

太湖武进港区域浮游植物群落特征及其主要水质污染影响因子分析

苏玉, 文航, 王东伟, 孙金华, 黄艺*

(北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871)

摘要: 2009年7月丰水期和2010年1月平水期对太湖武进港区域13个点的浮游植物进行调查, 丰水期共鉴定出浮游植物6门24科46属, 以绿藻和蓝藻居多, 平均密度为 14.8×10^6 cell/L; 平水期共鉴定出浮游植物5门18科29属, 以硅藻为优势门类, 平均密度为3 113 cell/L. 浮游植物群落结构季节差异显著, 丰水期密度明显大于平水期. 通过主成分分析和典型对应分析, 对调查区域内13个样点的浮游植物与8项水环境因子进行研究. 结果表明, NH_4^+ -N和TN是影响浮游植物群落结构的主要污染因子, 根据指示物种判断研究区域为中富型状态水体.

关键词: 武进港区域; 水质污染因子; 浮游植物; 空间分布特征; 太湖

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)07-1945-07

Analysis on the Key Water Quality Factors to Phytoplankton Community in Wujingang Region of Taihu Lake

SU Yu, WEN Hang, WANG Dong-wei, SUN Jin-hua, HUANG Yi

(College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Field investigations on the phytoplankton community were carried out in July 2009 and January 2010 in Wujingang Region of Taihu Lake (WRTL). Results show that there are 46 genus, 24 families and 6 phylum phytoplankton were identified in wet season, which is mainly composed of the Chlorophyta and Cyanophyta, the average phytoplankton abundance of this season is 14.8×10^6 cell/L. There are 29 genus, 18 families and 5 phylum phytoplankton were found in level season, and Diatoms were the dominant category, the average phytoplankton abundance of the season is 3 113 cell/L. It shows that a remarkable discrepancy in community and density between the two seasons. The principal component analysis(PCA) and canonical correspondence analysis(CCA) were used to assess the phytoplankton community structure with regard to 8 aquatic environmental factors and their spatial distribution, which result on the key aquatic environmental quality factors show that NH_4^+ -N and TN were the most extraordinary pollution factors which affect the phytoplankton community and WRTL was in extrophication level.

Key words: Wujingang Region; aquatic pollution factor; phytoplankton; spatial pattern; Taihu Lake

浮游植物(phytoplankton)生长在食物链的最底层, 是水域中的初级生产者, 也是水生态系统的能量流动和物质循环的基础. 由于其生活周期短, 对环境变化非常敏感, 其群落结构能较好地反映水生态系统的营养状况, 因此浮游植物已作为评价水体营养等级的重要环境指示生物^[1,2]. 其中, 利用硅藻评价水体营养状况已在欧洲、法国和美国等均有相关报道^[3-8], 2000年欧盟水框架指导委员会(Water Frame-work Directive of the European Union)将硅藻推荐为水环境整治决策中用来评价水体营养等级的一个重要生物指标^[9]. 我国利用浮游植物进行环境监测与评价的工作起步较晚, 但也做了大量工作, 用于监测环境污染物对水环境的影响和评价人类干扰对水生生态系统影响, 内容涉及海洋、湖泊、河流、及城镇河道等水质生物监测与评价^[10-14].

太湖是我国第三大淡水湖, 水面面积2 338

km², 流域面积36 895 km², 是我国经济增长最快、城市群密度最高的区域之一. 武进港区域是太湖的15条主要入湖河流之一^[15]. 随着人口增加、城镇化规模的扩大和工农业生产的发展, 武进港污水排放量大幅增加, 许多未经控制、治理的污水直接或间接排入河道, 大大超过了河道的环境容量, 使河流水污染日趋严重. 目前关于整个太湖流域浮游植物的研究多集中于太湖湖体^[16-19], 如陈家长等^[16]研究了2008年太湖五里湖的浮游植物群落结构以及其季节变化规律, 原居林等^[18]通过对2008年丰水期南太湖浮游植物的调查, 评价了湖体富营养化状态, 而关于入湖“源”的研究则较少.

