

# 太湖竺山湾缓冲带鱼类资源现状及调控措施研究

咸 义<sup>1,2,3</sup>, 叶 春<sup>1</sup>, 李春华<sup>1</sup>, 王延华<sup>2</sup>, 吕美婷<sup>1</sup>

(1. 中国环境科学研究院, 湖泊工程技术中心, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

(2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(3. 中交天津港航勘察设计研究院有限公司, 天津 300461)

**[摘要]** 为了解太湖竺山湾缓冲带内的湿地鱼类资源状况, 于 2015 年夏季对缓冲带内的竺山湖湿地水域鱼类资源进行调查, 并对鱼类生物群落的生物多样性等相关指数进行了分析。调查结果表明: 当前区域共有鱼类 20 种, 鱼类群落中以野生杂鱼种类居多, 经济型鱼类较少。水域中的鱼类均为自然发育, 并无放养历史, 年龄结构上也主要以 0+ 龄为主。食性结构上以杂食性鱼类为主, 其次是肉食性鱼类, 草食性鱼类数量最少。物种多样性指数中, Margalef 丰富度指数为 2.398, Shannon-Wiener 指数  $H'$ 、 $H''$  分别为 2.289 和 2.236, Pielou 均匀度指数  $J'$ 、 $J''$  分别为 0.764 和 0.746。可见, 当前湿地生态系统正处于发育演替中, 鱼类资源也达到较高的生物多样性, 提升了湿地内食物网的复杂程度, 与当前湿地水生植物生长的良好状况相适应。

**[关键词]** 竺山湾, 湖泊缓冲带, 湿地生态系统, 鱼类资源, 生物多样性

**[中图分类号]** X171.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2016)04-0086-06

## Study of the Status and Adjustment Measures of Fish Resources in the Zhushan Bay Buffer Zones of Taihu Lake

Xian Yi<sup>1,2,3</sup>, Ye Chun<sup>1</sup>, Li Chunhua<sup>1</sup>, Wang Yanhua<sup>2</sup>, Lü Meiting<sup>1</sup>

(1. Centre of Lake Engineering & Technology, State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment,  
Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

(2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3. CCCC Tianjin Port & Waterway Prospection & Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

**Abstract:** To understand the fish resource condition of wetlands in the area of lake buffer zones of the Zhushan Bay, this paper surveyed the fish resources in the Zhushan wetland system during the summer of 2015, and analyzed the fish biodiversity index and related indexes of the biological populations. Results show that: (1) 20 species of fish were collected in the current survey area; (2) Species of wild fish in fish communities are dominant, while those of economical fish are less; (3) Fish in the water are natural development. There is no history of stocking and mainly 0+ age on age structure. For the trophic structure, omnivorous fish are the main species, followed by the carnivorous fish and vegetarian fish populations. The value of Margalef richness index  $R$ , Shannon-Wiener index  $H'$  and  $H''$ , Pielou evenness index  $J'$  and  $J''$  is 2.398, 2.289, 2.236, 0.764 and 0.746, respectively. Results indicate that present wetland system is still undergoing succession. The fish stocks reached high biological diversity and enhanced the complexity of the food web, which also adapted to the growth of aquatic plants.

**Key words:** Zhushan Bay, lake buffer zone, wetland ecosystem, fish resource, bio-diversity

湖泊缓冲带是陆地与湖泊之间的缓冲区域, 具有缓冲人类活动影响、截留、净化陆源污染物、改善湖泊水质的重要功能, 同时还具有改善湖滨区景观、提供生物栖息地、缓冲和蓄滞洪水等多种功能<sup>[1]</sup>。当前太湖缓冲带面临着湿地面积锐减且生物多样性降低等的主要问题, 湖泊缓冲带生态环境功能退化严重, 在太湖重污染区竺山湾表现尤为突出<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2016-02-24.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07101-009)、国家自然科学基金 (41673107)、南京师范大学百人计划项目 (184080H20181)。

通讯联系人: 叶春, 博士, 研究员, 研究方向: 水污染控制与水体生态修复。E-mail: yechbj@163.com

在水生食物链中,鱼类代表着最高的营养水平.凡能改变浮游生物和底栖生物以及水生植物生态平衡的环境因素,都会改变鱼类种群结构<sup>[3]</sup>.因此,鱼类的生长状况能较好地响应水域生态环境变化,保持湖泊鱼类群落结构的合理性是湖泊管理与生态系统恢复的关键<sup>[4]</sup>.本研究采用多种网具类型对竺山湖湿地水域内的鱼类群落结构进行调查,并对群落的食性结构以及生物多样性等相关参数进行了分析,以期在此渔业资源调查基础之上研究湿地生物的食物网结构以及能流和物质流的情况,从而为缓冲带内的湿地生态系统的物种结构调控提供科学基础.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

