

doi: [10.7541/2019.073](https://doi.org/10.7541/2019.073)

金沙江梯级大坝运行和三峡水库运行水位增高对长江上游干流寡鳞飘鱼仔鱼丰度和分布的影响

王震^{1,2} Arunjith Thundiparambil Sathrajith^{1,2} 谢松光^{1,3} 程飞¹

(1. 中国科学院水生生物研究所中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院水生生物研究所淮安研究中心, 淮安 223002)

摘要: 2009年、2012年和2015年在长江上游干流宜宾江段、朱杨江段和木洞江段采集鱼类早期资源, 确定寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulis* (Nichols))仔鱼的发生动态和丰度。金沙江梯级大坝运行前的2009年和2012年, 寡鳞飘鱼仔鱼出现高峰开始于5月中旬; 运行后的2015年, 6月下旬之前很少有仔鱼出现, 高峰开始于7月中旬。梯级大坝低温清水下泄是导致坝下江段寡鳞飘鱼仔鱼发生高峰期推迟的主要原因。与2009年和2012年相比, 2015年寡鳞飘鱼仔鱼丰度在宜宾江段有明显的增加, 在朱杨江段略有增加; 这表明寡鳞飘鱼种群能够适应大坝运行导致的生境条件的变化。木洞江段2009年至2015年间寡鳞飘鱼仔鱼丰度持续显著升高, 可能与该江段位于三峡水库变动回水区相关; 调查期间三峡水库运行水位由156 m增至175 m, 变动回水区缓流生境为寡鳞飘鱼仔鱼等提供了优良的育幼环境。基于研究结果, 我们认为寡鳞飘鱼仔鱼丰度和分布的时空差异是上游梯级大坝和下游三峡水库运行共同作用的结果, 反映出广适应性鱼类对建坝水域环境变化的更高的适应能力; 同时, 我们提出水库上游河流与水库库尾(甚至整个水库)形成的“河-库”复合生态系统可能具有与“河流-泛滥平原”复合生态系统相似的结构和功能, 对产漂流性卵鱼类的种群补充具有十分重要的价值。

关键词: 梯级大坝; 低温清水下泄; 繁殖期推迟; 广适应性种类; “河-库”复合生态系统

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2019)03-0606-06

大坝的建设和运行显著改变河流生境条件: 水库的形成使坝上河段激流生境转变成静水或缓流水环境, 而大坝的运行改变了坝下河段的水文情势、水体理化特征(如水温、溶解氧、营养盐和悬浮物浓度等)、河道形态和底质特征等^[1]。鱼类生境条件的变化导致适应原来河流生境的鱼类资源量显著降低, 分布区减小; 而广适性种类(包括外来鱼类)一般能较好地适应(甚至利用)大坝导致的生境条件变化, 表现出资源量明显增加、分布区扩大^[2-7]。

已有的关于大坝对鱼类生物多样性的影响大多以单个大坝的研究为主^[1]。但全球大部分大型河流都建设了梯级大坝^[1], 梯级大坝对鱼类多样性和

群落的影响及其累积效应将会明显超过单个大坝对鱼类的影响^[1]。梯级建坝水域的鱼类群落将面临同时受上游大坝低温清水下泄和下游水库淹没作用的影响^[1]。但是, 如果两座相邻大坝之间保留的河流生境足够的长, 喜流水性鱼类也许能够利用这段河流生境完成生活史和种群补充过程^[8]。因此, 梯级大坝间保持激流生境的河段有可能为喜流水性鱼类提供关键的栖息地条件, 是梯级建坝河流鱼类生物多样性保护的关键河段, 特别是对适应激流生境的特有鱼类至关重要^[1]。

