

上海大莲湖鱼类群落组成及生物多样性

岳峰¹, 罗祖奎², 吴迪¹, 裴恩乐³, 王天厚^{1,*}

(1. 华东师范大学 生命科学院 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062;

2. 凯里学院 环境与生命科学学院, 贵州 凯里 556011; 3. 上海市野生动物保护管理站, 上海 200233)

摘要: 于2009年4月11—19日、4月27—5月8日和5月20—29日3个时间段对大莲湖的鱼类群落特征及其多样性组成进行了调查, 共收集鱼类样本24 061尾, 隶属11科17属22种。群落优势种为鲫 (*Carassius auratus*), 占样本个体总数的76.38%; Shannon-Wiener多样性指数 (H') 为1.0027, Simpson优势度指数 (λ) 为0.5959, Pielous均匀度指数 (J') 为0.3244, Margalef种类丰富度指标 (D) 为2.0816, 相对稀有种数 (R) 为90.91%; 鱼类群落可分为3个生态类型: 江海洄游性鱼类有3种、河湖洄游性鱼类1种和定居性鱼类18种。鱼类食性可分为5种类型: 食鱼性鱼类9种、食无脊椎动物性鱼类2种、杂食性鱼类7种、食浮游生物性鱼类3种和草食性鱼类1种。研究结果表明: 大莲湖鱼类群落的多样性指标处于较低水平, 稳定性较低; 相对于黄浦江下游地区, 大莲湖的食鱼性鱼类比例较高, 说明位于黄浦江上游的大莲湖之水质好于下游流域。为保护和持续利用大莲湖鱼类资源, 应加强监管和对生态环境的保护。

关键词: 上海大莲湖; 鱼类群落; 生物多样性

中图分类号: Q958.155; Q959.408 文献标志码: A 文章编号: 0254-5853(2010)06-0657-06

Species composition and biodiversity of fish community in Dalian Lake, Shanghai

YUE Feng¹, LUO Zu-Kui², WU Di¹, PEI En-Le³, WANG Tian-Hou^{1,*}

(1. School of Life Sciences, Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, East China Normal University,

Shanghai 200062, China; 2. School of Environmental and Life Sciences, Kaili University, Kaili 556011, China;

3. Department of Wildlife Protection Administration, Shanghai 200233, China)

Abstract: A field fish survey of Dalian Lake, Shanghai was undertaken in Apr. 11–19, Apr. 27–May 8 and May 20–29, in total 24,061 fish individuals were collected, representing 22 species from 17 genera and 11 families. The dominant species is *Carassius auratus*, accounting for 76.38% of the total. The eigenvalues of species diversity were showing below: Shannon-Wiener's index (H') being 1.0027, Simpson's index (λ) being 0.5959, Pielous's index (J') being 0.3244, Margalef's index (D) being 2.0816 and relative rare species (R) being 90.91%. The fish community could be classified into 3 ecological types, which including river-sea migratory fish (3 species), river-lake migratory fish (1 species) and sedentary fish (18 species). Also they can be subcategorized into five types according to feeding habits, i.e., piscivorous fish (9 species), invertebratvorous fish (2 species), omnivores fish (7 species), planktotrophic fish (3 species), herbivorous fish (1 species). The results suggested that the biodiversity index and fish community stability are both at a low level. Compare to the lower reaches of Huangpu River, the proportion of piscivorous fish in Dalian Lake is higher, which suggested the water quality of Dalian Lake, located in the upper reaches of Huangpu River, is better than that in the downstream. It's required to intensify supervision and strengthen the environment protection of Dalian Lake to guarantee the sustainable development.

Key words: Dalian Lake, Shanghai; Fish community; Biodiversity

收稿日期: 2010-05-18; 接受日期: 2010-09-10

基金项目: 上海市科学技术委员会重大科技支撑项目 (08DZ1203200, 08DZ1203202, 08DZ1203203); the research grants (08DZ1203200, 08DZ1203202, 08DZ1203203) of the Science and Technology Commission of Shanghai Municipality

*通讯作者(Corresponding author), E-mail: thwang@bio.ecnu.edu.cn

第一作者简介: 岳峰, 男, 硕士研究生, 主要从事湿地生态学研究, E-mail: yuefengfeifei@126.com

鱼类作为水域生态学研究常用的重要指示类群 (Karr, 1981), 因其特殊的便利性可作为生物学评估监测的理想工具 (Xia et al, 2009)。同时, 鱼类是湖泊生态系统的重要组成部分, 其数量和组成的变化可以反映水域生物群落结构和水质变化 (Karr, 1981 & 1986; Liu et al, 2005)。

