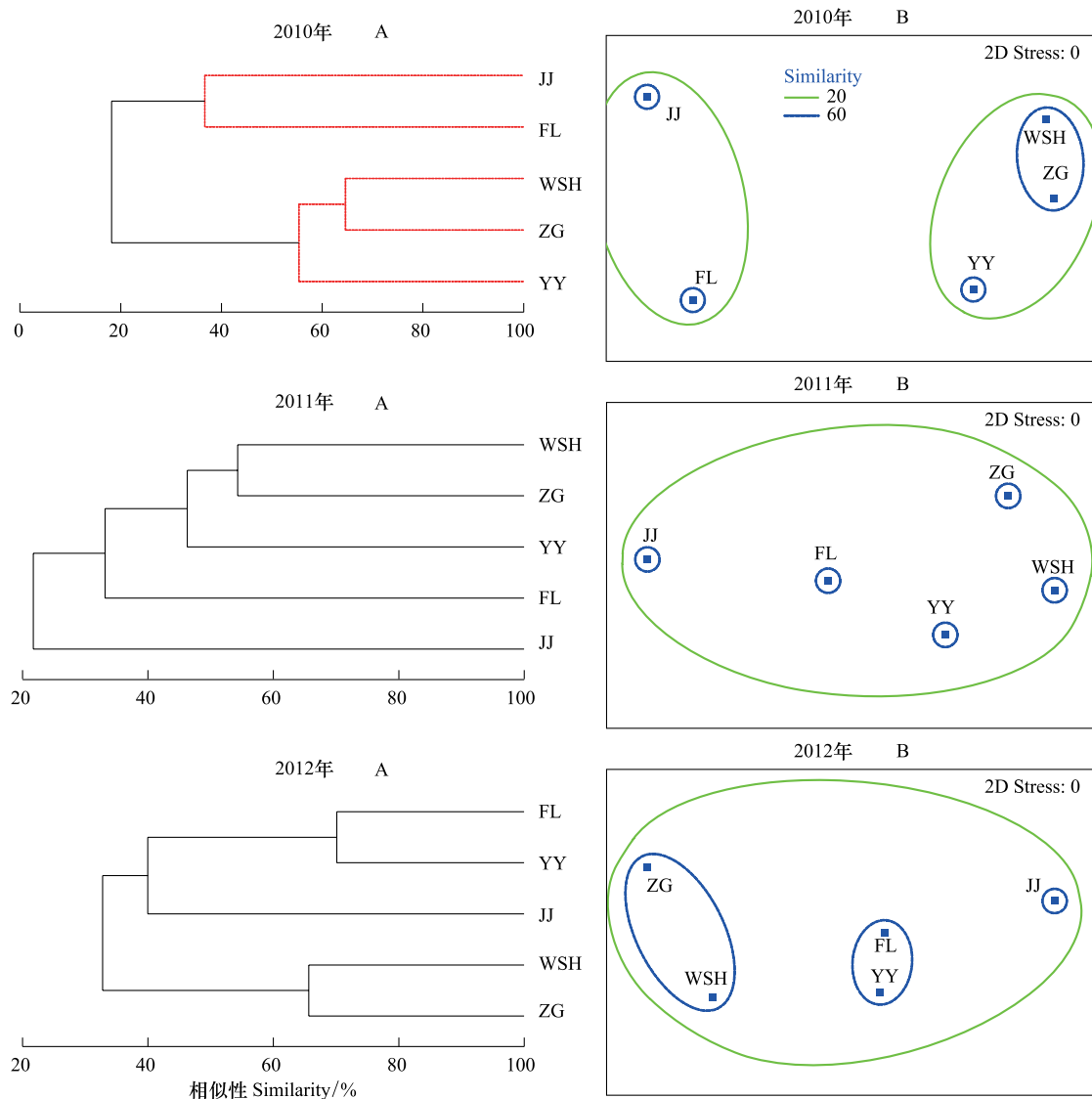


图6 2010—2012年间相同年份不同江段的鱼类群落结构的CA图与NMDS图

Fig.6 CA and NMDS of fish community structures of different sections in the same years from 2010 to 2012

simoni)、鲤等,其中餐鱼、中华鲮、光泽黄颡鱼和鲤在类群A的丰度大于这些鱼类在类群B中的丰度,而瓦氏黄颡鱼、中华纹胸鮡、圆口铜鱼、蛇鮈、铜鱼和似鳊在类群B中的丰度明显大于这些鱼类在类群A中的丰度。类群A以能够在库区自然繁殖,且能够适应静缓流生境的鱼类种类为主,而类群B以喜流水性鱼类或能够适应静缓流生境,但产卵需要流水刺激的种类为主(表3)。

