

北京翠湖湿地血红裸藻水华发生的环境条件

赵欣胜¹, 崔丽娟¹, 李伟¹, 张曼胤¹, 商晓静², 张岩¹

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 北京市海淀区翠湖湿地公园管理处, 北京 100194)

摘要:藻类水华是近10年来北京翠湖湿地面临的主要环境问题。为了探究湿地藻类水华发生的环境条件,于2013年夏季(7月)丰水期在紧邻上庄水库的翠湖湿地选择27个典型样点进行浮游植物调查,同时监测相应的环境因子指标;采用典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)方法,选择pH、水温(WT)、空间位置(WIND)、总磷(TP)、总氮(TN)、植物郁闭度(COVER)、光量子通量(PPFD)、电导率(EC)、溶解氧(DO)、水流波动(FLUC)共10个环境因子与浮游植物多度进行了分析。结果表明,翠湖藻类的常见属有血红裸藻(*Euglena sanguinea*)、颤藻(*Oscillatoria formosa*)、细小平裂藻(*Merismopedia tenuissima*)、卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)、裸甲藻(*Gymnodinium aerucinosum*)、斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、舟形藻(*Navicula* sp.)、色球藻(*Chroococcus* sp.)、鱼腥藻(*Anabeana* sp.)、针杆藻(*Synedra* sp.)和棒胶藻(*Rhabdogloea* sp.),其中血红裸藻为明显优势种类;翠湖湿地水体N/P在8.33~35.32,均值为16.38,说明氮磷比不是研究区藻类水华发生的关键控制因子;CCA分析结果显示,翠湖湿地水体中血红裸藻的繁殖受TP含量的影响显著,与TN含量关系不显著;血红裸藻适宜的水温环境为26~28℃;血红裸藻也受光量子通量影响,呈正相关关系,说明光照越强,发生水华的概率越高。通过控制水温、改善水流波动频率、提高遮盖度等措施能抑制血红裸藻水华暴发。

关键词:血红裸藻;翠湖湿地;环境条件;水华

中图分类号:X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)02-0011-07

藻类水华已经成为国际湿地科学领域研究的热点,特别是其发生机理已受到学术界的普遍关注(Appan & Wang, 2000; Frances et al, 2009; Bonnie et al, 2011; Anderson et al, 2012; Dembowska et al, 2012)。浅水湖泊湿地在北京城市气候调节中具有重要作用。由于受到水资源短缺和污水排放的影响,浅水湖泊水体的富营养化问题一直很突出,藻类水华频繁暴发给城市建设和居民日常生活带来危害,影响城市用水安全(Cui et al, 2013)。为预防藻类水华的暴发,需要开展其发生机理与控制措施的相关研究。

藻类水华发生受理化因子和生物种类的影响,是多个环境因素在时间和空间上综合作用的结果。有研究表明,营养物质、温度、光照、pH值及其他生物是影响藻类生长的重要因素(Schindler et al, 2008; Hans et al, 2011; Harvey & Menden-Deuer, 2011; Hardison et al, 2012);也有研究认为水动力和气象条件可通过影响湖泊水体的分层、混合与光

照,进而直接或间接地影响藻类的细胞密度、种群组成和空间分布(Hudson et al, 2000; 翁焕新等, 2007; 吴挺峰等, 2012)。藻类的种群组成与营养盐浓度特别是磷浓度及氮磷比存在密切关系(王小冬等, 2011; Hardison et al, 2012)。湿地植物通过吸收营养元素、分泌化感物质、影响水体光照条件,干扰藻类的细胞密度、种群组成以及繁殖速度(Granéli et al, 2008; Graham & Strom, 2010);但现有研究多集中于大型湖泊湿地,而关注城市浅水湖泊湿地藻类水华发生环境条件的较少,特别是高营养盐浓度和水动力不足的浅水湖泊湿地,如何确定诱导藻类水华发生的环境限制因子尚有待探讨。本文通过典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)研究北京翠湖藻类水华发生的环境条件,探讨血红裸藻(*Euglena sanguinea*)水华发生与环境因子的关系,旨在为其生态调控措施提供应用数据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

