J. Lake Sci.(湖泊科学), 2007, **19**(6):643 – 651
http://www.jlakes.org.E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2007 by *Journal of Lake Sciences*

太湖梅梁湾与五里湖浮游植物群落的比较*

宋晓兰[1,2],刘正文[1**],潘宏凯[3],杨桂军[1,2],陈宇炜[1]
(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008)
(2:中国科学院研究生院,北京 100049)
(3:上海立信会计学院,上海 201620)

摘　要:富营养化和风浪是影响大型浅水湖泊浮游植物群落的重要因素,本文于2003年10月至2004年9月对太湖梅梁湾和五里湖理化环境因子(水温、透明度值、悬浮质浓度和氮、磷营养盐浓度)和浮游植物群落进行了逐月监测,通过对两个湖区理化因子和浮游植物群落结构在周年内季节变化的比较研究,探讨富营养化程度以及风浪对浮游植物群落结构的影响,结果为:(1)梅梁湾由于受风浪影响悬浮物含量较高,五里湖则富营养化水平更高.(2)周年内五里湖浮游植物平均生物量(6.85 mg/L)高于梅梁湾的平均生物量(4.99 mg/L),两个湖区都呈现夏秋高峰、冬季低谷的变化特征.梅梁湾浮游植物群落季节演替的模式基本为:冬季硅藻(小环藻属 *Cyclotella* spp.)和隐藻(隐藻属 *Cryptomonas* spp.) – 春季绿藻(细丝藻属 *Planctonema* sp.) – 夏季绿藻(绿球藻目 Chlorococcales 种类)和蓝藻(微囊藻属 *Microcystis* spp. 和浮游蓝丝藻属 *Planktothrix* spp.) – 初秋蓝藻(微囊藻属)和硅藻(浮游直链硅藻 *Aulacoseira* spp.) – 秋季隐藻(隐藻属).五里湖的季节演替模式没有梅梁湾明显,全年隐藻(隐藻属)都占优势,在此基础上,秋冬季硅藻(小环藻属和浮游直链硅藻属)占优势,裸藻(裸藻属 *Euglena* spp.)在冬春季占优势,绿藻(绿球藻目种类和团藻目衣藻属 *Chlamydomonas* spp.)在整个春季和初夏的优势地位在夏季被蓝藻(微囊藻属和浮游蓝丝藻属)所取代.群落构成的差异是浮游植物对两个湖区不同风浪条件和富营养化水平的响应结果.(3)通过与PEG(Plankton Ecology Group)模式的比较,梅梁湾和五里湖浮游植物群落的季节演替主要受水温、光照、营养盐(氮、磷)浓度和浮游动物牧食等因子的影响,因此,大型富营养化浅水湖泊浮游植物群落演替规律需要进一步的研究.
关键词:浮游植物;风浪作用;富营养化;梅梁湾;五里湖;太湖

Phytoplankton community structure in Meiliang Bay and Lake Wuli of Lake Taihu

SONG Xiaolan[1,2], LIU Zhengwen[1], PAN Hongkai[3], YANG Guijun[1,2]& CHEN Yuwei[1]
(1:*Nanjing Institute of Geography and Limnology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *P. R. China*)
(2: *Graduate School of CAS*, *Beijing* 100049, *P. R. China*)
(3: *Shanghai Lixin University of Commerce*, *Shanghai* 201600, *P. R. China*)

Abstract: Eutrophication and wave action caused by wind are two important factors determining the phytoplankton structures in large shallow lakes. Based on the investigations from October 2003 to September 2004 in Meiliang Bay and Lake Wuli, situated in the northwest of Lake Taihu, the third large shallow lake in China, the spatial distribution and seasonal variation of environmental variables and phytoplankton community were analyzed to test if trophic level and wave action caused by wind were important for phytoplankton community. The results showed that: (1) Meiliang Bay and Lake Wuli were different in trophic states and wave action caused by wind, the former was more severely affected by wind and the latter was more eutrophic. (2) The annual mean of the total phytoplankton biomass in Lake Wuli (6.85 mg/L) was much higher than that in Meiliang Bay (4.99 mg/L). The monthly mean reached the maximum in summer and autumn while the minimum in winter in both bays. Seasonal variation of domi-

* 中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-SW-12)和国家863计划项目(2002AA60101)联合资助. 2006 – 11 – 03 收稿;2007 – 01 – 26 收修改稿. 宋晓兰,女,1980年生;E-mail:sxl724@126.com.
** 通讯作者; E-mail:zliu@niglas.ac.cn.

