

杭州西溪湿地首期工程区浮游植物群落结构及与水质关系*

贺筱蓉¹, 李共国^{2**}

(1: 浙江教育学院理工学院, 杭州 310012)

(2: 浙江万里学院生物技术研究所, 宁波 315100)

摘要: 2007年1-12月, 调查了西溪湿地(I-IV站)浮游植物的属类组成、密度和生物多样性指数, 并将水质理化参数与藻类的群落指标进行相关性分析。4个采样站中共发现8156个属藻类, 其中绿藻门和硅藻门占73.21%。I-IV站藻类年均密度分别为 2.88×10^8 、 0.37×10^8 、 0.47×10^8 和 0.71×10^8 cells/L, 其中绿藻门和隐藻门占总浮游植物密度的93.76%, 优势属为小球藻属(*Chlorella*)、隐藻属(*Cryptomonas*)和衣藻属(*Chamydomonas*)。I-IV站藻类Marglef多样性指数分别为1.17、1.10、1.08和1.06。根据藻类各项指标值, 西溪湿地已遭受污染, 水体为富营养型。相关分析结果表明: I站和III站的浮游植物密度对数与 COD_{Mn} 指数呈极显著的正相关关系($P < 0.01$), I-IV站浮游植物密度对数与水质电导率之间均有显著或极显著的正相关关系。

关键词: 西溪湿地; 浮游植物; 群落结构; 富营养化

Community structure of phytoplankton and its relation with water quality in Xixi Wetland for the first project area, Hangzhou

HE Xiaorong¹ & LI Gongguo²

(1: Science and Technology School, Zhejiang Education Institute, Hangzhou 310012, P.R.China)

(2: Institute of Biotechnology, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, P.R.China)

Abstract: Studies on community structures of phytoplankton, including genus richness, density and biodiversities, and regression analysis between community index of phytoplankton and water quality parameters were carried out from Jan. to Dec. of 2007 in Xixi Wetland of the first project-circled area, Hangzhou. 56 genus of algae were found, of which 73.21% were Chlorophyta and Bacillariophyta. The annual mean density of algae from I station to IV station were 2.88×10^8 , 0.37×10^8 , 0.47×10^8 and 0.71×10^8 cells/L respectively, of which 93.76% were Chlorophyta and Cryptophyta, and the *Chlorella*, *Cryptomonas* and *Chamydomonas* were dominated in the algae community. The algae diversity indexes of Genus Marglef from I station to IV station were 1.17, 1.10, 1.08 and 1.06 respectively. According to values of algae comprehensive index, Xixi Wetland has suffered serious pollution and can be regarded as eutrophication status. Logarithm density of algae was positively correlated with COD_{Mn} value in station I and station III ($P < 0.01$), and positively correlated with water conductivity value from I station to IV station ($P < 0.01$).

Keywords: Xixi Wetland; phytoplankton; community structure; eutrophication

西溪湿地位于杭州市区西部, 一个有着悠久人类活动踪迹的次生湿地, 这里生态资源丰富、自然景观质朴、文化积淀深厚, 曾与西湖、西泠并称杭州“三西”。西溪湿地是我国第一个集城市湿地、农耕湿地、文化湿地于一体的国家湿地公园, 其规划总面积逾 10 km^2 。其中, 面积为 3.46 km^2 的首期综合保护工程始于 2003 年 8 月, 主要对湿地的河道进行了清淤、疏通, 以期恢复原来的水生态; 二期工程(4.89 km^2)和三期工程(3.15 km^2)分别于 2006 年和 2008 年实施。西溪湿地综合保护工程充分现示了湿地中人与自然和谐

* 浙江省教育厅项目(20071390)资助。2009-02-11收稿; 2009-04-18收修改稿。贺筱蓉, 女, 1962年生, 副教授; E-mail: opal666@163.com.