研究区位于北京市海淀区上庄镇翠湖北路南侧,翠湖湿地紧邻上庄水库(116°10'34.30"~116°10'41.43"E; 40°5'47.41"~40°5'51.16"N; 海拔55.0 m),水域面积近700 hm²,平均水深为1.2 m,

收稿日期:2014-11-08

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201204201);国家自然科学基金资助项目(50809005)。

作者简介:赵欣胜,1973年生,男,博士,研究方向为湿地恢复、湖泊富营养化控制和藻类生态学。E-mail: surezx4@163.com

水体基本上处于静止状态,水源主要来自天然降水和人工引自上庄水库;属温带湿润季风气候区,冬季寒冷干燥,多为西北风,夏季高温多雨,盛行东南风。水生植物主要有荷花(*Nelumbo nucifera*)、香蒲(*Typha orientalis*)和芦苇(*Phragmites australis*)。年均气温 12.5℃,1 月平均气温 -4.4℃,极端最低气温为 -21.7℃,7 月平均气温为 25.8℃,最高气温为 41.6℃。年日照时间 2 662 h,无霜期 211 d;年均降水量 628.9 mm,集中于夏季的 6-8 月,降水量为 465.1 mm,占全年降水的 70%;冬季 12-2 月的降水最少,仅占 1%。

1.2 采样与处理

1.2.1 生物样品 在翠湖湿地藻类水华发生水域设置 27 个样点,按顺序依次编号为 V1~V27。采样时间为 2013 年 7 月夏季丰水期。每个样点分左、中和右各采 1 个样品,小计 3 个样品,共得到 27 个样点的 81 个样品。藻类样品用采水器采集,鲁哥氏液固定,装入塑料瓶带回实验室分析,取 25 mL 藻类样品分 3 次,每次 1 mL 于 Hydro-bios 的 Utermhl 计数框,用 AO 倒置显微镜,在 200 倍和 400 倍下进行物种鉴定与计数,3 次结果求平均值记为每个样点的观测值。

1.2.2 环境因子 选择 pH、水温(WT)、空间位置(WIND)、总磷(TP)、总氮(TN)、植物郁闭度(挺水植物和乔灌木形成阴影覆盖水面的面积,缩写用 COVER)、光量子通量(表征光照条件的一种指标,PPFD)、电导率(EC)、溶解氧(DO)、水流波动(FLUC)共 10 个指标作为环境变量进行排序;其中,采样点空间位置(WIND)量化需要依据风向来表达,即处于北岸的数值定义为 3,处于西岸和东岸的数值定义为 2,处于南岸的定义为 1,这与研究区夏季风向为南风有关。根据浮漂移动速度将水流波动(FLUC)划分为 5 级;根据植被盖度将郁闭度也划分为 5 级。环境因子指标的采样点同生物样品。

pH、WT、EC、DO 使用 YSI 6400 水质仪测定;总氮测定采用碱性过硫酸钾消解分光光度法(GB11894-89);总磷采用钼酸铵分光光度法(GB11893-89);空间位置(WIND)采用 GPS 定位确定;光量子通量(PPFD)采用 LI-250 光量子计测定;水流波动采用浮漂移动速度确定;植物郁闭度(COVER)采用人工估算。

1.3 统计方法

监测分析结果得到 2 个数据矩阵,分别是藻类物种多度矩阵和环境矩阵。藻类物种数据要经过筛

选,本文用于梯度分析的藻类物种要求该物种在各点位出现的频度大于 3、在至少 1 个站位的相对丰度大于 1%(杨丽标等,2011);满足此要求的物种才能进入分析矩阵;同理,样品也需满足以上要求,如果某个样品中鉴定出的藻类物种数低于 3 种,则该样品不进入 CCA 分析。藻类物种矩阵经过 $\lg(x+1)$ 转换后按康奈尔数据文件格式录入成“.dta"文件;环境数据除了 pH 值以外均要进行 $\lg(x+1)$ 转换,再进行标准化处理,录入成“.dta"文件。

