文章编号:1004-8227(2010)11-1249-07

通江城市河道浮游植物分布研究
——以镇江市古运河为例

夏 霆
(南京工业大学环境学院,江苏 南京 210002)

摘 要:为了解通江城市河道浮游植物分布动态规律,同时为制定有效的水环境质量改善方案,对镇江市古运河的浮游植物组成与分布变化进行现场调查与分析,探讨了环境因子变化对河道浮游植物结构与数量的影响。结果表明,研究区共检出藻类6门38属,其中绿藻门、蓝藻门和硅藻门为3个常见门类。河道内藻类细胞密度与生物量排序为春季>秋季>夏季>冬季。对比河源采样点,河道内藻类细胞密度、生物量均在春、秋季大幅增长,藻类种类组成比例也逐渐由硅藻门为主过渡到以绿、蓝藻为主,但在夏、冬季这种变化趋势不明显。水动力、营养盐浓度、水温以及水体悬浮泥沙含量等多环境因子影响了河道内藻类生长与繁殖条件,其中因受闸控影响的水动力学条件变化是造成藻类分布变化的关键诱发要素。

关键词:浮游植物;分布特征;镇江;古运河
文献标识码:A

城市发展与河流息息相关,但城市快速发展的同时也往往引发严重的城市河流水环境问题。城市化导致的不透水地表面积的增长、渠道化、闸坝建设,以及污染排放的增长等复合因素的作用使得城市河流水质以及生物整体性下降[1~3],也常呈现富营养化、藻华爆发等常见于湖泊水体的水环境问题[4~7]。由于城市河流与人类关系紧密,许多藻类易产生对人体有害的毒素,水体富营养化及藻类爆发不仅对城市景观、用水等服务功能造成影响,而且影响到人类健康。目前,对富营养化及藻华的控制已成为城市河道治理的重要内容[5~7]。

由于浮游藻类处于水生态系统食物链的始端并作为水体营养级别的重要代表,对人类干扰条件下河道内藻类分布、消长规律的探讨在国际上已受到重视[8]。其中一个极为关注的问题在于河道天然水动力改变(如闸坝建设)对河内浮游植物分布及营养状况的影响[9,10],如在我国长江流域,对三峡水库蓄水后库区及其支流藻类分布与水华爆发的调查与分析目前受到普遍关注[11,12]。相比之下,对城市河道内浮游植物的研究较少,现有的研究也主要为服务于城市河流修复的需要,调查河道内浮游藻类分布与富营养状况[4],以及分析河道内水温、氮、磷等水质理化因子及水生植物对藻类分布的影响关系[5,6]。学者们也逐渐意识到,伴随着城市化土地利用改变,城市化对河内生物的影响是多因素且错综复杂的[13,14],并且不同河段干扰因素与程度均可能不同,城市河流富营养化与浮游植物的特征也往往表现出一定的时空异质性[7,15]。

不同藻类与数量对生境敏感性不同,藻类富集、爆发等繁殖规律与水温、光照、营养盐输入条件以及水体流动性等诸多环境因子有着密切联系,因此藻华发生机理极为复杂。而明确城市河道藻类生长繁殖特征及环境因子对其影响关系,是有效确定对其富营养化及藻华控制措施的前提。长江中下游地区河网密布,城市化发展迅速,滨江城市内河多与长江相连通,其水环境质量与长江关系紧密,但因受城市干扰影响,其不同河段内营养条件与浮游植物状况与长江(初始状况)相比有很大差异。探索这一地区城市河流藻类时空动态规律及其影响因素,将对区域水环境质量好转以及长江水资源保护均具有重要

收稿日期:2009-10-14;**修回日期**:2010-01-04
基金项目:国家高技术研究发展计划"863"项目(2003AA601100);国家科技重大专项(2008ZX07421-002);南京工业大学青年重点基金(39727005)
作者简介:夏 霆(1973~),男,江西省九江人,讲师,博士,主要从事城市水污染控制与生态修复技术研究. E-mail:xiating92@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

意义。本文选择镇江市典型通江城市河道——古运河为研究对象，通过对河内浮游植物、水质以及河流水动力、物理形态条件的调查，初步探讨了这种环境条件下浮游植物生长、繁殖规律，以及环境因子对其分布的影响。

