

2016—2020年太湖鱼类群落结构变化及对太湖水环境的响应

熊满辉, 任洸, 陈永进, 詹政军, 刘鹏飞, 徐东坡

Community structure and diversity of fish in Taihu Lake from 2016 to 2020 and their relationship with water environment

XIONG Manhui, REN Long, CHEN Yongjin, ZHAN Zhengjun, LIU Pengfei, XU Dongpo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210203302>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[太湖亚科鱼类群落结构及其时空变动](#)

Spatial and temporal variations of Acheilognathinae in Lake Taihu

上海海洋大学学报. 2018, 27(1): 115 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170301976>

[巢湖鱼类群落结构及多样性](#)

The community structure and diversity of fish in the Chaohu Lake

上海海洋大学学报. 2022, 31(6): 1445 <https://doi.org/10.12024/jsou.20211003589>

[钱塘江湖西段鱼类群落结构特征](#)

Current situation of fish community structure in West Lake section of Qiantang River

上海海洋大学学报. 2021, 30(3): 525 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503027>

[金泽水库鱼类的群落结构和资源量](#)

Fish community structure and resource in Jinze Reservoir

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 847 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200803153>

[白洋淀鱼类群落结构与环境因子关系分析](#)

Fish community structure and its relationship with environmental factors in Baiyangdian Lake

上海海洋大学学报. 2022, 31(6): 1488 <https://doi.org/10.12024/jsou.20211003581>

文章编号: 1674-5566(2022)06-1478-10

DOI:10.12024/jsou.20210203302

2016—2020年太湖鱼类群落结构变化及对太湖水环境的响应

熊满辉, 任 泷, 陈永进, 詹政军, 刘鹏飞, 徐东坡

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

摘要: 基于2016—2020年太湖10个鱼类采样站位和33个水环境站点监测数据, 分析研究了近年来太湖鱼类群落结构变化及其对水环境的响应。调查结果表明, 2020年共在太湖调查发现鱼类56种, 主要优势种为刀鲚、鲫、鲤, 相对重要性指数分别为9 219.28、1 698.78和1 075.27。太湖87.9%的鱼类全长在200 mm以下, 88.2%的鱼类体质量在50 g以下。2016年以来, 共在太湖发现鱼类68种, 太湖水环境总体保持稳定, 但鱼类群落结构发生了较大变化, 优势种发生明显改变。统计结果表明, 2016年以来太湖鱼类群落结构多样性指数与主要水环境指标之间无显著相关性, 太湖外排水量、人工增殖放流对太湖鱼类群落结构具有重要影响。研究表明, 需结合太湖水环境状况建立太湖鱼类精细化捕捞方案及鲢鳙鱼增殖放流方案, 引导太湖鱼类群落结构恢复并最大程度发挥太湖鲢鳙鱼控藻潜力。

关键词: 太湖; 鱼类群落结构; 水环境; 增殖放流; 捕捞

中图分类号: Q 958.1

文献标志码: A

太湖流域面积36 895 km², 太湖是流域内最大的湖泊, 也是流域洪水和水资源调蓄中心。太湖湖区面积3 192 km², 其中, 水面积2 338 km², 岛屿面积89 km², 湖岸山丘地面积765 km²。2008年国务院印发《太湖流域水环境综合治理总体方案》, 太湖各项治理工作有序推进。近年来, 太湖水生态环境发生了较大变化, 主要水质指标总体呈改善趋势^[1-2], 原来污染严重的西北部水域水质改善效果较为显著, 其正从“污水湖”向“自然湖”状态过渡^[3]。

鱼类是湖泊生态系统的重要组成部分, 对湖泊的稳态转换具有重要影响^[4-5]。一直以来, 关于太湖鱼类的调查主要集中在种类组成及群落结构, 与历史调查结果相比, 由于江湖阻隔、围湖造田等因素, 近10年太湖鱼类物种数明显减少, 其中主要为马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、宽鳍鱮(*Zacco platypus*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)等洄游性鱼类, 此外, 部分鱼类种群结构简化、渔获物规格小型化等矛盾也日益凸显^[6]。徐东坡等^[7-8]调查发现太湖鲢鳙亚科和鮡亚科鱼类群落结构也

呈现了类似特点。熊满辉等^[9]基于太湖及望虞河鱼类调查结果, 分析了“引江济太”对太湖鱼类群落结构的影响。总体来看, 上述相关调查研究主要关注某一年度或某一类群的太湖鱼类群落结构, 鲜有关于连续多年变化特征的对比研究。同时, 2016年以来太湖水生态、水环境发生了较大变化^[10], 并多次发生大洪水^[11], 环境变化是否会对太湖鱼类群落结构产生影响, 需要加强相关研究。另外, 近年来实施了大规模的人工增殖放流^[12], 其对太湖鱼类群落结构影响的相关研究也较少。本文基于2016—2020年太湖全湖鱼类调查数据及水环境监测结果, 研究近年来太湖鱼类群落结构变化, 并分析研究其对太湖水环境变化的响应, 以期对太湖鱼类管理与保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 站点设置

根据太湖夏季蓝藻水华及水草分布特点^[13], 将太湖划分为北部湖湾区、贡湖、东部沿岸区、湖

收稿日期: 2021-02-20 修回日期: 2022-02-02

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFD0900500); 中国水产科学研究院院级基本科研业务费专项(2020XT13, 2020TD61)

作者简介: 熊满辉(1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水生态监测与评价工作。E-mail: xiongmanhui@126.com

