

DOI: 10.12264/JFSC2020-0352

通江湖泊石臼湖鱼类群落结构现状及其季节变化

贺婉路^{1,2}, 刘鹏飞³, 詹政军², 徐东坡^{2,3}, 任泷², 匡箴², 景丽²

1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;
2. 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081;
3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081

摘要: 石臼湖是长江下游唯一的自然通江湖泊, 为掌握其鱼类资源状况, 本研究于2017年1月至2018年3月采用多目刺网和定制串联笼壶采集石臼湖渔获物, 分析了石臼湖鱼类群落结构及其季节变化。结果显示, 共采集到鱼类36种, 隶属于6目7科28属, 其中鲤科鱼类最多, 占总物种数的69.44%; 鱼类物种组成以定居性、杂食性、中上层鱼类为主, 小型鱼类达25种, 占总物种数的69.44%。似鳊(*Toxabramis swinhonis*)、刀鲂(*Coilia nasus*)和鲫(*Carassius auratus*)为石臼湖鱼类全年优势种; 除全年优势种外, 季节特有优势种有春季的麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、夏季的翘嘴鲌(*Culter alburnus*)和鳊(*Hemiculter leucisculus*)、秋季的似鳊(*Pseudobrama simoni*)、冬季的贝氏鳊(*Hemiculter bleekeri*)。鱼类相对密度、相对生物量有较大的季节变化, 但其变化趋势一致, 均按照冬季、春季、秋季、夏季由高到低排列。Margalef丰富度指数 R 的变动范围为2.28~3.17, 基于个体数量的Shannon-Wiener多样性指数 H'_N 、Pielou均匀度指数 J'_N 变动范围分别为1.24~2.14、0.14~0.34, 基于生物量的Shannon-Wiener多样性指数 H'_W 、Pielou均匀度指数 J'_W 变动范围分别为1.64~2.51、0.21~0.49, 各指数除 H'_W 在夏秋季间差异不显著外, 其余指数夏季都显著高于其他季节($P < 0.05$)。研究结果表明, 石臼湖鱼类种类较少, 多样性偏低。本研究补充了通江湖泊鱼类群落研究的基础资料, 对长江中下游鱼类多样性保护具有一定的意义。

关键词: 通江湖泊; 石臼湖; 鱼类群落结构; 季节变化; 大水面; 生态渔业

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)06-0728-09

长江中下游湖泊星罗棋布, 历史上均与长江保持自然连通, 构成自然的江河湖复合生态系统, 为生物发展提供了良好的生境条件^[1]。但20世纪中叶的大规模围垦、修堤和建坝等人类活动破坏了江河湖复合生态系统, 导致长江中下游的自然通江湖泊只剩下洞庭湖、鄱阳湖和石臼湖^[2]。目前, 关于阻隔湖泊鱼类群落结构的研究较多^[3-4], 而关于通江湖泊的研究较少, 且仅有的研究表明通江湖泊鱼类总种类数和非定居性鱼类种类数均明显多于阻隔湖泊^[1,5-6]。

石臼湖为苏皖两省交界处的一个浅水湖泊, 地处118°46'~118°56'E, 31°23'~31°33'N的区域,

湖泊面积207.65 km², 平均水深1.67 m, 蓄水量3.5亿 m³^[7]。湖区位于北亚热带江南湿润区, 季风气候明显, 年平均气温15.7 °C^[8]。石臼湖是一个过水性、吞吐型、季节性的湖泊, 与两江(青弋江、水阳江)、六河(三汊河、石固河、运粮河、姑溪河、天生桥河、新桥河)相连通, 最后于当涂直接与长江相连。目前, 关于石臼湖鱼类群落的研究资料较为匮乏, 早期研究中种属记录尚不完全, 如《中国湖泊志》中仅列出鱼类数量, 未能给出整体名录。近年来仅有朱迪等^[9]于2012—2013年做过调查, 但该调查的对象是针对商业捕捞的渔获物, 不能全面反映鱼类群落结构及生物多样性

收稿日期: 2020-10-09; 修订日期: 2020-12-07.

基金项目: 江苏省水生生物资源重大专项(ZYHB16); 中国水产科学研究院科技创新团队专项(2020TD61).

作者简介: 贺婉路(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源保护与利用. E-mail: 1207269920@qq.com

通信作者: 徐东坡, 研究员, 研究方向为渔业资源保护与利用. E-mail: xudp@ffrc.cn

情况。另外,受长江水位顶托的影响,石臼湖具有水位季节变幅大、暴涨缓落的特点^[10],湖泊生态系统季节相异性导致鱼类群落结构相差很大^[11]。因此,本研究于 2017 年 1 月、6 月、9 月以及 2018 年 3 月对石臼湖进行了 4 个季度的调查,分析了石臼湖鱼类种类组成及生物多样性,探讨了群落结构特征及其季节变化规律,旨在为探讨长江流域通江湖泊的渔业资源养护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 调查方法

