

哈尔滨人工湖泊中原生动物群落变化规律

谭晓丽^{1,2}, 施心路^{1,2*}, 刘桂杰¹, 白 昕²

(1. 哈尔滨师范大学, 哈尔滨 150080; 2. 杭州师范学院生命科学学院, 杭州 310036; 3. 哈尔滨环境监测中心站, 哈尔滨 150076)

摘要:2003 年 3 月~2004 年 2 月调查了哈尔滨人工湖泊原生动物群落多样性的变化规律,应用 PFU 法研究了原生动物群落季节变化演替的特征。共观察到各类原生动物 120 种,其中鞭毛虫 53 种,占原生动物总数的 44%,肉足虫 9 种占原生动物总数的 8%,纤毛虫 58 种占原生动物总数的 48%,分析了原生动物在该湖的组成特点。原生动物在此人工湖泊中 1 个周年内的表现规律为植物性鞭毛虫多,动物性鞭毛虫少;纤毛虫多,肉足虫少。原生动物群落的结构参数(种类组成、个体丰度和多样性指数)因水质的变化而发生变化。在此湖中原生动物的优势种为喇叭虫属(*Stentor*)、眼虫属(*Euglena*)、游仆虫属(*Euplote*)、隐滴虫属(*Cryptomonas*)、常年的居留种为眼虫属(*Euglena*)、弹跳虫属(*Halteria*)、侠盗虫属(*Strobilidium*)、隐滴虫属(*Cryptomonas*)。全年 3 个采样站的生物多样性指数在 1.912~7.473 之间。原生动物在 1 个周年中平均个体丰度出现的规律依次递减的顺序是秋季、夏季、春季、冬季。采样站 1 的平均个体丰度在四个季节中均高于采样站 2、3。

关键词:北方湖泊;原生动物;PFU 法;水质;多样性指数

文章编号:1000-0933(2005)10-2650-08 **中图分类号:**Q145,Q178,Q958 **文献标识码:**A

The regular changes of protozoan community diversity in an artificial lake in Harbin, China

TAN Xiao-Li^{1,2}, SHI Xin-Lu^{1,2*}, LIU Gui-Jie¹, BAI Xin² (1. Harbin Normal University, Harbin 150080, China; 2. School of Life Sciences, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036, China; 3. Harbin Environment Monitoring Central Station, Harbin 150076, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2650~2657.

Abstract: The changes of protozoan community diversity in an artificial lake of Harbin area in northeast China from March of 2003 to February of 2004 have been studied by using PFU (Polyurethane Foam Unit) method, the characteristics of the protozoan community development with the change of seasons in this typical water located in the northeast of China have been studied. The results showed that a total of 120 species of protozoa has been found during the investigation, including 53 species of mastigophoras taking up 44%, 9 species of sacrodinas taking up 8%, and 58 species of ciliates taking up 48%. The regularity of protozoa in the investigation indicated that the amount of phytoflagellates and ciliates was more, but the amount of zooflagellates and sarcodinas was less. Furthermore, Protozoan characteristics and their relationship with water quality have also been analyzed. Protozoan community parameters (species composition, individual abundance, diversity index) varied according to the water quality. The dominant protozoan species were *Stentor*, *Euglena*, *Euplote* and *Cryptomonas* in this lake, and the dwelling species were *Euglena*, *Halteria*, *Strobilidium* and *Cryptomonas* all through the year; the diversity index was 1.912~7.473 in three sampling sites during 12 months. The regular decreasing orders of average individual abundance were autumn, summer, spring, winter and the average individual abundance of sampling site 1 was much higher than the other two in the four seasons.

基金项目:中国科学院淡水与生物技术国家开放实验室基金资助项目(2002FB09);浙江省自然科学基金资助项目(Y304410);浙江省动物学重点学科资助项目

收稿日期:2004-05-01; **修订日期:**2004-12-08

作者简介:谭晓丽(1978~),女,黑龙江人,硕士,从事水生生物学研究。E-mail: zfn-1155@163.com

* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: Shixl56@163.com

Foundation item: State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology (No. 2002FB09); Nutural Science Foundation of Zhejiang Province(No. Y304410); the Local Government of Zhejiang Province for the Specially Support Discipline of Zoology

Received date:2004-05-01; **Accepted date:**2004-12-08

Biography: TAN Xiao-Li, Master, mainly engaged in hydrobiology. E-mail: zfn-1155@163.com

Key words:lake of north China; protozoa; PFU method; water quality; diversity index

原生动物是组成自然水域中动物群落的重要生物类群之一,它们所形成的复杂的生物类群共同组成了水生态系统中完整的生态单元,显示了水生态系统结构和功能上的许多特征。一方面原生动物群落的变化在很大程度上可以影响到水生态系统中食物网的组成,它直接或间接影响着高等水生生物的分布和丰度。另一方面,就整个原生动物群落而言,它们对生存环境条件的变化十分敏感,许多种类正在越来越多地被认为是水体污染的指示生物而为人们广泛采用^[1~14]。因此,研究水体中原生动物的种类组成和种群数量变动对水体进行生物评价已经成为水质研究工作的一项重要内容。应用原生动物群落的组成和演替规律对水质的变化进行监测和评价是当前生物监测的发展方向。了解各种水域中原生动物的群落变化规律对进一步研究各类湖泊等水域的污染状况和自净效能都具有重要的意义^[1~15]。

