

北京市五景观湖泊浮游藻类评价及聚类分析

卫新锋¹, 赵彦伟¹, 彭可扬², 王喆¹, 任硕仪¹

(1. 北京师范大学环境学院, 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京市三帆中学, 北京 100088)

摘要: 基于北京什刹海、昆明湖、奥运湖、朝阳公园湖、玉渊潭 5 个景观湖泊浮游藻类调查, 对比分析了其数量、种属组成及 Margalef 种类丰富度指数、Shanon-wiever 多样性指数、Pielou 均匀度指数, 结果表明: 除奥运湖外, 其余四湖均为富营养水体, 昆明湖、奥运湖、什刹海水质要好于其它两个; 对 5 个湖泊浮游藻类种属结构与生物指数进行聚类, 种属结构聚类结果是朝阳公园、玉渊潭和奥运湖为一类, 生物指数聚类结果是玉渊潭与朝阳公园湖为一类, 表明再生水对浮游藻类种属结构影响较大, 水质跟生物指数具有一致性。

关键词: 景观湖泊; 浮游藻类; 生物指数; 系统聚类; 再生水

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0212-04

Phytoplankton Evaluation and Cluster Analysis of 5 Landscape-lakes in Beijing

WEI Xin-feng¹, ZHAO Yan-wei¹, PENG Ke-yang², WANG Zhe¹, REN Shuo-yi¹

(1. School of Environment, State Key Laboratory of Water Environmental Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Sanfan Middle School, Beijing 100088, China)

Abstract: Based on the investigation of the phytoplankton in five landscape-lakes, that is, Shichahai Lake, Kunminghu Lake, the Olympic Lake, Chaoyang Park Lake, Yuyuantan Park Lake in Beijing, the biomass, species composition, Margalef's species richness index, Shanon-wiever's diversity index, Pielou's uniformity index of the phytoplankton are contrasted and analyzed. The results show that the others are all identified as eutrophic water body except Olympic Lake, and the qualities of Kunminghu Lake, Olympic Lake and Shishahai Lake are somewhat better than the rest. Besides, composition and the biological indexes of the phytoplankton were used in the cluster analysis, the result is that the Olympic Lake, Chaoyang Park Lake and Yuyuantan Park Lake are in the same category, as for biological index, Chaoyang Park Lake and Yuyuantan Park Lake are in the same category which means reclaimed water has great influence on species structure of phytoplankton, while water quality has the same tendency with biological index.

Key words: landscape lakes; phytoplankton; biological indexes; cluster analysis; reclaimed water

1 引言

城市景观湖泊在旅游、娱乐、洪涝调蓄、排水、调节气候以及改善城市生态环境等方面有重要价值。但多为静止或流动性差的封闭缓流水体, 一般具有水域面积小、水环境容量小、自净能力低等特点^[1], 且机械输入过多的营养, 这种富营养水体易导致藻类疯长, 破坏水体生态平衡, 景观功能受损。浮游藻类直

接生长在水体中, 整个生活史都离不开水, 其生物量、种类及藻类形状均与水域水质有密切关系^[2], 调查并研究浮游藻类是评价与研究湖泊水质的重要途径。

北京市景观湖泊均存在不同程度富营养化, 什刹海、昆明湖分别在 2001 年、2005 年爆发过大规模水华。应用浮游藻类对水体水质进行评价的研究广泛开展^[3-6], 但多是针对河流、水库或自然湖泊, 对处于北方缺水城市, 受人为影响与干扰大城市景观湖

收稿日期: 2008-08-21

基金项目: 国家自然科学基金(50509002); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2005CB724204)

作者简介: 卫新锋(1987-), 男, 河南安阳人, 主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: weixf@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 赵彦伟(1974-), 男, 河南上蔡人, 主要从事河流生态系统健康与修复研究。E-mail: awei-a@163.com

泊的浮游藻类研究相对缺乏,北京城市景观湖泊研究更少。高玉荣^[7]于 1987 年对北京四海浮游藻类叶绿素含量与水体营养水平进行研究,调查了浮游藻类数量,但对其种类组成研究欠缺;杜桂森等^[8]对北京城市河湖营养状态进行研究,其中包括浮游藻类研究,但局限于定性层面;刘靖等^[9]对北京城市河湖营养状态与蓝藻水华的关系开展研究,其中包括对浮游藻类的深入研究,研究对象为长河河段,成果难以应用于相对封闭的城市湖泊。

