

北京鸿华高尔夫球场人工湖富营养化及其成因

张敏¹ 常智慧¹ 周云龙² 韩烈保^{1,3}

(¹北京林业大学草坪研究所 ²北京师范大学生命科学学院 ³长江大学园艺园林学院)

摘要:为评价北京鸿华高尔夫球场人工湖的营养状态,并探讨影响球场湖泊富营养化的原因,2008年4—10月,对球场的两个子人工湖(1号湖和4号湖)水体的浮游藻类和水体理化性质进行监测。结果显示,球场两湖水体的浮游藻类主要由蓝藻门、硅藻门和绿藻门组成,其中,蓝藻门的数量占绝对优势;两湖浮游藻类的优势种呈明显的季节变化。鸿华高尔夫球场两人工湖水体在试验期内综合营养状态指数(TLE)的范围分别为49.47~65.56和52.67~68.39,显示为两湖水体已达到轻度富营养至中度富营养的状态。

关键词: 高尔夫球场; 人工湖; 浮游藻类; 富营养化

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2010)01-0124-06

ZHANG Min¹; CHANG Zhi-hui¹; ZHOU Yun-long²; HAN Lie-bao^{1,3}. Eutrophication and its causes in artificial lakes of Beijing Honghua Golf Course. Journal of Beijing Forestry University(2010) 32(1) 124-129 [Ch, 20 ref.]

¹ Turfgrass Institute Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

² College of Life Science Beijing Normal University, 100875, P. R. China;

³ College of Gardening and Horticulture of Yangtze University, Jingzhou City, Hubei Province 434025, P. R. China

In order to evaluate nutrient condition and determine the causes of eutrophication in the artificial lakes of Beijing Honghua Golf Course, we monitored the mineral content, phytoplankton density, physical and chemical properties in two lakes (No. 1 and 4) of the course from April to October in 2008. The results showed that the composition of phytoplankton was dominated by Cyanobacteria, Bacillariophyta and Chlorophyta, with Cyanobacteria as the most dominant component. Dominant species of phytoplankton changed seasonally. The comprehensive trophic level index (TLE) of two lakes were 49.47-65.56 and 52.67-68.39, respectively, both showing light to medium eutrophication.

Key words: golf course; artificial lake; phytoplankton; eutrophication

高尔夫球场通常球道长度为6 400~7 000 m,占地面积40~60 hm²,由18洞构成。其中,草坪和树木占整个球场面积的70%左右,剩余面积由沙坑和水塘构成,而水面面积接近整个球场的30%。水体的生态环境健康,是提高球场景观表现的重要部分,对球场的声誉也十分重要^[1]。但是,随着高尔夫球场对草坪草高质量的养护,农药化肥的施用比例逐年递增,土壤有机质含量逐渐降低,土壤保肥能力减少。每逢降雨,大量的营养物质以溶解态和吸

附态随地表径流汇入球场人工湖,对水质造成严重污染,从而,导致湖泊形成富营养化^[2]。这种由农田氮磷流失所引起的农业非点源污染已引起广泛关注,化肥的过量施用是农业非点源污染的主要原因^[3]。Miller^[4]的研究显示,在美国,即使点源污染得到全面控制,湖泊的水质达标率仅为42%,而农业非点源污染源占美国所有湖泊营养物质负荷总量的57%。国内对于湖泊富营养化的研究及治理也有相关报道^[5],但关于高尔夫球场的水环境管理与湖

收稿日期: 2008-12-17

基金项目: “863”国家高技术研究发展计划项目(2006AA10Z132)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD01A19、2006BAC18B04-1)。

第一作者: 张敏。主要研究方向: 高尔夫球场与运动场草坪。电话: 010-62348876 Email: zhzh-@163.com 地址: 100083北京清华东路35号北京林业大学570信箱。

责任作者: 韩烈保,教授,博士生导师。主要研究方向: 草坪科学与管理。电话: 010-62337982 Email: hanlb@tm.com 地址: 100083北京清华东路35号北京林业大学116信箱。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