nant phytoplankton assemblages and species in Meiliang Bay was as follows: Bacillariophyta(*Cyclotella* spp.) and Cryptophyta(*Cryptomonas* spp.) in winter, Chlorophyta(*Planctonema* sp.) in spring, Chlorophyta(genera of Chlorococcales order such as *Scenedesmus* spp. and *Pediastrum* spp. *et al.*), Cyanobacterias(*Microcystis* spp. and *Planktothrix* spp./*Oscillatoria* spp.), Bacillariophyta(*Aulacoseira* spp./*Melosira* spp.) in summer, Cryptophyta (*Cryptomonas* spp) in autumn, while the seasonal succession in Lake Wuli was somehow vague. Cryptophyta (*Cryptomonas* spp.) dominated throughout the year. Sub-dominant or co-dominant species are Bacillariophyta(*Aulacoseira granulate* and *Cyclotella* spp.) in winter, Chlorophyta(genera of Chlorococcales order and *Chlamydomonas* spp.) in spring, Cyanobacterias(*Planktothrix* spp. and *Microcystis* spp.) and Euglenophyta (*Euglena* spp.) in summer, Bacillariophyta(*Aulacoseira* spp.) in autumn. The difference of phytoplankton community between two bays was resulted mainly from their eutrophic station and wave action caused by wind. (3) Compared with classical PEG(Plankton Ecology Group) model, the seasonal succession of phytoplankton community in Meiliang Bay and Lake Wuli showed some similar rules and they were mainly affected by water temperature, light, nutrient (nitrogen and phosphorus) and the grazing of zooplankton. However, the succession may fluctuate due to the effect of eutrophication and wave action caused by wind. More studies are needed to understand seasonal succession of phytoplankton community in large eutrophic shallow lakes.

Keywords: Phytoplankton; wind action; eutrophication; Meiliang Bay; Lake Wuli; Lake Taihu

在缺少水生高等植物的浅水湖泊,浮游植物几乎是唯一的初级生产者,其群落结构的时空变化反映了淡水生态系统结构功能的变化. 浮游植物的群落变化受到水体理化环境(太阳辐射、水体温度、无机营养盐等)和生物环境(浮游动物等的牧食)的综合影响[1]. 在大型浅水湖泊中,风浪不仅直接作用于浮游藻类,例如风浪搅动直接影响藻类在水层中的垂直分布[2]和在下风向堆积大量藻类[3];风浪还通过搅动改变水下光照和营养盐浓度间接作用于浮游藻类[4]. 当前我国东部地区浅水湖泊大部分都处在富营养化状态,且其程度还在不断加深,很多城郊湖泊都已经处于超富营养化状态[5]. 虽然富营养化对浮游藻类群落影响的研究较多,而风浪作用对浮游植物的影响却很少有报道.

梅梁湾和五里湖位于太湖的西北部,20 世纪 80 年代末期以来,因周围城镇的工农业废水和生活污水的大量排入,使梅梁湾和五里湖目前成为太湖最严重的富营养化水域之一[6]. 梅梁湾靠近开敞水域,而五里湖实际属于城郊湖泊,湖区相对封闭,因此两个湖区的风浪条件和富营养化程度都不同,本文通过比较梅梁湾和五里湖浮游植物群落时空变化,探讨富营养化程度和风浪对浮游植物群落结构的影响.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况及采样点布设

太湖是中国第三大淡水湖泊,梅梁湾系太湖北部靠近江苏无锡市的一个湖湾,面积约 124 km^2,东北通过节制闸与五里湖相连,西隔马山与竺山湖相邻,南为太湖湖体. 梅梁湾内有梁溪河、直湖港等入湖河道. 五里湖是与梅梁湾相通的太湖湖湾,通过 2000 年以来的退渔还湖等工程,现有面积约 9 km^2. 五里湖 20 世纪 50 年代时湖水清澈见底,水草繁茂,水质为中营养水平为主,50 年代后期以来由于受到围湖造田、渔业养殖、水利工程和城市污水等影响,该湖区现已成为太湖富营养化最严重的水域. 梅梁湾和五里湖是无锡市主要的饮用水源地,兼有农业灌溉、游览、航行、水产养殖及工业用水等多种功能.

自梅梁湾湾口向五里湖方向布设 8 个采样点(图 1),其中 S1-S5 站点位于梅梁湾,S6-S8 站点位于五里湖,自 2003 年 10 月至 2004 年 9 月一周年内,每月中旬采样.

1.2 水样测定

在原位直接测定水温和透明度值(Secchi depth,SD)后,用直径 6 cm、长 2 m 的有机玻璃柱状采水器取约 10 L 混合水样,放入塑料桶内,充分混匀,从中取 1 L 装入避光聚乙烯瓶回实验室立即进行水化分析. 取 50 ml 混合水样装入聚乙烯小瓶内,加入 0.5 ml 鲁哥试剂固定,用于浮游植物分析.