选取北京市 5 个主要景观湖泊(图 1),调查其浮游藻类,以此评价各湖泊水质,并以聚类分析为手段,研究水质变化原因,为景观湖泊的治理提供科学依据。

2 研究方法

2.1 采样方法

于 2007 年 7 月 25—29 日使用有机玻璃采水器,分别在什刹海、昆明湖、奥林匹克公园、朝阳公园湖、玉渊潭等五湖泊中心与岸边(选 3 个点位)表层、1 m 深处各采一个水样,即每个湖泊采 8 个水样,每个样品 500 ml,现场加入鲁哥氏液。带回实验,将各采样点表层和 1 m 深处的水样混合成 1 个样,经 24 h 沉淀后,取底层水 200 ml 并定容至 500 ml,在 40×10 显微镜下使用计数框观察计数。



图 1 各湖泊分布图

2.2 研究方法

2.2.1 生物指数评价 生物丰度表征群落中种属丰富程度,当水体受污时,敏感种类消失^[10]。健康环境的种属丰度高,受污环境的种属丰度低^[4]。多样性指数越高,群落结构越复杂,稳定性越强,水质越好。均匀度指数也是评价水质一个指标,指数值高,物种的空间分布均匀,群落稳定性大,水质就好^[11]。结合调查数据及适用性,采用 Margalef 种类丰度指数、Shanon—wiever 多样性指数、Pielou 均匀度指数来进行水质评价。计算方法如下:

Margalef 物种丰富度指数:

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

式中: D_m ——物种丰富度指数; N ——浮游藻类总

个体数; S ——浮游藻类总种类数;

Shanner—wiever 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S (n_i/n) \ln(n_i/n)$$

式中: H ——多样性指数; n ——浮游藻类的总个体数; S ——浮游藻类种类数; n_i —— i 种浮游藻类个体数。

Pielou 均匀度公式:

$$J = H / H_{max}$$

式中: J ——均匀度; H ——浮游藻类 Shanner—wiever 多样性指数; H_{max} ——多样性指数最大值; $H_{max} = \ln S$; S ——浮游藻类种类总数。

2.2.2 聚类分析 聚类分析可用于研究样本之间相似性。拟采用系统聚类法^[12]对浮游藻类种属结构与生物指数进行聚类,具体过程如下:

对数据进行总和标准化处理,采用欧氏距离,使用最短距离法进行聚类分析。总和标准化方法为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n), \text{ 且}$$

$$\sum_{i=1}^m x'_{ij} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

式中: x'_{ij} ——总和标准化后数据; x_{ij} ——第 i 样品的第 j 个指标。

欧式距离计算方法为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (i, j=1, 2, \dots, m)$$

系统聚类计算在 Matlab 7.3.0(R2006b)中完成。

3 结果及分析

3.1 数量比较

5 处景观湖泊浮游藻类平均密度相差较大,但总体浓度均较高(表 1)。以浮游藻类密度 $> 100 \times 10^4$ 个/L 为富营养, $30 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ 个/L 为中营养, $< 30 \times 10^4$ 个/L 为贫营养作为判定水质营养型的标准^[9],除了奥运湖外,其他 4 个湖泊均处于富营养状态,以朝阳公园最为严重。其中,朝阳公园浮游藻类平均浓度最大,为 $6 487.92 \times 10^4$ 个/L,奥运湖浮游藻类平均浓度最小,为 52.99×10^4 个/L,前者是后者的 122 倍。

3.2 种类组成

什刹海浮游藻类 6 门 27 属 36 种,昆明湖 7 门 28 属 44 种,奥运湖 6 门 23 属 27 种,朝阳公园 6 门 22 属 29 种,玉渊潭 6 门 19 属 24 种(表 2)。什刹海蓝细菌和绿藻门占优势,其数量分别占该水体浮游藻类总数 37.09% 和 37.35%;朝阳公园和玉渊潭均为蓝细菌占优势,其数量分别占浮游藻类总数的

73.56% 和 65.47%。蓝细菌和绿藻门数量多,金藻、黄藻和甲藻量少,往往是水环境污染的表征^[13],反映三处湖泊受到一定程度污染。当月水质公报也显示,朝阳公园和玉渊潭为劣 V 类水体,验证了浮游藻类监测结果。昆明湖硅藻门密度占浮游藻类总数的 63.69%,为优势种群;奥运湖同样是硅藻门为优势种群,丰度达到 46.80%。硅藻多数在轻污或中污的水体中生长^[9],反映了两处水体受污染较轻,当月水质公报^[14]显示二者水质为 III 类。

