

2008 年太湖梅梁湾浮游植物群落周年变化^{*}

孟顺龙, 陈家长^{**}, 胡庚东, 瞿建宏, 吴伟, 范立民, 马晓燕

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 内陆渔业生态环境和资源重点开放实验室, 农业部长江下游渔业生态环境监测中心, 无锡 214081)

摘要: 2008 年对太湖梅梁湾浮游植物群落的生态学特征进行了调查。结果表明: 梅梁湾共检出浮游植物 6 门 35 种, 其中绿藻门 (Chlorophyta) 种数最多, 共 20 种, 占浮游植物总种数的 57.1%; 其次是硅藻门 (Bacillariophyta), 共 7 种, 占浮游植物总种数的 20.0%。浮游植物的数量和生物量分别在 $298.2 \times 10^4 - 368006.8 \times 10^4$ cells/L 和 0.298 – 184.202 mg/L 之间; 浮游植物数量以夏季 (6 月 5 日) 最高, 春季 (3 月 20 日) 最低。浮游植物相似性指数变化在 0.11 – 1.00 之间; 其中 1 月 8 日 – 4 月 3 日的相似性指数高, 在 0.54 – 1.00 之间, 均在中度相似以上; 其他时间下的相似性指数低, 变化在 0.11 – 0.50 之间, 为极不相似或轻度相似。浮游植物多样性和均匀度分别在 0.01 – 2.29 和 0.003 – 0.72 之间, 其中 1 月 8 日 – 4 月 3 日的多样性和均匀度较好, 其他时间下的多样性和均匀度较差, 表明 1 月 8 日 – 4 月 3 日梅梁湾浮游植物分布比较均匀, 群落结构复杂, 而 4 月 23 日 – 12 月 9 日浮游植物分布不均匀, 群落结构简单。

关键词: 浮游植物; 群落; 生态学特征; 太湖; 梅梁湾

Annual dynamics of phytoplankton community in Meiliang Bay, Lake Taihu, 2008

MENG Shunlong, CHEN Jiazhang, HU Gengdong, QU Jianhong, WU Wei, FAN Limin & MA Xiaoyan
(Key Open Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Fishery Eco-Environment Monitoring Center of Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuxi 214081, P.R. China)

Abstract: The eco-characteristics of phytoplankton community was investigated in Meiliang Bay, Lake Taihu in 2008. The results showed that 6 classes including 35 species have been founded in Meiliang Bay. Among them, Chlorophyta, 20 species, predominated in species, accounting for 57.1% of the total phytoplankton species, Bacillariophyta, 7 species, is taken in the second place, accounting for 20.0% of the total phytoplankton species. The abundance and biomass of phytoplankton in Meiliang Bay in 2008 ranged from 298.2×10^4 to 368006.8×10^4 cells/L and 0.298 to 184.202 mg/L, respectively. The maximum and minimum abundance of phytoplankton were found in the summer (on June 5th) and in the spring (on March 20th), respectively. Chlorophyta abundance predominated between January 8th and April 3rd, and Cyanophyta abundance predominated between April 23rd and December 9th. The similarity indexes of phytoplankton changed from 0.11 to 1.00, and the similarity indexes were high during January 8th and April 3rd, changing from 0.54 to 1.00, and the similarity indexes were low during April 23rd and December 9th, changing from 0.11 to 0.50. The biodiversity indexes and uniformity indexes ranged from 0.01 to 2.29 and 0.003 to 0.72, respectively. The biodiversity indexes and uniformity indexes were good between January 8th and April 3rd, but were poor between April 23rd and December 9th. The phytoplankton distribution was uniformly and the community structures were in a complex and integrate state between January 8th and April 3rd, but the phytoplankton distribution was uneven and the community structures were simple during April 23rd and December 9th in the Meiliang Bay.

Keywords: Phytoplankton; community; eco-characteristics; Lake Taihu; Meiliang Bay

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2009JBFB10)、农业部渔业种质资源保护项目(6115048)和无锡市发改委项目(2115019)联合资助。2009-06-02 收稿; 2009-09-27 收修改稿。孟顺龙,男,1982 年生,硕士,实习研究员;E-mail:mengsl@ffrc.cn.