收稿日期: 2010-08-31; 修订日期: 2010-12-10

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07526-001-04)

作者简介: 苏玉(1984~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境控制与环境生态学, E-mail: hongyusu0727@126.com

* 通讯联系人, E-mail: yhuang@pku.edu.cn

本研究选取太湖武进港区域为示范区,根据2009年7月和2010年1月示范区浮游植物的调查数据,以及同步水环境监测数据,通过综合运用因子分析和典型对应分析,探讨了太湖武进港区域丰水期和平水期浮游植物群落特征和空间分布格局,及其与水质污染因子的关系,以为流域水环境质量评价和生态系统管理提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 采样点布设

示范区污染源调查显示,其重点工业点源比较集中,污水处理厂分散分布。武进港和采菱港各有9处排污口,武南河、槽锡溧河各有2处,永安河和直湖港各有1处;采菱港的排污口较集中;槽锡溧河、直湖港、太滬运河、永安河、武南河和京杭大运河污染相对较轻且排污口较少。考虑污染源类型和分布、污染物迁移转化过程以及污染排放对水生态的影响,针对污染源在河流上方和下方设立监测点位,总计布设13个监测点位,点位示意图如图1。

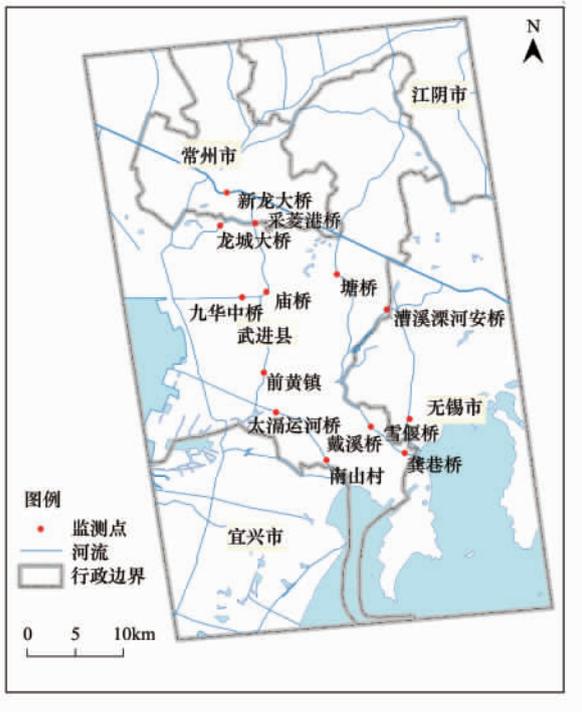


图1 太湖武进港区域监测点位示意

Fig. 1 Sampling sites in Wujingang Region of Taihu Lake

1.2 样品采集与处理

1.2.1 浮游植物

定性样品采用网孔大小为0.064 mm的25号浮游生物网拖取,在水深0.5 m处以1 m/s的速度

做“∞”形拖曳5 min,加入4%福尔马林固定样品,以备镜检;定量样品采用1000 mL有机玻璃采水器于水深0.5 m处采集,加入15 mL鲁哥试液固定,沉淀24 h后定容至30 mL,以备分析。

定量采用视野计数法,将处理好的样品在显微镜下观察,选择面积20 mm × 20 mm、容量0.1 mL的计数框,观察100个视野,密度计数单位为cell/L,每个样品计数2片,取其平均值;定性鉴定到属^[20,21]。镜检均使用10 × 40倍光学显微镜。

1.2.2 水环境指标

水环境指标监测:共8项,包括酸碱度(pH)和溶解氧(DO)2项物理指标,以及氨氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数这4项化学指标;叶绿素a(Chla)和大肠菌群(Coliform)2项生物指标。样品采集和保存依据文献[22]进行,样品测定依据文献[23]进行。

1.3 数据分析

1.3.1 多样性指数

浮游植物群落特征的生物多样性分析采用Shannon-Weaver多样性指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数来描述物种多样性^[24],即:

$$H = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (1)$$

$$D = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (2)$$

$$J = \frac{H}{H_{\max}} \quad (3)$$

式中, H 为Shannon-Weaver多样性指数, D 为Margalef丰富度指数, J 为Pielou均匀度指数, S 为物种总数, N 为所有物种的个体数, n_i 为第*i*种物种的个体数, $H_{\max} = \log_2 S$ 。

1.3.2 主成分分析

主成分分析的实质是将多个变量通过变换选出个别重要变量的一种多元统计方法,是通过变量降维以便于描述、理解和分析的方法,实际上主成分分析可以说是因子分析的一个特例。主成分分析已广泛应用于地表水水质评估、地下水水位曲线识别以及重金属和有机农药时空特征分析等方面^[25,26]。本研究为使不同量纲的数据具有可比性,在计算时运用软件对数据进行标准化。计算过程采用SPSS 17.0软件实现。

1.3.3 典型对应分析

典型对应分析是在对应分析的迭代过程中,将每次得到的样方排序坐标值与所选取的环境因子进

行多元线性回归. 典型对应分析多被用来探讨生物物种与所处环境(例如,气候、理化特征等)之间的相互关系^[27]. 计算过程采用 CANOCO for Windows 4.5 软件进行数据分析与检验.