长江上游干流指宜宾至宜昌之间的长江江段, 长约1030 km; 有154种鱼类的分布记录, 包括67种特有鱼类, 是长江鱼类多样性保护的重要江段^[1]。

收稿日期: 2018-06-04; **修订日期:** 2018-09-03

基金项目: 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室开放课题项目(SXSN3793); 中国长江三峡集团公司科研项目(CT-12-08-01); 国家自然科学基金(51209202)资助 [Supported by the Hubei Key Laboratory for Conservation of Fish Resources of Three Gorges Project (SXSN3793); Science Projects of the China Three Gorges Corporation (CT-12-08-01); the National Natural Science Foundation of China (51209202)]

作者简介: 王震(1992—), 男, 安徽阜阳人; 硕士研究生; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: wangzhenof@yahoo.com

通信作者: 程飞, E-mail: chengfei@ihb.ac.cn

三峡大坝和金沙江梯级大坝的建设和运行,已显著改变长江上游干流的鱼类栖息地条件,对长江鱼类生物多样性保护构成严重威胁^[1,9,10]。一方面,三峡水库蓄水淹没了上游干流约600 km河段,使喜流水性鱼类(包括特有鱼类)分布范围减小、资源量急剧下降,喜静水和缓流水生境的广适应性种类分布区扩大、资源量上升^[10-13]。另一方面,长江上游金沙江是我国水电开发重点水域;金沙江下游规划建设4座大坝,从上游到下游依次是:乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝大坝;其中向家坝大坝2012年10月开始蓄水,溪洛渡大坝2013年5月开始蓄水^[1]。向家坝大坝、溪洛渡大坝的建设和运行改变坝下长江上游干流江段的水动力特征和水体理化性状。目前,针对梯级大坝对长江上游特有鱼类的影响已经开展了研究^[1,10,14],但对上游干流广适性鱼类种群变化的研究报道较少^[15]。

寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulis* (Nichols)) 属鲤科、鲃亚科、飘鱼属;广泛分布于珠江、长江、黄河等水系^[16];栖息于流水和静水水体,偏好缓流水生境;产漂流性卵,在长江上游干流的主要繁殖时间为4—6月^[17];杂食偏肉食性,主要摄食水生昆虫、枝角类和桡足类^[17]。在三峡水库蓄水前,长江上游干流水域寡鳞飘鱼资源量较小^[17],现在已成为库区和上游干流江段的优势种类^[15]。综上所述,寡鳞飘鱼是一种典型的产漂流性卵的广适应性种类,为研究建坝河流广适应性鱼类的种群变动提供了良好的研究材料。本研究拟通过比较长江上游干流寡鳞飘鱼仔鱼分布和丰度的时空变化,分析金沙江梯级大坝和三峡水库不同运行水位运行对

广适性种类早期阶段个体丰度和分布的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域和调查时间

选择长江上游干流宜宾(28°42'N, 104°34'E)、朱杨(29°03'N, 105°55'E)和木洞(29°34'N, 106°50'E)三个江段进行采样(图1)。宜宾江段紧邻向家坝大坝,位于大坝下游约30 km;朱杨江段处于向家坝大坝下游约285 km,为河流流水生境;木洞江段处于向家坝大坝下游约470 km,位于三峡水库变动回水区(图1)。

寡鳞飘鱼仔鱼采集分别在2009年、2012年和2015年进行。在2009年采样时,向家坝大坝未蓄水;三峡水库执行156 m水位运行,水库回水范围最远到达木洞江段上游约40 km。在2012年采样时,向家坝大坝仍未蓄水;三峡水库执行175 m正常蓄水位运行,水库回水范围最远到达木洞江段上游约110 km。在2015年采样时,向家坝大坝已蓄水运行,三峡水库执行175 m正常蓄水位运行。2009年采样在5月7日至7月8日间逐日进行。2012年采样在5—7月间逐月进行,5—6月每月采样2—3次,7月采样1次。2015年采样在4月至2016年3月间逐月进行,5—7月间每月采样2次,其他月份每月1次。

1.2 采样方法与仔鱼种类鉴定

采用改制的长江鱼苗传统捕捞网具(筛网,网目0.5 mm)采集仔鱼^[18,19]。筛网网口面积4.9 m²,网长5 m,尾部开口至集苗网箱(规格:60 cm×35 cm×35 cm)。在采样江段选择河道顺直、上下游无障碍物的水域,固定网具在离河岸8—30 m、流速

