

文章编号: 1674-5566(2013)03-0357-07

上海市城郊河道夏季浮游植物群落结构及水质评价

李为星, 徐玉萍, 王丽卿, 季高华, 张 玮

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 2011年8月调查了上海市城郊7个区县7条生态治理试点工程河道浮游植物种类组成、生物数量和水质理化因子状况。应用主成分分析(PCA)和典范对应分析(CCA)讨论了浮游植物数量与水质环境因子之间的关系,并且评价了城郊河道水环境状况。共鉴定出浮游植物8门189种,其中绿藻门74种;硅藻门45种;蓝藻门41种;裸藻门18种;黄藻门4种;隐藻门和甲藻门各3种;金藻门1种,优势种多为绿藻门、蓝藻门和硅藻门。PCA分析表明,溶解氧、氮磷营养因子是影响浮游植物密度变化的主要因素。典范对应分析表明,悬浮物、氮磷营养因子、高锰酸盐指数和pH是影响浮游植物群落结构的主要驱动因子。用浮游植物群落结构(生物数量和优势度)结合生物多样性指数判定青浦李腰泾和奉贤钱中河介于中-富营养型(β - α -ms)和富营养型(α -ms)之间,金山斜泾港为中-富营养型(β - α -ms)水体,其它4条河介于中营养型(β -ms)和中-富营养型(β - α -ms)之间。本次调查检出的针晶蓝纤维藻、嗜蚀隐藻、梅尼小环藻等9种藻类可作为评价受测试河道水质的污染指示种。

研究亮点: (1) 选取7条上海市生态治理试点工程河道,既有市区河道,又有郊区河道,能比较全面地反应出上海市城郊河道水环境状况。(2) 不仅从水质理化因子和生物多样性指数角度去评价水质状况,首次从污染指示种的角度,检出针晶蓝纤维藻、嗜蚀隐藻、梅尼小环藻等9种藻类可作为评价夏季城郊河道水质的污染指示种,以期为上海市城郊河道水环境状况的评估以及生态整治工程效果评价提供必要参考。

关键词: 浮游植物; 典范对应分析; 环境因子; 水质评价; 污染指示种

中图分类号: Q 948; X 522

文献标志码: A

浮游植物是水生态系统的初级生产者,是整个水生态系统物质循环和能量流动的基础,对水体营养状态变化能迅速做出响应^[1]。另外,浮游植物与水质的关系密切,其群落的种类组成、优势种、现存量等指标在不同营养水平的水环境中各异,能够及时准确、综合反映水域生态状况^[2]。因此,利用浮游植物评价和监测水质的研究在国内外正逐步展开^[3-5]并得到一定应用。

近年来随着我国经济的发展,水体富营养化现象日益突出。上海市作为国际化大都市之一,是一个典型的水质性缺水城市,全市现有水道23 787条(段),总长超过20 000 km,以黄浦江为主干的众多中小河道交织成水系^[6]。河道对上海地区的防洪排涝、引水灌溉、水运通航、水环境

改善和生态平衡具有十分重要的作用,也为水资源调度和水环境改善奠定了基础^[7],上海有关部门对城区内河道的污染治理和维护投入了大量的人力和物力,这些河道的水质有了明显的改善,但是目前的河道水质主要靠清淤和水循环等方法维持,尽管见效快,但是河道并未建立良性生态循环系统,生物群落结构简单,食物链组成结构不合理,水生态系统非常脆弱,水质不稳定^[8]。根据上海水务规划,将在“十二五”期间进行上海市城郊河道的整治工作,实现由改善水质向稳定水质的转变。本文选取了2011年河道生态整治的试点河道——上海城郊7区7条河道作为调查研究对象,分析了河道水体中浮游植物种类组成和数量分布以及与环境因子的关系,并从

收稿日期: 2013-01-10 修回日期: 2013-02-28

基金项目: 上海市水务局科技项目(沪水科2011-07); 水务“十二五”河道生态治理技术指南研究及编制(D-8005-11-0325)