** 通讯作者; E-mail: ligongguo@tom.com.

相处^[1]. 然而, 对湿地生态环境的评价应关注生态过程和湿地可获得的价值, 识别对湿地水质、湿地生境和湿地水文功能等方面的影响因子^[2]. 在西溪湿地开发之前, 湿地内在的能量流及物质流交换已趋微弱, 生态环境的脆弱性明显^[3]. 李共国等^[4]研究了浮游动物的生态及其与环境之间的关系, 但有关西溪湿地的浮游植物生态还未见报道. 本文试图利用浮游植物对水质环境变化的敏感性, 藻类群落生态特征对水体富营养化、水质评价的指标特性^[5-6], 来研究西溪湿地综合保护首期工程对环境改造的生态效应, 为后期保护工程的实施提供合理的指导.

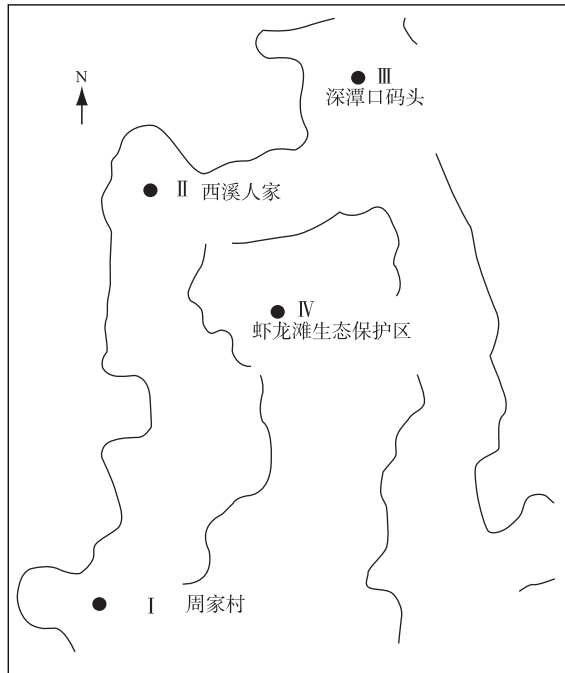


图1 西溪湿地首期工程区浮游植物采样点分布

Fig.1 Distribution of phytoplankton sampling stations of Xixi Wetland for the frist project aera

1 材料与方法

1.1 浮游植物采样点设置

首期工程区内, 采取疏浚工程的生态恢复区和生态保护区约占94%, 历史遗存保护区和服务设施区占6%. 研究样点选取了生态恢复区中位于周家村的游人入口处(I站)、西溪人家(II站)、深潭口上船码头(III站), 以及虾龙滩生态保护区(IV站)四个采样站(图1). 其中I站是游客集散地, 设有西溪问茶室、西溪生态展示馆和青少年生态教育基地, 人员相对比较集中; II站是西溪原居民生活展示屋, 有柳树桩护堤; III站是蒋村龙舟胜会所在地, 是各种庆典活动的聚集点, 因此这里的生态环境受到人员活动的影响比较大; IV站是湿地公园中最大的一块自然生态保护区, 人员流动少.

1.2 采样和计数

2007年1-12月, 按《淡水浮游生物研究方法》^[7]逐月进行采样, 定量样品用1L有机玻璃采水器分别于该采样点水表至水底深度间均匀分3个水层, 每层各采集等量水样混匀后取1L, 用鲁哥氏溶液(Lugol's solution)固定, 带回实验室后用锥形量筒浓缩、镜检. 浮游植物种类^[8-10]鉴定, 并统

计密度.

1.3 水样理化指标的测定

采集水样的同时, 现场测量采样点水体的温度、深度、pH值和透明度. 在实验室对水样进行COD_{Mn}、BOD₅的测定. 其中COD_{Mn}测定采用高锰酸钾法(GB11893-89), BOD₅采用接种法(GB11892-89). 溶解氧测定采用JPB—607型便携式溶解氧测定仪测定; 电导率采用铂黑电极法测定.

1.4 藻类属多样性指数、均匀度和优势度的计算

藻类指数采用胡晓红等^[5]方法, 评价标准: 绿藻指数值0-1为贫营养型, 1-5为富营养型, 5-15为重营养型; 藻类综合指数值<1为贫营养型, 1-2.5为弱富营养型, 3-5为中度富营养型, 5-20为重度富营养型, 20-43为重富营养型. 群落多样性指数(d)采用Marglef^[11]多样性指数, 公式为:

$$d=(S-1)/\ln N$$

群落均匀度指数(E):

$$E=d_{\text{平均}}/d_{\text{最大}}$$

种群优势度指数(D):

$$D=N_{\text{max}}/N$$

式中, d 为群落多样性指数, $d_{\text{平均}}$ 为群落多样性指数的平均值, $d_{\text{最大}}$ 为群落多样性指数最大值, S 为藻类属类数, N 为样本中藻类的总密度, N_{max} 为群落中优势属的密度.

