

武汉东湖浮游植物群落结构的时空变化与环境因子的关系*

唐汇娟¹, 谢平², 刘丽¹, 赵会宏¹, 杨慧荣¹

(1. 华南农业大学动物科学学院, 广东 广州 510642;

2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要: 研究了武汉东湖浮游植物群落结构的时空变化。东湖3个采样点的TN和TP含量存在显著差异。东湖I、II站浮游植物生物量的最高值出现在冬季和春季, III站生物量的最高值则出现在夏季。相对于东湖较高的营养盐含量, 其浮游植物生物量相对较低。这一方面是因为东湖较高密度的滤食性鲢鳙鱼的摄食作用抑制了浮游植物生物量的升高, 另一方面是由于东湖较低的透明度使浮游植物的生长受到光照的限制。由于受到滤食性鱼类摄食、较高的营养水平以及较低的透明度的影响, 东湖的浮游植物主要由隐藻、真蓝裸甲藻、小环藻和直链藻以及小型的绿球藻和蓝藻所组成。

关键词: 浮游植物; 环境因子; 东湖

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-00100-05

作为湖泊生态系统的初级生产者, 浮游植物代表着食物链中非常重要的一个环节。相对于理化条件, 浮游植物能更好地反映水体的营养状态, 而且只有了解浮游植物的动态才能确定调节湖泊浮游植物的重要因子, 为湖泊浮游植物的控制提供依据^[1]。

武汉东湖是中国湖泊中少数积累了长期水生生物资料的湖泊之一, 其中对浮游动物的研究非常详细, 浮游植物的报道相对较少^[2-4]。本研究的主要目的在于: 研究鲢鳙鱼放养的情况下, 东湖浮游植物的种类组成、密度、生物量, 以及其季节演替模式, 根据湖泊浮游植物的组成情况评价湖泊的营养状况, 比较处于不同营养状态的3个湖区浮游植物的差异, 探讨东湖浮游植物与环境因子之间的关系。

1 材料与方法

1.1 水样的采集

武汉东湖(30°133' N, 114°123' E)位于武汉市武昌区, 是高度富营养的浅水湖泊^[3]。本研究共设置3个采样点: I站设在受人为活动影响较大的水果湖湾, II站设在水面开阔的郭

郑湖区中心位置, III站设置在受人为影响较少的汤林湖区。从1999年9月至2001年8月两个周年中, 每月中旬上午在上述3个站进行采样。用采

水器取水水面下0.5 m至离湖底0.5 m的混合水样, 采得的水样两份, 一份作水化学分析用, 另一份1 L加体积分数为1%的鲁哥试液固定, 用作浮游植物的定量分析。采样的同时测定水体温度和用Secchi透明度盘测定水体透明度。

1.2 化学样品和浮游植物的分析

对所采回的水样立即进行处理和分析。总磷的测定采用碱性过硫酸钾消解, 消解产物为正磷酸盐, 用钼兰比色法测定。总氮与总磷同时消解, 消解产物分别为硝态氮和正磷酸盐, 用紫外分光光度计在220 nm下测定^[5]。浮游植物的分析采用常规方法^[6]。

2 结果

2.1 理化状况

武汉东湖水温的年变化在5-30℃, 最低和最高温度分别出现在1-2月份和7-8月份。全年基本没有水温分层现象, 表底层温度最高也相差不到0.5℃。3个采样站的透明度变化基本相似, 冬季的透明度最高, 夏秋季的透明度最低。与I、II站所不同的是, III站的透明度除了在冬季有一个大于1.5 m高峰值外, 在春季还有一个较小的峰值。I站的透明度要显著高于II、III站的透明度(图1)。

表1显示了总氮、总磷年平均值在各站之间的多重比较。总氮和总磷在3个站之间都存在显著性

* 收稿日期: 2007-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771652); 华南农业大学博士启动基金资助项目(4300-K05108)

作者简介: 唐汇娟(1973年生), 女, 博士, 讲师; E-mail: tanghj@scau.edu.cn

差异，这表明 3 个站分别处于不同的营养水平。

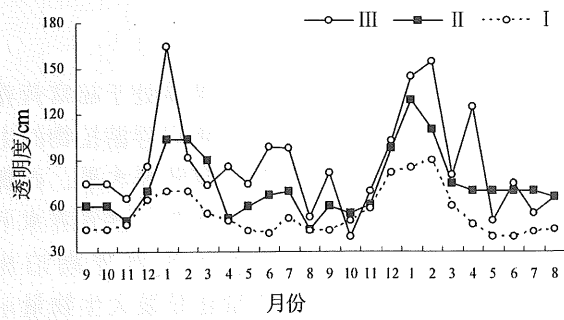


图 1 东湖各站透明度的变化

Fig. 1 Seasonal dynamics Secchi depth

表 1 理化指标在 3 个站之间的多重比较

Tab. 1 Multi-comparisons of the physicochemical indices among the three stations

指标	I 站	II 站	III 站
TN (mg/L)	4.098 (±1.582) a	2.263 (±0.545) b	1.084 (±0.231) c
TP (mg/L)	0.339 (±0.125) a	0.159 (±0.093) b	0.063 (±0.036) c
SD (cm)	55 a	74 b	87 b

