

广州市区人工湖泊 PFU 原生动物群落群集过程及 其对水质差异的指示作用 *

陈廷 黄建荣 陈晟平 邱文智 林铁豪 郑则俊 温少明 徐润林 **

(中山大学生命科学学院 广州 510275)

摘要 应用 PFU 法 (GB/T12990-91) 对广州市区主要湖泊——流花湖、荔湾湖和麓湖的原生动物群落与水质进行研究。结果表明:用 PFU 法所测定和计算的原生动物群集的种类数、植鞭虫指数、群集参数 (S_{eq} 、 G 、 $T_{90\%}$)、群落多样性指数 d 和群落污染值 (CPV) 等都能较好地指示 3 个人工湖泊水质的差异,水质由优到劣的排列顺序为麓湖 > 荔湾湖 > 流花湖。流花湖、荔湾湖和麓湖目前虽仍处于富营养状态,但清污截流等对城市湖泊污染的综合治理措施可以减少湖泊外部营养物负荷及沉积物内负荷,降低水体的营养盐含量,有助于原生动物群落的恢复。图 3 表 3 参 16

关键词 城市湖泊; 原生动物群集过程; PFU 法; 水质

CLC Q959.110.8 : X832

PFU PROTOZOAN COMMUNITY COLONIZATION PROCESS AND ITS INDICATION OF WATER QUALITY IN GUANGZHOU URBAN ARTIFICIAL LAKES *

CHEN Ting, HUANG Jianrong, CHEN Shengping, QIU Wenzhi,

LIN Tiehao, ZHENG Zejun, WEN Shaoming, XU Runlin **

(School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract With the PFU method (GB/T12990-91), the protozoan community colonization process was studied in three urban artificial lakes. Liuhua Lake, Liwan lake, and Luhu Lake in Guangzhou. The result indicated that the numbers of protozoan species, phytomastigophora index, colonization process parameter (S_{eq} , G , $T_{90\%}$), diversity index d and community pollution value (CPV) could well show the water quality. In these three lakes, totally 181 species of protozoan, including 53 phytoflagellates, 24 zooflagellates, 24 sarcodinas and 80 ciliates were found during the investigation. The species and phytomastigophora index of Liwan Lake were 100 and 24%, while those of Liuhua Lake were 107 and 26.16%, and those of Luhu Lake were 138 and 27.54%, respectively. The PFU protozoan community colonization in Liuhua Lake reached its species maximum of 65 on the 3rd day, while that in Liwan Lake and Luhu Lake reached the species maximum of 66 and 90 on the 5th day. Though the three lakes were still in eutrophication condition, the comprehensive prevention and countermeasures including pollution-cutting engineering and cleaning out the substrate sludge could decrease the inside and outside loading of nutrition and sediments, reduce the nutrition salt content of water column, and help restore the protozoan community. Fig 3, Tab 3, Ref 16

Keywords urban artificial lake; protozoan community colonization process; polyurethane foam unit (PFU) method; water quality

CLC Q959.110.8 : X832

在我国,城市湖泊位于城市内或城市近郊,具有景观、旅游娱乐和养殖等多种使用功能,也曾是城市生活污水和工业废水排放场所。在过去的几十年里,由于种种原因,我国各地的城市湖泊富营养化程度普遍偏高,部分城市湖泊甚至达到高度富营养化程度^[1-3]。目前,各地在进行城市环境综合治理时,均将城市内水体的富营养化及其防治作为重点,并已取得一定的效果^[4,5]。

收稿日期: 2003-03-03 接受日期: 2003-06-17

* 国家自然科学基金重点项目 (No. 39730070) 和国家自然科学基金项目 (No. 39770144) 的部分内容 Supported by the National Natural Foundation of China

** 通讯作者 Corresponding author

《水质微型生物群落监测——PFU 法》(GB/T12990-91)^[6] 自制定以来,由于快速、准确、经济的优点,已在废水处理、河流污染及其自净的生物监测方面被广泛应用,在城市湖泊方面也有一些报道^[7~12]。

流花湖、荔湾湖和麓湖是广州市区最主要的 3 个人工湖泊,其中个别湖泊也曾被严重污染,引起鱼群大量死亡。从 1999 年起,广州市在对流花湖、荔湾湖和麓湖截污,保证生活污水不再进湖的同时,对流花湖、荔湾湖进行了清淤整治,将原有的污染沉积物进行了清除,以改善湖水水质。本实验应用 PFU 法研究了清淤截污后的流花湖、荔湾湖和麓湖 3 个城市人工湖泊 PFU 原生动物群落群集过程及其对水质差异的指示作用。

