

文章编号:100428227(2006)0220237207

苏州重污染河道水体浮游植物消长规律初探

万蕾,朱伟,操家顺,张兰芳,张俊

(淮海大学环境科学与工程学院水环境生态研究所,江苏南京 210098)

摘要:为了掌握苏州城市河道景观水体藻类富集、消长规律,为制订河道水环境质量改善方案提供科学依据,于2004年5~12月对苏州苗家河试验区进行了水质状况以及浮游植物种类和数量的调查研究。试验区河道共检出浮游植物6门73属,通过对数量进行比较,明确了苏州城市河道以绿藻-硅藻为优势种的浮游植物分布特征。通过对不同季节水体叶绿素a含量、浮游植物生物量和数量进行分析,发现浮游植物变化呈现出夏季>秋季>春季>冬季的季节规律。这一变化结果初步揭示了河网地区城市滞流污染河道水体中浮游植物的种群分布和季节上的消长规律,可为水环境质量改善与生态修复提供重要参考。

关键词:浮游植物;城市河道;滞流水体;消长规律

文献标识码:A

经济高度发展带来的污染负荷增加已经对我国江河湖海的水环境产生了重要影响。河流、湖泊中污染物质的排入造成严重的水体富营养化问题,主要特征是浮游植物的大量繁殖和水华的频繁暴发。藻类富集、暴发、衰亡产生的恶臭影响周围的生活环境和城市景观,也会造成水体生态系统的严重失衡,形成以低等植物为主的藻型水体,同时,很多藻类可以产生对人体有害的毒素,对人类用水安全造成很大危害^[1~3]。因此,在湖泊及藻类经常暴发的城市滞留河道水体的环境治理中,对藻类暴发的控制已至关重要^[4~6]。

藻类水华发生机理复杂,不但与光照、水温及水体中氮、磷及微量元素的含量有关,也与水体的流动性、风浪作用、底泥、微生物等环境因素相关。为有效防止水华暴发,很多研究者致力于探索藻类暴发的控制因子,但尚未形成较为统一的观点^[5,7,8]。藻类的富集、暴发过程与浮游植物生长繁殖规律有密切关系,同时也与外部水环境要素有必然联系。因此,研究浮游植物的种群分布特征和生长繁殖规律,揭示水体污染特征以及其它环境因子与藻类生长繁殖之间的关系,对于明确藻类富集、暴发机理,确定控制措施有非常重要的意义。

本文通过2004年5~12月期间,对苏州苗家河

浮游植物分布特征以及季节变化规律的研究,初步揭示了这种环境条件下浮游植物的生长、繁殖规律。

1 苏州河网地区河道基本情况

1.1 苏州地理位置以及气候情况

苏州是我国的历史文化名城和重要的风景旅游城市,是长江三角洲地区重要的中心城市之一。位于江苏省东南部,市区中心地理坐标为北纬31°19',东经120°37'。苏州地处温带,属亚热带季风海洋性气候,四季分明,气候温和,年平均气温为16℃,无霜期230天左右,日照2000小时以上,雨量充沛,年降水量1100mm。

1.2 河网地区河道特征

苏州城市河道纵横交织成网,各条河流均属太湖水系,境内湖泊、河道众多,河湖串通,是典型的江南水网地区。其河网水流畅向受自然和人为因素的影响,既受地形的支配,又受长江、东海及内部闸门人为控制,因而水流流向顺逆不定,水情相当复杂。

古城区内河流坡降平缓,仅为十万分之一,滞流时间较长,水流缓慢,一般在0.01m/s以下,有时甚至完全滞流。河流水体污染严重,属劣Ⅴ类水,夏季常有水华发生。

收稿日期:2005205216;修回日期:2005208231

基金项目:国家“十五”重大科技专项“863”课题“苏州城市水环境质量改善与综合示范”(2003AA601070)。

作者简介:万蕾(1981~),女,山东省烟台人,博士研究生,主要从事藻类暴发机理研究。E-mail: hjwan@163.com

2 调查研究方法

2.1 试验区河道特征及监测点布设

试验区河道苗家河位于苏州古城区东南角,属南园水系,南北走向的小型河道。河道全长约 360 m,宽 9~17 m,平均水深在 2 m 左右。河道直立护岸两边有宽度为 3~5 m 的绿化带,与道路和居民区紧邻。