淀山湖群是上海市最大的湖泊湿地 (Zhang et al, 2009)。然而, 近年来随着人类对其不合理的开发利用, 产生了诸如湖泊萎缩、动物种群衰减、资源过度利用、环境污染等问题 (Sun et al, 1998; Wang, 2003; Xie et al, 2004)。大莲湖 (湖心坐标: 31°03' 53.76" N, 120° 59' 40.17" E) 是该区域湖泊群中的典型代表, 具有上千年的生态演替历史。大莲湖位于淀山湖下游、黄浦江上游, 是淀湖水经拦路港注入黄浦江的“枢纽通道”, 也是黄浦江上游水源保护区的核心位置 (Zhang et al, 2009; Zhu & Yang, 2008)。

上海地区的淡水鱼类主要集中在以大莲湖为核心的淀山湖区域。对大莲湖鱼类的研究可为整个淀山湖区域的鱼类资源保育和可持续利用提供对策。同时, 大莲湖湿地的生态修复对于淀山湖区域和黄浦江上游水源地的生物资源保育、水环境保护和净化具有重要意义 (Zhang et al, 2009; Zhu & Yang, 2008)。然而, 目前关于大莲湖湿地的研究缺少本底的鱼类多样性资料, 仅有生态规划 (Ge et al, 2009; Zhang et al, 2009) 和鸟类新分布方面的报道 (Yue et al, 2009)。本文从群落结构和生物多样性两个方面对大莲湖鱼类资源现状进行研究, 并结合临近区域的研究资料进行比较分析, 探讨影响鱼类多样性的不利因素, 以期为大莲湖湿地修复工程提供理论基础和评估依据。

1 研究区概况

大莲湖的湖面面积 0.99 km², 湖中心有面积 0.01 km² 的旱洲; 水位受外界水位涨落的影响, 以至于每天为不定向缓慢流动水体, 日水位涨落幅差约 5 cm; 每年春季水位总体上有 20~50 cm 逐日下降趋势, 汛期发生在 5 月底至 6 月中旬; 近岸 5~10 m 大部分修建了宽约 4 m、深 2~3 m 的航道, 湖的中部水深一般小于 1.5 m, 湖泊与外界相通的河道以及湖口水深大于 3 m; 平均高水位 2.68 m, 年平均低水位 2.03 m。

湖区属于感潮极弱地区, 因其有 5 个河道 (宽

度 10~15 m) 与外界水体相通, 相通的水体主要有横港、淀山湖 (面积约 62 km²) 等。调查期间湖泊中挺水植物主要有芦苇 (*Phragmites communis*) 和菰 (*Zizania caduciflora*), 以及少量的水花生 (*Alternanthera philoxeroides*); 沉水植物主要有狐尾藻 (*Myriophyllum ussuriense*)、黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、大茨藻 (*Najas marina*)、小次藻 (*Najas minor*) 等。整个湖泊为淤泥泥底。

大莲湖周边的各水体包括淀山湖在内, 每年的 3—9 月为禁捕期。大莲湖湖泊由于面积较小并没有实行严格禁捕, 调查期间总共有 9 户渔民捕鱼, 大部分渔民为兼职捕鱼, 所以大莲湖的捕捞强度并不算太大。

2 研究方法

2.1 鱼类调查

春末夏初是上海地区大多数鱼类活动比较活跃的时期 (Chen et al, 2008)。我们于 2009 年 4 月 11—19 日、4 月 27—5 月 8 日和 5 月 20—29 日三个时间段, 租用渔民的渔具对大莲湖的鱼类进行捕捞。所用渔具为圆柱体网笼, 其高 45 cm, 直径 36 cm, 网目 1 cm, 两端捕获口径 12 cm。这类封闭式网笼对水生植被结构无破坏作用, 比较适合于浅水生境中小型鱼类的定量采样 (Rozas & Minello, 1997)。网笼中没有放诱饵, 这种被动捕鱼方式对鱼基本没有伤害 (Clavero et al, 2009)。整个实验均采用这一种网笼, 避免了不同渔具对鱼类种类的选择性和捕获效率的差异 (Song et al, 1999; Ye et al, 2007)。