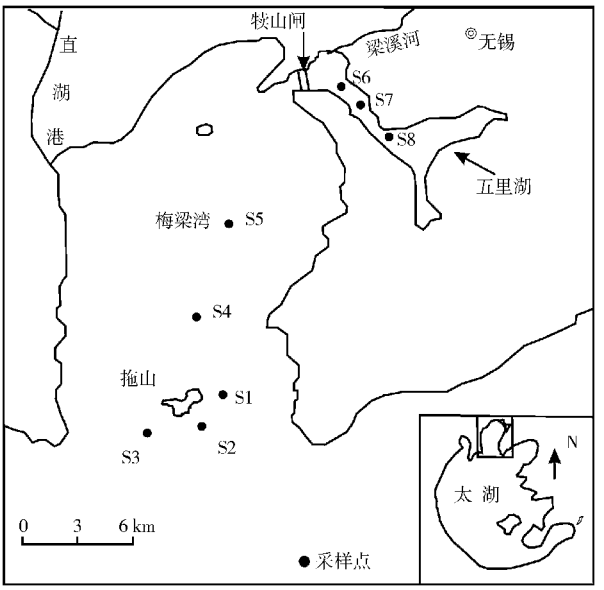


图 1 梅梁湾、五里湖采样点分布

Fig. 1 Location and sampling stations of Meiliang Bay and Lake Wuli

表 1 梅梁湾、五里湖主要理化参数的平均值和范围

Tab. 1 Mean and ranges of some physical-chemical parameters in Meiliang Bay and Lake Wuli

参数	梅梁湾(S1 – S5)		五里湖(S6 – S8)	
	范围	平均	范围	平均
水温 (℃)	7 – 30	18	7 – 30	18
透明度 (cm)	15 – 64	35	27 – 60	47
水深 (cm)	168 – 291	245	210 – 330	281
总磷 (mg/L)	0. 04 – 0. 34	0. 13	0. 07 – 0. 39	0. 15
正磷酸盐磷 (mg/L)	0 – 0. 15	0. 01	0 – 0. 05	0. 02
总氮(mg/L)	2.48 – 13.80	5.11	3.88 – 10. 90	7.20
硝态氮(mg/L)	0. 04 – 3.50	1.33	0. 25 – 2.11	1.00
氨氮(mg/L)	0. 02 – 4.18	1.15	0. 43 – 5.54	3.48
总悬浮质*(mg/L)	16.13 – 161.6	59.33	15.6 – 62.5	30. 68

* 总悬浮质的数据只包括 2004 年 4 月到 9 月.

1.3 水样分析

水样经国产醋酸微孔滤膜(孔径 0.45 μm)过滤后,以纳氏比色法测定氨氮(NH_4^+-N)、紫外分光光度法测定硝态氮(NO_3^--N)、盐酸 α-奈胺比色法测定亚硝酸氮(NO_2^--N)、钼锑抗分光光度法测定正磷酸盐磷(PO_4^{3-}-P);未过滤水样以碱性过硫酸钾测定总氮(TN)和总磷(TP)[7]. 总悬浮质(TSS)、无机悬浮质(ISS)和有机悬浮质(OSS)浓度用灼烧法测定[8].

1.4 浮游植物种类鉴定及计数

从 50 ml 浮游植物样品中取 25 ml 样品放入 25 ml 管状浮游生物沉淀器(Plankton Sediment Cylinders, 奥地利 Uwitec 公司)静置 24h,浓缩体积至 3 ml 于圆形计数框内(Plankton Counting Chambers, 奥地利 Uwitec 公司),用倒置显微镜(Nikon ECLIPSE TS100)在 10 × 40 倍下参照有关文献[9,10]鉴定浮游植物种类和计数,计数方法为目镜视野法,一般计数 50 个视野,使所得细胞数在 300 以上;对量小而个体大的种类在 10 × 10

倍下全片计数. 由于浮游植物的比重接近于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,单位为 mg/L. 单细胞的生物量主要根据浮游植物个体形状测量分析.

2 结果与分析

2.1 理化环境因子

与梅梁湾相比,五里湖除了 NO_3^--N 外,其它营养盐浓度年平均值较高,而 TP 和 PO_4^{3-}-P 浓度差异较小(表1);按照经济合作发展组织 OECD 湖泊营养类型划分标准[11],梅梁湾和五里湖都已经达到富营养状态,五里湖按照 TN 标准已经达到重富营养状态. TP 在两个湖区的夏季和初秋有一段高峰值,其它月份起伏很小,PO_4^{3-}-P 全年几乎都很低,呈无规律性波动;TN 和 NH_4^+-N 的季节变动曲线相似,都是从秋季到早春都处在较高且稳定的水平,4－7 月这段时间则出现两个波峰值,之后迅速下降,整个夏季到初秋的浓度都很低;梅梁湾营养盐浓度的波动程度明显大于五里湖(图2). 此外,五里湖的透明度值周年内基本上都高于梅梁湾,而总悬浮质浓度则相反(图3),且梅梁湾无机悬浮质占总悬浮质的百分比大于有机悬浮须所占比例,基本都在60%以上,说明梅梁湾在风浪影响下底泥发生再悬浮,从而降低了透明度值.