《水质微型生物群落监测-PFU法》(GB/T12990-91)自制定以来,由于它能快速、准确地指示出水域环境的水体质量,目前已经在废水处理、河流污染及其自净的生物监测方面被广泛应用^[1,4,5,8~14]。目前,应用PFU法进行生物群落特征及其与水质关系的研究多见于我国南方水体^[1,4,5,8~14],但对我国东北地区典型水体的研究较为少见。在我国北方,由于气候的原因从11月份到次年的4月份水体均处于冰冻期,独特的水环境决定了北方水体在生物的组成上必然与南方水域有较大的差异,生物群落的变化也在一定程度上具有特殊性。

本文研究的水体位于黑龙江省哈尔滨市平房区平房公园内,水域面积1万多平方米,是园内最大的水上娱乐场所,由于人类活动的频繁,大量废弃物可随水流流入湖中,给水质带来不同程度的变化。作者于2003年3月~2004年2月对此湖进行了一个周年的研究,其目的是为了解我国北方独特气候条件下水域中原生动物的组成特征、变化规律及其与水质之间的关系,为进一步解读该类水域中的物种多样性和浮游生物的生态学研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样站的设置

该人工湖位于我国东北地区黑龙江省哈尔滨平房区(N45°35′37.6″;E126°37′56.1″)。湖泊的水域面积为1万多平方米,其水源为自然降水和注入水两个途径,由于人为因素使得人工湖分为两部分(图1),彼此通过桥孔相互连通。一部分水域较深,其水源主要来自市政自来水公司处理后剩余的水及部分降水;另一部分水域较浅,其水源主要为地下水和降水。根据需要在湖内设置了3个采样站。

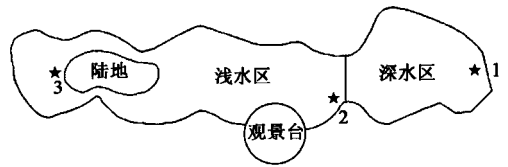


图1 各采样站(1~3)分布示意图
Fig.1 A map of sampling sites (1~3)

1.2 水样采集、生物种类鉴定及水质理化指标分析

利用PFU(聚氨酯泡沫塑料块——Polyurethane Foam Unit)法和直接采水法进行样品采集。PFU法采集按照国家标准(GB/T12990-91),种类鉴定以活体观察和蛋白银染色相结合的方法,原生动物的种类鉴定分别依据沈韞芬、Kahl、Foissner等^[5,16~21]。原生动物的分类系统分别参见Levine、宋微波等及施心路等^[22~25]。为了与生物资料进行比较,在采集原生动物的同时,测定了各样站的理化参数(温度、pH值、溶解氧以及COD_{Mn}),水质的理化指标测定按照《水与废水监测分析方法》^[26]。

1.3 PFU原生动物群落的生物多样性指数计算

多样性指数 d 按Margalef多样性指数^[27]公式计算:

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

式中, S 为原生动物种类数; N 为原生动物个体数。 d 值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏。因此可以在一定程度上反映水质的优劣程度^[1,3,11~14]。

2 结果

2.1 各采样站主要的水质理化指标

在一个完整的实验周期中,根据实际情况在春季、夏季、秋季每月分别采样1~3次不等,冬季因水体深度冰冻,采样次数相对减少,每月只采集1次。全年的采样次数及时间见表1。

从表1中可以看出,各采样站在周年变化中温度在各月基本一致,但溶解氧和pH值在各次采样中却有很大的差异。

2.2 原生动物种类组成

2003年3月~2004年2月进行为期一年的采样,除了样站2在1、2月份,样站3在2月份没有水样外,3个采样站共检出原生动物120种(表2),其中鞭毛虫53种,占44%,肉足虫9种,占8%,和纤毛虫58种,占48%。原生动物的优势种为多态喇叭虫(*Stentor polymorphu*)、绿色眼虫(*Euglena viridis*)、近亲游仆虫(*Euplotes affinis*)、马索隐滴虫(*Cryptomonas*

marssonii), 常年居留种有绿色眼虫(*Euglena viridis*)、马索隐滴虫(*Cryptomonas marssonii*)、大弹跳虫(*Halteria grandinella*)、旋回侠盗虫(*Strobilidium gyrans*)。

表 1 各采样站水体年周年的理化指标
Table 1 Physicochemical data of three sampling sites during 2003~2004

月份 Months	采样站 sampling sites								
	样站 1 Sampling site 1			样站 2 Sampling site 2			样站 3 Sampling site 3		
	水温 <i>T</i> (<i>C</i>)	溶解氧(DO) (mg/L)	pH 值	水温 <i>T</i> (<i>C</i>)	溶解氧(DO) (mg/L)	pH 值	水温 <i>T</i> (<i>C</i>)	溶解氧(DO) (mg/L)	pH 值
3	1	8.0	9.32	1	3.8	7.82	1	3.9	8.32
4	1	9.8	9.30	2	8.7	8.50	2	7.7	8.40
	14	13	9.86	14	12.6	9.43	14	12	9.14
	12	9.6	10.39	12	7.1	9.41	12	7.3	9.45
5	13	11.1	10.58	13	8.1	9.28	13	7.9	9.20
	18	8.0	10.37	18	6.3	9.15	18	7.2	9.04
	22	9.8	10.28	21	6.6	8.79	22	5.5	8.58
6	25	7.8	8.98	25	10.4	8.52	25	8.7	8.52
	25	10	9.06	25	13.4	8.66	25	12.9	8.68
	24	7.2	8.79	23	6.6	7.94	24	7.8	8.24
7	23.5	7.6	8.85	23	4.7	7.85	24	4.4	7.90
	21	9.2	8.84	21	7.4	8.48	22	7.6	8.48
	23	9.5	9.30	23	8.1	8.50	24	7.4	8.52
8	22	9.0	9.42	22.5	7.4	8.43	22.5	7.4	8.45
	21	11	9.75	21	11.6	8.11	21	11.4	8.82
	14	12.1	9.28	14	10.9	8.61	14	9.9	8.59
10	7	10.9	9.55	6	9	8.49	6	9.2	8.62
11	4	15.8	10.04	4	9.8	8.47	2	9.8	8.51
12	0	13.2	—	0	0.8	—	0	1.0	—
1	0	10.2	—	—	—	—	0	1.0	—
2	0	0.2	—	—	—	—	—	—	—