2 结果与分析

2.1 水环境分析

表 1 为太湖武进港丰水期和平水期水环境因子平均值及标准差,除 Chla 为丰水期大于平水期外,其余 7 个水环境因子均为平水期大于丰水期. 2 个季节进行独立样本 t 检验,差异显著($p < 0.5$)的为: pH、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 Chla,其他水环境因子季节变化

不显著.

2.2 浮游植物群落特征

2.2.1 种类组成

太湖武进港区域丰水期和平水期共检出浮游植物 7 门 29 科 57 属. 其中绿藻门(Chlorophyta) 14 科 26 属,占总属数的 48.28%; 硅藻门(Bacillariophyta) 8 科 16 属,占总属数的 27.59%; 蓝藻门(Cyanophyta) 3 科 9 属,占总属数的 10.34%; 裸藻门(Euglenophyta) 1 科 3 属,占总属数的 3.54%; 甲藻门(Dinophyta)、隐藻门(Cryptophyta) 和 黄藻门(Xanthophyta) 均为 1 科 1 属,均占总属数的 3.54%.

表 1 太湖武进港丰水期和平水期水环境因子对比

Table 1 Compare of environmental factors of the wet season and the level season in Wujingang Region of Taihu Lake

时期	项目	pH	DO /mg·L ⁻¹	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ /mg·L ⁻¹	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	Chla /mg·m ⁻³	大肠杆菌 /个·L ⁻¹
丰水期	均值	7.04	4.25	6.58	1.49	3.63	0.36	4.74	21 962
	标准差	0.11	0.93	1.08	1.15	0.87	0.19	0.97	27 405
平水期	均值	7.57	4.46	8.49	4.93	9.96	0.81	2.19	129 969
	标准差	0.09	0.17	3.64	1.19	1.31	0.90	1.13	273 105
独立样本 t 检验	p 值	0	0.45	0.08	0	0	0.09	0	0.17

2.2.2 生物密度

太湖武进港丰水期浮游植物的平均密度为 14.8×10^6 cell/L. 从空间分布格局来看,南山村丰水期浮游植物的生物密度最大,为 27.7×10^6 cell/L; 雪堰桥最小,为 4.8×10^6 cell/L(图 2). 流域各监测点生物密度百分比以蓝藻门最多,绿藻门次之,其后依次为硅藻门、隐藻门、裸藻门和甲藻门,蓝藻、绿藻和硅藻在 13 个样点中都有分布,而隐藻、裸藻和甲藻仅在部分样点分布(图 3).

太湖武进港平水期浮游植物的平均密度为 $3 113$ cell/L. 从空间分布格局来看,雪堰桥平水期浮游植物的生物密度最大,为 $9 800$ cell/L; 采菱港桥最小,为 140 cell/L(图 4). 流域各监测点生物密度百分比以硅藻门最大,绿藻门次之,其后依次为蓝藻门、裸藻门和黄藻门,硅藻在 13 个样点中都有分布,绿藻仅在前黄镇未发现分布,蓝藻在太滂运河桥和龙城大桥未分布,裸藻和黄藻部分样点有分布(图 5).

2.2.3 丰水期和平水期群落结构分析

太湖武进港丰水期浮游植物的生物密度大于平水期. 丰水期共鉴定出浮游植物 6 门 24 科 46 属,其中绿藻门 12 科 20 属,占总属数量的 43.48%; 硅藻门 7 科 12 属,占总属数量的 26.09%; 蓝藻门 2 科 9

属占 19.57%; 裸藻门 1 科 3 属,占 6.54%; 甲藻门和隐藻门均为 1 科 1 属,各占 2.17%. 丰水期浮游植物生物密度最大的是绿藻和蓝藻,两者生物密度百分比和为 64.01%,为主要的优势类群,其中出现频率较高的是微囊藻属(*Microcystis*)和隐藻属(*Cryptomonas*),其次是栅藻属(*Scenedesmus*)、平裂藻属(*Merismopedia*)、直链藻属(*Melosira*)、小球藻属(*Chlorella*)、卵囊藻属(*Chlorococcales*)、颤藻属(*Oscillatoria*)和裸藻属(*Euglena*).