2 结果与分析

2.1 西溪湿地水质的理化指标

I 站水体深度大, 但透明度最低, pH值、COD_{Mn}和BOD₅指数均为最高, 反映了较差的生态环境; 而IV站水体深度浅, 透明度最高, BOD₅指数和电导率均最低, 反映了较好的生态环境, 这可能与生态保护区水质没有受到清淤和外界影响有关; II站的pH值、COD_{Mn}均最低, 溶解氧最高; III站的电导率明显高于其他3站(表1).

表1 西溪湿地各采样站水质理化参数

Tab.1 Annual mean value water quality parameters in the four sampling stations in Xixi Wetland, Hangzhou

采样站	透明度(m)	pH	水深(m)	水温(°C)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	电导率(mS/cm)	DO(mg/L)
I	0.48	6.41	1.67	18.81	5.37	2.36	0.58	4.54
II	0.55	6.12	1.07	18.78	3.61	1.15	0.59	4.65
III	0.60	6.39	1.22	18.79	4.19	1.26	0.66	4.54
IV	0.72	6.19	0.96	19.16	3.81	1.10	0.54	4.47

2.2 浮游植物种类组成、分布及其优势种

在西溪湿地 4 个采样站中, 共鉴定出浮游植物 8 门 56 个属, 绿藻门 29 属, 硅藻门 12 属, 蓝藻门 7 属, 金藻门 3 属, 裸藻门 2 属, 隐藻门、黄藻门、甲藻门各 1 属, 种类名录组成及分布变化见表 2. 根据年平均密度大小, 优势种为小球藻属(*Chlorella*)、隐藻属(*Cryptomonas*)和衣藻属(*Chamydomonas*), 分别占藻类总密度的 48.28%、20.11% 和 17.42%. 湿地藻类年平均密度为 1.110×10^8 cells/L, 各类浮游植物中, 以绿藻门和隐藻门为最多, 分别占总藻密度的 73.65% 和 20.11%, 其余各门藻类仅占 6.24%.

2.3 浮游植物密度的时空分布

西溪湿地浮游植物密度的季节变化以春季为最高, 主要为优势属小球藻大量繁殖所致, I-IV 站春季小球藻的密度分别达到 5.65×10^8 、 0.64×10^8 、 0.79×10^8 和 1.49×10^8 cells/L, 尤其在 I 站 4 月份小球藻的密度达 1.54×10^9 cells/L. 夏秋季藻类密度次之, 冬季最低. 主要浮游植物的绿藻门、隐藻门以及总藻密度的水平变化均以 I 站 > IV 站 > III 站 > II 站(图 2).

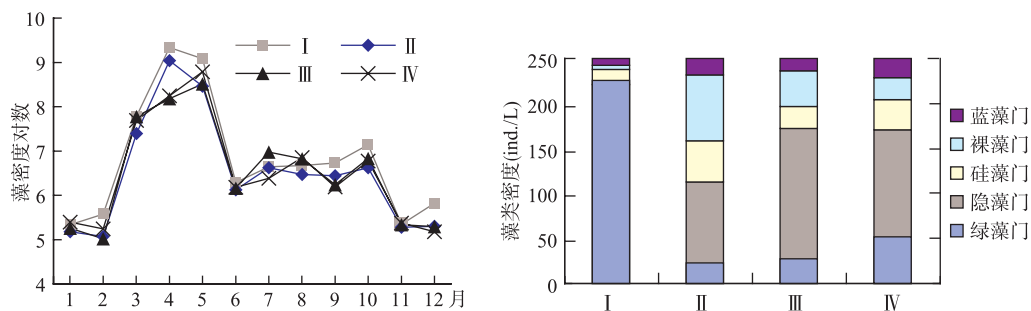


图 2 I-IV 站各类浮游植物密度的季节变化和水平变化

Fig.2 Seasonal and horizontal changes of phytoplankton density in the four sampling stations of Xixi Wetland

2.4 浮游植物的群落特征分析

浮游植物属类数以 II 站为最多, III 站最少; 总藻密度以 I 站 > IV 站 > III 站 > II 站; 属多样性指数在 4 个采样站中变化不大; 均匀度指数以 III 站为最高, II 站最低; 优势度指数以 IV 站为最高, III 站最低(表 3).

