

三峡船闸鱼类组成及群落结构特征初步研究

张琪^{1, 2} 李博^{1, 2} 姚金忠³ 郭文韬^{1, 2} 朱佳志^{1, 2} 姜伟^{1, 21}

(1. 中国长江三峡集团有限公司中华鲟研究所, 湖北 宜昌 443100;

2. 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443100;

3. 中国长江三峡集团有限公司流域枢纽运行管理中心, 湖北 宜昌 443100)

【摘要】: 三峡大坝的阻隔, 造成鱼类生境片段化, 为了解三峡船闸对上下游鱼类的连通性, 研究三峡船闸过鱼能力, 于 2009 年 6 月、2012 年 2 月、2017 年 2 月和 2018 年 2 月三峡船闸检修期间, 对闸室及廊道进行鱼类调查, 分析鱼类组成、多样性和群落结构变化。研究结果显示: 历次调查共采集鱼类 6 目 10 科 32 属 39 种, 其中长江上游特有鱼类 4 种、鲟类 2 种(匙吻鲟和杂交鲟); 鳊、贝氏鳊、鳙、瓦氏黄颡鱼 4 种鱼类出现频率较高, 分别占各次采集鱼类总尾数的 98.78%、96.55%、68.14%和 91.10%; 23 种鱼类可能具有通过船闸的能力, 其中 9 种鱼类能顺利通过船闸或可在船闸内定居; 大银鱼、太湖新银鱼等弱游泳能力鱼类在船闸也有分布, 推测早期仔鱼等也可以通过船闸到达下游江段, 达到上下资源交流的目的。该研究为发挥船闸的生态功能提供现实依据。

【关键词】: 三峡船闸 鱼类 群落结构 过鱼能力

【中图分类号】: S932.4 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)07-1585-08

水利水电工程建设对河流生态系统造成了显著的影响^[1], 拦河坝的阻隔, 会造成鱼类生境片段化^[2]、洄游通道阻隔、产卵场被破坏、栖息地丧失等问题, 对鱼类资源产生了严重的不利影响^[3~6]。大坝的修建改变上游河流的水文状态, 显著降低了鱼类多样性程度^[6], 全球近 1/5 淡水鱼类灭绝或濒危的主要原因之一是拦河大坝造成的^[7], 北海道西南部河流中的白斑红点鲑将有 1/3 的群体在未来 50 年内会消失^[2]。水利工程对生物的影响是一个长期和复杂的过程, 自然生境的破坏, 人工环境的产生, 一些生物会通过自身的调整逐步适应新的环境, 继续生存和发展, 而另外一些生物会不适应新的环境而出现物种退化或消亡^[3]。

船闸作为内河航运系统中的服务节点, 是具有通航要求的江河必须修建的建筑物, 其通过内置充泄水闸改变闸室内水体水位、交替开关上下游闸门来实现船只过坝问题^[8]。很多研究表明, 对于具有航运功能的大坝, 船闸也为鱼类的上、下交流提供了可能。Rub 对美国哥伦比亚河博纳维尔大坝船闸过鱼能力调查研究显示, 有洄游鱼类通过船闸^[9]; 在美国北卡罗莱纳州的 Cape Fear 河, 美洲鲈通过船闸过坝的比例为 18%~61%^[10, 11]。三峡船闸是三峡工程的主要通航建筑物, 采用双线连续五级布置, 大坝上下游具有大体积的联通水体, 也为河流某些水生生物的上下游联通提供了可能的生物通道。

本研究在船闸检修期间, 以三峡水利枢纽船闸为研究对象, 通过对船闸上下游闸门口及闸室内的鱼类资源调查, 为发挥船

作者简介: 张琪(1987~), 工程师, 主要研究方向为水生生态. E-mail: taoqi.zhang@163.com

姜伟 E-mail: 106635291@qq.com

基金项目: 水利部资助项目“三峡及葛洲坝船闸和三峡升船机过鱼能力评估及辅助过鱼技术研究”; 国家自然科学基金项目(51779016)

闸的生态功能、其他流域船闸建设等提供现实依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

三峡船闸是三峡工程的主要通航建筑物，采用双线连续五级布置，主体段总长 1621m；南北两线各有 5 级闸室 6 个闸首，其中船闸主体部分 1.6km，引航道 4.8km。三峡船闸单级水位差最大时是 45.2m。闸室有效尺寸 280m×34m×5m(长×宽×起始水深)，共有 12 个闸首，24 套反向弧形阀门，12 对大型人字门^[12]。