泊富营养化的研究鲜见报道。

本文主要从研究浮游藻类群落变化的角度出发,对鸿华高尔夫球场人工湖的浮游藻类组成、密度和优势种进行调查,结合湖泊水质的理化性质监测,评价人工湖水体富营养化的现状,并分析高尔夫球场人工湖富营养化产生的原因,以期为高尔夫球场水环境保护和改善其生态服务功能提供理论依据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地点选在北京鸿华高尔夫球场,东经 $116^{\circ}42'$,北纬 $40^{\circ}01'$ 。鸿华高尔夫球场年降水总量 540.8 mm ,主要集中在 4—10 月。年均气温 13.0°C ,最高气温 35.8°C ,最低气温 -10.3°C 。球场土壤为褐色森林土,树木为常绿树种。地表水体的面积为 $74\ 000\text{ m}^2$,研究的两个子人工湖水体面积分别为 $4\ 500\text{ m}^2$ 左右和 $5\ 000\text{ m}^2$ 左右,人工湖最大水深为 5 m ,所有人工湖水源均来自地下水。

1.2 采样点设置与采样方法

根据鸿华高尔夫球场人工湖的不同位置和功能,试验选取两个人工湖(1号湖和 4号湖)共设置 6 个采样点位(图 1)。其中 1号湖属于全封闭型的

湖泊,湖泊入水口位于湖底; 4号湖属于半封闭型的湖泊,湖底设置入水口,且 6号、8号球洞湖泊水体最终汇入 4号湖。试验取样均在水面下 0.5 m 处进行。采样点位的设置参照《水和废水监测分析方法》^[6]进行。采样时间为 2008 年 4—10 月,每月进行 1 次采样。

浮游藻类水样的采集使用 1 L 的塑料瓶,其他水体理化指标的样品采集均用 600 mL 的塑料瓶。所有样品瓶使用前应彻底清洗干净,装入水样前,先用水样冲洗样品瓶 2~3 次。

1.3 水样处理及藻类细胞计数

浮游藻类的水样采集后立即用鲁哥氏液固定,沉淀 24 h 去除上清液、收集藻类细胞、定容至 30 mL 用浮游植物计数框在光学显微镜下 40 倍观察计数^[7]。对于水体理化性质的监测,监测的项目选取与水体富营养化密切相关的水温、透明度(SD)、pH 值、高锰酸钾指数(CODMn)、总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素 a(Chla)这 7 个指标。对叶绿素 a 的采集同样要立即固定,固定液为 1% 的碳酸镁溶液^[6]。对理化性质水样的检测样品立即送往北京市地表水理化监测中心进行检测。

