

文章编号: 1674-5566(2019)04-0587-10

DOI:10.12024/jsou.20180802383

千岛湖国家级水产种质资源保护区(梓桐核心区)鱼类群落结构

郝雅宾^{1,2,3,4}, 刘金殿^{1,2,3,4}, 郭爱环^{1,2,3,4}, 张爱菊^{1,2,3,4}, 原居林^{1,2,3,4},
练青平^{1,2,3,4}, 顾志敏^{1,2,3,4}

(1. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001; 2. 农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室, 浙江 湖州 313001;
3. 中国水产科学研究院东海水产研究所浙江研究中心, 浙江 湖州 313001; 4. 浙江省淡水水产遗传育种重点实验室,
浙江 湖州 313001)

摘要: 2016 年 3 月—2017 年 11 月对梓桐核心区水域的鱼类资源按季度进行采样调查, 对该水域鱼类群落种类组成、生态类型、优势种、多样性指数和 ABC 曲线进行分析。共采集鱼类 43 种, 隶属 4 目 8 科 30 属, 其中, 鲤科鱼类种类最多 (65.12%); 以中上层、杂食性、湖泊定居性鱼类为主; 优势种为黄尾鲴 (*Xenocypris davidi*)、银鲴 (*Pseudolaubuca sinensis*) 和鳊 (*Aristichthys nobilis*); Margalef、Simpson、Shannon-Wiener 和 Pielou 指数两年的变化范围分别为 3.17~5.01、0.68~0.89、1.79~2.55 和 0.61~0.84; 鱼类群落结构季节变化呈显著差异, 且在多数情况下受到中度干扰。研究结果不仅有助于了解千岛湖保护区内的鱼类群落和资源的状况, 而且可为兴建水利工程对鱼类群落结构影响提供参考资料。

关键词: 千岛湖; 鱼类资源; 群落结构; 优势种; 生物多样性

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

梓桐核心区是千岛湖国家级水产种质资源保护区之一, 是新安江水系中的一个支流水域。新安江发源于安徽省休宁县六股尖, 由歙县街口镇流入浙江省淳安县境内, 至建德市梅城镇, 旧名徽港、青溪、歙港, 主流长 365 km, 流域面积为 11 047 km², 属钱塘江水系^[1]; 而千岛湖(新安江水库)是 1960 年建成新安江水电站后拦蓄新安江下游而形成的人工湖。目前, 千岛湖水域的鱼类研究的报道颇多, 主要集中在以下几个方面: (1) 单个种类的生长^[2]、食性^[3-4]和遗传^[5-6]等方面研究; (2) 刺网渔获物^[7-8]的相关研究; (3) 渔业资源状况及增殖管理^[9-12]、保水渔业对渔业生态系统的影响^[13-14]等方面研究。但千岛湖国家级水产种质资源保护区——梓桐核心区水域的鱼类资源及群落结构相关调查研究未见报道。由于大坝的建立、水体污染、保水渔业和增殖放流等人为因素造成水体环境的改变, 水域生境发生巨大变化, 在很大程度上对该水域的鱼类资源产生重

要的影响。另外, 国内关于水产种质资源保护区鱼类相关的研究^[15-18]报道颇多, 而针对千岛湖国家级水产种质资源保护区鱼类的相关研究存在空白。因此, 本调查于 2016 年 3 月至 2017 年 11 月期间, 针对千岛湖梓桐核心区水域鱼类资源开展了 8 次采样调查, 旨在了解该水域的鱼类资源现状并为水库的渔业资源保护和科学利用提供参考, 以填补此处水域鱼类相关研究的空白, 也可为水产种质资源保护区的渔业管理提供一定的参考资料。

1 材料与方法

1.1 采样区域和调查时间

2016 年 3 月、6 月、9 月、11 月和 2017 年 3 月、6 月、9 月、11 月针对千岛湖国家级水产种质资源保护区——梓桐核心保护区水域(图 1)内的鱼类资源进行季度调查。

收稿日期: 2018-08-22 修回日期: 2018-12-18

基金项目: 浙江省海洋与渔业局财政专项(浙淡研业[2016]3 号); 浙江省科技计划项目(2012F30023)