表 1 各湖泊浮游藻类密度与优势种

取样湖泊	藻类密度/ (10 ⁴ 个 · L ⁻¹)	优势种	优势种 丰度/%
什刹海	249.78	水华微囊藻	56.86
		点形平裂藻	
		盘星藻属	
昆明湖	1702.28	尖针杆藻	62.84
奥运湖	52.99	针杆藻属	27.31
朝阳公园	6487.92	中华尖头藻	46.21
玉渊潭	1736.99	中华尖头藻	48.81
		尖针杆藻	

在各采样点,优势种有所不同(表 1)。什刹海水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、点形平裂藻(*Oscillatoria punctata*)、盘星藻属(*Pediastrum*)为优势种,前两者为中污带指示种,后者为寡污带指示种。玉渊潭尖针杆藻(*Synedra acus*)、中华尖头藻(*Raphidiosis sinensia*)为优势种,为中污带指示种;昆明湖、奥运湖、朝阳公园优势种分别为尖针杆藻(*Synedra acus*)、针杆藻属(*Synedra rumpens*)、中华尖头藻(*Raphidiosis sinensia*),也为中污带指示种。但以上所有浮游藻类均为富营养化水体常见藻类^[15]。

3.3 生物指数比较

Margalef 指数计算结果显示,昆明湖和什刹海丰富度较高,玉渊潭和朝阳公园丰富度较低(表 3),同当月水质类别(III、III、劣 V)显示出较强的对应性。Pielou 均匀度指数则显示,什刹海和奥运湖较大,昆明湖最小,同昆明湖优势藻优势过大有关。什刹海和奥运湖 Shanon-wiever 指数较大,昆明湖则最小,与 Margalef 丰度指数和 Pielou 均匀度指数相关性差,主要是由于昆明湖尖针杆藻(*Synedra acus*)和针杆藻属(*Synedra rumpens*)优势过大,数量达到总数量 80% 以上。

3.4 聚类结果比较

采用系统聚类对浮游藻类种属数量结构与指数进行了聚类分析,结果见图 2,图 3,聚类结果显示:

奥运会、朝阳公园和玉渊潭相似性较高,可聚为一类;五渊潭和朝阳会园为一类,昆明湖什刹海奥运湖为一类。

表 2 各湖泊浮游藻类群落组成

采样点	什刹海	昆明湖	奥运湖	朝阳公园	玉渊潭	
硅藻门	属	7	7	8	6	3
	种	7	10	9	7	3
绿藻门	属	11	8	5	5	5
	种	16	16	8	8	7
黄藻门	属	1	1	1	1	1
	种	3	3	1	2	3
蓝细菌	属	6	8	6	7	8
	种	7	9	6	9	9
隐藻门	属	1	1	1	1	1
	种	2	2	1	1	1
裸藻门	属	1	2	2	2	1
	种	1	2	2	2	1
甲藻门	属	0	1	0	0	0
	种	0	2	0	0	0
总计	属	27	28	23	22	19
	种	36	44	27	29	24

表 3 浮游藻类生物指数

采样点	Margalef	Shanon-wiever	Pielou	水质类别
什刹海	5.47	3.81	0.73	III
昆明湖	5.94	1.83	0.33	III
奥运湖	4.54	3.47	0.72	III
朝阳公园	3.58	2.57	0.52	V ₂
玉渊潭	3.17	2.85	0.62	V ₂

注:水质类别来源于北京市环保局 2007 年水质月报; V₂ 为劣 V 类的第二级

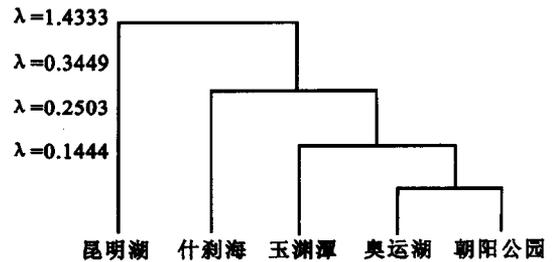


图 2 浮游藻类种属结构系统聚类图

浮游藻类种属数量结构聚类结果显示,奥运湖、朝阳公园和玉渊潭相似性较高,可聚为一类;对指数进行聚类结果显示,玉渊潭和朝阳公园为一类,昆明湖、什刹海和奥运湖聚为一类。

