

竺山湖控藻围隔内浮游植物群落结构的变化特征

沈振华, 朱明胜, 张宏伟, 周云峰, 陈卫东 (江苏省太湖渔业管理委员会办公室, 江苏苏州 215004)

摘要 为了研究太湖竺山湖生物控藻围隔内生态系统的结构以及放养鲢鳙对富营养化水质改善的效果, 于2013年6~10月对该水域进行5次采样调查, 并对浮游植物进行种类鉴定与数量统计, 分析了浮游植物的群落结构、优势种和多样性特征。结果表明, 共鉴定浮游植物8门71种, 绿藻门最多, 共26种, 其次是硅藻门18种, 蓝藻门14种, 裸藻门5种, 隐藻门3种, 甲藻门和金藻门均为2种, 黄藻门1种。浮游植物数量为 $5.83 \times 10^6 \sim 1.57 \times 10^7$ ind/L, 平均数量为 1.05×10^7 ind/L; 生物量的变化范围为 0.66~2.74 mg/L, 平均生物量为 1.63 mg/L。多样性指数 H' 为 1.40~2.55, 平均值为 1.82; 均匀度指数的变化范围为 0.39~0.47, 平均值为 0.43。根据 TLI(Σ) 并结合浮游植物群落结构对水质评价, 太湖竺山湖生物控藻围隔内水质属于轻富营养状态。

关键词 竺山湖; 生物控藻; 浮游植物; 群落结构; 水质

中图分类号 S917.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)03-154-04

Eco-environmental Investigation in Bio-manipulation Pen in Lake Zhushan, Lake Taihu

SHEN Zhen-hua, ZHU Ming-sheng, ZHANG Hong-wei et al (Taihu Lake Fisheries Management Committee of Jiangsu Province, Suzhou, Jiangsu 215004)

Abstract To explore the characteristics of the phytoplankton community structure and discuss the effects on improving eutrophic water in bio-manipulation pen in Lake Zhushan, Lake Taihu, a survey was carried out every month from June to October of 2013. Based on the analysis of phytoplankton samples from nine sites in Lake Zhushan, Lake Taihu, the characteristics of community structure and abundance distribution were studied. The results showed that there were 8 classes including 71 species have been founded in Lake Zhushan, Lake Taihu. Among them, dominated Chlorophyta has 26 species, accounting for 36.62% of the total phytoplankton species, followed by Bacillariophyta and Cyanophyta, which has 18 and 14 species, respectively. Besides, Euglenophyta has 5 species, Cryptophyta has 3 species, Chrysophyta and Dinophyta has 2 species each other, Xanthophyceae has only 1 species. The quantity and biomass of phytoplankton in Lake Zhushan, Lake Taihu ranged from $5.83 \times 10^6 - 1.57 \times 10^7$ ind/L and 0.66-2.74 mg/L, respectively. The diversity indexes of Shannon-Wiener, Pielou and Margalef ranged 1.40-2.55, 0.39-0.47, respectively. TLI(Σ), dominant species, Shannon-Weaver diversity index and Pielou evenness index were integrated to assess the water quality. The result indicated that the water quality of Lake Zhushan, Lake Taihu was light eutrophication.

Key words Lake Zhushan; Biomanipulation; Phytoplankton; Community structure; Water quality

近年来,随着社会经济的高速发展,太湖水体富营养化问题日趋严重,使湖体生态系统结构和功能遭到严重破坏,不仅对当地的生态环境和社会经济甚至人们的生理健康都产生了极大威胁^[1-3]。为了控制浮游植物的大量繁殖,20世纪90年代 Miura 提出了著名的生物操纵理论,提倡通过放养食鱼性鱼类或捕杀浮游动物食性鱼类间接地改善水体富营养化^[4]。但是,在部分富营养水体中效果不佳,甚至导致微囊藻和小型蓝藻急剧增加,造成水体浮游植物群落结构小型化^[5]。近年来,大量研究发现放养鲢、鳙能够有效改变水体营养水平和浮游生物群落结构,对水质的恢复具有积极的促进作用^[6-9]。东湖多年爆发蓝藻水华的消失也正是由于该湖放养了大量鲢鳙的结果^[10]。目前,关于生物控藻的报道大多集中于研究放养鲢鳙的生长特征和食性分析,较少关注生物控藻区的生态环境变化^[11-13]。笔者通过对太湖竺山湖生物控藻围隔内生态环境进行调查,揭示鲢鳙放流对水质和浮游植物群落结构的影响,以期对竺山湖地区生态环境评价和综合整治提供基础性资料,同时也为研究太湖富营养化发展变化原因和趋势提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 采样点的设置 竺山湖是太湖西北部的半封闭型湖湾,北起百渎口,南至马山咀一线,面积 57.2 km²,主要入湖

