

广州市区越秀湖浮游纤毛虫群落的季节变化

徐润林 郑永利

(中山大学生命科学院, 广州 510275)

提 要 从1997年4月到1998年3月之间,应用定性观察和定量分析的方法对广州市的城市湖泊——越秀湖进行了浮游纤毛虫群落的种类组成、群落的生物多样性、丰度、生物量、优势种的种群季节变化等群落结构参数进行了研究.共发现了76种浮游纤毛虫;最大丰度为 $69.1 \times 10^3 \text{ ind.} \cdot \text{L}^{-1}$;最大生物量为 $7.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;群落中的优势种为大弹跳虫(*Halteria grandinella*)、尾毛虫(*Urotricha* spp.)、尾侠盗虫(*Strobilidium caudatum*)、小侠盗虫(*Strobilidium humile*)和膜袋虫(*Cyclidium* spp.);群落的生物多样性指数在2.4到3.0之间.分析了这个湖泊浮游纤毛虫群落结构参数的季节变化.通过与文献报道的比较、分析,从纤毛虫的优势种、总丰度和生物量确定了该城市湖泊的富营养状况为重度富营养化.

关键词 浮游纤毛虫 群落结构 季节变化 城市湖泊

分类号 Q959.117 P343.3

浮游纤毛虫种类多、数量大、繁殖快,是湖泊生态系统中重要的生物组成部分之一.它们一方面以湖泊中的其他原生动物、藻类和细菌和水中的有机物质为食,同时它们又是其它动物和鱼类底栖动物的饵料.因此浮游纤毛虫是连接生产者和次级消费者之间的重要环节.此外,在湖泊富营养化研究中,人们发现浮游纤毛虫可以降低水体中的营养成分,净化水体.因此,浮游纤毛虫群落可以反映出湖泊富营养化的程度和水环境的质量.国外已有许多学者对湖泊浮游纤毛虫生态学进行了较深入的研究^[1].近几十年来,在我国已有一些关于淡水湖泊生态系统浮游纤毛虫生态学的报道.但到目前为止,真正较系统地研究淡水湖泊生态系统浮游纤毛虫群落周年性变动的报道为数并不多^[2-4],且人们较关注的是大型的湖泊,而对分布在各城市中的小型湖泊研究较少.本文以位于广州市区的越秀湖为研究对象,着重研究了该湖泊中浮游纤毛虫群落结构的特点及它们的季节变化,旨在补充我国在这一领域的欠缺.

1 材料与方法

1.1 研究水体简介

越秀湖位于广州市中心的越秀公园内,面积约 1 km^2 ;水深约2m,为一个完全封闭的水体;处于亚热带季风气候区内,地理位置在 $113^{\circ}16' - 113^{\circ}17' \text{ E}$, $23^{\circ}06' - 23^{\circ}08' \text{ N}$ 之间.越秀湖的主要功能为游览观光.

1.2 样品采集

在越秀湖的湖中心设有一个采样点(图1),从1997年4月到1998年3月每月采样一次.

• 国家自然科学基金重点项目(39730070)和国家自然科学基金项目(39770144)联合资助.

收稿日期:1999-03-25;收到修改稿日期:1999-11-25. 徐润林,男,1960年生,博士,教授.

水样用有机玻璃半自动采水器采集;采水量为 1L;水样用新鲜的 Bouin 固定液固定,沉淀浓缩到 30mL;另采一些水样用于活体观察.

1.3 定性与定量观察

定性观察采用活体观察和染色观察相结合的方法.纤毛虫的染色参照 Foissner 描述的方法^[5].定量分析采用沉淀计数法.纤毛虫的分类依据 Kahl, Maeda & Carey, Maeda, Foissner 等和沈韞芬等^[6-10].

1.4 生物量的计算

生物量根据文献^[9]报道的各种浮游纤毛虫的生物量指数进行计算.

1.5 群落生物多样性的测定

群落多样性依 Shannon-Weaner 的公式计算:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中, H' 为群落的生物多样性指数; $P_i = N_i/N$ 为第 i 种所占总丰度的比例; N_i 为第 i 种的丰度; N 为总丰度; s 为所有种的总数.

2 结果

2.1 湖水温度和 pH 值的年度变化

越秀湖的水温变化如图 2 所示,其温度在 15—31℃ 之间,分别在 1997 年的 12 月份和 1998 年的 2 月份出现了全年的最低水温 15.5℃,在 1997 年的 5 至 9 月份的水温都在 27℃ 以上,最高时达到 31℃.

