

• 研究报告 •

乌江下游干流鱼类物种多样性及其资源保护

肖琼¹ 杨志² 唐会元² 段鹏翔¹ 王晓清¹ 肖调义¹ 刘小燕^{1*}¹ (湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410000)² (水利部/中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

摘要: 为摸清乌江下游干流现有的鱼类种类组成和物种多样性状况, 探索水电开发对鱼类群落多样性的影响, 本研究于银盘电站蓄水前的2006–2008年和蓄水后的2011–2013年, 采用渔获物调查方法对乌江下游沿河至白马干流江段鱼类进行了调查。两次调查共采集鱼类105种, 其中2006–2008年采集到100种, 2011–2013年采集到62种; 两次调查相比, 广适性鱼类减少10.38%, 湖沼定居型鱼类减少0.98%, 喜流水性鱼类减少9.62%。两个时期的鱼类群落多样性分析显示: 各个调查江段Margalef丰富度指数(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)在2011–2013年均低于2006–2008年。渔获物分析结果表明: 大鳍鲃(*Mystus macropterus*)、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、瓣结鱼(*Tor (Folifer) brevifilis*)等鱼类在渔获物中的重量比例从2006–2008年间的大于5%, 下降到2011–2013年间的不足2%, 而鳊鱼(*Hemiculter leucisculus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)等在2011–2013年渔获物中的重量比例有所上升, 成为调查区域的主要渔获对象。丰度生物量比较表明: 2006–2008年鱼类群落结构受到中等程度的干扰, 而2011–2013年受到严重程度的干扰。为保护乌江下游的鱼类生物多样性, 需采取现有栖息地修复、控制过度捕捞等多种资源保护方式。

关键词: 乌江, 种类组成, 物种多样性, 丰度生物量比较, 保护措施

Species diversity of fish and its conservation in the mainstream of the lower reaches of Wu River

Qiong Xiao¹, Zhi Yang², Huiyuan Tang², Pengxiang Duan¹, Xiaoqing Wang¹, Tiaoyi Xiao¹, Xiaoyan Liu^{1*}¹ College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410000² 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

Abstract: To understand the status of fish species diversity in the lower reaches of Wu River and to assess the impacts of hydropower station development on fish species diversity, two surveys were carried out along the Yanhe to Baima section in the mainstream of the lower reaches of Wu River from 2006 to 2008 (the time period before the sluice of Yinpan and Pengshui hydropower station) and from 2011 to 2013 (the time period after the sluice of Yinpan and Pengshui hydropower station) respectively by using fishery catch surveys. One hundred and five fish species were found from the two surveys, of which 100 fish species were sampled during 2006 and 2008, while only 62 fish species were found during 2011 and 2013. When the two datasets were compared, we found that the number proportion of eurytopic fish species, limnophilic fish species and rheophilic fish species in the catches of 2011–2013 decreased by 10.38%, 0.98% and 9.62%, respectively. Species diversity analysis indicated that the values of Margalef richness index (R) and Shannon-Wiener diversity index (H) during 2011 and 2013 were lower than those found during 2006 and 2008. Fishery catch structures indicated that the weight proportions of some species, such as *Mystus macropterus*, *Spinibarbus sinensis*, and *Tor (Folifer) brevifilis*, decreased from over 5% in the fishery catches of 2006–2008 to less than 2% in 2011–2013, but that the weight proportions of other species, such as *Hemiculter leucisculus*,

收稿日期: 2014-12-28; 接受日期: 2015-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(51209151, 51379134)和“十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAC06B01)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liuxy186@163.com

Ctenopharyngodon idellus, and *Pelteobagrus fulvidraco*, had the greatest increase in the catches of 2011–2013 when compared with that of 2006–2008. Abundance biomass comparison showed that fish community structure of the mainstream of the lower reaches of the Wu River showed a moderately disturbed pattern during 2006 and 2008, but a seriously disturbed pattern during 2011 and 2013. To protect fish biodiversity of the lower reaches of Wu River, multiple protection measures, including habitat restoration and controls on overfishing must be applied by government departments.

Key words: Wu River, species composition, species diversity, abundance biomass comparison, fish resource protection

乌江发源于贵州省威宁县香炉山,横穿贵州省中部,于涪陵汇入长江,是长江上游右岸的最大支流,其中六冲河汇口以上为上游,汇口至思南为中游,思南以下为下游。乌江全长1,037 km,流域面积87,920 km²,跨云南、贵州、湖北、重庆四个省份,天然落差2,124 m,年均径流量534亿m³,与黄河相当,是我国13个大水电基地之一(何光宏, 2014)。同时,乌江也是人文地理、自然景观和生物多样性较丰富的地区之一(丁瑞华, 1994)。乌江干流梯级开发为12级,其中下游已蓄水或已建设发电的水电站包括沙陀(2014年4月蓄水)、彭水(2008年1月蓄水)、银盘(2011年4月蓄水)等3个,从而将乌江下游分割成几个相互隔离的区域(何光宏, 2014)。而分割的生境、显著改变的水文情势以及电站运行的周期性涨落(Fan *et al.*, 2006; Paul, 2008; Dudgeon, 2011; Jellyman & Harding, 2012)不可避免地会对区域内的水生生态系统包括鱼类的生物多样性造成一定程度的影响。

丁瑞华(1994)在20世纪80–90年代对乌江下游的鱼类资源现状进行过较为系统和全面的调查。近年来,但胜国等(2004) ([www.http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-ZGDX200409001056.htm](http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-ZGDX200409001056.htm))和杨志等(2011)先后对乌江下游部分江段的鱼类组成进行过调查,但是这些调查数据仅能代表彭水、银盘蓄水前部分江段(主要是彭水坝下江段)的鱼类种类组成情况,不能全面反映彭水稳定运行和银盘水电站蓄水后乌江下游干流现有水电开发背景下的鱼类种类组成及物种多样性变化情况。有鉴于此,本研究于2006–2008年和2011–2013年分2个时段对乌江下游沿河至白马江段的鱼类种类组成进行了调查,以便为进一步采取措施保护该区域的鱼类多样性提供基础数据。