竺山湖湿地建于2013年春季,原为底泥堆场.湿地内的水生植物主要为人工引种,沉水植物以黑藻、金鱼藻为主;挺水植物以茭草和香蒲为主;自生物种有水花生和假稻.湿地现有的鱼类物种均为自然发育生长.该湿地可看作是在人为干预的条件下进行了恢复与重建,水生植物与动物种类在恢复的过程中得到了较好的群落演替,生物量以及生物多样性较恢复之前也有了很大的增长.目前竺山湖湿地以鱼塘型湿地为主,功能定位于工业拦截型湿地,通过水域调节塘与草林系统的组合搭配实现对承接的西部工业园区径流的净化.南起殷村港,北抵弯浜,东接太湖大堤;研究区位于竺山湾缓冲带的核心区域,水域面积2.87 hm<sup>2</sup>.

### 1.2 样点布设

采样点的设置力求接近湿地水质监测的采样点,以便于结果的相关分析.除考虑排污口外,在主要入湖河道和出湖湖道上布点,同时可按湖流方向,从入湖口起在不同类型水域内布点,如进水区、出水区、深水区、浅水区、渔业保护区、捕捞区、湖心区、岸边区等.采样时,还应兼顾表层鱼、中层鱼和底层鱼<sup>[5]</sup>.根据上述要求,采样点位示意图见图1,在南北进出水两端分别设置两个采样点,1#和2#;根据水的流向以及由湖岸到湖心选择开阔水面进行鱼类捕捞,分设点位3#、4#、5#和6#.

### 1.3 样品采集与处理

#### 1.3.1 样品采集

2015年7月-8月间,每个调查点设置围网(3 m×4 m)1张、地笼(0.4 m×0.4 m×5 m)3只,每隔2日采集1次<sup>[6-7]</sup>.

#### 1.3.2 样品处理

鱼样采集后,立即现场记录生物数量、体重和体长,并进行种类鉴定.鱼样固定前,详细记录鱼体各部分的颜色<sup>[8]</sup>.加入3 g 硼砂和50 mL 10%福尔马林固定溶液.体长超过7.5 cm的鱼,打开体腔,使固定剂侵入内脏器官.鱼体僵硬前,摆正鱼体各部分及鳍条的形状,用纱布包裹后侵入固定液中保存.固定1~7 d后(取决于鱼的大小),取出,用流水清洗24 h,然后转入40%异丙醇中保存<sup>[9]</sup>.

年龄分析:采用鳞片法,测年龄用的鳞片一般取自鱼体中部侧线上方附近的部位,通常取5~6片.取后用清水洗净,夹于两块载玻片之间.同时记录被取鳞片鱼的长度和重量,确定性别及其成熟度<sup>[10]</sup>.

### 1.4 鱼类的种类鉴定

种类鉴定方法参照江苏鱼类志<sup>[11]</sup>.

### 1.5 鱼类群落的优势种分析

选择相对重要性指数(IRI)对群落的优势种进行区分和评价<sup>[12]</sup>.

$$IRI = (N+W) \times F, \quad (1)$$

式(1)中, $N$ 为某个种类的个体数占总个体数的百分比,%; $W$ 为某个种类重量占渔获物总重量的百分比,%; $F$ 为某个种类在调查中被捕获的点位数与总监测点位数之比.

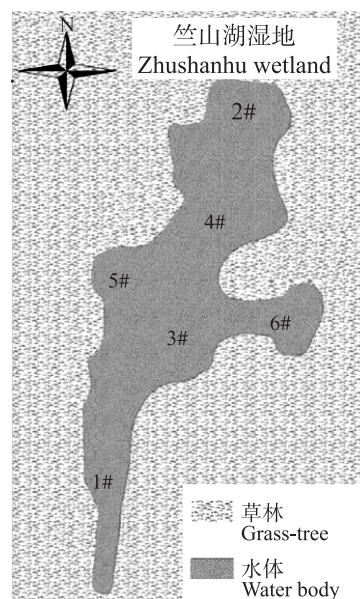


图1 竺山湖湿地水域鱼类资源调查点位分布图  
Fig. 1 Geographical location of the fish resource sampling site in the Zhushan wetland

1.6 鱼类群落的生物多样性指数分析

1.6.1 Margalef 物种丰富度指数( $R$ )<sup>[13]</sup>

$$R=(S-1)/\ln N,$$

(2)

式(2)中, $S$  为种类数; $N$  为所有种类的总个体数.