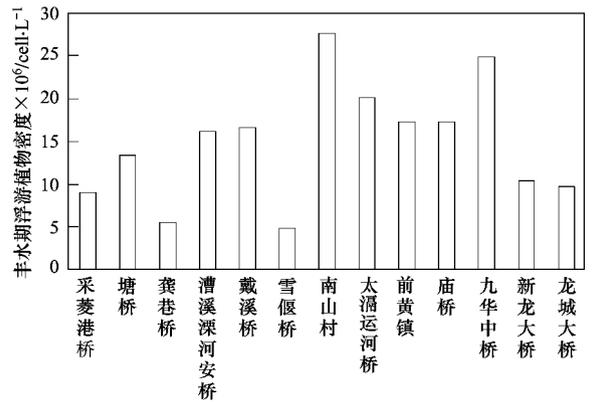


图 2 太湖武进港区域丰水期浮游植物生物密度的时空分布
Fig. 2 Spatial pattern of phytoplankton density at Wujingang Region of Taihu Lake in wet season

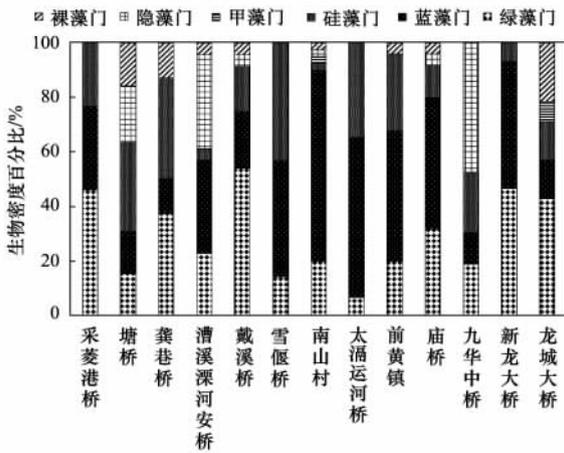


图3 太湖武进港区域丰水期浮游植物的生物密度百分比

Fig. 3 Spatial pattern of phytoplankton abundance at Wujingang Region of Taihu Lake in wet season

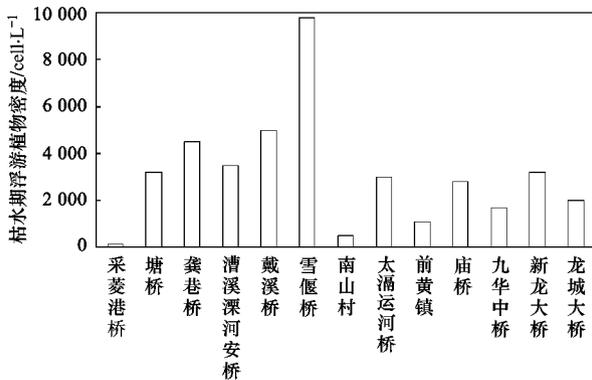


图4 太湖武进港区域平水期浮游植物的生物密度

Fig. 4 Spatial pattern of phytoplankton density at Wujingang Region of Taihu Lake in level season

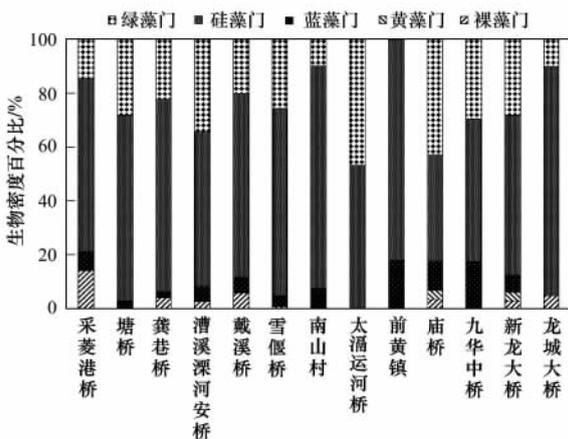


图5 太湖武进港区域平水期浮游植物的生物密度百分比

Fig. 5 Spatial pattern of phytoplankton abundance at Wujingang Region of Taihu Lake in level season

太湖武进港平水期共鉴定出浮游植物 5 门 18 科 29 属, 其中绿藻门 8 科 14 属, 占总属数的 48.28%; 硅藻门 6 科 10 属, 占总属数的 34.48%; 蓝藻门 2 科 2 属, 占 6.90%; 裸藻门 1 科 2 属, 占 6.90%; 黄藻门 1 科 1 属, 占 3.45%。平水期浮游植物生物密度最大的是硅藻, 其生物密度百分比为 65.61%, 为优势门类, 平水期针杆藻属 (*Synedra*) 为绝对优势属, 其次为纤维藻属 (*Ankistrodesmus*)、直链藻属、菱形藻属 (*Nitzschia*)、舟形藻属 (*Navicula*) 和羽纹藻属 (*Pinnularia*)。

从丰水期和平水期的多样性指数(表 2)可以看出, 物种 Shannon-Weaver 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均为丰水期小于平水期。