1 研究区概况

镇江市位于江苏省西南部，属北亚热带季风气候，年平均气温15.5℃，多年平均降水量1 027.0 mm，日照时数2 057.2 h；四季分明，温暖湿润，热量丰富，雨量充沛。镇江市古运河全长16.38 km，位于119°26′～119°34′E、32°09′～32°13′N，自北向东蜿蜒贯穿主城区，北接内江（长江镇江市内分支），东南分别注入长江和京杭大运河，流域面积80.81 km^2（图1）。由于历史上洪涝灾害频发，古运河经受了多次疏浚和加固改造，至今形成了上游自迎江桥以东约6 km河段以硬质化为特征的经城市景观和防洪改造的河段，其下游剩余河段为未经改造的似自然河段。并为防洪排涝和维持景观水位需要，古运河上分别建有京口、丹徒和丹徒南闸，在长江低水位期，河道水体滞留时间较长，春季常有水华发生，常年水质劣于Ⅴ类。

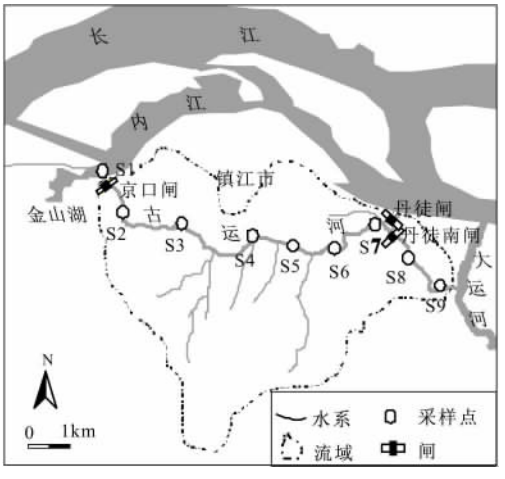

图1 镇江市古运河概况与采样点设置

Fig.1 Map of the Ancient Canal in Zhenjiang and Distribution of Sampling Sites

2 研究方法

自2006年1月～12月，在古运河上选择内江口（S1）、西门桥（S2）、虎踞桥（S3）、周家河（S4）、谷阳路（S5）、经十二路（S6）、丹徒镇（S7）、湖西（S8）、上隍（S9）9个特征调查样点。其中S1位于古运河源口（同时也作为参照点）；S2～S7位于两端均受闸控河段内；S8、S9位于下游河段，其中S9距古运河与大运河交汇口约1 km（图1）。根据在本项研究前已开展的初步调查结果，针对性地选择能反映研究区藻类生长特征的1、3、4、5、8、9、10、12月份对各调查点进行藻类调查分析，同步进行水温、泥沙、叶绿素a、氮、磷、COD_{Mn}等水质指标监测。同步收集闸坝运行、河内水位等资料。

浮游植物分类与定量分析，各点定量样品取表层1 L水样，现场用鲁哥氏液固定。样品在实验室沉淀40 h浓缩定容至30 mL，然后用定量吸管吸取0.1 mL注入0.1 mL的计数框中，进行镜检分类和计数，再根据浮游植物细胞体积的大小换算统计出生物量[16,17]。水质指标监测参照文献[18]。浮游植物与环境因子相关分析采用SPSS Statistics17.0分析软件。

3 研究结果

3.1 环境因子特征

3.1.1 水动力特征

古运河属典型的受人工闸控的城市河道，主要通过京口、丹徒南闸根据内江水位的季节性变化来调控水位以满足河道防汛、景观以及水质需要。内江水位全年在3.0～6.0 m（黄海高程）变化，古运河京口闸-丹徒南闸城区段景观水位常年需维持在5.0～6.0 m，而内江水位仅在丰水期（6～8月份）与此相近，因此仅在此期间开闸换水频繁。相应使得夏季河内水体滞留时间短、流速较大，而在春、秋和冬季因开闸少使得水体滞留时间较长，流动性差。

3.1.2 水质特征

本期间实际监测结果表明古运河总体污染严重。全年各采样点TN值在0.60～14.72 mg/L，TP值在0.55～9.56 mg/L，无论是TN与TP均在3月份最大，8月份最低；自S1点至S9点，TN浓度呈沿程增大趋势，但TP无明显变化。水体氨氮浓度在0.30～13.79 mg/L，亚硝酸盐氮在0.01～1.40 mg/L，COD_{Mn}在2.08～22.00 mg/L范围。自S1点至S9点，氨氮与COD_{Mn}均呈较明显增大趋势。河道全年水温在4.9～30.5℃，8月最高，12月最低，同监测时段内不同点位之间水温差异不大。全年叶绿素a浓度在0.00～271.92 μg/L，各点浓度