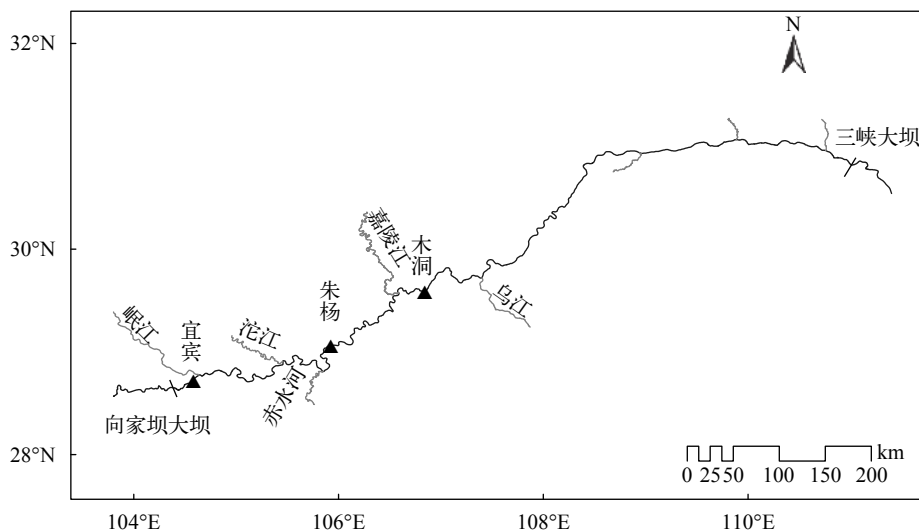


图1 长江上游干流寡鳞飘鱼仔鱼采集江段位置(▲),示向家坝大坝和三峡大坝位置(—)

Fig. 1 Sampling stations (▲) for *Pseudolaubuca engraulis* larvae in the upper mainstem of the Yangtze River, and locations of the Xiangjiaba Dam and the Three Gorges Dam (—)

0.2—0.8 m/s范围区域,网口朝向来水方向;网口上沿没于水下约0.3 m。每次采样持续采集24h,从集苗箱中分3次收集样品(约8h/次)。2009年和2012年样品保存在4%的甲醛溶液中,2015年样本先在4%的甲醛溶液中固定约2h,再转入75%酒精溶液中保存。根据形态特征识别2015年部分样品中的寡鳞飘鱼仔鱼^[20],然后采用DNA条形码进行确认^[18],最后依据可靠的形态特征分离出所有样品中寡鳞飘鱼仔鱼并计数。定义一张网1d(24h)内采集的寡鳞飘鱼仔鱼数量[尾/(网·d)]为单位捕捞努力量渔获量(CPUE, Catch Per Unit Effort)。用不同时间和江段寡鳞飘鱼CPUE数据分析仔鱼分布和丰度动态。数据作图采用Origin 8.0软件进行(Origin Laboratories, USA)。

2 结果

2009年共采集寡鳞飘鱼仔鱼506尾,最早出现时间为5月上旬。其中宜宾江段采集2尾,只在6月中旬出现一次(图2a、图3);朱杨江段采集234尾,最早出现在5月中旬,高峰在5月中下旬至6月上旬,