1.6.2 Shannon-Wiener 多样性指数

$$H'=-\sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i,$$

(3)

$$H''=-\sum_{i=1}^S W_i \times \ln W_i,$$

(4)

式(3)、式(4)中, $H'$ 、 $H''$ 分别是指基于物种数量和生物量来反应群落多样性; $P_i$  指第  $i$  种鱼类的个体数与总鱼类个体数的比值; $W_i$  指第  $i$  种鱼类的生物量与鱼类总生物量的比值<sup>[14]</sup>.

1.6.3 Pielou 均匀度指数

该项指数用于反映群落中物种间个体均匀分布的程度<sup>[15]</sup>.

$$J'=H'/\ln S,$$

(5)

$$J''=H''/\ln S,$$

(6)

式(5)、式(6)中, $J'$ 、 $J''$ 分别是指基于物种数量和生物量来反应群落物种的分布均匀度; $S$  为种类数.

1.7 数据处理

使用统计分析软件 STATISTICA 6.0 进行数据处理.

2 结果与分析

2.1 竺山湾缓冲带湿地鱼类物种组成与年龄结构

经过对渔获物的逐一鉴定,共统计到鱼类 20 种,分属 11 科、6 目,名录如表 1. 从渔获物种类调查结果来看,渔获物种类在太湖中均有发现,种类数量达到太湖的 43%左右<sup>[16]</sup>,渔获物种类当中又以鲤科鱼类最多,占总数的 50%;此外渔获物中经济鱼类种类较少,以野杂鱼为主,年龄结构上主要以 0+龄为主. 由于湿地水域建成时间较短且无放养历史,因此调查结果中未发现青、草、鲢、鳙等经济型鱼类.

表 1 竺山湖湿地渔获物种类组成  
Table 1 Species composition of catches of the Zhushan wetland

中文名	拉丁名	中文名	拉丁名
I 鲤形目	Cypriniformes	IV 合鳃鱼目	Synbranchiformes
i 鲤科	Cyprinidae	v 合鳃鱼科	Synbranchidae
1 翘嘴鲌	<i>Culter alburnus</i>	14 黄鳊	<i>Monopterus albus</i>
2 红鳍原鲌	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	V 鲈形目	Perciformes
3 鳊	<i>Parabramis pekinensis</i>	vi 虾虎鱼科	Gobiidae
4 大鳍鱮	<i>Acheilognathus macropterus</i>	15 子陵吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>
5 方氏鲃	<i>Rhodeus fangi</i>	vii 沙塘鳢科	Odontobutidae
6 麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	16 河川沙塘鳢	<i>Odontobutis potamophila</i>
7 长蛇鮈	<i>Saurogobio dumerili</i>	viii 月鳢科	Channidae
8 花鱼骨	<i>Hemibarbus maculatus</i>	17 乌鳢	<i>Channa argus</i>
9 鲤	<i>Cyprinus carpio</i>	ix 刺鲃科	Mastacembelidae
10 鲫	<i>Carassius auratus</i>	18 中华刺鲃	<i>Sinobdella sinensis</i>
ii 鲃科	Cobitidae	x 鲴科	Serranidae
11 泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	19 鳊	<i>Siniperca chuatsi</i>
II 鲇形目	Siluriformes	VI 鲢形目	Salmoniformes
iii 鲃科	Bagridae	xi 银鱼科	Salangidae
12 黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	20 大银鱼	<i>Protosalanx hyalocranius</i>
III 颌针鱼目	Beloniformes		
iv 鲃科	Hemirhamphidae		
13 间下鲃	<i>Hyporhamphus intermedius</i>		

2.2 鱼类资源的食性分析

根据食物中主要食物性质的不同,鱼类的食性类型主要有:碎屑食性(Detritivores)、腐食性(Scavengers)、植食性(Herbivores)、杂食性(Omnivores)和肉食性(Carnivores)等,其中肉食性鱼类又可根据捕食能力区分出凶猛肉食性<sup>[17]</sup>,几乎可以利用水体中所有可能的食物资源,且大部分鱼类同时摄食多种类型的食物.因此鱼类的食性类型常只代表鱼类优势食物类型性质<sup>[18]</sup>.