湖水的 pH 值在 6.0—6.5 之间,变幅不大.

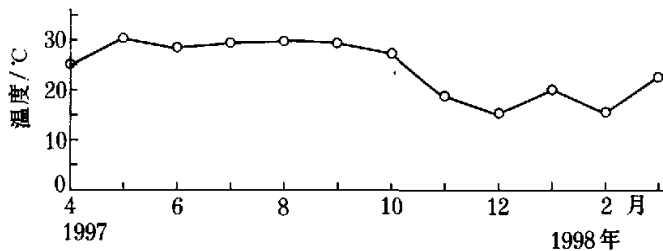


图 2 越秀湖水温的季节变化

Fig. 2 The seasonal changes of water temperature in Yuexiu Lake

2.2 浮游纤毛虫群落的种类组成

在整个研究期间共观察到 76 种纤毛虫,分别属于 46 个属(表 1).

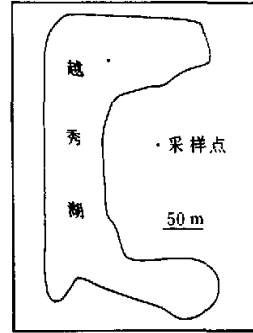


图 1 越秀湖及采样点

Fig. 1 Sketch of Yuexiu Lake and sampling site

种类上主要是属于前口目(Prostomatida)、缘毛目(Peritrichida)、膜口目(Hymenostomatida)和寡毛目(Oligotrichida)的种类. 在全部样品中出现频率较高的依次有弹跳虫属(*Halteria*)、尾毛虫属(*Urotricha*)、侠盗虫属(*Strobilidium*)、膜袋虫属(*Cyclidium*)、裸口虫属(*Holophrya*)、筒壳虫属(*Tintinnidium*)、单栉毛虫属(*Monodinium*)、累枝虫属(*Epistylis*)、板壳虫属(*Coleps*)和双栉毛虫属(*Didinium*); 而属下毛目(Hypotrichida)和肾形虫目(Colpodida)的种类则只有少量的种类出现.

表 1 越秀湖的浮游纤毛虫种类

Tab. 1 A species list of planktonic ciliates found in Yuexiu Lake

<i>Askenasia acrostonia</i>	<i>Halteria grandinella</i>	<i>Strombidium crassulum</i>
<i>Askenasia volvox</i>	<i>Hastella radians</i>	<i>Strobilidium mirabile</i>
<i>Balamon planctonicum</i>	<i>Holophrya discolor</i>	<i>Strobilidium viride</i>
<i>Blepharisma lateritium</i>	<i>Holophrya ovum</i>	<i>Strobilidium wulffi</i>
<i>Calyptotricha lanuginosa</i>	<i>Holophrya simplex</i>	<i>Strobilidium</i> sp.
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	<i>Holophrya teres</i>	<i>Strobilidium crassum</i>
<i>Climacostomum virens</i>	<i>Holophrya viridis</i>	<i>Strobilidium lanceolatum</i>
<i>Codonella cratera</i>	<i>Holophrya Pullaster</i>	<i>Tintinnidium fluviatile</i>
<i>Coleps hirtus</i>	<i>Hypotrichidium conium</i>	<i>Tintinnidium pusillum</i>
<i>Colpoda magna</i>	<i>Lacrymaria olor</i>	<i>Trachelius ovum</i>
<i>Colpoda steini</i>	<i>Lagnophrya acuminata</i>	<i>Uroleptus musculus</i>
<i>Condylostoma vorticella</i>	<i>Laynophrya conifera</i>	<i>Uronema nigricans</i>
<i>Ctedoctemu acanthocryptu</i>	<i>Loxodes rostrum</i>	<i>Urostyla grandis</i>
<i>Cyclidium citrullus</i>	<i>Monodinium balbianii</i>	<i>Urotricha agilis</i>
<i>Cyrtolophosis mucicola</i>	<i>Oxytricha chlorelligera</i>	<i>Urotricha armata</i>
<i>Didinium nasutum</i>	<i>Phialina jankowskii</i>	<i>Urotricha furcata</i>
<i>Dileptus cygnus</i>	<i>Phialina jankowskii</i>	<i>Urotricha globosa</i>
<i>Enchelydium labro</i>	<i>Sphaerophrya soliformi</i>	<i>Urotricha ovata</i>
<i>Enchelyodon elegans</i>	<i>Stentor rosseli</i>	<i>Urotricha saprophila</i>
<i>Enchelys gasterosteus</i>	<i>Strobilidium caudatum</i>	<i>Vorticella aequilata</i>
<i>Enchelys mutans</i>	<i>Strobilidium gyans</i>	<i>Vorticella cupifera</i>
<i>Enchelys pupa</i>	<i>Strobilidium humile</i>	<i>Vorticella convallaria</i>
<i>Epistylis rotans</i>	<i>Strobilidium velox</i>	<i>Vorticella mayeri</i>
<i>Frontonia acuminata</i>	<i>Strombidium acuminatum</i>	<i>Vorticella natans</i>
<i>Halteria chlorelligera</i>		