3 讨论

3.1 种类组成的时空变化

20世纪80年代前,在三峡库区江段共有鱼类140种至200种,其中分布有白鲟(*Psephurus gladius*)、中华鲟和胭脂鱼等珍稀特有鱼类40多种^[1];三峡二期蓄水前后的2005至2006年,在库区共发现有鱼类108种,其中白鲟、鲮(*Ochetobius elongatus*)、暗色东方鲀(*Fugu obscurus*)等鱼类在库区内已近绝迹,数量较多的胭脂鱼、岩原鲤、鳊(*Elopichthys bambusa*)、鳗鲡(*Anguilla japonica*)等鱼类的数量锐减^[8],而本次调查共在库区江段调查发现鱼类87种,相较2005—2006年的监测减少了21种,减少的种类包括鳗鲡、南方长须鳅鲃(*Gobiobotia (G.) meridionalis*)、黄石爬鮠(*Euchiloglanis kishinouyei*)、泉水鱼(*Pseudogyrinocheilus prohilus*)、胡子鲇(*Claris*

fuscus)、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)、四川吻鰕虎鱼(*Ctenogobius szechuanensis*)等在库区干流数量很少的种类、或适应急流、流水生境的种类、或外来物种,如鳊鲂为洄游性鱼类,长江上游数量本来不多,泉水鱼、青石爬鮡等为适应急流或流水生境的鱼类,172—175 m 的蓄水倒灌淹没或改变了其原有的自然生境^[22],胡子鲇、斑点叉尾鮰等为外来物种,其在库区未形成种群^[23]。此外,虽然调查中尽量兼顾多种类型捕捞网具,但是由于采样现场条件局限以及采样网具选择及偏好也导致对这些少见种存在捕捞误差。有研究表明不同网具对鱼类种类及其大小、体型等均具有明显的选择性^[24-25]。在本文中,定置刺网主要捕捞的为鲃亚科、鮡亚科、鲤亚科、平鳍鳅科等中体型较大的鱼类,饵钓主要捕捞底层鱼类如黄颡鱼等,而虾笼主要捕捞的为鳅科、鲇形目以及其他体型较小的鱼类。

表 3 引起类群 A 和类群 B 群落结构差异的主要种类组成及其平均差异度

Table 3 Main species compositions result in the community structure differences between taxa A and taxa B and their average dissimilarities of abundances

种类 Species	类群 A 丰度 Abundance in taxa A	类群 B 丰度 Abundance in taxa B	平均差异度/% Average dissimilarity	贡献率 Contribution	累计贡献率 Cumulative%
<i>Hemiculter leucisculus</i>	38.03	3.92	18.04	24.42	24.42
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	2.16	15.48	7.02	9.50	33.92
中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>	0.00	10.65	5.67	7.67	41.60
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	0.32	10.12	5.15	6.97	48.56
蛇鮡 <i>Saurogobio dabryi</i>	4.94	11.97	4.56	6.18	54.74
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	8.69	0.56	4.32	5.84	60.58
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	8.10	4.41	3.34	4.52	65.11
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	0.45	4.22	2.04	2.76	67.87
似鲮 <i>Pseudobrama simoni</i>	1.60	5.00	1.89	2.56	70.43
鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	3.97	0.92	1.62	2.20	72.63