作者简介: 郝雅宾(1989—), 男, 理学硕士, 工程师, 研究方向为水生生物资源保护与开发。E-mail: hao_ya_bin@126.com

通信作者: 顾志敏, E-mail: guzhimin2006@163.com

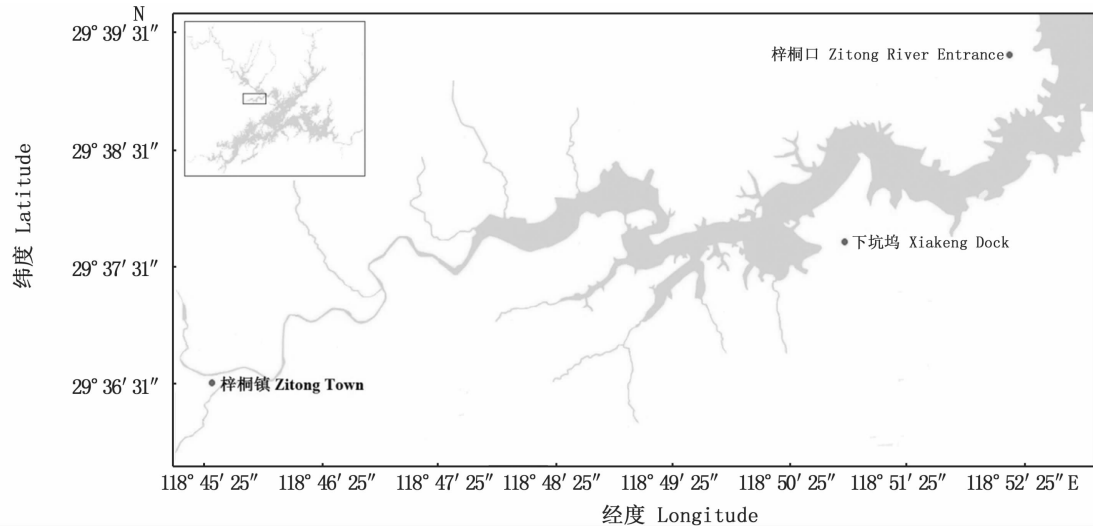


图1 梓桐核心区水域调查采样示意图
Fig. 1 Survey sketch map of Zitong core area

1.2 调查方法

通过下坑坞的渔民在梓桐核心保护区的库区内水域随机下网,每次采样所用网具类型(单层和三层流刺网)、数量基本相同,网目为3、4、5、6、7、8、10和12 cm;3~5 cm网目的网高为1 m,网长为50~100 m,下网3~5片;6~8 cm网目的网高为3 m,网长为100 m,下网1~2片;10和12 cm网目的网高为10~12 m,网长为100~200 m,下网1~2片。捕捞时间和渔获物种类鉴定等参照文献[19]。

1.3 数据处理与分析

采用相对重要性指数对保护区鱼类优势种组成进行分析;利用马格利夫多样性指数、香农-维纳多样性指数、皮诺均匀度指数和辛普森多样性指数对调查水域鱼类群落多样性进行分析。

相对重要性指数(relative important index, IRI)^[20]:

$$I_{RI} = (N + W) \times F \quad (1)$$

式中: I_{RI} 为某种类 IRI 值; N 为某种类的尾数百分比; W 为某种类质量百分比; F 为某种类季度出现频率。

优势种划分参考各种类的 IRI 值,采用 IRI > 2 000 为优势种,2 000 > IRI > 1 000 为重要种,1 000 > IRI > 500 为常见种,500 > IRI > 300 为一般种,IRI < 300 为少有种的划分标准^[21]。

香农-维纳多样性指数(Shannon-Wener index, H')^[22-23]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

皮诺均匀度指数(Pielou index, J')^[24]:

$$J' = H' / H_{\max} \quad (3)$$

马格利夫多样性指数(Margalef index, D)^[25]:

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \quad (4)$$

辛普森多样性指数(Simpson index, λ)^[26]:

$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (5)$$

式中: S 为渔获物的种类总数; N 为渔获物的总个体数; P_i 为第*i*种的个体体质量占总体质量的百分比; H_{\max} 表示 H' 的最大值。

据种类质量百分比(W)建立矩阵,以 Bray-Curtis 相似性系数(Bray-Curtis similarity index)为基础,构建相似性矩阵,利用非加权组平均法(unweighted pair group method arithmetic averaging, UPGMA)进行聚类与非线性多维标序(non-metric multidimensional scaling, NMDS)进行排序,分别构建聚类分析图和 NMDS 2D 图,两种分析方法的结果可相互验证其正确性^[27],以分析调查水域的鱼类群落特征。NMDS 分析结果由胁强系数(stress)来衡量优劣,衡量标准参考文献[28]。并运用相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)进行差异显著性检验。

数据统计和作图运用 Excel 2007 和 Primer 5 软件。

2 结果与分析

2.1 群落种类组成及生态类型

调查共采集到鱼类样本 1 528 尾,总质量达 341.70 kg。种类分析,全部鉴定到种,共鉴定鱼类 43 种,隶属 4 目 8 科 30 属,如表 1 所示,其中:鲤科鱼类 28 种,占总种数的 65.12%,鲴科为 6 种(占 13.95%);鲢科为 4 种(占 9.3%);鲈科、鮰科、鳊科和棘臀鱼科各为 1 种(占 2.33%)。从保护区鱼类摄食类群分析:杂食性鱼类种数居多,达 26 种,占总种数的 60.47%;肉食性鱼类种数次之(14 种,32.56%);滤食性鱼类种数最少(3 种,6.98%)。从保护区鱼类栖息水层分析:分布差异较大:中上层鱼类种数居多,达 22 种,占总种数的 51.16%;中下层鱼类种数次之(14 种,32.56%);底层鱼类种数最少(7 种,16.28%)。从保护区鱼类洄游类型分析:山溪定居性鱼类为主,达 39 种,占总种数的 90.7%;江湖洄游性鱼类仅为 4 种(9.3%)。

2.2 群落优势种组成

在 8 次的水域调查鱼类样本采集中,黄尾鲌(*Xenocypris davidi*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、大眼华鲮(*Sinibrama macrops*)和华鲮(*Sarcocheilichthys sinensis*)的出现频率达到了 100%(表 2)。按划分方法,梓桐支流水域的鱼类群落优势种有 3 种,分别为黄尾鲌、银飘鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)和鳊(*Aristichthys nobilis*);重要的鱼类种类也有 3 种,分别为鲢、翘嘴鲌和大眼华鲮;常见鱼类也为 3 种,分别为银鲌(*Squalidus argentatus*)、光倒刺鲃(*Spinibarbus hollandi*)和蒙古鲌(*Culter mongolicus*);一般种有 2 种,即为华鲮(*Sarcocheilichthys sinensis*)和鲤(*Cyprinus carpio*);其余的为少有种。