通信作者: 徐东坡, E-mail: xudp@ffrc.cn

心区和西南沿岸区共 5 个湖区。根据每个湖区的面积大小,共布设 10 个采样站点,分别为贡湖、梅梁湾、竺山湖、大渚、长兜港、平台山、横山、

七都、胥口和漫山(图 1),基本实现太湖不同类型湖区全覆盖。

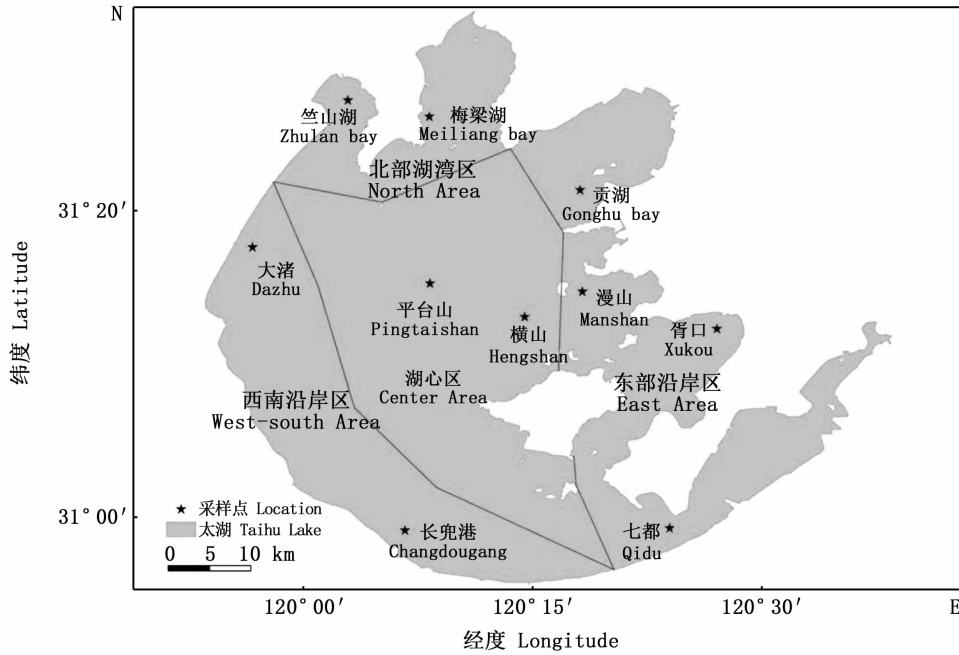


图 1 太湖鱼类群落结构调查站点
Fig. 1 Fish sampling sites in Taihu Lake

1.2 采样方法及频次

2016—2020 年,每年春、夏两季使用多目复合刺网和定置串联笼壶对太湖不同类型湖区 10 个站点的鱼类群落结构进行调查。各采样站位布设 3 张多目复合刺网和 3 条定置串联笼壶。多目复合刺网规格由 1.2、2、4、6、8、10、14 cm 等 7 种网目组成,其中 1.2、2、4 cm 网目刺网长度各 15 m,6、8、10、14 cm 网目刺网长度各 20 m;多目复合刺网总长为 125 m、高 1.5 m。定置串联笼壶网目为 1.6 cm,长、宽、高分别为 10 m、40 cm、40 cm。每次于采样前一晚下午 18:00 左右放网,次日清晨 6:00 左右收网。同时,综合太湖周边水产品市场、太湖开捕期高踏网走访调查结果,并走访渔政管理部门,定性了解太湖当年出现的其他鱼类。

参考《太湖鱼类志》^[14],现场鉴定采集到的鱼类样本,现场未鉴定出种类的样本,固定于 4% 的甲醛溶液后带回实验室再做详细鉴定。实验室内进行鱼类样本体长(精确至 1 mm)、体质量(精确至 0.1 g)等常规生物学测量。对于样本数大于 30 尾的物种,随机抽取 30 尾,测定其全长、体长、体质量;对于样品数少于 30 尾的,所有渔

获物全部测定。

1.3 数据分析

1.3.1 Shannon-Wiener 指数 (H')、Margalef 指数 (D) 和 Pielou 指数 (J)

群落多样性除了受取样大小、数量的分布外,主要依赖于群落中种类数多少及个体分布是否均匀。采用 Shannon-Wiener 指数 (H')、Margalef 指数 (D) 和 Pielou 指数 (J) 评价太湖鱼类生物多样性。

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (1)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$J = H' / \log_2 S \quad (3)$$

式中: S 为种类数; n_i 为第 i 种的丰度; N 为总个体数。

1.3.2 相对重要性指数

选用相对重要性指数 (IRI) 描述群落优势度将 IRI > 1 000 定义为优势种。

$$I_{IR} = (N + W) F \quad (4)$$

式中: I_{IR} 为相对重要性指数; N 为渔获物中各物种的尾数比例; W 为渔获物中各物种的质量比例; F 为各物种在各断面所有抽样次数中出现的

频率。

1.3.3 鱼类资源量估算

体长股分析法 (length based cohort analysis, LCA) 是鱼类资源量评估高效易行的方法之一, 该方法由 JONES^[15] 于 1974 年提出, 是在 POPE 的年龄结构时代分析模型基础上的发展, 即考察资源量变动时, 以体长代替年龄, 从而有效地利用渔获物体长数据资料^[16-17]。基于太湖渔业管理委员会办公室的鱼类资源量年度捕捞量数据及当年野外调查实测数据, 采用体长股分析法估算 2016—2020 年太湖主要经济鱼类资源量。

收集太湖流域管理局太湖水位、排水量数据以及湖区 33 个站点的逐月水质及蓝藻监测数据用于表征 2016 年以来太湖水质及蓝藻密度变化。收集太湖渔业管理委员会办公室 2016—2020 年太湖鱼类人工增殖放流量及捕捞量数据。