1 方法

1.1 调查时间与江段

2006–2008年和2011–2013年每年的7–8月(洪水季节)、12月(枯水季节)在乌江下游沿河至白马江段进行渔获物调查,包括沿河、彭水、江口、武隆和白马等5个江段,其中沿河江段位于彭水电站库尾,彭水江段位于彭水电站坝下临近江段,江口江段位于银盘电站下游,武隆江段位于江口镇以下,白马江段位于三峡水库回水区域上游(图1)。各个调查江段涉及长度约20–25 km。

1.2 调查方法

采样方法主要参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》(张觉民和何志辉, 1991)的方法进行。调查时,每个江段在一个采样期内雇用2艘船,每船配备定置刺网5套(网目大小2–10 cm,网高2–5 m,网长50–120 m),饵料2盆(23#钩,每盆绑定饵料钩约2,500–3,000个),虾笼3个(长60 m)进行逐日捕捞。每日进行渔获物统计,若连续3个调查日内渔获物的种类组成没有差异,则表明调查已经满足采样统计要求,采样自然终止,若种类组成存在差异,则继续进行调查,一直到满足连续3个调查日中渔获物的种类组成没有差异这一客观条件,且调查天数至少为4天。渔获物样本依朱松泉(1995)、丁瑞华(1994)、陈宜瑜(1998)、褚新洛等(1999)、乐佩琦(2000)等进行鉴定,并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)。

1.3 数据统计与分析

(1)种类组成相似度分析:将种类出现与否作为基础数据,以Jaccard相似性系数为基础构建两个调查时期(2006–2008年以及2011–2013年)间的相似性矩阵,采用等级聚类(非加权的组平均,即

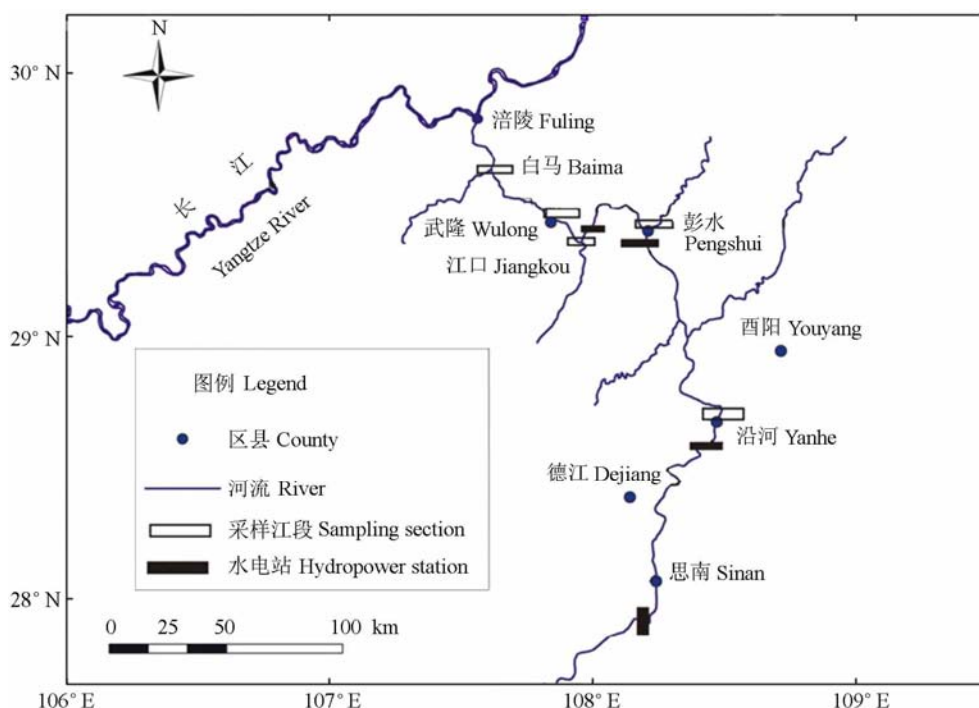


图1 乌江下游干流鱼类组成调查江段示意图

Fig. 1 Investigation section of fish community in the mainstream of the lower reaches of Wu River

UPGMA的分类方法(cluster analysis, CA))分析乌江下游不同调查时期鱼类种类组成的相似性(Clarke & Warwick, 2001; Yang *et al.*, 2012)。

(2)生态类型判别: 参考代应贵和陈毅峰(2007)、林明利等(2013)的方法, 按照鱼类对水流生境的偏爱性, 将乌江下游的鱼类划分为以下4个类型: 河海洄游性鱼类(diadromous fish, D)、广适性鱼类(eurytopic fish, EU)、湖沼定居型鱼类(limnophilic fish, L)和喜流水性鱼类(rheophilic fish, R)。

(3)物种多样性指数: 使用以下指数衡量各个江段的鱼类群落多样性(张金屯, 2004; Hu *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2013), 公式如下:

$$\text{Margalef丰富度指数: } R = (S - 1)/\ln N \quad (1)$$

$$\text{Shannon-Wiener多样性指数: } H = -\sum P_i \ln(P_i) \quad (2)$$

$$\text{Pielou均匀度指数: } E = H/\ln S \quad (3)$$

$$\text{Simpson优势度指数: } D = \sum (P_i/N)^2 \quad (4)$$

式中, S 为种类数, N 为调查中所有种类的个体数, P_i 为调查中第*i*种的个体数占总个体数的比率。

(4)使用丰度生物量比较(abundance biomass

comparison, ABC)进行群落扰动分析, 探讨外部环境胁迫对其的干扰程度(孙莎莎等, 2013)。对于未受扰动的群落, 生物量曲线始终位于丰度曲线之上; 受到中等程度扰动的群落, 生物量和丰度曲线接近重合, 或出现部分交叉; 受到严重干扰的群落, 生物量曲线位于丰度曲线之下。

数据统计与分析采用Excel 2003、PRIMER 6 (Clarke & Gorley, 2006)和r i386 3.0.1 (Everitt & Hothorn, 2006)进行。