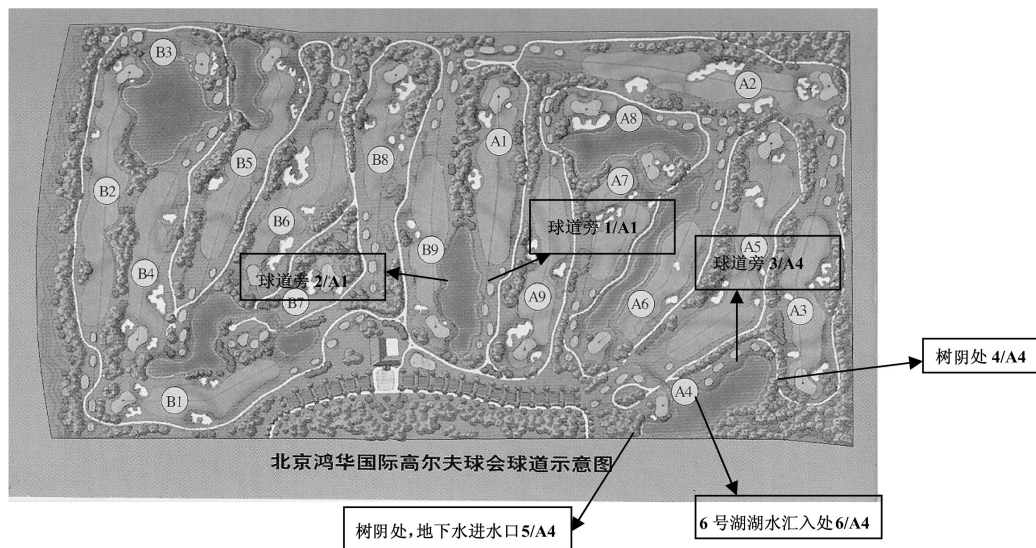


图 1 两湖浮游植物采样点位

Fig 1 Sampling sites of phytoplankton in two lakes

2 结果与讨论

2.1 浮游藻类群落组成和细胞密度以及优势种群

利用浮游藻类对湖泊水体进行富营养化的监测与评价,主要是通过对浮游藻类的种群种类和数量变化的测定和分析,判定水体的污染和富营养化状况。其主要原理是生态系统及群落层次可通过生物多样性效应来指示水体污染物对水环境内群落及系

统进化的影响,以实现水污染的生物监测^[8]。系统及群落对水质变化的生态效应主要表现在以下几个方面:某些指示种的出现或消失;水生生物群落种类数量的增减及结构的改变;个别种群内部数量与结构的变化;生产力高低程度的变化,等等。应用浮游藻类对湖泊水质进行监测,与传统的理化检测方法相比,最主要的优点是可以直接监测出生态系统已经发生的变化或已经产生影响而没有显示出不良

效应的信息。

2.1.1 浮游藻类的群落组成和细胞密度

鸿华高尔夫球场的两个人工湖水体中的浮游藻类共有 7 个门、62 种。两湖浮游藻类的群落组成和细胞密度监测结果见表 1。由表 1 可以看出, 两湖浮游藻类的比例均为: 蓝藻门 (Cyanophyta) > 硅藻门 (Bacillariophyta) > 绿藻门 (Chlorophyta) > 隐藻门 (Cryptophyta) > 裸藻门 (Euglenophyta) > 甲藻门 (Pyrrophyta)。试验期内, 两湖蓝藻门浮游藻类细胞密度的平均值分别为 182.92×10^6 和 64.78×10^6 个/L, 各占其整个浮游藻类细胞密度的 92.93% 和 85.29%, 蓝藻门的浮游藻类占绝对优势。这说明湖泊水体中含有大量的营养物质^[9], 表明两湖均呈现富营养化的状态。此外, 结果中还可以看出, 4—7 月间, 4 号湖存在 1 号湖中没有出现的金藻门

(Chrysophyta)的锥囊藻属 (Dinobryon)。根据《中国淡水藻类——系统、分类及进化》^[7]中的记载, 金藻门的浮游藻类是能够反应湖泊贫营养状态的优势种, 锥囊藻属通常是生长在清洁、贫营养的水体中, 可以看出, 在这个时期内, 4 号湖与 1 号湖的营养水平相比略低。

由表 1 可以得出, 两湖藻类的细胞密度均较高, 试验期内两湖浮游藻类细胞密度的平均值分别为 196.84×10^6 和 75.95×10^6 个/L。根据有关文献^[10]水质营养型的单项评价指标: 浮游藻类量 (10^4 个/L) < 30 为贫营养, 30~100 为中营养, >100 为富营养。根据上述评价指标, 两湖每个月的藻类细胞密度都远远超过 10^6 个/L 说明两湖均已处于富营养化的状态。