2.3 纤毛虫群落的种类数和群落生物多样性指数的季节变化

从纤毛虫种类和群落多样性指数的季节变化(图 3)可看出,越秀湖的种类数曲线为双峰型,在春季 5 月(40 种)和秋季 10 月(36 种)各有一个明显高峰;而在冬季和夏季则种类数较少,最少在 2 月(20 种). 但其群落多样性指数变化不大(2.4—3.0 之间);周年的变化呈双峰型

曲线,在5月(2.96)和10月(2.83)各有一个高峰期,最低峰期出现在7月(2.44)。

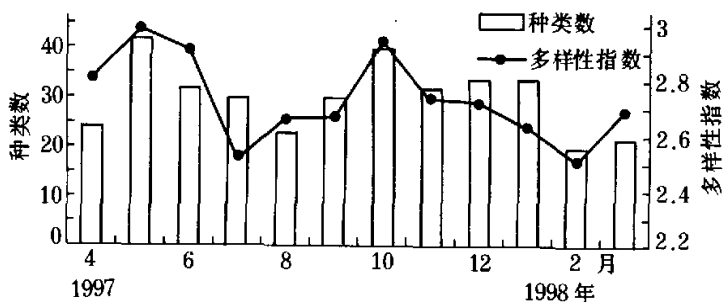


图3 越秀湖浮游纤毛虫种类和群落生物多样性指数的季节变化

Fig. 3 The seasonal changes of planktonic ciliate species numbers and community biodiversity in Yuexiu Lake

2.4 浮游纤毛虫群落总丰度的季节变化

越秀湖浮游纤毛虫的丰度变化情况是比较明显的(图4)。总丰度的年度变化为三峰型。春季5月份($69.1 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)、秋季10月份($59.4 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)和冬季12月份($54.9 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)各有一个高峰期;其中5月份的丰度为全年的最高,然后依次减少,9月份的丰度为全年的最低($21.4 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)。2—4月份的丰度也比较低。周年呈现出冬末春初和夏末秋初丰度较低的现象。

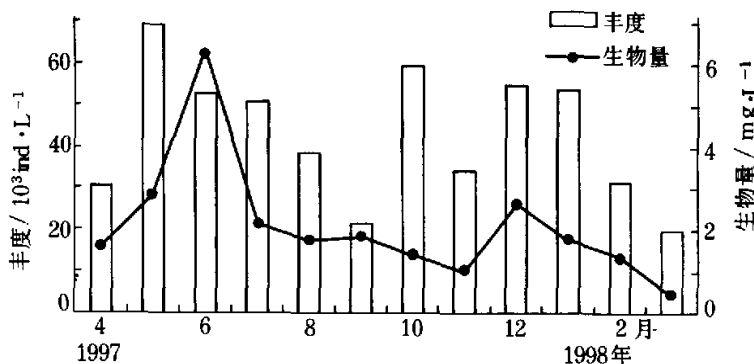


图4 越秀湖浮游纤毛虫总丰度和生物量的季节变化

Fig. 4 The seasonal changes of planktonic ciliate abundance and biomass in Yuexiu Lake

2.5 浮游纤毛虫的生物量的季节变化

与总丰度略有不同,越秀湖的生物量变化曲线为双峰型。在6月份($7.16 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和12月份($3.89 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)是高峰期;而在3月份是其最低峰($0.59 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) (图4)。由曲线可看出从3月份到6月份是浮游纤毛虫的生物量上升的时期,6月份达到顶峰,7月份急剧下降,8月份到11月份的生物量变化不明显,在 $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右变动,12月份为一个小高峰,然后1月份和