表 2 I-IV 站西溪湿地浮游植物属类组成、分布及其平均密度($\times 10^6$ cells/L)
 Tab.2 Genus composition, distribution and mean density of phytoplankton community
 in the four sampling stations of Xixi Wetland

属类 Genus	I	II	III	IV	平均	属类 Genus	I	II	III	IV	平均
绿藻门 Chlorophyta						针杆藻属 <i>Synedra</i>	1.682	1.013	0.803	0.742	1.060
纤维藻属 <i>Ankistrodesmus</i>	11.107	0.933	0.723	1.732	3.623	舟形藻属 <i>Navicula</i>	0.097	0.000	0.037	0.033	0.042
鼓藻属 <i>Cosmarium</i>	1.763	2.13	1.103	1.790	1.697	乳房藻属 <i>Besrtira</i>	0.001	0.002	0.001	0.004	0.002
衣藻属 <i>Chamydomonas</i>	67.703	0.550	3.348	5.742	19.336	直链藻属 <i>Melosira</i>	0.125	0.009			0.034
水网藻属 <i>Hydrodictyon</i>	0.201	0.225	0.065	0.338	0.207	脆杆藻属 <i>Fragilaria</i>	0.069	0.019		0.056	0.036
栅藻属 <i>Scenedesmus</i>	0.872	0.29	0.255	0.528	0.487	双菱藻属 <i>Surirella</i>	0.118	0.049	0.051	0.016	0.069
小球藻属 <i>Chlorella</i>	141.3716.021	19.752	37.134	53.570		根管藻属 <i>Rhizosolenia</i>	0.000				0.000
十字藻属 <i>Crucigenia</i>	0.216	0.034	0.047	0.076	0.093	菱形藻属 <i>Nitzschia</i>	0.000			0.000	0.000
顶棘藻属 <i>Chodatella</i>	0.048	0.093	0.176	0.833	0.288	桥弯藻属 <i>Cymbella</i>	0.011	0.032	0.009	0.002	0.014
新月藻属 <i>Closterium</i>	1.307	0.494	0.154	1.197	0.788	圆筛藻属 <i>Coscinodiscus</i>		0.000	0.000	0.000	0.000
绿梭藻属 <i>Chlorogonium</i>	0.371	0.097	0.071	0.138	0.169	等片藻属 <i>Diatoma</i>	0.403	0.233	0.447	0.363	0.362
蹄形藻属 <i>Kirchneriella</i>	0.083	0.081	0.037	0.037	0.06	隐藻门 Cryptophyta					
绿球藻属 <i>Chlorococcum</i>	0.104	1.056	0.306	0.658	0.531	隐藻属 <i>Cryptomonas</i>	55.566	6.129	14.071	13.5	22.317
团藻属 <i>Volvox</i>	0.228	0.096	0.225	0.343	0.223	蓝藻门 Cyanophyta					
卵囊藻属 <i>Oocystis</i>	0.036	0.175	0.163	0.523	0.224	颤藻属 <i>Oscillatoria</i>	0.517	0.173	0.404	0.355	0.362
环藻属 <i>Sphaeroplea</i>	0.132	0.579	0.093	0.232	0.259	席藻属 <i>Phormidium</i>	0.610	0.374	0.178	0.466	0.407
实球藻属 <i>Eudorina</i>		0.019			0.005	蓝纤维属 <i>Daetylococcopsis</i>	0.109	0.015	0.116	0.049	0.072
丝藻属 <i>Ulothrix</i>		0.000			0.000	念珠藻属 <i>Nostoc</i>	0.068	0.049	0.112	0.035	0.066
空星藻属 <i>Coelastrum</i>		0.056	0.278		0.084	色球藻属 <i>Chroococcus</i>	0.166	0.076	0.099	0.460	0.200
韦丝藻属 <i>Westella</i>	0.007	0.003	0.001		0.003	螺旋藻属 <i>Spirulina</i>	0.000	0.000	0.002	0.003	0.001
盘星藻属 <i>Pediastrum</i>	0.012	0.003	0.001	0.001	0.004	平裂藻属 <i>Merismopedia</i>	0.303	0.291	0.206	0.330	0.283
弓形藻属 <i>Schroederia</i>	0.021	0.001		0.009	0.008	裸藻门 Buglenophyta					
集星藻属 <i>Actinastrum</i>	0.020	0.000		0.038	0.015	裸藻属 <i>Euglena</i>	1.415	4.048	3.208	1.909	2.645
刚毛藻属 <i>Cladophora</i>		0.009		0.083	0.023	囊裸藻属 <i>Trachelomonas</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
鞘藻属 <i>Oedogonium</i>	0.026	0.008	0.004	0.011	0.012	黄藻门 Xanthophyta					
拟新月藻属 <i>Closteriopsis</i>	0.001			0.001	0.001	黄丝藻属 <i>Tribonema</i>	0.044	0.106	0.080	0.088	0.080
角丝鼓藻属 <i>Desmidiium</i>	0.001	0.006	0.003	0.002	0.003	金藻门 Chrysophyta					
四角藻属 <i>Tetraedron</i>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	椎囊藻属 <i>Dinobryon</i>	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001
月牙藻属 <i>Selenastrum</i>		0.001			0.000	三毛金藻属 <i>Primnesium</i>	0.014	0.016	0.005	0.047	0.021
胶囊藻属 <i>Gloeocystis</i>		0.002	0.004		0.002	鱼鳞藻属 <i>Mallomonas</i>	0.014				0.004
硅藻门 Bacillariophyta						甲藻门 Dinophyta					
羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>	1.493	1.148	0.598	1.390	1.157	角甲藻属 <i>Ceratium</i>		0.016	0.001	0.009	0.007