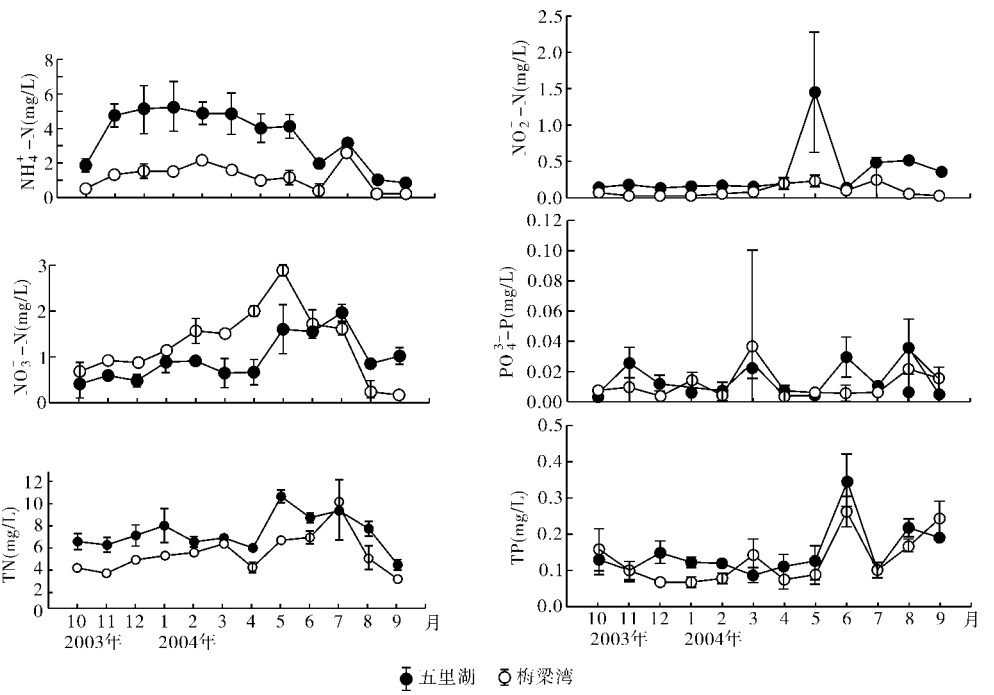


图2 梅梁湾、五里湖营养盐浓度的季节变化(2003 年 10 月－2004 年 9 月)

Fig. 2 Seasonal changes of TN, TP, PO_4^{3-}-P, NH_4^+-N, NO_3^--N and NO_2^--N concentration in Meiliang Bay and Lake Wuli from Oct. 2003 to Sept. 2004

2.2 浮游植物群落周年动态

五里湖周年内浮游植物月平均生物量除了6月和8月外都高于梅梁湾,但是两个湖区都呈现夏秋高峰、冬季低谷周年变化特征. 梅梁湾8月平均值最大为12.95 mg/L,1月最小为1.79 mg/L,年平均值4.99 mg/L;五里湖最大值出现在9月为12.03 mg/L,6月最小为2.75 mg/L,年平均值6.85 mg/L(图4).

梅梁湾和五里湖浮游植物群落种属构成基本相同,周年内共分析鉴定出68种属的浮游植物,其中绿藻门34种属,硅藻门13种属,蓝藻门12种属,隐藻门、甲藻门和裸藻门各为3种属. 梅梁湾绿藻生物量年平

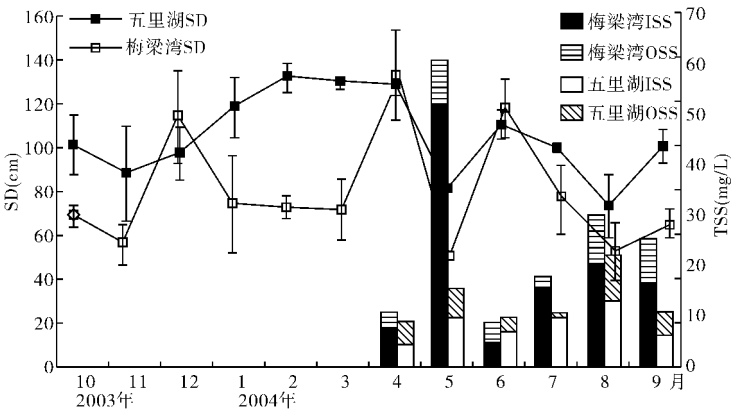


图 3 梅梁湾、五里湖透明度值 SD 和悬浮质浓度 TSS
(TSS = ISS + OSS,ISS 表示无机悬浮质浓度,OSS 表示有机悬浮质浓度)
的季节变化(2003 年 10 月 – 2004 年 9 月);
TSS 的数据只包括 2004 年 4 月到 9 月

Fig. 3 Seasonal changes of Secchi depth (SD) and total suspended substance (TSS, TSS = ISS + OSS, ISS: inorganic suspended substance, OSS = organic suspended substance) in Meiliang Bay and Lake Wuli from Oct. 2003 to Sept. 2004; TSS was calculated for the period from Apr. 2004 to Sept. 2004

