

长洲水利枢纽鱼道过鱼种群结构*

谭细畅^{1**} 黄 鹤¹ 陶江平² 李思嘉¹¹珠江水资源保护科学研究所, 广州 510611; ²水利部中国科学院水工程生态研究所, 武汉 430079)

摘 要 长洲水利枢纽鱼道位于西江干流, 目前是我国最大的过鱼通道, 其过鱼效果评估不仅是珠江中下游鱼类资源和水生态保护的重要课题, 也可为国内鱼道的设计及运行提供基础资料. 2011—2014年4—6月利用堵截法对长洲水利枢纽鱼道中的鱼类进行监测, 共采样11批次, 采集种类累计40种, 洄游性种类花鳗鲡、鳗鲡、弓斑东方鲀及四大家鱼(青鱼、草鱼、鲢、鳙)等均在鱼道中出现. 鱼道中优势种为瓦氏黄颡鱼(29.1%)、赤眼鳟(16.8%)、鲮(14.7%)、银鲮(12.0%)、银鲴(10.8%)、鳊(7.3%)及鲢(2.7%)等. 通过物种累计曲线拟合, 预期随着采样次数的增加, 鱼道出现的种类数量可达61种, 说明长洲水利枢纽鱼道具有较好的过鱼能力. 监测数据显示, 鱼道中鱼类多样性及均匀度指数低于坝下江段. 坝下江段优势种广东鲂、斑鳊在鱼道中没有采集到, 这说明鱼道对不同种类的诱导力存在差异. 典范对应分析结果表明, 坝上水位是影响过鱼效果的关键因素, 有必要优化鱼道运行方式以提高鱼道性能. 根据目前珠江的鱼类资源现状, 建议将四大家鱼(青鱼、草鱼、鲢、鳙)、广东鲂、赤眼鳟及鲢等列入过鱼目标, 并在运行方案上进行调整.

关键词 长洲水利枢纽; 鱼道; 过鱼效果

文章编号 1001-9332(2015)05-1548-05 **中图分类号** S956.3 **文献标识码** A

Fish population structure in the fishway of Changzhou hydro-junction. TAN Xi-chang¹, HUANG He¹, TAO Jiang-ping², LI Si-jia¹ (¹*Institute of Pearl River Water Resource Protection, Guangzhou 510611, China*; ²*Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, 26(5): 1548–1552.

Abstract: The fishway of Changzhou hydro-junction, located in the main stream of Xijiang River, is the biggest fishway in China up to now. Efficiency assessment of the Changzhou fishway is important for fish resource and ecosystem protection of the Pearl River, and can provide basic data for design, construction and management of other fishways in China. A total of 40 fish species in the Changzhou fishway were sampled on 11 occasions from April to June during 2011–2014 by using blocking method. Migratory species such as marbled eel, eel, *Fugu ocellatus* and the four domestic fish (black carp, grass carp, silver carp and bighead carp) appeared in the fishway. The dominant species included *Pelteobagrus vachelli* (29.1%), *Spualioibarbus curriculum* (16.8%), *Hemiculter leuciscus* (14.7%), *Pseudolaubuca sinensis* (12.0%), *Squalidus argentatus* (10.8%), *Anguilla japonica* (7.3%) and *Cirrhinus molitorella* (2.7%). Species accumulation curve indicated that up to 61 species would be monitored in the fishway with increasing the sampling frequency, indicating its good passage efficiency. Fish diversity in the Changzhou fishway was significantly lower than that in the downstream in Xijiang River, and two dominant species in the downstream of the Changzhou Dam, *Megalobrama hoffmanni* and *Mystus guttatus*, were not monitored in the fishway in this study, revealing that attraction efficiency of the fishway was different for different fish species. The canonical correspondence analysis showed that dam water level was the most important factor for the fishway effectiveness, it was necessary to adjust the operation mode of the Changzhou dam to instigate more fish migration by the fishway. According to the present situation of fishery resources of the Pearl River, it was suggested to include four domestic fish, *M. hoffmanni*, *S. curriculum* and *C. molitorella* as target species of the Changzhou fishway, and consider more about ecological characteristics of these species.