1 材料与方法

1.1 采样点介绍

流花湖位于周围人口稠密,工商业发达的越秀区流花公园内,水域面积 $3.3 \times 10^5 \text{ m}^2$,是市区最大的人工湖泊;荔湾湖位于广州市西关老城区的荔湾区,水域面积 $1.71 \times 10^5 \text{ m}^2$;荔湾湖和流花湖都是1958年开挖建成的人工湖。麓湖位于广州城区北缘,白云山风景区南麓,水域面积 $2.1 \times 10^5 \text{ m}^2$,1958年修坝蓄水而成。流花湖、荔湾湖和麓湖都为封闭性的湖泊,但有河涌与珠江干流广州市段相通,可通过闸门控制湖泊水位。如图1所示。

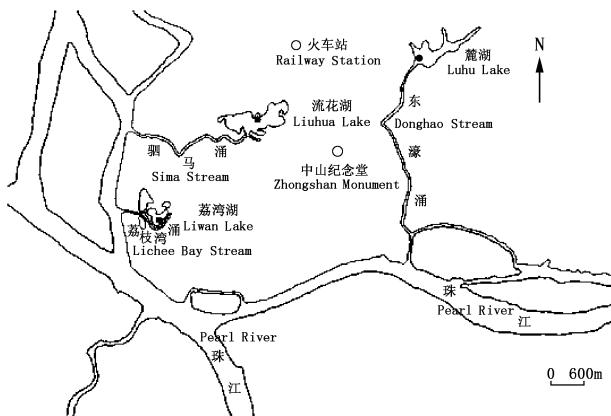


图1 荔湾湖、流花湖、麓湖采样点示意图

Fig.1 A map showing Liwan Lake, Liuhua Lake and Luhu Lake

1.2 样品的采集和分析

实验时间为2002年9月下旬至10月初。PFU的放置、收集以及原生动物的观察统计均按PFU法(GB/T12990-91)进行;种类鉴定与分类依据文献的描述^[6,8,13]。

在放置人工基质的同时,采集水样,按照水质评价和监测标准对水中主要理化指标进行分析。

1.3 群落多样性指数的计算

群落多样性指数按Margalef多样性指数公式:

$$d = (S - 1) / \ln N$$

式中,d为群落多样性指数;S为原生动物种类数,N为个体数。

2 结果

2.1 水质的理化状况分析(表1)

2.2 三个湖泊 PFU 原生动物群落结构

在流花湖、荔湾湖和麓湖3个湖泊中共观察到原生动物181种,其中纤毛虫80种,植物性鞭毛虫53种,动物性鞭毛虫23种,肉足虫24种。如表2所示。

图2所示为3个湖泊原生动物种类数及植物性鞭毛虫比例(%)。

流花湖常见的居留种为:宽扁裸藻 *Phacus pleuronastes*、卵形波豆虫 *Bodo ovatus*、球四鞭藻 *Carteria globosa*、舞行波豆虫 *Bodo saltans*、三星眼虫 *Euglena tristella*。荔湾湖常见的居留种为:绿眼虫 *Euglena viridis*、珍珠映毛虫 *Cinetochilum margaritaceum*、卵形波豆虫 *Bodo ovatus*、污钟虫 *Vorticella putrina*、三星眼虫

Euglena tristella。麓湖常见的居留种为:珍珠映毛虫 *Cinetochilum margaritaceum*、活跃波豆虫 *Bodo ludibundus*、衣眼虫 *Euglena chlamydophora*、三角波豆虫 *Bodo triangularis*、宽扁裸藻 *Phacus pleuronastes*。

表1 流花湖、荔湾湖、麓湖水质理化指标

Table 1 The physicochemical parameters of water qualities in the three lakes

采样点 Sampling sites *	A	B	C
$\theta_{H_2O}/^{\circ}\text{C}$	24.2	25.6	23.2
pH	7.2	7.2	7.1
TS ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	26	60	50
DO ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	4.0	3.92	6.95
BOD ₅ ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	25.6	23.1	18.5
COD ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	60.1	56.1	45.1
TP ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	0.16	0.12	0.15
TN ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	2.72	2.42	1.43
NO ₃ -N ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	0.37	0.72	0.27
NO ₂ -N ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	0.68	0.53	0.26
NH ₃ -N ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	0.75	0.65	0.74