作者简介: 李为星(1987—),男,硕士研究生,研究方向为水域环境生态与修复。E-mail:liweixing9876@126.com

通信作者: 王丽卿, E-mail: lqwang@shou.edu.cn

浮游植物角度评估了水体的健康状况,以期对上海市城郊河道本底水环境状况的评估以及生态整治工程效果评价提供必要参考。

1 材料与方 法

1.1 采样河道及采样点

本次调查河道 ST1 为崇明县万平河;ST2 为徐汇区东上澳塘;ST3 为青浦区李腰泾;ST4 为松江区任其泾;ST5 为闵行区丰收河;ST6 为奉贤区钱中河;ST7 为金山区斜泾港(图 1)。根据每条河道的实际情况(长度、水流和底质等)在每条河道分别设置 3~4 个采样站点,所采样品分析后取平均值。

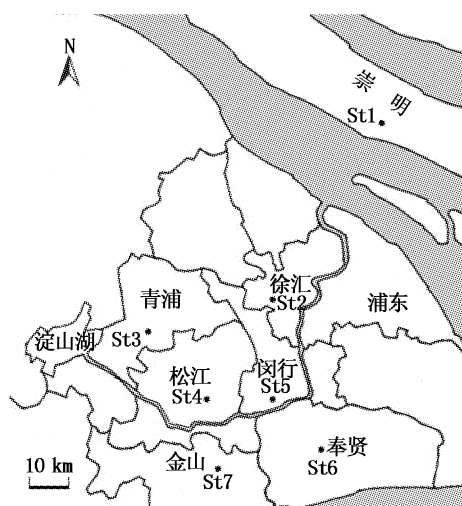


图 1 采样河道分布图

Fig. 1 Location of samplings rivers

1.2 浮游植物采集、鉴定和计数

于 2011 年 8 月对 7 条河道的浮游植物进行了定性和定量样品的采集。定性样品用 25 号浮游生物网采集,用 5% 的甲醛现场固定。定量样品用采水器在水面下 0.5 m 处采集 1 000 mL,用 15% 鲁哥氏液现场固定,经 24 h 沉淀浓缩至 50 mL^[9]。

浮游植物记数时充分摇匀浓缩液,然后立即取 0.1 mL 样品放入记数框中,在 10×40 倍光学显微镜下进行。每个样品计数两片,取其平均值做最终结果。若两片计数结果相差 15% 以上,则进行第三片计数,取其中个数相近的两片的平均值。最后换算成每升水样中藻类的细胞个数(cells/L)。

1.3 水体理化指标的测定

在河道水面下 0.5 m 处用采水器采集水样,现场测定指标有:pH、透明度(SD)、溶氧(DO)、氨氮、悬浮物(SS);总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})等指标在实验室内测定,测定方法均按《水和废水监测分析方法》^[10]。

1.4 数据处理和统计分析

1.4.1 浮游植物密度的计算

浮游植物密度计算公式为^[11]:

$$N = \frac{C_s}{F_s \cdot F_n} \times \frac{V}{U} \times P_n \quad (1)$$

式中: N 为浮游植物数量/密度(cells/L); C_s 为计数框面积(cm^2); F_s 为每个视野的面积(cm^2); F_n 为计数过的视野数; V 为 1 L 水样经沉淀浓缩后的体积(mL); U 为计数框的体积(mL); P_n 为计数出的浮游植物个数(cells)。

1.4.2 浮游植物群落结构参数

分别采用物种多样性指数(H')、优势度(Y)等参数表征浮游植物群落结构特征,相应计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \log_2 p_i \quad (2)$$

$$Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times f_i \quad (3)$$

式中: N 为采样样品中所有藻类的总细胞数(cells); S 为采集样品中藻类种类总数; P_i 为第 i 种藻类的细胞数与样品中所有藻类总细胞数的比值; n_i 为第 i 种藻类的细胞数(cells); f_i 为第 i 种藻类在各站位出现的频率。本文将优势度 $Y > 0.02$ 的藻类定为优势种^[12]。