表 2 太湖武进港区域浮游植物多样性指数

Table 2 Phytoplankton community diversity indexes at Wujingang Region of Taihu Lake

项目	丰水期	平水期
Shannon-Weaver 多样性指数 H	3.26	3.34
Margalef 丰富度指数 D	0.93	0.96
Pielou 均匀度 J	1.19	1.20
物种属类数	46	29

2.3 浮游植物群落与水环境因子的关系

2.3.1 太湖武进港主要污染因子辨析

对 8 项水环境指标进行因子分析, 以辨识太湖武进港区域水质污染状况的主导因子。从表 3 可得, 选取特征值 > 1 的第一主成分 (F1)、第二主成分 (F2) 和第三主成分 (F3) 作为主成分因子, 其累积方差贡献率达 75.89%, 说明能够表征这些指标整体的水环境污染状况, 并且 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 系数为 $0.626 > 0.60$, 说明其适合进行因子分析。同时, 旋转后的因子载荷率能够说明主成分因子与水环境状况之间的相关性大小, 即 $|\text{因子载荷率}| > 0.75$, 表示两者的相关性好; $0.75 \geq |\text{因子载荷率}| > 0.50$, 表示两者的相关性一般; $0.50 \geq |\text{因子载荷率}| > 0.30$, 表示两者的相关性差; $|\text{因子载荷率}| \leq 0.30$, 表示两者无相关^[28]。由表 4 可得, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 的 $|\text{因子载荷率}| < 0.75$, 说明其相关性一般。考虑到 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的季节差异显著, 且 $|\text{因子载荷率}|$ 接近于 0.75, 也将其作为水质污染因子之一; 叶绿素是浮游植物的色素, 本身就与浮游植物关系很大, 不将其作为选入因子。因此, 筛选出 pH、高锰酸盐指数、DO、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和大肠菌群这 6 个环境因子, 作为太湖武进港区域的水质污染因子。

表3 太湖武进港区域水环境指标的因子特征值

Table 3 Eigenvalues of aquatic environmental factors at Wujingang Region of Taihu Lake

因子	因子旋转前			因子旋转后		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
F1	3.283	41.032	41.032	3.172	39.652	39.652
F2	1.681	21.012	62.044	1.567	19.594	59.246
F3	1.107	13.840	75.884	1.331	16.639	75.884
F4	0.885	11.067	86.952			
F5	0.430	5.381	92.333			
F6	0.395	4.943	97.276			
F7	0.158	1.969	99.245			
F8	0.060	0.755	100.000			

表4 太湖武进港区域水环境指标旋转后的因子载荷率

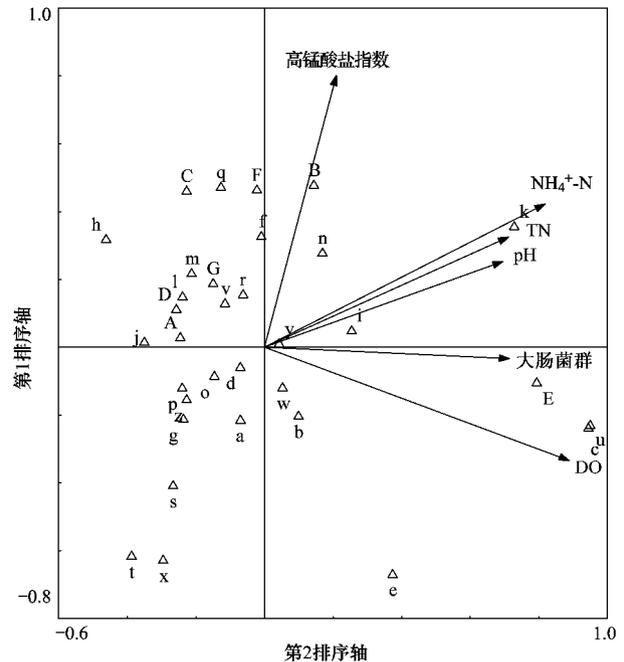
Table 4 Loadings of rotated aquatic environmental factors at Wujingang Region of Taihu Lake

项目	旋转后的因子载荷率		
	F1	F2	F3
pH	0.869	0.048	0.281
高锰酸盐指数	0.868	0.09	-0.302
DO	-0.064	0.056	0.911
NH ₄ ⁺ -N	0.233	0.711	0.425
TN	0.87	0.059	0.153
TP	-0.158	0.579	0.047
Chla	0.881	-0.002	-0.317
大肠菌群	0.218	0.842	-0.155