2.3 原生动物种类的季节变化

该湖常年可见的原生动物为眼虫属(*Euglena*)种类、隐滴虫属(*Cryptomonas*)种类、弹跳虫属(*Halteria*)种类和侠盗虫属(*Strobilidium*)种类。样站 1 原生动物种类的最高峰出现在 10 月下旬为 36 种,9 月下旬出现次高峰为 34 种;样站 2 原生动物种类的最高峰出现在 8 月下旬为 40 种,9 月份出现次高峰为 36 种;样站 3 原生动物种类的最高峰出现在 8 月下旬为 40 种,9 月份出现次高峰为 38 种,(见图 2、图 3、图 4);这与各样站生物多样性指数的周年变化是相一致的。

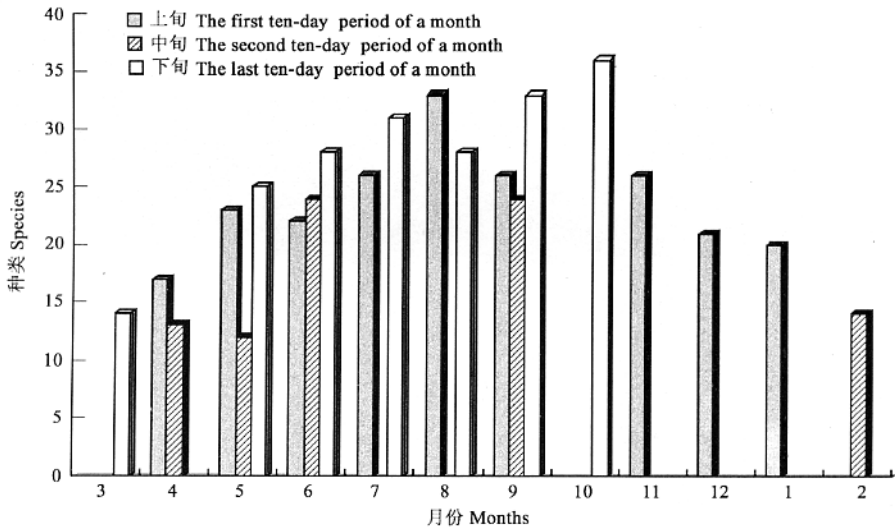


图 2 样站 1 原生动物种类的周年变化

Fig. 2 Species numbers in sampling site 1 of one cycle

表 2 人工湖周年月监测原生动物名录
Table 2 Species list of protozoa found in artificial lake

植物性鞭毛虫 <i>Phytomastigophora</i>	华美绿梭藻 <i>C. elegans</i>	矛刺虫属 <i>Hastatella</i>
眼虫属 <i>Euglena</i>	红球藻属 <i>Haematococcus</i>	放射矛刺虫 <i>H. radians</i>
鱼形眼虫 <i>E. pisciformis</i>	雨生红球藻 <i>H. pluvialis</i>	累枝虫属 <i>Epistylis</i>
尾眼虫 <i>E. caudate</i>	杂球藻属 <i>Pleodorina</i>	厚盘累枝虫 <i>E. balatonica</i>
洁净眼虫 <i>E. clara</i>	杂球藻 <i>P. californica</i>	褶累枝虫 <i>E. plicatilis</i>
近轴眼虫 <i>E. proxima</i>	异鞭虫属 <i>Anisonema</i>	半眉虫属 <i>Hemiophrys</i>
静眼虫 <i>E. deses</i>	葡萄异鞭虫 <i>A. acinus</i>	猎半眉虫 <i>H. meleagris</i>
纤细眼虫 <i>E. gracilis</i>	右旋异鞭虫 <i>A. dextera</i>	肋半眉虫 <i>H. pleurosigma</i>
绿色眼虫 <i>E. viridis</i>	滴虫属 <i>Monas</i>	漫游虫属 <i>Litonotus</i>
曲膝眼虫 <i>E. geniculata</i>	群聚滴虫 <i>M. sociabilis</i>	钝漫游虫 <i>L. obtusus</i>
三棱眼虫 <i>E. tripteris</i>	屋滴虫属 <i>Oikomonas</i>	棘尾虫属 <i>Stylonychia</i>
刺鱼状眼虫 <i>E. gasterosteus</i>	气球屋滴虫 <i>O. termo</i>	髯棘尾虫 <i>S. pustulata</i>
尖尾眼虫 <i>E. oxyuris</i>	动物性鞭毛虫 <i>Zoomastigophora</i>	哈尔滨棘尾虫 <i>S. harbinensis</i>
拟辐尾虫属 <i>Uroglenopsis</i>	单领鞭虫属 <i>Monosiga</i>	弹跳虫属 <i>Halteria</i>
美洲拟辐尾虫 <i>U. Americana</i>	卵形单领鞭虫 <i>M. ovata</i>	大弹跳虫 <i>H. grandinella</i>
桑椹藻属 <i>Pyrobotrys</i>	小鞭虫属 <i>Mastigella</i>	管叶虫属 <i>Trachelophyllum</i>
纤细桑椹藻 <i>P. gracilis</i>	裴氏小鞭虫 <i>M. penardii</i>	卑怯管叶虫 <i>T. pusillum</i>
陀螺藻属 <i>Strombomonas</i>	肉足虫 <i>Sacrodinas</i>	后毛虫属 <i>Opisthotricha</i>
糙膜陀螺藻 <i>S. schauinslandii</i>	刺胞虫属 <i>Acanthocystis</i>	似后毛虫 <i>O. similes</i>
剑状陀螺藻 <i>S. ensifera</i>	短刺刺胞虫 <i>A. brevicirrhys</i>	贪食后毛虫 <i>O. euglenivora</i>
盘藻属 <i>Gonium</i>	异胞虫属 <i>Heterophrys</i>	栉毛虫属 <i>Didinium</i>
盘藻 <i>G. pectorale</i>	辐射异胞虫 <i>H. radiata</i>	双环栉毛虫 <i>D. nasutum</i>
聚盘藻 <i>G. sociale</i>	匣壳虫属 <i>Centrophyxis</i>	单环栉毛虫 <i>D. balbianii</i>
实球藻属 <i>Pandorina</i>	针棘匣壳虫 <i>C. aculeata</i>	中缢虫属 <i>Mesodinium</i>
实球藻 <i>P. morum</i>	光球虫属 <i>Actinosphaerium</i>	蚤中缢虫 <i>M. pulex</i>
卡克虫属 <i>Khawkinea</i>	轴丝光球虫 <i>A. eichhorni</i>	草履虫属 <i>Paramecium</i>
四分卡克虫 <i>K. quartana</i>	藤胞虫属 <i>Hedriocystis</i>	旋毛草履虫 <i>P. trichium</i>
衣藻属 <i>Chlamydomonas</i>	网藤胞虫 <i>H. reticulata</i>	尾草履虫 <i>P. caudatum</i>
衣藻 <i>C. sp.</i>	蒲变虫属 <i>Vannella</i>	侠盗虫属 <i>Strobilidium</i>