除了鱼类物种数统计采用太湖周边水产品市场、高踏网调查结果及渔管会调查信息, 其他数据统计均基于 10 个样点的现场调查成果。采用 Pearson 相关性系数分析鱼类群落结构多样性指数与太湖水环境指标之间的相关性。数据处理及统计分析采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 2016—2020 太湖鱼类群落结构变化

2.1.1 2020 年群落结构组成

2020 年春季和夏季调查累计收集渔获物

5 461 尾, 总计质量为 122 410.57 g。其中, 多目复合刺网渔获物为 116 434.45 g (3 760 尾), 定置串联笼壶渔获物为 5 976.12 g (1 701 尾)。共发现鱼类 56 种, 隶属 9 目 16 科 40 属, 其中鳗鲡 (*Anguilla japonica*)、鲮 (*Mugil cephalus*)、黄鳊 (*Monopterus albus*)、鳊 (*Siniperca chuatsi*)、双带缟虾虎鱼 (*Tridentiger bifasciatus*)、红狼牙虾虎鱼 (*Odontamblyopus rubicundus*)、中华花鲈 (*Lateolabrax japonicus*)、乌鳢 (*Channa argus*)、暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*)、细鳞斜颌鲴 (*Xenocypris microlepis*) 和鳊 (*Elopichthys bambusa*) 为太湖周边水产品市场和开捕节后的高踏网调查品种。56 种鱼类中, 以鲤形目鱼类居多, 共 34 种, 占总种类数的 60.7%; 其次为鲈形目 (10 种) 和鲇形目 (4 种) 鱼类, 占比分别为 17.6% 和 7.1%; 鳗鲡目、鲱形目、颌针形目、鲮形目、鲃形目和合鳃目等种类仅为 1~2 种, 占总种类数的 14.6%。

2020 年太湖鱼类全长为 35.6~840.0 mm, 平均长度为 112.1 mm, 其中 87.9% 的鱼类全长在 200 mm 以下; 体质量为 0.18~7 850.0 g, 平均为 25.7 g, 其中 88.2% 的鱼类体质量在 50 g 以下 (图 2)。2020 年太湖鱼类群落结构 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数分别为 1.29、2.55 和 0.45, 总体处于较低水平。

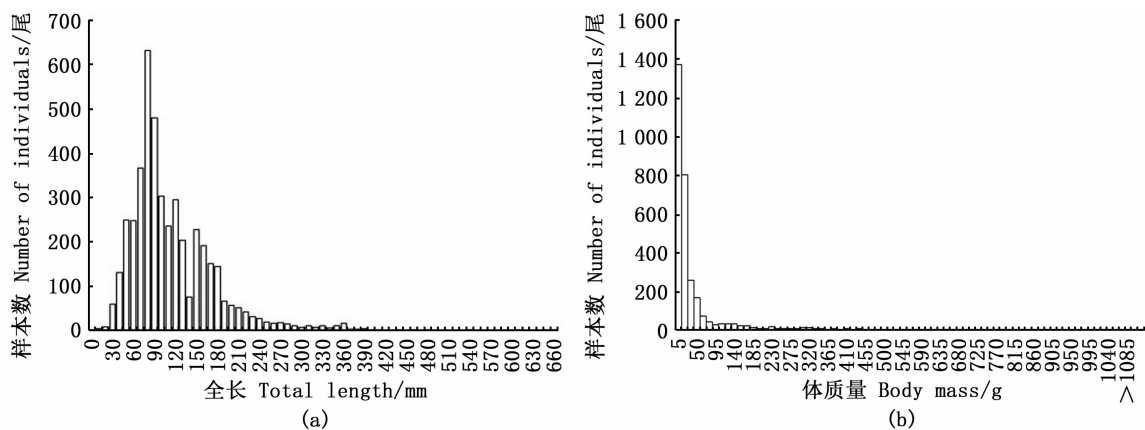


图 2 2020 年太湖鱼类全长和体质量分布直方图

Fig. 2 Histogram of fish total length and body mass of Taihu Lake in 2020

2.1.2 2016 年以来群落结构变化

2016—2020 年,在太湖分别发现鱼类 47、56、57、58 和 56 种,鱼类物种数总体稳定,近 5 年一共调查监测发现鱼类 68 种(表 1)。对比发现,2016—2020 年太湖鱼类种群结构发生了较大变化:2016 年太湖主要优势种为鲤(*Cyprinus carpio*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊(*Carassius auratus*),相对重要性指数分别为

2 832.93、2 430.63 和 2 237.89;2017 年主要优势种转变为刀鲚和鲢,相对重要性指数分别为 11 294.56 和 2 104.24;而 2020 年太湖主要优势种又发生了变化,转变为刀鲚、鲫、鲤,相对重要性指数分别为 9 219.28、1 698.78 和 1 075.27。同时也可以看出,鲫、鲤等底栖杂食性鱼类是太湖的优势类群。