* A:流花湖 Liuha Lake; B:荔湾湖 Liwan Lake; C:麓湖 Luhu Lake.
下同 The same below

2.3 3个湖泊原生动物群集过程

小型鞭毛虫最先群集到PFU内,然后是纤毛虫和肉足虫类。群集的原生动物种类数在开始时都呈上升趋势,但随着暴露时间的延长,种类数达到一定数量后都逐渐下降,固着生活的缘毛类则逐渐增加。3个湖泊原生动物群集过程如图3所示。

2.4 PFU 原生动物群落群集过程参数和多样性指数

3个湖泊的原生动物群落群集过程参数 S_{eq} (平衡时的种类数)、G(群集速度常数)、 $T_{90\%}$ (达到90% S_{eq} 所需的时间)和原生动物群落 Margalef 多样性指数 d 如表3 所示。

3 讨论

3.1 城市湖泊 PFU 原生动物群落组成特点

原生动物根据营养方式可划分为6个功能类群,即光合作用者(P)、食菌-碎屑者(B)、食藻者(A)、腐养者(S)、食肉者(R)和无选择的杂食者(N)。在干净的水体中,PFU群集的原生动物种类数及P、A类群种类数多,植物性鞭毛虫比例高,随着水体的有机污染程度提高,群集的原生动物种类数少,异养的原生动物比例增加^[8,14,15]。本次实验中,PFU原生动物群落在形成的早期P类群占优势,然后逐渐被B类群取代,P类群和B类群占到群落种类数的62%。原生动物各功能类群与富营养状态的武汉东湖相比,P和A类群比例较高,而B和S类群比例要少^[8]。在种类组成的相似性上,珠江广州市段PFU群集的原生动物绝大部分在广州市区湖泊中被检测到,但组成上有异同,表现为广州市区湖泊中动物性鞭毛虫种类数少,纤毛虫和肉足虫的种类数多,而植物性鞭毛虫种类数则相近^[9]。3个湖泊当中,流花湖群集的原生动物种类数和植物性鞭毛虫比例(%)最小;荔湾湖次之,而麓湖最大(图2)。按照PFU群集的原生动物种类数和植物性鞭毛虫比例对水质的评价,3个湖泊水质由优到劣的排列顺序是麓湖>荔湾湖>流花湖。

表 2 广州市湖泊 PFU 群集的原生动物
Table 2 Species list of protozoan communities colonized on PFU protozoan in Guangzhou artificial urban lakes