已有研究表明,三峡二期蓄水后,库区万州以及涪陵江段的鱼类种类组成中的流水性鱼类减少,而喜静缓流水的鱼类的种类数增加,水文形势的改变对鱼类种类组成分布的影响比较明显^[10]。Cheng 等对长江流域 5 个浅水湖泊的鱼类群聚结果以及多样性的预测结果表明,在湖泊类型的静水水体中,水深和水温是影响各个湖泊鱼类物种组成及其丰富度的最关键因素^[26];He 等对长江上游本地鱼类的群聚结构和物种丰富度的预测中表明海拔、流域面积、流量、径流量、耕地、坡地草地是区分不同江段鱼类种类丰富度的重要因素^[27],而本文中的 CA 结果表明 5 个监测江段的鱼类种类组成可以分为两个类群,其中类群 I 包括秭归、巫山和云阳 3 个江段,类群 II 包括涪陵和江津 2 个江段,且 NMDS 分析表明云阳江段的鱼类种类组成逐渐向巫山、秭归江段的鱼类种类组成靠近。因此,就这 5 个调查江段而言,175 m 试验性蓄水对云阳江段的鱼类种类组成的影响最大,而影响该江段的鱼类种类组成发生较大变化的最可能的关键因素为水深(受水位变动影响)和流量(水库调度)的改变。

3.2 群落结构的时空变化

群落结构的时空变化取决与水深、盐度、水温、流量、干旱、饵料生物、渔业捕捞等多种因素的作用^[28-30],而蓄水倒灌及其周期性的运行则主要通过水文情势改变导致的生境变化对鱼类的群落结构的变化造成影响^[8,11,31]。本研究中,5 个监测江段的鱼类群落结构经历了从 2010 年分为 2 个类群,到 2011 年分为 4 个类群,以及最终 2012 年分为 3 个类群这个过程,表明 5 个监测江段的鱼类群落结构在三峡正常蓄水运行初期的 2010—2012 年间发生了一定的变化;5 个监测江段中,又以涪陵和云阳江段的鱼类群落结构的相似度在各年间变化最大,表明 175 m 试验性蓄水倒灌引起的生境改变对库中、库尾江段鱼类群落结构的影响较之对库首及其库区上游江段的鱼类群落结构的影响为大。3a 5 个江段的 15 组样本数据的聚类分析的结果也表明,云阳江段和涪陵江段的鱼类群落结构逐渐类似,但这两个江段的鱼类群落结构仍与江津江段的鱼类群落结构存

在较大的相似性。这很可能是这些江段在低水位运行时仍然保持一定流水生境,鱼类群落呈现季节性波动的结果^[32]。从群落结构的相似性水平的逐年变动情况来看,也可以发现,5个江段之间的相似性水平呈逐年增加趋势,其相似性水平平均值从2010年的32.66%上升到2012年的40.64%,表明5个监测江段的鱼类群落结构逐渐趋同,各江段之间的群落结构差异性逐渐减少。由于江津江段在调查期间均保持自然流水河道特征,其受蓄水倒灌的影响很小,因此上述相似性水平的逐年变动表明5个监测江段的鱼类群落结构的变动除受蓄水影响以外,还有其他因素如过度捕捞、水域污染等对监测江段的群落结构变动的影响^[33]。整体而言,175 m试验性蓄水对三峡库区鱼类群落结构的影响主要体现在库中和库尾江段,而对库首以及库尾以上的自然河道的影响均相对较小。

参考文献 (References):