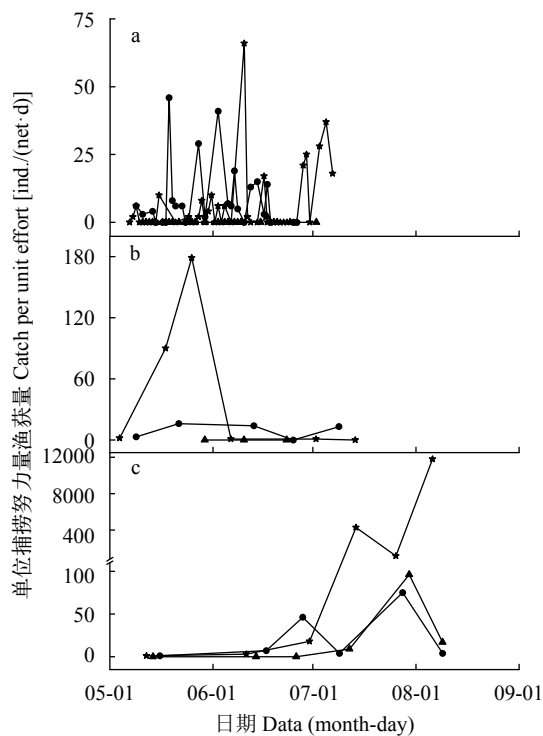


图2 2009年(a)、2012年(b)和2015年(c)长江上游干流宜宾(▲)、木洞(★)和朱杨(●)江段寡鳞飘鱼仔鱼单位捕捞努力量渔获量[尾/(网·d)]动态

Fig. 2 Fluctuations of Catch Per Unit Effort [ind./(net·d)] for *Pseudolaubuca engraulis* larvae at Yibin (▲), Zhuyang (●) and Mudong (★) in the upper mainstream of the Yangtze River in 2009(a), 2012(b), and 2015(c)

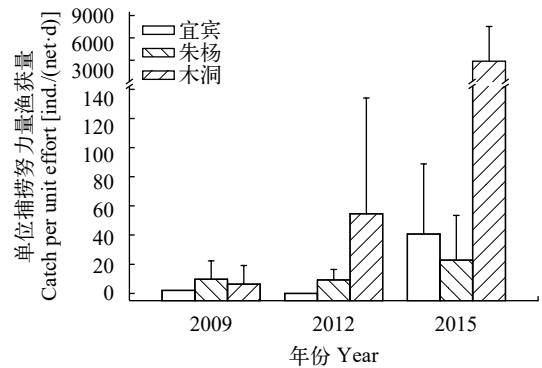


图3 2009年、2012年和2015年长江上游干流宜宾、朱杨和木洞江段寡鳞飘鱼仔鱼单位捕捞努力量渔获量(平均值±标准差)

Fig. 3 Catch Per Unit Effort (mean±SD) for *Pseudolaubuca engraulis* larvae at Yibin, Zhuyang, and Mudong in the upper mainstream of the Yangtze River in 2009, 2012, and 2015

仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(9.75±12.56)尾/(网·d)(图2a、图3);木洞江段采集270尾,最早出现在5月上旬,高峰在6月中上旬至7月上旬,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(6.28±12.81)尾/(网·d)(图2a、图3)。

2012年共采集寡鳞飘鱼仔鱼319尾,最早出现时间为5月上旬。宜宾江段未采集到寡鳞飘鱼仔鱼(图2b);朱杨江段采集46尾,最早出现是5月上旬,无明显高峰,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(9.20±7.19)尾/(网·d)(图2b、图3);木洞江段采集273尾,最早出现在5月上旬,高峰在5月下旬,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(54.60±79.44)尾/(网·d)(图2b、图3)。

2015年4月至2016年3月间共采集寡鳞飘鱼仔鱼17500尾,占全部仔鱼数量的40.2%,出现时间为2015年5月中旬至8月上旬。宜宾江段采集122尾,最早出现于7月中旬,高峰在7月底,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(40.67±48.09)尾/(网·d)(图2c、图3);朱杨江段采集137尾,最早出现在5月中旬,高峰在6月底至7月底,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(22.83±30.64)尾/(网·d)(图2c、图3);木洞江段采集17241尾,占寡鳞飘鱼仔鱼总量的98.5%,最早出现在5月中旬,高峰在7月中旬至8月上旬,仔鱼开始出现至最后出现期间的平均CPUE为(2873.58±4663.10)尾/(网·d)(图2c、图3)。