2 结果

2.1 种类组成及其生态类型

2006–2008年在乌江下游沿河至白马江段统计渔获物146船次, 627.69 kg, 12,839尾, 共鉴定出鱼类100种, 隶属于4目11科64属。其中鲤科种类最多, 有63种, 占总种数的63.00%; 鲢科次之, 有12种, 占12.00%; 再次为鳊科10种, 占10.00%。2011–2013年统计渔获物107船次, 233.48 kg, 7,400尾, 共鉴定出种类61种, 隶属于4目11科49属。其中鲤科种类最多, 有40种, 占总种数的64.52%; 鲢科次之, 有7种,

占11.29%;再次为鳅科5种,占8.06%(附录1)。2011–2013年较2006–2008年增加的种类包括胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、厚颌鲂(*Megalobrama pellegrini*)、蒙古鲃(*Culter mongolicus mongolicus*)等3种,减少的种类包括达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)、鳗鲡(*Anguilla japonica*)、齐口裂腹鱼(*Schizothorax (Schizothorax) prenanti*)等43种。总体而言,两个时间段共在乌江下游采集鱼类105种(附录1)。聚类分析结果表明:两个时段鱼类种类组成的Jaccard相似性系数为53.77%。

从不同生态类型的种类数来看,河海洄游性鱼类(D)在两次采样中均没有发现;广适性鱼类(EU)从2006–2008年的34种下降到2011–2013年的28种;湖沼定居型鱼类(L)从2006–2008年的7种下降到2011–2013年的6种;喜流水性鱼类(R)从2006–2008年的59种下降到2011–2013年的28种。从不同生态类型鱼类种类数占各阶段记录总种类数的比例来看,2006–2008年间到2011–2013年间,广适性鱼类减少10.38%,湖沼定居型鱼类减少0.98%,喜流水性鱼类减少9.62%。

2.2 物种多样性指数

2006–2008年间,鱼类群落的Margalef丰富度指数(R)、Shannon-Wiener多样性指数(H)、Pielou均匀度指数(E)、Simpson优势度指数(D)在5个江段间差

异不大,其中Margalef丰富度指数(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)均以沿河江段为最低。2011–2013年间,鱼类群落的Margalef丰富度指数(R)、Shannon-Wiener多样性指数(H)、Pielou均匀度指数(E)、Simpson优势度指数(D)均以江口江段为最低。两次采样结果比较可知:Margalef丰富度指数(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)在2011–2013年间均低于2006–2008年间,其中又以江口江段下降最为明显,分别下降43.35%和60.80%;Pielou均匀度指数(E)和Simpson优势度指数(D)除江口变化较大外,其他江段变化均较小(图2)。

2.3 渔获物组成变化

渔获物组成如表1所示(列出重量百分比大于2%的种类)。2006–2008年间,重量百分比大于2%的种类共有15种,占总渔获重量的81.86%,其中以大鳍鲮(*Mystus macropterus*)在渔获物中的比例最大,占9.39%,其次为鲤(*Cyprinus (Cyprinus) carpio*),占7.93%。鲤、鲢(*Silurus asotus*)、墨头鱼(*Garra pingi pingi*)、南方鲢(*Silurus meridionalis*)、白甲鱼(*Onychostoma sima*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)6种鱼类的尾均重大于100 g,其他9种鱼类的尾均重均小于100 g。2011–2013年间,重量百分比大于2%的种类共有14种,占渔获总重量的77.42%,其中以鲮(*Hemiculter leucisculus*)在渔获物中的重量比例最大,

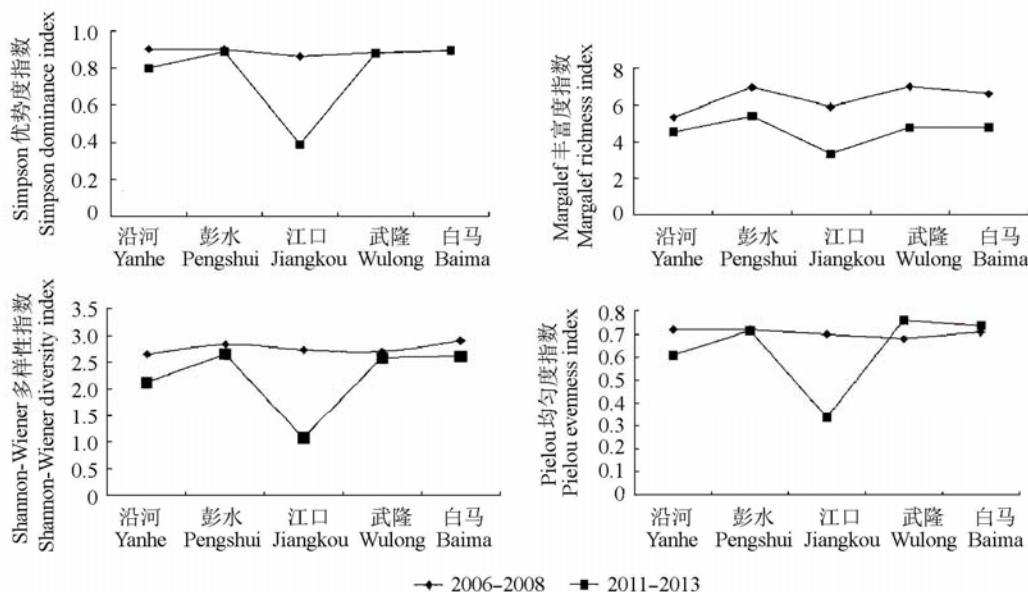


图2 2006–2008年和2011–2013年乌江下游干流各个调查江段的鱼类群落多样性指数

Fig. 2 Indices of fish biodiversity among all investigated sections in the mainstream of the lower reaches of the Wu River during 2006 and 2008 and during 2011 and 2013

表1 2006–2008年和2011–2013年乌江下游干流主要渔获物组成
Table 1 Structures of fishery catches in the mainstream of the lower reaches of Wu River during 2006 and 2008 and during 2011 and 2013