应用国际标准通用软件 CANOCO 4.5 进行运算,先对物种数据矩阵作 DCA(Detrended correspondence analysis)分析,根据梯度值确定相应的 CCA 分析模型(大于 3 适合进行 CCA 分析);再作物种丰度-环境 CCA 分析。将生成的数据文件“.sol"应用 CANODRAW4.5 作物种-环境因子关系的双序图。本文采用 *F* 假设检验进行相关性分析,显著性水平值定为 0.05 和 0.01。

2 结果与分析

2.1 种类分布

翠湖湿地 27 个样点共采集 81 个藻类样品,镜检共发现 12 属、30 种。常见种有血红裸藻、颤藻、细小平裂藻、卵形隐藻、裸甲藻、斜生栅藻、衣藻、舟形藻、色球藻、鱼腥藻、针杆藻和棒胶藻(表 1)。

表 1 主要藻类名录

Tab.1 Species list of algae

物 种	学名缩写
血红裸藻 <i>Euglena sanguinea</i>	<i>Es</i>
颤藻 <i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Of</i>
细小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Mt</i>
卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Co</i>
裸甲藻 <i>Gymnodinium aerucyinosum</i>	<i>Ga</i>
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	<i>So</i>
衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Ch</i>
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	<i>Na</i>
色球藻 <i>Chroococcus</i> sp.	<i>Ch</i>
鱼腥藻 <i>Anabeana</i> sp.	<i>An</i>
针杆藻 <i>Synedra</i> sp.	<i>Sy</i>
棒胶藻 <i>Rhabdogloea</i> sp.	<i>Rh</i>

表 2 显示了 27 个样品中有 26 个检测出血红裸藻,说明其出现频率最高且多度值较大,表明血红裸藻为藻类水华的主要优势种类(陈亚瞿等,1995;Strskraba & Tundisi, 1999);另外,颤藻、细小平裂藻和斜生栅藻出现频率也较高,是血红裸藻类型水华主要伴生种类。

2.2 理化指标

样点水温在 26.35~28.54℃,均值为 28.07℃;

TP 浓度在 0.08 ~0.20 mg/L,均值为 0.12 mg/L;TN 浓度在 1.01 ~2.72 mg/L,均值为1.76 mg/L;N/P在 8.33 ~35.32,均值为 16.38;DO 含量在 14.23 % ~ 25.98%,均值为 22.61%; EC 在 0.30 ~ 0.66 $\mu\text{S}/\text{cm}$,均值为0.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH 7.00 ~ 7.94,均值为 7.44; PPFD 在 42.00 ~ 66.00 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,均值为 57.19 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。采样点的环境因子测定结果见表 3。

表 2 主要藻类的多度值
Tab.2 Abundance of algae species at each sampling site

样点	浮游植物藻类缩写											
	<i>Es</i>	<i>Of</i>	<i>Mt</i>	<i>Co</i>	<i>Ga</i>	<i>So</i>	<i>Ch</i>	<i>Na</i>	<i>Ch</i>	<i>An</i>	<i>Sy</i>	<i>Rh</i>
V1	5	2	1	0	1	3	1	0	1	1	1	1
V2	5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
V3	5	2	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0
V4	5	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	1
V5	5	1	2	0	0	3	0	0	1	0	0	2
V6	5	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2
V7	5	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
V8	5	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	0
V9	5	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1
V10	5	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
V11	3	1	0	2	0	3	1	1	1	1	1	1
V12	2	1	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0
V13	2	0	0	2	0	4	4	1	0	0	4	0
V14	2	1	1	0	0	1	0	1	2	0	0	3
V15	2	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
V16	4	1	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V17	2	2	3	1	1	2	0	1	1	1	1	1
V18	3	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
V19	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
V20	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
V21	1	1	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0
V22	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2
V23	1	1	2	0	0	2	1	1	1	1	1	1
V24	1	1	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0
V25	1	1	1	0	1	3	0	0	0	1	0	2
V26	1	0	3	0	0	3	1	0	4	0	0	0
V27	0	1	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0