1.4.3 数据处理

利用 CANOCO 4.5 软件对藻类物种数据和环境因子数据进行典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)和主成分分析(principal component analysis, PCA)。CCA 是采用藻类丰度指标反映藻类种类与环境的关系,为了使藻类丰度数据呈正态分布,对其进行 $\lg(x+1)$ 转换^[13-14]。为了证明典范对应分析中环境因子对浮游植物解释量的显著性,应对实验进行 Monte Carlo 显著性检验(499 组排序)^[15]。PCA 是一种数学变换方法,它把给定的一组相关变量通过线性变化转换成另一组不相关的变量,这些新的变量按照方差依次递减的顺序排列^[16]。

2 结果与分析

2.1 河道水体水质状况

调查期间,金山斜泾港的 TN 最高,达到 8.44 ± 0.24 mg/L,崇明万平河的 TN 最低,为 1.59 ± 0.60 mg/L;徐汇东上澳塘 TP 最高,为 $0.87 \pm$

0.32 mg/L,崇明万平河的 TP 最低,为 0.24 ± 0.02 mg/L;金山斜泾港的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最高,为 6.56 ± 0.94 mg/L,崇明万平河的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最低,为 0.79 ± 0.15 mg/L;pH 变幅为 $7.79 \pm 0.01 \sim 9.30 \pm 0.24$,呈明显偏碱性(表 1)。

表 1 7 条河道水体相关理化指标

Tab.1 The physical-chemical indexes of the seven investigated rivers

河道名称	SD/m	pH	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}/$ (mg/L)	COD/(mg/L)	DO/(mg/L)	SS/(mg/L)
崇明县万平河	0.25	8.82 ± 0.03	1.59 ± 0.60	0.24 ± 0.02	0.79 ± 0.15	7.64 ± 0.38	6.72 ± 1.51	25.00 ± 0.81
徐汇区东上澳塘	0.30	9.30 ± 0.24	4.99 ± 1.04	0.87 ± 0.32	3.71 ± 1.28	12.46 ± 1.76	7.23 ± 1.47	39.00 ± 2.00
青浦区李腰泾	0.50	7.79 ± 0.01	2.47 ± 0.16	0.34 ± 0.01	1.46 ± 0.04	12.15 ± 0.69	9.01 ± 0.25	6.30 ± 0.58
松江区任其浜	0.70	8.33 ± 0.20	2.17 ± 0.33	0.24 ± 0.08	1.19 ± 0.45	12.71 ± 0.22	4.62 ± 0.39	6.75 ± 0.50
闵行区丰收河	0.30	8.81 ± 0.05	3.42 ± 0.40	0.34 ± 0.10	2.52 ± 0.22	9.09 ± 0.67	5.06 ± 0.63	40.75 ± 2.06
奉贤区钱中河	0.50	8.81 ± 0.02	5.22 ± 0.31	0.59 ± 0.06	3.94 ± 0.33	11.28 ± 0.53	6.48 ± 2.54	7.33 ± 0.33
金山区斜泾港	0.40	8.97 ± 0.02	8.44 ± 0.24	0.53 ± 0.08	6.56 ± 0.94	14.41 ± 0.59	10.94 ± 2.41	26.25 ± 1.26

2.2 河道水体浮游植物群落结构特征

2.2.1 藻类的种类组成和优势种

7 条河道共鉴定出藻类 8 门 189 种,其中绿藻门 74 种,占总种数的 39.15%;硅藻门 45 种,占 23.81%;蓝藻门 41 种,占 21.69%;裸藻门 18 种,占 9.52%;黄藻门 4 种,占 2.12%;隐藻门和甲藻门各 3 种,均占总种数的 1.59%;金藻门 1 种,占 0.53%。7 条河道浮游藻类种类数略有差异:松江(86 种) > 闵行(70 种) > 金山(69 种) > 奉贤(66 种) > 青浦(65 种) > 崇明(54 种) = 徐汇(54 种)。