2006–2008			2011–2013		
种类 Species	重量百分比 Percentage of Weight (%)	尾均重 Average body Weight (g)	种类 Species	重量百分比 Percentage of weight (%)	尾均重 Average body weight (g)
大鳍鲩 <i>Mystus macropterus</i>	9.39	35.5	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	15.8	20
鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	7.93	228.3	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	11.6	520.8
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	7.84	38.7	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	10.39	40
粗唇鲮 <i>Leiocassis crassilabris</i>	7.60	24.3	泉水鱼 <i>Semilabeo prochilus</i>	6.5	101.2
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	7.44	84.4	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	5.08	5.1
泉水鱼 <i>Semilabeo prochilus</i>	7.29	70.2	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	4.72	121.1
墨头鱼 <i>Garra pingi pingi</i>	6.91	214.6	鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i>	4.21	104.5
瓣结鱼 <i>Tor (Folifer) brevifilis brevifilis</i>	5.44	63.5	吻鮰 <i>Rhinogobio typus</i>	3.41	61.7
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	5.21	424.8	鲫 <i>Carassius auratus</i>	3.14	50.9
白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i>	3.86	114.9	粗唇鲮 <i>Leiocassis crassilabris</i>	2.73	30.2
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	3.14	253.0	似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	2.61	28.7
吻鮰 <i>Rhinogobio typus</i>	2.91	70.3	鲇 <i>Silurus asotus</i>	2.59	144
鲫 <i>Carassius auratus</i>	2.36	49.2	宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	2.44	23.3
鲇 <i>Silurus asotus</i>	2.30	130.3	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	2.2	22.5
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	2.23	16.4			
总计 Total	81.86		总计 Total	77.42	

占15.80%，其次为草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)，占11.6%。草鱼、泉水鱼(*Semilabeo prochilus*)、鲤、鲇、鳊(*Siniperca chuatsi*)这5种鱼类的尾均重大于100 g，其他9种鱼类的尾均重均小于100 g。大鳍鲩、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、瓣结鱼(*Tor (Folifer) brevifilis*)等鱼类在渔获物中的重量比例从2006–2008年间的大于5%，下降到2011–2013年间的不足2%，而鲮、草鱼、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)等在2011–2013年渔获物中的重量比例有较大的上升，成为调查区域主要渔获对象的重要组成部分(表1)。

2.4 群落结构扰动

丰度生物量比较(ABC)结果表明：2006–2008年，种类排序前7位鱼类种类的丰度曲线明显位于其生物量曲线之上，表明这7种鱼类为小型鱼类或大型鱼类的幼体，而在第8位时，丰度曲线和生物量曲线出现交叉；此后，相同种类的生物量百分比均高于其数量百分比，表明这些鱼类的平均体重较大。整体而言，鱼类群落结构受到中等程度的干扰。2011–2013年，相同种类鱼类的数量百分比均高于其生物量百分比，丰度曲线一直在生物量曲线之上，表明调查区域小型鱼类或大型鱼类的幼体占本次

统计渔获物的主体。整体而言，鱼类群落结构受到严重程度的干扰(图3)。

3 讨论

3.1 鱼类种类组成变化

据《四川鱼类志》记载，乌江下游共分布有鱼类114种，隶属于7目17科，其中种类较多的科依次为鲤科、鲶科、鳅科和平鳍鳅科，分别为72种、10种、7种和6种(丁瑞华, 1994)。但胜国等(2004)对乌江沿河至彭水段的鱼类资源进行了调查，累计采集到55种鱼类，其中细体拟鲮(*Pseudobagrus pratti*)和红唇薄鳅(*Leptobotia rubrilabris*)为乌江新记录种。本文两个时期的调查共在乌江下游采集到鱼类105种，相较1992年以前记录的种类(丁瑞华, 1994)新增21种，减少30种(附录1)，因此至2013年12月为止，乌江下游干流已发现的鱼类种类数应增加21种，为135种，较之于晓东等(2005)统计的乌江全流域的鱼类种类数(132种)多3种。这21种新增加的种类中，除细体拟鲮、中华纹胸鮡(*Glyptothorax sinense sinense*)、花斑副沙鳅(*Parabotia fasciata*)的数量较多外，其他种类数量多在10尾以下，这很可能与采样网具的选择、采样的时间和强度有关(李冠军等，

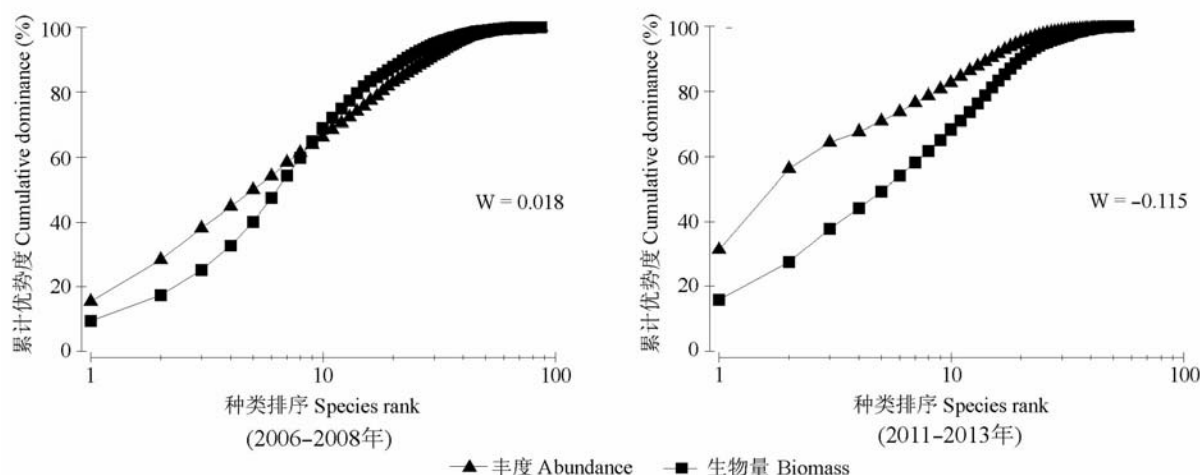


图3 2006–2008年和2011–2013年乌江下游干流鱼类ABC曲线

Fig. 3 ABC curve of fishes in the mainstream of the low reaches of Wu River during 2006 and 2008 and during 2011 and 2013