原生动物名录 List of protozoan	A			B			C			A			B			C		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
柱状性鞭毛虫 <i>Phytomastigophora</i>				长尾扁裸藻 <i>Phacus longicauda</i>	+	+	辐射射虫 <i>Heterophrys radiata</i>	+	+	纤锤全列虫 <i>Holosticha testieri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
匍匐异鞭藻 <i>Anisotoma actinus</i>	+	+		圆形扁裸藻 <i>Phacus orbicularis</i>	+	+	宝石马氏虫 <i>Mayorella bifemina</i>	+	+	天蝎长吻虫 <i>Lacrymaria olor</i>	+	+						
弯曲变形胞藻 <i>Asiata curvata</i>	+	+		宽扁裸藻 <i>Phacus pleuronastes</i>	+	+	马氏虫 <i>Mayorella sp.</i>	+	+	瓶口虫 <i>Lazynophrya sp.</i>	+	+						
小形变胞藻 <i>Asiata parvula</i>	+	+	+	三棱扁裸藻 <i>Phacus triquetus</i>	+	+	柔平变形虫 <i>Planamoeba placida</i>	+	+	龙骨漫游虫 <i>Liitonotus carinatus</i>	+	+						
四颤藻 <i>Carteria sp.</i>	+	+	+	扭曲扁裸藻 <i>Phacus tortus</i>	+	+	盖椭壳虫 <i>Pyridina operculata</i>	+	+	钻漫游虫 <i>Liitonotus obtusus</i>	+	+						
卵形衣藻 <i>Chlamydomonas ovalis</i>	+	+	+	扁裸藻 <i>Phacus sp.</i>	+	+	苍白刺日虫 <i>Raphidiophrys pallida</i>	+	+	天蝎漫游虫 <i>Liitonotus cygnus</i>	+	+						
华美绿裸藻 <i>Chlorogonium elongatum</i>	+	+		棘刺囊裸藻 <i>Trachelomonas hispida</i>	+	+	珊瑚囊变形虫 <i>Saccamoeba gongormia</i>	+	+	薄漫游虫 <i>Liitonotus lamella</i>	+	+						
华美单瓣金藻 <i>Chloromonium elegans</i>	+	+		动物裸藻 <i>Zoomastigophora</i>	+	+	简单虫 <i>Vahlkampfia sp.</i>	+	+	大壁纤虫 <i>Loxodes magnus</i>	+	+						
变形单瓣金藻 <i>Chromulina pascheri</i>	+	+		变形裸豆虫 <i>Bodo amoebinus</i>	+	+	简单变虫 <i>Vahlkampfia vahlkampfia</i>	+	+	如意扭头虫 <i>Mertens es</i>	+	+						
具尾蓝隐藻 <i>Chromomonas caudata</i>	+	+		尾波豆虫 <i>Bodo celer</i>	+	+	纤毛虫 <i>Ciliophora</i>	+	+	笠口虫 <i>Nassula sp.</i>	+	+						
沟内管藻 <i>Entosiphon sulcatum</i>	+	+		梨波豆虫 <i>Bodo edax</i>	+	+	克氏裂口虫 <i>Amphileptus claparedaei</i>	+	+	彩盖虫 <i>Opercularia phryganea</i>	+	+						
梭形裸藻 <i>Euglena acus</i>	+	+		纺锤波豆虫 <i>Bodo uniformis</i>	+	+	纺锤裂口虫 <i>Amphileptus fusidens</i>	+	+	长柄后柱虫 <i>Oniscostyla longipes</i>	+	+						
衣裸藻 <i>Euglena chlamydophora</i>	+	+		球波豆虫 <i>Bodo globulus</i>	+	+	猪裂口虫 <i>Amphileptus meleagris</i>	+	+	尖尾虫 <i>Oxytricha sp.</i>	+	+						
洁泡裸藻 <i>Euglena clara</i>	+	+		活波裸豆虫 <i>Bodo luteifundus</i>	+	+	栉裂口虫 <i>Amphileptus pectinata</i>	+	+	绿草履虫 <i>Paramaecium hirsutaria</i>	+	+						
带形裸藻 <i>Euglena ehrenbergii</i>				小波豆虫 <i>Bodo minutus</i>	+	+	点演裂口虫 <i>Amphileptus punctata</i>	+	+	尾草履虫 <i>Paramaecium caudatum</i>	+	+						
刺侄状裸藻 <i>Euglena gasterosteus</i>	+	+		易变波豆虫 <i>Bodo nutabilis</i>	+	+	裂口虫 <i>Amphileptus sp.</i>	+	+	革履虫 <i>Paramaecium sp.</i>	+	+						
曲膝裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	+	+		卵形波豆虫 <i>Bodo ovatus</i>	+	+	有孔刺纤虫 <i>Aspidisa costata</i>	+	+	朋拟腹尾虫 <i>Pararolopistus musculus</i>	+	+						
纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i>	+	+		漫行波豆虫 <i>Bodo repens</i>	+	+	柱纤口虫 <i>Chaemea teres</i>	+	+	冠附口虫 <i>Pleurorema cornatum</i>	+	+						
变型裸藻 <i>Euglena matubilis</i>				舞行波豆虫 <i>Bodo saltans</i>	+	+	斜管虫 <i>Chilonella sp.</i>	+	+	圆着足吸管虫 <i>Podophrya fusa</i>	+	+						
垂形裸藻 <i>Euglena phaeiformis</i>	+	+		三角波豆虫 <i>Bodo triangularis</i>	+	+	僧帽斜管虫 <i>Chilodonella cucullata</i>	+	+	腋衣足吸管虫 <i>Podophrya maupasi</i>	+	+						
三棱裸藻 <i>Euglena triplex</i>	+	+		尖尾裸藻 <i>Cercononas ovatus</i>	+	+	珍珠吸毛虫 <i>Cinatichlum margaritaceum</i>	+	+	前箭虫 <i>Proradion sp.</i>	+	+						
尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i>	+	+		活泼尾滴虫 <i>Cercononas agilis</i>	+	+	双刺板壳虫 <i>Coelops bicuspis</i>	+	+	缘急毛虫 <i>Stronbiidium viride</i>	+	+						
二星裸藻 <i>Euglena tristella</i>	+	+		波豆尾滴虫 <i>Cercononas bodo</i>	+	+	毛板壳虫 <i>Coelops hirtus</i>	+	+	首锯刀口虫 <i>Stronbiidium musicola</i>	+	+						
绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	+	+		放射尾滴虫 <i>Cercononas radiatus</i>	+	+	板壳虫 <i>Coelops sp.</i>	+	+	太阳球吸管虫 <i>Sphaerophryne soliformis</i>	+	+						
裸藻 <i>Euglena sp.</i>	+	+		简单尾滴虫 <i>Cercononas simplex</i>	+	+	小发丝虫 <i>Cristiger minuta</i>	+	+	多态刺虫 <i>Sentor polymorphus</i>	+	+						
绿双鞭藻 <i>Eureptia viridis</i>	+	+		尾滴虫 <i>Cercononas sp.</i>	+	+	豆形虫 <i>Colpidium sp.</i>	+	+	天蓝喇叭虫 <i>Stenot coeruleus</i>	+	+						
裸藻 <i>Gymnodinium sp.</i>				易变小鞭藻 <i>Mastigella commutans</i>	+	+	长膜袋虫 <i>Cyclidium centrale</i>	+	+	矛形圆纤虫 <i>Strongylidium lanceolatum</i>	+	+						
尖细异丝藻 <i>Heironema acus</i>	+	+		斯鞭藻 <i>Stokesiella sp.</i>	+	+	银膜袋虫 <i>Cyclidium glaucoma</i>	+	+	四分锤吸管虫 <i>Tekophrya quadrupatta</i>	+	+						
多变卡克藻 <i>Khankinea variabilis</i>				波动叶鞭藻 <i>Phylomonas undulans</i>	+	+	长毛膜袋虫 <i>Cyclidium lanuginosum</i>	+	+	刺圆口虫 <i>Trachelyphium orrum</i>	+	+						
颤孔藻 <i>Lepocinclis sp.</i>	+	+		四鞭虫 <i>Tetranitus sp.</i>	+	+	长膜袋虫 <i>Cyclidium oblongum</i>	+	+	卑法管叶虫 <i>Trachelyphium pusillum</i>	+	+						
弦膜藻 <i>Menodium pellucidum</i>	+	+		肉足虫 <i>Sarcodina</i>	+	+	小单环栉毛虫 <i>Didinium halimianum</i>	+	+	扭曲管叶虫 <i>Trachelyphium sigmoides</i>	+	+						
变形滴虫 <i>Monas amoebina</i>	+	+		合触刺胞虫 <i>Acanthocystis aculeata</i>	+	+	双环栉毛虫 <i>Didinium nasutum</i>	+	+	契氏尾片虫 <i>Urocoma cienkowskii</i>	+	+						
球状滴虫 <i>Monas arthropodomus</i>				刺胞虫 <i>Acanthocystis sp.</i>	+	+	裂口长颈虫 <i>Dilepus amphiteoides</i>	+	+	绿尾枝虫 <i>Urostyla viridis</i>	+	+						
滴虫 <i>Monas sp.</i>	+	+		放射太阳虫 <i>Actinophryes sol</i>	+	+	放射山领虫 <i>Dilepus alpinus</i>	+	+	武装尾虫 <i>Urotricha armatus</i>	+	+						
萌藻 <i>Monas vivipara</i>	+	+		轴丝光球虫 <i>Actinophryes eichhorni</i>	+	+	鹅掌颈虫 <i>Dilepus anser</i>	+	+	尾毛虫 <i>Urotricha sp.</i>	+	+						
聚屋滴虫 <i>Oikomonas socialis</i>				人变形虫 <i>Amoeba proteus</i>	+	+	斜口虫 <i>Enchelys sp.</i>	+	+	沟肿虫 <i>Vorticella convallaria</i>	+	+						
梨屋滴虫 <i>Oikomonas stehmi</i>	+	+		表壳虫 <i>Arcella sp.</i>	+	+	累枝虫 <i>Epistylis sp.</i>	+	+	杯钟虫 <i>Vorticella cupifera</i>	+	+						
气球屋滴虫 <i>Oikomonas termo</i>	+	+		表壳虫 <i>Arcella sp2</i>	+	+	近亲游仆虫 <i>Euploes affinis</i>	+	+	点钟虫 <i>Vorticella picta</i>	+	+						
弯曲袋鞭藻 <i>Peranema deflexum</i>	+	+		普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i>	+	+	阔口游仆虫 <i>Explotes eurystromus</i>	+	+	污肿虫 <i>Vorticella putrina</i>	+	+						
二角袋鞭藻 <i>Peranema trichophorum</i>	+	+		近虹輪卡变虫 <i>Castia imaculoides</i>	+	+	盘状游仆虫 <i>Explotes patella</i>	+	+	似钟虫 <i>Vorticella similis</i>	+	+						
内卷瓣胞藻 <i>Petalomonas involucra</i>				华丽睡莲虫 <i>Clathrinula elegans</i>	+	+	瞬目虫 <i>Glaucoma sp.</i>	+	+	钟虫 <i>Vorticella sp1</i>	+	+						
瓣胞藻 <i>Petalomonas mediocanalis</i>	+	+		东南亚芦虫 <i>Cucarbitella mesopliformis</i>	+	+	大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i>	+	+	钟虫 <i>Vorticella sp2</i>	+	+						
奇形扁裸藻 <i>Phacus anomalus</i>	+	+		砂壳虫 <i>Difflugia avellana</i>	+	+	似盒毛虫 <i>Histrionicus similis</i>	+	+	筒形螺壳虫 <i>Holophrya simplex</i>	+	+						
尖尾扁裸藻 <i>Phacus acuminatus</i>	+	+		结节鳞壳虫 <i>Euglypha tuberculata</i>	+	+	裸口虫 <i>Holophrya sp.</i>	+	+									