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

值在调查时间段内均呈双峰变化:春季 4～5 月份、秋季 9 月份出现峰值。在春、秋季,河道内叶绿素 a 浓度由 S1 至 S7 点呈明显增高趋势。水体悬浮泥沙含量在 1～132 mg/L,S1 点春、夏、秋、冬四季的平均悬沙含量分别为 37、52、57 和 56 mg/L,夏季各点悬沙含量相近,但在其它季节除 S2、S3 及 S9 点与 S1 接近外,其余各点监测值均小于 S1 点。

3.2　浮游植物时空分布特征

3.2.1　浮游植物种类组成及优势种群变化

在全年调查中,9 个采样点共检出浮游植物 6 门 38 属,其中蓝藻门 9 属,隐藻门 2 属,硅藻门 6 属,裸藻门 2 属,金藻门 1 属,绿藻门 18 属。绿藻门、蓝藻门和硅藻门为藻种类与数量出现较多的门类。图 2 展示了各采样点全年检出各门藻类种类所占比例。在不同采样点之间,绿藻门在 S1 检出种类比例最少,占 22%,在 S2、S3 检出增多,在 S4～S6 逐渐减少,在 S7 检出达最大比例 52.3%,在 S8 和 S9 又略有减少。蓝藻门检出比例变化趋势与绿藻门接近。硅藻门检出比例变化趋势则与绿藻门相反,在 S1 检出比例最大,达 50.4%,在 S2、S3 检出减少,在 S4～S6 又相对增大,在 S7 检出为最小比例 5.1%,在 S8 和 S9 又逐渐增大。隐藻门和金藻门出现比例较少,其中金藻门仅在 S6 点全年检出 1 次(9 月份)1 属(锥囊藻)。裸藻门在各采样点之间种类数变化不大。总体而言,在空间变化上,与上游 S1 点对比,河道内藻类种类比例组成逐渐由硅藻门为主过渡到以绿、蓝藻为主。

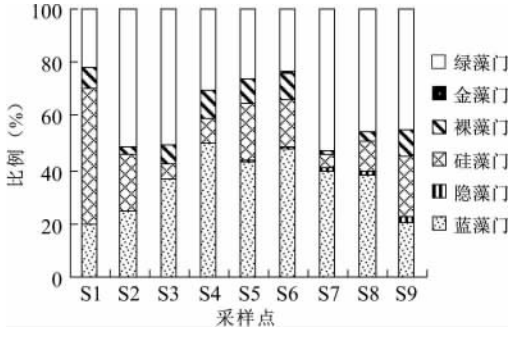

图 2　各采样点浮游植物各门所占比例

Fig. 2　Composition Ratios of Algae Varieties in Sampling Sites

从出现频率和数量分布看,硅藻门的直链藻、舟型藻、小环藻,蓝藻门的束丝藻、微囊藻、蓝纤维藻,绿藻门的十字藻、蹄形藻、小球藻、栅藻为常见种属;在冬、夏两季硅藻门藻类相较更为常见,春、秋两季则以蓝藻门和绿藻门藻类较为常见,此外分别在春、秋季的 4、5 和 9 月裸藻门的裸藻也为常见种。以上种类多为受污染水体常见藻类。在春、秋季,河道内微囊藻数量较大,并呈自上游至下游逐渐增大趋势,下游自 S4 起的多个采样点在春季均出现带状水华。