2007; 张涛等, 2010; 熊六凤等, 2010)。

3.2 鱼类物种多样性变化及其原因探析

本文两个时期的鱼类群落多样性分析显示: Margalef丰富度指数(R)和Shannon-Wiener多样性指数(H)在2011–2013年均低于2006–2008年, 其中又以江口江段下降最为明显, 分别下降43.35%和60.80%, 表明后一时期乌江下游鱼类群落多样性已发生较大改变。造成这种变化的原因主要包括以下几个方面: (1)大坝修建。大坝的修建不仅通过水文情势的改变引起上下游区域部分鱼类栖息地的消失或减少(Anderson *et al.*, 2006)、食物网结构和功能的变化(Manuwadi *et al.*, 2002)以及生境异质性降低条件下的生物入侵(Tarkan *et al.*, 2012)等, 而且会造成纵向多重阻隔和生境破碎化(Xie, 2003; Waples *et al.*, 2008; Hudman & Gido, 2013)。银盘、彭水水电站的修建和运行所形成的河道阻隔、库区生境改变不仅导致原有流水生境的大规模减少, 部分鱼类的产卵场淹没, 而且也使得长江干流部分种类无法洄游到原有的产卵场进行繁殖(Fan *et al.*, 2006), 减少了这些种类在乌江下游的分布。这与三峡水库形成后的鱼类资源变化相一致(Yang *et al.*, 2012); (2)过度捕捞。渔获物结构显示: 乌江下游捕捞个体规格普遍偏小, 能够生长到较大规格的鲇、鳊、白甲鱼等鱼类的尾均重也仅在100 g左右, 表明乌江下游江段存在过度捕捞情况。此外, 根据ABC结果的分类标准(Clarke & Warwick, 2001; Blanchard *et al.*,

2004)可知: 乌江下游干流调查区域2011–2013年的鱼类群落结构处于严重扰动状态, 2006–2008年处于中等程度扰动状态, 表明两次采样时间内调查区域的鱼类资源均处于过度捕捞状况, 且2011–2013年的捕捞强度大于2006–2008年。而过度捕捞是能够对鱼类生物多样性造成严重影响的重要因素之一(Yemane *et al.*, 2005); (3)三峡蓄水倒灌。三峡蓄水倒灌导致库区流水性鱼类向上游迁徙(Gao *et al.*, 2010), 许多从长江干流进入的种类如圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)等在乌江河口附近的数量显著减少, 导致这些鱼类进入白马以上江段的数量明显减少。

3.3 水电开发背景下的乌江下游鱼类多样性保护措施探讨

结合乌江下游现有的水电开发背景以及鱼类群落多样性特征, 我们提出以下针对乌江下游干流鱼类多样性保护的对策: (1)栖息地保护或恢复。生境的就地保护是生物多样性保护最为有力和高效的方法(刘建康和曹文宣, 1992)。为保护该区域的鱼类资源, 首要是保护该区域的物理生境, 特别是要保护或恢复许多有鱼类产卵场分布的库尾减水河段以及银盘坝下至白马之间的自然流水江段。应采用河流廊道生态工程技术、人工鱼巢等方法恢复这些区域原有的生境特征。(2)严格控制捕捞量。本文结果显示调查区域捕捞的个体多为大型鱼类的幼体, 个体尾均重偏小, 过度捕捞情况严重。建议采

取措施进一步加强渔政管理, 大力打击非法捕捞, 延长禁捕时间, 设立保护区。同时, 国家和企业提供相关政策和资金, 促进渔民转产转业, 最终实现全流域禁捕。(3)开展生态调度。结合乌江下游干流电站的布局和运行情况, 开展生态调度研究与试验, 减缓因流量等水位特征改变对部分鱼类繁殖等生活史过程造成的影响, 特别是要减缓银盘水电站日调节运行状况下水位迅速变化使粘沉性卵暴露空气而死亡的影响研究。(4)建立物种多样性数据库, 开展实时监测。乌江下游梯级开发以后, 该区域鱼类的监测数据比较分散, 无连续的监测站点支持, 需要设立站点进行长期、连续、实时监测, 并建立物种多样性数据库, 以便于在对监测数据的充分分析下采取合理措施维持或提高现有乌江下游干流鱼类物种多样性。

参考文献

- Anderson EP, Freeman MC, Pringle CM (2006) Ecological consequences of hydropower development in Central America: impacts of small dams and water diversion on neotropical stream fish assemblages. *River Research and Applications*, **22**, 397–411.
- Blanchard F, LeLoc'h F, Hily C, Boucher J (2004) Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress Series*, **280**, 249–260.
- Chen YY (陈宜瑜) (1998) *Fauna Sinica (Osteichthyes): Cypriniformes II* (中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Chu XL (褚新洛), Zheng BS (郑葆珊), Dai DY (戴定远) (1999) *Fauna Sinica (Osteichthyes): Siluriformes* (中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *PRIMER V6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Clarke KR, Warwick RM (2001) *Changes in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 2nd edn. PRIMER-E, Plymouth.
- Dai YG (代应贵), Chen YF (陈毅峰) (2007) Fish fauna and its ecological types of Qingshui River in Guizhou Province, Southwest China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **26**, 682–687. (in Chinese with English abstract)
- Ding RH (丁瑞华) (1994) *The Fishes of Sichuan* (四川鱼类志). Sichuan Publishing House of Science & Technology, Chengdu. (in Chinese)
- Dudgeon D (2011) Asian river fishes in the Anthropocene: threats and conservation challenges in an era of rapid environmental change. *Journal of Fish Biology*, **79**, 1487–1524.
- Everitt BS, Hothorn T (2006) *A Handbook of Statistical Analyses Using R*. Taylor and Francis Group, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton.
- Fan XG, Wei QW, Chang JB, Rosenthal H, He JX, Chen DQ, Shen L, Du H, Yang DG (2006) 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*, **22**(Suppl.1), 32–39.
- Gao X, Zeng Y, Wang JW, Liu HZ (2010) Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir. *Environmental Biology of Fishes*, **87**, 163–173.
- He GH (何光宏) (2014) Study on automatic generation control and its application in cascade hydropower stations in Wujiang River. *Hydropower and New Energy* (水电与新能源), (7), 1–4. (in Chinese with English abstract)
- Hu ML, Wu ZQ, Liu YL (2009) The fish fauna of mountain streams in the Guanshan National Nature Reserve, Jiangxi, China. *Environmental Biology of Fishes*, **86**, 23–27.
- Hudman SP, Gido KB (2013) Multi-scale effects of impoundments on genetic structure of creek chub (*Semotilus atromaculatus*) in the Kansas River basin. *Freshwater Biology*, **58**, 441–453.
- Jellyman PG, Harding JS (2012) The role of dams in altering freshwater fish communities in New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research*, **46**, 475–489.
- Kumar NAS, Kumar J, Mahesh V, Benakappa S (2013) Assessment of fish diversity of Tunga River, Karnataka, India. *Nature and Science*, **11**(2), 82–87.
- Li KJ (李冠军), Qiu YS (邱永松), Wang YZ (王跃中) (2007) Influence of natural environment variation on fishery resources in Beibu Gulf. *South China Fisheries Science* (南方水产), **3**(1), 7–13. (in Chinese with English abstract)
- Lin ML (林明利), Zhang TL (张堂林), Ye SW (叶少文), Li W (李文), Ren P (任鹏), Yang ZW (杨战伟), Liu JS (刘家寿), Li ZJ (李钟杰) (2013) Status of fish resources, historical variation and fisheries management strategies in Hongze Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **37**, 1118–1127. (in Chinese with English abstract)
- Liu JK (刘建康), Cao WX (曹文宣) (1992) Fish resources of the Yangtze River Basin and the tactics for their conservation. *Resources and Environment in the Yangtze Valley* (长江流域资源与环境), **1**(1), 17–23. (in Chinese with English abstract)
- Manuwadi H, Wilaiwan U, Penjai S, Watanee H (2002) Possible impact of dam reservoirs and river diversions on material fluxes to the Gulf of Thailand. *Marine Chemistry*, **79**, 185–191.
- Paul WW (2008) The impact of changes in water level and human development on forage fish assemblages in Great Lakes coastal marshes. *Journal of Great Lakes Research*, **34**, 615–630.