捕鱼时, 网笼浸没在水面下 0~10 cm, 系有白色塑料泡沫漂于水面作为标记。每天每个网笼收取 1 次。由于鱼群日繁殖集群高峰时间为 22:00~24:00 (Li et al, 2007), 所以, 白天任何时候收取网笼里的渔获物都不会影响捕获率。收取渔获物后网笼放回原处。对于没有水草生长区域的网笼, 我们邀请有经验的渔民将其固定以免晃动影响捕鱼率。网笼总数为 430 个, 但是由于每天有漏收情况, 所以每天实际收取的网笼数目在 412~428 之间。5 月 1 日因为天气恶劣只收取到网笼 225 个后被迫停止实验。因此, 5 月 2 日收取的渔获物没有记入统计数据。每次对采集的渔获物直接进行种类鉴定, 对于当时个别难以确定的种类在拍摄活体照片后用 10% 福尔马林液保存, 带回实验室进行鉴定。

2.2 生态类型、食性类型划分

大莲湖鱼类按照生态习性可以分为: 江海洄游性、河湖洄游性、定居性 3 种生态类型; 按照食性可以分为: 食鱼性、食无脊椎动物性、杂食性、食浮游生物性和草食性 5 种类型(Cai, 2010; Chen et al, 2008; East China Sea Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fisheries Sciences, 1990; Goldstein & Simon, 1999; Xia et al, 2009; Zhang, 2007)。

2.3 生物多样性统计

鱼类多样性采用 Shannon-Wiener 指数 (H')、Simpson 指数 (λ)、Pielou 指数 (J')、Margalefs 指数 (D)等指标 (Chen et al, 2008; Sun et al, 2007; Zhang et al, 2009)来进行分析。具体计算公式如下:

(1) 相对多度(relative density, RD)

$$RD = \frac{n_i}{N} \times 100\%$$

相对多度等级划分: $>10\%$ 为优势种; $1\% \sim 10\%$ 为常见种; $<1\%$ 为偶见种。

(2) Shannon-Wiener(diversity index, H')指数 H'

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

(3) Simpson 优势度指数 (dominance index, λ)

$$\lambda = \sum P_i^2$$

(4) Pielous 均匀度指数(evenness index, J')

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

(5) Margalef 种类丰富度指标(D)

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

(6) 相对稀有种数(R)

$$R = 100 \times S_r / S$$

n_i 为群落中第 i 种鱼的个体数; N 为群落中所有物种数量; P_i 为群落中第 i 种个体数的比例, 即 $P = \frac{n_i}{N}$; S 为群落中物种种类数量; M 为面积; S_r 为未达到总数 5% 的种类。

3 结 果

3.1 鱼类群落组成结构及其相对多度

本次春季调查共捕获鱼类 24 061 尾, 隶属 11 科 17 属, 包含 22 种鱼类 (表 1)。鲤科 11 种, 其尾数占样本总数的 86.87%。相对多度 RD 显示优势种为鲫(*Carassius auratus*), 占样本个体总数的 76.38%; 常见种为黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*) (9.57%)、红鳍鲃 (*Culter erythropterus*) (4.27%)、翘嘴红鲃

(*Erythroculter ilishaeformis*) (3.10%)、大鳍鲃 (*Acheilognathus macropterus*) (1.39%)和鲇 (*Silurus asotus*) (1.38%); 偶见种有 16 种, 分别为塘鳢 (*Odontobutis obscura*) (0.99%)、四川半餐 (*Hemiculterella sauvagei*) (0.80%)、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) (0.54%)、乌鳢 (*Channa argus*) (0.45%)、餐 (*Hemiculter leucisculus*) (0.25%)、高体鳊 (*Rhodeus ocellatus*) (0.25%)、鲤 (*Cyprinus carpio*) (0.19%)、多鳞鲃 (*Acheilognathus polylepis*) (0.13%)、彩石鲃 (*Rhodeus lighti*) (0.09%)、黄鲢 (*Monopterus albus*) (0.06%)、大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) (0.05%)、鳗鲡 (*Anguilla japonica*) (0.03%)、刀鲚 (*Coilia ectenes*) (0.03%)、圆尾斗鱼 (*Macropodus chinensis*) (0.03%)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) (0.01%) 和松江鲈 (*Trachidermus fasciatus*) (0.01%)。