表 1 两湖区浮游植物群落构成与细胞密度

区域	采样时间	蓝藻门	隐藻门	甲藻门	金藻门	硅藻门	裸藻门	绿藻门	小计
1号湖	04-21	1.47	0.93	0.13	0	17.54	3.67	5.54	29.28
	05-13	9.44	0.71	0.13	0	11.26	0.41	5.86	27.82
	06-11	15.67	0.98	0.10	0	6.71	0.03	12.27	35.76
	07-02	123.41	2.44	0.18	0	7.64	0.29	11.79	145.74
	08-04	273.04	0.27	0.10	0	0.60	0.13	2.23	276.37
	09-09	547.30	0.20	0.13	0	0.13	0.33	2.79	550.89
	10-14	310.16	0.13	0.13	0	0.07	0.20	1.33	312.01
	平均	182.92	0.81	0.13	0	6.28	0.73	5.97	196.84
	比例 %	92.93	0.41	0.06	0	3.19	0.37	3.03	100
4号湖	04-21	17.51	0.82	0.10	4.12	7.49	0.37	3.16	33.58
	05-13	7.74	1.09	0.18	0.14	12.79	0.12	4.05	26.11
	06-11	17.82	0.48	0.27	2.44	11.08	0.09	5.09	37.28
	07-02	29.17	0.21	0.28	0.15	0.23	0.15	1.37	31.55
	08-04	36.47	0.10	0.50	0	2.20	0.13	6.29	45.69
	09-09	271.27	0.63	0.17	0	0.42	1.43	1.30	275.22
	10-14	73.49	0.68	0.15	0	2.92	0.35	2.88	82.22
	平均	64.78	0.57	0.24	0.98	5.30	0.38	3.45	75.95
	比例 %	85.29	0.76	0.32	1.29	6.98	0.50	4.54	100

从浮游藻类细胞密度的季节变化来看 (表 1), 随着光照增强、水温升高, 两湖水体中浮游藻类细胞密度逐渐增加, 于 9 月达到最高值, 但 10 月开始明显下降。其中 1 号湖在 4—6 月变化平稳, 数量保持在 $27.82 \times 10^6 \sim 35.76 \times 10^6$ 个/L, 而在 7—9 月, 浮游藻类的细胞密度急剧增加。在 4 号湖中, 7 个月中浮游藻类细胞密度的变化比较平稳, 其平均值为 75.95×10^6 个/L, 只有在 9 月出现激增, 其细胞密度是 4 号湖藻类细胞密度平均值的 3.6 倍, 总的来说, 4 号湖的富营养化的程度较 1 号湖低。

2.1.2 浮游藻类的优势种

浮游藻类为单细胞或群体, 对水体理化与生物性状的变化反应较敏感, 其优势种群对水体的营养

程度有指示作用^[9]。从鸿华高尔夫球场试验期内对各点位浮游藻类优势种的调查结果来看: 春季, 鸿华高尔夫球场人工湖的优势种 (属) 有针杆藻 (Synedra)、平裂藻 (Merismopedia) 和鱼腥藻 (Anabaena); 到了夏季, 蓝藻门的铜绿微囊藻 (Microcystis aeruginosa)、平裂藻和惠氏集胞藻 (Synechocystis crassa) 成为优势种 (属)。从金相灿等^[11]在不同营养状态湖泊、水库中的常见浮游植物优势种类的分类标准来看, 两湖的优势种显示人工湖的营养状况已达到富营养化或重富营养化程度。这种结果主要是随着季节的变化而来。春季水温低, 两湖出现了以硅藻门的针杆藻为优势的种群; 夏季蓝藻和绿藻随着水温升高增长较快, 取代硅藻成

为优势种,而硅藻数量有所下降,也表明了蓝藻的生长需要更高的温度^[12]。蓝藻门中的微囊藻属、鱼腥藻属是淡水中常见的有潜在危害性的藻类,可分泌毒素,是典型的污染指示种^[9]。

2.2 球场人工湖的营养状态

本试验选取简便准确的综合营养状态指数法 TL_E 作为评价方法,在监测球场两个人工湖不同点位各季节的叶绿素 a (Chl_a)、高锰酸钾指数 (CODMn)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 和透明度 (SD) 的基础上,计算其综合营养状态指数^[13]。