** 通讯作者;E-mail: chenjz@ffrc.cn.

浮游植物是水生态系统中生物资源的基础,同时也是整个水生态系统中物质循环和能量流动的基础。作为初级生产者,浮游植物的群落结构直接影响着水生态系统的结构和功能。浮游植物对水体营养状态的变化能迅速做出响应^[1],其群落结构的时空变化特征与环境因子关系密切,生态系统中环境因子的改变直接影响着浮游植物的群落结构^[2-4]。由于浮游植物的群落结构与其生活水域的水质状况密切相关,在不同营养状态的水体中,分布着不同群落结构的浮游植物,因此,浮游植物群落结构特征一定程度地反映了水体的生态环境状况^[5]。为此,利用浮游植物来评价和监测水质的研究也逐步开展^[6-13]。

梅梁湾位于太湖北部,地处无锡市郊,东北与五里湖相连,西隔马山与竺山湖相邻,南为太湖湖体,面积132km²,平均水深2.0m,是无锡市的主要水源地^[14],主要功能为供水、风景旅游、蓄洪、灌溉和水产养殖等^[15]。由于受周边入湖河道工业污水排放的影响,加上该湖区与大太湖水体交换滞后,使得梅梁湾水体严重富营养化,蓝藻水华连年暴发,特别是夏、秋季节湾内滋生大量蓝藻水华^[14],严重影响了梅梁湾的水源地功能。

近年来,有关梅梁湾水质理化指标的研究比较多,但有关浮游植物群落周年变化特征的研究较少^[16-17]。为此,本文在2008年19次调查数据的基础上探讨了太湖梅梁湾浮游植物的群落结构特征及其生态意义,以期为梅梁湾的生态环境评价和综合整治提供基础性资料,同时也为研究梅梁湾富营养化发展变化原因和趋势提供一些参考。



图1 太湖梅梁湾浮游植物采样站位

Fig. 1 Sampling stations in Meiliang Bay of Lake Taihu

1.2 浮游植物采集、计数方法

用1000ml有机玻璃采水器在水深0.5m处采集水样1000ml,现场加入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。浮游植物的计数用0.1ml浮游植物计数框在10×40倍光学显微镜下进行。计数时充分摇匀浓缩液,然后立即取0.1ml样品放入计数框中,观察100个视野(对量小而个体大的种类在10×10倍下全片计数)。每个样品计数两片,取其平均值作为最终结果(若两片计数结果相差15%以上,则进行第三片计数,取其中个数相近的两片的平均值)。最后换算成每升水样中藻类的细胞数,即为细胞数量(cells/L)。浮游植物分类参照文献[18]。由于浮游植物的比重接近1,故可以直接由浮游植物的体积换算为生物量(湿重),即生物量为浮游植物的数量乘以各自的平均体积^[17],单位为mg/L。单细胞藻类的生物量主要根据浮游植物个体形状测量分析。

1.3 数据分析

根据浮游植物的Jaccard种类相似性指数(X)、Shannon-Wiener多样性指数(D)、Pielou均匀度指数(J)对太湖梅梁湾浮游植物的生态学特征进行分析评价。上述各项指数的计算公式如下:

$$X = c/(a + b - c); D = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i; P_i = n_i/N; J = D/\log_2 S$$

式中, X 为相似性指数; D 为多样性指数; J 为均匀度指数; n_i 为站位中*i*种的个数; N 为站位中浮游植物总个数; S 为站位中浮游植物总种数; a 为站位A中出现的浮游植物种类数; b 为站位B中出现的浮游植物种类

1 材料与方法

1.1 采样点站位和采样频率

按照湖泊调查规范,在太湖梅梁湾布设了5个采样站位(图1)。2008年共对太湖梅梁湾进行了19次采样;其中1月、2月、10月、11月、12月每月采样一次,3~9月每月采样两次;19次采样时间依次分别为2008年1月8日、2月20日、3月5日、3月20日、4月3日、4月23日、5月13日、5月25日、6月5日、6月22日、7月9日、7月26日、8月12日、8月28日、9月10日、9月24日、10月15日、11月10日、12月9日。

数; c 为站位 A 和站位 B 中共同出现的浮游植物种类数。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成、数量及生物量

2.1.1 浮游植物种类组成 2008 年 1—12 月,通过对太湖梅梁湾进行 19 次调查采样,共检出绿藻 (Chlorophyta)、硅藻 (Bacillariophyta)、蓝藻 (Cyanophyta)、裸藻 (Euglenophyta)、隐藻 (Cryptophyta)、黄藻 (Xanthophyta)6 门 35 种(包括变种和变型)。其中绿藻门种类最多,共 20 种,占浮游植物总种类数的 57.1%;其次是硅藻门,为 7 种,占浮游植物总种类数的 20.0%;之后分别是蓝藻门、隐藻门、裸藻门和黄藻门,为 3、2、2、1 种,占浮游植物总种类数的 8.6%、5.7%、5.7%、2.9%。2008 年梅梁湾浮游植物种类组成及其种类组成的周年变化情况分别见表 1 和图 2a。