3.2 生态类型、食性类型

经调查结果显示: (1) 生态类型: 江海洄游性鱼类 3 种 (刀鲚、鳗鲡和松江鲈), 占有种类数的 13.64%; 河湖洄游性鱼类 1 种 (草鱼), 占 4.54%; 定居性鱼类 18 种 (主要包括鲫、黄颡鱼、红鳍鲃、翘嘴红鲃、大鳍鲃和鲇等), 占 81.82%。(2) 食性: 食鱼性鱼类 9 种 (刀鲚、鳗鲡、红鳍鲃、翘嘴红鲃、黄颡鱼、鲇、松江鲈、塘鳢和乌鳢), 占 40.91%; 食无脊椎动物性鱼类 2 种 (黄鲢和圆尾斗鱼), 占 9.09%; 杂食性鱼类 7 种 (餐、大鳍鲃、鲫、鲤、四川半餐、泥鳅和大鳞副泥鳅), 占 31.81%; 食浮游生物性鱼类 3 种 (高体鳊、多鳞鲃和彩石鲃), 占 13.64%; 草食性鱼类 1 种 (草鱼), 占 4.55% (见表 1)。

3.3 生物多样性指标

根据鱼类多样性指标的计算公式, 数据处理结果: 多样性指数 (H') 为 1.0027, 优势度指数 (λ) 为 0.5959, 均匀度指数 (J') 为 0.3244, 种类丰富度 (D) 为 2.0816, 相对稀有种数 (R) 为 90.91%。

4 讨 论

4.1 鱼类数量及组成结构

根据有关资料, 目前已对该区域进行过 6 次鱼类资源调查: 1959 年调查有鱼类 60 属 75 种; 1974 年调查有 47 属 61 种; 1981—1982 年调查有 42 属 62 种; 1982—1985 年调查有 44 属 55 种, 1987—1988 年调查有 34 属 45 种; 2006 年调查有 18 属 23 种

表 1 大莲湖鱼类群落结构
Tab. 1 Structure of fish community in Dalian Lake

鱼类名称 Species	相对多度 RD(%)	生态类型 Ecological guilds	食性类型 Diet guilds
鲢科 Engraulidae			
1 刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>	0.03 ^c	江海洄游性	食鱼性
鳗鲡科 Anguillidae			
2 鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	0.03 ^c	江海洄游性	食鱼性
鲤科 Cyprinidae			
3 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	0.01 ^c	河湖洄游性	草食性
4 红鳍鲌 <i>Culter erythropterus</i>	4.27 ^b	定居性	食鱼性
5 翘嘴红鲌 <i>Erythroculter ilishaeformis</i>	3.10 ^b	定居性	食鱼性
6 餐 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.25 ^c	定居性	杂食性
7 高体鲌 <i>Rhodeus ocellatus</i>	0.25 ^c	定居性	食浮游类
8 大鳍鲌 <i>Acheilognathus macropterus</i>	1.39 ^b	定居性	杂食性
9 多鳞鲌 <i>Acheilognathus polylepis</i>	0.13 ^c	定居性	食浮游类
10 彩石鲌 <i>Rhodeus lighti</i>	0.09 ^c	定居性	食浮游类
11 鲫 <i>Carassius auratus</i>	76.38 ^a	定居性	杂食性
12 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.19 ^c	定居性	杂食性
13 四川半餐 <i>Hemiculterella sauvagei</i>	0.80 ^c	定居性	杂食性
鲴科 Cobitidae			
14 泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0.54 ^c	定居性	杂食性
15 大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	0.05 ^c	定居性	杂食性
鲮科 Bagridae			
16 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	9.57 ^b	定居性	食鱼性
鲇科 Siluridae			
17 鲇 <i>Silurus asotus</i>	1.38 ^b	定居性	食鱼性
杜父鱼科 Cottidae			
18 松江鲈 <i>Trachidermus fasciatus</i>	0.01 ^c	江海洄游性	食鱼性
合鳃科 Synbranchidae			
19 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	0.06 ^c	定居性	食无脊椎
塘鳢科 Eleotridae			
20 塘鳢 <i>Odontobutis obscura</i>	0.99 ^c	定居性	食鱼性
攀鲈科 Osphronemidae			
21 圆尾斗鱼 <i>Macropodus chinensis</i>	0.03 ^c	定居性	食无脊椎
鳊科 Channidae			
22 乌鳊 <i>Channa argus</i>	0.45 ^c	定居性	食鱼性
合计: 11 科 17 属 22 种	100		

a: 优势种 (Dominant species); b: 常见种 (Common species); c: 偶见种 (Rare species)