苗家河的污染源主要来自一些老居民房产生的生活污水和城市的面源及河道底泥中污染物的扩散。另外,由于河网区域整体的污染,经由北部的南园河和南部的盘门内城河受客水污染较明显。苗家河的水动力条件受人为因素影响较大,白天水流缓慢,夜间调水频繁,水位涨幅明显。水体污染严重,氮磷含量较高,水体溶氧较低,底泥有机质含量达 5% 以上,呈现严重黑臭状态。沿河布设了 9 个试验区,分别编号 2~10(1 号点为对照点,位于盘门内城河),用土工布分隔。从河道规模和水文、水质条件看,苗家河在苏州城市河道中具有一定的代表性。

2.2 研究方法

水质指标的监测频率为每月 3 次,分别在每月上、中、下旬上午进行采样,测定水体的环境化学指标。浮游植物分析为每月 1 次。

溶解氧、总氮、总磷和叶绿素 a 的测定参考《水和废水监测分析方法》^[9]进行。

浮游植物的分类及定量:采水样 1 L,用鲁哥氏液固定,静置 24 小时以上,浓缩至 30 mL。分类时取 0.1 mL 进行镜检,根据《淡水浮游生物图谱》和《淡水浮游生物研究方法》进行分类鉴别,计算出浮游植物数量,再根据藻类细胞体积的大小换算成生物量^[10-13]。采浮游植物样品与测定水样的理化指标同步进行。

3 苗家河水环境与浮游植物基本特征

3.1 水温变化

自 6 月 6 日~12 月 31 日,对试验区表层水温进行了观测。结果表明,该河段 7 月份和 8 月份月平均水温均在 30 以上,最高水温为 33。6 月份和 9 月份水温相当,12 月份最低水温为 9。

3.2 水体化学指标

该河道属重污染水体。溶解氧极不稳定,在浮游植物大量繁殖季节,表层溶氧过饱和,最高达 14.0

mg/L,而在浮游动物大量繁殖季节,早晨表层 DO 普遍很低,甚至出现过 DO 为 0 的情况;TN 和 TP 严重超标,属劣 V 类水体,TN 全年变幅在 3.48~11.34 mg/L 之间,TP 全年变幅在 0.23~0.78 mg/L 之间;COD_{Mn} 的变化波动较大。在浮游植物生长旺季,TN 和 TP 的浓度有较大幅度下降,而 COD_{Mn} 浓度有所升高。

3.3 叶绿素 a 变化情况

试验区河道 2~10 号监测点叶绿素 a 浓度随时间变化见图 1。从图 1 可以看出,7~10 月水体中叶绿素 a 的含量明显高于其它月份;10~12 月水体中叶绿素 a 的含量维持在 10 ug/L 以下。

图 1 Chla. 随时间变化曲线

Fig. 1 Changes of Concentration of Chla. with Time

3.4 浮游植物的种类组成

试验区河道共检出浮游植物 6 门 73 属,其中,蓝藻门 13 属,隐藻门 2 属,甲藻门 4 属,硅藻门 17 属,裸藻门 4 属,绿藻门 33 属。浮游植物名录见表 1。

其中较为常见的有蓝藻门的色球藻、颤藻、螺旋藻、束丝藻、微囊藻;隐藻门的隐藻、蓝隐藻;硅藻门的小环藻、直链藻、舟形藻、针杆藻;裸藻门的扁裸藻、裸藻;绿藻门的十字藻、空星藻、卵胞藻、蹄形藻、纤维藻、栅藻、新月藻、盘星藻、实球藻等。从表 1 可以看出,试验区河道检出的浮游植物大多为富营养化水体中常见种类。

4 苗家河浮游植物优势种群及季节演替规律

4.1 浮游植物种类的季节演替

试验区河段浮游植物的种类变化见图 2。可以看出,蓝藻门夏季种类数明显多于其它季节,8 月份检出蓝藻门 10 属;隐藻门四季均只有隐藻和蓝隐藻两属;裸藻门四季的种类数变化不大;甲藻门只在夏秋季出现,种类数不多;硅藻门和绿藻门四季种类数