Key words: Changzhou Dam; fishway; passage efficiency.

* 水利部“948”项目(201414)和水利部公益性科研专项(201301047)资助.

** 通讯作者. E-mail: jmtxc@hotmail.com

2014-07-08 收稿, 2015-03-11 接受.

水坝在防洪、航运、供水及发电上发挥重要作用的同时,不可避免地改变了河流的连贯性和水文节律,对洄游性鱼类产生阻隔,影响这些鱼类的繁殖、栖息,导致生物多样性下降、鱼类资源衰退及河流生态健康受损的后果.鱼道是减缓水坝建设对鱼类资源影响的重要措施之一,但对于鱼道过鱼效果及建设必要性仍存在不同的观点,有的研究认为我国大部分鱼道运行情况不理想^[1].鱼道评价上存在差异有多个方面的原因:我国鱼类种类繁多,生物多样性高,江河生态系统复杂,对于鱼道的过鱼效果尚无评估规范及标准,鱼道监测及评价工作滞后;另外我国江河中鱼类行为习性、鱼类生活史过程和种群变动规律等基础性研究薄弱,难以满足过鱼设施建设快速发展的需求,鱼道设计和运行仍需要不断改进与完善.

目前国内可借鉴的鱼道监测成果较少.从全球范围看,鱼道过鱼效果评估仍存在不足,有的监测目标单一,有的监测持续时间短.如欧美国家鱼道侧重于鲑科鱼类,重点统计上溯鱼类数量.国内鱼道研究开始于 20 世纪 70 年代,如安徽裕溪闸鱼道和湖南洋塘鱼道,监测到过鱼数量分别达每小时 75 尾及 385 尾^[2-3].对于鱼道的过鱼效果,有学者总结了 1960—2011 年有关鱼道的报道,估算鲑科鱼类及非鲑科鱼类的过鱼效率分别为 61.7% 及 21.1%^[4].近年 PIT (passive integrated transponder) 声学标记技术开始应用于鱼道过鱼的跟踪监测,如瑞士 Emån 河流仿自然鱼道的过鱼效率达 74%^[5],加拿大某河流中 2 种鱼类通过低水头水坝的效率是 31.7%^[6].20 世纪 80 年代后,国内鱼道监测评估有 30 多年的停滞期,近期才开始逐渐开展,如汉江崔家营航电枢纽鱼道、西江长洲水利枢纽鱼道及连江西牛航运枢纽鱼道等^[7-9].以水生生物保护和维系河流生态健康为目的,全面系统且持续性监测是科学评价鱼道过鱼效果的基础.目前仍需要加大对鱼道的监测研究,以便建立科学的评价方法及标准,最终规范鱼道的科学设计、运行及管理.

长洲水利枢纽鱼道(以下简称长洲鱼道)设计流量为 $6.64\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,最大落差 16.0 m,全长 1443.3 m,鱼道宽 5 m,是我国目前最大的鱼道.长洲水利枢纽为西江干流靠近珠江河口的第一个水坝,库区上游分布的东塔产卵场又是珠江水系规模最大的四大家鱼产卵场,洄游鱼类种类多、数量庞大,长洲鱼道的科学有效运行非常重要.本文在 2011—2014 年监测基础上,分析长洲鱼道中鱼类区系特征、种类组

成,并通过 R 软件 *vegan* 包计算多样性指数,绘制物种累计曲线,估算种类丰富度,分析鱼道过鱼优势种与环境因子的关联,以期更准确评估鱼道过鱼效果,为鱼道的设计及优化运行提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 鱼道鱼类采样

2011—2014 年 4—6 月通过堵截法在长洲鱼道采样 11 个批次,各批次采样时间见表 1.首先在鱼道下游尾水区域使用钢丝网拦截隔板过鱼孔,钢丝网的尺寸为(宽×高) $1.8\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,网目大小为 $1.5\text{ cm} \times 1.2\text{ cm}$,并使用钢管焊接固定.然后将鱼道上游的闸门关闭,将鱼道中的水基本排干后进行样品收集.每次组织 6 名人员,使用手抄网采集 1 h,对采集的鱼类进行种类鉴定,并测量体长、体质量等,以每次采集量作为单位捕捞努力量渔获量(catch per unit of effort, CPUE).