(Sun et al, 2007; Zeng et al, 2002)。由历史调查记录来看, 淀山湖区域的鱼类种类多样性呈递减趋势, 本次调查仅收集到 17 属 22 种, 这与曾正荣等 (2002)所得结论基本一致。

相关研究表明: 淀山湖、黄浦江和苏州河的鲤科鱼类在种类上占据优势(Chen et al, 2008; Sun et al, 2007; Xia et al, 2009)。本次共调查到 11 种鲤科鱼类, 在种类和数量上都占据优势(分别占 50%和 86.86%)。

4.2 生物多样性与食性

物种丰富度 (即种类数)常被用作鱼类多样性

研究中的重要指标 (Cui & Li, 2005); 但受到渔具选择性、捕捞点选择、某些种类特殊习性等诸多不确定性因素的影响, 在短期内获得所有鱼类样本是有难度的, 这对鱼类物种丰富度有较大影响 (Sun et al, 2007)。因此, 我们只能对种群的多样性进行较粗略的测定, 以资参考。

研究结果显示 (表 2), 与 1959 年在淀山湖所调查的各项指标相比: 多样性指数、均匀度指数、种类丰富度显著下降, 降幅分别为 73.22%、63.71%、80.58%; 优势度指数显著增大, 增幅分别为 1

表 2 鱼类多样性特征指数
Tab. 2 Diversity indices of the fishes

指标 Index	数值 Results	
	1959 年淀山湖* Dianshan Lake, 1959*	2008 年大莲湖 Dalian Lake, 2008
多样性指数 (H') Diversity index, H'	3.7447	1.0027
优势度指数 (λ) Dominance index, λ	0.0348	0.5959
均匀度指数 (J') Evenness index, J'	0.8938	0.3244
种类丰富度 (D) Species richness index, D	10.72	2.0816
相对稀有种数 (R) Relative rare species, R	—	90.91%

*数据引自 Sun et al (2007)。

612.24%。相对稀有种, 占 90.91%。

优势度指数为 0.5959 高于 1959 年的 0.0348。此说明, 大莲湖鱼类群落的优势种明显, 鱼类优势种群集中性较高。鲫鱼的渔获量最大, 平均密度明显高于其他鱼类。其余指标低于 1959 年的指标, 这与大莲湖鱼类种类数量较少有关。较低的物种丰富度表明: 大莲湖鱼类群落的种类组成简单, 群落结构的复杂性较低。多样性指数和均匀度较小, 优势度较高, 这些综合情况反映了大莲湖鱼类群落稳定性较低。相对而言, 偶见种, 占 90.91%, 这说明大莲湖的某些鱼类的资源极度匮乏, 有可能消失。

由于鱼类群落结构变化可以反映水体生物群落结构和水质的状况, Karr 提出了用鱼类群落检测水质的生物完整性指标 (Index of Biotic Integrity, IBI), 这一指标已在美国得到广泛的应用 (Karr, 1986 & 1991)。而食性分析和比较是揭示水域生物群落结构的重要途径 (Xia et al, 2009)。Karr (1981 & 1986) 研究表明, 鱼类物种数的减少, 食鱼性鱼类比例的降低, 以及杂食性鱼类比例的上升都是水域环境质量下降的典型表现。根据 Xia JH et al (2009) 的研究: 20 世纪 60 年代, 上海苏州河环境质量较好, 鱼类群落各食性类型的鱼类比例彼此相当; 2001 年, 苏州河水质已严重恶化, 鱼类各食性类群的比例相差较大, 杂食性鱼类占据了优势地位。

邻近区域的研究结果见表 3: 黄浦江和苏州河食鱼性鱼类所占比例较小 (分别为 20.51%和 20.00%), 而杂食性鱼类所占比例较大 (分别为 51.28%和 50.00%)。本次调查到的鱼类, 食鱼性鱼类所占比例 (40.91%)大于杂食性鱼类所占的比例 (31.81%)。可见位于黄浦江上游区域的大莲湖水质较好。