综合营养状态指数的计算公式为

$$TL_E = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TL_j$$

式中: TL_E 为综合营养状态指数; TL_j 为第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重, m 为评价参数的个数。以 Chl_a 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chl_a 的相关系数。

中国湖泊的 Chl_a 与其他参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}² 见表 2。

表 2 中国湖泊部分参数与 Chl_a 的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}² 值

Tab 2 Correlations between Chl_a and some parameters in Chinese lakes (r_{ij} r_{ij}²)

	Chl _a	TP	TN	SD	CODMn
r _{ij}	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
r _{ij} ²	1	0.705 6	0.672 4	0.688 9	0.688 9

营养状态指数计算式为

$$TL_{Chl_a} = 10(2.5 + 1.086 \ln Chl_a)$$

$$TL_{TP} = 10(9.436 + 1.624 \ln TP)$$

$$TL_{TN} = 10(5.453 + 1.694 \ln TN)$$

$$TL_{SD} = 10(5.118 - 1.94 \ln SD)$$

$$TL_{CODMn} = 10(0.109 + 2.661 \ln CODMn)$$

根据综合营养状态指数 (从 0~100 的一系列连续数字) 对湖泊营养状态进行分级: TL_E < 30 为贫营养; 30 ≤ TL_E ≤ 50 为中营养; TL_E > 50 为富营养, 其中 50 < TL_E ≤ 60 为轻度富营养, 60 < TL_E ≤ 70 为中度富营养, TL_E > 70 为重度富营养。鸿华高尔夫球场两湖的 TL_E 及营养状态见表 3。

从表 3 中可以看出, 两湖的综合营养状态指数存在着季节变化。1 号湖中, 在整个试验期内 TL_E 在 49.47~65.56 之间, 平均值为 59.00, 营养状态属于轻度富营养化。其中, 5、7、8 月 3 个月的营养水平为轻度富营养化; 4、9、10 月位于中度富营养化

表 3 2008 年 4—10 月两湖综合营养状态指数比较

Tab 3 Comparison of TL_E in two lakes from April to October 2008

采样时间	1号湖		4号湖	
	TL _E	营养状态	TL _E	营养状态
04-21	60.14	中度富营养	52.67	轻度富营养
05-12	56.47	轻度富营养	56.64	轻度富营养
06-11	49.47	中营养	52.86	轻度富营养
07-02	57.32	轻度富营养	54.93	轻度富营养
08-04	59.78	轻度富营养	61.39	中度富营养
09-09	65.56	中度富营养	68.39	中度富营养
10-14	64.29	中度富营养	56.97	轻度富营养
平均	59.00	轻度富营养	57.69	轻度富营养

的营养程度, 营养水平较高; 6 月的 TL_E 最低, 处于中营养状态。这种在试验期内出现的低营养水平现象的原因与高尔夫球场对人工湖实施的控藻管理有关, 鸿华高尔夫球场在 6 月上旬使用了控藻剂。该控藻剂主要是由植物提取物制成, 其作用机理是: 植物提取药剂利用某些水生植物对藻类的化感作用, 通过提取水生植物释放的化学物质进行抑藻^[14]。

在 4 号湖中, 4—10 月的 TL_E 在 52.67~68.39 之间, 平均值为 57.69。除 8、9 月营养状态为中富营养化外, 其他 5 个月均处于轻度富营养水平。6 月的 TL_E 为 52.86, 同样出现了小幅的下降, 说明控藻措施对人工湖营养状态有一定影响。

2.3 人工湖富营养化的成因分析

2.3.1 土壤养分管理

鸿华高尔夫球场人工湖水体中氮磷等营养物质的输入主要来自于对球场草坪草施用的化肥等。由于化肥的施用量过多, 造成的土壤养分失衡, 当化肥施用量超过一定水平以后, 其养分流失量显著增大, 则引起氮素、磷素和钾素对环境的潜在威胁^[3]。