2 月份再下降。

2.6 优势种丰度的季节变化

在全部 76 种浮游纤毛虫中,数量较大的主要种类为大弹跳虫(*Halteria grandinella*)、尾毛虫(*Urotricha* spp.)、尾侠盗虫(*Strobilidium caudatum*)、小侠盗虫(*Strobilidium humile*)、膜袋虫(*Cyclidium* spp.)、变色裸口虫(*Holophrya discolor*)、筒壳虫(*Tintinnidium* spp.)、钟形突口虫(*Condylostoma vorticella*)、单栉毛虫 *Monodinium balbianii*、累枝虫(*Epistylis* sp.)。其中前 4 种(类)的丰度都有超过 $10 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 5)。作为越秀湖的优势种,大弹跳虫的最高丰度出现在 7 月份(约 $20 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$),在 8 月到第二年的 2 月都比较平稳;4 月份时的丰度为最低(约 $1.4 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)。尾毛虫的最高丰度出现在 1 月份(约 $18 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$),并且在 5 月和 10 月也有两个小高峰(约 $14 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$),在夏季其丰度较低,最低丰度出现在 9 月份(约 $1.4 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)。小侠盗虫的最高丰度出现在 1 月份和 10 月份(约 $9.0 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$),春夏季的丰度变化不大,最低丰度出现在 3 月份(略少于 $1.0 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$)。尾侠盗虫的丰度出现在 5 月份(约 $1.4 \times 10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$),其丰度变化较大,在 7 月份和 9 月份其丰度几乎为 0。

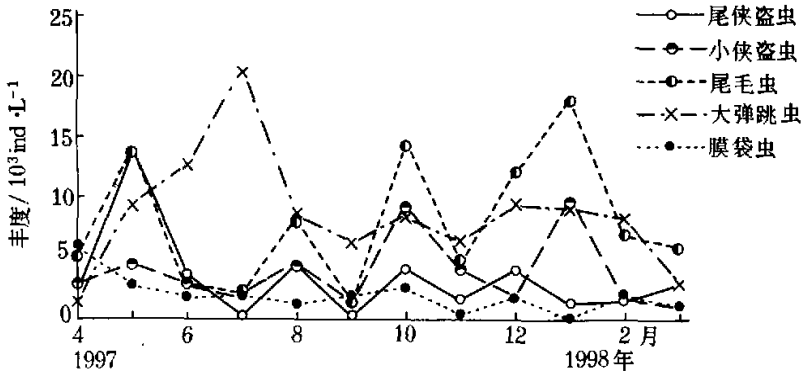


图 5 越秀湖浮游纤毛虫主要优势种丰度的季节变化

Fig. 5 The seasonal changes of major planktonic ciliate abundance in Yuexiu Lake

3 讨论

虽然早在本世纪二十年代我国就有关于淡水纤毛虫研究的报道,但完整地淡水湖泊纤毛虫进行周年性变化的研究仅在武汉东湖进行过^[2-4];其余绝大多报道仅为种类记载。

3.1 越秀湖浮游纤毛虫的季节变化

在所有影响原生动物的生长、繁殖的因素中,水温是最重要的生态因子之一。在北半球水体中,冬季是原生动物的生长低潮,春季是原生动物的生长高峰期,夏季由于高温、种内竞争等因素抑制了原生动物的生长,秋季的气温下降,原生动物的数量又会增加,出现最高丰度。这种变化规律在多个湖泊中都得到验证^[1,2]。但由于大部分的文献报道都是针对温带的湖泊进行研究,而热带—亚热带地区冬季的气温变化不像温带那样明显,且没有冰冻期,所以热带—亚热带

带的浮游纤毛虫在冬季的丰度没有出现急剧下降. 加上广州处于沿海地区, 受季风的影响, 夏季并没有出现炎热的气候, 由图 2 可知 1997 年 4 月到 9 月的水温变化不大, 故在夏季也没有出现纤毛虫急剧减少的现象.

3.2 从浮游纤毛虫丰度和生物量看越秀湖的营养状况

湖泊浮游纤毛虫的丰度与湖泊的富营养化程度有关, 在不同的富营养化的湖泊中, 浮游纤毛虫的丰度有很大的差异(表 2).