浮游藻类种属结构聚类结果均显示,朝阳公园、玉渊潭和奥运湖相似性较高,昆明湖和其他四湖的差别较大。分析原因,朝阳公园、玉渊潭和奥运湖的

水源基本为污水处理厂深度处理后再生水,水源类型一致,浮游藻类种属构成具有相似性,故聚为一类,表明浮游生物种属结构跟水源类型具有一致性。丁国际^[16]等人研究表明,再生水对栅藻属和小球藻属生长抑制作用大于促进作用,前者两种藻类均属绿藻门,观察表 2 可发现,以再生水为水源的景观湖泊中,绿藻门种属数量明显少于以自然水为水源的景观湖泊,再生水对种属结构影响较大,也佐证了聚类分析结果。浮游藻类生物指数跟水体水质具有一致性,水质状态好坏表现在浮游藻类指数变化上,昆明湖、什刹海与奥运湖均为 III 类水体,玉渊潭与朝阳公园为劣 V 类水体,故分别聚为一类。

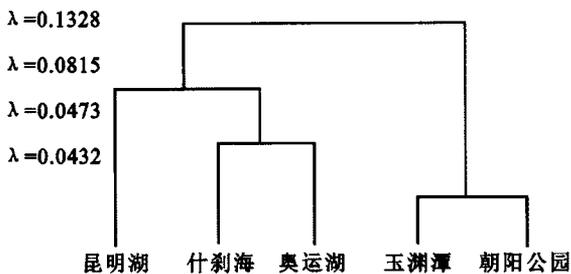


图 3 浮游藻类生物指数系统聚类图

4 结论

5 个景观湖泊中,朝阳公园、玉渊潭、昆明湖与什刹海均处于富营养化状态,以生活污染为主,仅奥运湖处于中营养状态,以面源污染为主。浮游藻类优势藻类数量与优势种分析显示,什刹海、昆明湖、奥运湖较玉渊潭和朝阳公园湖水水质好,与水质公报和实地监测结果中前三者为 III 类水体、后两者为劣 V 类水体结果相符。浮游藻类指数计算结果显示,什刹海和奥运湖群落结构较为稳定,而玉渊潭和朝阳公园稳定性差,昆明湖优势种硅藻门比率较大,Shanon-wiever 多样性指数和 Pielou 均匀度指数最小。对五个湖泊浮游藻类种属结构聚类分析表明,朝阳公园、玉渊潭和奥运湖相似性较高,水源类型(再生水或自然水)对浮游藻类种属结构影响明显,尤其是对绿藻门影响最大;对生物指数聚类分析结果表明,玉渊潭与朝阳公园湖为一类,生物指数与水质类别具有一致性。

参考文献:

- [1] 郭迎庆. 城市景观水体的污染控制和修复技术[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(增刊): 148-150.
- [2] 王旭. 浮游藻类在环境评价中的作用[J]. 环境污染与防治, 1991, 13(2): 31-34.
- [3] 王朝晖, 韩博平, 胡韧, 等. 广东省典型水库浮游植物群落特征与富营养化研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 402-405.
- [4] 李军, 刘丛强, 肖化云, 等. 太湖北部夏季浮游藻类多样性与水质评价[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 453-456.
- [5] 吴乃成, 唐涛, 周淑婵, 等. 香溪河小水电的梯级开发对浮游藻类的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1091-1096.
- [6] 李玉英, 高宛莉, 李家峰. 南水北调中线水源区浮游植物时空分布及其营养状态[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 14-22.
- [7] 高玉荣. 北京四海浮游藻类叶绿素含量与水体营养水平的研究[J]. 水生生物学报, 1992, 16(3): 237-244.
- [8] 杜桂森, 王建厅, 张为华. 北京城市河湖的营养状态分析[J]. 北京水利, 2002(6): 25-28.
- [9] 刘靖, 杜桂森, 武佃卫, 等. 北京城市河湖营养状态与蓝藻水华研究[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 5-8.
- [10] 周广杰, 况琪君, 胡征宇, 等. 三峡库区四条支流藻类多样性评价及“水华”防治[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3): 337-341.
- [11] 廖祖荷, 周振明, 康彩艳, 等. 应用浮游藻类评价桂湖水质的研究[J]. 湖南师范大学: 自然科学学报, 2005, 28(4): 70-74.
- [12] 程子峰, 徐富春. 环境数据统计分析基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006, 109-118.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 649-658.
- [14] 北京市环保局. 北京市环保局政务公开. (2007-08-10) [2007-10-20][EB/OL]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjhb>.
- [15] 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 136-144.
- [16] 丁国际, 何星海, 高士荣, 等. 再生水补充人工湖水对藻类生长影响的试验研究[J]. 给水排水, 2005(12): 48-50.