2.3 群落生物多样性分析

2016 年期间;Margalef 丰富度指数(D)全年变化范围为 3.17~4.49,整体上呈现逐渐减少的趋势;Simpson 多样性指数(λ)全年变化范围为

0.68~0.89,除 6 月份值最小外,其他 3 个月的指数变化无明显差异,变化趋势与 Margalef 丰富度指数(D)相一致;Pielou 均匀度指数(J')全年变化范围为 0.61~0.84,变化趋势呈先减后增的趋势;Shannon-Wiener 多样性指数(H')全年变化范围为 1.79~2.55,全年情况与 Simpson 多样性指数(λ)相一致(表 3)。2017 年期间, Margalef 丰富度指数(D)全年变化范围为 3.66~5.01,呈现先增后减的变化趋势;Simpson 多样性指数(λ)全年变化范围为 0.84~0.88,4 个季度的指数变化差异不明显;Pielou 均匀度指数(J')全年变化范围为 0.72~0.79,全年变化与 2016 年 Simpson 多样性指数(λ)变化相似;Shannon-Wiener 多样性指数(H')全年变化范围为 2.26~2.48,整体上呈现先增后减的趋势。

2.4 群落结构分析

据 Bray-Curtis 相似性指数分析结果,在 83.19%的相似性水平上,可将 8 个采样时间划分为 2 个群组。群组 I 包括 2016 年 3 月、9 月、11 月和 2017 年 9 月、11 月,群组 II 包括 2016 年 6 月和 2017 年 3 月、6 月(图 2)。NMDS 排序的胁强系数(stress)为 0,说明 NMDS 排序结果很好,可以用二维点阵图表示。ANOSIM 分析结果 $R = 0.99, P < 0.05$,表明 2 个群组间存在显著差异,即鱼类群落结构季节变化显著。

群落结构中的重要种或优势种占据重要的地位,其对群落结构起着重中之重的贡献作用。因此,对该支流的 6 种重要种或优势种进行 Bray-Curtis 相似性指数分析,结果显示在 69.15%的相似性指数水平上,可将支流水域内的 6 种重要或优势种鱼类划分为 2 个类群,类群 I 包括大眼华鲮、银飘鱼、翘嘴鲌和黄尾鲌 4 种,而类群 II 包含鲢和鳊 2 种(图 3)。NMDS 排序的胁强系数(stress)为 0,表明 NMDS 排序图与相似性分析结果之间可以很好地相互解释。ANOSIM 分析结果 $R = 0.714, P > 0.05$,表明 2 个类群间无显著差异。

表 1 调查区域内鱼类捕获名录
Tab.1 Fish species captured in survey regions

种类 Species	2016 年				2017 年				生态类型 Ecological type
	3 月 Mar.	6 月 June	9 月 Sep.	11 月 Nov.	3 月 Mar.	6 月 June	9 月 Sep.	11 月 Nov.	
鲱形目 Clupeiformes									
鲱科 Clupeidae									
美洲鲟 <i>Alosa sapidissima</i>	√					√	√		F, MU, RL
鳊科 Engraulidae									
短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>			√						C, MU, RL
鲤形目 Cypriniformes									
鲤科 Cyprinidae									
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>					√				C, MU, SE
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>		√							C, MU, SE
似鲮 <i>Toxabramis swinhonis</i>						√			O, MD, SE
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	√	√			√	√			O, MD, SE
银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	√	√	√	√		√	√	√	O, MD, SE
海南拟鲮 <i>Pseudohemiculter hainanensis</i>				√				√	O, MD, SE
大眼华鳊 <i>Sinibrama macrops</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	O, MD, SE
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>						√	√		O, MD, SE
三角鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>	√	√		√	√	√	√		O, MD, SE
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	C, MU, SE
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>						√	√		C, MU, SE
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	√	√	√	√		√	√	√	C, MU, SE
黄尾鲌 <i>Xenocypris davidi</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	O, MU, SE
细鳞斜颌鲌 <i>Xenocypris microlepis</i>								√	O, MU, SE
圆吻鲌 <i>Distoechodon tumirostris</i>		√	√		√	√		√	O, MU, SE
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>					√				O, MU, SE
斑条鲮 <i>Acanthorhodeus taenianalis</i>		√	√			√		√	O, MU, SE
大鳍鲮 <i>Acanthorhodeus macropterus</i>	√	√							O, MU, SE
鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	√	√	√	√	√	√		√	F, MU, RL
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	F, MU, RL
光倒刺鲃 <i>Spinibarbus hollandi</i>		√	√	√	√	√	√	√	O, MD, SE
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>		√	√	√	√	√	√	√	O, MD, SE
鲫 <i>Carassius auratus</i>	√	√	√	√		√	√	√	O, DE, SE
唇鲮 <i>Hemibarbus laleo</i>					√				C, MD, SE
花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	√				√	√	√		C, MD, SE
华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	O, MD, SE
江西鳊 <i>Sarcocheilichthys kiangsiensis</i>	√		√		√	√	√		O, MD, SE
银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	√	√	√	√	√	√	√	√	O, MD, SE
鲇形目 Siluriformes									
鲇科 Siluridae									
鲇 <i>Silurus asotus</i>									O, BE, SE
鮠科 Bagridae									
江黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachellii</i>			√						O, BE, SE
岔尾黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>							√	√	O, BE, SE
白边拟鲮 <i>Pseudobagrus albomarginatus</i>	√		√			√	√	√	O, BE, SE
粗吻鮠 <i>Leicassis crassilabris</i>		√				√			O, BE, SE
鲮科 Ictaluridae									
斑点叉尾鲮 <i>Ictalurus punctatus</i>				√		√	√	√	O, BE, SE
鲈形目 Perciformes									
鲈科 Serranidae									
辐纹鳊 <i>Siniperca whiteheadi</i>	√		√			√			C, MU, SE
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	√					√	√	√	C, MU, SE
大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	√		√	√		√			C, MU, SE
斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>			√	√	√	√	√	√	C, MU, SE
波纹鳊 <i>Siniperca undulata</i>							√		C, MU, SE
长体鳊 <i>Siniperca roulei</i>	√				√				C, MU, SE
棘臀鱼科 Centrarchidae									
蓝鳃太阳鱼 <i>Lepomis macrochirus</i>						√	√		C, MU, SE