于 2017 年 1 月、6 月、9 月及 2018 年 3 月 4 次对石臼湖鱼类进行调查,共设置 16 个样点,具体见图 1。参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[12],利用多目复合刺网和定制串联笼壶采集渔获物。其中刺网规格为 7 种网目的多网目复合刺网,网目分别为 1.2 cm、2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、14 cm,对应网目长分别为 15 m、15 m、15 m、20 m、20 m、20 m、20 m,每条刺网长 125 m、高 1.5 m。定制串联笼壶网目为 1.6 cm,每条长 10 m、宽 0.4 m、高 0.4 m。每次调查在每个采样点放置多目复合刺网 4 条,定制串联笼壶 3 条,于下午 6 点放置,12 h 后收集所有渔获物,现场进行种类鉴定,并测定全长、体长(精确到 0.01 cm)和体重(精确到 0.01 g)。

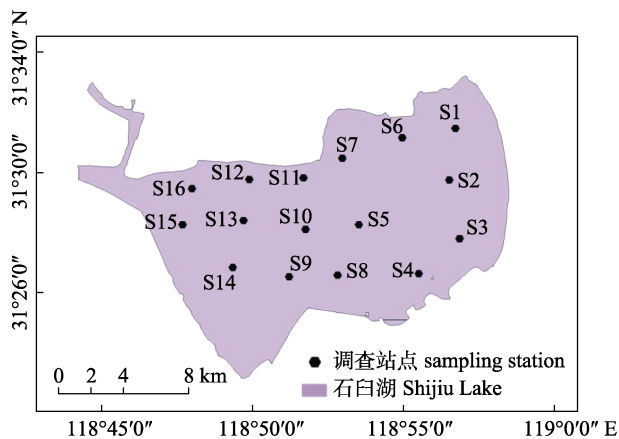


图 1 石臼湖采样分布图

Fig. 1 The map of sampling sites in Shijiu Lake

1.2 数据分析

1.2.1 生态类型划分 将采集到的鱼类按生活习性分为淡水定居性(sedentary, ST)、江湖洄游性

(river-lake migratory, RL)和河海洄游型(river-sea migratory, RS)3 种类型;按食性分为杂食性(omnivore, O)、肉食性(carnivore, C)和浮游生物食性(planktivore, P)3 种类型;按栖息水层划分为中上层(upper, U)、中下层(lower, L)和底层鱼类(demersal, D)3 种类型;同时划分出小型鱼类。鱼类种类鉴定和生态类型划分参考文献[13-14]进行。

1.2.2 优势种 通过相对重要性指数(index of relative importance, IRI)来确定鱼类群落中的优势种^[15],公式为:

$$IRI=(N\%+W\%)\times F\%$$

式中, $N\%$ 为第 i 种鱼数量占总捕获鱼类数量的百分比, $W\%$ 为第 i 种鱼重量占总捕获鱼类重量的百分比, $F\%$ 为第 i 种鱼出现的次数占总调查次数的百分比。本研究将 $IRI>1000$ 的物种确定为优势种, $100\leq IRI<1000$ 的种类为重要种,优势种和重要种统称为主要种^[16]。

1.2.3 鱼类多样性 选用 Margalef 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')与 Pielou 均匀度指数(J')^[17-19]分析石臼湖鱼类群落多样性特征,计算公式如下:

Margalef 丰富度指数:

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

按数量计算的 Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H'_N=-\sum P_i \ln P_i$$

按生物量计算的 Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H'_W=-\sum Q_i \ln Q_i$$

按数量计算的 Pielou 均匀度指数:

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

按生物量计算的 Pielou 均匀度指数:

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

式中, S 、 N 、 P_i 、 Q_i 分别为种类数、总尾数、第 i 种的尾数占总尾数的比例、第 i 种的重量占总重量的比例。

2 结果与分析

2.1 种类组成和生态类型

本次调查共采集鱼类样本 29205 尾,经鉴定共有 36 种,隶属于 6 目 7 科 28 属(表 1)。其中鲤科鱼类种类数最多,有 25 种,占总物种数的

69.44%; 其次鲢科、银鱼科各 3 种, 均占 8.33%; 虾虎鱼科 2 种, 占 5.56%; 鲇科、鳃科、鱖科各 1 种, 均占 2.78%。在季节上, 春、夏、秋、冬分别采集鱼类 23、25、22、25 种, 秋季最少, 各季节种类数相差不大。四季都采集到的有 14 种, 仅在冬季采集到的是短吻间银鱼(*Hemisalanx brachyrostralis*)、鳙(*Aristichthys nobilis*); 仅在夏季采集到的有光泽黄颡鱼(*Pelteobagrus nitidus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、细鳞鲮(*Xenocypris microlepis*)和圆尾拟鲮(*Pseudobagrus tenuis*); 仅在秋季采集到的有银鲮(*Xenocypris argentea*); 仅在春季捕获到的有波氏吻虾虎鱼(*Rhinogobius cliffordpopei*)、陈氏新银鱼(*Neosalanx tangkahkeii*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)和中华鲮