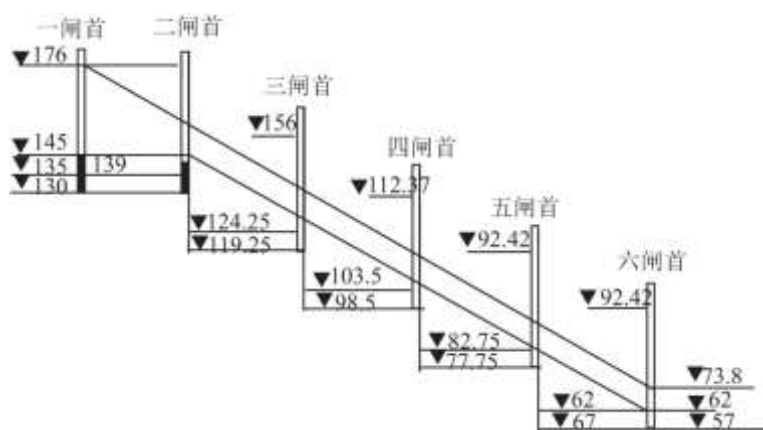


图 1 三峡五级船闸的高程结构图

1.2 数据采集

1.2.1 船闸鱼类采集

2009 年 6 月 8 日，在三峡船闸放水检修期间，对三峡南线船闸 3 号闸室鱼类进行调查统计，收集闸室底部鱼类进行种类鉴定，并测量体长及体重，同时对 1 号、2 号及 4 号闸室的鱼类进行了抽样统计。

2012 年 2 月 28 日~3 月 8 日、2017 年 2 月 2~6 日、2018 年 2 月 19~25 日，分别对三峡南线船闸的 1~5 号闸室鱼类进行调查统计，收集闸室底部鱼类进行种类鉴定，并测量体长及体重。

1.2.2 鱼类种类鉴定

三峡船闸检修水排干后，进入船闸和闸室内收集鱼类，统计渔获物种类、数量，室内测定分析鱼类全长、体长、体质量等生物学指标。采集的鱼类标本现场鉴定种类，同时测量部分鱼类生物学特性。对于未能鉴定的种类用 10%的福尔马林固定液保存，带回实验室后进行重新鉴定和复核。鱼类种类的鉴定及习性参考《四川鱼类志》^[13]、《长江鱼类》和《中国动物志，硬骨鱼纲，鲤形目(中卷)》^[14]确定。

1.3 数据分析

鱼类生态多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' ^[16]、Margalef 种类丰富度指数 D' 和 Pielou 均匀度指数 J' 进行统计与分析^[16,17]。

$$D' = (S-1) / \ln N \quad (1)$$

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

$$J' = H' / H'_{\max} = H' / \ln S \quad (3)$$

式中： S 为种类数； N 为调查中所有种类的个体数； N_i 为调查中第 i 个种的个体数； P_i 为调查中第 i 个物种的个体数 (N_i) 占有物种总个体数 (N) 的比例，即 $P_i = N_i / N$ ； $H'_{\max}$ 为最大的物种多样性指数， $H'_{\max} = \ln S$ 。

2 主要结果与分析

2.1 船闸鱼类种类组成

历次船闸检修鱼类资源调查共收集鱼类 39 种 4693 尾，370.99kg，隶属于 6 目 10 科 32 属。其中鲟形目 1 科 2 种，占总种类数的 5.13%；鲱形目 1 科 2 种，占总种类数的 5.13%；鲤形目 9 科 26 种，占总种类数的 66.67%；鲇形目 2 科 4 种，占总种类数的 10.26%；鲈形目 2 科 5 种，占总种类数的 12.82%。所采集种类包括常见小型经济鱼类、中长距离洄游鱼类(草鱼、青鱼、鳙、长薄鳅等)以及国家二级保护鱼类胭脂鱼等。其中，2009 年调查中在三峡 4 号船闸内发现 1 尾活体杂交鲟，体长约 80cm，体重约 6.5kg；在 3 号船闸内发现 1 尾死亡匙吻鲟，体长约 100cm。