3 讨论

研究发现,随着金沙江梯级大坝的运行和三峡水库蓄水位的增加,长江上游干流寡鳞飘鱼仔鱼的丰度和分布动态发生了明显变化:(1)梯级大坝运行

后(2015年)与运行前(2009年和2012年)相比,仔鱼出现的高峰期推迟;(2)梯级大坝运行前(2009年和2012年)宜宾江段和朱杨江段寡鳞飘鱼仔鱼的丰度变化不明显,梯级大坝运行后(2015年)宜宾江段寡鳞飘鱼仔鱼的丰度明显增加,朱杨江段略有增加;木洞江段2009年至2015年间寡鳞飘鱼仔鱼的丰度均显著增加。研究表明,上游金沙江梯级大坝的运行使坝下江段寡鳞飘鱼繁殖期明显推迟,但与向家坝大坝距离较近的2个江段(宜宾和朱杨江段)仔鱼丰度呈现增加的趋势,表明寡鳞飘鱼等广适应性鱼类可能能够更好地适应大坝运行导致的坝下水文条件及理化特征的变化。木洞江段寡鳞飘鱼仔鱼的丰度明显增高,可能与该江段位于三峡水库变动回水区相关。水库变动回水区形成的缓流环境为寡鳞飘鱼等广适应性鱼类提供了优良的栖息地、索饵场和育幼场,有利于这些鱼类的种群增长。

历史文献记录寡鳞飘鱼在长江上游的产卵时间主要在4月至6月^[17]。本研究发现,在金沙江梯级大坝运行前(2009年和2012年)寡鳞飘鱼仔鱼出现的时间与历史数据基本一致。梯级大坝运行后的2015年仔鱼发生时间显著推迟,反映了梯级大坝运行对坝下江段的影响:大坝的低温清水下泄,使坝下江段鱼类饵料可获得性降低,性腺发育推迟,从而导致鱼类繁殖期推迟^[19, 21-23]。在向家坝大坝和溪洛渡大坝运行后,鱼类繁殖季节(3月至8月),距离大坝较近的宜宾江段水温明显低于下游木洞江段;2015年的最大温差为5.5℃,平均为2.0℃(未发表数据)。除了本研究的寡鳞飘鱼外,金沙江梯级大坝运行后长江上游干流其他鱼类的繁殖季节也明显推迟,如薄鳅属鱼类^[24]。目前金沙江下游仍有2个大坝在建,这些大坝建成运行后的累积效应,对长江上游干流江段水体理化特征和鱼类繁殖的影响将更加显著^[1]。

寡鳞飘鱼主要栖息在水流较缓或静水生境,产漂流性卵^[17]。由于长江上游水流较急,三峡水库蓄水之前,寡鳞飘鱼在上游的资源量较小^[17]。本研究发现,上游梯级大坝运行后,坝下保持流水生境的江段寡鳞飘鱼仔鱼资源量呈现增加的趋势,表明寡鳞飘鱼等广适应性种类可能对大坝影响的生境条件有更好的适应能力,能够适应坝下江段变化了的生境条件。但大坝运行后,该江段的特有鱼类,如圆口铜鱼和岩原鲤等,资源量显著减少^[14]。加之广适性种类(如太湖新银鱼)种群数量的增加,长江上游干流江段鱼类群落从梯级大坝运行前以适应激流生境为主的特有鱼类为优势类群,逐渐演替为

梯级大坝运行后以广适性种类为优势类群的群落结构(未发表数据)。广适性种类一般生命周期短,多为 r 对策者,种群容易爆发(如太湖新银鱼、寡鳞飘鱼等)^[15, 25];这些鱼类主要摄食浮游动物,与其他鱼类早期生活史阶段个体的食性重叠;因而广适性种类的种群爆发极有可能影响其他鱼类(包括特有鱼类)早期阶段个体的摄食、生长和存活^[25, 26]。因此,梯级大坝运行导致的坝下江段鱼类群落结构的改变,特别是广适性种类种群数量增加和优势度增大,可能进一步影响特有鱼类的种群数量,需要在以后鱼类生物多样性保护中引起重视。