- Sun SS (孙莎莎), Tang WQ (唐文乔), Guo HY (郭弘艺), Li HH (李辉华), Liu D (刘东), Zhou TS (周天舒), Chen HZ (陈浩洲), Shen LH (沈林宏), Gu SX (顾树信) (2013) Composition and changes in abundance and biomass of fish assemblages along the Jingjiang section of the Yangtze River over the last decade. *Biodiversity Science* (生物多样性), **21**, 688–698. (in Chinese with English abstract)
- Tarkan AS, Copp GH, Top N, Özdemir N, Önsoy B, Bikge G, Filiz H, Yapici S, Ekmmei FG, Kirankaya ŞG, Emiroglu Ö, Gaygusuz Ö, Gursöy G, Oymark A, Özcan G, Sa G (2012) Are introduced gibel carp *Carassius gibelio* in Turkey more invasive in artificial than in natural waters? *Fisheries Management and Ecology*, **19**, 178–187.
- Waples RS, Zabel RW, Scheuerell MD, Sanderson BL (2008) Evolutionary responses by native species to major anthropogenic changes to their ecosystems: Pacific salmon in the Columbia River hydropower system. *Molecular Ecology*, **17**, 84–96.
- Xie P (2003) Three-Gorges Dam: risk to ancient fish. *Science*, **302**, 1149.
- Xiong LF (熊六凤), Ouyang S (欧阳珊), Chen TH (陈堂华), Qi T (祁涛), Wu XP (吴小平) (2010) The resource status and spatio-temporal variation of freshwater mussel in Qinglan Lake of Jiangxi Province. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (江西农业大学学报), **32**, 1257–1264. (in Chinese with English abstract)
- Yang SR, Gao X, Li MZ, Ma BS, Liu HZ (2012) Interannual variations of the fish assemblage in the transitional zones of the Three Gorges Reservoir: persistence and stability. *Environmental Biology of Fishes*, **93**, 295–304.
- Yang Z (杨志), Zheng HT (郑海涛), Xiong MH (熊美华), Hu JX (胡菊香), Qiao Y (乔晔), Wang X (王翔), Zhang YC (张轶超), Chang JB (常剑波) (2011) Variation characteristics of fish community structure and biodiversity in autumn before and after impoundment of Pengshui Hydropower Station. *Environmental Science and Technology* (环境科学与技术), **34**(8), 22–29. (in Chinese with English abstract)
- Yemane D, Field JG, Leslie R (2005) Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves. *Journal of Marine Science*, **62**, 374–379.
- Yu XD (于晓东), Luo TH (罗天宏), Zhou HZ (周红章) (2005) Large-scale patterns in species diversity of fishes in the Yangtze River Basin. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 473–495. (in Chinese with English abstract)
- Yue PQ (乐佩琦) (2000) *Fauna Sinica (Osteichthyes): Cypriniformes III* (中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang T (张涛), Zhuang P (庄平), Zhang LZ (章龙珍), Hou JL (侯俊利), Liu JY (刘鉴毅), Wang YL (王云龙), Liu J (刘健) (2010) Composition and diversity of fish species in the coast of the Yangtze River Estuary. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **16**, 817–821. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯) (2004) *Quantified Ecology* (数量生态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang JM (张觉民), He ZH (何志辉) (1991) *Manual of Investigation for Fisheries Resources in Inland Waters* (内陆水域渔业自然资源调查手册), pp. 242–298. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhu SQ (朱松泉) (1995) *Synopsis of Freshwater Fishes of China* (中国淡水鱼类检索). Jiangsu Science and Technology Publishing House, Nanjing. (in Chinese)

(责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 2006–2013年间乌江下游沿河至白马江段鱼类种类组成、分布及其生态类型

Appendix 1 Fish species composition, distribution and ecotypes from Yanhe to Baima reaches in the lower reaches of Wu River during 2006 and 2013

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-270-1.pdf>

附录1 2006–2013年间乌江下游沿河至白马江段鱼类种类组成、分布及其生态类型

Appendix 1 Fish species composition, distribution and ecotypes from Yanhe to Baima reaches in the lower reaches of Wujiang River during 2006 and 2013