表 1　古运河浮游植物组成

Tab. 1　Composition of Phytoplankton in the Ancient Canal

门	属
绿藻门 Chloriphyta	十字藻 *Crucigenia*、空星藻 *Coelastrum*、蹄形藻 *Kirchneriella*、纤维藻 *Ankistrodesmus*、月牙藻 *Selenastrum*、小球藻 *Chlorella*、新月藻 *Closterium*、实球藻 *Pandorina*、丝藻 *Ulorthrix*、盘星藻 *Pediastrum*、空球藻 *Eudorina*、顶棘藻 *Choclatella*、栅藻 *Scenedesmus*、鼓藻 *Cosmarium*、微孢藻 *Microspora*、韦氏藻 *Westella*、桑椹藻 *Pyrobotrys*、衣藻 *Chlamydomonas*
金藻门 Chrysophyta	锥囊藻 *dinobryon*
裸藻门 Euglenophyta	囊裸藻 *Trachelomonas*、裸藻 *Euglena*
硅藻门 Bacillariophyta	小环藻 *Cyclotella*、冠盘藻 *Stephanodiscus*、直链藻 *Melesira*、舟型藻 *Navicula*、卵形藻 *Cocconeis*、平板藻 *Tabellaria*
隐藻门 Cryptophyto	蓝隐藻 *Chroomonas*
蓝藻门 Cyanophyta	色球藻 *Cyanophyta*、蓝纤维藻 *Raphidiopsis*、颤藻 *Dactylococcopsis*、螺旋藻 *Spirulina*、微囊藻 *Microcystis*、束丝藻 *Aphanizomenom*、腔球藻 *Coelosphaerium*、异球藻 *Xenococcus*、鱼腥藻 *Anabarra*

3.2.2　浮游植物细胞密度变化

各采样点藻类总细胞密度随时间变化见图 3。调查期各采样点藻类细胞密度均呈双峰变化,多数采样点峰值均分别在 4 和 9 月份,与叶绿素 a 浓度变化基本一致。藻类细胞密度排序为春季>秋季>夏季>冬季。各采样点 4、8、9 和 12 月份藻类细胞密度平均值分别为 771×10^5、27.5×10^5、101.2×10^5 和 7.9×10^5 cell/L,年平均值为 160.5×10^5 cell/L,出现最大值的 4 月与最小值的 12 月相差近 100 倍。

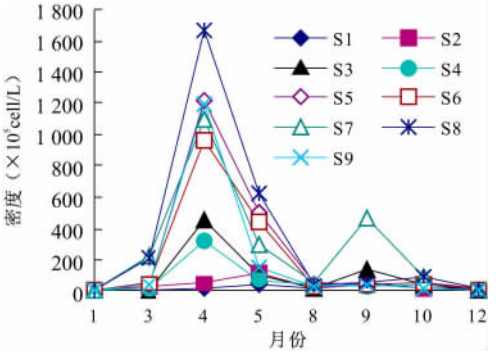

图 3　浮游植物总细胞密度随时间变化

Fig. 3　Total Density Changes of Phytoplankton with Time

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

各采样点之间比较，年均藻类细胞密度值排序为 S8＞S7＞S5＞S6＞S9＞S3＞S4＞S2＞S1。其中 S1 藻类数量各月调查值均为最少，年均值为 16.6×10^5 cell/L，与 S8 的最大值 337.3×10^5 cell/L 相差超出了 20 倍。

在各采样点出现的绿藻门、蓝藻门和硅藻门 3 个主要门类藻类数量季节变化见图 4。除 S1 外其余各点，3 个门类藻数量春季最大，冬季最小。3 个门类藻数量在春、秋季由 S1～S9 基本呈先增长后下降趋势，但在夏、冬季这种趋势不明显，并且在冬季 S2～S9 硅藻门数量均低于 S1。与其余各点比较，S1 点 3 个门类藻数量均在春季相差最大，春季 S1 点绿藻门、蓝藻门和硅藻门藻数量平均值为 4.2×10^5、10.5×10^5 和 2.4×10^5 cell/L，而其余采样点中相应最大值分别达 612.3×10^5(S8)、375.5×10^5(S7)和 60×10^5 cell/L(S8)；在夏季总体上最为接近。

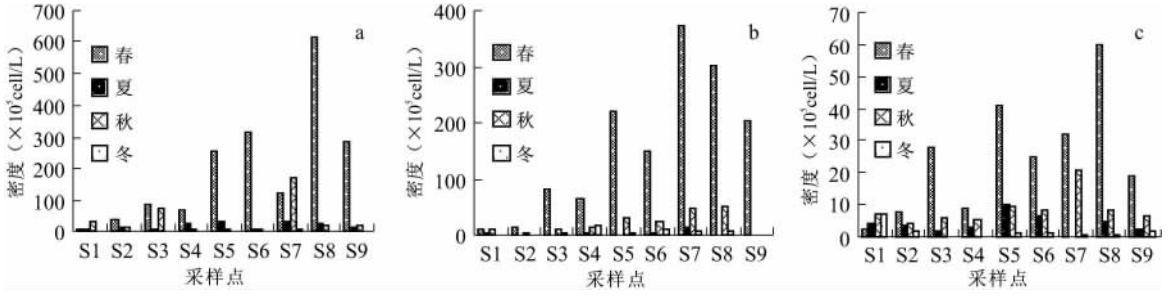

图 4 各采样点主要门类浮游植物密度变化(a 绿藻门；b 蓝藻门；c 硅藻门)