(*Rhodeus sinensis*), 只在单个季节捕获到的鱼类数量较少, 均不超过 10 尾(表 1)。

从鱼类洄游习性划分来看, 本次调查到的淡水定居性、江湖洄游性、河海洄游性鱼类分别有 28、4、4 种, 以淡水定居性鱼类为主, 占总物种数的 77.78%。从食性划分来看, 杂食性、肉食性、浮游生物食性鱼类分别有 17、15、4 种, 以杂食性和肉食性鱼类居多, 分别占总物种数的 47.22%、41.67%。其中凶猛肉食性鱼类只有翘嘴鲌、达氏鲌、蒙古鲌、红鳍原鲌 4 种, 占肉食性鱼类物种数的 26.67%。从栖息水层来看, 中上层、底层、中下层鱼类分别有 17、12、7 种, 以中上层鱼类为主, 占总物种数的 47.22%。小型鱼类达 25 种, 占总物种数的 69.44%(表 1)。

表 1 石臼湖鱼类种类组成
Tab. 1 Fish species composition in the Shijiu Lake

种类 species	生态类型 ecological guild	冬季(1月) winter (January)	夏季(6月) summer (June)	秋季(9月) autumn (September)	春季(3月) spring (March)
鲱形目 Clupeiformes					
鳃科 Engraulidae					
*刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	ST, C, L	+++	++	+++	++
鲑形目 Salmoniformes					
银鱼科 Salangidae					
*大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranium</i>	RS, C, U	+			+
*陈氏新银鱼 <i>Neosalanx tangkahkeii</i>	RS, P, U				+
*短吻间银鱼 <i>Hemisalanx brachyrostralis</i>	RS, C, U	+			
鲤形目 Cypriniformes					
鲤科 Cyprinidae					
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	RL, C, L		+		
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	ST, C, U	++	+	+	
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	ST, C, U	+	+	+	
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	ST, C, U	+	+		
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	ST, C, U	+	+	++	++
*贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	ST, O, U	++	++	+	+
*鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	ST, O, U	+	++	+	+
*飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	ST, O, U	+	+		
*似鲮 <i>Toxabramis swinhonis</i>	ST, O, U	+++	+++	+++	+++
*似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	ST, O, L	+		++	++
*银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	ST, O, D			+	
细鳞鲮 <i>Xenocypris microlepis</i>	RL, O, L		+		
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	RL, P, U	+			
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	RL, P, U			+	+
*棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	ST, O, D	+	+	+	++
*花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	ST, C, L	+	+	+	+

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

种类 species	生态类型 ecological guild	冬季(1月) winter (January)	夏季(6月) summer (June)	秋季(9月) autumn (September)	春季(3月) spring (March)
*麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	ST, P, U	+	++	+	++
*蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	ST, C, L				+
*长蛇鮈 <i>Saurogobio dumerili</i>	ST, O, D	+	+	+	
*银鮈 <i>Squalidus argentatus</i>	ST, O, L	+	+	+	+
*兴凯鱚 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	ST, O, U	+	+	+	+
*大鳍鱚 <i>Acheilognathus macropterus</i>	ST, O, U	+	+		++
*中华鲌 <i>Rhodeus sinensis</i>	ST, O, D				+
鲫 <i>Carassius auratus</i>	ST, O, D	++	+	++	++
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	ST, O, D	+	+	+	+
鲇形目 Siluriformes					
鲿科 Bagridae					
*黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	ST, C, L	+	+	+	+
*光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	ST, C, D		+		
*圆尾拟鲿 <i>Pseudobagrus tenuis</i>	ST, C, D		+		
鲇科 Siluridae					
鲇 <i>Silurus asotus</i>	ST, C, D			+	+
颌针鱼目 Beloniformes					
鱮科 Hemirhamphidae					
*间下鱮 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	RS, O, U	+	+	+	
鲈形目 Perciformes					
虾虎鱼科 Gobiidae					
*波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	ST, O, D				+
*子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	ST, C, D	+	+	+	+

注:*表示小型鱼类; ST为淡水定居性, RL为江湖洄游性, RS为河海洄游型; O为杂食性, C为肉食性, P为浮游植物食性; U为中上层, L为中下层, D为底层; +为偶见种, ++为常见种, +++为优势种.

Note: * means small-size fishes, ST means sedentary fishes, RL means river-lake migratory fishes, RS means river-sea migratory fishes; O means omnivore, C means carnivore, P means planktivore; U means upper fishes, L means lower fishes, D means demersal fishes; + means occasional species; ++ means common species; +++ means dominant species.

2.2 优势种组成

根据相对重要性指数(IRI), 似鱚、刀鲚和鲫为全年优势种, 优势度较高, IRI 指数分别为 6653.49、4947.68、2699.75, 合计占总渔获尾数的 84.67%, 占总渔获量的 72.81%。各季节上优势种差异不大, 冬季优势种有 4 种, 除全年优势种外还有贝氏鲮; 夏季有 5 种, 除全年优势种外还有翘嘴鲌和鲮; 秋季有 4 种, 除全年优势种外还有似鳊; 春季有 4 种, 除全年优势种外还有麦穗鱼, 各季节优势种均以小型鱼类为主(表 2)。优势种在冬季、夏季、秋季和春季分别占总渔获尾数的 94.90%、71.38%、93.61%和 83.66%, 分别占总渔获量的 91.36%、58.89%、81.81%和 73.75%。