鸿华高尔夫球场的肥料施用以复合肥为主, 草坪生长后期逐步加适量的微量元素。复合肥主要为追肥 (25-0-5)、叶面肥 (15-5-10) 和果岭肥 (18-6-15), 其中叶面肥主要施用于球道和高草区, 追肥则用于几乎所有的草坪草生长区域。果岭肥的施用量为 34 g/m², 叶面肥的施用量为 30 g/m², 追肥的施用量依据球场的不同区域而不同。就一般水平而言, 我国草坪每年应施肥 2 次, m(N):m(P):m(K) 约为 10:6:4 (其中氮总量的 1/2 应为缓效氮), 一次施用量约为 7~10 g/m²^[15]。由此看出, 鸿华高尔夫球场的施肥量对湖泊水体存在威胁。再加上高尔夫球场除果岭和发球台为人工土层, 其他采用自然土壤上覆沙, 土壤透水性强的特点, 以及存在地势坡度等因素, 土壤养分流失可能成为湖泊富营养化的重要原因。

2.3.2 氮磷因子的作用

氮磷营养因子是造成水体富营养化的主要元素^[13]。7个月的水体理化检测结果显示,两湖 TN 含量的平均值分别为 1.45 和 1.88 mg/L, TP 含量的平均值各为 0.08 和 0.11 mg/L(图 2)。一般认为湖泊水体 TN 浓度为 0.2 mg/L, TP 浓度为 0.02 mg/L 是湖泊富营养化的发生浓度^[16]。按此标准来看,两者都远高于国际上公认的富营养化水体 TN 和 TP 的初始浓度,表明两湖已处于湖泊富营养化的状态。

鸿华高尔夫球场 TN、TP 含量的季节变化见图 2。图 2 表明,1 号湖的 TN、TP 含量季节变化不明显。图 2 中的两次峰值,即 8 月中 TN 含量和 9 月中的 TP 含量均在 4 号湖中出现。由浮游藻类的季节变化(表 1)可以看出,1 号湖从进入雨季以来,其浮游藻类的细胞密度逐步增加,而 4 号湖只有在 9 月显示出浮游藻类的急剧增加。许多研究表明^[17],湖泊富营养化的发生与 TP 含量的关系更为密切。通过对 4 号湖浮游藻类的细胞密度和 TN、TP 含量

作相关性分析可知,浮游藻类的细胞密度与 TP 含量有极显著的相关性($r=0.9943$),而与 TN 含量的相关性不显著($r=-0.1653$),这说明 TP 含量的增加是 4 号湖藻类暴发更为主要的原因。

1 号湖中 TN 含量的平均值为 1.45 mg/L 其中在 4-5、7、9 月出现 3 个阶段 TN 含量增加值; TP 含量的平均值为 0.08 mg/L 增加值主要出现在 4 月及 9-10 月。在 4 号湖中, TN 含量逐渐增加,8 月达到高峰后,9 月回落于平均状态; TP 含量在 5 月出现小幅上升之后,于 9 月达到最高值,之后回落。

人工湖水体中氮磷含量的季节变化与高尔夫球场的日常养护管理密切相关。对鸿华高尔夫球场施肥状况的调查显示:春季和夏末秋初是球场主要施肥时期,球场在 3-4 月,即草坪草需要返青和生长的时期,人工湖水体氮磷含量呈小幅上升;7 月下旬和 9 月上旬施用了缓释肥,这些主要用于促进草坪草根系生长,增强草坪草的抗逆和抗病能力的草坪生长调节剂,同样促进了 TN、TP 含量的增加。