表 2 不同营养状况湖泊中纤毛虫最大丰度的比较

Tab. 2 A comparison of planktonic ciliate maximum abundance in lakes with different eutrophic status

湖 泊	营养状况	纤毛虫丰度/ $10^3 \text{ind.} \cdot \text{L}^{-1}$	参考文献
Lunzer Unterzee 湖, 奥地利	贫营养	1.8	[11]
Tohopekaliga 湖, 美国	中营养	86.1	[12]
Glubokoe 湖, 前苏联	中营养	7.0	[13]
Esthwaite 湖, 英国	富营养	9.2	[14]
Oglethorpe 湖, 美国	富营养	100—200	[15]
Scott lakes 湖, 美国	超富营养	355.5	[12]
越秀湖, 中国	富营养	69.1	本文
东山湖, 中国	超富营养	164.7	待发表

表 2 显示富营养化程度越高则纤毛虫的丰度越大; 反之, 浮游纤毛虫丰度的大小也可间接反映湖泊的富营养化程度. 与文献报道相比, 越秀湖属于富营养化程度很高的湖泊. 浮游纤毛虫的丰度除了受到富营养化程度的影响外, 还受到气候和天然食物的影响^[8], 在气候比较温暖地区浮游纤毛虫的丰度比气候恶劣地区的丰度高, 季节(温度和光照)变化对纤毛虫的生长有一定的影响, 而天然食物对某些种类起着限制的作用. 浮游纤毛虫的食物主要是细菌和藻类, 但被捕食的细菌和藻类只占细菌和藻类的数量 1% 到 10%^[2], 细菌和藻类的优势种直接影响浮游纤毛虫的优势种.

另外, 不同地区和纬度湖泊中浮游纤毛虫的丰度变化规律也不尽相同. 比较文献报道的湖泊浮游纤毛虫丰度的季节性变化可以发现, 越秀湖的丰度变化与 Lunzer Unterzee 湖^[11]的较相似; 在春季有一个最高峰, 在秋末冬初的丰度也较高; 与 Francis 湖^[16]和 Holden 塘^[17]的纤毛虫丰度变化趋势也较相似, 在春末夏初和秋末各出现了一个高峰, 有明显的季节性的丰度变化; 而与英国 Esthwaite 湖、美国的 Annie 湖、Wauberg 湖、Norris 湖等湖泊纤毛虫的丰度变化规律有很大差别^[1, 14, 16].

浮游纤毛虫的生物量是浮游纤毛虫种类的丰度与其个体的生物量乘积的总和. 浮游纤毛虫的生物量受到种类的丰度和其个体生物量大小的影响. 从丰度曲线图中可知在 5 月份是其丰度的最高峰, 但其优势种为个体生物量较小的尾毛虫, 故其总生物量也较小; 而在 6 月份优势种为大弹跳虫和钟形突口虫, 此两种浮游纤毛虫的个体生物量也较大, 从而总生物量较大.

浮游纤毛虫的最大生物量可以反映出湖泊中的浮游纤毛虫的生产能力. 与丰度值相似, 浮游纤毛虫的最大生物量同样可以反映出水体的营养状况(表 3).

从生物量的季节变化而言, 通过与文献报道比较, 作者发现: 越秀湖的生物量季节变化与

Norris 湖的生物量变化规律较相似,在春末夏初时有一个高峰期,其余时期的生物量变化比较稳定,变动不明显.而与 Eaton 湖、非洲 Tanganyika 湖和 Holden 塘的差异明显^[16,18].

表 3 不同营养状况湖泊中纤毛虫最大生物量的比较

Tab. 3 A comparison of planktonic ciliate maximum biomass in the Lakes with differnt eutrophic status

湖泊	营养状况	最大生物量/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	参考文献
Norris 湖, 美国	贫营养	80	[16]
Holden 池塘, 美国	贫营养	330	[16]
Tohopekaliga 湖, 美国	中营养	406.8	[12]
Scott 湖, 美国	超富营养	4413.6	[12]
越秀湖, 中国	富营养	7160	本文
东山湖, 中国	超富营养	11230	待发表

3.3 越秀湖浮游纤毛虫的优势种类演替及水环境状况

大弹跳虫、尾毛虫、尾侠盗虫、小侠盗虫和膜袋虫是越秀湖浮游纤毛虫群落的主要优势种.它们的季节性变化应代表了该湖纤毛虫种类演替的基本过程.如图 5 所示,在整个研究期间,优势种的演替过程为:膜袋虫+尾毛虫→尾毛虫+尾侠盗虫→大弹跳虫→尾毛虫→大弹跳虫+尾毛虫.其中以尾毛虫为第一优势种的时间最长.

根据各种纤毛虫对环境的耐受性,越秀湖纤毛虫优势种多为耐污系数高达 2.0—3.0^[9].如果以原生动功能类群对它们进行划分,则它们多为食菌者^[10].耐污种类在群落中占优或者食菌者在群落中占优,都反映出水环境较差.