2.3 资源量变化

根据相对密度(ind/h)、相对生物量(g/h)比较各季节鱼类资源量的变化, 结果表明, 季节间鱼类相对密度、相对生物量相差较大, 但变化趋势一致, 都为冬季>春季>秋季>夏季(图 2)。刀鲚、似鱚和鲫贡献了四季的绝大部分渔获量。其中, 冬、秋季的刀鲚数量和重量远高于夏季; 夏季的似鱚、鲫数量和重量都远低于其他 3 个季节(图 2)。

2.4 鱼类多样性指数

Margalef 丰富度指数 R 的变动范围为 2.28~3.17, 基于个体数量的 Shannon-Wiener 多样性指数 H'_N 、Pielou 均匀度指数 J'_N 变动范围分别为 1.24~2.14、0.14~0.34, 基于生物量的 Shannon-Wiener

表 2 石臼湖鱼类主要种组成

Tab.2 Dominant species composition of fishes in the Shijiu Lake

鱼类 fish	N%	W%	F%	IRI
似鳊 <i>Toxabramis swinhonis</i> ^①	47.12	28.31	92.19	6953.49
刀鲚 <i>Coilia nasus</i> ^①	33.08	19.70	93.75	4947.68
鲫 <i>Carassius auratus</i> ^①	4.48	24.81	92.19	2699.75
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	1.68	2.89	87.50	400.11
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> ^⑤	2.55	1.73	84.38	361.51
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i> ^④	3.05	2.81	51.56	302.10
贝氏鲃 <i>Hemiculter bleekeri</i> ^②	2.10	2.96	59.38	300.66
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.24	5.68	45.31	267.85
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i> ^③	1.20	1.84	70.31	213.72
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i> ^③	0.83	1.69	60.94	153.18
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	0.95	0.89	75.00	137.89

注: ①表示该物种是全年优势种, 也是各个季节的优势种; ②为冬季除了全年优势种以外的优势种; ③为夏季除了全年优势种以外的优势种; ④为秋季除了全年优势种以外的优势种; ⑤为春季除了全年优势种以外的优势种. N%为第 *i* 种鱼数量占总捕获鱼类数量的百分比, W%为第 *i* 种鱼重量占总捕获鱼类重量的百分比, F%为第 *i* 种鱼出现的次数占总调查次数的百分比.

Note: ① means that the species is the dominant species throughout the year, as well as in each season; ② is the dominant species except the year-round dominant species in winter; ③ is the dominant species except the year-round dominant species in summer; ④ is the dominant species except the year-round dominant species in autumn; ⑤ is the dominant species except the year-round dominant species in spring. N% is the percentage of the number of species *i* in the total number of fish caught, W% is the percentage of the weight of species *i* in the total number of fish caught, and F% is the percentage of the frequency of the occurrence of species *i* in the total number of surveys.

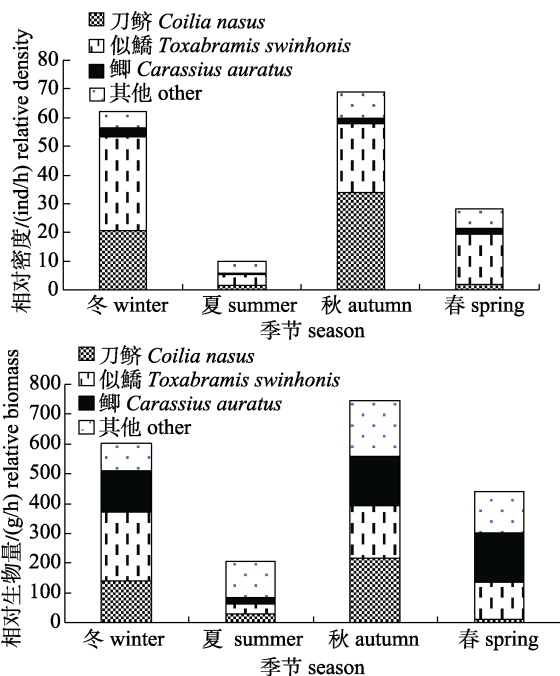


图 2 石臼湖鱼类相对密度和相对生物量季节变化
Fig. 2 Seasonal changes of relative density and biomass of fish in the Shijiu Lake

多样性指数 H'_W 、Pielou 均匀度指数 J'_W 变动范围分别为 1.64~2.51、0.21~0.49。基于个体数量的多样性指标 H'_N 、 J'_N 略低于基于生物量的多样性指标 H'_W 、 J'_W 。各指数都在夏季最高, R 在秋季最低, H'_N 、 J'_N 、 H'_W 、 J'_W 都在冬季最低。经方差检验, R 、 H' 和 J' 在不同季节间均存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中, 除 H'_W 在夏秋季间差异不显著外, 其余指数夏季都显著高于其他季节(表 3)。

表 3 石臼湖鱼类多样性指数季节变化

Tab. 3 Seasonal variation of fish diversity indexes in the Shijiu Lake

季节 season	R	H'_N	H'_W	J'_N	J'_W
冬 winter	2.56 ^c	1.24 ^c	1.64 ^c	0.14 ^b	0.21 ^c
夏 summer	3.17 ^a	2.14 ^a	2.51 ^a	0.34 ^a	0.49 ^a
秋 autumn	2.28 ^c	1.30 ^c	1.89 ^{ab}	0.17 ^b	0.30 ^b
春 spring	2.56 ^b	1.55 ^b	1.87 ^b	0.20 ^b	0.28 ^b