2.3.2 太湖武进港浮游植物与水环境因子的典型对应分析

因子分析对筛选出的主要6个水质污染因子与浮游植物密度进行典范对应分析,以辨识影响太湖武进港区域浮游植物群落结构的水质污染因子,分析结果如图6。箭头表示环境因子,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间的正负相关性,箭头连线的长度代表着某个环境因子与研究对象分布相关程度的大小,连线越长,代表这个环境因子对研究对象的分布影响越大。箭头连线与排序轴的夹角代表某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高。

由图6可以看出,浮游植物与第1排序轴和第2排序轴的相关性比较高,其特征值分别为0.404和0.258,它们共解释了浮游植物属种数据累积方差值的58.8%,由此表明第1排序轴和第2排序轴能够真实反映主导因子对浮游植物属种分布的污染影响程度,并且第1排序轴较第2排序轴与主导因子的相关性更好。同时2个物种排序轴近似垂直,相关系数为0.0278,2个环境排序轴的相关系数为0,说明排序结果是可靠的。从箭头的连线长度可以看出,主导因子对浮游植物属种分布的相关性大小为DO > NH₄⁺-N > 大肠菌群 > TN > pH > 高锰酸盐指



a = 新月藻属 (*Closterium*); b = 角星鼓藻属 (*Staurastrum*); c = 实球藻属 (*Pandorina*); d = 空球藻属 (*Eudorina*); e = 盘星藻属 (*Pediastrum*); f = 小球藻属 (*Chlorella*); g = 绿球藻属 (*Chlorococcum* sp.); h = 浮球藻属 (*Planktosphaeria*); i = 纤维藻属 (*Ankistrodesmus*); j = 卵囊藻属 (*Oocystia*); k = 衣藻属; l = 十字藻属 (*Crucigenia*); m = 栅藻属 (*Scenedesmus*); n = 丝藻属 (*Ulothrix*); o = 颤藻属 (*Oscillatoria*); p = 色球藻属 (*Chroococcus*); q = 平裂藻属 (*Merismopedia*); r = 蓝纤维藻属 (*Dactylococcopsis*); s = 微囊藻属 (*Microcystis*); t = 腔球藻属 (*Coelosphaerium*); u = 脆杆藻属 (*Fragilaria*); v = 针杆藻属 (*Synedra*); w = 直链藻属 (*Melosira*); x = 冠盘藻属 (*Stephanodiscus*); y = 小环藻属 (*Cyclotella*); z = 舟形藻属 (*Navicula*); A = 卵形藻属 (*Cocconeis*); B = 菱形藻属 (*Nitzschia*); C = 异极藻属 (*Gomphonema*); D = 裸甲藻属 (*Gymnodinium*); E = 隐藻属 (*Cryptomonas*); F = 裸藻属 (*Euglena*); G = 扁裸藻属 (*bianluozhao*)

图6 太湖武进港区域水污染状况主导因子与浮游植物属种的典型对应分析双轴图

Fig. 6 Results of canonical correspondence analysis for aquatic environmental factors and phytoplankton assemblages at Wujingang Region of Taihu Lake

数. 从箭头与第 1 排序轴的夹角可以看出, 主导因子与水质污染状况相关性的为 $DO > NH_4^+ - N > 大肠菌群 > TN > pH > 高锰酸盐指数$, 均与第 1 排序轴正相关. 因此, 综合而言太湖武进港区域水质污染状况的主导因子对浮游植物属种分布的影响程度为 $DO > NH_4^+ - N > 大肠菌群 > TN > pH > 高锰酸盐指数$. 再通过典型对应分析中的蒙特卡罗检验对其影响程度的显著性进行检验可得, 除高锰酸盐指数外, DO 、 $NH_4^+ - N$ 、大肠菌群、 TN 和 pH 这 5 项特征性水环境指标对太湖武进港浮游植物属种分布的影响程度显著.

3 讨论

太湖武进港区域浮游植物调查结果显示, 浮游植物群落结构具有时间和空间的差异. 丰水期浮游植物的群落以蓝藻和绿藻的生物密度百分比最大 (图 3), 蓝藻的生物密度达到 35.00%, 微囊藻属和隐藻属为丰水期的优势属类; 平水期以硅藻为主, 其生物密度百分比达到 65.61% (图 5), 针杆藻属为平水期的绝对优势属. 从空间分布格局看, 丰水期以蓝藻为优势门类的点有南山村、太漏运河桥、前黄镇和庙桥, 以绿藻门主的点为采菱港桥、戴溪桥和龙城大桥, 以硅藻为主的点为塘桥和雪堰桥, 仅九华中桥以隐藻为优势门类, 龚巷桥中绿藻和硅藻为优势门类, 漕溪溧河安桥中蓝藻和隐藻为优势门类, 新龙大桥中以蓝绿藻为优势门类; 平水期各点位均以硅藻占绝对优势.