Fig. 4 Density Changes of Main Phylum Phytoplankton of Sampling Sites (a. Chloriphyta; b. Cyanophyta; c. Bacillariophyta)

3.2.3 浮游植物生物量变化

古运河各采样点藻类总生物量随时间变化见图 5，总体趋势与图 3 藻类总细胞密度变化基本一致，呈双峰变化，除个别采样点峰值出现时间有差异外，平均生物量峰值依然出现在 4 和 9 月份。藻类总生物量排序为春季＞秋季＞夏季＞冬季。各采样点 4、8、9 和 12 月份藻类生物量平均值分别为 19.6、2.6、5.9 和 0.5 mg/L。各采样点年均藻类总生物量排序为 S8＞S5＞S6＞S7＞S9＞S3＞ S4＞S2＞S1。S1 年均值为 1.3 mg/L，与 S8 的最大值 16.7 mg/L 相差近 13 倍，但 9 个调查点中 S1 各月调查值并非均为最少，分析其原因是在 S1 点硅藻门检出比例大，且硅藻体积较大所致。而 S8 点由于在 4、5 月份检出大体积的裸藻比例大，因此该期间生物量较高。各采样点不同调查期藻类种类和体积大小不同导致了其总生物量与数量之间的变化差异。

各调查点绿藻门、蓝藻门和硅藻门藻类生物量季节变化见图 6。其空间变化趋势与藻类细胞密度

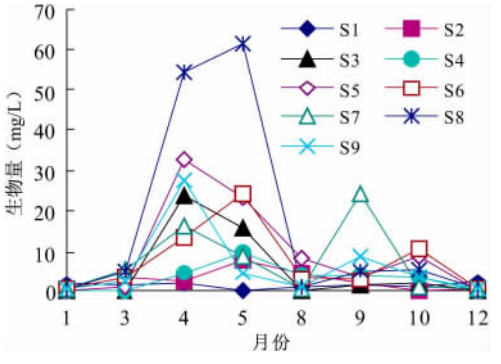

图 5 浮游植物总生物量随时间变化

Fig. 5 Total Biomass Changes of Phytoplankton with Time

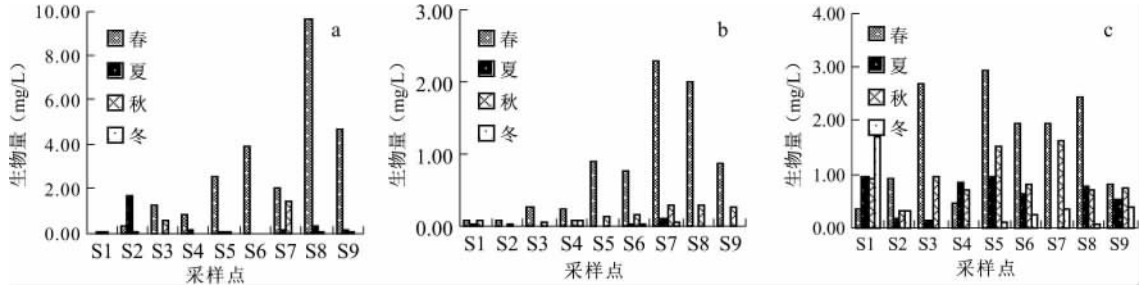

图 6 各采样点主要门类浮游植物生物量变化(a 绿藻门；b 蓝藻门；c 硅藻门)

Fig. 6 Biomass Changes of Main Phylum Phytoplankton of Sampling Sites (a. Chloriphyta; b. Cyanophyta; c. Bacillariophyta)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相近,春季差异最大,夏季差异最小。春季 S1 点绿藻门、蓝藻门和硅藻门生物量平均值为 0.01、0.08 和 0.35 mg/L,而其余采样点中相应最大值分别为 9.61(S8)、2.27(S7)和 2.95 mg/L(S5)。