1.2 生物多样性分析

收集同期梧江江段的水温、气温、径流量、溶解氧、酸碱度及长洲水利枢纽坝上、坝下的水位资料.通过 R 软件(<http://www.r-project.org>)计算生物多样性指数.

Shannon 多样性指数:

$$H = - \sum P_i \ln P_i \tag{1}$$

Margalef 物种丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N \tag{2}$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = H / \ln S \tag{3}$$

式中: N 为每批次采集到的鱼类个体数; S 为每批次的鱼类种类数; P_i 为每批次第 i 种的个体数与总个体数比值.

1.3 群落结构分析

通过 Excel 绘制主要优势种的相对多度.通过 R 软件计算物种累计曲线,估算种类丰富度.使用 R 软件的 *vegan* 包分析主要优势种与环境因子(水温、气温、径流量、坝上坝下水位、溶解氧、pH 值)的典范对应(canonical correspondence analysis, CCA)关系.

2 结果与分析

2.1 鱼类区系及种类组成

2011—2014 年 4—6 月,长洲鱼道内共采集鱼类标本 6244 尾,合计鱼类 40 种,隶属于 5 目 11 科.洄游性种类花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)、弓斑东方鲀(*Takifugu ocellatus*)、青鱼(*Mylopharyngodon*

piceus)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)及鳙(*Aristichthys nobilis*)有出现,其中鲢的数量较多.以生态习性(洄游性、定居性等)及产卵类型(漂流性、沉粘性等)划分,鱼道中洄游习性及产漂流性卵的鱼类 18 种,占总种类数的 47.5%,个体数量上则占总样品数的 53.3%.各批次主要优势种数量比例有明显变化(图 1).总体上,主要优势种为瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)(29.1%)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)(16.8%)、鲮条(*Hemiculter leucisculus*)(14.7%)、银鲃(*Pseudolaubuca sinensis*)(12%)、银鮡(*Squalidus argentatus*)(10.8%)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)(7.3%)及鮠(*Cirrhina molitorella*)(2.7%)等.

通过物种累计曲线拟合鱼类种类在各批次出现的情况(图 2),预期随着采样次数的增加,种类数量也逐渐增多.累积曲线急剧上升后转为平滑的渐进线,表明采样较充分,样品量满足监测要求.通过 ACE(abundance-base coverage estimator)方法估计鱼类种类丰富度极值为 61 种.

2.2 多样性指数

比较 2011—2014 年长洲鱼道的采样结果,发现每年的首次采样中单位努力捕捞量(CPUE)及生物多样性指数较高(表 1).不同批次中 Shannon 多样性指数和 Margalef 物种丰富度指数变幅较大.Shannon 多样性指数均值为(1.380±0.279),Pielou 均匀性指数均值为(0.527±0.096),Margalef物种丰富度指数

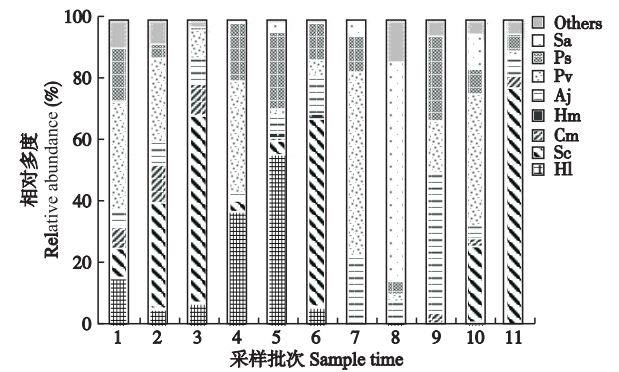


图 1 长洲鱼道中优势种组成及相对多度

Fig.1 Composition and relative abundance of dominant species in the Changzhou fishway.