表 3 环境因子测定结果
Tab.3 Water quality parameter values

项目	TP/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	WT/ $^{\circ}\text{C}$	COVER	PPFD/ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	pH	EC/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	DO/ %	FLUC	WIND	N/P
最小值	0.08	1.01	26.35	1.00	42.00	7.00	0.30	14.23	1.00	1.00	8.33
最大值	0.20	2.72	28.54	5.00	66.00	7.94	0.66	25.98	5.00	3.00	35.32
极 差	0.12	1.71	2.19	4.00	24.00	0.94	0.36	11.75	4.00	2.00	26.99
中位数	0.10	1.69	28.21	2.00	58.00	7.35	0.33	24.36	1.00	2.00	16.29
平均值	0.12	1.76	28.07	2.15	57.19	7.44	0.39	22.61	1.78	2.15	16.38
标准差	0.04	0.40	0.49	1.23	6.04	0.32	0.12	3.41	1.05	0.77	6.13
变异系数	0.33	0.23	0.02	0.57	0.11	0.04	0.30	0.15	0.59	0.36	0.37

表 4 可见,TP 与 DO(<0.01)和郁闭度呈负相关关系(<0.05),而与空间位置呈正相关关系(<0.01);温度与郁闭度、水流波动呈负相关关系(<0.01),而与 PPFD、空间位置呈正相关关系(<0.01);郁闭度与 PPFD 呈负相关关系(<0.01),而与 FLUC 呈正相关关系(<0.01); PPFD 与 WIND 呈正相关关系(<0.01); DO、FLUC 与空间位置呈负相关关系(<0.01);而 N/P 与第一植物排序轴(SPECAX1)和第二植物排序轴(SPE-CAX2)均没有相关性;第一环境轴(ENVIAX1)反映了水温、郁闭度、溶解氧和空间位置,第二环境轴(ENVIAX2)反映了水流波动。

表 4 CCA 分
Tab.4 CCA analysis of

项 目	SPECAX1	SPECAX2	ENVIAX1	ENVIAX2	TP	TN	WT
SPECAX1	1.0000						
SPECAX2	-0.0278	1.0000					
ENVIAX1	0.8891 **	0.0000	1.0000				
ENVIAX2	0.0000	0.7956 **	0.0000	1.0000			
TP	-0.4279	-0.0215	-0.4813	-0.0271	1.0000		
TN	-0.2672	0.2722	-0.3006	0.3421	0.2036	1.0000	
WT	-0.5935	-0.3664	-0.6676 *	-0.4605	0.5741	-0.0592	1.0000
COVER	0.6173	0.3260	0.6943 *	0.4098	-0.6849 *	0.0387	-0.8794 **
PPFD	-0.3404	-0.3041	-0.3829	-0.3823	0.5214	-0.1201	0.8265 **
pH	-0.3689	-0.1292	-0.4149	-0.1624	0.6389 *	0.3358	0.3672
EC	-0.2058	-0.1001	-0.2314	-0.1258	0.6172 *	0.2990	0.3259
DO	0.5550	-0.0871	0.6243 *	-0.1095	-0.8339 **	-0.3203	-0.5464
FLUC	0.2259	0.5562	0.2541	0.6990	-0.5287	0.1584	-0.7397 **
WIND	-0.5534	-0.2629	-0.6224 *	-0.3304	0.7721 **	-0.0230	0.8243 **
N/P	0.2345	0.2601	0.2637	0.3269	-0.6404 *	0.6006 *	-0.5673

注:SPECAX1 和 SPECAX2 代表 CCA 分析排序轴第一和第二植物轴;ENVIAX1 和 ENVIAX2 代表 CCA 分析排序轴第一和第二环境轴;
Note: SPECAX1 and SPECAX2 represent the first and second plant ordination axis of CCA analysis; ENVIAX1 and ENVIAX2 represent the first correlation at the level of 0.01.