卵形衣藻 <i>C. ovalis</i>	平足蒲变虫 <i>V. platypodia</i>	旋回侠盗虫 <i>S. gyrans</i>
莱哈衣藻 <i>C. reinhardi</i>	太阳虫属 <i>Actinophrys</i>	陀螺侠盗虫 <i>S. velox</i>
小球衣藻 <i>C. microspheara</i>	放射太阳虫 <i>A. sol</i>	游仆虫属 <i>Euplotes</i>
布朗衣藻 <i>C. braunii</i>	刺日虫属 <i>Raphidiophrys</i>	近亲游仆虫 <i>E. affinis</i>
刺滴虫属 <i>Mauomonas</i>	苍白刺日虫 <i>R. pallida</i>	粘游仆虫 <i>E. muscicola</i>
具尾刺滴虫 <i>M. caudate</i>	巧刺日虫 <i>R. elegans</i>	瘦尾虫属 <i>Uroleptus</i>
团藻属 <i>Volvox</i>	纤毛虫 <i>Ciliates</i>	差异瘦尾虫 <i>U. dispar</i>
美丽团藻 <i>V. aurens</i>	钟虫属 <i>Vorticella</i>	尖尾虫属 <i>Oxytricha</i>
膝口虫属 <i>Gonyostomum</i>	钟形钟虫 <i>V. campanula</i>	伪尖毛虫 <i>O. fallax</i>
扁形膝口虫 <i>G. depressum</i>	杯钟虫 <i>V. cupifera</i>	独缩虫属 <i>Carchesium</i>
薄片藻属 <i>Glenodinium</i>	沟钟虫 <i>V. convallaria</i>	蝗状独缩虫 <i>C. polypinum</i>
光薄甲藻 <i>G. gymnodinium</i>	小口钟虫 <i>V. microstoma</i>	瞬目虫属 <i>Glaucocoma</i>
隐滴虫属 <i>Cryptomonas</i>	游泳钟虫 <i>V. mayeri</i>	瞬目虫 <i>G. scintillans</i>
马索隐滴虫 <i>C. marssonii</i>	弯钟虫 <i>V. hamata</i>	斜管虫属 <i>Chilodonella</i>
卵形隐滴虫 <i>C. ovata</i>	条纹钟虫 <i>V. striata</i>	非游斜管虫 <i>C. aplanata</i>
裸甲藻属 <i>Gymnodinium</i>	突口虫属 <i>Condyllostoma</i>	斜管虫 <i>C. sp.</i>
裸甲藻 <i>G. aeruginosum</i>	钟形突口虫 <i>C. vorticella</i>	僧帽斜管虫 <i>C. cucullulus</i>
奇异裸甲藻 <i>G. paradoxa</i>	喇叭虫属 <i>Stentor</i>	瓶口虫属 <i>Lagnophrya</i>
真蓝裸甲藻 <i>G. eucyaneum</i>	天蓝喇叭虫 <i>S. coeruleus</i>	回缩瓶口虫 <i>L. retractilis</i>
翼膜藻属 <i>Pteromonas</i>	多态喇叭虫 <i>S. polymorphus</i>	板壳虫属 <i>Coleps</i>
尖角翼膜藻 <i>P. aculeate</i>	带核喇叭虫 <i>S. roeseli</i>	毛板壳虫 <i>C. hirtus</i>
具角翼膜藻 <i>P. angulosa</i>	急纤虫属 <i>Tachysoma</i>	前管虫属 <i>Prorodon</i>
戈利翼膜藻 <i>P. golenkiniana</i>	膜状急纤虫 <i>T. pellionella</i>	绿色前管虫 <i>P. virides</i>
合尾滴虫属 <i>Synura</i>	前口虫属 <i>Frontonia</i>	豆形虫属 <i>Colpidium</i>
合尾滴虫 <i>S. urella</i>	银白前口虫 <i>F. leucas</i>	肾形豆形虫 <i>C. colpoda</i>
叶衣藻属 <i>Lobomonas</i>	膜袋虫属 <i>Cyclidium</i>	斜吻虫属 <i>Enchelydium</i>
中华叶衣藻 <i>L. sinensis</i>	长毛膜袋虫 <i>C. lanuginosum</i>	纺锤斜吻虫 <i>E. fusi</i>
壳衣藻属 <i>Phacotus</i>	筒壳虫属 <i>Tintinnidium</i>	斜口虫属 <i>Enchelys</i>
透镜壳衣藻 <i>P. lenticularis</i>	淡水筒壳虫 <i>T. fluviatile</i>	多核斜口虫 <i>E. mutans</i>
四鞭虫属 <i>Carteria</i>	似铃壳虫属 <i>Tintinnopsis</i>	多变斜口虫 <i>E. variabilis</i>
球四鞭虫 <i>C. globosa</i>	王氏似铃壳虫 <i>T. wangi</i>	蛹形斜口虫 <i>E. pupa</i>
绿梭藻属 <i>Chlorogonium</i>	全列虫属 <i>Holosticha</i>	简单斜口虫 <i>E. simplex</i>
四配绿梭藻 <i>C. tetragamum</i>	纺锤全列虫 <i>H. kessleri</i>	拟长颈虫属 <i>Paradileptus</i>
长绿梭藻 <i>C. elongatum</i>	织毛虫属 <i>Histriculus</i>	<i>Paradileptus concicus</i>
扁眼虫属 <i>Phacus</i>	似织毛虫 <i>H. similes</i>	裸口虫属 <i>Holophrya</i>
梨形扁眼虫 <i>P. pyrum</i>	睨虫属 <i>Askenasia</i>	腔裸口虫 <i>H. atra</i>
长尾扁眼虫 <i>P. longicauda</i>	团睨眼虫 <i>A. volvox</i>	