- [1] Fan X G, Wei Q W, Chang J B, Rosenthal H, He J X, Chen D Q, Shen L, Du H, Yang D G. A review on conservation issues in the upper Yangtze River-a last chance for a big challenge: can Chinese paddlefish (*Psephurus gladius*), Dabry's sturgeon, (*Acipenser dabryanus*) and other fish species still be saved?. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, 22(S1): 32-39.
- [2] 曹文宣, 余志堂. 三峡工程对长江鱼类资源影响的初步评价及资源增殖途径的研究//长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社, 1987: 3-17.
- [3] 马琳, 叶绿, 高千红, 樊云. 三峡蓄水初期近坝区水质要素变化分析. *水利水电快报*, 2012, 33(7): 68-70.
- [4] Wu J G, Huang J H, Han X G, Gao X M, He F L, Jiang M X, Jiang Z G, Primack R B, Shen Z H. The Three Gorges Dam: an ecological perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(5): 241-248.
- [5] Yang Z, Wang H, Saito Y, Milliman J D, Xu K, Qiao S, Shi J. Dam impacts on the Changjiang (Yangtze) River sediment discharge to the sea: the past 55 years and after the Three Gorges Dam. *Water Resources Research*, 2006, 42(4): W04407. 1-W04407. 10.
- [6] Xu X B, Tan Y, Yang G S. Environmental impact assessments of the Three Gorges Project in China: Issues and interventions. *Earth-Science Reviews*, 2013, 124: 115-125.
- [7] Chen Y B. Effect of the Three Gorge Project on the sustainable development in the Yangtze River basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(2): 109-113.
- [8] 吴强, 段辛斌, 徐树英, 熊传喜, 陈大庆. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状. *淡水渔业*, 2007, 37(2): 70-75.
- [9] 刘绍平, 段辛斌, 陈大庆, 廖伏初, 陈文静. 长江中游渔业资源现状研究. *水生生物学报*, 2005, 29(6): 708-711.
- [10] Gao X, Zeng Y, Wang J W, Liu, H Z. Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, 87(2): 163-173.
- [11] Yang S R, Gao X, Li M Z, Ma B S, Liu H Z. Interannual variations of the fish assemblage in the transitional zone of the Three Gorges Reservoir: persistence and stability. *Environmental Biology of Fishes*, 2012, 93(2): 295-304.
- [12] 任玉芹, 陈大庆, 刘绍平, 段辛斌, 李世健, 王生, 王珂. 三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学. *生态学报*, 2012, 32(6): 1734-1744.
- [13] 王珂, 李翀, 段辛斌, 陈大庆, 廖文根. 三峡水库 175 m 蓄水前鱼类分布特征研究. *淡水渔业*, 2012, 42(3): 23-27.
- [14] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 农业出版社, 1991.
- [15] 丁瑞华. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- [16] 陈宜瑜. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷). 北京: 科学出版社, 1998.
- [17] 陈宜瑜. 横断山区鱼类. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 王雪辉, 林昭进, 杜飞雁, 邱永松, 孙典荣, 王跃中, 梁新, 黄硕琳. 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局. *生态学报*, 2013, 33(7): 2225-2235.
- [19] Hammer Ø, Harper D A T. *Paleontological Data Analysis*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2006.
- [20] 代应贵, 陈毅峰. 清水江的鱼类区系及生态类型. *生态学报*, 2007, 26(5): 682-687.
- [21] 朱瑜, 蔡德所, 周解, 韩耀全. 漓江鱼类生态类型及生物多样性变化情况. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 30(4): 146-151.
- [22] Park Y S, Chang J B, Lek S, Cao W X, Brosse S. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam. *Conservation Biology*, 2003, 17(6): 1748-1758.
- [23] 巴家文, 陈大庆. 三峡库区的入侵鱼类及库区蓄水对外来鱼类入侵的影响初探. *湖泊科学*, 2012, 24(2): 185-189.
- [24] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 黄海夏季不同取样网具渔获物组成比较分析. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(2): 224-230.
- [25] Fetherman E R, Lepak J M. Addressing depletion failure and estimating gear efficiency using back-calculation of capture probabilities. *Fisheries*

- Research, 2013, 147: 284-289.
- [26] Cheng L, Lek S, Lek-Ang S, Li Z J. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. *Limnologia*, 2012, 42 (2): 127-136.
- [27] He Y F, Wang J W, Lek-Ang S, Lek S. Predicting assemblages and species richness of endemic fish in the upper Yangtze River. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(19): 4211-4220.
- [28] Franssen N R, Tobler M. Upstream effects of a reservoir on fish assemblages 45 years following impoundment. *Journal of Fish Biology*, 2013, 82 (5): 1659-1670.
- [29] Alvarez-Miele G, Irvine K, Griensven A V, Arias-Hidalgo M, Torres A, Mynett A E. Relationships between aquatic biotic communities and water quality in a tropical river-wetland system (Ecuador). *Environmental Science & Policy*, 2013, 34: 115-127.
- [30] Kapuscinski K L, Farrell J M. Habitat factors influencing fish assemblages at muskellunge nursery sites. *Journal of Great Lakes Research*, 2013, doi: 10.1016/j.jglr.2012.11.007.
- [31] Penczak T, Glowacki Ł, Kruk A, Galicka W. Implementation of a self-organizing map for investigation of impoundment impact on fish assemblages in a large, lowland river: long-term study. *Ecological Modeling*, 2012, 227: 64-71.
- [32] 杨少荣, 高欣, 马宝珊, 孔焰, 刘焕章. 三峡库区木洞江段鱼类群落结构的季节变化. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(4): 555-560.
- [33] Jellyman P G, Harding J S. The role of dams in altering freshwater fish communities in New Zealand. New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research*, 2012, 46(4): 475-489.