编号 Number	目 Order	科 Family	种 Species	拉丁名 Scientific name	2006–2008	2011–2013	生态类型 Ecotype
1	鲟形目 Acipenseriformes	鲟科 Acipenseridae	▲ 达氏鲟	<i>Acipenser dabryanus</i>			R
2			中华鲟	<i>Acipenser sinensis</i>			D
3		匙吻鲟科 Polydontidae	白鲟	<i>Psephurus gladius</i>			R
4	鳗鲡目 Anguilliformes	鳗鲡科 Anguillidae	鳗鲡	<i>Anguilla japonica</i>			D
5	鲤形目 Cypriniformes	亚口鱼科 Catostomidae	胭脂鱼	<i>Myxocyprinus asiaticus</i>		+	R
6		鲈科 Cobitidae	红尾副鲈	<i>Paracobitis variegatus</i>	+		R
7			▲ 短体副鲈	<i>Paracobitis potanini</i>	+		R
8			▲ 乌江副鲈	<i>Paracobitis wujiangensis</i>			R
9			贝氏高原鲈	<i>Triplophysa bleekeri</i>			R
10			中华沙鲈	<i>Botia supercilialis</i>	+	+	R
11			▲ 宽体沙鲈	<i>Botia reevesae</i>	+		R
12			花斑副沙鲈	<i>Parabotia fasciata</i>	+	+	R
13			▲ 长薄鲈	<i>Leptobotia elongata</i>	+	+	R
14			▲ 红唇薄鲈	<i>Leptobotia rubrilabris</i>	+		R
15			▲ 小眼薄鲈	<i>Leptobotia microphthalma</i>	+		R
16			紫薄鲈	<i>Leptobotia taeniops</i>	+	+	R
17			泥鲈	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	+	EU
18		鲤科 Cyprinidae	宽鳍鱮	<i>Zacco platypus</i>	+	+	R
19			马口鱼	<i>Opsariichthys bidens</i>	+	+	R
20			中华细鲫	<i>Aphyocypris chinensis</i>			R
21			青鱼	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	+		EU
22			鲟	<i>Luciobrama macrocephalus</i>			EU
23			草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	+	+	EU
24			洛氏鲮	<i>Phoxinus lagowskii</i>			EU
25			赤眼鲮	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	+	+	EU
26			鲮	<i>Ochetobius elongatus</i>			EU
27			鲮	<i>Elopichthys bambusa</i>	+		EU
28			银鲮	<i>Xenocypris argentea</i>	+	+	EU
29			黄尾鲮	<i>Xenocypris davidi</i>	+	+	EU
30			圆吻鲮	<i>Distoechodon tumirostris</i>	+		EU
31			细鳞鲮	<i>Xenocypris microlepis</i>			R
32			似鲮	<i>Pseudobrama simoni</i>	+	+	EU
33			鲮	<i>Aristichthys nobilis</i>	+	+	EU
34			鲮	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	+	EU
35			彩石鲮	<i>Rhodeus lighti</i>	+	+	EU
36			高体鲮	<i>Rhodeus ocellatus</i>		+	EU
37			飘鱼	<i>Pseudolaubuca sinensis</i>	+	+	EU
38			寡鳞飘鱼	<i>Pseudolaubuca engraulis</i>	+	+	EU
39			华鲮	<i>Sinibrama macrops</i>	+	+	R
40			▲ 四川华鲮	<i>Sinibrama taeniatus</i>	+		R
41			▲ 黑尾近红鲮	<i>Ancherythroculter nigrocauda</i>	+		R
42			▲ 高体近红鲮	<i>Ancherythroculter kurematsui</i>	+		R
43			▲ 半鲮	<i>Hemiculterella sauvagei</i>	+		R

44	𩚑	<i>Hemiculter leucisculus</i>	+	+	L
45	▲张氏𩚑	<i>Hemiculter tchangi</i>	+	+	L
46	贝氏𩚑	<i>Hemiculter bleekeri</i>	+	+	L
47	红鳍原鲃	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	+		L
48	翘嘴鲃	<i>Culter alburnus</i>	+	+	L
49	蒙古鲃	<i>Culter mongolicus</i>		+	L
50	达氏鲃	<i>Culter dabryi</i>	+		L
51	拟尖头鲃	<i>Culter oxycephaloides</i>			EU
52	鲊	<i>Parabramis pekinensis</i>	+		L
53	▲厚颌鲂	<i>Megalobrama pellegrini</i>		+	L
54	唇鲮	<i>Hemibarbus labeo</i>	+	+	R
55	花鲮	<i>Hemibarbus maculatus</i>	+	+	EU
56	似鲮	<i>Belligobio nummifer</i>	+		R
57	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	+	+	EU
58	黑鳍鲈	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>		+	EU
59	华鲈	<i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	+		EU
60	短须颌须鲈	<i>Gnathopogon imberbis</i>			R
61	银鲈	<i>Squalidus argentatus</i>	+	+	EU
62	西湖银鲈	<i>Squalidus sihuensis</i>			EU
63	点纹银鲈	<i>Squalidus wolterstorffi</i>			R
64	铜鱼	<i>Coreius heterodon</i>	+	+	R
65	▲圆口铜鱼	<i>Coreius guichenoti</i>	+		R
66	吻鲈	<i>Rhinogobio typus</i>	+	+	R
67	▲圆筒吻鲈	<i>Rhinogobio cylindricus</i>	+	+	R
68	▲长鳍吻鲈	<i>Rhinogobio ventralis</i>	+		R
69	▲裸腹片唇鲈	<i>Platysmacheilus nudiventris</i>	+		R
70	棒花鱼	<i>Abbotina rivularis</i>	+	+	EU
71	▲钝吻棒花鱼	<i>Abbotina obtusirostris</i>	+		R
72	乐山小鳊	<i>Microphysogobio kiatingensis</i>	+		R
73	蛇鲈	<i>Saurogobio dabryi</i>	+	+	EU
74	长蛇鲈	<i>Saurogobio dumerili</i>	+		EU
75	光唇蛇鲈	<i>Saurogobio gymnocheilus</i>	+		R
76	宜昌鳊	<i>Gobiobotia filifer</i>	+	+	R
77	▲异鳊	<i>Gobiobotia boulengeri</i>	+		R
78	▲裸体异鳊	<i>Xenophysogobio nudicorpa</i>	+		R
79	中华倒刺鲃	<i>Spinibarbus sinensis</i>	+	+	R
80	▲鲃	<i>Percocypris pingi</i>	+		R
81	▲宽口光唇鱼	<i>Acrossocheilus monticola</i>	+		R
82	云南光唇鱼	<i>Acrossocheilus yunnanensis</i>	+		R
83	多鳞白甲鱼	<i>Scaphesthes macrolepis</i>	+		R
84	厚唇光唇鱼	<i>Acrossocheilus labiatus</i>	+		R
85	白甲鱼	<i>Onychostoma sima</i>	+	+	R
86	▲四川白甲鱼	<i>Onychostoma angustistomata</i>			R
87	▲短身白甲鱼	<i>Onychostoma brevis</i>			R
88	瓣结鱼	<i>Tor (Folifer) brevifilis</i>	+	+	R
89	▲伦氏孟加拉鲃	<i>Bangana rendahli</i>	+		R
90	泸溪直口鲃	<i>Rectoris luxiensis</i>			R
91	泉水鱼	<i>Semilabeo prochilus</i>	+	+	R