7 条河道藻类的优势种有所不同,但都以绿藻门、蓝藻门和硅藻门占绝对优势(表 2),其中奉

贤区河道优势种种类数最多,共有 10 种,徐汇(7 种)、崇明(6 种)、青浦(5 种)和闵行(5 种)次之,金山优势种数量最少,仅有 3 种。崇明县万平河优势种包括蓝藻、隐藻和硅藻,主要优势种为银灰平裂藻(*Merismopedia glauca*);徐汇区东上澳塘、青浦区李腰泾、松江区任其浜、闵行区丰收河和金山区斜泾港河道优势种均为蓝藻,主要优势种为小颤藻(*Oscillatoriatenuis*)、皮状席藻(*Phormidium corium*)和小席藻(*Phormidium tenuis*);奉贤区钱中河河道优势种包括蓝藻、绿藻、硅藻和隐藻,主要优势种为皮状席藻(*Phormidium corium*)。

表 2 7 条河道浮游植物优势种及其优势度

Tab.2 The species and dominance of the dominant phytoplankton in the seven rivers

种名	崇明	徐汇	青浦	松江	闵行	奉贤	金山
银灰平裂藻(<i>Merismopedia glauca</i>)	0.250	0.029					0.045
优美平裂藻(<i>Merismopedia elegans</i>)	0.176	0.044		0.097		0.029	
小颤藻(<i>Oscillatoriatenuis</i>)	0.034	0.155	0.030	0.129	0.083	0.132	0.046
小席藻(<i>Phormidium tenuis</i>)	0.026	0.022		0.146	0.081	0.108	0.049
极大螺旋藻(<i>Spirulina maxima</i>)		0.118					
窝形席藻(<i>Phormidium faveolarum</i>)		0.069					
皮状席藻(<i>Phormidium corium</i>)		0.042	0.303	0.124	0.388	0.158	
为首螺旋藻(<i>Spirulina princeps</i>)			0.200		0.050		
湖泊色球藻(<i>Chroococcus limneticus</i>)				0.036			
巨颤藻(<i>Oscillatoria princeps</i>)					0.121		
梅尼小环藻(<i>Cyclotella menighiniana</i>)	0.026					0.028	
嗜蚀隐藻(<i>Cryptomonas erosa</i>)			0.029			0.051	
尖尾蓝隐藻(<i>Chroomonas acuta</i>)	0.076		0.023			0.048	
河生集星藻(<i>Actinastrum hantzschii</i>)							0.023
双对栅藻(<i>Scenedesmus bijuga</i>)							0.023
四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)							0.022

2.2.2 浮游藻类的密度

不同河道浮游植物数量差异较大(图2),幅度为 $1\ 147.48 \times 10^4 \sim 8\ 790.07 \times 10^4$ cells/L,平均为 $(3\ 476.84 \pm 2\ 727.06) \times 10^4$ cells/L。其中金山区斜泾港浮游植物数量最高,达 $8\ 790.07 \times 10^4$ cells/L,其次青浦李腰泾为 $5\ 200.54 \times 10^4$ cells/L,松江任其浜达到 $3\ 287.78 \times 10^4$ cells/L,闵行丰收河为 $2\ 847.02 \times 10^4$ cells/L,奉贤钱中河为 $1\ 548.42 \times 10^4$ cells/L,徐汇东上澳塘为 $1\ 516.57 \times 10^4$ cells/L,崇明万平河生物密度最低,为 $1\ 147.48 \times 10^4$ cells/L。

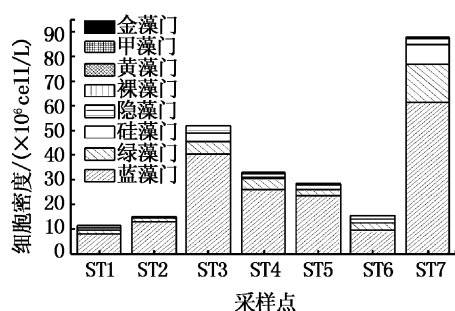


图2 7条河道藻类细胞密度的水平分布

Fig.2 Spatial distribution of algae abundance in the seven rivers

2.3 主成分分析

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP、 COD_{Mn} 、DO、SS、pH等7个水质理化因子的相关性检验(KMO and Bartlett's Test)结果为0.677($P < 0.01$),显示实验数据具有检验显著性,适合做主成分分析。特征值大于1的主成分有2个,累计贡献率为77.66%,各主成分的特征值和贡献率见表3。其中,第一主成分包含的信息量最大,对其水质变化影响最大。