2.5 环境因子对西溪湿地浮游植物属类数、密度对数和多样性指数的影响

在西溪湿地 4 个浮游植物采样站周年逐月得到的 48 个样本中, 以每个样本的水质理化参数为自变量, 样本的浮游植物群落指标为应变变量作相关回归分析. 西溪湿地浮游植物的属类数与水体透明度之间呈显著的负相关关系, 与 COD_{Mn} 和电导率之间分别有显著和极显著的正相关关系; 属多样性指数也与水体透明度之间呈显著的负相关关系, 与水温之间呈极显著的正相关关系; 藻类密度对数与 COD_{Mn} 指数、电导率之间均有极显著的正相关关系(表 4).

表3 西溪湿地春季4个采样点浮游植物群落特征的平均值

Tab.3 Average value of phytoplankton community characteristics in the four sampling stations of Xixi Wetland

群落特征	I	II	III	IV
属类数	48	52	44	47
总藻密度($\times 10^6$ cells/L)	288.455	36.763	47.239	71.306
绿藻指数	7.00	6.36	6.33	6.21
藻类综合指数	12.25	11.82	12.17	11.54
属多样性指数(d)	1.172	1.102	1.084	1.061
均匀度指数(E)	0.721	0.622	0.759	0.715
优势度指数(D)	0.490	0.436	0.418	0.521

表4 西溪湿地藻类群落指标与水质理化参数之间的相关系数*

Tab.4 Correlation coefficients of community index to water quality parameters in Xixi Wetland, Hangzhou

群落指标	透明度 (m)	水深 (m)	pH 值	水温 ($^{\circ}$ C)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	电导率 (mS/cm)	DO (mg/L)
属类数	-0.300 ¹⁾	0.193	-0.030	0.273	0.300 ¹⁾	0.182	0.533 ²⁾	0.030
属多样性指数	-0.332 ¹⁾	0.163	0.086	0.408 ²⁾	0.185	0.155	0.238	-0.075
藻类密度对数	-0.171	0.200	-0.174	0.047	0.614 ²⁾	0.172	0.776 ²⁾	0.205

* 1)0.05 显著水平, 2)0.01 显著水平.