注: 同列数据肩标相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。 R 为 Margalef 丰富度指数, H'_N 为基于个体数量的 Shannon-Wiener 多样性指数, H'_W 为基于生物量的 Shannon-Wiener 多样性指数, J'_N 为基于个体数量的 Pielou 均匀度指数, J'_W 基于生物量的 Pielou 均匀度指数。

Note: The same lowercase superscript letters in the same column indicate no significant difference ($P > 0.05$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$). R is the Margalef richness index, H'_N is the Shannon-Wiener diversity index based on the number of individuals, H'_W is the Shannon-Wiener diversity index based on the biomass, J'_N is the Pielou uniformity index based on the number of individuals, J'_W is the Pielou uniformity index based on the biomass.

3 讨论

3.1 鱼类群落结构特征

此次在石臼湖调查到鱼类 36 种, 《中国湖泊志》^[20] 记录了石臼湖有鱼类 60 余种, 王荣娟等^[8] 2011 年记录有鱼类 34 种, 朱迪等 2012—2013 年调查到鱼类 38 种^[9]。从所有石臼湖历史记录来看, 鱼类种类数在 1997—2011 年间有大幅度减少, 但近 20 年间变化较小。与历史记录相比, 鱼类种类组成发生了一定的变化, 曾为重要经济鱼类的草鱼、鳊、三角鲂^[20]和鳊^[21]在本次 4 季度调查中均未见踪迹; 国家 I、II 级保护水生野生动物如中华鲟等, 目前在湖区已绝迹^[9], 本次调查亦未发现。湖泊周围有较多居民居住, 渔业、工业废水、生活污水等污染使水质逐渐恶化, 整体水质为

III~IV, 水体富营养化严重^[8]。石白湖围垦活动致使湖面面积由 264 km² 减少为 207.65 km², 减少了近 21%^[22], 鱼类生存空间和栖息地显著减少, 影响了鱼类多样性, 导致鱼类资源衰退^[23]。2018 年以前, 石白湖养殖围网面积曾超过湖区的承载能力(达 30%多), 严重干扰了湖区自然生态, 致使自然鱼类群落结构朝单一化和同质化方向发展, 造成鱼类多样性的减退^[24], 目前围网已全面拆除。综上, 鱼类种类数在 1997—2011 年间大幅度减少, 推测原因可能是人类活动不断加剧、污水排放、围垦和过度捕捞等, 对湖泊生态环境造成严重干扰。

围垦还可能造成河湖格局改变和水力阻隔, 对湖泊服务功能产生负面影响^[25], 如影响鱼类洄游通道^[26]。本研究中, 石白湖鱼类以湖泊定居性为主, 洄游性鱼类较少, 且出现较为明显的衰退: 2012—2013 年尚能调查到数量较少的赤眼鳟和鳊等洄游性鱼类^[9], 但此次调查未发现赤眼鳟和鳊。造成这种现象的原因可能是围垦影响了鱼类的洄游通道。有研究表明, 洄游通道被阻隔是导致洄游性鱼类减少的主要原因, 如长江流域受水利工程建设(建闸筑坝)的影响, 洄游性鱼类种群规模大幅度下降^[27]。王利民等^[3]研究发现, 江湖阻隔会造成绝大多数洄游型和流水型鱼类消失, 而水文连通性的增加有利于洄游性鱼类随洪泛进入湖泊以补充湖泊鱼类资源^[28]。

鱼类资源小型化既包含鱼类群落结构上的小型化, 也包含种群结构上的小型化, 前者是指鱼类群落中小型鱼类比例增加的现象, 后者是指鱼类种群结构中小个体鱼比例增加^[29]。2012—2013 年的研究表明, 石白湖鱼类资源呈现出小型化趋势^[9], 而本次调查结果亦发现石白湖存在鱼类资源小型化问题。主要表现在: (1) 石白湖小型鱼类占优, 高达 25 种, 占总物种数的 69.44%; (2) 优势种小型化, 优势种中似鳊与刀鲚为小型鱼类, 合计占优势种尾数的 94.17%, 占优势种重量的 65.90%; (3) 鱼类规格较小, 非小型鱼类鲤、鲫、青鱼等单尾均重仅 58.78 g。分别用个体数量和生物量计算的鱼类多样性指数结果也验证了鱼类小型化特点, 本次调查基于个体数量计算的多样性指数 H'_{N} 小

于基于生物量计算的多样性指数 H'_W , 造成这种差异的主要原因是鱼类群落中小型鱼类占据了绝对优势^[30]。

鱼类小型化与肉食性鱼类种群衰退有关^[31]。本研究中, 凶猛肉食性鱼类仅翘嘴鲌、达氏鲌、蒙古鲌、红鳍原鲌 4 种, 数量较少(占总渔获尾数的 2.79%); 它们平均体重分别为 24.33 g、50.04 g、10.14 g、20.45 g, 规格均较小。较小规格的 4 种鲌类幼鱼主要以枝角类、桡足类等浮游动物为食, 因此湖中小型鱼类缺少捕食类群。而刀鲚等小型鱼类具有较强的补充能力, 因此可能造成小型鱼类逐渐占据优势的群落变化趋势, 这与胡茂林等^[31]、王银平等^[32]的研究结果一致。另外, 小型鱼类可能占据了其他鱼类的生态位^[33], 如似鳊、贝氏鲮等中上层、主要食浮游动物的小型鱼类与鲢、鳙等存在栖息水层和食物的竞争, 小型鱼类生态位竞争能力强, 从而导致鱼类群落结构趋向小型化和单一化。