历次调查船闸鱼类中以鳊、鲢、贝氏鲃和瓦氏黄颡鱼出现频次较高，分别占采集鱼类总尾数的 98.78% (2017)、96.55% (2018)、68.14% (2009) 和 91.10% (2012)，但不同年份间 4 种鱼各自比例存在差异，2009 年以鳊所占比例最大，2012 年以鲢所占比例最大，2017 和 2018 年分别以瓦氏黄颡鱼和贝氏鲃所占比例最大。

2017 和 2018 年调查较为全面，均表现出 4、5 闸室鱼类种类和数量多，2、3 闸室种类和数量少，这也与船闸排干前排水过程相关。2012 年在南线 1~4 闸室中均出现的种类仅有鲢一种，2018 年在南线 1~5 闸室中均出现的种类有瓦氏黄颡鱼和鲢两种，2017 年在北线 1~5 闸室中均出现的种类有贝氏鲃、光唇蛇鮈、银鮈、瓦氏黄颡鱼、波氏吻鰕虎鱼、子陵栉鰕虎鱼 6 种。

按生态习性划分，本次调查采集的 39 种鱼类中，适应流水性鱼类 5 种，广布型鱼类 21 种，适应静水性鱼类 13 种；中上层分布鱼类 8 种，中下层分布鱼类 15 种，底层分布鱼类 16 种；草食性鱼类 2 种，底栖无脊椎动物食性 7 种，滤食性 3 种，肉食性 14 种，杂食性 13 种；产浮性卵 2 种，漂流性卵 17 种，粘性卵 20 种(图 2)。总体表现为，船闸内以广布型及静水、中下层及底层、肉食性和杂食性、产粘性卵鱼类为主。

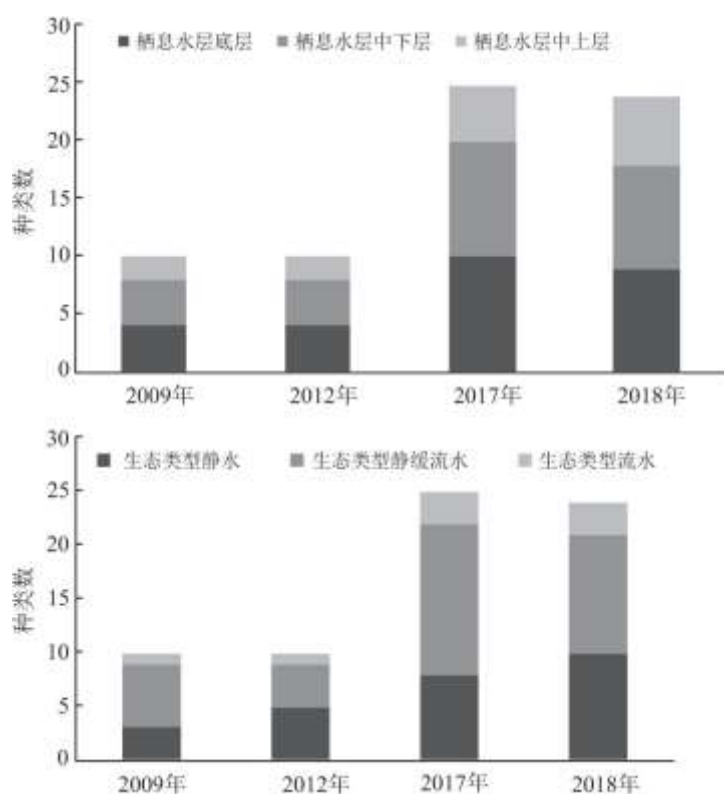


图2 2009~2012 与 2017~2018 年三峡船闸鱼类生态类型对比

2.2 物种多样性

各年份三峡船闸内鱼类生物多样性指数如表1所示。Marglef 指数对种类依赖度较强,其变化趋势和鱼类种类数变化趋势相近,主要反映了群落物种的丰富度,2009~2018年三峡船闸鱼类 Margalef 指数(D')和鱼类种类数变化一致,呈上升趋势,2017和2018年指数值明显高于2009和2012年;Shannon-Wiener 指数(H')多用于反映群落结构的复杂程度,2017~2018年指数值高于2009~2012年,且以2017年最高;Pielou 均匀度指数(J')和 Shannon-Wiener 指数(H')变化趋势较一致。