表 1 2008 年梅梁湾浮游植物种类组成

Tab. 1 Species composition of phytoplankton in Meiliang Bay in 2008

小形平藻 (<i>Pedinomonas minor</i>)	湖生卵囊藻 (<i>Oocystis lacustris</i>)	放射针杆藻变种
小球衣藻 (<i>Chlamydomonas microsphaera</i>)	弓形藻 (<i>Schroederia setigera</i>)	(<i>Synedra actinastroides</i> var.)
斯诺衣藻 (<i>Chlamydomonas snowiae</i>)	硬弓形藻 (<i>Schroederia robusta</i> Korsch)	短小舟形藻 (<i>Navicula exigua</i>)
卵形衣藻 (<i>Chlamydomonas ovalis</i>)	拟菱形弓形藻 (<i>Schroederia nitzschioidea</i>)	颗粒直链藻最窄变种
小球藻 (<i>Chlorella vulgaris</i>)	长绿梭藻 (<i>Chlorogonium elongatum</i>)	(<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>)
针形纤维藻 (<i>Ankistrodesmus acicularis</i>)	小新月藻 (<i>Closterium venus</i>)	湖沼圆筛藻 (<i>Coscinodiscus lacustris</i>)
镰形纤维藻奇异变种 (<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>)	十字藻 (<i>Crucigenia apiculata</i>)	尖针杆藻 (<i>Synedra acus</i>)
四尾栅藻 (<i>Scenedesmus quadricauda</i>)	细丝藻 (<i>Ulothrix tenerima</i>)	小环藻 (<i>Cyclotella</i> sp.)
二形栅藻 (<i>Scenedesmus dimorphus</i>)	卷曲鱼腥藻 (<i>Anabaena circinalis</i>)	尖尾蓝隐藻 (<i>Chroomonas acuta</i>)
双对栅藻 (<i>Scenedesmus bijugatus</i>)	铜绿微囊藻 (<i>Microcystis aeruginosa</i>)	卵形隐藻 (<i>Cryptomonas ovata</i>)
单角盘星藻具孔变种 (<i>P. duplex</i> var. <i>gracillimum</i>)	小席藻 (<i>Phormidium tenue</i>)	纺锤鳞孔藻 (<i>Lepocinclis fusiformis</i>)
	洛伦菱形藻 (<i>Nitzschia lorenziana</i>)	尾裸藻 (<i>Euglena caudata</i>)
		钝角绿藻 (<i>Goniochloris mutica</i>)

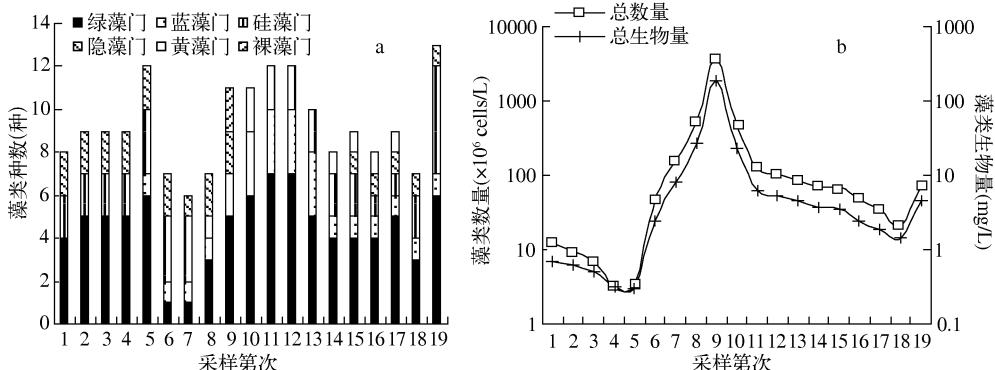


图 2 2008 年梅梁湾浮游植物种类组成(a)和数量、生物量(b)的周年变化

Fig. 2 Changes of phytoplankton species(a), abundance and biomass (b) in Meiliang Bay in 2008

2008 年 1—12 月,太湖梅梁湾浮游植物种类数在 6—13 种之间;其中 5 月 13 日的浮游植物种类数最少,为 6 种;12 月 9 日的浮游植物种类数最多,为 13 种(图 2a)。浮游植物种类数的周年变化中出现了 3 个比较明显的极值,分别是春季的 4 月 3 日、夏季的 7 月 9 日和冬季的 12 月 9 日。同时,从种类组成上看,2008 年的 19 次调查中,除春季的 4 月 23 日、5 月 13 日两次调查的浮游植物种类组成以硅藻种类数最多外,其余各次调查下的浮游植物种类组成均以绿藻种类数最多,各次的绿藻种类数占浮游植物总种类数的百分比变化在 14.3%—58.3% 之间。