表 1 苏州苗家河浮游植物组成

Tab. 1 Composition of Phytoplankton of Miaojia River in Suzhou City

门类	属 名	
	色球藻	<i>Cyanophyta</i>
	尖头藻	<i>Chroococcus</i>
	蓝纤维藻	<i>Raphidiopsis</i>
	颤藻	<i>Dactylococcopsis</i>
	席藻	<i>Oscillatoria</i>
蓝藻门	螺旋藻	<i>Spirulina</i>
Cyanophyta	微囊藻	<i>Microcystis</i>
	束丝藻	<i>Aphanizomenon</i>
	项圈藻	<i>Anabaena</i>
	腔球藻	<i>Coelosphaerium</i>
	平裂藻	<i>Merismopedia</i>
	鞘丝藻	<i>Lyngbya</i>
	射星藻	<i>marssoniella</i>
隐藻门	蓝隐藻	<i>Chroomonas</i>
Cryptophyta	隐藻	<i>Cryptomonas</i>
	裸甲藻	<i>Gymnodinium</i>
甲藻门	薄甲藻	<i>Glenodinium</i>
Pyrrophyta	多甲藻	<i>Peridinium</i>
	角甲藻	<i>Ceralium</i>
	小环藻	<i>Cyclotella</i>
	冠盘藻	<i>Stephanodiscus</i>
	直链藻	<i>Melesira</i>
	舟形藻	<i>Navicula</i>
	针杆藻	<i>Synedra</i>
	菱形藻	<i>Nitashia</i>
	卵形藻	<i>Cocconeis</i>
	辐节藻	<i>Stauroneis</i>
硅藻门	异极藻	<i>Gomphonema</i>
Bacillariophyta	桥穹藻	<i>Cymbella</i>
	曲壳藻	<i>Achnanthes</i>
	脆杆藻	<i>Fragilaria</i>
	羽纹藻	<i>Prnnularia</i>
	平板藻	<i>Tabellaria</i>
	等片藻	<i>Diatoma</i>
	布纹藻	<i>Gyrosigma</i>
	星杆藻	<i>Asterionella</i>
	扁裸藻	<i>Phacus</i>
裸藻门	囊裸藻	<i>Trachelomonas</i>
Euglenophyta	陀螺藻	<i>Strombomonas</i>
	裸藻	<i>Euglena</i>

续表 1

门类	属 名	
绿藻门 Chlorophyta	十字藻	<i>Crucigenia</i>
	弓形藻	<i>Schroederia</i>
	空星藻	<i>Coelastrum</i>
	卵胞藻	<i>Oocystis</i>
	多芒藻	<i>Golenkinia</i>
	四星藻	<i>Tetrastrum</i>
	蹄形藻	<i>Kirchneriella</i>
	纤维藻	<i>Ankistrodesmus</i>
	并联藻	<i>Quadrigula</i>
	四角藻	<i>Tetraedron</i>
	月牙藻	<i>Selenastrum</i>
	小球藻	<i>Chlorella</i>
	转板藻	<i>Mougeotia</i>
	新月藻	<i>Closterium</i>
	肾形藻	<i>Nephrocytium</i>
	集星藻	<i>Actinastrum</i>
	实球藻	<i>Pandorina</i>
	丝藻	<i>Ulothrix</i>
	四球藻	<i>Westella</i>
	盘星藻	<i>Pediastrum</i>
	拟新月藻	<i>Closteriopsis</i>
	绿球藻	<i>Chlorococcum</i>
	浮球藻	<i>Plantosphaeria</i>
	芒锥藻	<i>Errerella</i>
	空球藻	<i>Eudorina</i>
	小椿藻	<i>Characium</i>
	胶网藻	<i>Dictyosphaera</i>
	粗刺藻	<i>Acanthosphaera</i>
	顶棘藻	<i>Choclatella</i>
	角鼓藻	<i>Staurastrum</i>
翼膜藻	<i>Pteromonas</i>	
团藻	<i>Volvox</i>	
栅藻	<i>Scenedesmus</i>	

均较多,绿藻门在 7 月份和 9 月份各检出 25 属,硅藻门在 10~12 月份各检出 11 属。可认为苏州苗家河浮游植物群落为绿藻—硅藻型。

变化见图 3a 和图 3b。

图 2 苏州苗家河浮游植物各门类属数的季节演替

Fig. 2 Season Succession of Phytoplankton in Miaoja River of Suzhou City

4.2 浮游植物数量和生物量的季节演替

试验区各监测点浮游植物数量和生物量随时间

图 3a 浮游植物数量随时间变化

Fig. 3a Population Changes of Phytoplankton with Time

试验区河道浮游植物的数量 5~12 月份平均为 1.090×10^4 cell/L, 生物量为 5.800 mg/L。从图 3 可以看出,浮游植物数量呈单峰变化,7 月份浮游植

图 3b 浮游植物生物量随季节变化

Fig. 3b Biomass Changes of Phytoplankton with Time

物数量最多,从 5~7 月份浮游植物数量逐月增加,8 月份开始呈现下降趋势。而浮游植物的生物量呈双峰变化,8 月份生物量明显低于 7 月份和 9 月份,其原因是 8 月份阴雨天较多,从而导致总生物量较少。