附表 1 2010-2012 年三峡库区及其上游 5 个调查江段的鱼类种类名录

Appendix 1 List of fish species in the five investigated sections of the Three Gorges Reservoir and its upstream from 2010 to 2012

种类 Species	秭归	巫山	云阳	涪陵	江津
鲟形目 Acipenseriformes					
鲟科 Acipenseridae					
达氏鲟 <i>Acipenser dabryanus</i> Duméril			+	+	
鲑形目 Salmoniformes					
银鱼科 Salangidae					
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i> (Abbott)	+	+	+	+	+
太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i> Chen	+	+	+	+	+
鲤形目 Cypriniformes					
亚口鱼科 Catostomidae					
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i> (Bleeker)		+	+	+	+
鲈科 Cobitidae					
红尾副鲈 <i>Paracobitis variegatus</i> (Sauvage et Dabry)					+
中华沙鲈 <i>Botia superciliaris</i> Günther					+
宽体沙鲈 <i>Botia reevesae</i> Chang				+	+
花斑副沙鲈 <i>Parabotia fasciata</i> Dabry					+
双斑副沙鲈 <i>Parabotia bimaculata</i> Chen					+
长薄鲈 <i>Leptobotia elongata</i> (Bleeker)		+	+	+	+
紫薄鲈 <i>Leptobotia taeniops</i> (Sauvage)					+
红唇薄鲈 <i>Leptobotia rubrilabris</i> (Dabry)					+
泥鲈 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (Cantor)	+	+	+	+	+
鲤科 Cyprinidae					
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i> (Temminck et Schlegel)	+	+	+	+	+
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i> Günther	+	+	+	+	+
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i> (Richardson)	+	+	+	+	+
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> (Cuvier et Valenciennes)	+	+	+	+	+
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i> (Richardson)	+	+	+	+	
鲮 <i>Elopichthys bambusa</i> (Richardson)	+	+	+	+	
黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i> Bleeker	+	+	+	+	+
圆吻鲮 <i>Distoechodon tumirostris</i> Peter				+	+
似鲮 <i>Pseudobrama simoni</i> (Bleeker)	+	+	+	+	+
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i> (Richardson)	+	+	+	+	+
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Cuvier et Valenciennes)	+	+	+	+	+