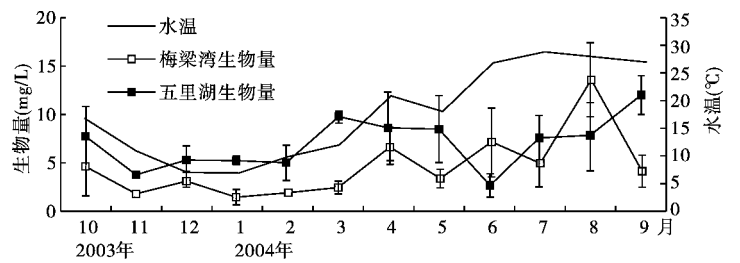


图 4 梅梁湾、五里湖水温和浮游植物总生物量的季节变化(2003 年 10 月 – 2004 年 9 月)

Fig. 4 Seasonal variations of total phytoplankton biomass and water temperature in Meiliang Bay and Lake Wuli from Oct. 2003 to Sept. 2004

均值占藻类生物量的比重为 34.5%,其次是蓝藻 28.08%、硅藻 21.22% 和隐藻 14.87%. 五里湖隐藻年平均值占藻类生物量的比重为 47.37%,其次是硅藻 19.67% 和绿藻 18.32%. 然而梅梁湾的浮游植物年平均总细胞数(4.84×10^7 cells/L)比五里湖的(2.72×10^7 cells/L)几乎高一半,生物量比较结果却相反,主要是由于两个湖区浮游植物细胞数量和生物量中占主导地位的种类组成存在差异,因为生物量的高低除与细胞数量有关外,还与个体细胞大小密切相关. 蓝藻主要是微囊藻属(*Microcystis* spp.)的细胞数在梅梁湾占总细胞数的比例将近 90%,而在五里湖的比例则为 70% 左右;隐藻门、硅藻门和裸藻门等包含个体较大的浮游藻类的细胞数量在五里湖更占优势.

梅梁湾和五里湖浮游植物优势种群的季节演替也不同(图 5、图 6). 梅梁湾秋末至第二年春初的优势种属主要是隐藻门隐藻属(*Cryptomonas* spp.)和硅藻门小环藻属(*Cyclotella* spp.),10 月和 2 月的隐藻属月平均生物量占总生物量的百分比分别达到 45% 和 65%,小环藻属在 12 月则达 42%;绿藻门细丝藻属(*Planctonema* sp.)是春季至初夏的优势种属,其 4、5 月的百分比都在 70% 以上,绿球藻目的一些种类(如卵囊藻属(*Oocystis* spp.)、栅藻属(*Scenedesmus* spp.)、盘星藻属(*Pediastrum* spp.)和空星藻属(*Coelastrum*

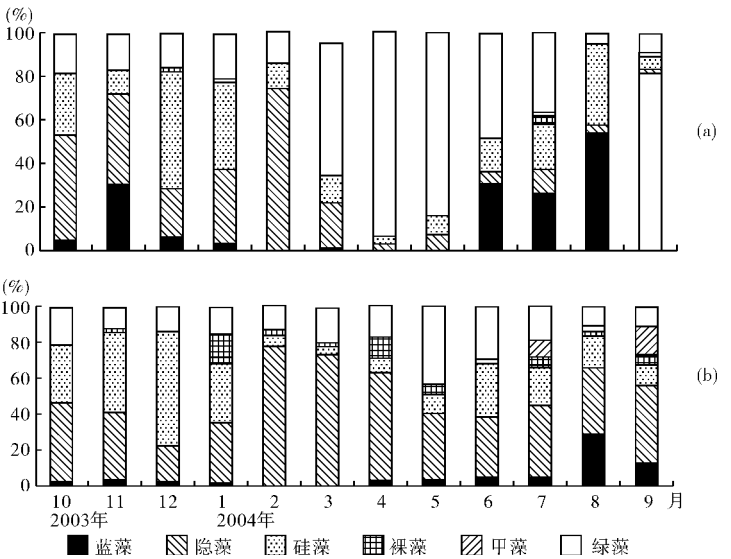


图 5 梅梁湾(a)、五里湖(b)浮游植物群落构成(主要门类生物量占总生物量的百分比)的季节变化(2003 年 10 月 – 2004 年 9 月)

Fig. 5 Seasonal changes in the phytoplankton community composition (percentage of total phytoplankton biomass) in Meiliang Bay (a) and Lake Wuli (b) from Oct. 2003 to Sept. 2004