注: F. 滤食性; C. 肉食性; O. 杂食性; MU. 中上层; ML. 中下层; BE. 底栖性; RL. 江湖洄游性; SE. 定居性

Notes: F. Filter; C. Carnivore; O. Omnivore; MU. Middle up; MD. Middle down; BE. Benthos; RL. Migration between River and Lake; SE. Sedentary

表 2 调查区域内鱼类优势种组成 (IRI > 300)

Tab. 2 Dominant species of fish in survey regions (IRI > 300)

种类 Species	尾数百分比 Number percentage/%	体质量百分比 Body mass percentage/%	频率 Frequency/%	相对重要性指数 Relative importance index
黄尾鲴 <i>X. davidi</i>	15.97	9.76	100.00	2 572.86
银飘鱼 <i>P. sinensis</i>	23.82	4.95	87.50	2 517.57
鳊 <i>A. nobilis</i>	2.09	26.05	87.50	2 463.02
鲢 <i>H. molitrix</i>	2.88	16.99	100.00	1 987.41
翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	10.86	7.80	100.00	1 866.17
大眼华鲮 <i>S. macrops</i>	9.16	2.92	100.00	1 208.21
银鲃 <i>S. argentatus</i>	7.07	0.80	100.00	786.49
光倒刺鲃 <i>S. hollandi</i>	2.49	6.33	87.50	771.82
蒙古鲌 <i>C. mongolicus</i>	3.34	4.06	87.50	647.02
华鲮 <i>S. sinensis</i>	3.60	0.89	100.00	449.06
鲤 <i>C. carpio</i>	0.59	3.81	87.50	384.48

表 3 调查区域内鱼类生物多样性指数

Tab. 3 Biodiversity index of fish in survey regions

采样时间 Sampling time	马格利夫多样性指数 Margalef index	辛普森多样性指数 Simpson index	皮诺均匀度指数 Pielou index	香农-维纳多样性指数 Shannon-Wiener index
2016.03	4.49	0.89	0.84	2.55
2016.06	3.17	0.68	0.61	1.79
2016.09	3.81	0.88	0.81	2.47
2016.11	3.51	0.85	0.82	2.32
2017.03	3.66	0.85	0.79	2.33
2017.06	5.01	0.86	0.73	2.48
2017.09	4.17	0.84	0.72	2.26
2017.11	3.75	0.88	0.79	2.41

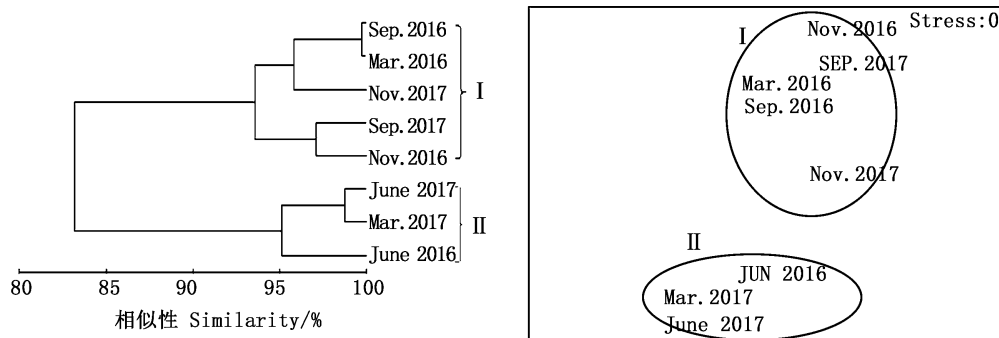


图 2 调查区域内水域鱼类群落结构季节变化等级聚类图和 NMDS 排序图

Fig. 2 Monthly variations in fish assemblages in survey regions demonstrated by hierarchical clustering and NMDS ordination

2.5 群落丰度-生物量比较曲线

丰度-生物量比较曲线(ABC曲线)可以用来反映群落中种类组成变化情况^[29]。调查水域鱼类群落的生物量优势度曲线始终位于丰度优势度曲线的上方的月份有2016年3月和2017年3月(图4),且W值为正,据李圣法^[30]的研究分

析,可判定该时期的鱼类群落结构处于稳定状态,未受到较大干扰。2016年和2017年两年中的6月、9月和11月的ABC曲线都出现了交叉变换,说明该时期的群落结构处于中度干扰状态。

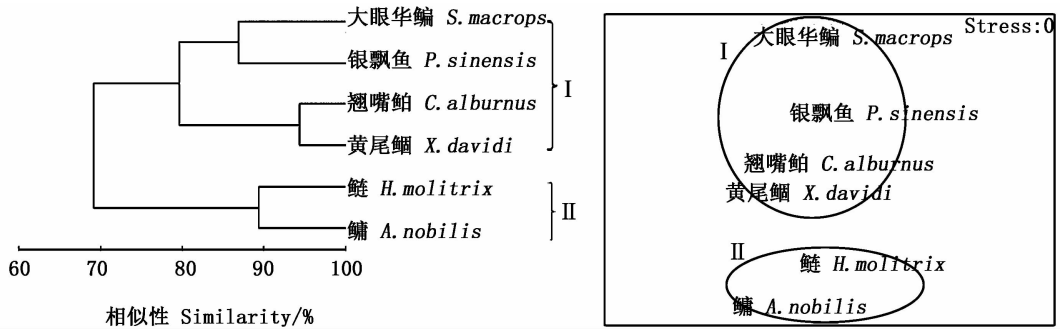


图 3 调查区域内水域重要或优势种等级聚类图和 NMDS 排序图
 Fig. 3 Important or dominant species in survey regions demonstrated by hierarchical clustering and NMDS ordination