河道为雅浦港、太漏运河、殷村港。根据围隔的设置特征,此次调查共设置9个采样点,分别为 S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9(见图1)。采样时间为2013年6~10月,其中6、7、8月为夏季,9月和10月为秋季,按照次/月的采样频率采集水样和浮游植物。

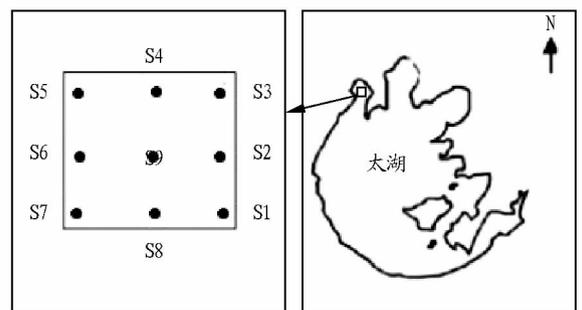


图1 采样点的分布示意

1.2 样品采集与处理 采集到的浮游植物样品根据《湖泊生态调查观测与分析》^[14]中有关方法进行处理鉴定。定性样品用25号采集网采集,在水深0.5m处以0.5m/s的速度呈“∞”型拖拉5min,带回实验室在10×40倍光学显微镜下观察分类。定量样品用水生81型有机玻璃采水器(容积5000ml)分别等量采取断面的上、下层水样4次,集中于10000ml容器中加以混合后,取出1000ml并立即加入15ml鲁哥试剂并摇匀,带回实验室静置沉淀24h后浓缩并定容至25ml供镜检。计数采用计数框格法,浮游植物种类鉴定参照《中国淡水生物图谱》^[15]。

基金项目 江苏省水产三新工程项目(Y2014-27)。

作者简介 沈振华(1971-),江苏吴江人,工程师,硕士,从事渔业资源管理与保护研究。

收稿日期 2014-11-28

1.3 环境因子的测定方法 水质监测项目包含叶绿素 a (Chl-a)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、高锰酸盐指数 (COD_{Mn})、水温、pH 和透明度 (SD) 等。水温、pH 和透明度在现场进行测定,其他指标需要进入实验室进行分析。其中,叶绿素 a 使用分光光度法测定,总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,总磷采用钼酸铵分光光度法进行测定,COD_{Mn} 采用高锰酸盐法进行测定^[16]。

1.4 多样性分析方法 根据浮游植物优势度指数 (Y)^[17]、Shannon-Wiener 多样性指数 (H)^[18]、Pielous 均匀度指数 (J)^[19] 和 Margalef 丰富度指数 (D)^[20] 等对浮游植物的群落结构特征进行分析评价,其计算公式如下:

$$Y = (N_i/N) \bar{f}_i \quad (1)$$

$$H = - \sum_{i=1}^S (N_i/N) \times \log_2 (N_i/N) \quad (2)$$

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

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

式中, Y 为优势度指数; N_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类的总个体数; \bar{f}_i 为各采样点第 i 种的出现频率; H 为生物多样性指数; J 为均匀度指数; S 为物种总数; D 为丰富度指数。

1.5 水质评价方法 选取叶绿素 a (Chl-a)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 和透明度 (SD) 5 个主要的水质监测指标参与太湖竺山湖生物控藻围隔内水体富营养化的评价,评价标准采用中国环境监测总站推荐使用的综合营养状态指数 (TLI)^[21-22]。

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \times TLI(j) \quad (5)$$

$$W_j = r_{ij}^2 / \sum_{j=1}^m r_{ij}^2 \quad (6)$$

式中, TLI(Σ) 表示综合营养状态指数; TLI(j) 代表第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数的相关系数; m 为评价参数的个数。