92			墨头鱼	<i>Garra pingi pingi</i>	+	+	R
93			云南盘鮡	<i>Discogobio yunnanensis</i>	+	+	R
94			▲中华裂腹鱼	<i>Schizothorax</i> (<i>Schizothorax</i>) <i>sinensis</i>			R
95			▲齐口裂腹鱼	<i>Schizothorax</i> (<i>Schizothorax</i>) <i>prenanti</i>			R
96			重口裂腹鱼	<i>Schizothorax</i> (<i>Racoma</i>) <i>davidi</i>			R
97			灰色裂腹鱼	<i>Schizothorax</i> (<i>Racoma</i>) <i>griseus</i>			R
98			▲岩原鲤	<i>Procypris rabaudi</i>	+	+	R
99			鲤	<i>Cyprinus</i> (<i>Cyprinus</i>) <i>carpio</i>	+	+	EU
100			鲫	<i>Carassius auratus</i>	+	+	EU
101		平鳍鳅科 Homalopteridae	▲四川爬岩鳅	<i>Beaufortia szechuanensis</i>	+		R
102			犁头鳅	<i>Lepturichthys fimbriata</i>	+	+	R
103			▲中华金沙鳅	<i>Jinshaia sinensis</i>	+	+	R
104			▲西昌华吸鳅	<i>Sinogastromyzon sichangensis</i>			R
105			▲四川华吸鳅	<i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>			R
106			峨嵋后平鳅	<i>Metahomaloptera omeiensis</i>			R
107	鲇形目 Suluriformes	鲇科 Suluriformes	鲇	<i>Silurus asotus</i>	+	+	EU
108			南方鲇	<i>Silurus meridionalis</i>	+		EU
109		鲢科 Bagridae	黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	+	+	EU
110			瓦氏黄颡鱼	<i>Pelteobagrus vachelli</i>	+	+	EU
111			光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>	+	+	EU
112			长吻鮠	<i>Leiocassis longirostris</i>	+	+	R
113			粗唇鮠	<i>Leiocassis crassilabris</i>	+	+	R
114			乌苏拟鲢	<i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	+		R
115			切尾拟鲢	<i>Pseudobagrus truncatus</i>	+	+	R
116			凹尾拟鲢	<i>Pseudobagrus emarginatus</i>	+		R
117			细体拟鲢	<i>Pseudobagrus pratti</i>	+		R
118			短尾拟鲢	<i>Pseudobagrus brevicaudatus</i>	+		R
119			圆尾拟鲢	<i>Pseudobagrus tenuis</i>	+		R
120			大鳍鲃	<i>Mystus macropterus</i>	+	+	R
121		钝头鮠科 Amblycipitidae	白缘鲃	<i>Liobagrus marginatus</i>	+	+	R
122			黑尾鲃	<i>Liobagrus nigricauda</i>	+		R
123			▲拟缘鲃	<i>Liobagrus marginatoides</i>	+		R
125		鲃科 Sisoridae	中华纹胸鲃	<i>Glyptothorax sinense sinense</i>	+	+	R
126			▲黄石爬鲃	<i>Euchiloglanis kishinouyei</i>			R
127			▲青石爬鲃	<i>Euchiloglanis davidi</i>			R
128	鲈形目 Cyprinodontiformes	青鳉科 Cyprinodontidae	青鳉	<i>Oryzias latipes</i>			L
129	合鳃目 Synbranchiformes	合鳃鱼科 Synbranchidae	黄鳝	<i>Monopterus albus</i>	+	+	EU
130	鲈形目 Perciformes	鲈科 Serranidae	鳊	<i>Siniperca chuatsi</i>	+	+	EU
131			大眼鳊	<i>Siniperca kneri</i>	+	+	EU
132			斑鳊	<i>Siniperca scherzeri</i>	+		EU
133		塘鳢科 Eleotridae	小黄鲷	<i>Micropercops swinhonis</i>	+		EU
134		鰕虎鱼科 Bodiidae	子陵吻鰕虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>	+	+	EU
135		斗鱼科 Belontiidae	叉尾斗鱼	<i>Macropodus opercularis</i>			L
136		鲢科 Channidae	乌鲢	<i>Channa argus</i>			EU
合计					100	62	

肖琼, 杨志, 唐会元, 段鹏翔, 王晓清, 肖调义, 刘小燕. 乌江下游干流鱼类物种多样性及其资源保护. 生物多样性, 2015, (4): 499-506
<http://www.biodiversity-science.net/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=10049>

注: ▲ 长江上游特有鱼类, R: 喜流水性鱼类; D: 河海洄游鱼类; L: 湖沼定居型鱼类; EU: 广适性鱼类. 其他数据来源: 丁瑞华(1994).
Species endemic to the upper reaches of the Yangtze River. R, Rheophilic fish; D, Diadromous fish; L, Limnophilic fish; EU, Eurytopic fish.