试验区河段各监测点浮游植物主要门类的数量和生物量平均值的变化见图 4a 和图 4b。

图 4a 浮游植物主要门类数量随季节变化

Fig. 4a Population Changes of Main Phylum Phytoplankton with Time

图 4b 浮游植物主要门类生物量随季节变化

Fig. 4b Biomass Changes of Main Phylum Phytoplankton with Time

从图 4a 和 4b 可以看出,浮游植物主要门类的变化与总量的变化情况一致,均随时间变化呈现先

上升后下降的趋势。蓝藻门数量在 8 月份达到峰值,为 $1\ 945 \times 10^4$ cell/L,生物量以 7 月份最高为 2.84 mg/L;绿藻门和硅藻门的数量均在 7 月份达到最大值,分别为 $1\ 548 \times 10^4$ cell/L 和 431×10^4 cell/L,绿藻门的生物量在 7 月份达到最大值,为 11.13 mg/L,硅藻门生物量在 8 月份和 9 月份相当,以 9 月份最多,为 2.421 mg/L。

4.3 浮游植物的优势种群分析

苏州苗家河试验区河道各季节均以绿藻和硅藻的种属最多,蓝藻次之。从数量分析,全年平均绿藻 > 蓝藻 > 硅藻,从生物量看,绿藻 > 硅藻 > 蓝藻。选取各季节的代表月份分析,从数量来看,春季(5 月份)绿藻门数量最多,隐藻门次之,蓝藻门再次之,再其次是硅藻门;夏季(7 月份)蓝藻门 > 绿藻门 > 硅藻门,蓝藻门为绝对优势种;秋季(10 月份)蓝藻门 > 绿藻门 > 硅藻门;冬季(12 月份)绿藻门数量远远大于硅藻门和蓝藻门的数量,绿藻为绝对优势种。从生物量来看,春季(5 月份)绿藻 > 硅藻 > 蓝藻;夏季(7 月份)硅藻生物量最大,其次是绿藻和蓝藻;秋季(10 月份)与春季正好相反,蓝藻门 > 硅藻门 > 绿藻门;冬季(12 月份)硅藻门生物量略大于绿藻门,远大于蓝藻门。

5 浮游植物消长与主要环境因子的关系

5.1 水温与浮游植物的关系

在氮磷营养充足的情况下,水温是影响藻类暴发的重要环境因子。7、8 月份是藻华暴发最严重的时期,从现场水温的监测数据看,7 月 9 日平均水温 28.7,7 月 10 日的平均气温陡然升至 30.3,上升了近 2,在连续 12 天日平均气温超过 30 的情况下,7 月 22 日在试验区发现带状微囊藻水华暴发。在调查研究过程中发现,浮游植物量的变化与水温之间具有较好的相关性,经分析,对数相关性的相关系数最大。浮游植物总量及主要门类与水温的相关关系分析见表 2。回归模式为 $\ln T = a + b \ln x$, 式中 T 为水温, x 为数量或生物量。

从表 3 看出,水温与浮游植物总数量和总生物量的相关性较好,呈明显正相关。浮游植物总数量与水温的相关系数 R^2 为 0.846,总生物量与水温的相关系数为 0.760。其中蓝藻门的数量和生物量与水温的相关系数最大,说明水温变化对蓝藻门影响最大,而对硅藻门的影响则较小。

表 2 浮游植物与水温回归分析

Tab. 2 Regress Analysis of Phytoplankton and Water Temperature

浮游植物		R ²	a	b
总数		0.846	3.74	0.135
数量 (10 ⁴ cell/L)	蓝藻门	0.856	0.25	0.222
	绿藻门	0.619	3.29	0.116
	硅藻门	0.207	3.24	0.077
总量		0.760	-1.51	0.132
生物量 (mg/L)	蓝藻门	0.636	-8.52	0.274
	绿藻门	0.552	-3.96	0.179
	硅藻门	0.153	-1.36	0.060

表 3 浮游植物与 N、P 及 N/P 的线性相关系数 R²Tab. 3 Correlation Coefficient R² of Phytoplankton and N、P and N/P

浮游植物		TN	TP	N/P
总数		0.124	0.003 5	0.153
数量 (10 ⁴ cell/L)	蓝藻门	0.190	0.048 7	0.113
	绿藻门	0.002	0.147	0.389
	硅藻门	0.019 8	0.005 8	0.041
总量		0.056	0.039 1	0.038 2
生物量 (mg/L)	蓝藻门	0.078	0.001 9	0.007 7
	绿藻门	0.093 5	0.385	0.198
	硅藻门	0.105	0.004 7	0.134