按照以下公式计算营养状态指数:

$$TLI(\text{chl}) = 10(2.5 + 1.086 \ln \text{chl}) \quad (7)$$

$$TLI(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln \text{TP}) \quad (8)$$

$$TLI(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln \text{TN}) \quad (9)$$

$$TLI(\text{SD}) = 10(5.118 - 1.94 \ln \text{SD}) \quad (10)$$

$$TLI(\text{COD}_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln \text{COD}_{Mn}) \quad (11)$$

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成及优势种 2013 年 6~10 月,通过对生物控藻区水域进行的 5 次调查采样,该水域共鉴定出绿藻 (Chlorophyta)、硅藻 (Bacillariophyta)、蓝藻 (Cyanophyta)、裸藻 (Euglenophyta)、隐藻 (Cryptophyta)、甲藻 (Pyrrophyta)、金藻 (Chrysophyta) 和黄藻 (Xanthophyceae) 8 门 71 种 (包括变种和变型) (表 1)。其中,绿藻种数最多,共 26 种,占浮游植物总种数的 36.62%; 其次是硅藻门 18 种,占浮游植物总种数的 25.35%; 蓝藻门 14 种,占浮游植物总种数的 19.72%; 裸藻门 5 种,占浮游植物总种数的 7.04%; 隐藻门 3 种,占浮游植物总种数的 4.23%; 甲藻门和金藻门均为 2 种,占浮游植物总种数的 2.82%; 黄藻门 1 种,占浮游植物总种数的 1.41%。

若优势度指数 Y > 0.02 则判定为优势种。通过 2013 年 6~10 月在生物控藻区水域的 5 次调查采样,共发现优势种 5 门 14 种,分别为绿藻门的小球衣藻、斯诺衣藻、四尾栅藻、卵形衣藻; 隐藻门的尖尾蓝隐藻; 蓝藻门的铜绿微囊藻、水华微囊藻、卷曲鱼腥藻、美丽颤藻、微小平列藻; 硅藻门的尖针杆藻、短小舟行藻、意大利直链藻和针状菱形藻。其中,以绿藻门、蓝藻门、隐藻门种类为全年的主要优势种。

表 1 太湖竺山湖生物控藻围隔内浮游植物的种类组成

序号	门名	种名
1	蓝藻门	小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>
2	Cyanophyta	阿氏颤藻 <i>Oscillatoria agardhii</i>
3		巨颤藻 <i>Oscillatoria princeps</i>
4		针状蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis acicularis</i>
5		针晶蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis raphidioides</i>
6		小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>
7		微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>
8		微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>
9		优美平裂藻 <i>Merismopedia elegans</i>
10		卷曲鱼腥藻 <i>Anabaena circinalis</i>
11		多变鱼腥藻 <i>Anabaena variabilis</i>
12		水华微囊藻 <i>Microcystis flosaquae</i>
13		铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>
14		中华尖头藻 <i>Merismopedia sinica</i>
15	隐藻门	嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>
16	Cryptophyta	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>
17		卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>
18	甲藻门	腰带光甲藻 <i>Glenodinium cinctum</i>
19	Pyrrophyta	角甲藻 <i>Ceratium hinundinella</i>
20	裸藻门	尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i>
21	Euglenophyta	长尾扁裸藻 <i>Phacus longicauda</i>
22		旋纹裸藻 <i>Euglena spirogyra</i>
23		颤动扁裸藻 <i>Phacus oscillans</i>
24		哑铃扁裸藻 <i>Phacus peteloti</i>
25	黄藻门	小型黄丝藻 <i>Tribonema minus</i>
	Xanthophyceae	
26	硅藻门	微细异极藻 <i>Gomphonema parvulum</i>
27	Bacillariophyta	窄异极藻 <i>Gomphonema angustatum</i>
28		钝脆杆藻 <i>Fragilaria capucina</i>
29		意大利直链藻 <i>Melosira italica</i>
30		变异直链藻 <i>Melosira varians</i>
31		梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>
32		线性舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>
33		绿舟形藻 <i>Navicula viridula</i>
34		双头舟形藻 <i>Navicula dicephala</i>
35		短楔形藻 <i>licmophora abbreviata</i>
36		双头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>
37		胡斯特桥弯藻 <i>Cymbella sp.</i>
38		细小桥湾藻 <i>Cymbella pusillapussilla</i>
39		卵圆双眉藻 <i>Amphora ovalis</i>
40		尖布纹藻 <i>Gyrosigma avuminatum</i>
41		针状菱形藻 <i>Nitzschia acicularis</i>
42		尖布纹藻 <i>Gyrosigma avuminatum</i>
43		拟菱形藻 <i>Pseudo nitzschia</i>
44	绿藻门	球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>
45	Chlorophyta	斯诺衣藻 <i>Chlamydomonas snowiae</i>
46		卵形衣藻 <i>Chlamydomonas ovalis</i>