竺山湾湖泊缓冲带内竺山湖湿地水域的鱼类食性见图2.从图2可见,当前湿地鱼类资源中,以杂食性鱼类占多数,有13种,其中光泽黄颡鱼是一种肉食为主的

杂食性鱼类;其次是肉食性鱼类,有6种;草食性鱼类最少,只有1种,即鳊鱼种.湿地水生植物生长旺盛,尤其是沉水植物,为鱼类资源的生长繁殖提供了良好的栖息场所和食物来源.但是由于缺少多种类的草食性鱼类的存在,且当前生物量较低,必然导致大量的食物资源浪费,流入到腐蚀碎屑当中进入沉积,这对于水质条件的改善是不利的.

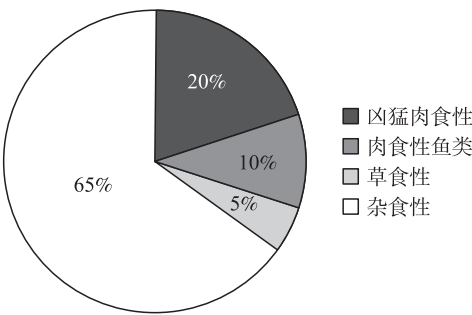


图2 竺山湖湿地水域鱼类食性分布  
Fig.2 Fish feeding distribution of the Zhushan wetland

2.3 鱼类群落优势种与多样性指数分析

2.3.1 群落优势种分析

相对重要性指数( *IRI* )包含了调查区各鱼类物种的渔获数量、重量和出现频率等参数,表达了各鱼类物种在群落中的重要程度,相较于单纯依靠数量或者生物量所占比例来对群落的优势种进行划分更为确切<sup>[19]</sup>.

根据计算结果, *IRI* 指数位居前10位的物种如表2所示.相对重要性指数最高的是鲫鱼,达到32.25,其次是鲤鱼和银鱼,分别达到29.99和28.12;从表中可看出,小型化的野杂鱼在优势种当中占据着一定的比例;相对重要性指数靠前的都是以杂食性为主,食物也主要以浮游动植物和底栖动物为主.

表2 竺山湖湿地鱼类相对重要性指数居前10位的优势物种  
Table 2 The top 10 fish species of *IRI* in the Zhushan wetland

编号	种	<i>IRI</i>	尾数百分比/%	重量百分比/%
1	鲫	32.25	8.96	23.29
2	鲤	29.99	8.16	21.83
3	银鱼	28.12	34.86	0.29
4	黄鳝	15.53	5.51	10.02
5	乌鳢	14.09	2.72	11.37
6	鳊	13.22	3.16	10.06
7	黄颡鱼	12.56	5.73	6.83
8	大鳍鲮	10.6	8.78	1.82
9	方氏鲮鲃	9.81	5.98	3.83
10	麦穗鱼	9.55	6.71	2.84

2.3.2 多样性指数分析

Margalef 丰富度指数( *R* )可以反映各物种对群落多样性的贡献;Pielou 指数是群落均匀度测度中较好的一种指数,它能够反映群落的多样性与理想状态之间差距<sup>[20]</sup>;使用基于数量的 Shannon-Wiener 指数对物种多样性进行描述,能更准确把握种类间数量的分布<sup>[21]</sup>. 选择一个合适的多样性指数对解释水体中鱼类群落结构和多样性都有着重要的意义. 单纯使用某一种多样性指数来解释资源的多样性容易造成较大的偏差. 通过几种不同的指数相互结合使用,可以完善地理解水生生态系统中鱼类群落的多样性状况.

经过计算,竺山湖湿地鱼类资源群落的 Margalef 丰富度指数为2.398;Shannon-Wiener 指数 *H'*、*H''* 分别为2.289和2.236;Pielou 均匀度指数 *J'*、*J''* 分别为0.764和0.746. 相邻太湖的物种丰富度指数为1.54,多样性指数 *H'*、*H''* 分别为0.21和0.46,均匀度指数 *J'*、*J''* 分别为0.07和0.14<sup>[22]</sup>,相比之下,调查区域的生物多样性指数均表现出较高的状态,鱼类的分布度指数更高.