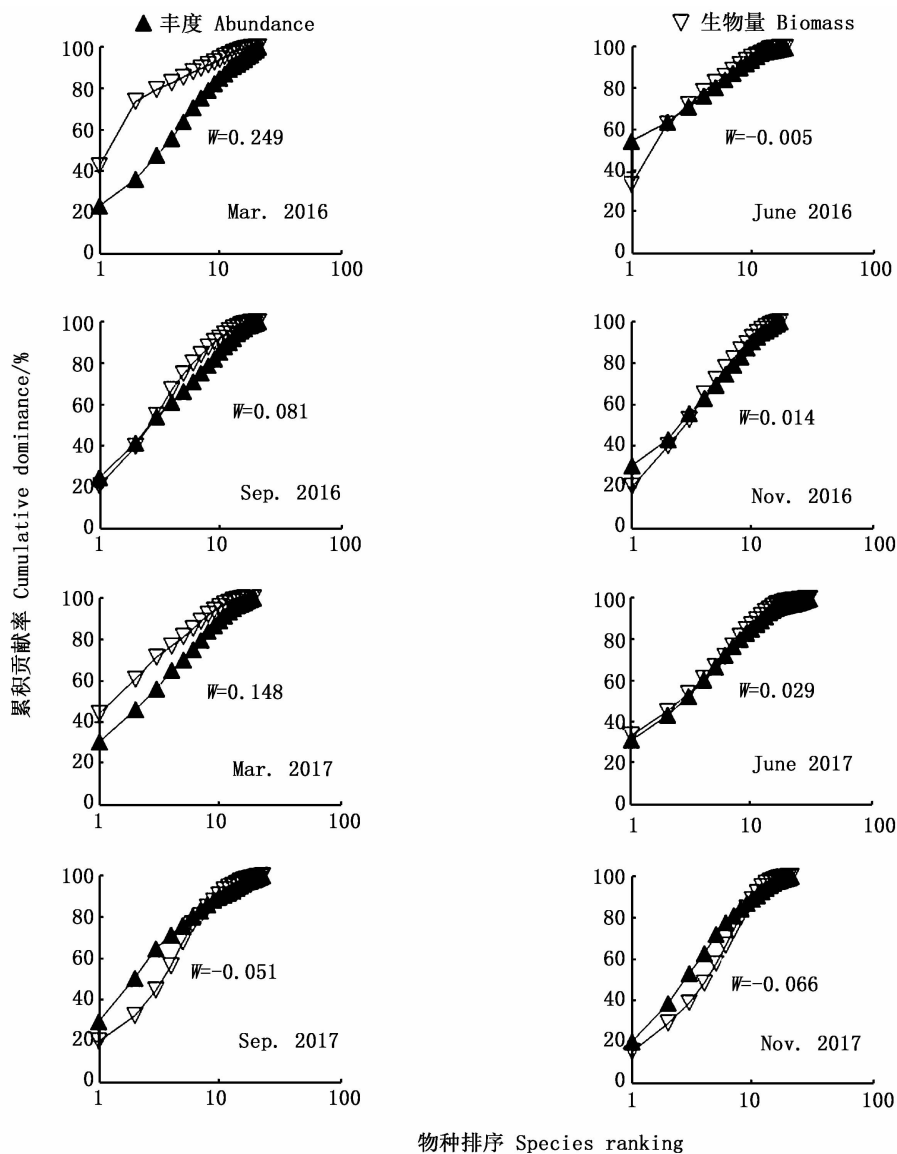


图 4 调查区域内水域鱼类群落 ABC 曲线
 Fig. 4 ABC curve of fish in survey regions

3 讨论

3.1 鱼类群落结构和物种组成

本次调查,千岛湖梓桐核心保护区的鱼类群落呈现出以湖泊定居性鱼类为主和鲤科鱼类在种数上占绝对优势的特征,与以往对千岛湖鱼类资源的研究^[7-8]结论相一致。本次梓桐核心保护区水域调查采集了 43 种鱼类,与何喜光等^[7]和侯文华等^[8]利用流刺网调查的结果相比,种类组成上存在明显的差异性。可见,流刺网对于保护区鱼类种类组成的调查存在局限性,种类难以采集齐全。另外,新安江大坝的形成阻断了长距离溯河洄游性鱼类的产卵通道,此类鱼在调查水域捕获的数量较少,如短颌鲚仅捕获 1 尾,造成这样的结果可能受到以下两个方面的因素影响:一方面,采样方法单一,捕获的种类和数量受到一定的限制;另一方面,这些鱼类可能演变成定居性鱼类后较难繁殖,从而造成种群资源衰退。大坝的建立改变了水域环境,影响了鱼类群落种类组成^[31]。