表5 前2个CCA排序轴与环境因子间的相关系数

Tab.5 Coefficient of environmental variables with first two axes of CCA

	SP1	SP2	EN1	EN2	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TN	TP	COD	DO	SS	pH
SP1	1										
SP2	-0.030	1									
EN1	0.824	0.000	1								
EN2	0.000	0.931	0.000	1							
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.128	0.481	0.155	0.516	1						
TN	0.174	0.394	0.212	0.423	0.979	1					
TP	0.225	0.627	0.273	0.674	0.663	0.627	1				
COD	0.164	-0.133	0.199	-0.143	0.535	0.581	0.400	1			
DO	-0.038	0.062	-0.046	0.067	0.545	0.578	0.261	0.458	1		
SS	-0.115	0.798	-0.139	0.857	0.263	0.227	0.294	-0.333	-0.019	1	
pH	0.492	0.707	0.597	0.759	0.516	0.504	0.569	-0.078	0.066	0.661	1

表3 PCA分析变量解释

Tab.3 Total variance explained of principal component analysis

主成分	初始特征值 /%	提取平方载荷总数		
		总数	变量比例/%	累积比例/%
1	51.76	3.623	51.76	51.76
2	25.90	1.813	25.90	77.66

第一主成分中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP和DO的相关系数绝对值较大,分别为0.950、0.947、0.795和0.590;COD、SS和pH是第二主成分的决定因子,相关系数绝对值分别为0.665、0.830和0.691(表4)。氨氮、总氮、总磷和溶氧为影响夏季城郊河道浮游植物数量变化的最主要水质因子,高锰酸盐指数、悬浮物和pH的影响相对较弱。

表4 主成分矩阵

Tab.4 Component matrix

环境因子	主成分	
	1	2
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.950	-0.084
TN	0.947	-0.125
TP	0.795	0.156
COD	0.595	-0.665
DO	0.590	-0.398
SS	0.344	0.830
pH	0.608	0.691

2.4 典范对应分析

对浮游植物DCA排序结果表明前两个排序轴的梯度长度分别为4.153、3.682,因此非线性排序方法CCA更适合本排序实验。前两个环境因子轴与物种轴之间的相关系数分别为0.824、0.931,拟合程度好,蒙特卡罗检验显示,样本来自不同的正态总体,样本与物种、样本和环境因子之间具有统计意义($F = 1.949, P = 0.002$)。

物种轴 1 与高锰酸盐指数、pH 相关系数与其它环境因子相比较高($r=0.164, r=0.492$),且都呈正相关关系;物种轴 2 与氨氮、悬浮物的相关性较高($r=0.481, r=0.797$),并且都呈正相关关系(表 5)。

根据藻类相对丰度和出现的频率,选取 38 种藻类用于 CCA 分析,藻类代码见表 6。图 3 表明,蓝藻和硅藻的分布较为分散,与温度可能有很大关系^[17];绿藻门除了四足十字藻(B19)、小

型月牙藻(B27)、球衣藻(B28)和四尾栅藻(B21)分布在第一象限与总氮、总磷、氨氮呈正相关关系,其他种类主要分布在第四象限,与高锰酸盐指数成正相关关系;隐藻主要分布在第四象限,与高锰酸盐指数成正相关关系。由于城郊河道呈明显的偏碱性,排序图中藻类的分布格局与 pH 也有着极大的相关性。裸藻、甲藻和金藻因为物种数较少,难以体现与环境因子的关系。此外溶氧对浮游植物群落的影响相对较小。