2009—2015年木洞江段寡鳞飘鱼仔鱼丰度显著增加。三峡水库156 m(2006年9月开始)和175 m(2010年10月开始)水位运行时,木洞江段位于库尾回水变动区,最远淹没区域分别达木洞采样江段上游约40和110 km;而在三峡水库156 m运行前,木洞江段一直为河流生境。三峡库尾水域水流较缓,是寡鳞飘鱼等喜缓流水鱼类的喜好生境^[17];上游流水进入库尾缓流区域后,携带的有机颗粒物在该区域悬浮和沉积,导致库尾缓流区域饵料资源丰富,是鱼类(特别是浮游食性鱼类)优良的索饵场^[25, 27];此外,库尾缓流区栖息地异质性强,鱼类早期生活史不同阶段的个体均能找到适宜水文条件的生境,是鱼类优良的育幼场^[28, 29]。其他研究也发现,许多鱼类在库尾水域的丰度明显高于上游河流生境和下游水库静水生境^[30, 31]。因此,三峡水库变动回水区的缓流生境是木洞江段寡鳞飘鱼仔鱼丰度显著增高的主要原因。基于以上讨论,我们认为水库库尾与上游河流形成的“河-库”复合生态系统,对寡鳞飘鱼等产漂流性卵的鱼类种群补充具有十分重要的价值:库尾上游的河流为这些鱼类提供了产卵场,库尾(甚至整个水库)为鱼类提供索饵和育幼场。这种“河-库”复合生态系统与河流-泛滥平原复合生态系统(如长江中下游的江-湖复合生态系统)对鱼类种群的补充具有相似的功能。在三峡水库蓄水后,长江上游干流四大家鱼产卵规模增大,库区四大家鱼自然种群数量显著增加^[11, 27, 32],也可能是长江上游干流与三峡水库形成的“河-库复合生态系统”功能的反映。今后应加强该生态系统的功能研究,为鱼类生物多样性保护及库区渔业资源利用提供支持。

参考文献:

- [1] Cheng F, Li W, Castello L, et al. Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River [J]. *Reviews in Fish Biology & Fisheries*, 2015, 25(3): 569—585