2.3 藻类与环境因子的 CCA 分析

本研究共有 27 个样点和 12 个藻类物种满足筛选条件进入 DCA 和 CCA 梯度分析。DCA 分析结果表明,物种多度矩阵第一排序轴的梯度值大于 3,因此物种数据可作 CCA 分析。由图 1 可见,从藻类种类在排序图上的分布来看,多数藻类与 WT、pH、TP、EC 以及 PPFD 呈负相关,如细小平裂藻、斜生栅藻、裸甲藻等;而血红裸藻和卵形隐藻受 WT、TP、WIND、pH、EC 以及 PPFD 影响较大,呈正相关关系(图 1),特别是血红裸藻与 TP、pH、PPFD 以及 WT 呈显著正相关关系。

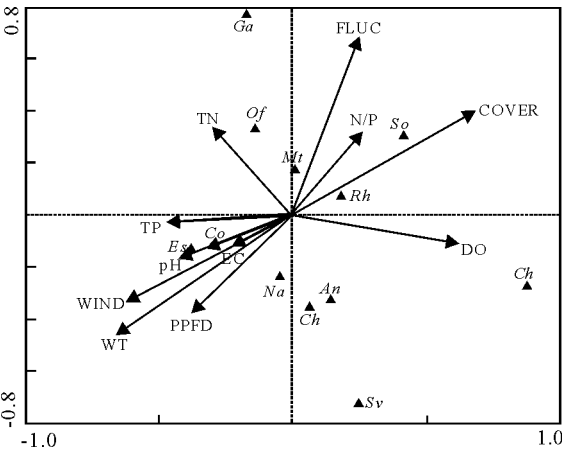


图 1 种群多度与环境因子的典范对应分析
Fig.1 Relationship of species abundance and environmental variables in biplot

3 讨论

3.1 水温对藻类水华发生的影响

水温是藻类生长的影响因素之一,适宜的水温会促进藻类生长。已有研究表明,气象条件尤其是气温变化引起的水温变化,对藻类生长具有周期性影响(Allan & Thomas, 1978)。大部分藻类的光合作用、呼吸强度与水温、光照强度关系密切,其代谢活动强度与温度符合一般生理学规律(李阔宇等, 2004)。Allan & Thomas(1978)研究表明,藻类发生水华的适宜温度为 20 ~ 30℃。本次监测中,血红裸藻密度的峰值出现在 26 ~ 28℃ 的样品中(图 2),表明血红裸藻适宜的生长温度为 26 ~ 28℃;因此可以认为在此水温区间有暴发血红裸藻水华的可能。

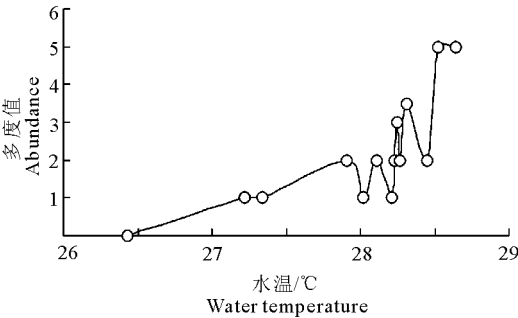


图 2 种群多度随温度的变化趋势

Fig.2 Relationship of species abundance and temperature

3.2 氮磷浓度对藻类水华发生的影响

通常认为总氮超过 0.2 mg/L、总磷超过 0.02 mg/L 是水体富营养化和藻类水华的发生浓度

析统计参数
water quality parameters

COVER	PPFD	pH	EC	DO	FLUC	WIND	N/P
1.0000							
-0.7910 **	1.0000						
-0.5603	0.3825	1.0000					
-0.4638	0.3600	0.3003	1.0000				
0.6656 *	-0.4114	-0.6636 *	-0.4518	1.0000			
0.8046 **	-0.6891 *	-0.4609	-0.3376	0.4989	1.0000		
-0.9210 **	0.8015 **	0.5323	0.5351	-0.7490 **	-0.7469 **	1.0000	
0.6347	-0.5451	-0.2847	-0.2493	0.4700	0.5749	-0.6806 *	1.0000