一方面,外来种对鱼类群落结构存在一定影响。调查发现了外来物种美洲鲈(16 尾)、斑点叉尾鲷(5 尾)和蓝色太阳鱼(3 尾),这与部分网箱养殖逃逸到当地水域生态系统中而被捕获有关^[7]。当外来种能够自然繁殖形成种群后,极有可能形成入侵种类^[8],将对水域内的鱼类群落结构产生重要影响。另一方面,单一网具较难捕获所有鱼类种类^[32],影响鱼类群落结构和种类组成。此次调查,仅利用流刺网来捕获鱼类:较小网目的流刺网高 1~3 m,被随机设置在调查区域的沿岸岩石附近水域,以捕获个体较小或中等的鱼类;较大网目的流刺网高 10~12 m,被随机设置在调查区域较深水域,以捕获个体中等或较大的鱼类。流刺网主要用于捕捞中上层鱼类(如鲢、鳙、红鲌属和鲴亚科等),对于较深水域来说,无法捕捞底层鱼类。因此,本次调查在沿岸岩石附近水域设置流刺网,以捕获在岩石水域区进行捕食的鳊属、黄颡鱼属、鲇等底层鱼类来弥补底栖性鱼类的空白,而且在使用流刺网的数量上加以考虑,以增加底层鱼类的捕获种数,以减少网具单一性对调查水域鱼类群落结构的影响。本次调查过程中,由于当地的地笼和扳罾等网具已被禁止使用,在此不考虑使用,而流刺网是当地

最主要的捕捞网具,具备方便、成本低、收取易行等优点,所以本研究仅设置流刺网来对渔获物进行调查分析,以期较好地反映调查水域鱼类群落结构的动态变化。

3.2 水库蓄水前后鱼类群落结构的变化

水库蓄水前,以马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、宽鳍鱲(*Zacco platypus*)、华鲮(*Sarcocheilichthys sinensis*)和光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)等山溪型鱼类为主;蓄水初期,鲤、鲫、鳊(*Elopichthys bambusa*)、乌鳢(*Channa argus*)、红鲌属、鲴亚科等具明显数量优势;而蓄水后期,大眼华鲮、红鲌属和鲴亚科等种类成为千岛湖流刺网的主要捕捞对象^[7]。本次调查发现大眼华鲮、红鲌属和鲴亚科鱼类在数量上具有明显优势,但小型鱼类银鲌在数量上也具有优势,其可能与设置较小网目的流刺网数量较多有关。保护区内的优势种或重要种主要以鲤科鱼类为主,与侯文华等^[8]研究的结果相似。其中,鲢、鳙、鲴亚科鱼类成为优势种或重要种,在很大程度上与当地的增殖放流和洁水保水工作密切相关,而鳊在数量上的减少也与此相关^[9]。可见,主要的优势种或重要种由山溪型鱼类逐渐转变为中上层、湖泊定居性鱼类,山溪型鱼类鱼种逐渐被替代,数量也逐渐减少,这与冯三杰等^[33]研究的结果相似。

3.3 鱼类群落多样性的季节变化

鱼类群落多样性可侧面说明群落结构的稳定性,群落物种越丰富,各种类个体数分布越均匀,则丰富度和均匀性指数越高,群落结果越稳定^[34]。本次调查结果显示:2016 年期间,春季(3 月)鱼类群落 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 多样性指数(λ)和 Pielou 均匀度指数(J')均最大, Margalef 丰富度指数(D)相对较大,本研究认为调查水域 2016 年春季的种类丰富度最大,且种群分布均匀。相反,夏季(6 月)4 个生物多样性指数均最小,说明夏季鱼类种类丰富度不高、各种类个体分布不均,这可能与水位高低变化^[35]、天气等以及流刺网捕获形式等的影响有关。2017 年期间,夏季(6 月)鱼类群落 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Margalef 丰富度指数(D)最大, Simpson 多样性指数(λ)和 Pielou 均匀度指数(J')相对较大,本研究认为调查水域 2017 年夏季的种类丰富度最大,且种群分布均匀。上述结果与调查方法存在很大的关系^[36],可以推

测,单一性的设置流刺网会导致结果形成偏差。另外,水位变化、偷钓和旅游等因素也对鱼类群落多样性存在影响。因此,不同季节鱼类群落多样性的差异与水环境改变和调查方法存在相应的关系。

聚类分析和排序分析结果显示,在 83.19% 的相似性指数水平上,将 8 个月份划分为 2 个类群,ANOSIM 分析显示 ($P < 0.05$),调查水域鱼类群落结构季节变化差异显著,可能与优势种或者重要种的各月所占生物量百分比变化有关,如鲢亚科鱼类在 2016 年 6 月、2017 年 3 月和 6 月的捕获量占当次总捕获量的百分比比较大。类群 I 中的黄尾鲮、翘嘴鲮和大眼华鲮等是当地的主要捕捞对象,而类群 II 中的鲢和鳙是保护对象,这是引起两大类鱼类群落差异显著的主要原因。在 69.15% 的相似性指数水平上,将优势种和重要种可划分为 2 个群组,ANOSIM 分析显示 ($P > 0.05$),但两者之间不存在差异性,这可能与当地主要捕捞对象在数量和生物量上占据优势有关。

丰度-生物量比较曲线(ABC 曲线)结果显示:2016 年 3 月(春季)和 2017 年 3 月(春季)调查水域鱼类群落结构未受到干扰;其他调查季节鱼类群落结构处于中度干扰状态,这可能与水体环境^[34]、水体沿岸周边环境和人为干扰因素等存在关系。

3.4 启示与建议

在调查过程中,发现存在外来物种,外来物种一旦形成自然种群,具有形成生物入侵种的潜能,如蓝鳃太阳鱼具有捕食其他鱼类卵粒的习性,这将对鱼类群落产生影响。因此,有必要加强对外来物种的监测,如加强对水域及周边的养殖区引进外来种养殖工作的监管,实时监测水域内的外来种状况,开展预防外来种入侵的相关研究工作,以建立相应的预防应对措施。

参考文献:

[1] 林衍峰. 新安江上游渔业资源变迁与保护[J]. 中国水产, 2006(1): 81-82.
LIN Y F. Changes and protection of fishery resources in the upper reaches of Xin'an River[J]. China Fisheries, 2006(1): 81-82.