表 6 CCA 分析中的浮游藻类物种代码

Tab. 6 Codes of planktonic algae species for CCA

编号	物种	编号	物种		
A1	皮状席藻	Phormidium corium	B14	小球藻	Chlorella vulgaris
A2	小颤藻	Oscillatoriatenuis	B15	集星藻	Actinastrum hantzschii Lagerheim
A3	小席藻	Phormidium tenue	B16	河生集星藻	Actinastrum hantzschii
A4	银灰平裂藻	Merismopedia glauca	B17	韦氏藻	E. estella botryoides
A5	为首螺旋藻	Spirulina princeps	B18	小空星藻	Microporum
A6	优美平裂藻	Merismopedia elegans	B19	四足十字藻	Crucigenia tetrapedia
A7	巨颤藻	Oscilla toria princeps	B20	华美十字藻	Crucigenia lauterbornii
A8	琥珀色球藻	Chroococcus limneticus	B21	四尾栅藻	Scenedesmus quadricauda
A9	极大螺旋藻	Spirulina maxima	B22	对生栅藻	Scenedesmus bijuga
A10	窝形席藻	Phormidium faveolarum	B23	实球藻	Pandorina morum
A11	隐球藻	Aphanocapsa delicatissima	B24	网球藻	Dictyosphaeria cavernosa
A12	小形色球藻	Chroococcus minor	B25	二形栅藻	Scenedesmus dimorphus
A13	针晶蓝纤维藻	Dactylococopsis raphidioides	B26	双对栅藻	Scenedesmus bijuga
C30	尖针杆藻	Synedra acus var	B28	球衣藻	Chlamydomonas globosa
C31	梅尼小环藻	Cyclotella menighiniana	B29	胶球藻	Gloeocapsin
C32	颗粒直链藻	Melosira granulata	D37	尖尾蓝隐藻	Chroomonas acuta
C33	颗粒直链藻最窄变种	M. elosira granulata var.	D38	嗜蚀隐藻	Cryptomonas erosa
C34	广缘小环藻	Cyclotella bodanica			
C35	双头针杆藻	Synedra amphicephal			
C36	螺旋颗粒直链藻	Melosira granulata			

3 讨论

3.1 城郊河道夏季浮游植物与环境因子的关系

浮游植物是对水质变化较敏感的一类生物^[18],环境因子的差异对浮游植物种类和数量的影响很大。

悬浮物是反应水质优劣的物理指标,有相关研究^[19]表明悬浮物是影响水环境的主要因素。本文 PCA、CCA 分析同样显示,悬浮物是影响河道浮游植物种类分布的重要因素之一。影响河道水体悬浮物的因素很多,雨水、农田灌溉、养殖水体、浅水水体物理扰动、水体浮游动植物及其它水生生物的自然生长规律等都可能引起水体悬浮物的变化。

营养盐作为浮游藻类赖以增殖的基础,其数量与分布直接影响藻类群落结构的动态变化^[20-21]。7 条河道浮游植物数量从高到低分别为金山斜泾港 > 青浦李腰泾 > 松江任其浜 > 闵行丰收河 > 徐汇东上澳塘 > 奉贤钱中河 > 崇明万平河,本文浮游植物数量和水中营养盐特别是 N、P 的含量有密切关系。金山斜泾港的浮游植物数量最多,对应的该河道的总氮、总磷含量也高,而其它河道也有类似的规律。一般认为营养盐尤其是 N、P 的增加在一定范围内可以引起藻类密度的增加,但是过高的营养盐反而可能导致藻类生物量的减少, TN 与 TP 的阈值分别为 16.55 mg/L 和 0.58 mg/L^[22],本次调查结果显示徐汇区东上澳塘和奉贤区钱中河的 TN 虽然很

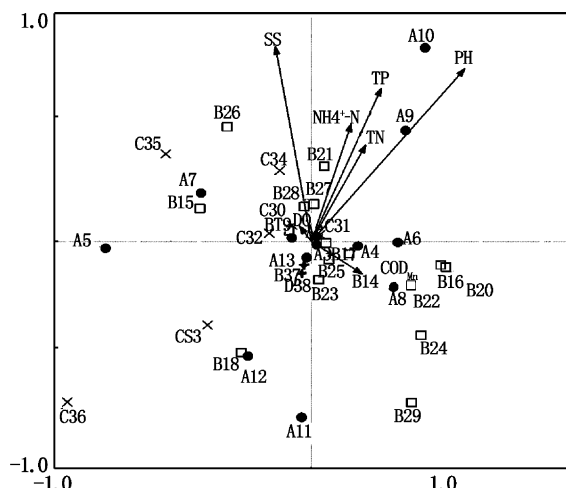


图3 7条河浮游植物物种与环境因子的CCA排序图

Fig. 3 CCA biplot of phytoplankton species and environmental variables in the seven rivers