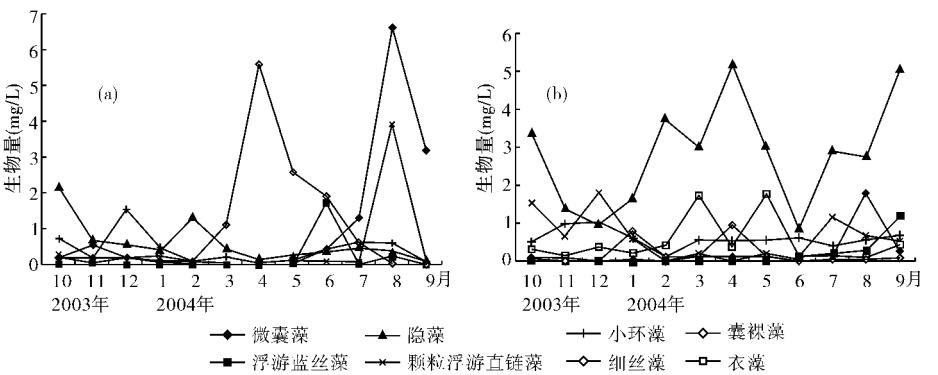


图 6 梅梁湾(a)、五里湖(b)浮游植物优势种类生物量的季节变化(2003 年 10 月 – 2004 年 9 月)

Fig. 6 Seasonal changes of the dominant phytoplankton species biomass in Meiliang Bay (a) and Lake Wuli (b) from Oct. 2003 to Sept. 2004

spp.)等)和团藻目的衣藻属(*Chlamydomonas* spp.)在温暖季节生物量也较高;6 月份蓝藻门浮游蓝丝藻属(*Planktothrix spp.*)①有一个峰值,之后从 7 月至 9 月微囊藻属(铜绿微囊藻 *M. aeruginosa* Kütz、水华微囊藻 *M. flos-aquae* Kirch. 和惠氏微囊藻 *M. wesenbergii* Komarek)几乎完全占据优势,梅梁湾出现蓝藻水华,9 月蓝藻门百分比高达 90%;硅藻门颗粒浮游直链硅藻(*Aulacoseira granulate Simonsen*)①在 8 月份有一个明显的峰值,其月平均生物量可占总生物量的 25%. 五里湖隐藻属全年都占优势,其各月百分比都在 20% 以

① 近年来国际上藻类学名变更后的新学名,浮游蓝丝藻即原来颤藻属(*Oscillatoria* spp.)部分种类,浮游直链硅藻属即原来颗粒直链硅藻属(*Melosira* spp.)部分种类[10].

上,2 月份最高将近 80%;小环藻属在五里湖全年都有分布,为全年亚优势种属,11 月百分比为 26%,冬季优势种属还有颗粒浮游直链硅藻和裸藻门囊裸藻属(*Trachelomonas* spp.),前者在 12 月百分比达 36%,后者在 1 月为 16%;衣藻属和绿球藻目的一些种类在春季为优势种属,绿藻门 5 月份平均生物量占总生物量的 43%;夏秋季的主要优势种属除了隐藻属,还有颗粒浮游直链硅藻、微囊藻属和浮游蓝丝藻属,蓝藻门 8 月百分比为 29%,颗粒浮游直链硅藻 6 月和 10、11 月的百分比都在 15% 以上.

3 讨论

3.1 梅梁湾、五里湖浮游植物群落与理化环境因子的关系

从理化环境条件来看,梅梁湾和五里湖主要存在两点区域差异:首先五里湖位置相对封闭,而梅梁湾靠近敞水区,受到风浪的影响更大,沉积物再悬浮率较高,悬浮质浓度较高,而透明度较低(图 3). 其次五里湖位于市郊,长期接受大量的外源营养盐输入,内源释放潜力大,其营养盐浓度和有机污染程度高于梅梁湾[12].

对于浅水湖泊来说,风浪对浮游植物作用的频度和强度一般都大于深水湖泊,风浪作用下沉积物发生再悬浮,使得水体悬浮质浓度升高,透明度值降低,光衰减较强[13]. 长江中下游浅水湖泊一般营养盐本底值较高,且目前大都处于富营养化状态[14],水体中氮、磷浓度在一年中大部分时间里都已经不再是浮游藻类生长的限制因子,光往往成为限制浮游植物生长最主要的环境因子. 弱光环境使浅水湖泊周年内大部分时间浮游植物生物量较低[15],梅梁湾除了夏季微囊藻"水华"暴发期间,一年中其它时间浮游植物生物量都低于五里湖(图 4a). 浮游蓝丝藻、直链硅藻和细丝藻属等丝状体种类和群体的微囊藻由于个体较大,沉降速率大[13],且对弱光适应性强[16,17],适宜在风浪较大的开敞水域生长,因此在梅梁湾占优势. 隐藻属、小环藻属和绿球藻目的一些种类属于个体较小、沉降速率低、生长速率快的种类,裸藻门、甲藻门的种类和衣藻等带鞭毛种类游泳能力较强[13],这两类更适宜在水面较为平静的五里湖生长. 此外,太湖夏秋的盛行风向是东南风,使得微囊藻大量堆积在位于下风向和迎风岸的梅梁湾,形成"水华"[3].