表 1 2016—2020 年太湖鱼类种类组成
Tab.1 Fish species of Taihu Lake from 2016 to 2020

种类 Species	2016	2017	2018	2019	2020
I 鳗鲡目 Anguilliformes					
一、鳗鲡科 Anguillidae					
1. 鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>		■	■	■	■
II 鲱形目 Clupeiformes					
二、鲱科 Engraulidae					
2. 刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	■	■	■	■	■
III 鲤形目 Cypriniformes					
三、胭脂鱼科 Myxocypae					
3. 胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>				■	
四、鲤科 Cyprinidae					
4. 青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	■	■	■	■	■
5. 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	■	■	■	■	■
6. 鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	■	■	■	■	■
7. 鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	■	■	■	■	■
8. 贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	■	■	■	■	■
9. 红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	■	■	■	■	■
10. 鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	■	■	■	■	■
11. 团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	■	■	■	■	■
12. 三角鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>	■	■	■	■	■
13. 达氏鲃 <i>Culter dabryi</i>	■	■	■	■	■
14. 蒙古鲃 <i>Culter mongolicus</i>	■	■	■	■	■
15. 翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	■	■	■	■	■
16. 似鲃 <i>Toxabramis swinhonis</i>	■	■	■	■	■
17. 银鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	■	■	■	■	■
18. 银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	■	■	■	■	■
19. 细鳞鲃 <i>Plagiognathops microlepis</i>	■	■	■	■	■
20. 黄尾鲃 <i>Xenocypris davidi</i>	■	■	■	■	■
21. 似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	■	■	■	■	■
22. 鲃 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	■	■	■	■	■
23. 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	■	■	■	■	■
24. 花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	■	■	■	■	■
25. 似刺鲃 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	■	■	■	■	■
26. 麦穗鱼 <i>Pseudoras boraparva</i>	■	■	■	■	■
27. 黑鳍鳊 <i>Sarcocheilichthys nigripinni</i>	■	■	■	■	■
28. 华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	■	■	■	■	■
29. 银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	■	■	■	■	■
30. 点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	■	■	■	■	■
31. 棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	■	■	■	■	■
32. 长蛇鲃 <i>Saurogobio dumerili</i>	■	■	■	■	■
33. 蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	■	■	■	■	■
34. 麦瑞加拉鲃 <i>Cirrhinus mrigala</i>	■	■	■	■	■
35. 兴凯鲃 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	■	■	■	■	■
36. 大鳍鲃 <i>Acheilognathus macropterus</i>	■	■	■	■	■
37. 彩鲃 <i>Acheilognathus imberbis</i>	■	■	■	■	■
38. 革条鲃 <i>Acheilognathus himantegus</i>	■	■	■	■	■
39. 高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	■	■	■	■	■

· 续表 1 ·

种类 Species	2016	2017	2018	2019	2020
40. 中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	■	■	■	■	
41. 鲫 <i>Carassius auratus</i>	■	■	■	■	■
42. 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	■	■	■	■	■
五、鳅科 Cobitidae					
43. 泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		■	■	■	■
44. 中华花鳅 <i>Cobitis taenia</i>		■	■	■	
45. 花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	■				
46. 大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>					■
IV 鲇形目 Siluriformes					
六、鲿科 Bagridae					
47. 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	■	■	■	■	■
48. 光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	■	■	■	■	■
49. 长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	■	■	■	■	■
50. 瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	■	■	■	■	■
七、鲇科 Siluridae					
51. 鲇 <i>Silurus asotus</i>					■
V 胡瓜鱼目 Osmeriformes					
八、银鱼科 Salangidae					
52. 大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	■	■	■	■	■
53. 陈氏新银鱼 <i>Salangichthys tangkahkeii</i>	■	■	■	■	■
VI 颌针鱼目 Beloniformes					
九、鱻科 Hemirhamphidae					
54. 间下鱻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	■	■	■	■	■
VII 合鳃鱼目 Synbranchiformes					
十、合鳃鱼科 Synbranchidae					
55. 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>					■
VIII 鲈形目 Perciformes					
十一、鲈科 Serranidae					
56. 鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	■	■	■	■	■
十二、塘鳢科 Eleotridae					
57. 沙塘鳢 <i>Odontobutis obacurus</i>	■	■	■	■	
十三、鲃科 Callionymidae					
58. 香鲃 <i>Callionymus olidus</i>			■	■	
十四、虾虎鱼科 Gobiidae					
59. 子陵吻虾虎 <i>Rhinogobius giurinus</i>	■	■	■	■	■
60. 纹缟虾虎 <i>Tridentiger trionocephalus</i>					■
61. 黏皮鲯虾虎鱼 <i>Mugilogobius myxodermus</i>		■	■	■	■
62. 双带缟虾虎鱼 <i>Tridentiger bifasciatus</i>					■
十五、鰻虾虎鱼科 Taenioididae					
63. 须鰻虾虎 <i>Taenioides cirratus</i>	■	■	■	■	■
64. 红狼牙虾虎 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>					■
十六、真鲈科 Belontiidae					
65. 中华花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>					■
十七、鳢科 Channidae					
66. 乌鳢 <i>Channa argus</i>	■	■	■	■	■
十八、刺鲃科 Mastacembelidae					
67. 刺鲃 <i>Mastacembelus aculeatus</i>	■	■	■	■	■
IX 鲀形目 Tetraodontiformes					
十九、鲀科 Tetraodontidae					
68. 暗纹东方鲀 <i>Takifugu obscurus</i>					■

LCA 模型统计结果表明,2016—2019 年刀鲚资源量分别为 27 660 t、28 580 t、30 100 t 和 31 822 t,占比分别为 35.4%、34.6%、38.2% 和 38.9%,均处于优势地位,反映出刀鲚对太湖生态环境的高度适应能力。同时,进一步分析发现,2016—2020 年太湖洄游性鱼类种类数占比分别为 12.8%、12.3%、10.3%、11.9% 和 16.4%,2016 年和 2020 年的占比明显高于其他年份。

统计结果表明,2016—2020 年太湖鱼类群落结构多样性波动较大且总体处于较低水平。Shannon-Wiener 指数波动范围为 1.12 ~ 2.08, Margalef 指数波动范围为 1.90 ~ 3.55, Pielou 指数波动范围为 0.35 ~ 0.52,见图 3。

2.2 2016—2020 年太湖水环境变化

2016—2020 年太湖主要水质指标(表 2)总体保持稳定:高锰酸盐质量浓度在 4.24 ~ 4.60 mg/L 波动,按照地表水环境质量标准(GB 3838—2002)均为 III 类;氨氮均低于 0.11 mg/L,为 I 类;总磷质量浓度在 0.073 ~ 0.087 mg/L 波动,为 IV 类;总氮质量浓度在 1.45 ~ 1.96 mg/L 波