高,但是这两条河道的TP含量均超过阈值,因此推测两条河道藻类细胞密度不高是受TP的限制。徐立等对汉江珠江段浮游植物研究也证实了^[23]在不超过阈值的前提下,水体中的氮含量增加会导致藻类数量的增多,磷含量的增加则可能限制藻类的繁殖。蓝藻门和绿藻门的大部分藻类与TP呈负相关关系,这是因为水体磷的存在形式与pH相关,当pH大于8时,磷主要以正磷酸盐形式存在^[24],而正磷酸盐是藻类吸收的最主要形式^[25],而本文CCA分析也显示了藻类生长受pH影响很大。

3.2 城郊河道水质的生态学评价

水体不同的营养状况导致了不同的藻类群落组成,不同的群落多样性也反映了水体的营养状态和受污染程度^[26]。当水体受到污染后,对于清洁种类来说,其种群数量会逐渐减少甚至消失,而耐污性种类则会大量出现甚至成为优势种^[27]。有研究表明针晶蓝纤维藻(A13)、嗜蚀隐藻(D38)和尖尾蓝隐藻(D37)是富营养型(α -ms)的指示种^[28],而这3种藻类在7条河道中均被检出,在ST3、ST6成为优势种;梅尼小环藻(C31)、颗粒直链藻(C32)和巨颤藻(A7)是中-富营养型(β - α -ms)的指示种,其中梅尼小环藻在7条河均被检出,颗粒直链藻在ST2、ST3、ST4和ST7被检出,巨颤藻在ST3、ST5、ST6和ST7被检出;集星藻(B15)、实球藻(B23)和四尾栅藻(B21)是中营养型(β -ms)水体的指示种,其中集星藻和实球藻

在ST3、ST5和ST7被检出,四尾栅藻在除ST2外的6条中被检出。结合多样性指数 H' ($H'_{ST1} = 2.35$, $H'_{ST2} = 2.24$, $H'_{ST3} = 1.33$, $H'_{ST4} = 2.51$, $H'_{ST5} = 2.14$, $H'_{ST6} = 1.81$, $H'_{ST7} = 2.74$)判定青浦李腰泾和奉贤钱中河介于中-富营养型(β - α -ms)和富营养型(α -ms)之间,金山斜泾港为中-富营养型(β - α -ms)水体,其它4条河介于中营养型(β -ms)和中-富营养型(β - α -ms)之间。

因此笔者认为可以把某些浮游藻类种类作为污染指示种,为城郊河道生态评价体系建设提供理论基础。本次调查检出的针晶蓝纤维藻、嗜蚀隐藻、梅尼小环藻等9种藻类可作为夏季城郊河道水质评价指示种。

参考文献:

- [1] 韩博平,林旭钿,李铁. 广东省大中型水库营养化现状与防治对策研究[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] SANNA S, MARIA L, MAIJA H. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 71: 580-592.
- [3] 吴晓辉,刘家寿,朱爱民,等. 浮桥水库浮游植物的多样性及其演变[J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(3): 218-222.
- [4] 冯建社. 白洋淀浮游植物与水质评价[J]. *江苏环境科技*, 1999, 12(2): 27-29.
- [5] SABATER S, ARTIGAS J, DURAN C, et al. Longitudinal development of chlorophyll and phytoplankton on assemblages in a regulated large river (the Ebro River) [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 404(1): 196-206.
- [6] 黄海雷,金鹏飞,王晖. 上海河道水环境综合治理和水资源保护的思[J]. *水环境*, 2007(6): 40-42.
- [7] 陈美发. 上海市河道治理现状与展望[J]. *城市道桥与防洪*, 2003(1): 43-45.
- [8] 姜雪芹,禹娜,毛开云,等. 冬季上海市城区河道中浮游植物群落结构及水质的生物评价[J]. *华东师范大学学报*, 2009(2): 78-87.
- [9] 饶钦止. 湖泊调查基础知识[M]. 北京:科学出版社, 1956: 295-297.
- [10] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 224-281.
- [11] 刘冬燕. 苏州河浮游生物群落特征及动态变化[D]. 上海:华东师范大学, 2003.
- [12] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲳鱼渔场的关[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(6): 984-991.
- [13] 栾青杉,孙军,宋书群,等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 445-450.