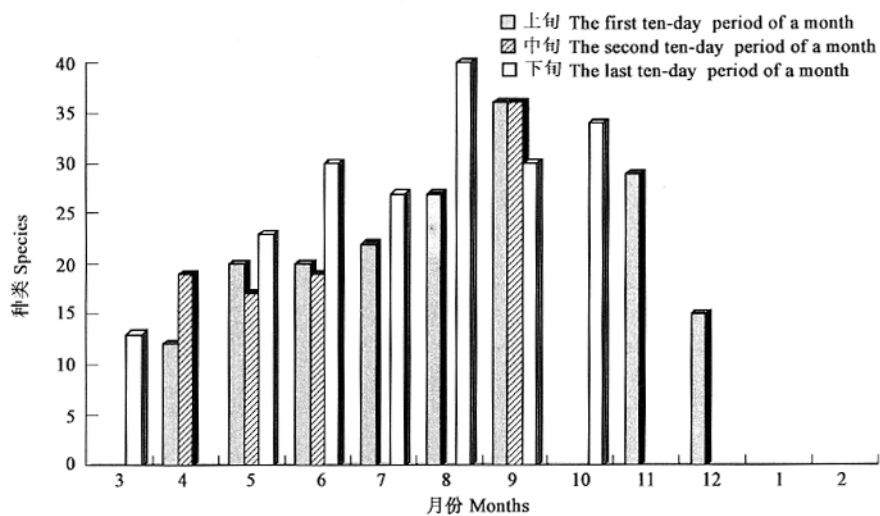


图 3 样站 2 原生动物的周年变化
Fig. 3 Species numbers in sampling site 2 of one cycle

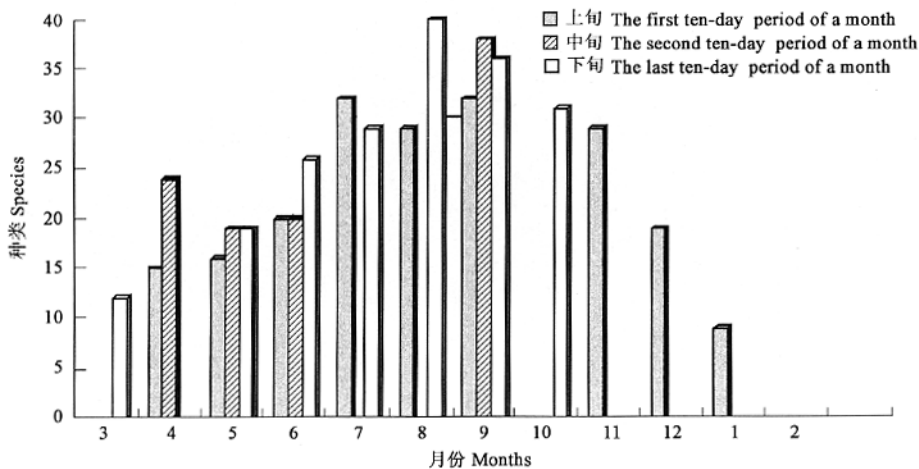


图 4 样点 3 种类的周期变化
Fig. 4 Species nmbers in sampling site 3 of one cycle

2.4 各采样站 4 个季节原生动物的平均个体丰度的变化

3 个采样站原生动物的平均个体丰度出现的规律是秋季>夏季>春季>冬季(表 3)。并且样站 1 的平均个体丰度在 4 个季节都远远高于样站 2、3。而样站 2、3 平均个体丰度的差异很小。