[2] 刘国栋,何光喜,刘其根,等. 千岛湖大眼华鲮年龄、生长和繁殖的初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3): 382-391.
LIU G D, HE G X, LIU Q G, et al. Primary study on the

age, growth and reproduction of *Sinibrama macrops* in Qiandao Lake[J]. Journal of Shanghai University, 2011, 20(3): 382-391.

[3] 宋固. 千岛湖鲢、鳙鱼食性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
SONG G. Feeding habits of silver carp and bighead carp in Qiandaohu Lake[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.

[4] 宋固,胡梦红,刘其根. 运用稳定同位素技术研究千岛湖秋季刺网渔获物的食性和营养级[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 117-122.
SONG G, HU M H, LIU Q G. Study on the feeding habits and trophic levels of the gillnet catches of Qiandao Lake in autumn by stable isotope technology[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 117-122.

[5] 张峻德,赵良杰,刘其根. 千岛湖细鳞鲮和黄尾鲮 COI 种群遗传结构比较的初步研究[J]. 淡水渔业, 2013, 43(5): 3-7.
ZHANG J D, ZHAO L J, LIU Q G. Primary study on comparison of population genetic structure between *Xenocypris microlepis* and *X. davidi* in Qiandao lake base on mitochondrial COI gene[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(5): 3-7.

[6] 曲宪成,张勇,刘其根,等. 千岛湖细鳞鲮种群线粒体 COI 基因变异及遗传分化研究[J]. 湖南农业科学, 2011(15): 150-153.
QU X C, ZHANG Y, LIU Q G, et al. Gene mutation and genetic differentiation of mitochondrial COI in *Xenocypris microlepis* in Qiandaohu Lake [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(15): 150-153.

[7] 何光喜,张峻德,刘其根,等. 基于单层刺网渔获物的千岛湖鱼类群落结构初步研究[J]. 水产科技情报, 2011, 38(4): 197-203.
HE G X, ZHANG J D, LIU Q G, et al. Preliminary study on fish community structure of Qiandao Lake based on single layer gillnet catch [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2011, 38(4): 197-203.

[8] 侯文华,胡梦红,刘其根. 千岛湖刺网渔获物中鱼类群落结构及多样性特征分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 826-833.
HOU W H, HU M H, LIU Q G. Community structure and diversity of fishes in Qiandao Lake[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 826-833.

[9] 罗仙池,吴振兴. 千岛湖的渔业资源现状及资源增殖途径探讨[J]. 水产科技情报, 1992, 19(2): 33-37.
LUO X C, WU Z X. Present situation of fishery resources in the Thousand Island Lake and discussion on the way of their reproduction [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1992, 19(2): 33-37.

[10] 徐田祥,蔡茂胜,项为民. 千岛湖渔业资源下降原因及对策[J]. 水利渔业, 2000, 20(6): 35-36.
XU T X, CAI M S, XIANG W M. Reasons for the decline of