续表 1

序号	门名	种名
47		针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>
48		镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>
49		镰形纤维藻变种 <i>Ankistrodesmus falcatus</i> var
50		斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>
51		四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>
52		四角盘星藻 <i>Pediastrum clathratum tetras</i>
53		双射盘星藻 <i>Pediastrum biradiatum</i>
54		单角盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i>
55		四角十字藻 <i>Crucigenia. quadrata</i>
56		四足十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i>
57		微小四角藻 <i>Tetraedron minimum</i>
58		黏四集藻 <i>Palmellaceae mucosa</i>
59		小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>
60		硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i> Korsch
61		小新月藻 <i>Closterium venus</i>
62		集星藻 <i>Actinastrum Lag</i>
63		实球藻 <i>Pandorina morlzm</i>
64		湖生卵囊藻 <i>Oocystis. Lacustris</i>
65		纤细月牙藻 <i>Selenastrum gracile</i>
66		小形月牙藻 <i>Selenastrum minutum</i>
67		长刺顶棘藻 <i>Chodatella longiseta</i>
68		优美胶毛藻 <i>Chaetophora elegans</i>
69		纤细角星鼓藻 <i>Staurastrum gracile</i> Ralfs
70	金藻门	密集锥囊藻 <i>D. sertularia</i>
71	Chrysophyta	树枝锥囊藻 <i>D. stipitatum</i>

2.2 数量与生物量的时空分布特征

2.2.1 季节变化。从图1可以看出, 2013年6~10月生物控藻区水域浮游植物数量为 $5.83 \times 10^6 \sim 1.57 \times 10^7$ ind/L, 浮游植物平均数量为 1.05×10^7 ind/L, 且最大值出现在7月, 最小值出现在8月, 而9月和10月该水域藻类数量时间差异不显著。此次调查结果表明, 生物控藻区水域浮游植物密度呈现夏季/秋季的季节规律, 其中夏季浮游植物平均密度最大为 1.08×10^7 ind/L, 秋季游植物平均密度为 9.96×10^6 ind/L。生物控藻区水域浮游植物生物量为 0.66 ~ 2.74 mg/L, 平均生物量为 1.63 mg/L, 且最大值出现在7月, 最小值出现在8月。

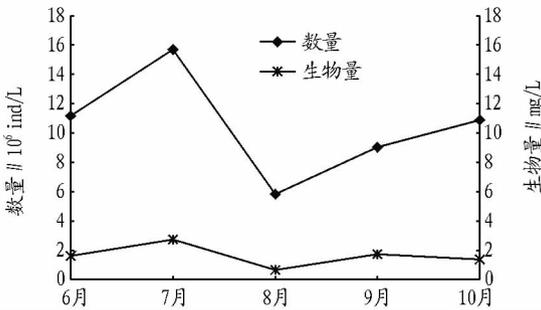


图2 太湖竺山湖浮游植物数量和生物量的季节变化特征

2.2.2 空间变化。从图3可以看出, 2013年6~10月生物控藻区水域9个采样点浮游植物数量为 $5.42 \times 10^6 \sim 1.64 \times 10^7$ ind/L, 平均数量为 1.17×10^7 ind/L, 且最大值出现在S5采样点, 最小值出现在S2采样点。生物控藻区水域9个采