Hl: 鲮条 *Hemiculter leucisculus*; Pv: 瓦氏黄颡鱼 *Pelteobagrus vachelli*; Aj: 日本鳗鲡 *Anguilla japonica*; Sc: 赤眼鲮 *Squaliobarbus curriculus*; Cm: 鮠 *Cirrhina molitorella*; Sa: 银鲃 *Squalidus argentatus*; Ps: 银鲃 *Pseudolaubuca sinensis*; Hm: 鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*. 下同 The same below.

均值为(1.494±0.329).

2.3 过鱼效果与环境因子的关系

从 CCA 排序图(图 3)可以看出,在考察的环境因子中,坝上水位、坝下水位与径流量对过鱼影响较大,其中坝上水位为正相关,坝下水位及径流量为负相关.水温较气温、溶解氧及酸碱度影响更大,但为负相关.分析环境因子及种类与排序轴的关联程度,坝上水位、坝下水位及径流量有显著性相关($P < 0.05$),除瓦氏黄颡鱼、银鲃外,其他种类也有显著性相关($P < 0.05$).在与环境因子的关系上,银鲃与其他种类明显不同,而瓦氏黄颡鱼、银鲃、日本鳗鲡距离最近,可归为同一个生态类群,其过鱼状况受水文影响小.总体上,图 3 较好地解析了主要种类与环境因子的关联,其中第 1 轴及第 2 轴分别解释了 53.5%和 22.5%的载荷.在环境因子中,坝上水位是最重要的环境因子,其次是径流量及水温(表 2).

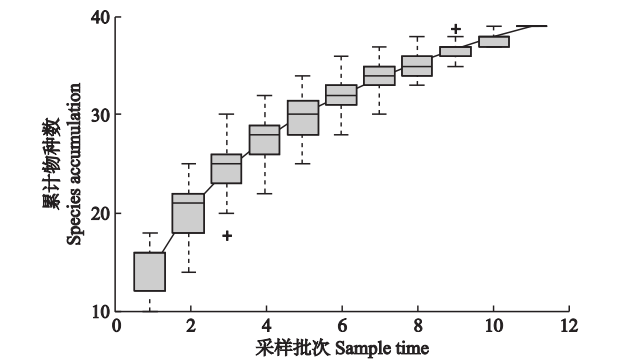


图 2 长洲鱼道采样物种累计曲线

Fig.2 Abundance-based accumulation curves of fish species in the Changzhou fishway.

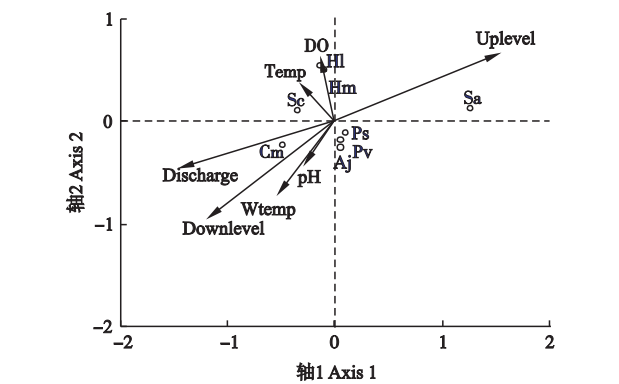


图 3 长洲鱼道过鱼效果的典范对应分析

Fig.3 Canonical correspondence analysis (CCA) for the migration effect of the Changzhou fishway.

Wtemp: 水温 Water temperature; Temp: 气温 Air temperature; discharge: 径流量 Discharge; Uplevel: 坝上水位 Water level up the dam; Downlevel: 坝下水位 Water level down the dam; DO: 溶解氧 Dissolved oxygen.