丰水期适宜广温普生性种类繁殖, 平水期适宜喜低温种类. PEG (plankton ecology group) 描述了淡水中浮游植物群落变化的季节规律^[29], 该模式认为: 浮游植物群落演替大概是从冬季的隐藻和硅藻转变为夏季的绿藻, 夏末则以蓝藻占优势. 本研究除塘桥和雪堰桥外, 其余点位浮游植物群落结构的演替规律与 PEG 模式基本相同, 由丰水期蓝绿藻向平水期硅藻演变. 此外, 浮游植物丰水期物种数和密度明显大于平水期, 这可能由于平水期摄食物种的增加导致^[30].

浮游植物的群落结构是水体的理化状态和其它生物相互作用的结果, 其群落结构和空间分异性的变化, 可以表达水环境的变化, 成为识别水环境状况、评价水生态系统健康的指标. 党安志等^[31] 通过调查贵阳南明河的浮游植物的群落结构, 利用生物多样性指数对该流域的水质状况进行了评价. 栾青杉等^[32] 通过对长江口浮游植物的调查, 识别出了影响

该水域浮游植物群落结构变化的环境因子并评价其水质状况. 这些研究都证明, 利用浮游植物群落特征或特定种类, 作为水质和水环境的生物标志, 能更好地反映水体综合状态. 太湖武进港调查结果中, 微囊藻属和隐藻属为丰水期的优势属类, 针杆藻属为平水期的绝对优势属, 除微囊藻属为 β -中营养指示种类外, 其余都是 $\alpha \sim \beta$ 中富指示种^[33,34]. 因此, 判断太湖武进港区域为中富型状态水体.

虽然环境因子决定了浮游植物群落结构特征, 在流域水生态管理中, 寻找影响水生态系统的关键因子是制定流域管理策略的关键. 在本研究中 CCA 分析结果显示, $NH_4^+ - N$ 和 TN 是影响太湖武进港浮游植物的主要污染因子. 太湖流域其它的水质研究也显示, 多数太湖入湖河流中 TN 、 $NH_4^+ - N$ 是造成水质恶化的主要原因, 许梅等^[35] 通过调查太湖西部宜兴市大浦镇的一条入湖河流水质的年变化规律发现 TN 水质的限制因子; 孙卫红等^[36] 发现太湖入湖河流中, 52.8% 断面的 $NH_4^+ - N$ 为 V 类和劣 V 类, 太湖 80% 的污染物以上都由入湖河流输入. 本研究以及其它文献的结果可以说明, 太湖入湖河流中 $NH_4^+ - N$ 、 TN 不仅仅成为水质影响的主要因子, 也是显著干扰水生态系统健康状态的主要原因.

4 结论

(1) 太湖武进港区域浮游植物群落结构的季节差异大, 丰水期和平水期共检出浮游植物 7 门 29 科 57 属. 丰水期共鉴定出浮游植物 6 门 24 科 46 属, 其中绿藻和蓝藻为优势类群; 平水期共鉴定出浮游植物 5 门 18 科 29 属, 以硅藻为优势门类. 浮游植物类群丰水期空间差异明显, 丰水期密度明显大于平水期, 根据调查结果的指示物种判断太湖武进港为中富型水体.

(2) $NH_4^+ - N$ 和 TN 是影响太湖武进港浮游植物群落结构的主要水环境因子.

参考文献:

- [1] 石晓丹, 阮晓红, 邢雅园, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊冬夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 环境科学, 2008, 29(11): 2999-3008.
- [2] Mariacristina T, Antonio D U. Biology monitoring of some Apennine Rivers using the Diatom-Based Eutrophication / Pollution index compare to other European Diatom indices[J]. Diatom Research, 2006, 21(1): 159-174.
- [3] Bate G, Smailes P, Adams J. A water quality index for use with diatoms in the assessment of rivers [J]. Water SA, 2004, 30(4): 493-498.
- [4] Taylor J C, Prygiel J, Vosloo A, et al. Can diatom-based