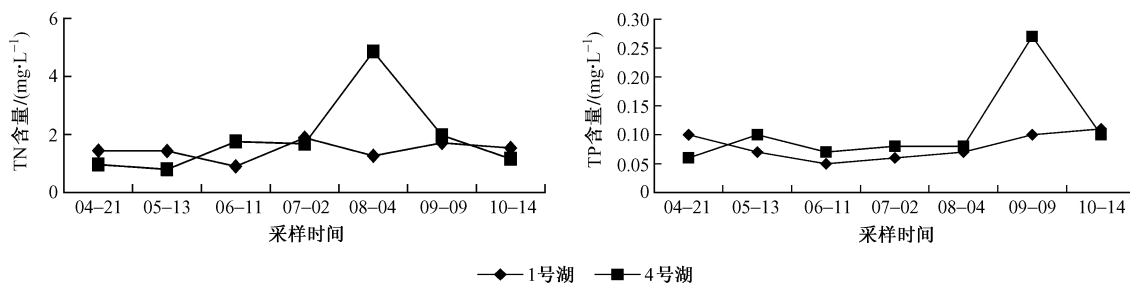


图 2 两湖水域 TN、TP 含量的季节变化

Fig 2 Seasonal changes of TN and TP content in two lakes

2.3.3 湖泊功能

浮游藻类在湖泊中都是存在的,在流动性好的湖泊中不易大量繁殖,仅存在于人工湖泊边缘的静水区内,不会对水体产生大的威胁^[18]。对比两人工湖泊水体,1 号湖主要起着储水的功能,因水流速度减缓,静水面积大,为浮游生物的生长提供了很好的繁殖条件。所以,在营养物质输入相似的情况下,流动性差的湖泊中静水浮游生物得到了激增,对水质形成了威胁。

王孟等^[19]在对长江流域大型水库富营养化成因分析中也指出,以底层水为出水量的水库,水位落差较大,水流量大,水滞留时间短,水的自净能力强,不利于浮游藻类的生长,水质较好;而以表层水为出水量的水库,水滞留时间相对较长,水位变化较小,是浮游生物的生长有利的水文条件,通常水质相对较差,富营养化现象较严重。据调查,鸿华高尔夫球场的 4 号湖是与球场其他人工湖连通的水域,其水

位低于临近水体,当临近水域水位增高时,过多的水体汇入 4 号湖;4 号湖湖底设置抽水泵,当湖水增加时,4 号湖的水体被用作灌溉水源,起着补充浇灌的作用。参考王孟等对水库的研究,比较各采样点位浮游藻类细胞密度可以得出(图 3),4 号湖的藻类细胞密度较小,富营养化程度较轻,因为 4 号湖的出湖水流影响了湖泊的水流及分层,从而影响湖泊的水动力过程,使水质发生变化。特别是在雨季,由降雨产生的地表径流带来大量的营养物质,汇入人工湖水体中,导致藻类水华,形成湖泊的富营养化。对比在这段时间内 1 号湖中的浮游藻类细胞密度(表 1)可知,4 号湖对藻类暴发的抑制性强于 1 号湖。

2.3.4 湖泊生态系统的破坏

水生植被在浅水湖泊生态系统自然演替过程中具有特殊意义,水生高等植物不仅能够快速吸收水体和沉积物中的营养盐,抑制底泥中营养物质的释放,分泌产生他感物质抑制浮游植物生长,而且对湖

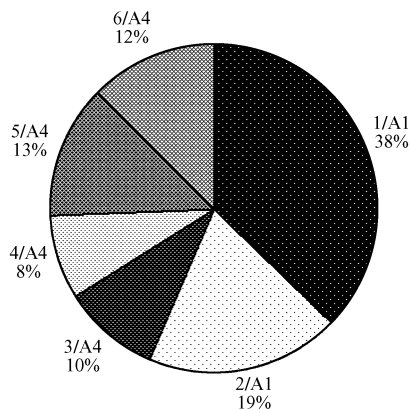


图 3 各点位浮游藻类细胞密度分布
Fig 3 Cell density distribution of phytoplankton at different sampling sites