表 3 各食性的鱼类比例
Tab. 3 The percent of fishes in diet guilds

食性 Diet guild	2008 年 大莲湖 Dalian Lake, 2008 (%)	2006 年 黄浦江* Huangpu River, 2006* (%)	2006 年 苏州河* Suzhou River, 2006* (%)
食鱼性 Piscivorous	40.91	20.51	20.00
食无脊椎动物 Invertebratvorous	9.09	12.82	13.33
杂食性 Omnivores	31.81	51.28	50.00
食浮游生物 Planktotrophic	13.64	10.26	13.33
草食性 Herbivorous	4.55	5.13	3.34

*数据来源于 Chen et al (2008)。

4.3 威胁鱼类多样性的原因

有些鱼类对水质变化非常敏感, 往往会迁离恶劣的水体, 从而影响某一特定水域的多样性 (Chen et al, 2008)。大莲湖近年水质污染问题突出, 湖泊富营养化程度有加剧趋势 (Zhang et al, 2009)。Sun JY et al (2007) 研究表明: 淀山湖的优势种为刀鲚和鲫等 (分别占 40.09%和 20.52%), 但是, 大莲湖的优势种只有鲫 (占 76.38%)。而刀鲚耐污能力较弱 (Chen et al, 2008), 在水质较差的大莲湖中分布数量较少, 仅占 0.03%。这是威胁大莲湖鱼类生物多样性原因之一。同时, 水质恶化也是威胁淀山湖和黄浦江流域的鱼类资源的重要原因 (Chen et al, 2008; Sun et al, 2007; Xia et al, 2009)

电鱼等非法的违规作业严重干扰了渔业秩序, 也会造成渔业水域鱼类饵料生物的破坏, 致使电捕鱼后生物饵料贫乏, 间接影响渔业资源的恢复 (Cross† & Stott, 2006; Fu, 1999; Zhang, 2000)。大莲湖及周边水域存在普遍的电鱼现象, 这也是威胁鱼类多样性的原因。

此外, 栖息地结构的复杂程度是决定栖息地丰富度与多样性的一个重要因素 (Bell et al, 1991)。高度复杂的栖息地能提供好的生存场地和更多资源来降低物种间的竞争, 在捕食过程中提供好的避难场所 (Babbitt & Tanner, 1998; Sih et al, 1992), 从而支持更高的生物多样性。由于长期的围湖造塘, 大莲湖湖区面积减少了 67.3%, 湖区大面积围网养殖使水体分隔成块, 在一定程度上阻隔了洄游通道, 湖区内水草种类及生物量的减少影响了水生动物的繁殖及觅食, 导致水生生物数量减少(Ge et al, 2009; Zhang et al, 2009)。这将导致生态系统的退化和生物多样性的降低。

参考文献:

- Babbitt KJ, Tanner GW. 1998. Effects of cover and predator size on survival and development of *Rana utricularia* tadpoles[J]. *Oecologia*, **114**: 258-262.
- Bell SS, McCoy ED, Mushinsky HR. 1991. Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space[M]. London: Chapman and Hall.
- Cai QH (Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences). 2010. Inland water biological division of Chinese Biodiversity Information Center (Scientific Database), The information system for inland water biodiversity [DB/OL]. <http://brim.ihb.ac.cn/07/CN/05.asp>. [蔡庆华 (中国科学院武汉水生生物研究所). 2010. 中国生物多样性信息系统内陆水体生物学分部, 中国淡水鱼类原色图集查询系统 [DB/OL]. <http://brim.ihb.ac.cn/07/CN/05.asp>]
- Chen XH, Li XP, Cheng X. 2008. Spatial-temporal distribution of fish assemblages in the upstreams of Huangpu River and Suzhou Creek[J]. *Biodiver Sci*, **16** (2): 191-196. [陈小华, 李小平, 程曦. 2008. 黄浦江和苏州河上游鱼类多样性组成的时空特征. 生物多样性, **16** (2): 191-196.]
- Clavero M, Pou-Rovira Q, Zamora L. 2009. Biology and habitat use of three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in intermittent Mediterranean streams[J]. *Ecol Freshwat Fish*, **18**: 550-559.
- Cross† DG, Stott B. 2006. The effect of electric fishing on the subsequent capture of fish [J]. *J Fish Biol*, **7** (3): 349-357.
- Cui YB, Li ZJ. 2005. Fishery Resources and Conservation of Environment in Lakes of the Changjiang River Basin [M]. Beijing: Science Press, 96-100. [崔奕波, 李种杰. 2005. 长江流域湖泊的渔业资源与环境保护[M]. 北京: 科学出版社, 96-100.]
- East China Sea Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai Fisheries Research Institute. 1990. The Fishes of Shanghai Area [M]. Shanghai Scientific and Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese) [中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海市水产研究所编著. 1990. 上海鱼类志[M]. 上海: 科学技术出版社.]
- Fu R. 1999. Bombing fish, poisonous fishing and electric fishing are illegal [J]. *Hunan Nongye*, (8): 22. (in Chinese) [付锐. 1999. 炸鱼、毒鱼、电鱼是违法行为. 湖南农业, (8): 22.]
- Ge ZM, Zhou X, Wang KY, Chen LT, Wang TH. 2009. Ecological planning and benefits analysis on deteriorated lake wetlands-a case study of west suburbs wetland (Shanghai) [J]. *Ecol Econ*, (4): 30-36. [葛振鸣, 周晓, 王开运, 陈乐天, 王天厚. 2009. 受损湖泊湿地生态修复规划与效益分析——以上海西郊湿地为例. 生态经济, (4): 30-36.]
- Goldstein RM, Simon TP. 1999. Toward a United Definition of Guild Structure for Feeding Ecology of North American freshwater fishes[M]// Simon TP ed. Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities. New York: CRC Press: 123-138.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. *Fishes*, **6**: 21-27.
- Karr JR. 1986. Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and its Rationale[M]. Illinois: Illinois Natural History Survey Special Publication, 5: 28.
- Karr JR. 1991. Biological integrity: A long-neglected aspect water resource management [J]. *Ecol Appl*, **1**: 66-84.
- Li WJ, Wang JW, Xie CX, Tan DQ. 2007. Reproductive biology and spawning habitats of *Megalobrama pellegrini*, an endemic fish in upper-reaches of Yangtze River basin [J]. *Acta Ecol Sin*, **27** (5): 1917-1925. [李文静, 王剑伟, 谢从新, 谭德清. 2007. 厚颌鲂 (*Megalobrama pellegrini*) 的繁殖生物学特征. 生态学报, **27** (5): 1917-1925.]
- Liu ES, Liu ZW, ChenN WM, Chen KN. 2005. Changes in yield and composition of the fish catches and their relation to the environmental factors in Lake Taihu [J]. *J Lake Sci*, **17** (3): 251-255. [刘恩生, 刘正文, 陈伟民, 陈开宁. 2005. 太湖鱼类产量、组成的变动规律及与环境的关系. 湖泊科学, **17** (3): 251-255.]
- Liu ES. 2007. Review on the interrelationship between fishes and water environment [J]. *J Fisher Chn* **31**(3): 391-399. [刘恩生. 2007. 鱼类与水环境间相互关系的研究回顾和设想. 水产学报, **31**(3): 391-399.]