- [14] 薄芳芳,杨虹,左焯,等. 上海公园水体夏季浮游植物群落与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2009,28(7):1259 - 1265.
- [15] PIIRSOO K, VILBASTE S, TRUU J, et al. Origin of phytoplankton and the environmental factors governing the structure of microalgal communities in lowland streams [J]. *Aquatic Ecology*, 2007, 41: 183 - 194.
- [16] 马虹. 主成分分析法在水质综合评价中的应用[J]. 南昌工程学院学报, 2006, 25(1): 65 - 67.
- [17] 李秋平, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2355 - 2364.
- [18] 洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨[J]. 水生生物学报, 2002, 26(3): 295 - 305.
- [19] 伊元荣, 海米提·依米提, 王涛, 等. 主成分分析法在城市河流水质评价中的应用[J]. 干旱区研究, 2008, 4(25): 497 - 501.
- [20] 陈立婧, 景钰涵, 吴艳芳, 等. 人工滩涂湖泊滴水湖浮游藻类群落特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1771 - 1779.
- [21] 蒋嫣红, 程婧蕾, 王丽卿. 公园水体浮游植物与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 606 - 613.
- [22] 陈宇炜, 高锡云, 秦伯强. 西太湖北部夏季藻类种间关系的初步研究[J]. 湖泊科学, 1998(1): 35 - 40.
- [23] 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.
- [24] 严力蛟, 焦荔, 金晓辉, 等. 千岛湖水体营养主控因子分析[J]. 当代生态农业, 2001(3): 89 - 93.
- [25] 王霞, 吕宪国, 张学林, 等. 松花江富营养化现状及其影响因素分析[J]. 湿地科学, 2004, 2(4): 273 - 278.
- [26] MAYAGOITIA E O, ROJO C, RODRIGO M A. Controlling Factors of Phytoplankton Assemblages in Wetlands: an Experimental Approach [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 502(123): 177 - 186.
- [27] 孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 太湖蠡湖浮游植物群落特征及其对水质的评价[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(12): 30 - 35.
- [28] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87 - 91.

Assessment of phytoplankton community structure and water quality in the seven suburb rivers of Shanghai in summer

LI Wei-xing, XU Yu-ping, WANG Li-qing, JI Gao-hua, ZHANG Wei
(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 210306, China)

Abstract: The community composition and density of the phytoplankton and environmental factors of 7 rivers in 7 districts of Shanghai in August of 2011 were investigated. In order to provide scientific basis to control the pollution, principal components analysis (PCA) and canonical correspondence analysis (CCA) were applied to analyze the relationships between the phytoplankton community structure and water parameters and to assess the environmental status of the water quality in the suburbs. 189 species of 8 phyla were identified, including Chlorophyta (74 species), Bacillariophyta (45 species), Cyanophyta (41 species), Euglenophyta (18 species), Xanthophyceae (4 species), Cryptophyta (3 species), Pyrroptata (3 species) and Chrysophyta (1 species). The dominant species were Chlorophyta, Cyanophyta and Bacillariophyta. PCA analysis showed that DO, water nitrogen, phosphorus and COD_{Mn} were the main chemical factors affecting the phytoplankton abundance in the water bodies. CCA analysis indicated that SS, water nitrogen, phosphorus, COD_{Mn} and pH were the main factors driving the phytoplankton abundance and community structure. Results from combining biomass and dominance with diversity index of phytoplankton community structure showed that Liyaojing River in Qingpu and Qianzhong River in Fengxian district were in mesotrophic-to-eutrophic state, Xiejinggang River in Jinshan district was in mesotrophic, others were in mesotrophic-to-eutrophic state. Phytoplankton such as *Dactylococcopsis raphidioides*, *Cryptomonas erosa* and *Cyclotella menighiniana* etc were defined as the pollution indicator species of rivers in suburb in summer.

Key words: phytoplankton; canonical correspondence analysis; environmental factor; water assessment; saprobic indicator.