随着营养盐浓度的升高,蓝藻在很多处于超富营养化状态水体的优势被隐藻、裸藻和绿球藻目的种类所取代[17],陈宇炜[18]研究发现梅梁湾污染较严重的河口区域隐藻比例上升,有取代蓝藻成为优势种群的趋势. 由于个体较小的小环藻、绿球藻目和隐藻种类与蓝藻相比,生长率高,死亡率也高,对营养盐的需求高[1],而裸藻则是有机污染严重水体的指示种[19]. 五里湖 80 年代曾经出现微囊藻水华[6],现在偶尔才会在夏季会出现,浮游藻类的优势种类已经演替为隐藻、裸藻和绿球藻目的一些种类.

3.2 浮游植物群落季节演替与环境因子的关系

Sommer 等[20]通过对大量温带湖泊浮游生物和理化因子数据的分析,提出了著名的 PEG(Plankton Ecology Group)模式,但是这一模式主要反映的是中营养深水湖泊的情况,梅梁湾属于富营养化浅水湖泊,通过与 PEG 模型的比较,探讨富营养化程度和风浪对浮游植物群落季节演替的影响.

PEG 模型中浮游植物群落季节演替大概是从冬春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. 这主要是受水温影响的[21]. 梅梁湾和五里湖浮游植物随着水温的上升,不仅生物量上升,优势种类也由冷水性的隐藻属和小环藻演替为高温下才能大量生长的微囊藻和浮游蓝丝藻.

光照是群落季节演替的影响因子之一. PEG 模型中指出深水湖泊夏末混合层深度增加,水下光照恶化,此时在弱光下竞争力较强的浮游蓝丝藻、直链硅藻和微囊藻等成为优势种. 和深水湖泊相比,浅水湖泊常年不分层,沉积物容易再悬浮,光照条件不稳定[13]. 梅梁湾和五里湖夏季蓝藻的优势不仅是由于其对弱光环境的适应,而且蓝藻本身还进一步加剧了水下光照条件的恶化. 此外,浮游蓝丝藻在夏季水面光照很强的情况下会发生光抑制[22],而微囊藻在强光环境中也能较好地生长[23]. 梅梁湾夏季微囊藻取代浮游蓝丝藻成为优势种,光照条件是重要原因之一.

春夏季连续的营养盐限制导致浮游植物群落演替,PEG 模型中,首先绿藻对 PO_4^{3-}-P 的竞争使得硅藻取代其的优势地位,之后硅藻对硅的消耗又导致蓝藻优势的建立,非固氮蓝藻对氮的利用则有利于固氮蓝藻. 浅水湖泊一般营养负荷高,且在风浪影响下营养盐再循环速率快,在一年中大部分时间并不是浮游植

物生长的限制因子. 富营养化程度更高的五里湖隐藻全年都占优势,浮游植物群落的季节演替规律性较差. 随着夏季浮游植物生物量达到高峰值,浮游植物也会出现营养盐限制[24]. 梅梁湾夏季微囊藻的大量生长使得氮类营养盐浓度陡降,这可能是固氮蓝藻项圈藻属(*Anabaena* spp.)在某些采样点生物量较高的原因之一(其在8月份S5点位生物量达1.37 mg/L),McCarthy也有类似的研究结果[25].

浮游动物摄食是影响浮游植物群落演替的另一个因素,PEG模型认为春季枝角类大型种类对浮游植物的摄食是导致"清水期"(Clear water phase)现象出现的原因,一般认为清水期现象在深水湖泊较为明显. 梅梁湾和五里湖春季4月的透明度值较高(图3),此时浮游动物的优势种类是枝角类透明溞(*Daphnia hyalina*)、蚤状溞(*D. pulex*)和长刺溞(*D. longispina*)等大型种类[26],浮游植物在4、5两个月的生物量呈下降趋势(图4a),群落优势种类由个体较小、易被溞属种类摄食的隐藻、绿球藻目转变为丝状体和群体的、难被摄食的蓝绿藻(图6),可见在太湖这样的浅水湖泊可能也存在由于枝角类摄食浮游植物形成的春季"清水期".

大型浅水湖泊频繁的风浪作用直接或间接地影响了浮游植物的季节演替模式. 微囊藻在梅梁湾从春末到秋季都是优势种,有时11月份都能发生"水华"现象,这显然与太湖夏季的盛行风风向和梅梁湾的湖泊形态有一定关系[3].

4 小结

(1)梅梁湾由于风浪作用,悬浮物含量较高,而五里湖则富营养水平较高.

(2)2003年10月到2004年9月周年内五里湖浮游植物平均生物量高于梅梁湾的,两个湖区都呈现夏秋高峰、冬季低谷周年变化特征. 梅梁湾浮游植物群落季节演替的模式基本为:冬季硅藻(小环藻属)和隐藻(隐藻属)- 春季绿藻(细丝藻属)- 夏季绿藻(绿球藻目种类)和蓝藻(微囊藻属和浮游蓝丝藻属)- 初秋蓝藻(微囊藻属)和硅藻(浮游直链硅藻属)- 秋季隐藻(隐藻属);五里湖的季节演替模式没有梅梁湾明显,全年隐藻(隐藻属)都占优势,在此基础上,秋冬季硅藻(小环藻属和浮游直链硅藻属)占优势,裸藻(囊裸藻属)在冬春季占优势,绿藻(绿球藻目种类和团藻目衣藻属)在整个春夏的优势被之后的蓝藻(微囊藻属和浮游蓝丝藻属)所取代. 两个湖区浮游植物群落构成则是风浪条件和富营养化水平不同的响应结果.