2.5 各采样站原生动物群落的多样性指数及水体的 COD_{Mn} 值的周期变化

各采样站原生动物群落的多样性指数变化及 COD_{Mn} 的变化见图 5、图 6。样站 1, 5 月份多样性指数最低 10 月份最高; 样站 2, 4 月份最低 8 月份最高; 样站 3, 1 月份最低 8 月份最高, 这和种类数出现高峰和低谷的时间是相吻合的, 整个周期 3 个样站多样性指数和 COD_{Mn} 值均呈波浪式变化。

图 5 所示 3 个采样站的生物多样性指数样站 2 和样站 3 的生物多样性指数的最高峰均出现在 8 月初, 而样站 1 的生物多样性指数的最高峰却出现在 10 月份。

表 3 样站在 4 个季节的平均个体丰度(ind./ml)变化

Table 3 The seasonal variation of even individual abundance (ind./ml) in three sampling sites			
项目 Item	样站 1 Sampling site 1	样站 2 Sampling site 2	样站 3 Sampling site 3
春季 Spring	2260	1363	1355
夏季 Summer	4133	2079	1765
秋季 Autumn	5113	2415	2827
冬季 Winter	1749	703	824

图6所示水体的 COD_{Mn} 值,对于样站1在绝大多数的月份都高于样站2和样站3,高峰出现在5月份和9月份并且远远超出V类水质的标准(≤ 15),而其它月份均在V类水质(≤ 15)以下;样站2的高峰也出现在5月份和9月份,但对于样站2的 COD_{Mn} 值绝大多数在IV类水质(≤ 10)以下;样站3的 COD_{Mn} 值在整个周年中都相对较低,在9月份有一个较为明显的高峰。除了9月份的高峰其它月份 COD_{Mn} 值都在IV类水质(≤ 10)以下。

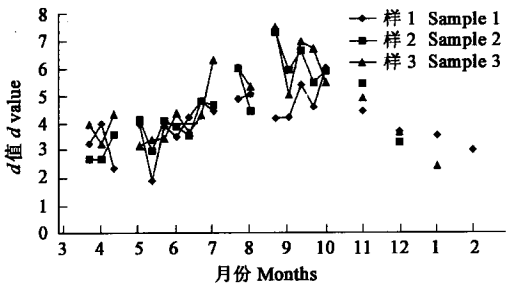


图5 多样性指数 d 的周期变化

Fig. 5 The diversity index of three sampling sites during one cycle

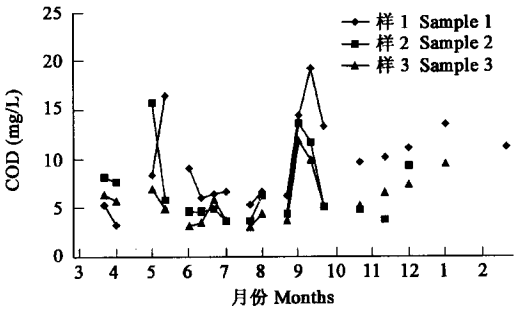


图6 各样站的 COD_{Mn} 值

Fig. 6 The COD_{Mn} variety of three sampling sites during one cycle

3 讨论

3.1 原生动物在人工湖内的分布特征

整个周年人工湖原生动物共120种,隶属73个属。表现为植物性鞭毛虫多,动物性鞭毛虫少,纤毛虫多,肉足虫少,在较干净的水体中,原生动物种类数及光合作用者、食藻者类群的种类数多^[8,10],不同月份不同水质条件下,原生动物的组成有着非常明显的差异。从整个周年各月份原生动物的种类数分析:样站1种类的最高峰出现在10月份在于其注入水来源于自来水公司处理后剩余的水体,为典型的碱性水体,致使样站1水体性质不稳定。5、6月份pH值很高,高达10.58,过高的pH值成为抑制生物生存的重要因素。7、8月份才有所下降,生物种类在这期间陆续出现10月份达到种类最高峰;2月份由于冰层厚度已经达到60cm左右,水体几乎隔绝空气,又由于透光度降低光合作用不好,溶解氧降低只有0.2mg/L,种种环境因素抑制了生物的生存,故生物的种类很少。对于样站2、3,种类的最高峰之所以出现在8月份是因为其水体来源为地下水和天然水,注入水体的性质稳定,没有外界因素的干扰,7、8月份又正值北方的雨季大量的天然水注入,对其的稀释作用较好,水温又在21~24℃之间,pH值在8.48~8.52之间,较适合生物的繁殖,故出现种类的最高峰;9月份 COD_{Mn} 值变大,致使一些不耐有机污染的种类逐渐消失,但由于8月份高峰的影响,还是出现了次高峰;样站3在1月份出现最低值在于2、3站点位于浅水区1月份冰层厚度达到40~50cm,样站2已经全部结冰,样站3剩下的水深仅有10cm左右,水里缺乏氧气使水生生物很少。

3.2 多样性指数 d 的周年变化及与水质的关系

Margalef多样性指数 d 值在评价水体的生物学监测方面被应用较多^[1,3,8,11~14],特别是浮游动物水质评价工作中更为广泛,较符合客观条件地反映了水体污染程度及其变化趋势,即污染越严重, d 值越低^[1,3,11~14],反之亦然。多样性指数在一定程度上能较好地反映同一季节不同样站水质状况(图5)样站1在10月份 d 值最高为6.009,样站2、3在8月份 d 值最高,分别为7.311和7.473,3个样站均属于洁净水体,这和种类最高峰出现的时间相一致。多样性指数(d value)是群落演替的一个重要指标,某一群落种类多样性指数越高,表明该群落结构复杂,稳定性好,而当生物生存环境受到胁迫时敏感种类大量消失,多样性指数明显下降。因而群落多样性的变化是生物生存环境发生变化的重要标志。