表 1 长洲鱼道不同采样时间的鱼类多样性
Table 1 Fish diversity of different fish catches in the Changzhou fishway

日期 Date	水温 Water temperature (℃)	种类数 Species	单位努力捕捞量 CPUE (ind)	多样性指数 Diversity index	均匀性指数 Evenness index	物种丰富度指数 Species abundance index
2011-05-17	22.7	17	612	1.912	0.675	1.839
2011-05-21	23.5	16	509	1.802	0.650	1.724
2011-05-29	23.5	10	242	1.282	0.557	1.034
2012-04-28	22.8	18	1504	1.367	0.472	1.954
2012-04-30	22.7	14	419	1.373	0.520	1.494
2012-05-01	23.2	11	174	1.174	0.489	1.149
2013-04-15	22.5	16	885	1.200	0.432	1.724
2013-04-20	23.2	12	670	1.016	0.409	1.264
2013-05-16	25.3	12	245	1.405	0.610	1.034
2014-04-22	21.5	16	592	1.542	0.584	1.494
2014-06-04	23.0	14	392	1.102	0.397	1.724

表 2 长洲鱼道过鱼效果 CCA 分析环境因子前 6 轴特征值
Table 2 Statistical characteristics of the six axes of the canonical correspondence analysis (CCA) for the environmental factor

环境因子 Environmental factor	CCA ₁	CCA ₂	CCA ₃	CCA ₄	CCA ₅	CCA ₆
Wtemp	-0.2818	-0.3795	-0.3841	0.3138	0.6294	0.3614
Discharge	-0.7585	-0.2420	-0.3085	0.3241	-0.2083	0.0757
pH	-0.1515	-0.2316	0.7572	-0.2470	0.1079	-0.5184
DO	-0.0721	0.3325	-0.5575	-0.5585	0.1494	0.3498
Temp	-0.1742	0.1976	0.3632	0.6465	0.4918	-0.3736
Uplevel	0.8014	0.3503	-0.1972	-0.2189	-0.2763	-0.1494
Downlevel	-0.6181	-0.4996	-0.2119	0.3610	-0.1379	0.0282

Wtemp: 水温 Water temperature; Discharge: 径流量 Discharge; DO: 溶解氧 Dissolved oxygen; Temp: 气温 Air temperature; Uplevel: 坝上水位 Water level up the dam; Downlevel: 坝下水位 Water level down the dam.

3 讨 论

3.1 过鱼目标需要进一步筛选

长洲鱼道设计的过鱼目标为中华鲟 (*Acipenser sinensis*)、鲟 (*Hilsa reevesii*)、七丝鲚 (*Coilia grayii*)、日本鳗鲡、花鳗鲡、白肌银鱼 (*Leucosoma chinensis*)^[10]。从目前监测采样情况上分析,日本鳗鲡为优势种类,花鳗鲡偶见,其他种类尚未出现。长洲鱼道种类出现情况与目前西江江段鱼类资源现状有关。据近几年的调查,在长洲鱼道修建前,中华鲟、鲟难以发现,事实上已经濒临灭绝^[11-13]。所以尚无法评估长洲鱼道对中华鲟及鲟的过鱼效果。目前没有发现七丝鲚及白肌银鱼在珠江的上溯洄游活动,这 2 个种类有可能已经在西江上游库区形成定居性种群。鉴于西江鱼类资源已发生变化,长洲鱼道过鱼目标有必要进一步进行筛选。目前国家尚未制定相关标准及规范

以确定过鱼目标,暂且根据目前西江的鱼类资源现状,建议将洄游、半洄游种类及优势种列入过鱼目标,如四大家鱼(青鱼、草鱼、鲢、鳙)、广东鲂 (*Megalobrama thymialis*)、赤眼鳟、鲮、鳊 (*Elopichthys bambusa*) 等。从过鱼种类及数量上分析,一半以上的个体具洄游习性或产漂流性卵,有实际的上溯需求。因此,除了保护珍稀濒危种类外,长洲鱼道还承担着对这些鱼类保护的功能。针对这些种类,长洲鱼道有必要在运行方式上加以调整,如相应延长鱼道运行时间。