表1 2009~2018 年三峡船闸鱼类生物多样性指数

年份	D'	H'	J'
2009 年	1.34	0.85	0.37
2012 年	1.72	0.44	0.18
2017 年	3.42	1.95	0.60
2018 年	3.01	0.98	0.31

2.3 船闸鱼类个体体长分布

统计 2017 及 2018 年船闸鱼类体长结构,鱼类个体大小主要在 150mm 以下,比例均占总渔获量的 90%以上(图 3),主要种类

是瓦氏黄颡鱼和贝氏鲃;大个体鱼类数量较少,即大个体鱼类通过船闸的概率较低。综合历次船闸渔获物的个体体长数据,表明能够通过船闸的鱼类个体大小范围较广,船闸鱼类中最小的个体仅为几厘米,最大的个体可达 100cm,船闸中采集的个体为 50cm 左右的草鱼、鳊等体表未发现明显伤痕,表明在此体长范围内鱼类过闸成活率较高。

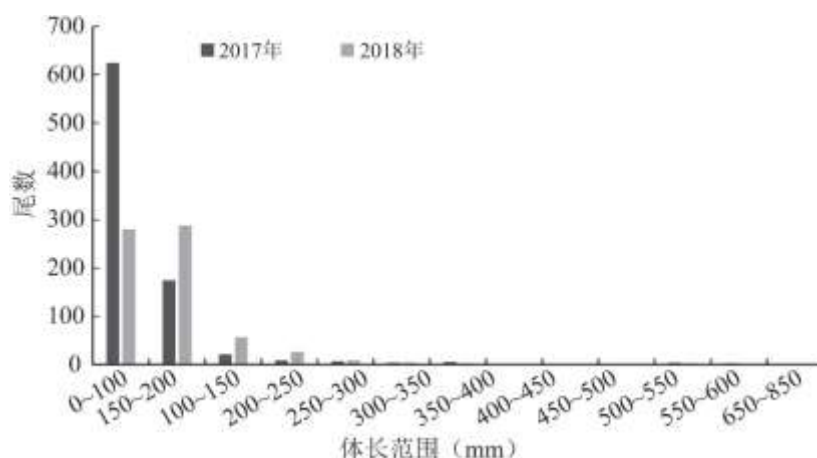


图 3 2017~2018 年三峡船闸鱼类个体体长分布

2009 年调查中在三峡南线 4 闸室内发现 1 尾活体杂交鲟,体长约 80cm,体重约 6.5kg,鱼体已受伤,经检查可能受螺旋桨击伤;在 3 闸室内发现 1 尾死亡匙吻鲟,体长约 100cm。通过以上鱼类在船闸内死亡及受伤情况分析,80cm 以上的大个体鱼类虽然可能由上下引航道进入船闸,但由于船闸内空间封闭,过船时船舶密集,容易造成鱼类惊扰从而对大个体鱼类产生伤害,通过效率也将大幅下降。

3 讨论

Cooke 等指出船闸在一定程度上允许大坝上下游鱼类自由通行,具有一定双向通行潜力^[18,19];通过在葛洲坝船闸内安装鱼探仪和录像机,初步评估了船闸具有过鱼能力^[20];法国罗纳河的博凯尔船闸在 49 个运行周期中通过该船闸的美洲西鲱超过 1 万尾;澳大利亚东南部墨累河上,Euston 坝的船闸在改变闸口流速时吸引鱼类过坝的数量是船闸正常运行模式下的 56 倍;在美国北卡罗莱纳州的 CapeFear 河美洲鲟船闸过坝比例为 18%~61%^[10,11]。本次调查结果显示,三峡船闸 4 次检修期间收集鱼类 6 目 10 科 32 属 39 种,共计 4693 尾,重量 370.99kg,生态类型多样,表明自然条件下,三峡船闸可满足多种鱼类过坝需求。

研究分析发现,三峡船闸 4 年调查的渔获物中,鳊、贝氏鲃、鳊、瓦氏黄颡鱼 4 种鱼类出现频率较高,分别占各年鱼类总尾数的 98.78%、96.55%、68.14%和 91.10%,推测原因主要由两方面:一是这些鱼类生物量大,被水流吸引进入船闸的数量多;二是船闸闸室可成为瓦氏黄颡鱼、鰕虎鱼类、鲫等小型底层鱼类栖息地。