### 3 讨论

#### 3.1 鱼类资源结构现状

通过调查发现,生态恢复之后的湖泊缓冲带湿地生态系统有效地促进了鱼类资源的生长.当前缓冲带内的竺山湖湿地鱼类资源结构以“小型化”为主,这里的“小型化”既指主要的经济鱼类物种的平均体重、体长较低,也指在群落优势物种中小型鱼类所占比例较大<sup>[23]</sup>.通过分析,造成鱼类资源这一状况的主要原因包括:(1)小型鱼类及一些种类的幼鱼常栖息于水生植被中以减小被食压力,当前湿地水域沉水植物和挺水植物覆盖度与生物量都较高,为这些幼鱼的生长提供了良好的栖息庇护环境;(2)湿地建成运行时间较短,在开展本次调查时运行刚满 2 年,当前湿地鱼类资源主要由外部迁移与自然繁育为主,无放养历史并且生长期较短,因而成熟度较低;(3)湿地鱼类捕捞强度大,肉食性鱼类的减少,造成鱼类的小型化与野杂鱼的增多.

因此,应遏制掠夺性开发,及时采取措施,减缓人为因素造成的鱼类资源匮乏,尽可能地恢复与重建已被破坏的湿地生态系统,使湿地重新发挥其环境、生态以及社会效益;维持湖泊缓冲带湿地环境功能,积极防治对湿地的污染,协调好开发利用与保护湿地环境之间的关系;加强湿地管理,对湿地的开发利用要以不破坏其再生机制为前提,维持湿地生态过程,遏制湿地生态系统的退化.

#### 3.2 鱼类资源调控措施研究

人工增殖放养是实现渔业资源持续发展的最好方法<sup>[24]</sup>.水生植物的初级生产量,只有一部分被摄食,剩余大部分都流入到有机碎屑而进入再循环或者沉积过程.在现有物种结构的基础上,可以人工增殖放养草食性鱼类物种,以此来增加生物多样性,并且提高初级生产者的生物取食效率.在此过程中,初级生产者流入到第 II 营养级的物质流量也得到提高.由此可见在对湿地物种结构现状的分析基础上,人为引种添加投放新的适宜物种既可以提高生物多样性,强化生态系统稳定性,也能在一定程度上解决湿地初级生产量过剩的问题.此外,适量增加凶猛肉食性鱼类的生物量,不但可以抑制小型低值鱼类的增长来促进经济型鱼类种群数量的增长,同时亦能使其自身具有较高的经济价值.生物多样性的丧失是环境受损的关键与核心,因而受损湖泊缓冲带的环境修复需要从保护和恢复生物多样性入手,通过对一些关键物种的调控来重建食物链结构.

以能量流动为主要研究内容的生态通道模型是研究生态系统食物网结构和功能的重要方法<sup>[25]</sup>,通过量化生态系统特征,利用该模型中的系统特征参数来表征生态系统的发育状态及成熟度<sup>[26]</sup>,因此,可在对缓冲带内的湿地鱼类资源调查基础之上,建立竺山湖缓冲带退化湿地生态系统的生态通道模型,研究各营养级间能流流动和物质传递效率以及湿地生态系统总体特征<sup>[27]</sup>,从而为竺山湖湿地生态系统的后续的生态调控以及生物量管理提供较强的理论指导,更好地实现缓冲带湿地生态系统的长效管理,充分发挥其净水效益.

### 4 结语

本研究通过定点采集的方式对太湖湖泊缓冲带内的竺山湖湿地鱼类资源结构进行调查,结果表明:经过 2 年时间的运行,当前湿地的鱼类资源已经达到了较高的生物多样性,共有鱼类 20 种,物种多样性的 Margalef 丰富度指数为 2.398;Shannon-Wiener 指数  $H'$ 、 $H''$  分别为 2.289 和 2.236;Pielou 均匀度指数  $J'$ 、 $J''$  分别为 0.764 和 0.746.此外,通过对竺山湖湿地鱼类群落的食性结构与群落优势度分析发现,湿地中以杂食性鱼类物种占比最高,草食性鱼类占比最低.相对重要性指数靠前的物种都是以杂食性为主.鱼类作为湿地食物网结构的重要组成部分,能量通过食物链-食物网转化为各营养层次的生物生产力,并对生态系统的服务和产出及其动态产生影响<sup>[28]</sup>.