注：采用单因素方差分析，采用 LSD 法。数字后字母不相同表示有显著差异，其显著水平 $p < 0.05$ ，括号中的数据为标准差

2.2 浮游植物的种类组成和季节变化

在研究期间 (1999.9 – 2001.8)，从定量标本中共鉴定出 130 个分类单位，分属 8 门 68 属。种类最多的是绿藻门，共 33 属 77 种，占藻类总数的 60%；其次是蓝藻，分属 15 属 22 种，占藻类总数的 17%；硅藻 7 属 14 种，裸藻 4 属 7 种；甲藻 3 属 4 种；隐藻 2 属 3 种，和金藻 2 属 2 种，黄藻门的种类仅见 1 种 (*Ophiocytium capitatum*)。

蓝藻在东湖浮游植物中所占的比重并不高，3 个站中蓝藻年平均生物量分别占浮游植物年平均生物量的 4%，5% 和 30%，蓝藻在夏季 6 – 9 月份达到高峰，而在其它季节其个数和生物量都很低 (图 2)。虽然蓝藻在 3 个站的季节变化相似，其种类组成具有较大差异，在 I 和 II 站蓝藻主要由细胞大小不到 2 μm 的细小平列藻 (*Merismopedia tenuissima*) 和非常纤细的湖泊颤藻 (*Oscillatoria limnetica*，宽 2 μm 左右) 组成。而在 III 站蓝藻不仅生物量相对较高，种类也更为丰富主要由个体相对较大的颤藻 (*O. raciborski* 和 *O. princeps*) 和色球藻 (*Chroococcus limnetica*) 等种类所组成。