- pollution indices be used for biomonitoring in South Africa: A case study of the Crocodile West and Marico water management area[J]. *Hydrobiologia*, 2007, **592**: 455-464.
- [5] Descy J P. A new approach to water quality estimation using diatoms[J]. *Nova Hedwigia*, 1979, **64**: 305-323.
- [6] Wu J T. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan [J]. *Hydrobiologia*, 1999, **397**: 79-87.
- [7] Wu J T, Kow L T. Applicability of a generic index for diatom assemblages to monitor pollution in the tropical River Tsanwun, Taiwan[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2002, **14**(1): 63-69.
- [8] Coste M, Boutry S, Rosebery J T, *et al.* Improvements of the Biological Diatom Index(BDI): Description and efficiency of the new version(BDI-2006) [J]. *Ecological Indication*, 2009, **9**(4): 621-650.
- [9] 支崇远. 硅藻与环境——东南南部陆缘硅藻与古环境[M]. 北京:海洋出版社,2005.241-248.
- [10] Gameiro C, Cartaxana P, Brotas V. Environmental drivers of phytoplankton distribution and composition in Tagus Estuary, Portugal [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, **75**(1-2):21-34.
- [11] Guasch H, Admiraal W, Sabater S. Contrasting effects of organic and inorganic toxicants on freshwater periphyton [J]. *Aquatic Toxicology*, 2003, **64**(2): 165-175.
- [12] Yang X D, Wang S M, Xia W L, *et al.* Application of CCA for study on modern lake diatoms and environment in the Tibetan Plateau[J]. *Science in China(Series D)*, 2001, **44**: 343-350.
- [13] Nayar S, Coh B P L, Chou L M. Settlement of marine periphytic algae in a tropical estuary [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, **64**(2-3): 241-248.
- [14] Tse P, Hui S Y, Wong C K. Species composition and seasonal abundance of Chaetognatha in the subtropical coastal water of Hong Kong[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2007, **73**(1-2):290-298.
- [15] 张大伟,李扬帆,孙翔,等. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析[J]. *环境科学*,2010,**31**(8):1775-1783.
- [16] 陈家长,孟顺龙,尤洋,等. 太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析[J]. *生态环境学报*,2009,**18**(4):1358-1367.
- [17] 孟顺龙,陈家长,范立民,等. 2007年太湖五里湖浮游植物生态学特征[J]. *湖泊科学*,2009,**21**(6):845-854.
- [18] 原居林,尹文林,沈锦玉,等. 南太湖浮游植物特征及其富营养化评价[J]. *生态学杂志*,2009,**28**(11):2197-2201.
- [19] 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**(1):30-36.
- [20] B. 福迪著,罗迪安译. 藻类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [21] 中国科学院水生生物研究所. 中国淡水藻类[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [22] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [23] GB 3838-2002. 中华人民共和国地表水环境质量标准[S].
- [24] 郭劲松,陈杰,李哲,等. 156m 蓄水后三峡水库小江回水区春季浮游植物调查及多样性评价[J]. *环境科学*,2008,**29**(10):2710-2715.
- [25] Ying O Y. Evaluation of stream water quality monitoring stations by principal component analysis[J]. *Water Research*,2005,**39**(12):2621-2635.
- [26] Luss R. Clustering and feature selection using sparse principal component analysis[J]. *Optimization and Engineering*, 2010, **11**(1): 145-157.
- [27] 邓建民,蔡永久,陈宇炜. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*,2010,**22**(1):70-78.
- [28] Liu C W, Lin K H, Kuo Y M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, **313**(1-3): 77-89.
- [29] Sommer U, Gliwicz M Z, Lampert W, *et al.* The PEG-model of succession of planktonic events in freshwaters [J]. *Archiv fur Hydrobiologie*, 1986, **106**:422-477.
- [30] 杨位迪,杨青,林元烧,等. 厦门港表层水体磷周转的生物学过程 II: 桡足类对浮游植物的摄食压力[J]. *应用生态学报*, 2008,**19**(12):2774-2778.
- [31] 党安志,潘虹,陈椽. 贵阳南明河浮游植物调查与水质分析[J]. *哈尔滨师范大学学报(自然科学)*,2008,**24**(2):97-100.
- [32] 栾青杉,孙军. 2005年夏季长江口水域浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*,2010,**30**(18):4967-4975.
- [33] Kitner M, Poulickova A. Littoral diatoms as indicators for the eutrophication of shallow lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **506**(1):519-524.
- [34] 李运贤,张乃群,李玉英,等. 南水北调中线水源区浮游植物[J]. *湖泊科学*,2005,**17**(3):219-225.
- [35] 许梅,任瑞丽,刘茂松. 太湖入湖河流水质指标的年变化规律[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*,2007,**31**(6):121-124.
- [36] 孙卫红,程炜,崔云霞,等. 太湖流域主要入湖河流水环境综合治理[J]. *中国资源综合利用*,2009,**27**(11):39-42.