为进一步考察水质 COD_{Mn} 指数、电导率对各采样站及各门浮游植物的影响, 分别以各站水质的 COD_{Mn} 指数、电导率为自变量, 各门浮游植物的密度对数为应变量作相关回归分析(表 5).

表5 I-IV站各类浮游植物密度对数与有机物耗氧量(mg/L)、电导率(mS/cm)之间的相关系数*

Tab.5 Correlation coefficients among COD_{Mn}, conductivity and Log no. of various phytoplankton density in the four sampling stations of Xixi Wetland

浮游植物		I	II	III	IV
绿藻门 Chlorophyta	COD _{Mn}	0.794 ²⁾	0.623	0.802 ²⁾	0.475
	电导率	0.799 ²⁾	0.853 ²⁾	0.731 ¹⁾	0.915 ²⁾
隐藻门 Cryptophyta	COD _{Mn}	0.816 ²⁾	0.313	0.747 ¹⁾	0.525
	电导率	0.773 ²⁾	0.680 ¹⁾	0.770 ²⁾	0.820 ²⁾
硅藻门 Bacillariophyta	COD _{Mn}	0.688 ¹⁾	0.712 ¹⁾	0.697 ¹⁾	0.549
	电导率	0.804 ²⁾	0.772 ¹⁾	0.421	0.841 ²⁾
裸藻门 Buglenophyta	COD _{Mn}	0.595	0.782 ²⁾	0.372	0.577
	电导率	0.602	0.781 ²⁾	0.309	0.692 ¹⁾
蓝藻门 Cyanophyta	COD _{Mn}	0.648 ¹⁾	0.614	0.788 ²⁾	0.614
	电导率	0.712 ¹⁾	0.300	0.521	0.842 ²⁾

* 1) 0.05 显著水平, 2) 0.01 显著水平.

I 站除裸藻门外, 浮游植物的密度对数与 COD_{Mn} 和电导率之间均有显著的正相关性, 并以隐藻门的密度对数与 COD_{Mn} 指数之间的正相关性为最高, 硅藻门的密度对数与电导率之间的正相关性最高; II 站的硅藻门和裸藻门密度对数均与 COD_{Mn} 和电导率之间有显著的正相关性, 绿藻门和隐藻门的密度对数仅与电导率之间有显著的正相关性; III 站绿藻门和隐藻门的密度对数均与 COD_{Mn} 和电导率之间有显著的正相关性, 硅藻门和蓝藻门的密度对数仅与 COD_{Mn} 之间有显著的正相关性; IV 站仅以电导率水质因子与各类藻密度对数之间呈显著的正相关性, 并以绿藻门的相关系数为最高.

3 讨论

3.1 有机物和营养盐对湿地浮游植物生态的影响

西溪湿地有机物质来源主要有水草(喜旱莲子草、水葫芦等)腐烂的二次污染、当地居民生活和生产垃

圾、水产养殖和农业生产地表径流等, 进入水体的有机物经氧化分解, 最终变为浮游植物可直接利用的营养盐. 2005年当地的养殖产业占农业总产值近70%, 猪最大存栏达2万头, 池塘鱼类的放养密度也过高. 湿地开发前的1999年, 水体中氨氮和硝基氮的年平均含量曾分别达2.65和1.62mg/L^[4], IV站硝酸盐浓度更是从1997年的18.2mg/L, 上升到2002年的23.1mg/L^[3]. 水体水质的电导率高低与营养盐浓度有关^[12], 西溪湿地浮游植物的属类数、总藻密度对数均随着COD_{Mn}指数和电导率的升高而极显著地增长(表4), 即湿地藻类随着有机物质耗氧量和营养盐浓度的升高而极度增殖. 这与Takamura等^[13]报道的日本湖泊中鞭毛虫的密度对数与水体总氮含量的对数、种类数与总磷含量对数之间均呈显著的正相关性结果相类似. 西溪湿地中绿藻门和隐藻门占总浮游植物密度的93.76%, 在I站和III站这两门藻类密度对数与COD_{Mn}指数和电导率均呈显著的正相关性, 而在II站和IV站仅与电导率之间有显著的正相关性(表5). 由此推测, I站和III站水体中有机物促进浮游植物增殖更甚, 且有机物含量也更高(表1). 这可能与I站和III站是游览景区的进口和出口, 人流多、游船多, 对水体搅动也随之增强有关.