动,为 IV ~ V 类;蓝藻密度在 $8\ 624 \times 10^4 \sim 11\ 766 \times 10^4\ \text{L}^{-1}$ 之间波动。根据《水华遥感与地面监测评价技术规范》(HJ1098—2020)确定的藻类密度水华程度分级标准,当藻类密度 $\geq 5.0 \times 10^7\ \text{L}^{-1}$ 时,则认为水体发生中度水华;当藻类密度 $\geq 1.0 \times 10^8\ \text{L}^{-1}$ 时,则认为水体发生重度水华。可以看出,2016 年以来太湖蓝藻水华程度较为严重,在中度到重度水华之间波动。

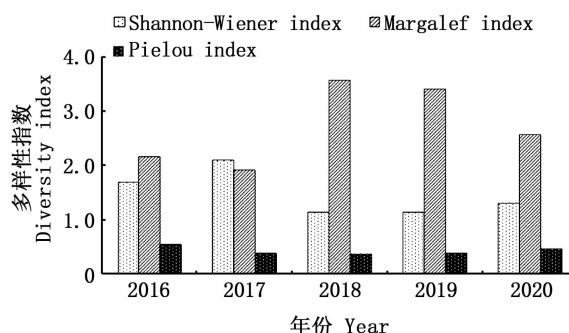


图 3 2016—2020 年太湖鱼类多样性变化

Fig. 3 Fish community diversity indexes of Taihu Lake from 2016 to 2020

表 2 2016—2020 年太湖主要水质指标平均值

Tab. 2 Main water environmental factors content in Taihu Lake from 2016 to 2020

年份 Year	质量浓度 Mass concentration/(mg/L)				蓝藻密度 Cyanobacteria cell density/($10^4\ \text{L}^{-1}$)
	COD _{Mn}	NH ₃	TP	TN	
2016 年	4.55	0.11	0.084	1.96	8 282
2017 年	4.60	0.11	0.083	1.60	11 766
2018 年	4.27	0.11	0.079	1.55	8 624
2019 年	4.48	0.08	0.087	1.49	11 717
2020 年	4.24	0.08	0.073	1.45	8 640

2.3 鱼类多样性指数与水环境关系

分析表明,Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数与太湖高锰酸盐、氨氮、总磷和总氮质量浓度等主要水质指标之间具有一定相关性但相关性均不显著,与蓝藻密度之间负相关但相关性也均不显著,见表 3。2016—2020 年太湖年平均水位分别为 3.58、3.27、3.29、3.31 和 3.39 m,水位波动较大且总体处于较高水平。2016 年,太湖流域发生特大洪水,年内太湖水位最高

涨至 4.87 m,超过保证水位(4.65 m)0.22 m,仅低于 1999 年历史最高水位(4.97 m)0.10 m,为 1954 年以来第二高水位。2020 年,太湖流域发生超标准洪水,年内太湖水位最高涨至 4.79 m,与 1991 年并列历史第 3 位。相关性分析结果表明,太湖年平均水位与 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数均正相关,但仅与 Pielou 指数的相关性达到显著水平($r = 0.97, P < 0.01$)。

表 3 鱼类多样性指数与太湖主要环境因子相关性

Tab. 3 Relationship between fish diversity index and main water environment indicators

指数 Index	高锰酸盐 COD _{Mn}	氨氮 NH ₃	总磷 TP	总氮 TN	蓝藻密度 Cyanobacteria cell density	
H'	相关性	0.710	0.550	0.210	0.470	-0.600
	显著性	0.175	0.332	0.733	0.425	0.288
D	相关性	-0.560	-0.330	0.020	-0.500	-0.630
	显著性	0.331	0.591	0.972	0.396	0.257
J	相关性	0.110	0.040	-0.170	0.690	-0.350
	显著性	0.862	0.953	0.789	0.194	0.565

3 讨论

3.1 2016—2020 年太湖鱼类群落组成变化

2016—2020 年共在太湖调查到鱼类 68 种, 每年调查得到的种类数总体稳定。2009—2010 年的调查结果显示太湖的鱼类优势种为鲢、间下鱖和陈氏新银鱼^[6], 2019 年太湖全湖优势种鱼类依次为刀鲚、鳊、鲤和鲢^[9]。本次调查结果显示, 2016 年太湖主要优势种为鲤、鲢、鲫, 2017 年转变为刀鲚和鲢, 而 2020 年又转变为刀鲚、鲫、鲤。结合他人及本次研究结果可以看出, 近年来太湖鱼类群落结构变化显著。

连续 5 年的监测结果表明, 太湖鱼类优势种单一化的问题较为突出, 且低龄化、低值化现象日益明显, 其中仅刀鲚一种鱼类占到 85%, 重要鱼类生境破坏、湖体富营养化加剧以及不合理的渔业生产方式是导致该现象的主要原因^[1, 6]。已有研究^[18]表明, 翘嘴鲌、蒙古鲌等肉食性鱼类在太湖鱼类的营养生态位中处于较高水平, 能够起到抑制刀鲚和小型鱼类种群规模的目的。根据历史资料, 20 世纪 80 年代, 太湖大型鲌类的资源占比可接近全湖总资源量的 13%, 截至 2019 年, 该项数据已下降为不足 2%。太湖中顶级消费者数量减少, 有利于刀鲚等小型次级消费者数量的增加, 再加上这些小型鱼类繁殖力强、食性杂、摄食强度高、生长速度快、世代更迭周期短^[19-21], 会大量侵占其他鱼类的生存空间, 从而不利于太湖生态系统的稳定性。