综上所述,越秀湖浮游纤毛虫群落具有如下特征:纤毛虫群落的丰度和生物量较大;群落的优势种多为体形较小的耐污性食菌者.根据 Laybourn-Parry 的理论^[1],同时结合国外在各种营养状况下湖泊中纤毛虫的丰度和生物量的大小,可以认为:越秀湖的水质应处于富营养化的状态.

参 考 文 献

- Laybourn-Parry J. Protozoan plankton ecology. New York, Chapman & Hall, 1992
- 沈耀芬, 顾曼如. 武昌东湖原生动物生态初步研究. 水生生物学集刊, 1965, 4: 146—181
- 龚循矩. 从原生动物变化看武汉东湖富营养化的发展. 水生生物学报, 1986, 10: 340—352
- 徐润林, 沈耀芬, 顾曼如. 武汉东湖浮游原生动物生产量. 见: 中国海洋湖沼学会编. 第四次中国海洋湖沼科学会议论文集. 北京: 科学出版社, 1991. 164—173
- Foissner W. Basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa. *Europ J Protistol*, 1991, 27: 313—330
- Kahl A. Wimpertier oder Ciliata (Infusoria). *Tierwelt Deutschlands*, 1930—1935, 26(18, 21, 25, 30): 1—886
- Maeda M. An illustrated guide to the species of the families Halteriidae and Strobiliidiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free swimming protozoa common to aquatic environment. *Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo*, 1986, 21: 1—67
- Maeda M, Carey P G. An illustrated guide to the species of family Strobiliidiidae (Oligotrichida, Ciliophora), free swimming protozoa common to the aquatic environment. *Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo*,

- 1985, **19**:1-68
- 9 Foissner W, Blatterer H, Berger H, *et al.* Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band 1 - N. München, Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 1991-1995
- 10 沈耀芬等. 微生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 11 Schlottl-Dl K. Qualitative und quantitative Untersuchungen der pelagische Ciliaten des Piburger Sees (Tirol, Österreich). *Limnologica* (Berlin), 1984, **15**:43-54
- 12 Beaver J R, Crisman T L. Seasonality of planktonic ciliated protozoa in 20 subtropical Florida lakes of varying trophic state. *Hydrobiologia*, 1990, **190**:127-135
- 13 Scherbakov A D. Quantity and biomass of protozoa in the plankton of a eutrophic lake. *Hydrobiol J*, 1969, **5**:9-15
- 14 Laybourn-Parry J, Olver J Rogerson A, Duverge P L. The temporal and spatial patterns of protozooplankton abundance in a eutrophic temperate lake. *Hydrobiologia*, 1990, **203**:99-110
- 15 Pace M L, Orcutt J D. The relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnol & Oceanogr*, 1981, **26**:822-830
- 16 Beaver J R, Crisman T L. Analysis of the community structure of planktonic ciliated protozoa relative to trophic state in Florida lakes. *Hydrobiologia*, 1989, **174**:177-184
- 17 Beaver J R, Crisman T L, Bienert R W. Distribution of planktonic ciliates in highly coloured subtropical lakes: comparison with clear water ciliate communities and the contribution myxotrophic taxa to total autotrophic biomass. *Freshwater Biol*, 1988, **20**:51-60
- 18 Hecky R E, Kling H J. The phytoplankton and protozooplankton of the eutrophic zone Lake Tanganyika: species composition, biomass, chlorophyll content and spatio-temporal distribution. *Limnol & Oceanogr*, 1981, **26**:548-564

Seasonal Changes of Planktonic Ciliate Communities in Yuexiu Lake, An Urban Lake of Guangzhou City

XU Runlin ZHENG Yongli

(Life Science School, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract

From Apr. 1997 to Mar. 1998, using the qualitative and quantitative methods, a study on the ecology of planktonic ciliates in an urban lake in Guangzhou - Yuexiu Lake, was carried out. In the study, some parameters of the ciliate community like species composition, abundance, biomass and biodiversity indices were analyzed. 76 ciliate species were recorded. The results showed that the major dominant species were *Halteria grandinella*, *Strobilidium caudatum*, *Strobilidium humile*, *Cyclidium* spp. and *Urotricha* spp., the maximum total abundance was $6.91 \times 10^4 \text{ ind.} \cdot \text{L}^{-1}$ in May, meanwhile, the maximum total biomass was $7.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in June. The population dynamics and succession of dominant species were studied as well. Based upon the structural parameters of the ciliate community, a comparison with literatures, the water quality of the lake can be considered being hypereutrophic.

Key Words Planktonic ciliate, community structure, seasonal change, urban lakes