2.1.2 浮游植物数量及生物量 2008年太湖梅梁湾浮游植物数量变化在 $298.2 \times 10^4 - 368006.8 \times 10^4$ cells/L之间;最小值和最大值分别出现在春季的3月20日和夏季的6月5日,最大值为最小值的1234.1倍,两者差别大,说明2008年梅梁湾浮游植物数量周年变化大。2008年梅梁湾浮游植物数量的季节性变化规律表现为:从冬初的12月9日至春初的3月20日,浮游植物数量逐渐降低,并达到全年的最小值;从3月20日至6月5日,浮游植物数量逐渐增加,并达到全年的最大值;从6月5日至11月10日,浮游植物数量逐渐降低;从11月10日至12月9日,浮游植物数量又逐渐升高(表2)。

同时2008年梅梁湾浮游植物生物量变化在0.298–184.202 mg/L之间(图2b、表2)。全年浮游植物生物量的最大值出现在夏季(6月5日),最小值出现在春季(4月3日)。生物量和数量的最大值出现时间相同,但生物量和数量的最小值出现时间有所差异。这种差异可能主要是由浮游植物数量和生物量中占主导地位的种类存在差异造成的。因为生物量的高低除与浮游植物细胞数量有关外,还与细胞个体大小密切相关,相对于4月3日而言,3月20日的监测中出现的大型种类比较多,如卵形隐藻等。

表2 梅梁湾浮游植物数量和生物量(湿重)组成
Tab. 2 Abundance and biomass (wet weight) of phytoplankton in Meiliang Bay

时间	数量($\times 10^4$ cells/L)						生物量(mg/L)							
	绿藻	蓝藻	硅藻	隐藻	黄藻	裸藻	总量	绿藻	蓝藻	硅藻	隐藻	黄藻	裸藻	
1月8日	703.9	0	5.6	544.5	0	0	1253.9	0.352	0	0.014	0.325	0	0	0.691
2月20日	536.9	0	5.6	401.1	0	0	943.6	0.330	0	0.028	0.254	0	0	0.611
3月5日	411.6	0	5.6	259.0	0	0	676.2	0.254	0	0.028	0.223	0	0	0.505
3月20日	166.6	0	5.6	126.0	0	0	298.2	0.134	0	0.028	0.156	0	0	0.318
4月3日	140.7	131.6	6.3	35.0	0	0	313.6	0.096	0.066	0.039	0.097	0	0	0.298
4月23日	16.8	4577.3	29.4	23.8	0	0	4647.3	0.008	2.289	0.119	0.032	0	0	2.448
5月13日	23.8	15633.1	18.2	18.9	0.7	0	15694.7	0.012	7.817	0.077	0.009	0.007	0	7.922
5月25日	23.8	53018.0	16.1	61.6	0	0	53119.5	0.013	26.509	0.048	0.151	0	0	26.721
6月5日	25.9	367889.9	0	88.9	0	2.1	368006.8	0.015	183.952	0	0.158	0	0.077	184.202
6月22日	109.9	44983.4	16.1	0	0	0	45109.4	0.063	22.485	0.057	0	0	0	22.604
7月9日	192.5	11862.2	25.2	0	0	0	12079.9	0.095	5.912	0.085	0	0	0	6.093
7月26日	153.3	10314.5	31.5	0	0	0	10499.3	0.076	5.136	0.116	0	0	0	5.328
8月12日	103.6	8282.4	67.2	0	0	0	8453.2	0.055	4.137	0.323	0	0	0	4.515
8月28日	57.4	6977.6	39.9	0	5.6	0	7080.5	0.028	3.489	0.186	0	0.003	0	3.705
9月10日	62.3	6744.5	9.1	6.3	3.5	0	6825.7	0.030	3.372	0.043	0.003	0.002	0	3.450
9月24日	63.7	4741.8	11.9	7.0	7.0	0	4831.4	0.031	2.371	0.060	0.004	0.007	0	2.472
10月15日	33.6	3469.9	26.6	50.4	2.8	0	3583.3	0.019	1.735	0.133	0.025	0.003	0	1.915
11月10日	49.7	1906.8	79.8	72.1	0	0	2108.4	0.023	0.953	0.399	0.036	0	0	1.412
12月9日	450.1	6722.1	241.5	16.8	0	0	7430.5	0.438	3.361	0.636	0.008	0	0	4.444

同时,从浮游植物生物量和数量的变化趋势看(图2b),2008年梅梁湾浮游植物生物量和数量的全年变化趋势相同。1月8日至4月3日,以绿藻门数量和生物量最大,绿藻门数量占浮游植物总数量的百分比在44.87%–60.87%之间;4月23日至12月9日,以蓝藻门数量和生物量最大,蓝藻门数量占浮游植物总数量的百分比在90.44%–99.97%之间,而其中铜绿微囊藻数量占浮游植物总数量的百分比也在90.44%–99.97%之间,即这一阶段的蓝藻基本上是铜绿微囊藻。