续表

种类 Species	秭归	巫山	云阳	涪陵	江津
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i> Günther	+	+	+	+	+
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner)	+	+	+	+	+
大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i> (Bleeker)			+		
无须鱮 <i>Acheilognathus gracilis</i> Nichols			+		
银鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i> Bleeker	+	+	+	+	+
寡鳞鲃 <i>Pseudolaubuca engraulis</i> (Nichols)	+	+	+	+	+
餐鱼 <i>Hemiculter leuciscus</i> (Basilewsky)	+	+	+	+	+
油餐鱼 <i>Hemiculter bleekeri</i> Warpachowski	+	+	+	+	+
红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i> (Basilewsky)	+	+	+		
翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i> Basilewsky	+	+	+	+	+
蒙古鲃 <i>Culter mongolicus mongolicus</i> (Basilewsky)	+	+	+		
达氏鲃 <i>Culter dabryi</i> Bleeker		+	+		
拟尖头鲃 <i>Culter oxycephaloides</i> Kreyenberg et Pappenheim		+			
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i> (Basilewsky)	+	+	+	+	+
厚颌鲂 <i>Megalobrama pellegrini</i> (Tchang)	+	+	+	+	+
花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i> Bleeker	+			+	+
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel)	+	+	+	+	+
华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i> Bleeker	+	+	+	+	+
银鮡 <i>Squalidus argentatus</i> (Sauvage et Dabry)	+	+	+	+	+
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i> (Bleeker)	+	+	+	+	+
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i> (Sauvage et Dabry)		+	+	+	+
吻鮡 <i>Rhinogobio typus</i> Bleeker			+	+	+
圆筒吻鮡 <i>Rhinogobio cylindricus</i> Gunther	+	+	+	+	+
长鳍吻鮡 <i>Rhinogobio ventralis</i> (Sauvage et Dabry)	+	+	+	+	+
棒花鱼 <i>Abbotina rivularis</i> (Basilewsky)	+	+	+	+	+
钝吻棒花鱼 <i>Abbotina obtusirostris</i> Wu et Wang	+	+	+		+
乐山小鰾鮡 <i>Microphysogobio kiatingensis</i> (Wu)	+	+	+		
蛇鮡 <i>Saugogobio dabryi</i> Bleeker	+	+	+	+	+
宜昌鳅鮡 <i>Gobiobotia (Gobiobotia) filifer</i> (Garman)				+	+
异鰾鳅鮡 <i>Xenophysogobio boulengeri</i> Tchang				+	+
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i> (Bleeker)			+		
宽口光唇鱼 <i>Acrossocheilus monticola</i> (Günther)			+	+	
白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i> (Sauvage et Dabry)			+		
泉水鱼 <i>Pseudogyrinocheilus prochilus</i> (Sauvage et Dabry)			+		
岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i> (Tchang)			+	+	+
鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i> Linnaeus	+	+	+	+	+
鲫 <i>Carassius auratus</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+
平鳍鳅科 Homalopteridae					
犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i> (Günther)				+	+
窑滩间吸鳅 <i>Hemimyzon yaotianensis</i> (Fang)					+
短身金沙鳅 <i>Hemimyzon abbreviata</i> (Günther)					+
中华金沙鳅 <i>Hemimyzon sinensis</i> (Sauvage et Dabry)	+			+	+
峨眉后平鳅 <i>Metahomaloptera omeiensis</i> Chang					+
鲇形目 Sauriformes					
鲇科 Siluridae					
鲇 <i>Silurus asotus</i> Linnaeus	+	+	+	+	+
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i> Chen	+	+	+	+	+
鲿科 Bagridae					
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i> (Richardson)	+	+	+	+	+
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i> (Richardson)	+	+	+	+	+
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i> (Sauvage et Dabry)	+	+	+	+	+

续表

种类 Species	秭归	巫山	云阳	涪陵	江津
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i> Günther	+	+	+	+	+
粗唇鮠 <i>Leiocassis crassilabris</i> Günther	+	+	+	+	+
凹尾拟鲮 <i>Pseudobagrus emarginatus</i> (Regan)		+			
细体拟鲮 <i>Pseudobagrus pratti</i> (Günther)				+	
大鳍鲩 <i>Mystus macropterus</i> (Bleeker)				+	
钝头鮠科 Amblycipitidae					
白缘鲢 <i>Liobagrus marginatus</i> (Bleeker)					+
鲢科 Sisoridae					
中华纹胸鲃 <i>Glyptothorax sinense</i> (Regan)					+
鲴形目 Cyprinodontiformes					
鲴科 Cyprinodontidae					
青鲴 <i>Oryzias latipes</i> (Temminck et Schlegel)	+	+		+	
颌针鱼目 Belontiiformes					
鲃科 Hemiramphidae					
间下鲃 <i>Hyporhamphus intermedius</i> (Cantor)	+		+	+	
合鳃目 Synbranchiformes					
合鳃科 Synbranchidae					
黄鲢 <i>Monopterus albus</i> (Zuiew)	+	+	+	+	+
鲈形目 Perciformes					
鲈科 Serranidae					
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i> (Basilewsky)	+	+	+	+	+
大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i> Garman				+	+
塘鳢科 Eleotridae					
沙塘鳢 <i>Odontobutis obscurus</i> (Temminck et Schlegel)		+			
鰕虎鱼科 Bodiidae					
子陵吻鰕虎鱼 <i>Ctenogobius giurinus</i> (Rutter)	+	+	+	+	+
斗鱼科 Belontiidae					
叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i> (Linnaeus)			+		
鳢科 Channidae					
乌鳢 <i>Channa argus</i> (Cantor)	+	+	+	+	
合计(87 种)	51	54	62	64	65

+ 代表这种鱼类被采集到