十: 表示出现的种类 Showing species presence

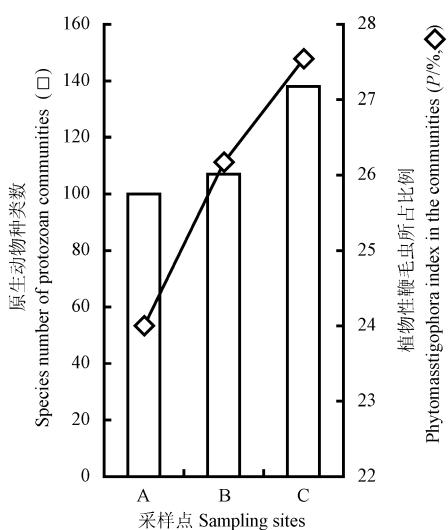


图2 广州市区人工湖泊的PFU原生动物群落种类数和植物性鞭毛虫比例

Fig. 2 Species numbers of PFU protozoan communities and phytomastigophora proportion in the lakes

A:流花湖 Liuhua Lake; B:荔湾湖 Liwan Lake; C:麓湖 Luhu Lake. 下同 The same below

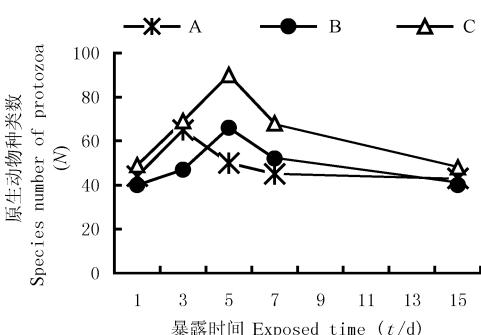


图3 3个湖泊原生动物在PFU块中的群集过程

Fig. 3 Colonization process of protozoa on PFU in the lakes

表3 PFU原生动物群集过程参数

Table 3 The parameter of protozoan colonization

采样点 Sampling sites	S_{eq}	G	$T_{90\%}$	d
A	57.94	0.43	5.68	2.67
B	58.84	0.41	5.95	2.69
C	78.03	0.4	6.23	3.33

3.2 荔湾湖、流花湖和麓湖水质差异与PFU原生动物群集过程特征

根据我国地面水环境质量标准(GB3838—2002),麓湖溶解氧含量为Ⅱ类,荔湾湖和流花湖溶解氧含量为V类;麓湖的总氮含量为Ⅳ类,荔湾湖和流花湖总氮含量则超过V类水质标准;3个湖泊的总磷含量都属于V类,COD、BOD₅则大大超过V类水质标准。按照我国湖泊富营养化评分及分级的计算方法^[2],3个湖泊的营养状况评分指数M值分别为77.7、79.3和73.9,都处于富营养状态。