2.2 多样性和均匀度

浮游植物多样性分析结果表明,2008年梅梁湾浮游植物多样性指数在0.01–2.29之间,平均为0.70;其中6月5日的多样性指数最小,3月20日的多样性指数最大(表3)。从季节变化上看,冬季的1月8日至春季的4月3日,浮游植物多样性指数较好,其他月份的多样性指数较差。

同时浮游植物均匀度分析结果来看,2008年梅梁湾浮游植物均匀度指数变化在0.003–0.72之间,平

均为 0.22; 其中 6 月 5 日的均匀度指数最小, 3 月 20 日的均匀度指数最大(表 3). 梅梁湾浮游植物均匀度指数的最大值和最小值出现时间与多样性指数的最大值和最小值出现时间相同. 而且, 除 1 月 8 日-4 月 3 日的浮游植物均匀度指数大于 0.3 外, 其他时间的浮游植物均匀度指数均小于 0.3.

表 3 梅梁湾浮游植物多样性指数和均匀度指数

Tab. 3 Diversity index and uniformity index of phytoplankton in Meiliang Bay

时间	多样性	均匀度	时间	多样性	均匀度	时间	多样性	均匀度
1 月 8 日	1.84	0.61	5 月 25 日	0.02	0.01	9 月 10 日	0.12	0.04
2 月 20 日	1.92	0.61	6 月 5 日	0.01	0.003	9 月 24 日	0.18	0.06
3 月 5 日	2.05	0.65	6 月 22 日	0.06	0.02	10 月 15 日	0.27	0.09
3 月 20 日	2.29	0.72	7 月 9 日	0.32	0.09	11 月 10 日	0.65	0.23
4 月 3 日	2.08	0.58	7 月 26 日	0.32	0.09	12 月 9 日	0.66	0.18
4 月 23 日	0.15	0.05	8 月 12 日	0.23	0.07	平均	0.70	0.22
5 月 13 日	0.05	0.02	8 月 28 日	0.14	0.05			

2.3 相似性

2008 年 19 次采样的梅梁湾浮游植物相似性指数变化在 0.11-1.00 之间. 其中 1 月 8 日-4 月 3 日的浮游植物相似性指数在 0.54-1.00 之间, 1 月 8 日-4 月 3 日与其他采样时间下的相似性指数在 0.11-0.50 之间; 反映出梅梁湾在 1 月 8 日-4 月 3 日间的生境变化小, 而 4 月 3 日之后的梅梁湾生境发生了较大变化(表 4). 从 4 月 23 日开始, 除相邻 2 次或 3 次采样时间下的浮游植物相似性指数在 0.50 以上外, 其他均在 0.50 以下; 这种现象说明, 4 月 23 日至 12 月 9 日之间, 梅梁湾生境在逐渐发生变化, 且时间差距越大生境差异越大.

3 讨论

3.1 浮游植物种类组成、数量及生物量

在浮游植物群落的季节演替方面, Sommer 等^[19]通过对大量温带中营养性湖泊的浮游生物和水质理化因子的分析, 提出了著名的 PEG(Plankton Ecology Group) 模式. PEG 模型中浮游植物群落的季节演替大概过程是从冬春季的隐藻和硅藻转变为夏季的绿藻, 到夏末秋初则是蓝藻占优势; 随着秋季的到来, 硅藻的重要性再次上升. 从本研究结果来看, 太湖梅梁湾浮游植物的演替规律与 PEG 模型相差很大, 从而表明在浮游植物种类的季节演替方面, PEG 模式并不适合于梅梁湾等严重富营养性湖泊.

浮游动物摄食是影响浮游植物群落演替的重要因素, PEG 模型认为春季枝角类大型种类对浮游植物的摄食而导致浮游植物数量和生物量减少, 是导致“清水期”(Clear water phase) 现象出现的重要原因. 而且, 一般认为“清水期”现象在深水湖泊较为明显. 从本研究结果看, 在春季的 3 月 20 日和 4 月 3 日, 梅梁湾浮游植物数量和生物量都很低(表 2), 而且, 枝角类(主要是长额菱鼻溞(*Bosmina longirostris*) 和方形网纹溞(*Ceriodaphnia quadrangula*)) 数量大幅度增加(另文发表); 说明在太湖梅梁湾这样的浅水湖泊可能也存在由于枝角类摄食浮游植物而形成的春季“清水期”现象. 同时, 从 4 月 23 日开始, 当浮游植物群落优势种组成中难被摄食的铜绿微囊藻胶状群体占绝对优势后, 浮游植物数量和生物量骤然增加. 这也进一步说明在春季 3 月 20 日-4 月 3 日之间的浮游植物骤减可能是由浮游动物摄食造成的.