3.2 流域大洪水对太湖鱼类群落结构影响

2016 年以来不同季度的调查结果表明, 春季调查得到的种类数较为稳定, 夏季变化较大, 且 2020 年夏季在太湖调查发现暗纹东方鲀为近 5 年首次。夏季为太湖流域传统汛期, 流域降雨多且集中, 为降低太湖水位增加调蓄空间以保证流

域防洪安全, 每年夏季太湖流域管理局会根据流域水雨情及时调整太湖排水调度方案。2016 和 2020 年太湖流域均发生大洪水, 这两年太湖的排水量显著高于其他年份, 而其中相当一部分水量会通过望虞河排出, 进入长江。望虞河全长 60.3 km, 是直接连接长江与太湖的唯一通道^[9]。统计结果显示, 2016 年和 2020 年望虞河长江枢纽排水量分别为 23.3 亿 m³ 和 23.7 亿 m³, 是降雨平水年 2017 年的 3 倍, 排水量的上升显著增加了太湖与长江的江湖连通性, 这可能是 2016 年和 2020 年太湖的洄游鱼类种类占比高于近 5 年中其他年份的一个主要原因。与 20 世纪 80 年代相比, 太湖洄游性鱼类种类明显减少, 洄游通道阻隔可能是主要原因之一^[6], 本次研究结果也印证了这一结论。

3.3 太湖鱼类群落结构对水环境的响应

许多研究^[21-23]结果均表明, 水体富营养化会导致鱼类群落结构退化。本研究发现 2016 年以来鱼类群落多样性与太湖水环境因子之间的关系并不显著。同时, 谷孝鸿等^[3]的研究结果表明虽然 2016 年以来太湖蓝藻水华强度达到历史最高水平, 但太湖鱼类捕捞产量也达到 1956 年以来最大。分析导致太湖鱼类与水环境因子相关性不显著的原因可能有两方面。

一是出入太湖的氮磷营养盐收支不均, 尤其是 2016—2018 连续 3 年出现“收”大于“支”的现象, 导致湖体营养盐质量浓度持续增大^[24], 随之而来的是饵料生物资源不断增加与湖泊渔产潜力的逐年提升, 这也使得部分小型鱼类资源可凭借自身生物学特征而获得优先增长的机遇, 有研究^[23]也证实了太湖近 30 年来的营养盐质量浓度与刀鲚等小型资源呈正比关系; 二是太湖鱼类未达到其生态容量, 以滤食性鱼类鲢鳊为例, 当前鲢鳊资源量仅为 10.21 t/km², 而其生态容量可达

到 51.6 t/km^2 , 有较大的资源增殖空间, 如将刀鲚资源量限制在 9.49 t/km^2 , 鲢鳙生态容量可达 206.4 t/km^2 , 且能促使太湖生态系统进一步成熟稳定^[25]。综上所述, 合理优化太湖鱼类群落结构, 限制外源性营养物质输入是基础保障, 此外, 还需因地制宜根据太湖鱼类资源现状与生态容量, 完善增殖放流技术体系, 确定放流的种类、规格与数量, 定向从湖体中移出目标群体, 强化人工调控力度。

3.4 “十年禁渔”背景下对太湖鱼类保护对策建议

《中华人民共和国长江保护法》明确规定, 在国家规定的期限内, 长江干流和重要支流、大型通江湖泊、长江河口规定区域等重点水域全面禁止天然渔业资源的生产性捕捞。太湖全部水域已于 2020 年 10 月 1 日起全部停止捕捞作业, 其中 3 个保护区 2.67 万 km^2 水域将常年禁捕, 其余 18.67 万 km^2 水域将全面退捕。鱼类处在湖泊生态系统中食物链的顶端, 其群落结构组成对湖泊稳态起着重要作用^[4, 26]。目前, 太湖大部分水域处于蓝藻水华主导的藻型湖区^[27]。许多研究^[28-31]结果表明, 实施以鲢鳙增殖放流为主的非经典生物操纵在抑制浅水湖泊蓝藻水华暴发强度、降低水体叶绿素 a 质量浓度、改善水环境方面取得了积极进展和明显成效, 但也有部分研究结果表明鲢鳙鱼控藻成效不明显^[32], 且鲢鳙鱼粪便中的藻类仍具有光合活性^[29], 迫切需要密切结合太湖的营养水平、水华强度等要素进一步加强以渔控藻的太湖鲢鳙鱼密度、比例和关键技术研究, 以最大程度发挥太湖鲢鳙鱼控藻潜力。同时, 由于增殖放流和高强度鱼类捕捞是影响太湖鱼类群落的关键因子, 在太湖实施渔业禁捕、退捕的大背景下, 迫切需要建立太湖鱼类精细化捕捞方案, 合理控制捕捞强度^[33], 引导太湖鱼类群落结构的恢复, 改善太湖水环境。

参考文献:

- [1] 毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 太湖渔业资源现状(2009—2010 年)及与水体富营养化关系浅析[J]. 湖泊科学. 2011, 23(6): 967-973.
MAO Z G, GU X H, ZENG Q F, et al. Status and changes of fishery resources(2009 - 2010) in Lake Taihu and their responses to water eutrophication [J]. Journal of Lake Science, 2011, 23(6):967-973.
- [2] 朱广伟, 秦伯强, 张运林, 等. 2005—2017 年北部太湖水体叶绿素 a 和营养盐变化及影响因素[J]. 湖泊科学. 2018, 30(2): 279-295.
ZHU G W, QIN B Q, ZHANG Y L, et al. Variation and driving factors of nutrients and chlorophyll-a concentrations in northern region of Lake Taihu, China, 2005 - 2017 [J]. Journal of Lake Science, 2018, 30(2):279-295.
- [3] 谷孝鸿, 曾庆飞, 毛志刚, 等. 太湖 2007—2016 十年水环境演变及“以渔改水”策略探讨[J]. 湖泊科学, 2019, 31(2): 305-318.
GU X H, ZENG Q F, MAO Z G, et al. Water environment change over the period 2007 - 2016 and the strategy of fishery improve the water quality of Lake Taihu[J]. Journal of Lake Science, 2019, 31(2):305-318.
- [4] ANTTILA S, KETOLA M, KUOPPAMÄKI K, et al. Identification of a biomanipulation-driven regime shift in Lake Vesijärvi: implications for lake management [J]. Freshwater Biology. 2013, 58(7): 1494-1502.
- [5] AUBER A, TRAVERS-Trolet M, VILLANUEVA M C, et al. Regime shift in an exploited fish community related to natural climate oscillations[J]. Ploce One. 2015, 10(7): e129883.
- [6] 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): 2836-2842.
MAO Z G, GU X H, ZENG Q F, et al. Community structure and diversity of fish in Lake Taihu [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(12): 2836-2842.
- [7] 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.
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.
- [8] 徐东坡, 杨彦平, 周彦锋, 等. 太湖水域鮡亚科鱼类的时空分布[J]. 长江流域资源与环境. 2018, 27(2): 371-379.
XU D P, YAND Y P, ZHOU Y F, et al. Spatial-temporal feature of Gobioninae fishes in Lake Taihu [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(2): 371-379.
- [9] 熊满辉, 任泷, 徐东坡. 太湖及“引江济太”河道鱼类群落结构调查研究[J]. 水生态学杂志, 2020: 1-10.
XIONG M H, REN L, XU D P. Community structure and diversity of fish in Taihu Lake and Wangyuehe River [J]. Journal of Hydroecology, 2020: 1-10.
- [10] QIN B, PAERL H W, BROOKES J D, et al. Why Lake Taihu continues to be plagued with cyanobacterial blooms through 10 years (2007 - 2017) efforts [J]. Science Bulletin. 2019, 64(6): 354-356.
- [11] 朱伟, 胡思远, 冯甘雨, 等. 特大洪水对浅水湖泊磷的影响:以 2016 年太湖为例[J]. 湖泊科学. 2020, 32(2): 325-336.

- ZHU W, HU S Y, FENG G Y, et al. Effects of great floods on phosphorus in shallow lakes; a case study of Lake Taihu in 2016[J]. *Journal of Lake Science*, 2020,32(2):325-336.
- [12] 何俊,谷孝鸿,王小林,等. 太湖鱼类放流增殖的有效数量和合理结构[J]. *湖泊科学*. 2012, 24(1): 104-110.
- HE J, GU X H, WANG X L, et al. Fish stocking quantities and structures of the fishery resources enhancement in Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Science*, 2012, 24(1):104-110.
- [13] 赵凯,周彦锋,蒋兆林,等. 1960 年以来太湖水生植被演变[J]. *湖泊科学*. 2017, 2(29): 351-362.
- ZHAO K, ZHOU Y F, JIANG Z L, et al. Changes of aquatic vegetation in Lake Taihu since 1960 [J]. *Journal of Lake Science*, 2017,29(2):351-362.
- [14] 倪勇,朱成德. 太湖鱼类志[M]. 上海科学技术出版社, 2005.
- NI Y, ZHU C D. Fish dictionary of the Taihu Lake [M]. Shanghai: Science Publishing Company, 2005.
- [15] JONE S. Assessing the long-term effects of changes in fishing effort and mesh size from length composition data [J]. *ICESCN*. 1974(33): 1-13.
- [16] 吴斌,方春林,贺刚,等. FiSAT II 软件支持下的体长股分析法探讨[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(4): 94-98.
- WU B, FANG C L, HE G, et al. FiSAT II software supported length based cohort analysis [J]. *South China Fisheries Sciences*, 2013, 9(4): 94-98.
- [17] 虞功亮,刘军,许蕴珩,等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 591-599.
- YU G L, LIU J, XU Y X, et al. Estimation on abundance of egg-predatory fishes in the spawning ground of Chinese sturgeon below the Gezhouba Dam[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 591-599.
- [18] 刘恩生,吴林坤,曹萍,等. 太湖鲢鱼数量变化规律及生态效应分析[J]. *水利渔业*,2007(3): 70-73.
- LIU E S, WU L K, CAO P, et al. Population dynamics and ecological responses of fishes in Culter in Taihu Lake[J]. *Reservoir Fisheries*, 2007(3): 70-73.
- [19] 于谨磊,何虎,李宽意,等. 太湖贡湖湾鲢(*Coilia ectenes taihuensis* Yen et Lin)食物组成的季节变化[J]. *湖泊科学*, 2012, 24(5): 765-770.
- YU J L, HE H, LI K Y, et al. Seasonal variations in the diets of *Coilia ectenes taihuensis* Yen et Lin in Gonghu Bay of Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Science*, 2012,24(5):765-770.
- [20] 王银平,谷孝鸿,曾庆飞,等. 太湖不同生态型湖区湖鲢(*Coilia ectenes taihuensis*)食物组成及其季节变化[J]. *湖泊科学*, 2016, 28(5): 1078-1085.
- WANG Y P, GU X H, ZENG Q F, et al. Seasonal variations in the diet composition of *Coilia ectenes taihuensis* in different ecotypes of Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Science*, 2016, 28(5):1078-1085.
- [21] 刘恩生,刘正文,陈伟民,等. 太湖湖鲢渔获量变化与生物环境间相互关系[J]. *湖泊科学*,2005,17(4): 340-345.
- LIU E S, LIU Z G, CHEN W M, et al. A study on the chaise of Lake Anchovy(*Coilia ectenes taihuensis* Yen et Lin) catches and its mutual relationship to the biological environment in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, 17(4):340-345.
- [22] 刘恩生,刘正文,鲍传和. 太湖鲫鱼数量变化的规律及与环境间关系的分析[J]. *湖泊科学*, 2007,19(3): 345-350.
- LIU E S, LIU Z W, BAO C H. The changes of catches of *Carassius auratus* and relationship with environment in Lake Taihu, China[J]. *Journal of Lake Science*, 2007, 19(3): 345-350.
- [23] 刘恩生,刘正文,陈伟民,等. 太湖鱼类产量、组成的变动规律及与环境的关系[J]. *湖泊科学*, 2005,17(3): 251-255.
- LIU E S, LIU Z W, CHEN W M, et al. Changes in the yield and composition of the fish catches and their relation to the environmental factors in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, 17(3):251-255.
- [24] 朱广伟,邹伟,国超旋,等. 太湖水体磷浓度与赋存量长期变化(2005—2018 年)及其对未来磷控制目标管理的启示[J]. *湖泊科学*, 2020,32(1): 21-35.
- ZHU G W, ZOU W, GUO C X, et al. Long-term variations of phosphorus concentration and capacity in Lake Taihu,2005 – 2018; Implications for future phosphorus reduction target management [J]. *Journal of Lake Science*, 2020,32(1): 21-35.
- [25] 朱广伟,许海,朱梦圆,等. 三十年来长江中下游湖泊富营养化状况变迁及其影响因素[J]. *湖泊科学*,2019,31(6): 1510-1524.
- ZHU G W, XU H, ZHU M Y, et al. Changing characteristics and driving factors of trophic state in lakes at the middle and lower reaches of Yangtze River in the past 30 years[J]. *Lake Sci*,2019,31(6): 1510-1524.
- [26] 赵旭昊,徐东坡,任泷,等. 基于 Ecopath 模型的太湖鲢鳙生态容量评估[J]. *中国水产科学*, 2021,28(6): 785-795.
- ZHAO X H, XU D P, REN L, et al. Assessment of the ecological carrying capacity of silver and bighead carp in the Taihu Lake based on Ecopath model [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(6): 785-795.
- [27] 王华,陈华鑫,徐兆安,等. 2010—2017 年太湖总磷浓度变化趋势分析及成因探讨[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(4): 919-929.
- WANG H, CHEN H X, XU Z A, et al. Variation trend of total phosphorus and its controlling factors in Lake Taihu, 2010 – 2017 [J]. *Journal of Lake Science*, 2019, 31(4): 919-929.
- [28] 刘建康,谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J]. *长江流域资源与环境*, 1999(3): 85-92.
- LIU J K, XIE P. Unraveling the enigma of the disappearance