* 代表显著性水平值为 0.05, ** 代表显著性水平值为 0.01。
and second environment ordination axis of CCA analysis. * means a significant correlation at the level of 0.05, and ** means a more significant

(Keith et al, 2012)。本次研究的翠湖湿地 TN 浓度在 1.01 ~ 2.72 mg/L,均值为 1.76 mg/L;TP 浓度在 0.08 ~ 0.20 mg/L,均值为 0.12 mg/L,表明其 TP 和 TN 浓度已经达到了发生藻类水华的条件,但 CCA 分析结果表明,血红裸藻的繁殖受到 TP 浓度的影响显著,而与 TN 浓度关系缺乏统计学依据,这与 Keith 等(2012)的研究结果不同,可能与其研究的对象为蓝藻门和绿藻门有关,而本文关注的主要是裸藻门的血红裸藻(研究区藻类水华发生的主要优势藻类)。根据 Redfield 值理论(Keith et al, 2012),藻类繁殖对氮磷比的限制值为 16 : 1,这表明当氮磷比接近 16 : 1 时,Redfield 值方有效;而当氮磷比小于或者大于 16 : 1 时,其藻类繁殖与氮磷比相关性不高(许海等,2011;李夜光等,2006)。本次研究中,N/P 在 8.33 ~ 35.32,均值为 16.38,而接近 16 : 1 的样点仅为 2 个,说明翠湖湿地氮磷比不是研究区藻类水华发生的控制因子,且 CCA 分析结果也表明,总氮对藻类繁殖的影响不显著;由此可见在翠湖湿地中,磷是关键控制因子,而不是氮。

3.3 光照条件对藻类水华发生的影响

藻类的趋光性是其为到达适合自身生长最佳光环境所做的趋向性运动,多数藻类具有明显的趋光性,其主要目的是进行光合作用,提高藻类生产力(温程璐等,2007)。有研究认为,某些甲藻具有显著的趋光性,不同的光照条件对藻类形成不同的迁移节律(张运林等,2006);周名江(1994)研究认为,渦鞭毛藻(*Toxic dinoflagellate*)的昼夜垂直迁移特性可能与藻细胞的趋光性有关。本次研究的 CCA 分

析表明,血红裸藻受光量子通量的影响较大,呈正相关关系,说明光照越强,发生水华的概率越高,这也与血红裸藻具有较强的趋光特征有关。

4 结论

- (1)北京翠湖藻类的常见属有血红裸藻、颤藻、细小平裂藻、卵形隐藻、裸甲藻、斜生栅藻、衣藻、舟形藻、色球藻、鱼腥藻、针杆藻和棒胶藻,其中血红裸藻为明显优势种类;
- (2)CCA 分析得出光照、水流波动、风向、水温、pH 是影响城市浅水小型湖泊藻类组成及分布的主要因子,血红裸藻的繁殖受到 TP 浓度的影响显著,与 TN 的关系不显著;
- (3)氮磷比不是研究区藻类水华发生的关键控制因子,总氮对藻类繁殖的影响不显著,磷元素是限制因子;
- (4)翠湖湿地血红裸藻适宜水温环境为 26 ~ 28℃,同时也受光量子通量的影响;
- (5)通过控制水温、改善水流波动频率、提高遮盖度等措施可抑制血红裸藻水华暴发,在岸带种植遮荫乔灌木,在水域种植浮叶植物减少太阳辐射进而降低水温,可改变藻类大量繁殖所需要的外部环境条件。

参考文献

陈亚瞿,徐兆礼,王云龙,等. 1995. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 I. 生物量及优势种的平面分布[J]. 中国水产科学, 2(1): 49 - 58.