影响水体浮游植物生长的环境因子很多, 主要有营养盐、温度和光照^[20]; 此外, 湖泊结构^[21]和水文情势^[22]对浮游植物群落结构也有一定的影响. 在营养水平较高的水体中($TN > 0.2 \text{ mg/L}$, $TP > 0.02 \text{ mg/L}$), 营养盐对藻类的限制作用会下降, 其它因素会影响藻类对营养盐的利用^[21, 23-24]. 梅梁湾是重富营养化水体, 氮磷等营养盐已不是藻类生长的限制性因子. 有研究表明, 太湖梅梁湾的浮游植物与水温关系密切^[25], 且室内实验研究发现太湖梅梁湾微囊藻的生长与水温在 $15-35^\circ\text{C}$ 范围内呈线性相关关系^[26]. 本研究显示, 虽然梅梁湾浮游植物生物量有随温度升高而增加的趋势, 但最高生物量出现在 6 月, 而并非水温最高的 7 月, 这与胡志新等^[16]在 2001 年对梅梁湾的研究结果一致. 这是否可以说明在湖泊结构、水文情势以及其他因素的综

表 4 梅梁湾浮游植物相似性指数
Tab. 4 Similarity index of phytoplankton between months in Meiliang Bay

	1月 8日	2月 20日	3月 5日	3月 20日	4月 3日	4月 23日	5月 13日	5月 25日	6月 5日	6月 22日	7月 9日	7月 26日	8月 12日	8月 28日	9月 10日	9月 24日	10月 15日	11月 10日	12月 9日
1月 8 日	1.00	0.70	0.70	0.70	0.54	0.50	0.40	0.36	0.19	0.12	0.11	0.20	0.23	0.31	0.25	0.31	0.25	0.24	
2月 20 日	1.00	1.00	1.00	0.75	0.45	0.36	0.45	0.25	0.25	0.24	0.17	0.27	0.31	0.38	0.31	0.29	0.23	0.23	0.16
3月 5 日	1.00	1.00	0.75	0.45	0.36	0.45	0.25	0.25	0.25	0.24	0.17	0.27	0.31	0.38	0.31	0.29	0.23	0.23	0.16
3月 20 日	1.00	0.75	0.45	0.36	0.45	0.25	0.25	0.25	0.24	0.17	0.27	0.31	0.38	0.31	0.29	0.23	0.23	0.16	
4月 3 日	1.00	0.46	0.38	0.46	0.28	0.28	0.28	0.26	0.26	0.29	0.33	0.40	0.33	0.31	0.27	0.19			
4月 23 日	1.00	0.86	0.56	0.29	0.29	0.27	0.27	0.27	0.31	0.36	0.45	0.36	0.33	0.40	0.25				
5月 13 日		1.00	0.44	0.21	0.31	0.29	0.29	0.33	0.40	0.36	0.40	0.36	0.44	0.44	0.36	0.44	0.44	0.27	
5月 25 日			1.00	0.50	0.29	0.27	0.27	0.21	0.25	0.33	0.25	0.33	0.33	0.27	0.11				
6月 5 日				1.00	0.29	0.28	0.28	0.17	0.17	0.12	0.18	0.19	0.25	0.20	0.09				
6月 22 日					1.00	0.92	0.92	0.75	0.46	0.43	0.36	0.25	0.20	0.14					
7月 9 日						1.00	1.00	0.69	0.43	0.40	0.33	0.24	0.19	0.14					
7月 26 日							1.00	0.69	0.43	0.40	0.33	0.24	0.19	0.14					
8月 12 日								1.00	0.64	0.46	0.38	0.19	0.13	0.15					
8月 28 日									1.00	0.70	0.60	0.31	0.15	0.17					
9月 10 日										1.00	0.89	0.50	0.23	0.22					
9月 24 日											1.00	0.55	0.25	0.17					
10月 15 日												1.00	0.45	0.22					
11月 10 日													1.00	0.33					
12月 9 日														1.00					