3.3 原生动物与水质的关系

11月份到翌年4月份北方水体处于冰冻期,11、12月份、翌年1、2月份由于水体结冰,相当于浓缩了有机物质的浓度,故 COD_{Mn} 值较高,冬季各样站都以绿色眼虫、近亲游仆虫为优势种,正说明了这一点;3、4月份冰雪逐渐融化,使水体中的有机物得到稀释, COD_{Mn} 值有所下降,生物在组成上出现了多样化的趋势,生物的多样性指数 d 值在增大。7、8月份正值北方的雨季,大量天然水的注入使水体得到稀释有机物含量下降,再加上适宜的环境温度使得生物大量的繁殖。原生动物在整个年度中平均个体丰度出现的顺序是秋季>夏季>春季>冬季。秋季个体丰度大幅度增长的原因在于秋季水体的密度发生变化而使水体底部的营养盐随水的对流现象而增加了水中的营养成分,从而出现了北方水体中生物生殖的高峰,原生动物的个体数量也跟着急剧增长,这一现象与施心路、史新柏^[28]在微齿喜马拉雅低额 的生殖与发育一文中提到的枝角类在秋季出现生殖高峰的观察结果相吻合。由于环境条件的不同各样站生物的增长幅度有所差异,样站1的生物增长幅度远远大于样站2、样站3。而样站2、样站3在同一季节的生物平均个体丰度基本一致,这说明样站2、样站3局域性的水环境基本相同。样站2、样站3出现微弱的

差异其原因在于样站 2 位于和样站 1 的交界处并受样站 1 水环境的影响,故在生物的组成特征上和样站 3 有一定的差异。

从人工湖周年的变化可以看出,11 月份到次年 2 月份原生动物大部分为绿色眼虫、近亲游仆虫、马索隐滴虫,其个体数量较大,分析原因是冬季结冰,有机物质浓缩,细菌和藻类大量繁殖,高密度的细菌和藻类又为大型原生动物纤毛虫提供了饵料来源,有利于其生长繁殖,从而增加了个体丰度,这是营养化水体的基本特征^[1,3,4,13~15]。再加上冬季温度降低,这些都成为生物生存的限制因子,一般认为无论是由重金属和极端有机污染引起严重的环境压迫或者是 pH 值、温度的急剧波动以及任何其他因素引起的环境压迫,一般都会导致种类数目减少和忍耐种类个体密度的增加^[1,12~14]。说明这一时期水体有机污染较为严重,但样站 2、样站 3 好于样站 1,4~6 月份 3 个月水体处于恢复期,种类数增加,多样性指数 d 值增大,7~10 月份 4 个月生物的种类多,并且生物在个体数量上没有悬殊的差异,许多研究报道认为,在健康的水体中,生物群落有许多不同的种类组成,而大多数种类具有相对少的个体数量^[1,3,~14], d 值在 4.158~7.473 之间变化,说明有机污染在一定程度上得到很大的缓解。但是纵观整个周年常年的居留种为绿色眼虫(*Euglena viridis*)、马索隐滴虫(*Cryptomonas marssonii*)、旋回侠盗虫(*Strobilidium gyrans*)、大弹跳虫(*Halteria grandinella*),绝大多数月份 d 值在 2.361~5.988 之间变化,说明此人工湖处于中度或轻度的有机污染状态,应该对此人工湖引起足够的重视,加以保护,防止有机污染进一步恶化。

References:

- [1] Xu M Q, Zhai J J, Shao Y Y. Water quality in Beijing Tonghui River, Using PFU protozoan communities as indicators. *Chinese Journal of Zoology*, 1998, **33**(40):1~7.
- [2] Tian J Y. A study on zooplankton and water pollution of the XiaoQing River. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1985, **2**:64~71.
- [3] Gao Y R, Xu M Q. A study on the effect of heavy metal pollution on phytoplankton community structure in the Lean River. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 1996, **2**(2):175~183.
- [4] Xu M Q. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self-purification effectiveness of the Beijing wastewater canal. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, **11**(1):80~85.
- [5] Shen Y F, Zhang Z S, et al. *Modern biomonitoring techniques using freshwater microbiota*. Beijing: China Architecture&building Press, 1990.
- [6] Cairns J Jr. A strategy for use of protozoan in evaluation of hazardous substances. *Biological Indicators of Water Quality*. 1979:61~67.
- [7] Henebry M S, Cairns J Jr. Monitoring of stream pollution using protozoan communities on artificial substrates. *Trans. AM. Micro. Soc.*, 1980, **99**(2):151~160.
- [8] Chen T, Huang J R. PFU protozoan community colonization procedure and its indication of water quality in Guangzhou urban artificial lakes. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 2004, **10**(3):310~314.
- [9] Shen Y F, Gu M R, Feng W S, et al. Biomonitoring of water pollution. *Life Science*, 1997, **9**(2):81~85.
- [10] Xu R L, Bai Q S, Xie R W. PF Unit protozoan community characteristics and the relation with the water quality in the Guangzhou Reach of the Pearl River. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(4):479~489.
- [11] Xu M Q, Zhu J, Cao H. The relationship between the protozoan community diversity and the water quality in the Baiyangdian Lake. *Acta Ecology Sinica*, 2001, **21**(7):1114~1120.
- [12] Xu M Q, Cao H, Wang Y L. The purification efficiency of the Hangu stabilization ponds and its relationship with biodiversity of protozoan community. *Acta Ecology Sinica*, 2000, **20**(2):283~287.
- [13] Xu M Q, Wang Z J. Monitoring of heavy metal pollution in the lean River and Poyanghu Lake with zooplanktons. *Chin. J. Appl. Environ.*, 2001, **21**(7):1114~1120.
- [14] Xu M Q. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self-purification effectiveness of the Beijing wastewater canal. *Acta Ecology Sinica*, 1996, **20**(3):212~220.
- [15] Cai H J. The response of ciliated protozoan to Eutrophication in Meiliang Bay of Taihu Lake. *Journal of Lake Science*, 1998, **10**(3):43~48.
- [16] Zhang Z S, Huang X F. *The researched methods of plankton in freshwater*. Beijing: Science Press, 1991.
- [17] Kahl A Urtiere. Order protozoa. in: Dahl ed. *Die Tierwelt Deutschlands*. Jena:Fischer, 1930~1935.
- [18] Wilhelm Foissner, Helmut Berger. A user-friendly guide to the ciliates (protozoa ciliophora) commonly used by hydro biologists as bioindicators in rivers, lake, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology*, 1996, **35**:375~482.
- [19] Ogden C G, Hedlay R. *An Atlas of Freshwater Testate Amoebae*. London: Oxford University Press, 1980.
- [20] Patterson D J. *Free-living freshwater protozoan*. London: Manson Publishing Ltd, 2003, **27**(1):64~68.