2010 年 5~6 月份三峡—葛洲坝间、2018~2019 年三峡上下游引航道的渔获物调查显示,鳊、贝氏鲃、瓦氏黄颡鱼出现频次高,表明它们在三峡库区生物量大,船闸出入水口处的水流变化会诱导其在船闸上游或下游聚集,美国南卡罗来纳州 Pinopolis 大坝和葛洲坝船闸的研究也表明下游是鱼类聚集最多的地方^[11,21]。鳊、贝氏鲃等分布于水域中上层,食性杂、水层分布浅,易受过往船只驱赶或受船只倾泻生活废水、食物残渣引诱,向船闸聚集并随过往船只进出通过船闸。

由于船闸内各相邻上级闸室内均有挡墙,船闸模拟实验中上溯黄颡鱼全聚集在挡墙附近,无法上溯(内部资料未发表),使得瓦氏黄颡鱼等小型底层鱼类栖息在船闸闸室内,这类现象也出现在葛洲坝船闸内,在葛洲坝船闸的历次检修工作中,均可发现大量滞留闸底的不同底层鱼类,说明鱼类可以适应船闸内环境并在闸室内存活,船闸既可成为联通上下鱼类的通道,也可作为

鱼类的栖息地。本次调查在船闸排水过程中,水排干前现场可见闸底游动的大鱼部分进入输水廊道中,后期调查中相当一部分鱼类随水直接进入长江下游,船闸内实际鱼类数量应远远大于调查结果。

本次调查在1闸室发现鱼类16种,5闸室24种,其中23种鱼类在2、3、4闸室至少一个闸室有发现,表明这23种可能具有通过船闸的能力。有9种鱼类在5个闸室都有分布,分别为贝氏鲃、鲃、蛇鮈、瓦氏黄颡鱼、子陵吻虾虎、翘嘴鲇、银鮈、波氏吻虾虎、太湖新银鱼,表明这9种鱼能顺利通过船闸或可在船闸内定居。其中,贝氏鲃、鲃、翘嘴鲇和太湖新银鱼为表层鱼类,可不受闸室闸首和底部高程差对鱼类的阻隔效应影响,进入2、3、4闸室通过船闸。蛇鮈、瓦氏黄颡鱼、子陵吻虾虎、银鮈、波氏吻虾虎鱼为中下层或底层小型鱼类,对外界环境适应能力强,进入船闸后可以在闸室内生存,成为定居种。

参考三峡坝前水声学调查结果,坝前船闸通道处鱼类密度虽明显高于周边水域,但其多分布在30~60m水层的中低层,因此由上游被船只驱赶进入船闸的鱼类数量可能不会太多^[22]。参考2009及2010年在葛洲坝下调查结果,发现葛洲坝下即使在大江电厂下游,使用自制底层弮网采集到大量紫薄鳅(未发表数据,这些种类个体小,在葛洲坝下渔获物调查中没有发现),因此推测船闸中小型底层鱼类受水流吸引由坝下进入船闸的可能性较大。

大银鱼、太湖新银鱼在船闸内出现,且太湖新银鱼尾数占比超过1%(受调查时间所限,实际数量应高于此数值),在5个闸室均有分布。一般认为,银鱼游泳能力极弱,在船闸调查发现的银鱼不可能由下游江段进入,只可能由三峡库区进入船闸,这也是弱游泳能力鱼类能够通过船闸的直接证据,同时表明早期仔鱼等也具有通过船闸到达下游江段的可能性,达到上下游资源交流的目的。

四大家鱼中草鱼、鳊、鲢在船闸中均有发现,且这3种鱼类在2019年三峡大坝上游和下游近坝区鱼类调查中均有发现,表明它们有较大的可能性会通过三峡船闸在坝上和坝下交流。胭脂鱼幼鱼和成鱼的生物学特性不同,幼鱼适应在水流较缓的上层水体活动,成体则适应在江河的敞水区中下层活动,性成熟的亲鱼须上溯到急流中产卵。

本次调查在北线船闸4闸室内发现胭脂鱼幼鱼一尾,参考2019年鱼类调查结果,胭脂鱼仅在三峡坝上和葛洲坝下有分布,由此推测其通过船闸的可能性较低。铜鱼为流水性鱼类,在葛洲坝上、下游均有分布,且在2009年葛洲坝3号船闸内也有发现,表明其葛洲坝坝上、坝下种群可通过葛洲坝船闸进行交流,但在三峡船闸内及三峡大坝上江段调查中均未发现,表明铜鱼未进入缓流的引航道水域,其种群通过三峡船闸上行可能性较低。