PFU法在群落水平上对水质进行生物监测,相对于单一指示种类监测方法层次更高,因此这种方法能提供更多的环境信

息,更准确地对水质进行评价和监测。有相当多的研究证明,由PFU法所测定和计算的群落参数如 S_{eq} 、G、 $T_{90\%}$ 、异养性指数HI和多样性指数d等都与化学综合污染指数P和综合营养指数 T_{LJ} 在统计学上呈显著性相关,水质的状况可通过PFU群落参数表现出来,如在污染较少的水体中G值小, S_{eq} 和 $T_{90\%}$ 值大;而水质较差尤其是富营养化程度高的水体中G值大, S_{eq} 和 $T_{90\%}$ 值少^[7~12,16]。

本次实验中,流花湖 S_{eq} 和 $T_{90\%}$ 值都最小,其次为荔湾湖,而麓湖最高。在群集速度上,流花湖在d3就达到种类数的最大值,为65种,G值最大,为0.43。荔湾湖和麓湖虽然都在d5达到种类数的最大值,但麓湖种类数更多,为90种,且G值最小,为0.40。3个湖泊当中,麓湖的多样性指数最高,荔湾湖次之,流花湖最低。群落污染值(CPV)反映的是群落耐污种类的作用,数值越高说明水污染越严重,根据有关资料计算出3个湖泊的PFU原生动物群落污染值^[7],流花湖为2.85,属极重污染水体;荔湾湖为2.73,属重污染水体;麓湖为2.58,属轻度污染水体。因此,广州市区3个人工湖泊PFU原生动物群集参数、多样性指数和群落污染值对水质的指示作用与理化分析结果是一致的,它们都能较好地反映其水质的差异,并对水质的污染状况作出评价。麓湖地处城市近郊,周围山地森林覆盖率高,有山泉汇流补充,加速湖水的更换,因此在3个湖泊中,水质最好;而流花湖地处闹市商业繁华地带,游人如织,湖水也被开发利用大量观赏鱼类,因此水质最差。

3.3 城市湖泊富营养化污染治理与生态恢复

根据有关资料,荔湾湖、流花湖和麓湖在治理前的总磷含量分别为0.62 mg/L、0.54 mg/L和0.22 mg/L,总氮含量荔湾湖、流花湖分别为4.8 mg/L、8.3 mg/L^[2,4];在清淤截污后荔湾湖和流花湖总磷含量分别下降到0.12 mg/L和0.16 mg/L,总氮含量分别下降到2.42 mg/L和2.72 mg/L;而位于城市近郊,只进行了截污工程的麓湖总磷含量下降较少,为0.15 mg/L。同样用PFU法,在对有城市生活污水排入的长春南湖中,共采集原生动物114种,其中植鞭虫7种,占总数的6.16%,常见居留种也是异养性的鞭毛虫居多,如波豆虫、扁眼虫和异鞭虫^[12]。而荔湾湖、流花湖和麓湖群集的原生动物无论在植鞭虫种类数和植物性鞭毛虫比例上都较长春南湖高,常见的居留种中,自养性原生动物种类数也增多。说明清污截流等对城市湖泊污染综合治理措施,无论对降低水体的营养盐含量还是对原生动物群落的恢复均有较显著的效果。

相对河流而言,湖泊水体更新周期长、水流速度慢,营养盐和污染物积累较快。清淤截污、栽种水生植物、养殖食用鱼类和人工更换湖水等措施可以减少外部点源污染和沉积物内负荷,增加湖中的氮、磷输出,然而城市湖泊作为游览胜地和休闲场所,旅游娱乐产生的废水、弃置物和废油;养殖观赏鱼类产生的大量残饵和鱼类排泄物;城镇地表径流中大量的氮、磷输入;降雨对城市大气的淋洗;城市降尘及地下水等等非点源污染都大大增加了湖泊的氮、磷负荷量,加速了水体的富营养化进程。清淤截污后的广州市区3个湖泊目前还处于富营养化状态,在

理化指标上,其总磷、总氮,特别是 COD、BOD₅等含量离广州市要求的旅游娱乐用水Ⅳ类水质目标还有较大的差距,地处繁华闹市的流花湖水质更差,说明城市湖泊在点源污染得到控制后,非点源污染对城市湖泊的富营养化影响仍然不容忽视。