[21] Shi X L, Yu Y H, Shen Y F. Studies on the morphology and infraciliature vorticella campanula (protozoa, ciliophora, peritrichida). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(1): 64~68.

[22] Levine N D, Corliss J O, Cox F E G, *et al.* A newly revised classification of the protozoa. *J. Protozool.*, 1980, **27**: 37~58.

[23] Song W B. *Pathogenic protozoa in mariculture*. Beijing: Science Press, 2003.

[24] Shi X L. Systematic revision of the Order Hypotrichida II. Urostylina (Ciliophora). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 1999, **24**(4): 361~371.

[25] Shi X L. Systematic revision of the Order Hypotrichida III. Sporadotrichina and Euplotin (Ciliophora). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2000, **25**(1): 9~25.

[26] Environmental protect bureau in china. *The monitoring method of water and wastewater* (the third edition). Chinese Press of Environmental Science. 1989.

[27] Margalef D R. Information Theory in Ecology. *Gen. Syst.*, 1958, **3**: 36~71.

[28] Shi X L, Shi X B. Reproduction and development of *Simocephalus himalayensis microdus* (Crustacea: Cladocera). *Acta Zoological Sinica* 1996, **42**(3): 287~296.

参考文献:

[1] 许木启, 翟家骥, 邵永怡. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京通惠河水质. 动物学杂志, 1998, **33**(40): 1~7.

[2] 田家怡. 小清河的浮游动物与水质污染评价. 海洋与湖沼, 1985, **2**: 64~71.

[3] 高玉荣, 许木启. 乐安江重金属污染对浮游植物群落结构的影响. 应用与环境生物学报, 1996, **2**(2): 175~183.

[4] 许木启. 利用 PFU 原生动物群落监测北京排污河净化效能的研究. 生态学报, 1991, **11**(1): 80~85.

[5] 沈韞芬, 章宗涉, 等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

[8] 陈廷, 黄建荣. 广州市人工湖泊 PFU 原生动物群落群集过程及其对水质差异的指示作用. 应用与环境生物学报, 2004, **10**(3): 310~314.

[9] 沈韞芬, 顾曼如, 冯伟松, 等. 水污染的微型生物监测. 生命科学, 1997, **9**(2): 81~85.

[10] 徐润林, 白庆笙, 谢瑞文. 珠江广州市段 PFU 原生动物群落特征及其与水质的关系. 生态学报, 2002, **22**(4): 479~489.

[11] 许木启, 朱江, 曹宏. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质关系研究. 生态学报, 2001, **21**(7): 1114~1120.

[12] 许木启, 曹宏, 王玉龙. 原生动物群落多样性变化与汉沽稳定塘水质净化效能相互关系的研究. 生态学报, 2000, **20**(2): 283~287.

[13] 许木启, 王子健. 利用浮游动物群落结构与功能特征监测乐安江-鄱阳湖口重金属污染. 应用与环境生物学报, 1996, **2**(2): 169~174.

[14] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果. 水生生物学报, 1996, **20**(3): 212~220.

[15] 蔡后建. 原生动物纤毛虫对太湖梅梁湾水质富营养化的响应. 湖泊科学, 1998, **10**(3): 43~48.

[16] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991.

[21] 施心路, 余育和, 沈韞芬. 钟形钟虫形态学及表膜下纤毛系的研究. 水生生物学报, 2003, **27**(1): 64~68.

[23] 宋微波. 海水养殖中的危害性原生动物. 北京: 科学出版社, 2003.

[24] 施心路. 下毛目纤毛虫的系统修订 II. 尾柱亚目(纤毛动物门). 动物分类学报, 1999, **24**(4): 361~371.

[25] 施心路. 下毛目纤毛虫的系统修订 III. 散毛亚目, 游仆亚目(纤毛动物门). 动物分类学报, 2000, **25**(1): 9~25.

[26] 国家环保总局主编. 水与废水监测分析方法(第 3 版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

[28] 施心路, 史新柏. 微齿喜马拉雅低额 的生殖与发育. 动物学报, 1996, **42**(3): 287~296.