鳊在2017~2018年鱼类群落结构中丰度明显减少,这与其生活习性有关,鳊产卵盛期为5~7月,产卵期间活动频繁,而冬季一般选择在库区深水沱湾越冬,活动减弱,因此夏季进入船闸几率大于冬季。贝氏鲃、银鮈和蛇鮈等在2017~2018年丰度增加,主要与其在三峡大坝上游和下游江段中整体资源量有关,根据2019年三峡大坝上游、下游鱼类调查(内部数据、未发表),贝氏鲃、银鮈和蛇鮈丰度在秋冬季构成优势种,其丰度明显高于春夏季,因此冬季这些鱼类进入船闸几率大于春夏季。

参考文献:

[1]林鹏程,高欣,刘春池,等.葛洲坝上下游江段鱼类时空分布特征研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(9):1047-1053.

[2]YAMAMOTO K M A S.Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations[J].Conservation Biology,2002,16(5):1318-1323.

[3]陈进,黄薇,张卉.长江上游水电开发对流域生态环境影响初探[J].水利发展研究,2006(8):11-14.

[4]BEAMISH R J,NORTHCOTE T G.Extinction of a population of anadromous parasitic lamprey,lampetra tridentata,

upstream of an impassable dam[J]. Journal Canadien Des Sciences Halieutiques et Aquatiques, 2011, 46(3):420-425.

[5]NERAAS L P, SPRUELL P. Fragmentation of riverine systems: the genetic effects of dams on bull trout (*salvelinus confluentus*) in the clark fork River System[J]. Molecular Ecology, 2001, 10(5):1153-1164.

[6]BARRELLA W J M P. Fish community alterations due to pollution and damming in tieté and paranapanema Rivers (Brazil) [J]. River Research and Applications, 2003, 1(19):59-76.

[7]MCCULLY P. Silenced rivers: the ecology and politics of large dams[M]. Zed Books, 1996.

[8]胡宏. 船闸通过能力影响因素分析[J]. 福建质量管理, 2017(8):279.

[9]RUB A, GILBREATH L G. Survival of adult spring chinook from the columbia river estuary to bonneville dam[J]. Nwfsc. noaa. gov, 1970.

[10]WEINSTEIN M P. Shallow marsh habitat as primary nurseries for fishes and shellfish, cape Fear River, north carolina[J]. Fishery Bulletin, 1979, 77(2):339-357.

[11]S D M, J I J, W C D. Evaluation of shortnose sturgeon spawning in the pinopolis dam tailrace, south carolina[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2004, 3(24):932-938.

[12]江耀祖, 吴英卓, 徐勤勤, 等. 三峡船闸关键水力学问题研究[J]. 湖北水力发电, 2007(5):60-64.

[13]丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 四川科学技术出版社, 1994.

[14]陈宜瑜. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲤形目(中卷)[M]. 科学出版社, 1998.

[15]SHANNON C E. The Mathematical theory of communication[J]. Bell Labs Technical Journal, 1950, 3(9):31-32.

[16]PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. Minnesota:Wiley-Nescience, 1969.

[17]郭建忠, 陈作志, 田永军, 等. 胶州湾海域鱼类群落种类组成及多样性[J]. 生态学报, 2018, 39(19):7002-7013.

[18]COOKE S J, COWX I G. The role of recreational fishing in global fish crises[J]. Bioscience, 2004(9):9.

[19]MOSER M L, OCKER P A, STUEHRENBURG L C, et al. Passage efficiency of adult pacific lampreys at hydropower dams on the lower Columbia River, USA[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2002, 131(5):956-965.

[20]高勇, 陶江平, 乔晔, 等. 葛洲坝近坝区及船闸鱼类分布、活动规律研究[C]// 中国水利学会第四届青年科技论坛论文集. 水利水电出版社, 2008.

[21]颜文斗. 鱼殇: 三峡的小鱼和大鱼[J]. 出版参考, 2004(32):14-15.

[22] TAN X C, CHANG J B, TAO J P, et al. Survey on fish distribution in the forequarter of the three gorge reservoir using EY60 split-beam echosounder[J]. Ecological Science, 2008, 27(5):329-334.