5.2 氮、磷与浮游植物的关系

营养盐(N、P)是藻类生长的物质基础,氮磷比值对藻类的影响一直受到关注。分析每月试验河段各试验区共 63 组数据,参考相关文献[14~16],浮游植物与氮、磷的线性相关关系见表 3。从表 3 可以看出,试验区河道由于氮、磷含量已经处于很高浓度,氮、磷浓度及氮磷比的变化与藻类数量、生物量均无显著的线性相关关系,只有 TP 的浓度变化与绿藻门生物量变化的相关系数 R² 较大,为 0.385。说明在苏州苗家河的污染背景下,氮、磷浓度变化对浮游植物的生长、富集没有直接影响。

6 总结

(1) 苏州试验区河道属重污染水体,总氮、总磷严重超标,为劣 Ⅴ 类水体,由于河道污染严重,出现的藻类多为富营养化种类。

(2) 试验区共检出浮游植物 6 门 73 属,夏季河道中检出的浮游植物种类明显增多,各季节均以绿藻和硅藻的种属最多,蓝藻次之。

(3) 浮游植物数量和生物量季节变化明显。从

叶绿素 a 含量和浮游植物数量、生物量分析均为夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。春季绿藻门数量最多,夏季蓝藻门的数量明显增多,秋、冬季绿藻门和硅藻门数量较多。

(4) 水温与浮游植物总量的相关性较好,呈明显正相关。水温变化对蓝藻门影响最大,对硅藻门影响较小。

(5) 试验区河道氮、磷浓度及氮磷比的变化与藻类数量、生物量均无明显的线性相关关系。

参考文献:

- [1] 王扬才,陆开宏.蓝藻水华的危害及治理动态[J].水产学杂志,2004,17(1):90~94.
- [2] Jochimsen E M, Carmichael W W, An J S, et al. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil[J]. N Engl J Med, 1998, 3(38):873~878.
- [3] 赵玉宝.中国藻类污染状况和对策[J].北京水产,1998,3:3~5.
- [4] 赵章元.我国江河湖海除藻的治标与治本浅析[J].环境保护,2000,8:29~30.
- [5] 李小平.美国湖泊富营养化的研究和治理[J].自然杂志,2002,24(2):63~68.
- [6] 刘冬燕,宋永昌.苏州河叶绿素 a 动态特征及其与环境因子的动态分析[J].上海环境科学,2003,22(4):261~264.
- [7] 尹澄清,兰智文.富营养化水体中藻类生长限制因素的确定及其应用[J].环境化学,1993,12(5):380~386.
- [8] 卢敬让,李德尚.山东省大中型水库浮游生物研究——浮游植物与环境因子的关系[J].青岛海洋大学学报,1994,24(4):505~510.
- [9] 国家环保局.水和废水监测分析方法(第四版)[M].中国环境科学出版社,2002.
- [10] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991.
- [11] 韩茂森,束蕴芳主编,中国淡水生物图谱[M].北京:科学出版社,1995.
- [12] 胡鸿钧,魏印心,李蕊英,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1980.
- [13] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [14] Marcin P, Tomasz J. Temperature and N:P ratio as factors causing blooms of blue-green algae in the Gulf of Gdansk[J]. Oceanologia, 1999, 41(1):73~80.
- [15] 陈宇炜,秦伯强,高锡云.太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测[J].湖泊科学,2001,13(1):63~71.
- [16] 徐宁,陈菊芳,王朝晖.广东大亚湾藻类水华的动力学分析——藻类水华与营养盐元素的关系研究[J].环境科学学报,2001,21(4):400~404.

GROWTH OF PHYTOPLANKTON IN POLLUTED RIVER IN SUZHOU CITY

WAN Lei ,ZHU Wei ,CAO Jia2shun ,ZHANG Lan2fang ,ZHANG Jun

(Institute of Water Environment and Ecology , College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In order to understand the growth of phytoplankton in city rivers in Suzhou City , and to provide scientific basis for the improvement of water environment , the water condition and the species composition of phytoplankton were investigated in Miaojia River in Suzhou City from May to December in 2004. Results showed that there were 73 species of phytoplankton belonging to 6 phyla , in which scenedesmus and diatom were predominant. Through analyzing Chla. , biomass and population of phytoplankton ,the density of phytoplanktons ranged from high to low in the following season order : summer > autumn > spring > winter. This result indicated primarily the water's polluted character and the growth of phytoplankton in network of waterways in city , and it provided important references for water quality improvement and restoration.

Key words : phytoplankton ;city river ;lagging water body ;growth rule