泊生态系统的物理、化学及生物学特征有重要影响^[20]。鸿华高尔夫球场的湖底因铺设防渗膜,影响了水生植物种群的自然生长,破坏了水生生态系统的稳定性。所以,当湖泊水体受氮、磷等营养物质的输入时,再加上有适宜水文、气象等条件,湖泊自净能力低,浮游藻类大量增长,湖泊的富营养化状况也就相应加重。

3 结 论

1)从浮游藻类群落组成和细胞密度来看,鸿华高尔夫球场两人工湖的浮游藻类主要是以蓝藻门为主,两湖浮游藻类细胞密度平均值显示,其营养水平远远超过评价水质营养状态的单项指标值。在利用优势种的指示作用分析湖泊的富营养化现状时,显示出两湖的营养状况已达到富营养化或重富营养化程度。从浮游藻类细胞密度的季节变化来看,浮游藻类的细胞密度在夏季急剧增加。

2)应用综合营养状态指数,评价鸿华高尔夫球场两人工湖富营养水平的结果显示,试验期内,1号湖TL_k在49.47~65.56之间,4号湖TL_k在52.67~68.39之间,两湖的营养状态均呈现为轻度富营养化至中度富营养化。综合营养状态指数法的评价结果与利用浮游藻类优势种的评价结果相一致。

3)影响鸿华高尔夫球场人工湖富营养化的主要原因是:球场土壤养分管理——施肥,导致了氮磷等营养物质随降水输入人工湖,从而引起的湖泊富营养化,尤其体现在暴雨多发的夏季;总磷是鸿华高尔夫球场人工湖富营养化的重要因子,人工湖富营养化程度存在季节变化,这与施肥时间保持一致;从湖泊功能来讲,作为用于灌溉水源的4号湖,其出湖水流影响了湖泊的水流及分层,从而影响湖泊的水

动力过程,使富营养程度低于单纯用于储水功能的1号湖;高尔夫球场因节水的需要,在湖底铺设的防渗膜,造成水生植物稀少,生态系统的多样性遭到破坏,也是加重北京鸿华高尔夫球场人工湖富营养化的一个原因。

参 考 文 献

- [1] 严昭,张文娟,张自和. 高尔夫球场的水环境管理[J]. 草业科学, 2007, 24(6): 80.
- [2] 史秀华, 阳承胜, 浮田正夫. 高尔夫球场的氮磷环境及其流出特性[J]. 深圳大学学报(理工版), 2006, 23(2): 170-173.
- [3] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299.
- [4] MILLER G T. Living in the environment: An introduction to environmental science [M]. 7th ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992: 602-611.
- [5] 田永杰, 唐志坚, 李世斌. 我国湖泊富营养化的现状和治理对策[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(5): 119-121.
- [6] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 环境科学出版社, 2002.
- [7] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类——系统、分类及进化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 241.
- [8] 张增光. 水生生物在水质监测中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(7): 150.
- [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] 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.
- [11] 金相灿, 屠清英. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [12] 陈菊芳, 齐雨藻, 徐宁, 等. 大亚湾澳头水域浮游植物群落结构及周年数量动态[J]. 水生生物学报, 2006, 30(3): 311-317.
- [13] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
- [14] 邢丽贞, 陈华东, 李飞. 景观水体中藻类水华的成因及药剂控制分析[J]. 山东建筑大学学报, 2006, 21(6): 553-556.
- [15] 孙吉雄. 草坪学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [16] 顾宗谦. 中国富营养化湖泊的生物修复[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 42-45.
- [17] 杜桂森, 王建厅, 张为华, 等. 官厅水库水体营养状况分析[J]. 湖泊科学, 2004, 16(3): 277-278.
- [18] 周世良. 水库富营养化成因分析和对策[J]. 海峡科学, 2008(7): 20.
- [19] 王孟, 邹红娟, 马经安. 长江流域大型水库富营养化特征及成因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 477-481.
- [20] 杨士建. 骆马湖富营养化发生机制与防治途径初探[J]. 水资源保护, 2004(3): 26-28.

(责任编辑 董晓燕)