样点浮游植物生物量为 0.61 ~ 2.86 mg/L, 平均生物量为 1.62 mg/L, 且最大值出现在S5采样点, 最小值出现在S2采样点。

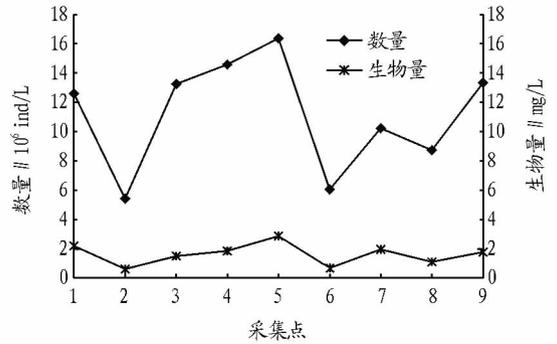


图3 太湖竺山湖浮游植物数量和生物量的空间变化特征

2.3 生物多样性和均匀度的时空分布特征 太湖竺山湖生物控藻围隔内浮游植物的生物多样性指数在调查期间季节变化明显, 多样性指数高峰区多出现在夏季, 秋季较低(图4~5)。时间上, Shannon-Wiener 多样性指数为 1.40 ~ 2.55, 平均值为 1.82。其中, 8月 Shannon-Wiener 多样性指数最高, 7月最低, 表现出该水域夏季浮游植物生物多样性大于秋季, 平均值为 1.92, 秋季平均为 1.66。空间上, 各采样点 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.13 ~ 2.77, 平均值为 1.81。其中, S6采样点最高, S1采样点最低。此外, 从季节分布来看, 该水域浮游植物均匀度指数为 0.39 ~ 0.47, 平均值为 0.43; 其中7月的均匀度指数最低, 为 0.39, 8月浮游植物的均匀度指数最高, 为 0.47。从空间来看, 该水域浮游植物均匀度指数为 0.35 ~ 0.54, 平均值为 0.43; 其中, S5采样点最高, S4采样点最低。

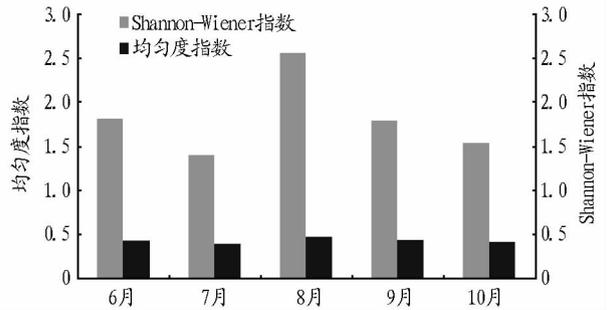


图4 太湖竺山湖浮游植物多样性指数的季节变化特征

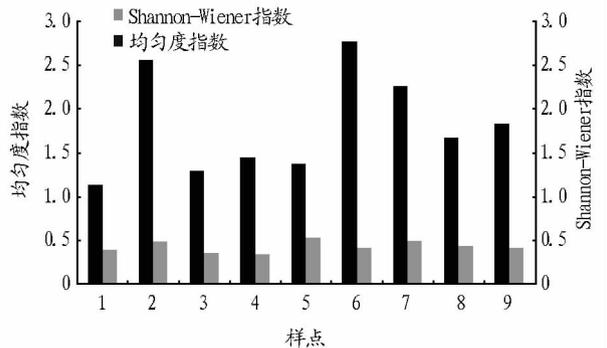


图5 太湖竺山湖浮游植物多样性指数的空间变化特征

2.4 太湖竺山湖生物控藻围隔内水质评价 采用中国环境监测总站推荐使用的综合营养状态指数(TLI)划分标准,并结合湖泊营养类型评价的藻类生物学指标,评价太湖竺山湖生物控藻围隔内水质。 $TLI(\Sigma) < 30$,为贫营养; $30 \leq TLI$

($\Sigma) \leq 50$,则为中营养; $TLI(\Sigma) > 50$,为富营养。由表2可知,太湖竺山湖生物控藻围隔内水域水资源质量为轻度富营养化,该水域水处于轻度污染状态。

表2 太湖竺山湖生物控藻围隔内水质状况评价

时间	多样性	均匀度 SHEI	$TLI(COD_{Mn})$	$TLI(TP)$	$TLI(TN)$	$TLI(Cha)$	$TLI(SD)$	$TLI(\Sigma)$
6月	中污染	轻污染	40.27	68.35	64.86	52.96	72.57	57.68
7月	重污染	轻污染	53.32	68.57	65.28	55.88	73.47	61.96
8月	中污染	轻污染	24.17	66.08	61.70	48.44	73.94	51.84
9月	中污染	轻污染	42.19	72.74	65.76	51.41	69.67	58.35
10月	重污染	轻污染	33.08	65.68	65.61	54.70	73.03	55.79