3.3　浮游植物变化与主要环境因子相关分析

选择代表 4 个季节的 4、8、9 和 12 月份监测数据,针对各采样点藻类总数、3 门主要藻类密度以及主要环境因子进行 Pearson 相关分析,以探明古运河浮游植物时空动态变化的影响规律,分析结果见表 2。结果表明,TN 在春季与藻总数、绿藻及蓝藻门密度均显著相关($p<0.05$ 或 $p<0.01$),在夏季与绿藻门密度显著相关。氨氮在春季与绿藻门、蓝藻门密度相关性显著;亚硝酸盐氮则在秋季与藻总数、3 门藻密度均呈显著相关,并在冬季与蓝藻门显著相关。水温、TP 在 4 个季节与藻总数、3 门主要藻类密度均无明显相关性,但 N/P 在冬季与藻总数、蓝藻门、硅藻门密度相关性显著。水体悬沙含量仅在冬季与硅藻门密度呈显著正相关。

表 2　浮游植物与环境因子相关系数($n=9$)

Tab.2　Correlation Coefficients Between Phytoplankton and Influence Factors($n=9$)

变量	藻总数				绿藻门				蓝藻门				硅藻门			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
悬沙	−0.587	−0.493	−0.166	−0.156	−0.231	−0.470	−0.101	−0.315	−0.640	−0.505	−0.239	−0.491	−0.482	0.086	−0.144	0.924**
TP	0.224	0.246	−0.076	−0.442	0.094	0.254	−0.199	−0.128	0.539	0.199	0.269	−0.565	−0.094	−0.304	0.021	0.361
TN	0.907**	0.653	−0.013	0.448	0.675*	0.772*	−0.117	0.201	0.758*	0.017	0.087	0.627	0.641	0.040	0.020	−0.542
NH_4−N	0.091	0.371	−0.242	0.422	0.717*	0.411	−0.346	0.230	0.761*	−0.288	−0.095	0.599	0.502	0.143	−0.138	−0.558
NO_2−	−0.481	0.259	0.979**	−0.589	−0.120	0.177	0.931**	−0.406	−0.466	−0.290	0.894**	0.776*	−0.456	0.555	0.969**	−0.532
N/P	0.664	0.458	−0.031	0.672*	0.503	0.564	−0.045	0.163	0.340	−0.193	−0.143	0.856**	0.606	0.234	−0.071	0.728*
水温	−0.145	−0.479	0.344	−0.054	−0.077	−0.390	0.332	0.342	0.060	−0.653	0.359	−0.204	−0.061	0.207	0.414	0.017

注:* $p<0.05$; ** $p<0.01$.

4　讨论

本研究结果表明古运河内浮游植物时空分布差异明显。与最上游 S1 点对比,河道内藻类种类比例组成总体上逐渐由硅藻门为主过渡到以绿藻、蓝藻为主,并且这种变化在春、秋季尤为明显,表明古运河穿越镇江市过程中,河内藻类生长状况发生了极大变化,受城市活动干扰剧烈。此外,古运河内浮游植物季节分布的差异表明了不同季节环境因子对古运河浮游植物的干扰作用不同,相关分析结果也表明环境因子对古运河浮游植物分布的影响并无明显的规律性,体现了环境因子对该河道浮游植物分布影响的复杂性。

一般而言,氮、磷等营养成分充足与否是影响浮游植物数量变化的重要因素。但该水体藻类密度与 TN、TP 相关分析表明,仅在春、夏季与 TN 存在显著相关性,与 TP 相关性不明显,从受关注的影响藻类生长的 N/P 值看,各采样点多次监测均值为 2.4,表明该水体中 N 含量相比于 P 显得不足,似乎相对而言 N 对古运河藻类生长起到一定的限制作用。但由于古运河 TN、TP 浓度偏高,其年均值分别为 5.1 和 2.82 mg/L,实际上已远远满足了藻类大量繁殖的营养盐条件。从影响水体藻类生长的重要氮源氨氮看,本水域因受城市生活污水影响,氨氮浓度自 S1 至 S9 逐渐增大,与春季水体蓝藻、绿藻门密度增长趋势相近,但本水域总体氨氮含量高,平均浓度达 3.51 mg/L,足以满足藻类大量生长,也使得氨氮与藻类密度并无明显的负相关性。在秋季,亚硝酸盐氮与藻类密度显著正相关,一定程度上表明该水体自净过程中,氨氮不断转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮,但实际上氨氮并未因藻类大量生长而减少,也再次说明氨氮并非为本水域浮游植物限制因子。值得关注的是,在夏季丰水期,受水体交换频繁影响,本水域各监测点 TN、TP 与氨氮浓度平均值分别为 1.42、0.78 和 1.33 mg/L,营养盐浓度虽大幅降低,若仅从单因素角度看,依然满足藻类大量生长条件,但夏季河内藻类数量反而较少。这一结果不仅表明水体流动加剧有效地削减了本水域营养盐浓度,同时也表明在高营养盐浓度条件下,水体流动改善有效抑制了藻类大量生长。