合影响下,微囊藻在湖泊中的最适生长温度与室内有所差异? 目前尚待确证。因为,根据生态学基本理论,影响特定湖区内蓝藻生物种群密度大小的参数是生长与死亡、迁入与迁出;而且,野外观测发现,特定湖区内水华蓝藻的增加主要取决于外源微囊藻随着气象与水文条件的变化在水平方向漂移到该湖区的外源漂移迁入,以及该湖区内原位的蓝藻生长速率,两者同时导致该湖区水华蓝藻种群生物量的急剧增加^[27]。风场对藻类在湖泊中的迁移影响很大^[28]。杨清心^[29]认为,在水华发生期,漂浮性藻类的风集作用加剧了太湖西北部的富营养化。太湖夏季盛行偏南风、东南风、偏东风^[29],因此,在风集作用下,太湖北部的梅梁湾在夏季的任何月份都有可能形成蓝藻暴发期。

3.2 多样性和均匀度

物种多样性是衡量一定区域内生物资源丰富程度的一个客观指标,用于评价群落中物种组成的稳定程度及其数量分布的均匀程度和群落的组织结构特征,并常作为描述群落演替方向、速度和稳定程度的指标。根据多样性指数的大小可将其分为 5 级^[30], 阈值 <0.6 为 I 级, 多样性差; 阈值 0.6~1.5 为 II 级, 多样性一般; 阈值 1.6~2.5 为 III 级, 多样性较好; 阈值 2.6~3.5 为 IV 级, 多样性丰富; 阈值 >3.5 为 V 级, 多样性非常丰富。在 2008 年的 19 次调查中, 浮游植物多样性指数属于 III 级的有 5 次, 占总调查次数的 26.3%; 属于 II 级的有 2 次, 占总调查次数的 10.5%; 属于 I 级的有 12 次, 占总调查次数的 63.2%, 说明梅梁湾浮游植物多样性总体较差。而且,从多样性指数的时间变化上看,多样性指数属于 III 级的 5 次调查均在 1 月 8 日~4 月 3 日之间,说明 1 月 8 日~4 月 3 日这段时间的浮游植物多样性较好,而其他时间下的多样性较差。

同时,除多样性指数外,群落的均匀度也是反映群落结构特征的一个重要指标。均匀度是实际多样性指数与理论上最大多样性指数的比值,是一个相对值,数值范围在 0~1 之间,用它来评价浮游植物的多样性更为直观、清晰;能够反映出物种个体数目分配的均匀程度。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^[31]。从本研究的浮游植物均匀度分析结果来看(表 3),除 1 月 8 日~4 月 3 日的浮游植物均匀度指数大于 0.3 外,其他时间下的浮游植物均匀度指数均小于 0.3;说明梅梁湾在 1 月 8 日至 4 月 3 日的浮游植物均匀度较好,而其他月份的浮游植物均匀度较差。一般而言,较为稳定的群落具有较高的多样性和均匀度^[31]。通过对多样性和均匀度的分析可以看出,2008 年 1 月 8 日~4 月 3 日,梅梁湾浮游植物多样性和均匀度较好,而其他时间下的浮游植物多样性和均匀度均较差;说明梅梁湾浮游植物分布不均匀,群落信息含量小,群落结构处于较不稳定的状态。

3.3 相似性

相似性指数反映了生境的相似程度。种群的相似性仅与种群的物种组成相关,与物种多样性大小没有关系。种群相似性指数(χ)变动在 0~1 之间,若相似性指数为 0,表示两种群的种类完全不相同;若为 1,则表示两种群的种类完全相同。相似性等级一般划分为 6 级^[32], 阈值 = 0 为 I 级, 完全不相似; 阈值 = 0.01~0.25 为 II 级, 极不相似; 阈值 = 0.26~0.50 为 III 级, 轻度相似; 阈值 = 0.51~0.75 为 IV 级, 中度相似; 阈值 = 0.76~0.99 为 V 级, 极相似; 阈值 = 1 为 VI 级, 完全相似。无论在相似性等级之间还是在同一相似性等级内,相似性指数越大,则种群就越相似、生境也越接近。由本研究中的相似性分析结果来看(表 4),1 月 8 日~4 月 3 日的浮游植物相似性指数变化在 0.54~1.00 之间,均在中度相似以上;而 1 月 8 日~4 月 3 日与其他采样时间的浮游植物相似性指数变化在 0.11~0.50 之间,为极不相似或轻度相似;反映出梅梁湾在 1 月 8 日~4 月 3 日间的生境变化较小,而 4 月 3 日之后的梅梁湾生境发生了较大变化。同时,4 月 23 日开始,除相邻 2 次或 3 次采样时间下的浮游植物相似性指数在 0.50 以上外,其余均在 0.50 以下;这种现象说明,4 月 23 日至 12 月 9 日期间,梅梁湾生境在逐渐发生变化,且时间差距越大生境差异越大。