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构 太湖竺山湖生物控藻围隔内水域浮游植物群落结构季节变化明显,主要由绿藻、硅藻和蓝藻组成,这与太湖梅梁湾的种类结构相似^[23],太湖梅梁湾浮游植物种类数绿藻 > 硅藻 > 蓝藻。此外,其他门类在同期各采样点检出极少,但总种数的季节变化规律表现为夏季多于秋季。这可能与夏季光照时间长,水温较高,从而使大部分藻类得以更快的增殖有关^[24]。金藻和甲藻大多喜欢生活在比较清洁的水体^[25],且仅出现在6月、7月和10月的部分采样点。结果表明,藻类空间分布不仅与不同藻类所特有的生态分布有关,还与其所处的水域有密切联系。从优势种的时空分布特征来看,无论是优势种的数量还是优势度,蓝藻都高于绿藻、硅藻和隐藻。其中,水华微囊藻的优势度也存在显著的季节变化,夏季小于秋季,这与该水域放养鲢鳙进行生物控藻有密切关系^[26-27]。此外,在调查结果中还发现部分优势种为富营养型(a-ms)水体的指示藻类^[28],如蓝藻门的铜绿微囊藻、水华微囊藻何微小平裂藻,结果表明控藻区围隔内水体的营养物质总体比较丰富。

非经典生物操纵对太湖竺山湖生物控藻围隔内水域的浮游植物群落结构具有一定影响。该调查结果表明,该水域浮游植物数量从高到低依次为:7月 > 6月 > 10月 > 9月 > 8月,季节变化表现为夏季 > 秋季。目前,有关网围鲢鳙鱼养殖对湖泊生态影响的研究已受到广泛关注^[29],并在千岛湖^[30]、云龙湖水库^[31]和淀山湖^[32-33]等水域得到开展和研究,结果表明鲢鳙放流对藻类控制具有积极的促进作用。从空间分布来看,该水域浮游植物数量和生物量表现为由围隔的西北部向东南部逐渐降低的趋势,这可能与该地区夏季盛行偏南风有关。

3.2 生物多样性分析 Shannon-Wiener 多样性指数作为监测环境污染的重要评价标准,被广泛运用于评价一定水域的水质状况^[34-36]。此外,均匀度也是综合评价一定区域物种均匀度和水质清洁度的重要参考标准^[37],通常以均匀度大于0.3作为浮游植物多样性较好的标准进行综合评价^[38](表3)。从时间分布来看,太湖竺山湖生物控藻围隔内水域浮游植物的生物多样性指数和均匀度指数都表现出夏季高于秋季的趋势,但总体上水质情况呈现中-重污染现象。从空间分布来看,太湖竺山湖生物控藻围隔内水域浮游植物的生物

多样性指数和均匀度指数的最大值均出现在围隔的中段,最小值分别出现在东北部,表明太湖竺山湖生物控藻围隔内浮游植物群体稳定性总体较好,根据均匀度的评价标准判定为轻污染;但是,该水域的多样性指数指示各采样点呈现中-重污染的现象,其中围隔的北部水质略差于南部,与该水域浮游植物数量的变化趋势一致。

表3 生物多样性阈值的分级评价标准

多样性指数	等级评价	水质状况
$H > 3.5$	V	清洁
$2.6 \leq H \leq 3.5$	IV	轻污染
$1.6 \leq H \leq 2.5$	III	中污染
$0.6 \leq H \leq 1.5$	II	重污染
$H < 0.6$	I	严重污染

此外,调查期间太湖竺山湖生物控藻围隔内水域的优势种和综合营养状态指数结果表明,该水域水质为轻度富营养型,而多样性指数结果也表明该水域呈现中-重污染趋势,这与直湖港、武进港入湖闸门关闭有关。2007年无锡饮用水污染事件发生后,为了保护梅梁湖的水质,江苏省省委政府将原来汇入梅梁湖的污染物大部分直接或间接地汇入竺山湖,导致竺山湖的水质和生态环境遭到严重破坏^[39]。因此,对太湖竺山湖进行生态控藻围隔试验具有非常重要的意义,而对其水质继续监测和防治也是必要的。