- 李阔宇,宋立荣,万能. 2004. 底泥中微囊藻复苏和生长特性的研究[J]. 水生生物学报, 28(2): 113–121.
- 李夜光,李中奎,耿亚红,等. 2006. 富营养化水体中 N、P 浓度对浮游植物生长繁殖速率和生物量的影响[J]. 生态学学报, 26(2): 317–325.
- 王小冬,秦伯强,高光. 2011. 氮磷的不同供应比例和频度对藻类水华形成的影响[J]. 农业环境科学学报, 30(12): 2533–2541.
- 温程璐,李姮,王蓬勃,等. 2007. 藻类细胞趋光性机理研究及其显微操作技术进展[J]. 自然科学进展, 17(2): 141–147.
- 翁焕新,孙向卫,秦亚超. 2007. 光照强度对隐藻吸收铁和磷的影响[J]. 地球化学, 36(4): 383–390.
- 吴挺峰,朱广伟,秦伯强,等. 2012. 前期风场控制的太湖北部湖湾水动力及对蓝藻水华影响[J]. 湖泊科学, 24(3): 409–415.
- 许海,朱广伟,秦伯强,等. 2011. 氮磷比对水华蓝藻优势形成的影响[J]. 中国环境科学, 31(10): 1676–1683.
- 杨丽标,韩小勇,孙璞,等. 2011. 巢湖藻类组成与环境因子典范对应分析[J]. 农业环境科学学报, 30(5): 952–958.
- 张运林,秦伯强,胡维平,等. 2006. 太湖典型湖区真光层深度的时空变化及其生态意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 36(3): 287–296.
- 周名江. 1994. 两种涡鞭毛藻的周日垂直迁移特性研究[J]. 海洋与湖沼, (2): 173–178.
- Allan K, Thomas D B. 1978. Effect of Temperature on Blue-Green Algae (Cyanobacteria) in Lake Mendota[J]. Appl Environ Microbiol, 36(4): 572–576.
- Anderson D M, Cembella A D, Hallegraeff G M. 2012. Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management[J]. Annual Review of Marine Science, 4: 143–176.
- Appan A, Wang H. 2000. Sorption Isotherms and Kinetics of Sediment Phosphorus in a Tropical Reservoir[J]. Journal of Environmental Engineering, 12: 993–998.
- Bonnie K E, Jack A S, Daniel G, et al. 2011. Long-term effects of a trophic cascade in a large lake ecosystem[J]. PNAS, 108(3): 1070–1075.
- Cui L J, Zhao X S, Li W. 2013. On Diagnostic Index and Method of Healthy Wetland Food Chain[J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 5(2): 115–118, 2013.
- Dembowska E, Głogowska B, Dabrowski K. 2012. Dynamics of algae communities in an oxbow lake (Vistula River, Poland) [J]. Archives of Polish Fisheries, 20(1): 27–37.
- Frances M V D, Kristy B L, Emily A M, et al. 2009. The Florida red tide dinoflagellate *Karenia brevis*: New insights into cellular and molecular processes underlying bloom dynamics[J]. Harmful Algae, 8(4): 562–572.
- Graham S L, Strom S L. 2010. Growth and grazing of microzooplankton in response to the harmful alga *Heterosigma akashiwo* in prey mixtures [J]. Aquat Microb Ecol, 59: 111–124.
- Granéli E, Weberg M, Salomon P S. 2008. Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: The role of eutrophication[J]. Harm Algae, 8: 94–102.
- Hans W P, Nathan S H, Elizabeth S C. 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change [J]. Science of The Total Environment, 409(10): 1739–1745.
- Hardison D R, William G S, Litaker R W, et al. 2012. Tester (Profiled Author: Damian Shea) Nitrogen limitation increases brevetoxins in *karenia brevis* (dinophyceae): Implications for bloom toxicity[J]. Journal of Phycology, 48(4): 844–858.
- Harvey E L, Menden-Deuer S. 2011. Avoidance, movement, and mortality: the interactions between a protistan grazer and *Heterosigma akashiwo*, a harmful algal bloom species [J]. Limnol Oceanogr, 56: 371–378.
- Hudson J J, Taylor W D Y, Schindler D W. 2000. Phosphate concentrations in lakes[J]. Nature, 406: 54–56.
- Keith D, Richard J G, Paul T, et al. 2012. Harmful algal blooms: How strong is the evidence that nutrient ratios and forms influence their occurrence? [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 115: 399–413.
- Schindler D W, Hecky R E, Findlay D L, et al. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment[J]. PNAS, 105(32): 11254–11258.
- Strskraba M, Tundisi J G. 1999. Guidelines of Lake Management (Volume 9): Reservoir Water Quality Management [M]. International Lake Environment Committee: 229.