3.2 针对种类结构上的效果评价

鱼道的建设运行以减缓对鱼类洄游阻隔影响为目标。通过鱼道上溯的种类区系及种群结构是评估鱼道过鱼效果的指标之一。目前长洲鱼道采样记录到的种类达 40 种,根据物种累计曲线估计,随着采样次数的增加,将有一些偶见种类出现,估计总种类数最大可达 61 种。根据近几年的监测,长洲坝坝下江段的鱼类种类有 76 种(不包括外来种),据此估计长洲鱼道对大部分鱼类种类提供了洄游通道。

与李跃飞等^[11]及李捷等^[13]在西江江段的鱼类种群结构及多样性比较,有些优势种类尚未在长洲鱼道出现,如广东鲂、斑鳊 (*Mystus guttatus*)、花鳊 (*Chupanodon thrissa*) 等。鱼道中鱼类多样性及均匀度指数都偏低,如坝下的江段 Shannon 多样性指数均值为 (3.073±0.257)。这说明鱼道对不同种类的诱导力有差异,鱼类进入鱼道仍是机会主义。Steffensen 等^[5]研究了加拿大 Ontario 鱼道对鱼类的诱导力,约 71% 的声学标记个体可以寻找到鱼道入口。典范对应分析 (CCA) 已经应用于分析鱼类与环境的关联,例如,CCA 分析显示舟山渔场不同鱼类组群所喜好

的环境存在差异,影响长江口鱼类分布的主要环境因子为盐度、深度、溶解氧^[14-15]. 本研究表明,长洲鱼道中水文是重要的环境因子,鱼道过鱼效果与水文状况密切关联.

广东鲂是西江水系优势种类,在浔江及郁江历史上都有分布,为避免其栖息地面积缩小、种群数量下降,有必要跟踪监测坝上江段的资源量,必要时可以采取人工放流的方式,维系合理健康的鱼类种群结构.

3.3 科学运行鱼道必要性

尽管长洲鱼道的过鱼情况仍受鱼类季节性洄游影响,但分析得知坝上水位是影响过鱼效果的最重要因子,其原因是坝上水位高低影响鱼道流量及下游入口的流速,关系到入口对鱼类的吸引力.长洲鱼道设计的运行水位为 20.6 m,鱼道出口高程 17.6 m,而汛期坝上水位下降至 18.6 m^[10]. 坝上低水位运行时,下泄水量不足,入口处水流缓慢,诱导鱼类能力显著下降.从不同批次监测结果上看,不同的水文状况过鱼效果有差别,水声学探测数据显示过鱼峰值可达每天 26.3 万尾^[8,16].但也有过鱼效果较差的状况,如 2013 年及 2014 年有 2 次采样中,鱼道中鱼类非常少.目前,鱼道的设计仅关注鱼道内的流速参数,忽略入口流速,且盲目依赖导鱼、诱鱼设施.适宜的鱼道进口是保证鱼类顺利进入鱼道的关键,鱼类有洄游路径的差异,趋流性在进口设计上具重要性^[17].因此,如何提高鱼道入口的诱鱼效果是今后需要关注的课题.

致谢 本研究得到广西长洲水电开发有限公司、广西壮族自治区梧州市水产兽医畜牧局及梧州渔政监督管理站等单位的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

参考文献

[1] Wang X-Y (王兴勇), Guo J (郭 军). Brief review on research and construction of fish ways at home and abroad. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research* (中国水利水电科学研究院学报), 2005, **3**(3): 222-228 (in Chinese)

[2] Investigation Team ChaoHu Fisheries Resources in Chao-hu Area of Anhui Province (安徽省巢湖地区巢湖水产资源调查小组). Research on effect of the Yu Xi Zha fishway and fishery benefit. *Freshwater Fisheries* (淡水渔业), 1975(7): 19-23 (in Chinese)