- [2] Gehrke P C, Brown P, Schiller C B, *et al.* River regulation and fish communities in the Murray-Darling river system, Australia [J]. *River Research & Applications*, 1995, **11**(3—4): 363—375
- [3] Gehrke P C, Harris J H. Regional-scale effects of flow regulation on lowland riverine fish communities in New South Wales, Australia [J]. *River Research & Applications*, 2001, **17**(4—5): 369—391
- [4] Humphries P, Lake P S. Fish larvae and the management of regulated rivers [J]. *River Research & Applications*, 2015, **16**(5): 421—432
- [5] Havel J E, Lee C E, Vander Zanden J M. Do reservoirs facilitate invasions into landscapes [J]? *AIBS Bulletin*, 2005, **55**(6): 518—525
- [6] Vitule J R S, Skóra F, Abilhoa V. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics [J]. *Diversity and Distributions*, 2012, **18**(2): 111—120
- [7] Liew J H, Tan H H, Yeo D C J. Dammed rivers: impoundments facilitate fish invasions [J]. *Freshwater Biology*, 2016, **61**(9): 1421—1429
- [8] Suzuki F M, Pompeu P S. Influence of abiotic factors on ichthyoplankton occurrence in stretches with and without dams in the upper Grande River basin, south-eastern Brazil [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2016, **23**(2): 99—108
- [9] Liu J K, Cao W X. Fish resources of the Yangtze River basin and the tactics for their conservation [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1992, **1**(1): 17—23 [刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策. 长江流域资源与环境, 1992, **1**(1): 17—23]
- [10] Wu Q, Duan X B, Xu S Y, *et al.* Three Gorges Reservoir of the Yangtze River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, **37**(2): 70—75 [吴强, 段辛斌, 徐树英, 等. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状. 淡水渔业, 2007, **37**(2): 70—75]
- [11] Gao X, Zeng Y, Wang J, *et al.* Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, **87**(2): 163—173
- [12] Yang S R. Fish community ecology in the Yangtze River Basin [D]. Thesis for Doctoral of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 2012 [杨少荣. 长江流域鱼类群落生态学研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2012]
- [13] Park Y S, Chang J, Lek S, *et al.* Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam [J]. *Conservation Biology*, 2003, **17**(6): 1748—1758
- [14] Yang Z, Tang H Y, Gong Y, *et al.* The spatial-temporal distribution characteristics of the endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River under the normal operation of the Three Gorges Reservoir [J]. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 2017, **2**(1): 1—10 [杨志, 唐会元, 龚云, 等. 正常运行条件下三峡库区干流长江上游特有鱼类时空分布特征研究. 三峡生态环境监测, 2017, **2**(1): 1—10]
- [15] Wang H, Tian H W, Chen D Q, *et al.* Early Resource Investigation of *Pseudolaubuca engraulis* (Nichols) in the Jiangjin Section of the Upper Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2017, **38**(2): 82—87 [王涵, 田辉伍, 陈大庆, 等. 长江上游江津段寡鳞飘鱼早期资源研究. 水生生态学杂志, 2017, **38**(2): 82—87]
- [16] Chen Y Y. Fauna Sinica. Osteichthyes: Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press. 1998, 157—158 [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, 157—158]
- [17] Ding R H. The fishes of Sichuan, China [M]. Sichuan Public House of Science and Technology. 1994, 194—195 [丁瑞华. 四川鱼类志. 四川科学技术出版社. 1994, 194—195]
- [18] Ren P, He H, Song Y, *et al.* The spatial pattern of larval fish assemblages in the lower reach of the Yangtze River: potential influences of river-lake connectivity and tidal intrusion [J]. *Hydrobiologia*, 2016, **766**(1): 365—379
- [19] Song Y, Cheng F, Murphy B R, *et al.* Downstream effects of the Three Gorges Dam on larval dispersal, spatial distribution, and growth of the four major Chinese carps call for reprioritizing conservation measures [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017, **72**(1): 141—151
- [20] Cao W X, Chang J B, Qiao Y, *et al.* Fish Resource of Early Life History Stages in Yangtze River [M]. China Water Power Press. 2007, 107 [曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源. 中国水利水电出版. 2007, 107]
- [21] Zhou C S, Liang Z S, Huang H N. Ecological features of the spawning of certain fishes in the Hanjiang River after the construction of dams [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, **7**(2): 175—188 [周春生, 梁秩燊, 黄鹤年. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态. 水生生物学报, 1980, **7**(2): 175—188]
- [22] Wolf A E, Willis D W, Power G J. Larval fish community in the Missouri River below Garrison Dam, North Dakota [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 1996, **11**(1): 11—19
- [23] Zhang G, Wu L, Li H, *et al.* Preliminary evidence of delayed spawning and suppressed larval growth and condition of the major carps in the Yangtze River below the Three Gorges Dam [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2012, **93**(3): 439—447
- [24] Gao T X. Studies on Gobioninae fish resources and habitat selections in the upper Yangtze River [D]. Thesis for Doctoral of Science. Southwest University. 2016 [高天珩. 长江上游鮡亚科鱼类资源及生境选择策略研究. 博士学位论文, 西南大学, 重庆. 2016]
- [25] Gong W B. Studies on reproductive biology and resource fluctuation of icefish *Neosalanx taihuensis* Chen [D]. Thesis for Doctoral of Science. Institute of Hydrobiology,

- Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2009 [龚望宝. 太湖新银鱼繁殖生物学与资源动态研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2009]
- [26] Wang X L, Xiang J G, Liu J S, *et al.* Reduced growth and reproductive investment of *Hemiculter leucisculus* (Cyprinidae) in a reservoir with introduced icefish *Neosalanx taihuensis* (Salangidae) [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2013, **96**(7): 895—903
- [27] Lin P C, Liu F, Li M Z, *et al.* Spatial pattern of fish assemblages along the river-reservoir gradient caused by the Three Gorge Reservoir (TGR) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(6): 1124—1134 [林鹏程, 刘飞, 黎明政, 等. 三峡水库蓄水后长江上游鱼类群聚沿河流-水库梯度的空间格局. 水生生物学报, 2018, **42**(6): 1124—1134]
- [28] Buckmeier D L, Smith N G, Fleming B P, *et al.* Intra-annual variation in river-reservoir interface fish assemblages: implications for fish conservation and management in regulated rivers [J]. *River Research and Applications*, 2014, **30**(6): 780—790
- [29] Miranda L E, Wigen S L, Dage J D. Reservoir floodplains support distinct fish assemblages [J]. *River Research & Applications*, 2014, **30**(3): 338—346
- [30] Santos A B I, Terra B F, Araújo F G. Influence of the river flow on the structure of fish assemblage along the longitudinal gradient from river to reservoir [J]. *Zoologia (Curitiba)*, 2010, **27**(5): 732—740
- [31] Vašek M, Prchalová M, Říha M, *et al.* Fish community response to the longitudinal environmental gradient in Czech deep-valley reservoirs: implications for ecological monitoring and management [J]. *Ecological Indicators*, 2016, **63**: 219—230
- [32] Jiang W, Liu H Z, Duan Z H, *et al.* Seasonal variation in drifting eggs and larvae in the upper Yangtze, China [J]. *Zoological Science*, 2010, **27**(5): 402—409

EFFECT OF THE IMPOUNDMENT OF DAM CASCADE IN JINSHA RIVER AND INCREASED WATER LEVEL OF THE THREE GORGES RESERVOIR ON THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF *PSEUDOLAUBUCA ENGRAULIS* (NICHOLS) LARVAE IN THE UPPER MAINSTEM OF THE YANGTZE RIVER

WANG Zhen^{1,2}, Arunjith Thundiparambil Sathrajith^{1,2}, XIE Song-Guang^{1,3} and CHENG Fei¹

(1. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Huai'an Research Center, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Huai'an 223002, China)

Abstract: Ichthyoplankton were collected in the upper mainstem of the Yangtze River at Yibin, Zhuyang and Mudong in 2009, 2012 and 2015 to determine the occurrence dynamic and abundance of *Pseudolaubuca engraulis* (Nichols) larvae. The abundance of *P. engraulis* larval peaked from mid-May in 2009 and 2012 (pre-impoundment of dam cascade in the Jinsha River), while few larvae occurred before late-June and the abundance peaked from mid-July in 2015 (post-impoundment of the dam cascade). Hypolimnetic and clean water discharge from the dam cascade are critical factors on delaying spawning seasons and peak occurrence of the larval fish. The abundance of *P. engraulis* larvae showed an apparent increase at Yibin and a slight increase at Zhuyang in 2015 comparing to that in 2012 and 2013, indicating that the fish may adapt to the altered habitat environments by the dam cascade. Abundance of *P. engraulis* larvae at Mudong showed a significant increase during 2009 to 2015. The increase of the fish is probably related to the increasing operational water level (from 156 m to 175 m) of the Three Gorges Reservoir (TGR), which created slow flow habitats at Mudong section and then offered a favorable nursery for the larvae. Based on the results of this study, it is suggested that the temporal-spatial variation of *P. engraulis* larvae was jointly controlled by the upstream dam cascade and downstream TGR. Meanwhile, we suggest that the “River-Reservoir” ecosystem, constrained by the tail of reservoir (even all the reservoir) and its upstream river section, may have similar functions as the river-floodplain ecosystem in natural systems, and is valuable to the successful recruitment of fishes which produce drifting-egg.

Key words: Dam cascade; Hypolimnetic and clean water discharge; Delayed spawning seasons; Eurytopic species; “River-Reservoir” ecosystem