- fisheries resources in Qiandaohu Lake and strategies [J]. Reservoir Fisheries, 2000, 20(6): 35-36.
- [11] 方中平, 向国春. 千岛湖渔业生态资源增殖保护的对策与措施[J]. 水利渔业, 2007, 27(4): 50-52.
- FANG Z P, XIANG G C. Countermeasures and measures for the protection of fishery ecological resources in Qiandao Lake [J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(4): 50-52.
- [12] 李亚楠, 臧颖颖, 侯文华, 等. 主要外来鱼类对千岛湖生态系统的潜在影响及对策[J]. 生物学通报, 2014, 49(9): 3-5.
- LI Y N, ZANG S Y, HOU W H, et al. Potential impacts and countermeasures of major exotic fishes on the Qiandao Lake ecosystem[J]. Bulletin of Biology, 2014, 49(9): 3-5.
- [13] 刘其根. 千岛湖保水渔业及其对湖泊生态系统的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- LIU Q G. Aquatic environmental protection oriented fishery in Lake Qiandaohu and its influences on lake ecosystem [J]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [14] 刘其根, 王钰博, 陈立侨, 等. 保水渔业对千岛湖食物网结构及其相互作用的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2774-2783.
- LIU Q G, WANG Y B, CHEN L Q, et al. Impacts of aquatic environment protection oriented fishery on the structure of food web in Lake Qiandaohu [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(10): 2774-2783.
- [15] 王开锋, 靳铁治, 孙长铭, 等. 陕西库峪岷县高原鳅水产种质资源保护区的鱼类及其多样性[J]. 淡水渔业, 2011, 41(4): 16-20.
- WANG K F, JIN T Z, SUN C M, et al. Fish and their diversities in Shaanxi Kuyu aquatic resources reserve [J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(4): 16-20.
- [16] 何美峰, 袁定清, 崔利峰, 等. 汀江大刺鳅国家级水产种质资源保护区鱼类群落结构及其影响因子[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(1): 121-129.
- HE M F, YUAN D Q, CUI L F, et al. Study on fish community and impact factors in *Mastacembelusaculeodus* national aquatic reserve in Tingjiang River [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2015, 24(1): 121-129.
- [17] 李万宝. 福建建溪细鳞鲷国家级水产种质资源保护区的鱼类多样性[J]. 淡水渔业, 2016, 46(4): 31-37.
- LI W B. Species diversity of fish community of *Xenocypris microlepis* national aquatic germplasm resource reserve in Jianxi River [J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(4): 31-37.
- [18] 刘凯, 段金荣, 许萌霆, 等. 淮河荆涂峡鲤、长吻鮠国家级水产种质资源保护区冬季渔业群落多样性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(3): 424-428.
- LIU K, DUAN J R, XU M T, et al. Winter biodiversity of the fishery community in Huaihe *Cyprinus carpio* and *Leiocassis longirostris* national aquatic germplasm resources conservation area [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2015, 42(3): 424-428.
- [19] 郝雅宾, 刘金殿, 郭爱环, 等. 钱塘江富阳段鱼类资源现状[J]. 淡水渔业, 2017, 47(3): 45-51.
- HAO Y B, LIU J D, GUO A H, et al. Current status of fishery resources in Fuyang section of Qiantang River [J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(3): 45-51.
- [20] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVEROSN K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. Fishery Bulletin, 1971, 152: 9-10.
- [21] 张建禄, 边坤, 靳铁治, 等. 秦岭黑河流域鱼类资源现状调查[J]. 淡水渔业, 2016, 46(1): 103-108.
- ZHANG J L, BIAN K, JIN T Z, et al. Investigation on status of fish resources in Qinling Heihe River basin [J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(1): 103-108.
- [22] WILHMJ L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [23] SHANNON C E, WEAVER W W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963: 1-65.
- [24] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [25] MARGALEF R. Information theory in ecology [J]. General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [26] LUDWIG J A, REYNOLDS J F. Statistical Ecology: a primer on methods and computing [M]. New York: John Wiley & Sons, 1988: 197.
- [27] BRAZNER J C, BEALS E W. Patterns in fish assemblages from coastal wetland and beach habitats in Green Bay, Lake Michigan: a multivariate analysis of abiotic and biotic forcing factors [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(8): 1743-1761.
- [28] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. 2nd ed. Plymouth: Primer-E, 2001.
- [29] BLANCHARD F, LELOC' H F, HILY C, et al. Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France [J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 280: 249-260.
- [30] 李圣法. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的情况[J]. 中国水产科学, 2008, 15(1): 136-144.
- LI S F. Status of fish community in East China Sea using the method of abundance-biomass comparison (ABC) curve [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(1): 136-144.
- [31] 王崇, 谢山, 王进国, 等. 红水河龙滩水库鱼类资源调查[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(2): 39-48.
- WANG C, XIE S, WANG J G, et al. Investigation of fish resources in Longtan reservoir of Hongshuihe River [J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(2): 39-48.
- [32] 王敏, 朱峰跃, 刘绍平, 等. 三峡库区汉丰湖鱼类群落结构的季节变化[J]. 湖泊科学, 2017, 29(2): 439-447.
- WANG M, ZHU F Y, LIU S P, et al. Seasonal variations of

- fish community structure of Lake Hanfeng in Three Gorges reservoir region[J]. *Journal of Lake Science*, 2017, 29(2): 439-447.
- [33] 冯三杰, 王从锋, 谭宏, 等. 北盘江董箐水电站库区鱼类资源调查[J]. *水生态学杂志*, 2018, 39(2): 70-76.
FENG S J, WANG C F, TAN H, et al. Fish resource investigation of Dongqing hydropower station reservoir in Beipan River basin[J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, 39(2): 70-76.
- [34] MATTHEWS W J. *Patterns in freshwater fish ecology*[M]. New York: Chapman and Hall Publishers, 1998.
- [35] 丁庆秋, 彭建华, 杨志, 等. 三峡水库高、低水位下汉丰湖鱼类资源变化特征[J]. *水生态学杂志*, 2015, 36(3): 1-9.
DING Q Q, PENG J H, YANG Z, et al. Variation in the Hanfeng Lake fishery resource between low and high water levels in Three Gorges reservoir[J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(3): 1-9.
- [36] WANG Y G, YE Y M, MILTON D A. Efficient designs for sampling and subsampling in fisheries research based on ranked sets[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(5): 928-934.

Fish community structure in Zitong Core Area in Qiandao Lake National Aquatic Genetic Resources Conservation Area

HAO Yabin^{1,2,3,4}, LIU Jindian^{1,2,3,4}, GUO Aihuan^{1,2,3,4}, ZHANG Aiju^{1,2,3,4}, YUAN Julin^{1,2,3,4}, LIAN Qingping^{1,2,3,4}, GU Zhimin^{1,2,3,4}

(1. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 2. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Research Center of East China Sea Fishery Research Institute, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 4. Key Laboratory of Freshwater Aquaculture Genetic and Breeding of Zhejiang Province, Huzhou 313001, Zhejiang, China)

Abstract: A sampling survey was conducted on the fish resources in Zitong core area from March 2016 to November 2017, and the fish species composition, ecological type, dominant species, community diversity index, community structure, ABC curve were analyzed. A total of 43 species were collected, which belonged to 4 orders, 8 families and 30 genera, and Cyprinidae had the largest number of species, which constituted 65.12% of the total species number. The captured fish were mainly composed of middle uplayers, omnivorous and sedentary species. The dominant species were *Xenocypris davidi*, *Pseudolaubuca sinensis* and *Aristichthys nobilis*. Margalef diversity index, Simpson diversity index, Shannon-Wiener diversity index and Pielou diversity ranged from 3.17 to 5.01, from 0.68 to 0.89, from 1.79 to 2.55, and from 0.61 to 0.84, respectively. The seasonal variation of fish community structure was significantly different, and in most cases it was moderately disturbed. The results of the study will not only help to understand the status of fish communities and resources in the Qiandao Lake conservation area, but also provide reference data for the construction of water conservancy projects to influence the fish community structure.

Key words: Qiandao Lake; fish resource; community structure; dominance; biodiversity