[3] Xu W-Z (徐维忠), Li S-W (李生武). Effect observation of the Yangtang fishway. *Hunan Fisheries Science and Technology* (湖南水产科技), 1982(1): 21-27 (in Chinese)

[4] Noonan MJ, Grant JWA, Jackson CD. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 2012, **13**: 450-464

[5] Steffensen SM, Thiem JD, Stampelcoskie KM, et al. Bi-

ological effectiveness of an inexpensive nature-like fishway for passage of warmwater fish in a small Ontario stream. *Ecology of Freshwater Fish*, 2013, **22**: 374-383

[6] Calles EO, Greenberg LA. The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. *Ecology of Freshwater Fish*, 2007, **16**: 183-190

[7] Wang K (王 珂), Liu S-P (刘绍平), Duan X-B (段辛斌), et al. Fishway effect of Cuijiaying Navigation Power Junction Project. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2013, **29**(3): 184-189 (in Chinese)

[8] Tan X-C (谭细畅), Tao J-P (陶江平), Huang D-M (黄道明), et al. A preliminary assessment of fish migration through the Changzhou Fishway. *Journal of Hydroecology* (水生态学杂志), 2013, **34**(4): 58-62 (in Chinese)

[9] Li J (李 捷), Li X-H (李新辉), Pan F (潘 峰), et al. Preliminary study on the operating effect of Xiniu Fishway in Lianjiang River. *Journal of Hydroecology* (水生态学杂志), 2013, **34**(4): 53-57 (in Chinese)

[10] Wei B (韦 兵), Pan Z-W (潘赞文). Design and practice of Guangxi Changzhou fishway// Assessment Center of Environmental Engineering Ministry of Environmental Protection (环境保护部环境工程评价中心). Research of Fish Protection Technology (Fishway Specifically) for Assessment on Environmental Impacts of Construction Projects. Beijing: China Environmental Science Press, 2011: 338-349 (in Chinese)

[11] Li Y-F (李跃飞), Li X-H (李新辉), Tan X-C (谭细畅), et al. Studies on present situation and change trend of Zhaoqing Section fishery resources in Xijiang River. *Reservoir Fisheries* (水库渔业), 2008, **28**(2): 80-83 (in Chinese)

[12] Tan X-C (谭细畅), Li X-H (李新辉), Tao J-P (陶江平), et al. Structure and seasonal dynamics of the ichthyoplankton community in Zhaoqing reach of Pearl River. *Journal of Hydroecology* (水生态学杂志), 2010, **3**(5): 27-31 (in Chinese)

[13] Li J (李 捷), Li X-H (李新辉), Jia X-P (贾晓平), et al. Evolvement and diversity of fish community in Xijiang River. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 2010, **17**(2): 298-311 (in Chinese)

[14] Liu S-D (刘淑德), Xian W-W (线薇微), Liu D (刘 栋). Characteristics of ichthyoplankton assemblages in Yangtze Estuary and adjacent waters in spring. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(10): 2284-2292 (in Chinese)

[15] Wang Y-B (王迎宾), Yu C-G (俞存根), Chen Q-Z (陈全震), et al. Community structure of fish in Zhou-shan Fishing Ground and its adjacent waters in spring and summer. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(2): 545-551 (in Chinese)

[16] Wu Z, Tan XC, Tao JP, et al. Hydroacoustic monitoring of fish migration in the Changzhou Dam fish passage. *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, **29**: 1445-1446

[17] Tang J-Y (汤荆燕), Gao C (高 策), Chen M (陈旻), et al. Study on influence of different flow patterns on fish attracting effect at fishway entrance. *Hongshui River* (红水河), 2013, **32**(1): 34-40 (in Chinese)

作者简介 谭细畅,男,1973 年,博士,副研究员. 主要从事鱼类生态学研究. E-mail: 743744100@qq.com

责任编辑 肖 红