水温是藻类水华爆发的重要环境因子,通常在营养充分条件下水温与藻类密度呈显著正相关,蓝藻水华也往往发生在较高的温度条件下。但实际上全年内古运河各采样点浮游植物密度分布均在春、秋季呈双峰变化,这与相近地区研究[5,6]表明的藻类密度在年内呈单峰变化不一致。古运河内藻类大量繁殖的 4、9 月份平均水温分别为 16 和 28.9℃,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

均低于夏季8月的30.8℃，表2相关分析也表明，水温并不是影响古运河内藻类分布的显著因子。分析这种结果应与古运河水动力条件的季节变化有关，各季节水体流动条件的不同干扰了水温对藻类生长繁殖的影响。河道阻隔使得河流生态系统结构由“激流”状态向类湖泊水体的“缓流”状态转变[19,20]，古运河为闸控水体，仅在夏季水体滞留时间短、流速较大，而在春、秋季和冬季因开闸换水较少使得河内水体滞留时间较长，水体流动性差，在春、秋季合适的温度条件下，使得古运河内浮游植物快速增长。同时间段内古运河藻类空间分布的不同也说明了水体流动性的差异对古运河藻类变化与分布特征有显著的影响。如S1采样点因位于内江，受古运河闸控影响小，4个季节间藻类密度(图3)与生物量变化均不明显(图5)；S9采样点藻类密度与生物量明显低于S8点，其中一个重要原因也是其受大运河回水影响大，而受古运河闸控影响相对较小。

另一值得关注的环境因子是水体悬沙含量。已有研究表明，水体中悬沙因能衰减光照、吸附营养盐等作用，从而影响藻类生长[21]。本段长江悬浮泥沙含量大，水体中藻类含量较少，尤其是微囊藻密度相对较低[22]。由悬沙监测结果可知，古运河虽为典型通江水体，但由于河道受闸坝阻隔，在春、秋、冬季水体滞留时间增大条件下，悬沙含量因沉积而减少，而同时河内浮游植物数量相应增长。但表2相关分析结果表明悬沙含量与藻密度相关关系并不显著，分析其结果应与古运河穿越镇江市过程中，城市活动影响条件的复杂性有关。如古运河中段河道两侧因菜地开垦而水土流失大，使得水体泥沙含量相对增大。

综合以上分析，可认为营养盐、水温，以及悬沙均影响了古运河浮游植物动态分布，但水体流动条件的不同又分别干扰了这些因素的影响，闸坝阻隔使得河道水体滞留时间变长及流速变缓，浮游植物拥有更长时间生长繁殖，在适宜的环境条件下数量显著增长。

5 结论

本研究区河道共检出藻类6门38属，常见的藻类多为富营养化相关种类，在空间上河道内藻类种类比例组成总体上逐渐由硅藻门为主过渡到以绿藻、蓝藻为主，且在春季常见藻类水华。表明研究区河道浮游藻类分布因受城市活动干扰而发生了极大变化。水动力、营养盐浓度、水温以及水体悬浮泥沙含量等多种环境因子影响了河内浮游植物分布，其中水动力学条件变化是关键诱发因素。

参考文献：

[1] MILTNER R J, WHITE D, YODER C. The biotic integrity of streams in urban and suburbanizing landscapes[J]. Landscape and Urban Planning, 2004(69): 87～100.

[2] WALTON B M, SALLING M, WYLES J, et al. Biological integrity in urban streams: Toward resolving multiple dimensions of urbanization[J]. Landscape and Urban Planning, 2007(79): 110～123.