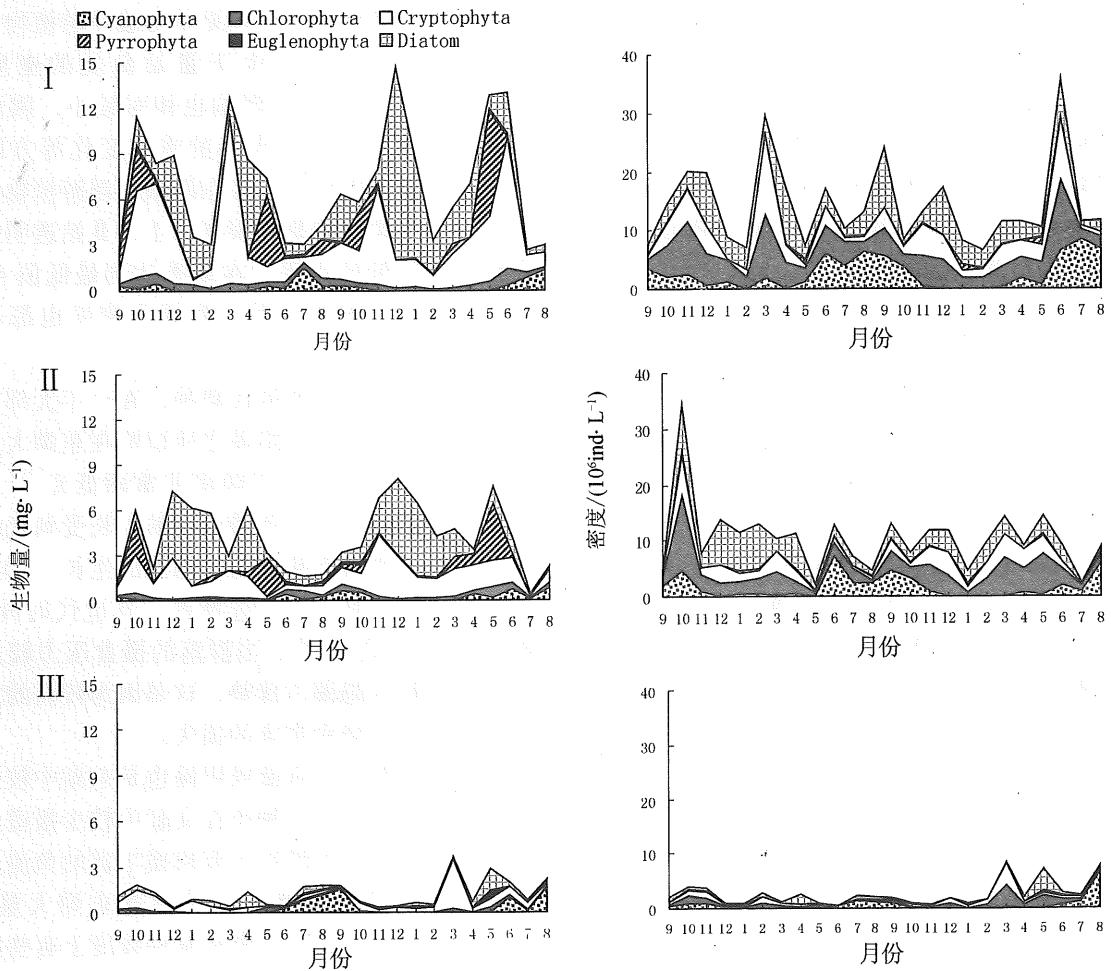


图 2 东湖各站浮游植物生物量和密度的组成与季节变化

Fig. 2 Composition and seasonal dynamics of phytoplankton biomass and density at three stations

就生物量而言,绿藻门的种类在东湖所占的比重并不高。其年平均含量在3个站均不到总生物量的10%。但其种类最为丰富,而且在3个站中,数量都是所有门类中最高的,其年均数量占总数量的30%左右。I、II站其生物量季节变化不大,只是在夏季出现微弱的峰值。III站绿藻的生物量相对变化较大,峰值在春季。除了衣藻属(*Chlamydomonas*)以外,东湖的绿藻大多由绿球藻目的种类组成。这些种类个体大小大多在10 μm 以下,其中出现率较高的种类有小球藻(*Chlorella*)、栅藻(*Scenedesmus*)、十字藻(*Crucigenia*)、卵囊藻(*Oocystis*)、纤维藻(*Ankistrodesmus*)、盘星藻(*Pediastrum*)、小形月牙藻(*Selemastrum minutum*)和胶网藻(*Dictyosphaerium ehrenbergianum*)等。

隐藻门种类虽然很少,却是东湖非常重要的一个类群。占东湖浮游植物生物量的1/3以上,隐藻生物量和密度表现为春秋两个高峰,最低值出现在夏季,主要由啮蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*)和尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)所组成。

甲藻生物量在全年变化很大,在一年的大部分时间里,甲藻的生物量都很低。而在某些月份却可以达到相当高的生物量(5月和10月),其高峰紧随隐藻高峰之后。其中III站的生物量显著低于I、II站。甲藻主要由真蓝裸甲藻(*Gymnodinium eucyaneum*)组成。与生物量相比,甲藻的密度相当低,这是因为甲藻个体比较大。

无论是生物量还是密度硅藻在东湖浮游植物中都占有相当的比重。硅藻的季节变化非常明显,在整个冬春季节都有比较高的生物量和密度,其中III站的生物量比I、II站低得多。硅藻的种类主要由小环藻(*Cyclotella*)和模糊直链藻(*Melosira ambigua*)组成,颗粒直链藻(*M. granulata*)和肘状针杆藻(*Synedra ulna*)也比较丰富。

其它的种类主要包括裸藻和金藻,从全湖来看其个数很少,生物量也基本可以忽略不计。但是在III站,锥囊藻(*Dinobryon cylindricum*)在冬季及春季的生物量较高而成为优势。

3个采样点浮游植物生物量在这两年的均值依次为:7.02、4.21和1.23 mg/L;其密度均值依次为14.29、10.44和 2.61×10^6 ind/L,其生物量和密度在3个采样点均呈显著差异($p < 0.01$)。浮游植物生物量表现出明显的季节变化,I、II站生物量在夏季和温度最冷的1-2月份出现最低值,在春秋生物量最高。III站则是夏季生物量比较高,秋冬季节生物量最低。而浮游植物密度的季节变化