(责任编辑 万月华)

Environmental Variables Influencing *Euglena sanguinea*
Blooms in Cuihu Lake Wetland in Beijing

ZHAO Xin-sheng¹, CUI Li-juan¹, LI Wei¹, ZHANG Man-yin¹, SHANG Xiao-jing², ZHANG Yan¹

(1. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P. R. China;
2. Cuihu Wetland Park Administration in Haidian District, Beijing 100194, P. R. China)

Abstract: Shallow lake wetlands play an important role in climate regulation in Beijing. Eutrophication in the shallow lakes of Beijing is serious because of limited water resources and the high volume of waste water discharged. Research on algae blooms in urban shallow lakes has been limited, especially research on the environmental variables that induce algae blooms in shallow lake wetlands with high nutrient concentration and low flow. Cuihu Lake, located in Shangzhuang Town, Haidian District, Beijing, with a water area of 700 hm² and average depth 1.2 m, is basically static and water recharge depends on direct runoff augmented by pumping from Shangzhuang Reservoir. The frequent occurrence of algae blooms in Cuihu Lake Wetland has been the primary environmental problem over the past 10 years. The aim of this study was to clarify the environmental conditions leading to algae blooms in Cuihu Lake and to reveal the relationship of *Euglena sanguinea* blooms with environmental variables by canonical correspondence analysis (CCA), which will supply useful data for ecological regulation. In July of 2013 during the wet season, an investigation was conducted at 27 sampling sites of the Cuihu Lake Wetland where algae blooms occurred. A total of 81 algae samples were collected (triplicate samples at each site) and fixed with Lugol's solution for species identification and counting in laboratory. Ten water quality parameters were also measured at each site: pH, water temperature (WT), dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), spatial location quantified according to the wind direction (WIND), photo flux density (PPFD), the movement of surface water (FLUC) as determined by the drifting buoy method, and cover (the area shaded by emergent aquatic plants, shrubs and trees). A total of 12 genera and 30 algae species were detected at the 27 sampling sites and species common to all sites included *Euglena sanguinea*, *Oscillatoria Formosa*, *Merismopedia tenuissima*, *Cryptomonas ovata*, *Gymnodinium aerucinosum*, *Chlamydomonas* sp., *Navicula* sp., *Chroococcus* sp., *Anabeana* sp., *Synedra* sp., *Rhabdogloea* sp. and *Scenedesmus obliquus*. Among them, *Euglena sanguinea* was the dominant species. The ratio of N/P ranged from 8.33 – 35.32, with a mean value of 16.38, indicating that the N/P ratio was not the crucial factor inducing algae blooms in study area. The relationship of phytoplankton abundance with the 10 environmental variables by CCA revealed that the production of *Euglena sanguinea* in Cuihu Lake was significantly affected by TP content, but not by TN content. The optimal temperature for the growth of *Euglena sanguinea* was 26 – 28°C and the species displayed significant positive correlation with PPFD. High illumination intensity produces higher frequency blooms of *Euglena sanguinea* because of the phototactic capability of the species. In conclusion, light intensity, water movement, wind direction, water temperature and pH are the critical environmental variables influencing the algae community in urban shallow lakes. Thus *Euglena sanguinea* blooms can be inhibited by controlling water temperature, improving flow fluctuation frequency and increasing the area shaded by plants.

Key words: *Euglena sanguinea*; Cuihu Lake Wetland; environmental factors; algae bloom