3.2 鱼类群落结构季节变化

石白湖鱼类优势种在冬、夏、秋和春季分别占各季节总渔获尾数的 94.90%、71.38%、93.61% 和 83.66%, 占总渔获量的 91.36%、58.89%、81.81% 和 73.75%。其中, 夏季优势种渔获尾数和渔获量占比都最小, 而且夏季的鱼类多样性指数 R 、 H'_W 、 J'_W 均显著高于其他季节, 说明夏季鱼类优势种的优势不如其他季节明显, 各种类数量和重量分布更均匀。多样性指数在一定程度上可以反映鱼类群落结构的稳定性^[11], 因此石白湖夏季较高的鱼类多样性指数在一定程度上反映夏季群落结构较为稳定。

以往对通江湖泊的研究中发现, 通江湖泊由于季节性的洪泛, 鱼类群落往往具有更明显的季节动态变化。如 Röpke 等^[34]在针对亚马逊流域泛滥平原鱼类的研究中指出, 河流季节性的洪泛在江湖连通的支持下驱动了通江湖泊鱼类群落和多样性的季节动态。蒋忠冠等^[5]研究发现长江流域季节性的洪泛周期使洞庭湖鱼类群落组成呈现出显著的季节差异。但在本研究中, 鱼类群落组成在季节上变化不大, 且引起季节上相对丰度和相对生物量差异的物种主要为似鳊、刀鲚和鲫这些

定居性鱼类。这可能与石臼湖与长江的连通性受到一定程度的阻隔有关, 虽然长江流域季节性的洪泛周期使湖区出现明显的汛期和水位涨落, 但可能受水流驱动进入湖泊的鱼类较少。此外, 石臼湖通江水道受阻隔情况并不明确, 以后需要进一步的研究。

3.3 保护建议

本研究的结果体现了长期人类活动干扰下石臼湖鱼类资源的现状, 补充了通江湖泊鱼类群落研究的基础资料, 对长江中下游鱼类多样性保护具有一定的意义。有研究发现, 江湖阻隔会扰乱自然水流体制(natural flow regime), 导致湖泊物种多样性下降, 生物群落结构发生根本改变, 而江湖连通下的湖泊营养、生境时空异质性更高, 可供洄游性鱼类生活史过程中在不同生境中的迁移需求^[35]。因此建议保护和维持石臼湖的自由通江状态, 以保持水文的自由连通。

石臼湖鱼类有明显的衰退趋势, 鱼类小型化问题严重, 湖泊整体受人类活动影响较强, 水质下降, 因此建议从源头控制污水排放总量和入湖污染负荷, 加强流域河湖生态环境保护; 将湖泊开发利用强度限制或恢复到湖泊可承载的范围之内, 逐步改善石臼湖水生态系统服务功能。该湖是苏皖两省界湖, 虽然 20 世纪 80 年代成立了联合管理委员会, 但未形成真正的联合管理, 相互间缺乏信息沟通和行动协调^[36]。因此可参照太湖、高邮湖等相关水域的经验, 成立综合管理机构, 制定石臼湖的统一规划和保护计划, 做好石臼湖生态环境保护 and 增殖渔业发展的顶层设计, 并加强管理法规条例的制定与完善。

为改善石臼湖环境, 石臼湖围网已于 2018 年全部拆除^[37], 2020 年长江干流全面禁捕, 江苏、安徽两省将石臼湖列入禁捕水域。因此, 应根据石臼湖整体变化做好对渔业资源和水环境的监测工作, 掌握鱼类群落结构和水环境变化特征, 为评估禁捕效果和做好湖泊生态保护提供依据。

参考文献:

[1] Liu X Q, Wang H Z. Estimation of minimum area requirement of river-connected lakes for fish diversity conservation

in the Yangtze River floodplain[J]. Diversity and Distributions, 2010, 16(6): 932-940.