参考文献

- [1] 吴溶,崔莉凤,蒋凌炜,等. 金藻和狐尾藻对铜绿微囊藻生长及藻毒素释放的影响[J]. 水生态学杂志,2010,3(3):43-46.
- [2] 孔繁翔,胡维平,谷孝鸿,等. 太湖梅梁湾2007年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议[J]. 湖泊科学,2007,19(4):357-358.
- [3] 刘建康,谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学,2003,22(3):193-196.
- [4] MIURA T. The effects of planktivorous fishes on the plankton in a eutrophic lake[J]. Hydrobiologia, 1990, 200(1): 567-579.
- [5] 陈少莲,刘肖芳,华俐. 鲢、鳙在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用[J]. 水生生物学报,1991,15(1):8-26.
- [6] CREMER M, SMITHERMAN RO. Food habit and growth of silver and bighead in eages and ponds[J]. Aquaculture, 1980,20:57-64.
- [7] 陆开宏,周杰,王扬才. 罗非鱼对微囊藻消化率的初步研究[J]. 水利渔业,2003,23(4):15-16.
- [8] BURKE J S, BAYNE D R. Impact of silver and bighead carps on plankton communities of channel catfish ponds[J]. Aquaculture, 1986,55:59-68.
- [9] 石志中. 白鲢等鱼种对螺旋鱼腥藻消化吸收的示踪实验报告[J]. 水生生物学集刊,1975,5(4):497-502.

- [10] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 19-69.
- [11] 柯志新, 谢平, 过龙根, 等. 太湖梅梁湾生物控藻围栏内鲢鳙比肠长和比肝重的动态变化[J]. 生态学杂志, 2012, 33(3): 9-13.
- [12] 陈少莲. 东湖放养鲢、鳙鱼种的食性分析[J]. 水库渔业, 2005(3): 21-26.
- [13] 柯志新, 谢平, 过龙根, 等. 太湖梅梁湾大型生态控藻围栏内鲢鳙的生长特征[J]. 水生态学杂志, 2011(5): 13-18.
- [14] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 1-247.
- [15] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [16] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [17] 陈清潮, 黄良民, 尹健强. 南沙群岛及其邻近海域海洋生物多样性研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1994: 42-50.
- [18] SHANNON C E, WEAVER W. A Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: Univ of Illinois Press, 1949.
- [19] PIELOU E C. The measurements of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [20] SOBALLE D M, KIMMEL B L. A large scale comparison of factor influencing phytoplankton abundance in rivers lakes and impoundments[J]. Ecology, 1987, 68(6): 1943-1954.
- [21] 郝友亮, 马启敏, 周华, 等. 东昌湖水体富营养化研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 63-66.
- [22] 王鹤扬. 综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(9): 188-194.
- [23] 孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 2008年太湖梅梁湾浮游植物群落周年变化[J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 577-584.
- [24] 林少君, 顾继光, 魏鹏, 等. 广东省公平水库与星湖生态特征的对比分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 773-779.
- [25] 肖利娟. 海南省 7 座大中型水库浮游植物群落特征和富营养化分析[D]. 广州: 暨南大学, 2008.
- [26] 马华, 崔福义, 范振强, 等. 净水厂处理前端放养鲢鱼对藻类的去除特性及相关因素研究[J]. 给水排水, 2012, 38(11): 34-38.
- [27] 范振强, 崔福义, 马华, 等. 放养鲢鱼预处理高藻原水的除藻效能及特性[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 632-637.
- [28] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87-91.
- [29] KAJAK Z, PYBAK J I, SPODNIIEWSKA I, et al. Influence of the planktonivorous fish *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) on the plankton and benthos of the eutrophic lake[J]. Pol Arch Hydrobiol, 1975, 22(2): 301-310.
- [30] 陈来生, 洪海平, 洪荣华, 等. 千岛湖网围放养鲢鳙鱼的水体净化功能和渔业合理经营的探讨[J]. 水产科技情报, 2005, 32(6): 259-261.
- [31] 孙金辉. 鲢、鳙对云龙湖水库水质影响的原位围隔试验及合理放养探讨[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [32] 王丽卿, 许莉, 陈庆江, 等. 鲢鳙放养水平对淀山湖浮游植物群落影响的围隔实验[J]. 环境工程学报, 2011, 5(8): 1790-1794.
- [33] 张宁, 季高华, 王丽卿. 滤食性鱼类放养量对淀山湖水质影响的围隔试验[J]. 淡水渔业, 2012, 42(5): 83-88.
- [34] 李源, 何连生, 成杰民. 白洋淀浮游植物调查及水质评价[J]. 山东师范大学学报: 自然科学版, 2010(1): 102-105.
- [35] 龙胜兴, 陈椽, 郭云, 等. 红枫湖水体富营养化及浮游植物群落结构特征[J]. 中国环境监测, 2013(1): 23-29.
- [36] 王亚尼, 周序协, 张桂蓉, 等. 大茶湖浮游藻类调查与水质初步评价[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(3): 118-123.
- [37] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
- [38] 孙军, 刘东艳, 白洁, 等. 2001年冬季渤海的浮游植物群落结构特征[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(3): 403-422.
- [39] 胡开明, 逢勇, 谢飞, 等. 直湖港, 武进港关闸对太湖竺山湖水环境影响[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 923-929.