作为湿地保护的积极措施,近年来湿地公园发展迅速,但是湿地公园缺乏行业规范指导和湿地专业人才技术支持,管理保护体系不完善.应建立统一的湿地保护机构,加快制定湿地资源保护的专门政策体系,形成多部门有效合作的管理机制;同时要加强科学研究,运用环境学、生态学等多学科理论,在查清湿地资源的基础上,开展湿地分布和演化规律、自然湿地和人工湿地生态系统结构与功能、退化湿地的恢复和重建等方面的研究,为湿地的科学管理和保护利用提供科学依据.

## [参考文献]

- [1] 叶春,李春华,邓婷婷. 湖泊缓冲带功能、建设与管理[J]. 环境科学研究,2013,26(12):1 283-12 89.
- [2] 李春华,叶春,赵晓峰,等. 太湖湖滨带生态系统健康评价[J]. 生态学报,2012,32(12):3 806-3 815.
- [3] 刘兴国. 池塘养殖污染与生态工程化调控技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2011:6-8.
- [4] 叶春,李春华. 太湖湖滨带现状与生态修复[M]. 北京:科学出版社,2014:151-159.
- [5] 刘勇. 渔业资源评估抽样调查方法的理论探讨与研究[D]. 上海:华东师范大学,2012:37-45.
- [6] 陈士祥. 围网养鱼捕捞方法[J]. 湖南农业,2013(9):29-29.
- [7] 孔优佳. 湖泊围网养鱼的赶张结合捕捞技术初探[J]. 淡水渔业,1988(2):6-9.
- [8] 朱松泉. 2002-2003 年太湖鱼类学调查[J]. 湖泊科学,2004,16(2):120-124.
- [9] 中国环境科学研究院. 湖泊生态安全调查与评估[M]. 北京:科学出版社,2012:164-166.
- [10] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997:663-667.
- [11] 伍汉霖,倪勇. 江苏鱼类志[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [12] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California department of fish and game, fish bulletin, 1971, 152: 1-10.
- [13] 陈国宝,李永振,陈新军. 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J]. 生物多样性,2007,15(4):373-381.
- [14] 陈宜瑜. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M]. 北京:科学出版社,1998:1-20.
- [15] 邓思明,臧增嘉,詹鸿禧,等. 太湖敞水区鱼类群落结构特征和分析[J]. 水产学报,1997(2):135-142.
- [16] 朱松泉,刘正文,谷孝鸿. 太湖鱼类区系变化和渔获物分析[J]. 湖泊科学,2007,19(6):664-669.
- [17] 谢松光,崔奕波,李钟杰. 湖泊鱼类群落资源利用格局研究进展与方法[J]. 水生生物学报,2003(1):78-84.
- [18] 付世建,曹振东,谢小军. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展[J]. 动物学杂志,2008,43(2):150-159.
- [19] 唐晟凯,张彤晴,沈振华,等. 太湖鱼类学调查及渔获物分析[J]. 江苏农业科学,2010(2):376-379.
- [20] 沈振华,杨建忠,毛志刚,等. 太湖渔获物资源分析及渔业管理[J]. 安徽农业科学,2014(1):117-120.
- [21] 刘凯,徐东坡,张敏莹,等. 崇明北滩鱼类群落生物多样性初探[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(4):418-421.
- [22] 毛志刚,谷孝鸿,曾庆飞,等. 太湖鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学杂志,2011,30(12):2 836-2 842.
- [23] CADDY J F, CSIRKE J, GARCIA S M, et al. How pervasive is "Fishing down marine food webs"? [J]. Science, 1998, 282(5 352):1 383.
- [24] 潘绪伟,杨林林,纪炜炜,等. 增殖放流技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2010(4):236-240.
- [25] 薛莹,金显仕. 鱼类食性和食物网研究评述[J]. 渔业科学进展,2003,24(2):76-87.
- [26] CHRISTENSEN V, WALTERS C J. Ecopath with ecosim: methods, capabilities and limitations [J]. Ecological modelling, 2004, 3(1): 2-4.
- [27] CHRISTENSEN V, WALTERS C J, PAULY D. Ecopath with ecosim version 6 user guide [M]. Vancouver: Fisheries centre, University of British Columbia, 2008: 1-6.
- [28] 唐启升. 中国海洋生态系统动力学研究[M]. 北京:科学出版社,2000:25-29.

[责任编辑:丁 蓉]