4 参考文献

- [1] 韩博平,林旭钿,李铁.广东省大中型水库富营养化现状与防治对策研究.北京:科学出版社,2003.
- [2] Ignateades L, Vassiliou A, Karydis MA. A Comparison of phytoplankton biomass parameters and their interrelation with nutrients in Saronioos Gulf (Greece). *Hydrobiologia*, 1985, **128**(3):201-206.
- [3] Proulx M, Pick F, Mazumder A et al. Experimental evidence for interactive impacts of human activities on lake algal species richness. *Oikos*, 1996, **76**(1):191-195.
- [4] Watson S, McCauley E, Downing J. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different

- nutrient status. *Limnol & Oceanogr*, 1997, **42**:487-495.
- [5] Sanna S, Maria L, Maija H. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, **71**(3-4):580-592.
- [6] 沈韫芬, 章宗涉, 龚循矩等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [7] 卢敬让, 李德尚, 周春生. 山东省大中型水库浮游生物研究Ⅱ. 浮游植物构成及其特点. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 1994, **24**(3):349-356.
- [8] 韩德举, 吴生桂. 陆水水库的浮游生物及营养类型. 湖泊科学, 1996, **8**(4):351-358.
- [9] 邬红娟, 胡兴跃. 黑龙江水库浮游生物及初级生产力. 水利渔业, 1998, **5**:24-25, 40.
- [10] 冯建社. 白洋淀浮游植物与水质评价. 江苏环境科技, 1999, **12**(2):27-29.
- [11] Sidik MJ, Nabi MRU, Hoque MA. Distribution of phytoplankton community in relation to environmental parameters in cage culture area of Sepanggar Bay, Sabah, Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, **80**(2):251-260.
- [12] Gatidou G, Thomaidis NS. Evaluation of single and joint toxic effects of two antifouling biocides, their main metabolites and copper using phytoplankton bioassays. *Aquatic Toxicology*, 2007, **85**(3):184-191.
- [13] Sabater S, Artigas J, Duran C et al. Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton assemblages in a regulated large river (the Ebro River). *Science of the Total Environment*, 2008, **404**(1):196-206.
- [14] 乐成峰, 李云梅, 查勇等. 太湖梅梁湾水体组分吸收特性季节差异分析. 环境科学, 2008, **29**(9):2448-2455.
- [15] 朱喜, 张扬文. 梅梁湖水污染现状及防治对策. 水资源保护, 2002, **4**:28-30.
- [16] 胡志新, 胡维平, 张发兵等. 太湖梅梁湾生态系统健康状况周年变化的评价研究. 生态学杂志, 2005, **24**(7):763-767.
- [17] 宋晓兰, 刘正文, 潘宏凯等. 太湖梅梁湾与五里湖浮游植物群落的比较. 湖泊科学, 2007, **19**(6):643-651.
- [18] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [19] Sommer U, Gliwicz MZ, Lampert W et al. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters. *Archives of Hydrobiology*, 1986, **106**(4):433-471.
- [20] 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. 生态学杂志, 2005, **24**(7):773-779.
- [21] Dokulil MT, Katrin T. Cyanobacterial dominance in lakes: Part I. Cyanoprokaryotes and chlorophytes across lake trophic status. *Hydrobiologia*, 2000, **438**: 1-12.
- [22] Soballe DM, Kimmel BL. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes and impoundments. *Ecology*, 1987, **68**:1943-1954.
- [23] Dos Santos ACA, Calijuri MC. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita Reservoir (Sao Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, 1998, **317**:139-152.
- [24] Yong K, Morse GK, Scrimshaw MD et al. The relation between phosphorus and eutrophication in the Thames catchment UK. *Sci Total Enviro*, 1999, **228**:157-183.
- [25] 刘元波, 高锡云. 太湖北部梅梁湾水域水质聚类分析. 湖泊科学, 1997, **9**(3):255-260.
- [26] 陈宇炜, 高锡云. 西太湖北部微囊藻时空分布及其与光温等环境因子关系的研究. 见: 蔡启铭编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998.
- [27] 孔繁翔, 马荣华, 高俊峰等. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践. 湖泊科学, 2009, **21**(3):314-328.
- [28] 朱永春, 蔡启铭. 凤塘对藻类在太湖中迁移影响的动力学研究. 湖泊科学, 1997, **9**(2):152-158.
- [29] 杨清心. 太湖水华成因及控制途径初探. 湖泊科学, 1996, **8**(1):67-74.
- [30] 陈清潮, 黄良民, 尹建强等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究. 中国科学院南沙综合科学考察队, 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 1994:42-50.
- [31] 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. 中国海洋大学学报, 2004, **34**(3):403-422.
- [32] 卢双珍, 喻庆国, 曹顺伟. 云南糯扎渡自然保护区热带林群落物种多样性相似性研究. 安徽农业科学, 2008, **36**(9):3773-3775.