3.2 综合保护首期工程对湿地生态环境质量的影响

湿地首期工程区中, 生态恢复区的河道被清淤、疏通后, 水体的透明度从1998年的0.64m下降到2007年的0.59m, 这其中存在疏浚后使水体中遗留有悬浮物影响水体透明度的可能^[14], 也是没有经过清淤、疏通措施的虾龙滩生态保护区(IV站)具有水深浅而透明度大特征的主要原因. COD_{Mn}指数从3.98mg/L上升到4.24mg/L, 而浮游轮虫的密度却从519cells/L^[4]下降到335cells/L. 可见, 近10年来, 湿地中的浮游藻类从水体得到了更好的营养, 而抑制其增殖的上一级食物链的轮虫密度(可能由于高密度放养鱼类)不增反降, 为藻类的大量繁殖创造了条件. 但湿地的清淤、疏通工程能明显稀释藻类的总密度, 如生态恢复区中水流量大的II站和III站, 其藻类密度明显低于虾龙滩生态保护区的IV站. 并且, 生态恢复区蓝藻密度占藻类总密度的平均比例仅1.9%, 低于虾龙滩生态保护区的2.4%. 这与杭州西湖底泥疏浚工程取得的生态效应相类似^[15].

湿地首期工程区内水体的绿藻指数在6.21-7.00, 藻类综合指数在11.54-12.25, Marglef属多样性指数 d 在1.06-1.17之间. 可见, 湿地水体的受污染或富营养化程度较重, 且样点间差异不大. 由于藻类的鉴定到属水平, 藻类指数的计算值可能会偏高, 而 d 值可能会偏低, 因此, 评价西溪湿地已遭受严重的有机物污染, 而水体营养水平为富营养型较为合理. 从环境质量整体上看, 首期工程区内的湿地沿着水流方向(由I站流至III站)水质有变好的趋势, 这一点与开发前水质沿着水流方向富营养化逐渐加重的结果刚好相反. 这可能是杭州市政府开展对湿地内河港、池塘、湖漾、沼泽等水域进行了大面积的疏通措施, 水环境质量开始得到改善的征兆.

4 参考文献

- [1] 李朝秀. 湿地保护和利用的典范——“西溪模式”. 浙江林业, 2008, 8: 12-13.
- [2] 刘伟生, 李翔, 舒俭民. 湿地生态环境影响评价技术要点探讨. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1620-1624.
- [3] 陈久和. 城市边缘湿地生态环境脆弱性研究——以杭州西溪湿地为例. 科技通报, 2003, (5): 395-402.
- [4] 李共国, 胡天云, 吴洁. 杭州西溪河浮游动物生态研究. 生态学杂志, 2001, 20(6): 29-31.
- [5] 胡晓红, 陈椽, 李银燕等. 以浮游植物评价百花湖水水质污染及富营养化. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1999, 17(4): 1-7.
- [6] 熊丽, 谢丽强, 生秀梅等. 湿地中的藻类. 生态学研究进展, 2003, 14(6): 1007-1011.
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游动物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 1-414.
- [8] 韩茂森. 淡水浮游生物图谱. 北京: 中国农业出版社, 1980.
- [9] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微生物图谱. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京: 科学出版社, 2006.
- [11] Margalef DR. Information theory in ecology. *Cen System*, 1958, 3: 36-71.
- [10] 黄钰铃, 陈明曦, 刘德富等. 不同氮磷营养及光温条件对蓝藻水华生消的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(9): 93-100.
- [11] Takamura N, Shen YF, Xie P. Species richness of Protozoa in Japanese lakes. *Limnology*, 2000, 1(2): 91-106.
- [14] 楼威, 周佳音, 李共国等. 疏浚后杭州西湖富营养化评价. 中国环境监测, 2007, 23(1): 63-65.
- [15] 吴芝瑛, 虞左明, 盛海燕等. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应. 湖泊科学, 2008, 20(3): 277-284.