- Rozas LP, Minello TJ. 1997. Estimating densities of small fishes and decapod crustaceans in shallow estuarine habitats: A review of sampling design with focus on gear selection [J]. *Estuaries*, **20**: 199-213.
- Sih A, Kats LB, Moore RD. 1992. Effects of a predatory sunfish on the density, drift, and refuge use of stream salamander larvae[J]. *Ecology*, **73**: 1418-1430.
- Song TX, Zhang GH, Chang JB, Miao ZG, Deng ZL. 1999. Fish biodiversity in Honghu Lake [J]. *Chn J Appl Ecol*, **10** (1): 86-90. [宋天祥, 张国华, 常剑波, 苗志国, 邓中彝. 1999. 洪湖鱼类多样性研究. 应用生态学报, **10** (1): 86-90.]
- Sun JY, Dai XJ, Zhu JF, Ji WB, Tian ZQ. 2007. Analysis of the fish species diversity in Dianshan Lake [J]. *J Shanghai Fisher Univ*, **16** (5): 454-459. [孙菁煜, 戴小杰, 朱江峰, 季伟彬, 田芝清. 2007. 淀山湖鱼类多样性分析. 上海水产大学学报, **16** (5): 454-459.]
- Sun ZZ, Wu WN, Lin HS, Liu SM. 1998. The water quality monitoring on Dianshanhu Lake and upper reach of Huangpu River for fishery [J]. *Fisher Sci Technol Inf*, **25**(5): 220-223. [孙振中, 吴维宁, 林惠山, 刘淑梅. 1998. 淀山湖、黄浦江上游渔业水质监测. 水产科技情报, **25**(5): 220-223.]
- Wang SN. 2003. Wetland Use and Protection in Shanghai [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. [汪松年. 2003. 上海湿地利用和保护[M]. 上海: 上海科学技术出版社.]
- Xia JH, Lu JF, Zhou BC, Tan HZ. 2009. A preliminary study on fish communities in Suzhou Creek, Shanghai [J]. *J Lake Sci*, **21** (4): 538-546. [夏建宏, 陆剑锋, 周保春, 谈慧珍. 2009. 上海苏州河鱼类群落的初步研究. 湖泊科学, **21** (4): 538-546.]
- Xie YM, Du DC, Sun ZH, Yu WD. 2004. Wetlands in Shanghai [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers. [谢一民, 杜德昌, 孙振华, 俞伟东. 2004. 上海湿地[M]. 上海: 上海科学技术出版社.]
- Ye SW, Li ZJ, Cao WX. 2007. Species composition, diversity and density of small fishes in two different habitats in Niushan Lake [J]. *Chn J Appl Ecol*, **18** (7): 1589-1595. [叶少文, 李钟杰, 曹文宣. 2007. 牛山湖两种不同生境小型鱼类的种类组成、多样性和密度. 应用生态学报, **18** (7): 1589-1595.]
- Yue F, Luo ZK, Wu D, Ren WL, Wang TH. 2009. *Halcyon smyrnensis*: One New Bird Record from Dalian Lake, Shanghai [J]. *Chn J Zool*, **44** (6): 16. [岳峰, 罗祖奎, 吴迪, 任文玲, 王天厚. 2009. 上海市大莲湖发现白胸翡翠. 动物学杂志, **44** (6): 16.]
- Zeng ZR, Yuan YK, Sun JG. 2002. Study on biological resource in Dianshanhu Lake [C]// Wetland Use and Protection in Shanghai Symposium TECHNOLOGY. Shanghai. (in Chinese) [曾正荣, 袁永坤, 孙建国. 2002. 淀山湖生物资源调查研究[C]// 上海市湿地利用和保护研讨会论文集, 96-103.]
- Zhang H. 2007. The ecological characteristics of fish communities in the Yangtze estuarine wetlands, China [D]. Ph.D. thesis, East China Normal University. [张衡. 2007. 长江河口湿地鱼类群落的生态学特征. 华东师范大学.]
- Zhang HH. 2000. Electric fishing, bombing fishing and poisonous fishing on the fishery resources and fishery ecological environment [J]. *Fisher Guide Rich*, (1): 39. (in Chinese) [张汉华. 2000. 电、炸、毒鱼对渔业资源和渔业生态环境的. 渔业致富指南, (1): 39.]
- Zhang HW, Zhu XY, Che Y, Zhuo YW, Hu W. 2009. Approach for ecological restoration of Dalian Lake based on regional development and water source protection [J]. *Chn Water Wastewat*, **25** (18): 6-10. [张宏伟, 朱雪诞, 车越, 卓元午, 胡伟. 2009. 基于区域发展与水源保护大莲湖生态修复途径. 中国给水排水, **25** (18): 6-10.]
- Zhang T, Zhuang P, Liu J, Zhang ZL, Feng GP, Hou JL, Zhao F, Liu JY. 2009. Species composition and biodiversity of fish community in Chongming Dongtan of Yangtze River estuary [J]. *Chn Ecol*, **28** (10): 2056-2062. [张涛, 庄平, 刘健, 章龙珍, 冯广朋, 侯俊利, 赵峰, 刘鉴毅. 2009. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性. 生态学杂志, **28** (10): 2056-2062.]
- Zhu XL, Yang ZY. 2008. An empirical analysis in job transfer in water source protection areas: a case in Dalian Lake, Shanghai. (in Chinese) [J]. *J Agrotechn Econ*, (3): 106-112. [朱晓莉, 杨正勇. 2008. 上海淀山湖水源保护区渔民转业转业影响因素的实证分析. 农业技术经济, (3): 106-112.]