- [2] Ru H J, Liu X Q, Huang X R, et al. Diversity of fish species and its spatio-temporal variations in Lake Dongting, a large Yangtze-connected Lake[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(1): 93-99. [茹辉军, 刘学勤, 黄向荣, 等. 大型通江湖泊洞庭湖的鱼类物种多样性及其时空变化[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 93-99.]
- [3] Wang L M, Hu H J, Wang D. Ecological impacts of disconnection from the Yangtze on fish resources in Zhangdu Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(3): 287-292. [王利民, 胡慧建, 王丁. 江湖阻隔对淤渡湖区鱼类资源的生态影响[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 287-292.]
- [4] Xu D P, Fan Y C, Zhou Y F, et al. Spatial and temporal variations of Acheilognathinae in Lake Taihu[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(1): 115-125. [徐东坡, 凡迎春, 周彦锋, 等. 太湖鳊鲂亚科鱼类群落结构及其时空变动[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(1): 115-125.]
- [5] Jiang Z G, Cao L, Zhang E. Spatio-temporal variations of fish assemblages in the Dongting Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(S1): 42-48. [蒋忠冠, 曹亮, 张鄂. 洞庭湖鱼类的群落结构及其时空动态[J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 42-48.]
- [6] Yang S R, Li M Z, Zhu Q G, et al. Spatial and temporal variations of fish assemblages in Poyanghu lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(1): 54-64. [杨少荣, 黎明政, 朱其广, 等. 鄱阳湖鱼类群落结构及其时空动态[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 54-64.]
- [7] Yu Z H, Liu H B, Zhang Z. Eco-environmental driving factors analysis and countermeasures in Jiangsu section of Shijiu Lake Basin[J]. Water Resources Protection, 2010, 26(6): 70-74. [于忠华, 刘海滨, 张涨. 石臼湖流域江苏段生态环境驱动因素分析[J]. 水资源保护, 2010, 26(6): 70-74.]
- [8] Wang R J, Zhang J C. Water quality assessment and status of eutrophication in Shijiu wetland[J]. Wetland Science & Management, 2011, 7(2): 26-28. [王荣娟, 张金池. 石臼湖湿地水环境质量评价及富营养化状况研究[J]. 湿地科学与管理, 2011, 7(2): 26-28.]
- [9] Zhu D, Yang Z, Tang H Y, et al. Status and trend of fishery resources and water quality in Shijiu Lake on the lower Yangtze River[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(2): 34-41. [朱迪, 杨志, 唐会元, 等. 长江下游浅水湖泊石臼湖鱼类资源现状及变化趋势[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2): 34-41.]
- [10] Pan G Q, Wang S, Zhao K. The ecological condition at present and the main problems faced by Shijiu Lake[J]. Pollution Control Technology, 2015, 28(2): 23-27. [潘国权, 王水,

- 赵凯. 石白湖生态现状及面临的主要问题[J]. 污染防治技术, 2015, 28(2): 23-27.]
- [11] Matthews W J. Patterns in Freshwater Fish Ecology[M]. New York: Chapman and Hall Publishers, 1998.
- [12] Zhang J M, He Z H. Investigation Handbook of Fisheries Natural Resources in Inland Waters[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991: 1-461. [张觉明, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 1-461.]
- [13] Ni Y, Wu H L. Fishes of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. [倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.]
- [14] Zhu S Q. Synopsis of Freshwater Fishes of China[M]. Nanjing: Jiangsu Publishing House of Science and Technology, 1995. [朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.]
- [15] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefish tuna, and bonito in California waters[J]. Water Research, 1971, 18(6): 653-594.
- [16] Li F, Zhang H J, Lü Z B, et al. Species composition and community diversity of nekton in Laizhou Bay, China[J]. Biodiversity Science, 2013, 21(5): 537-546. [李凡, 张焕君, 吕振波, 等. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.]
- [17] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. International Journal of General Systems, 1958, 3(1): 36-71.
- [18] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. New York: John Wiley and Sons, 1975: 165.
- [19] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables[J]. Marine Ecology Progress Series, 1993, 92(3): 205-219.
- [20] Wang S M, Dou H S. Chinese Limnology Record[M]. Beijing: Science Press, 1998: 268-279. [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 268-279.]
- [21] Liu J J. Utilization and dominance of fishery resources in Nanjing[J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 1997, 13(4): 14-19. [刘家驹. 南京市渔业资源的优势与利用[J]. 金陵科技学院学报, 1997, 13(4): 14-19.]
- [22] Ji D L, Lan L, Wu J, et al. Water ecology and environment statement and protection measurement in Shijiu Lake[OL]. <https://wenku.baidu.com/view/bd06c809f78a6529657d5305.html>. [吉栋梁, 兰林, 吴江, 等. 石白湖水生态环境现状及保护对策[OL]. <https://wenku.baidu.com/view/bd06c809f78a6529657d5305.html>.]
- [23] Li J B, Deng G J. Environmental impacts of land reclamation in the Dongtinghu area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1993, 2(4): 340-346. [李景保, 邓铬金. 洞庭湖滩地围垦及其对生态环境的影响[J]. 长江流域资源与环境, 1993, 2(4): 340-346.]
- [24] Xie H, Jiang Z G, Xia Z J, et al. The impacts of enclosure aquaculture on fish community in the Huayanghe Lake[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(9): 1399-1407. [谢涵, 蒋忠冠, 夏治俊, 等. 围网养殖对华阳河湖鱼类群落结构的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(9): 1399-1407.]
- [25] Yang G S, Ma R H, Zhang L, et al. Lake status major problems and protection strategy in China[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(6): 799-810. [杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 799-810.]
- [26] Zhuang P, Zhang T, Hou J L, et al. Unique Habitat and Aquatic Animals in Changjiang Estuary[M]. Beijing: Science Press, 2013: 1-145. [庄平, 张涛, 侯俊利, 等. 长江口独特生境与水生动物[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1-145.]
- [27] Liu F, Lin P C, Li M Z, et al. Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策[J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 144-156.]
- [28] Espinola L A, Rabuffetti A P, Abrial E, et al. Response of fish assemblage structure to changing flood and flow pulses in a large subtropical river[J]. Marine and Freshwater Research, 2017, 68(2): 319-330.
- [29] Wang Y P. Studies on the population feature of *Coilia nasus taihuensis* and interspecific relationship among fishes in Lake Taihu[D]. Nanjing: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, 2016: 113-114. [王银平. 太湖湖鲢种群特征及鱼类种间关系研究[D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2016: 113-114.]
- [30] Mao Z G, Gu X H, Zeng Q F. The structure of fish community and changes of fishery resources in Lake Hulun[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(2): 387-394. [毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞. 呼伦湖鱼类群落结构及其渔业资源变化[J]. 湖泊科学, 2016, 28(2): 387-394.]
- [31] Hu M L, Wu Z Q, Zhou H M, et al. The fisheries characters and resource status of Nanjishan Natural Reserve in Poyang Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5): 561-565. [胡茂林, 吴志强, 周辉明, 等. 鄱阳湖南矶山自然保护区渔业特点及资源现状[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 561-565.]
- [32] Wang Y P, Kuang Z, Lin D Q, et al. Community structure and species diversity of fish around the Xinzhou shoal in the Anqing section of the Yangtze River, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2417-2426. [王银平, 匡箴, 蔺丹清, 等. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2417-2426.]
- [33] Rochet M J, Trenkel V M. Which community indicators can measure the impact of fishing? A review and proposals[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2003, 60(1): 86-99.