(上接第 106 页)

表 1 不同药剂防治水稻穗颈瘟的效果

处理	平均病指	平均防效/%
27% 三环·己唑醇 SC 1 166 ml/hm ²	8.04	78.03 aA
30% 噁菌酯 SC 667 ml/hm ²	13.08	67.49 bB
6% 春雷霉素 WP 750 g/hm ²	17.39	63.12 bcBC
2% 春雷霉素 WP 2 250 g/hm ²	19.03	60.87 cC
75% 三环唑 WP 400 g/hm ²	7.66	74.34 aA
30% 己唑醇 SC 250 ml/hm ²	28.66	44.25 dD
75% 呋菌·戊唑醇 WDG 225 g/hm ²	18.19	64.58 bcBC
清水对照	51.37	

注: 同列数据后不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01、0.05 水平差异显著。

2.2 药剂对水稻生长的安全性 药后不定期进行田间观察, 各处理区与对照区水稻生长基本一致, 未发现对水稻植株生长结实有不良影响, 也未发现对其他非靶标生物有明显影响。

3 结论与讨论

试验测定了 7 种杀菌剂对水稻穗颈瘟的防治效果, 结果表明, 在水稻破口初期施药 1 次, 27% 三环·己唑醇 SC 1 166 ml/hm² 处理和 75% 三环唑 WP 400 g/hm² 处理对穗颈瘟的

防治效果最好, 分别为 78.03% 和 74.34%, 30% 噁菌酯 SC、6% 春雷霉素 WP、2% 春雷霉素 WP、30% 己唑醇 WP、75% 呋菌·戊唑醇 WDG 在试验条件下防效一般, 在大发生年份及易感病水稻品种上不宜单独使用。

该试验田稻瘟病大发生程度, 27% 三环·己唑醇 SC 和 75% 三环唑 WP 仍然取得理想的防治效果, 说明该 2 种药剂可以作为防治水稻穗颈瘟的主体药种推广应用。从延缓抗药性发生和具有治疗作用的角度看, 建议在生产中推广应用 27% 三环·己唑醇 SC, 或应用三环唑与其他防治稻瘟病药剂混配使用与交替使用, 27% 三环·己唑醇 SC 防治穗颈瘟的使用剂量应达到 1 166 ml/hm², 在稻瘟病大发生的年份及易感病品种上需要在齐穗期再防治 1 次。

参考文献

- [1] 陈利锋, 徐敬友. 农业植物病理学(南方本)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 314-3173.
- [2] 唐正合. 防治水稻稻瘟病的新型复配剂研制与使用技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [3] 蔡智华, 郭正元. 三唑类杀菌剂的研究进展[J]. 农化新世纪, 2006(3): 17-18.
- [4] 杨荣明, 周明国, 叶钟音. 三环唑防治稻瘟病的作用机制[J]. 南京农业大学学报, 1998, 21(2): 34-37.
- [5] 沈瑛, 梁天赐, 朱培良, 等. 稻瘟病菌对三环唑的抗药性研究[J]. 农药, 1995, 34(2): 9-11.