在3个采样点都不明显。

3 讨论

若以总磷的标准,东湖I、II站处于超富营养状态,III站则处于富营养状态。而以浮游植物的生物量为标准^[7-8],I、II站处于富营养水平,而III站则处于中等营养水平。通过与国外一些营养水平相近甚至营养水平稍低的浅水富营养湖泊相比^[1,9-10],无论是年平均生物量还是最大生物量东湖都低得多,这说明相对于东湖较高的营养盐含量而言,目前浮游植物的生物量还处在较低的水平。这可能是因为:①东湖较高密度的滤食性鲢鳙鱼的摄食作用抑制了东湖藻类生物量的升高。虽然一般认为滤食性鱼类能摄食较大的藻类从而促进小型种类的大量繁殖。尽管东湖目前的浮游植物大多都是由一些小型种类所组成,滤食性鱼类对它仍然有相当的摄食^[6]。研究表明,东湖鲢鳙鱼的生长从4月份开始,8月份为高峰期,10月份以后生长速度明显下降,冬季停止生长^[2],这解释了为什么东湖I、II站夏季浮游植物的生物量最低,而不是象其它很多富营养湖泊一样在夏季形成浮游植物生物量的高峰。相对而言,由于III站鱼类的密度小得多^[11],受鱼类摄食的影响也相对较小,因而浮游植物在生物量种类和大小的季节变化等方面与I、II站存在较大差别。②在东湖限制浮游植物生长的另外一个因素可能是光限制。I、II站透明度全年都保持在较低的水平,在夏季达到最低值40~60 cm,而此时浮游植物的生物量和密度也都达到了全年的最低值。

隐藻是东湖主要的优势种,在全年大部分时间都占据一定的优势。隐藻之所以能在东湖大量繁殖可能存在以下原因:①隐藻非常耐低光^[12],东湖较为混浊的情况下,浮游植物的生长受到光的限制有利于对低光具有耐受力的隐藻的生长。②具有较高的繁殖率,属于 r -选择者。其世代时间很短,在0.8~3 d之间^[13],当群落的摄食压力较大时浮游植物往往以隐藻占优势,这是因为较高的繁殖率可以弥补由于摄食带来的损失。

除了隐藻外,真蓝裸甲藻也是东湖中较为重要的鞭毛藻,关于这个种类在文献中较少报道。它主要分布在长江中下游地区有机质丰富的鱼池及小水体^[14],在适宜的温度下,该藻在东湖大量繁殖,形成褐色水华,表明东湖在某种程度上有些接近池塘生态系统。

绿球藻目种类数量的上升是高度富营养湖泊的一个显著特征^[15],其中绿球藻目种类如十字藻、

卵囊藻、栅藻、平裂藻、胶网藻和空心藻均被认为是富营养的种类^[12,16]。Reynolds^[17]指出, 高度富营养的水体是夏季绿球藻高峰的必要条件。绿球藻目的浮游植物在东湖的生物量虽然不高, 但其种类和个数都相当的丰富, 这从生物角度说明东湖处于高度富营养的状态。除此以外, 鲢鳙鱼的放养也有利于小型绿球藻的生长, 众多研究者指出: 当湖泊放养了高密度的食浮游生物鱼类, 浮游植物的群落往往会演变为小型绿球藻目的藻类^[18]。

微小平裂藻 (*Merismopedia tenuissima*) 是东湖夏季最主要的优势种, 在不同营养状态的湖泊中, 微小平裂藻可能存在不同的形态。Hindák^[19]发现在贫营养的 Grans Langs 湖存在的形态为 4~32 个细胞, 而在另一个富营养的湖泊中存在的形态为几百个细胞形成的群体, 在东湖该种的存在形态主要为 64 至几百个细胞形成的群体。

硅藻也是东湖中较为重要的类群。虽然小环藻一般属于贫营养到中营养湖泊中的优势种类^[20], 但在富营养的东湖仍然能形成优势, 这可能是因为小环藻个体较小, 属于 *r*-选择者, 当摄食压力较高时 (主要来自滤食性的鲢鳙鱼) 生长较快, 对营养亲和力较高的种类容易成为优势种。另一个优势种是模糊直链藻, 模糊直链藻在富营养水体也很丰富是富营养环境的指示种^[21]。

参考文献:

- [1] HUSZAR V L M, SILVA L H S, DOMINGOS P, et al. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 59-71.
- [2] 李纯厚, 黄祥飞. 略论武汉东湖枝角类种类演替及其与生态因子的关系 [J]. *水生生物学报*, 1992, 162: 101-112.
LI Chunhou, HUANG Xiangfei. Species succession of cladocera in lake Donghu in relation to various ecological factors [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1992, 162: 101-112.
- [3] LU M, XIE P. Impacts of filter-feeding fishes on the long-term changes of crustacean zooplankton in a eutrophic subtropical Chinese lake [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2001, 6: 219-228.
- [4] XIE P, HUANG X, TAKAMURA N. Changes of Leptodora kindt abundance (1957-1996) in a planktivorous fishes-dominated subtropical Chinese lake (Lake Donghu) [J]. *Archiv für Hydrobiologie*, 2000, 147: 351-372.
- [5] EBINA J, TSUTSUI T, SHIRA I. Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation [J]. *Water Research*, 1983, 17: 1721-1726.
- [6] 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, 25(3): 277-280.
TANG Huijuan, XIE Ping. Enclosure experiment on the effects of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) density on the phytoplankton [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2006, 25(3): 277-280.
- [7] REYNOLDS C S. The Ecology of Freshwater Phytoplankton [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [8] WETZEL R G. Limnology [M]. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Publ, 1983: 754.
- [9] JEPPESEN E, JENSEN J P, SNØDERGAARD M, et al. Trophic dynamics in turbid and clear water lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity [J]. *Hydrobiologia*, 1999, 408/409: 217-231.
- [10] KOMAKOWA K. Fish stock as variable modifying trophic pattern of phytoplankton [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 139-152.
- [11] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学特性研究 [J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 585-590.
TAN Xichang, XIA Liqi, TATSUKAWA Kenichi, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked carps in the lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 585-590.
- [12] WILLEN E. Planktonic green algae in an acidification gradient of nutrient-poor lakes [J]. *Archiv Protistolog*, 1992, 141: 47-64.
- [13] GIROLDI D, VIEIRA A. Assimilation and release of ¹⁴C in a tropical strain of *Cryptomonas obovata* (Cryptophyceae) exposed to several irradiances [J]. *J Plankton Res*, 1999, 21: 1911-1921.
- [14] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [15] REYNOLDS C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 11-26.
- [16] KOMAREK J, FOTT B. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Chlorococcales [M] // HUBER-PESTALOZZI G. Das Phytoplankton des Süßwassers: Systematik und Biologie. Stuttgart: Teil E Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1983: 1044.
- [17] REYNOLDS C S. Phytoplankton periodicity: The interactions of form, function and environmental variability [J]. *Freshwat Biol*, 1984, 14: 111-142.
- [18] JEPPESEN E, SNØDERGAARD M, SORTKJØR O, et al. Interactions between phytoplankton, zooplankton and fish in a shallow, hypertrophic lake: A study of phytoplankton collapses in Lake Sbygard, Denmark [J]. *Hydrobiologia*, 1990, 191: 149-164.
- [19] HINDÁK F. Several interesting planktic cyanophytes

- [J]. *Algological Studies*, 1992, 66: 1-15. 369/370: 27-43.
- [20] DASI M J, MIRACLE M R, CAMACHO A, et al. Summer phytoplankton assemblages across trophic gradients in hard - water reservoirs [J]. *Hydrobiologia*, 1998, [21] TRIFONOVA I S. Oligotrophic - Eutrophic Succession of Phytoplankton [M]// ROUND F E. *Algae in the Aquatic Environment*. Bristol: Biopress Ltd, 1988: 107-124.

Temporal and Spatial Variation of Phytoplankton Structure and its Relationship with Environmental Factors in Lake Donghu

TANG Hui-juan¹, XIE Ping², LIU Li¹, ZHAO Hui-hong¹, YANG Hui-rong¹

(1. College of Animal Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China;

2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Temporal and spatial variation of phytoplankton structure in the lake was studied. TN and TP concentrations were significantly different among three stations. Phytoplankton biomass peaked in winter and spring at station I and II, while it peaked in summer at station III. Compared with many other eutrophic lakes with similar or even lower nutrient concentrations, phytoplankton biomass in Lake Donghu was much lower. It was probably due to both high grazing pressures from filter-feeding fishes and light limitation. Phytoplankton in Lake Donghu is mainly composed of flagellated *Cryptomonas* and *Gymnodinium eucyaneum*, centric *Cylotella spp* and *Melosira ambigua*, small sized cyanobacteria and chlorococcales, most of which were typical species in condition of high grazing and high nutrient level.

Key words: phytoplankton; environmental management; lakes

· 简 讯 ·

本刊增设“防震减灾”专栏

最近,四川大地震给我国造成重大的人命和财产的损失。为促进防震减灾的科学研究和学术交流,加快科技成果的转化,中山大学学报(自然科学版)将于近期开设“防震减灾”专栏,该栏目主要刊登:地震地质、地震预报、工程防震、震后次生地质灾害防治、震后工程修复等方面的新理论、新方法、新技术的学术论文。欢迎有关科学技术工作者、大学教师、博士研究生赐稿,本刊将简化审理程序,优先给予发表。

(本刊通讯员)