- [34] Röpke C P, Amadio S A, Winemiller K O, et al. Seasonal dynamics of the fish assemblage in a floodplain lake at the confluence of the Negro and Amazon Rivers[J]. *Journal of Fish Biology*, 2016, 89(1): 194-212.
- [35] Wang H Z, Liu X Q, Wang H J. The Yangtze river-floodplain ecosystem: multiple threats and holistic conservation[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(S1): 157-182. [王洪铸, 刘学勤, 王海军. 长江河流-泛滥平原生态系统面临的威胁与整体保护对策[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(S1): 157-182.]
- [36] Zhao Z L, Huang X J, Zhong T Y, et al. On the management system and mechanism of lakes in China: A case study of Jiangsu Province[J]. *Economic Geography*, 2009, 29(1): 74-79. [赵志凌, 黄贤金, 钟大洋, 等. 我国湖泊管理体制机制研究——以江苏省为例[J]. *经济地理*, 2009, 29(1): 74-79.]
- [37] Wang D F. *Dangtu Yearbook*[M]. Huangshan: Huangshan Publishing House of Time Publishing and Media Co. Ltd, 2018: 232. [王德富. *当涂年鉴*[M]. 黄山: 时代出版传媒股份有限公司黄山书社, 2018: 232.]

Current status and seasonal variations in fish community structure in the Shijiu Lake, the Yangtze River-connected lake

HE Wanlu^{1,2}, LIU Pengfei³, ZHAN Zhengjun², XU Dongpo^{2,3}, REN Long², KUANG Zhen², JING Li²

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;
3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China

Abstract: Shijiu Lake is the only river-connected lake in the lower reaches of the Yangtze river. To determine the status of its fish resources, this study used multi-mesh gill nets and customized series cage pot to collect fish in the Shijiu Lake in the season from January 2017 to March 2018, and analyzed the fish community structure and seasonal changes in the Shijiu Lake. Our subsequent results showed that a total of 36 species of fish were collected, belonging to 28 genus, 7 families and 6 orders, among which Cyprinidae was the most common, accounting for 69.4% of the total species. The fish species were primarily sedentary, omnivorous, and pelagic fish with 25 small fish accounting for 69.44% of the total species. *Toxabramis swinhonis*, *Coilia nasus*, and *Carassius auratus* were the dominant species of the Shijiu Lake throughout the year. In addition to the dominant species throughout the year, the seasonal unique dominant species are *Pseudorasbora parva* in spring, *Culter alburnus* and *Hemiculter leucisculus* in summer, *Pseudobrama simoni* in autumn and *Hemiculter bleekeri* in winter. The relative density and biomass of fish showed marked seasonal variation, but the variation trend was the same: winter > spring > autumn > summer. The Margalef richness index R ranged from 2.28 to 3.17. The variation range of Shannon-Wiener diversity index H'_N and Pielou evenness index J'_N based on individual number was 1.24–2.14 and 0.14–0.34, respectively. The variation range of Shannon-Wiener diversity index H'_W and Pielou evenness index J'_W based on biomass was 1.64–2.51 and 0.21–0.49, respectively. All indexes were significantly higher in summer than those in other seasons, except H'_W in summer and autumn ($P < 0.05$). The results showed that the fish species diversity of the Shijiu Lake were low. This study complements the basic data of fish community research in the Yangtze River-connected lake, and has a certain significance for the protection of fish diversity in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words: Yangtze River-connected lake; Shijiu Lake; fish community structure; seasonal variation; large water surface; ecological fishery

Corresponding author: XU Dongpo. E-mail: xudp@ffrc.cn