[3] WANG L, LYONS J L, KANEHL P. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple scales[J]. Environmental Management, 2003(28): 255～266.

[4] 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): 25～27.

[5] 刘冬燕，宋永昌，陈德辉. 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.

[6] 万 蕾，朱 伟，操家顺，等. 苏州重污染河道水体中浮游植物消长规律初探[J]. 长江流域资源与环境，2006，15(2): 237～242.

[7] NYENJE P M, FOPPEN J W, UHLENBROOK S, et al. Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa——A review[J]. Science of the Total Environment, 2010(408): 447～455.

[8] LINDSTRØM E, JOHANSEN S W, SALORANTA T. Periphyton in running waters——Long-term studies of natural variation[J]. Hydrobiologia, 2004(521): 63～86.

[9] SABATER S, ARTIGASA J, DURÁNC C, et al. Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton assemblages in a regulated large river (the Ebro River)[J]. Science of the Total Environmental, 2008(404): 196～206.

[10] SELLERS T, BUKAVECKAS P A. Phytoplankton production in a large, regulated river: A modeling and mass balance assessment[J]. Limnology and Oceanography, 2003(48): 1 476～1 487.

[11] 周广杰，况琪军，刘国祥，等. 三峡库区藻类水华调查及其毒理学研究[J]. 水生生物学报，2006，30(1): 37～41.

[12] 胡征宇，蔡庆花. 三峡水库蓄水前后水生态系统动态的初步研究[J]. 水生生物学报，2006，30(1): 1～6.

[13] ALLAN J D. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2004(35): 257～284.

[14] WALTERS D M, ROY A H, LEIGH D S. Environmental indicators of macroinvertebrate and fish assemblage integrity in urbanizing watersheds[J]. Ecological Indicators, 2009(9): 1 222～1 233.

[15] MILTNER R, WHITE D, YODER C O. The biotic integrity of streams in urban and suburbanizing landscapes[J]. Land-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

scape and Urban Planning,2004(69): 87～100.
[16] 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.
[17] 胡鸿钧,魏印心,李尧英,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1980.
[18] 国家环境保护总局编.水和废水检测分析方法(第 4 版)[M].北京:中国环境科学出版社, 2002.
[19] 刘建康主编.高级水生生物学[M].北京: 科学出版社,2000.
[20] TSTZLAFF D, GROTTKER M C. Hydrological criteria to assess change of flow dynamic in urban impacted catchments [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005(30): 426～431.
[21] 陈校辉,陈学进,唐建清,等.长江江苏段浮游植物群落结构特征调查报告[J].水产养殖, 2006, 27(4): 11～16.
[22] 徐兆礼,易翠萍,沈新强,等.长江口疏浚弃土悬沙对 2 种浮游植物生长的影响[J].中国水产科学,1999,5(12): 34～36.

PHYTOPLANKTON DISTRIBUTION OF AN URBAN RIVER CONNECTED WITH THE YANGTZE RIVER
——A CASE STUDY OF THE ANCIENT CANAL, ZHENJIANG, CHINA

XIA Ting
(College of Environment, Nanjing University of Technology, Nanjing 210098, China)

Abstract: The composition and quantity of phytoplankton were investigated in the Ancient Canal in Zhenjiang City, and the effect of environmental factors on the composition and quantity of phytoplankton were simultaneously discussed to find out the phytoplankton distribution of the urban river connected with the Yangtze River and to establish effective restoration plan. Results showed that there were 38 species of phytoplankton belonging to 6 phyla, in which Chlorophyta, Cyanophyta and Bacillariophyta were familiar phyla. In general, the biomass and density of phytoplankton were spring＞autumn＞summer＞winter. Compared with the reference site on riverhead, the biomass and density of phytoplankton increased severely along the river in spring and autumn, and the composition of algae was gradually changed from the predominant Bacillariophyta phylum to the predominant phyla Chlorophyta and Cyanophyta, but these change trends were not evident in summer and winter. The growth of phytoplankton in the river was influenced by various factors including the hydraulic condition, the nutrient level, the water temperature and the suspended sediments in water. Among these, the change of hydraulic condition caused by the impounding was primary.

Key words: phytoplankton; growth rule; Zhenjiang City; the Ancient Canal

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net