(3)通过与PEG模式的比较,梅梁湾和五里湖浮游植物群落的季节演替主要受水温、光照、营养盐浓度和浮游动物牧食等因子的影响. 大型浅水湖泊浮游植物群落受富营养化和风浪作用的影响,其演替规律需要进一步研究.

5 参考文献

[1] Reynolds C S. The ecology of phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press,1983.

[2] Carrick H J, Aldridge F J, Schelske C L. Wind influences phytoplankton biomass and composition in a shallow, productive lake. *Limnology and Oceanography*, 1993, **38**: 1179 - 1192.

[3] 范成新,陈宇炜, 吴庆龙. 夏季盛行风对太湖北部藻类水华分布的影响. 上海环境科学,1998,**17**(8):4 - 6.

[4] 陈伟民, 陈宇炜, 秦伯强等. 模拟水动力对湖泊生物群落演替的实验. 湖泊科学,2000,**12**(4):346 - 352.

[5] 张运林,秦伯强,黄群芳. 东部平原地区湖泊富营养化的演变及区域分析. 上海环境科学,2002,**12**(9):549 - 553.

[6] 秦伯强等编著. 太湖水环境演化过程与机理. 北京:科学出版社,2004.

[7] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社, 1990.

[8] 《水与废水监测分析方法》编委会编著. 水与废水监测分析方法(第四版). 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[9] 胡鸿钧等编著. 中国淡水藻类. 上海:上海科技出版社,1980.

[10] 陈宇炜,李明富, Dokulil M. 浮游藻类三个常见属(颤藻属、直链硅藻属和针杆藻属)学名变更的解释. 湖泊科学,2003,**15**(1):85 -94.
[11] OECD. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development, 1982: 154.
[12] 范成新,袁静秀, 叶祖德. 太湖水体有机污染与主要环境因子的响应. 海洋与湖沼,1995,**26**(1):13 -20.
[13] Scheffer M. Ecology of shallow lakes. Dordrecht Boston London: Kluwer Academic Publishers, 1998.
[14] 董旭辉,羊向东,王 荣等. 长江中下游地区湖泊硅藻 - 总磷转换函数. 湖泊科学,2006,**18**(1):1 -12.
[15] Nôges T, Nõges P, Laugaste R. Water level as the mediator between climate change and phytoplankton composition in a large shallow temperate lake. *Hydrobiolgoia*, 2003, **506 -509**: 257 -263.
[16] Dokulil M, Teubner K. Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiolgoia*, 2000, **438**: 1 -12.
[17] Jensen J P, Jeppesenk, Olrik P *et al*. Impact of nutrients and physical factors on the shift Cyanobacteria to Chlorophytea in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, **51**: 1692 -1699.
[18] 陈宇炜,高锡云,秦伯强. 西太湖北部夏季藻类种间关系的初步研究. 湖泊科学,1998,**10**(4):35 -40.
[19] 沈蕴芬,章宗涉,龚循矩等编著. 微型生物监测新技术. 北京:科学出版社,1991.
[20] Sommer U, Gliwicz M Z, Lampert W *et al*. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters. *Archives of Hydrobiology*, 1986, **106**: 422 -477.
[21] Tilman D, Kiesling R L. Freshwater algal ecology: taxonomic tradeoffs in the temperature dependence of nutrient competitive abilities. In: Klug M J, Reddy C A ed. Current perspective in microbial ecology. Proceedings of the 3rd International Symposium on Microbial Ecology, 1984.
[22] Vanliere L, Walsby A E. Interaction of cyanobacteria with light. In: Carr N G, Whitton B A ed. The biology of the cyanobacteria. University of California Press Berkeley, 1982.
[23] Zevenboom W, Mur L R. Growth and photosynthetic response of the cyanobacterium *microcystis aeruginosa* in relation to photoperiodicity and irradiance. *Archives of microbiology*, 1984, **139**(2 -3):561 -566.
[24] Reynolds C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia*, 1998, **369/370**: 11 -26.
[25] McCarthy M J, Lavrentyen P J, Yang L Y *et al*. Nitrogen dynamics and microbial food web structure during a summer cyanobacteria bloom in a subtropical, shallow, well-mixed, eutrophic lake (Lake Taihu, China). *Hydrobiolgia*, 2007, **581**: 195 -207.
[26] 杨桂军. 太湖三个湖区浮游动物群落结构周年变化的比较研究[学位论文]. 武汉:华中农业大学,2005.