- of water bloom from the East Lake (Lake Donghu) of Wuhan [J]. Resour Environ Yangtze Basin, 1999(3): 85-92.
- [29] 周小玉,张根芳,刘其根,等. 鲢、鳙对三角帆蚌池塘藻类影响的围隔实验[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 729-737. ZHOU X Y, ZHANG G F, LIU Q G, et al. Effects of *Hyriopsis cumingii* and *Aristichthys nobilis* on the enclosures phytoplankton community of *Hypophthalmichthys molitrix* pond [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5): 729-737.
- [30] GUO L, WANG Q, XIE P, et al. A non-classical biomanipulation experiment in Gonghu Bay of Lake Taihu: control of *Microcystis* blooms using silver and bighead carp [J]. Aquaculture Research, 2015, 9(46): 2211-2224.
- [31] 唐汇娟,谢平. 围隔中不同密度鲢对浮游植物的影响[J]. 华中农业大学学报, 2006(3): 277-280. TANG H J, XIE P. Enclosure experiment on the effects of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) density on the phytoplankton [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2006(3): 277-280.
- [32] 王银平,谷孝鸿,曾庆飞,等. 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1707-1715. WANG Y P, GU X H, ZENG Q F, et al. Growth and photosynthetic activity of *Microcystis colonies* after gut passage through silver carp and bighead carp [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1707-1715.
- [33] 梅雪英,VLADIMIR R, LARS G R,等. 杂食性鱼类对浅水水体底栖-浮游生境耦合作用的影响:微综述[J]. 湖泊科学, 2021, 33(3): 667-674. MEI X Y, VLADIMIR R, LARS G R, et al. Effects of omnivorous fish on benthic-pelagic habitats coupling in shallow aquatic ecosystems: A minireview [J]. Journal of Lake Science, 2021, 33(3): 667-674.

Community structure and diversity of fish in Taihu Lake from 2016 to 2020 and their relationship with water environment

XIONG Manhui, REN Long, CHEN Yongjin, ZHAN Zhengjun, LIU Pengfei, XU Dongpo

(Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: Based on fish community monitoring data of 10 sites and water environment monitoring data of 33 sites in the Taihu Lake from 2016 to 2020, the fish community structure and diversity were investigated, as well as their relationship with main water environment factors. A total of 55 fish species were collected in 2020, and the dominant species were *Coilia nasus*, *Carassius auratus* and *Cyprinus carpio*, of which the index of relative importance were 9 219.28, 1698.78 and 1 075.27 respectively. Besides, the proportion of 87.9% fish full length <200 mm, and the proportion of 88.2% fish mass body <50 g. A total of 67 fish species have been collected since 2016, and fish community structure changed greatly although the water quality remains stable. The results showed that there was no significant relationship between fish community diversity index and main water environmental factors and the water discharge of Taihu Lake and the artificial propagation and release were the key factors. Refined fishing program and the artificial propagation and release program of Chinese silver carps and bighead carps should be established based on the water environment situation of Taihu Lake, in order to restore the fish community structure and give play to the potential of the Chinese silver carps and bighead carps in controlling algal bloom.

Key words: Taihu Lake; fish community; water environment; artificial propagation and release; fishing