4 结论

- 4.1 PFU 法群集过程参数能较好地指示广州市区 3 个人工湖泊水质的差异。
- 4.2 三个湖泊当中,麓湖水质最好,荔湾湖次之,流花湖最差,但目前仍都处于富营养状态。
- 4.3 清污截流等对城市湖泊污染的综合治理措施可以减少湖泊外部营养物负荷及沉积物内负荷,有助于原生动物群落的恢复。

References

- 1 Yuan XY(袁旭音). Primary appraisal of pollution for lakes of China. *Volcanol & Mineral Resour* (火山地质与矿产), 2000, **21**(2): 128 ~ 136
- 2 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志. 北京:科学出版社,1998
- 3 Sun G(孙刚), Sheng LX(盛连喜). Ecological engineering for eutrophication in lake. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 2001, **12**(4): 590 ~ 592
- 4 Huang WY(黄文钰), WU YG(吴延根) Shu JH(舒金华). Hydrographical environmental problems and countermeasures of main lakes and reservoirs in china. *J Lake Sci*(湖泊科学), 1998, **10**(3): 83 ~ 90
- 5 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术. 北京:化学工业出版社, 2001
- 6 Water quality-microbial community biomonitoring-PFU method GB/T 12990 - 91. 154
- 7 沈韫芬,顾曼如,冯伟松. 水污染的微型生物监测. 生命科学, 1997, **9**(2): 81 ~ 85
- 8 Shen YF(沈韫芬), Zhang ZS(章宗涉), Gong XJ(龚循矩), Gu MR(顾曼如), Shi ZX(施之新), Wei YX(魏印心). Modern Biomonitoring Techniques Using Fresh-Water Microbiota. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990
- 9 Xu RL(徐润林), Bai QS(白庆笙), Xie RW(谢瑞文). PF unit protozoan community characteristics and the relation with the water quality in the Guangzhou Reach of the Peael River. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 2002, **22**(4): 479 ~ 485
- 10 Xu MQ(许木启), Zhu J(朱江), Cao H(曹宏). The relationship between the protozoan community diversity and the water quality in the Baiyangdian lake. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 2001, **21**(7): 1114 ~ 1120
- 11 Xu MQ(许木启), Cao H(曹宏), Wang YL(王玉龙). The purification efficiency of the Huangu Stabilization Ponds and its relationship with biodiversity of protozoan community. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 2000, **20**(2): 283 ~ 287
- 12 谢允田,孙晓成,付春燕等. PFU 方法在研究长春南湖富营养化中的应用. 东北水利水电, 1998(10): 40 ~ 44
- 13 Kahl A. Urtiere oder Protozoa. In: Dahled. Die Tierwelt Deutschlands. 1935
- 14 Shen YF(沈韫芬). Protozoology. Beijing: Science Press, 1999
- 15 Liu JK(刘健康). Advance Hydrobiology. Beijing: Scientific Press, 1998
- 16 Wang RC(王荣昌), Wen XH(文湘华), Li CZ(李翠珍), Qian Y. (钱易). Study on the correlation between aquatic microbial community parameters and the indicators of waqter quality. *Res Environ Sci*(环境科学研究), 2002, **15**(4): 43 ~ 49

“CLC” :《中国图书馆分类法 = Chinese Library Classification》语种代码

从 2000 年第 1 期起,本刊正式用“CLC”作为《中国图书馆分类法》分类标引符号的语种代码。本刊编辑部曾在专文[见:我国期刊论文分类标引问题面面观/孙二虎//编辑学报,1999,11(1):4 ~ 8]中论及我国缺乏类似“UDC”、“DDC”之类的分类语种专用代号的不便,并“盼望中国期刊界尽快得到分类语种代码的法定或约定的统一形式”。现在这一问题事实上已经得到解决:第四版《中国图书馆分类法》(内容上涵盖了详简不同的四种版本,特别重要的是用上标“+”法包容了“资料本”)(北京:北京图书馆出版社,1999.3. ISBN 7-5013-1603-1/G. 418)公布的英文并列书名为《Chinese Library Classification》,依照国际文献分类工作惯例,我们完全可以用“CLC”作为该分类语种的标准代码。

我们郑重建议:用中外皆可识别的“CLC”标识,代替不规范的“中图分类号”或“中图法分类号”标识。

本刊编辑部