

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.06.007

秦淮河秋冬季浮游植物群落与环境因子典范对应分析

严莹

(江苏开放大学建筑工程系,江苏南京 210019)

摘要: 2012年10月和2013年1月对南京市内外秦淮河浮游植物群落进行调查和分析。共鉴定出浮游植物4门30属37种,秋季主要以蓝藻-硅藻为主,平均丰度和生物量分别为221.5万cells/L和4.41 mg/L,冬季以硅藻为主,平均丰度和生物量分别为153.4万cells/L和6.58 mg/L。典范对应分析显示,绿藻对氮磷营养盐浓度、高锰酸盐指数等含量较高的水体耐受能力较强,硅藻则对多变的环境适应能力较强;氮磷比对蓝藻、裸藻和部分绿藻的分布有较明显的影响;秋冬季节影响秦淮河浮游植物群落分布的主要环境因子为水温和溶解氧,其次为氮磷营养盐浓度和电导率。

关键词: 浮游植物群落;环境因子;典范对应分析;秦淮河

中图分类号: X173 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)06-0505-06

Canonical correspondence analysis of phytoplankton community and environmental factors in Qinhuai River in autumn and winter

YAN Ying

(Department of Architectural Engineering, Jiangsu Open University, Nanjing 210019, China)

Abstract: The phytoplankton community in the internal and external Qinhuai River in Nanjing City was investigated and analyzed in October 2012 and January 2013. A total of 37 species of phytoplankton belonging to four families and 30 genera were identified. Blue-green algae-diatoms were dominant phytoplankton in the autumn, with an average abundance and biomass of 221.5×10^4 cells/L and 4.41 mg/L, respectively. Diatoms were dominant phytoplankton in the winter, with an average abundance and biomass of 153.4×10^4 cells/L and 6.58 mg/L, respectively. Canonical correspondence analysis (CCA) showed that green algae had a high tolerance to water that had high nitrogen and phosphorus nutrient concentrations and permanganate indices, and diatoms had a strong ability to adapt to a changeable environment; the ratio of nitrogen to phosphorus had a significant impact on the distributions of cyanobacteria, euglena, and part of the green algae; and water temperature and dissolved oxygen were the main environmental factors influencing the distribution of the phytoplankton community in the Qinhuai River in the autumn and winter, followed by nitrogen and phosphorus nutrient concentrations and electrical conductivity.

Key words: phytoplankton community; environmental factors; canonical correspondence analysis; Qinhuai River

浮游植物是自然水体中的初级生产者和生物链的基础环节,在水体生态平衡中有着不可或缺的作用。浮游植物的种类组成和分布对环境变化具有指示作用,而环境条件的变化也能直接或间接地影响浮游植物的群落结构^[1]。浮游植物群落结构动态变化与环境因子的关系复杂,目前还缺乏统一的理论解释。典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)是基于对应分析发展而来的一种非线性多元直接梯度分析方法^[2],其特点是可以结合多个环境因子同时分析,包含的信息量大,结果直观,能更好地反映生物群落与环境因子的关系^[3]。近年来,国内外学者开始将CCA方法应用于水域生态学领域,在水生生物群落结构组成、空间分布与环境因子之间关系方面取得了较好的研究成果^[4-8],但相关研究多集中于沿海、水库、湖泊等水

收稿日期: 2013-05-16

作者简介: 严莹(1977—),女,江苏南京人,讲师,硕士,主要从事水环境污染防治研究。E-mail: yanying@jstvu.edu.cn

域,而针对河流的研究却较少见到。

本文通过对秦淮河浮游植物群落和环境因子的调查和测定,基于 CCA 探讨浮游植物群落分布与环境因子之间的关系,剖析影响浮游植物群落分布的主要环境变量,为秦淮河水质改善及其生态修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

2012 年 10 月和 2013 年 1 月,沿内外秦淮河共设置 15 个采样点进行采样。通过 GPS 定位,使得 2 次采样位置保持一致,采样点对应的区域特征见表 1。

表 1 采样点对应的区域特征
Table 1 Sampling points and corresponding regional characteristics

采样点 编号	位置	区域特征	采样点 编号	位置	区域特征
1	三汊河口外	外秦淮河入长江口	9	玄武湖	水体为经过初步沉淀的长江水
2	三汊河口内	外秦淮河入长江口	10	珍珠桥	主城区交通闹市区,水面有污染漂浮现象
3	汉中门大桥	沿岸主要为交通道路、商用建筑,河道水位基本稳定	11	逸仙桥	主城区交通闹市区,水面有污染漂浮现象
4	下浮桥	生活污水和生活污染	12	文正桥	接内秦淮河东段来水,代表秦淮河景观水体的水质
5	文津桥	有生活污水排入,闸控前池,水体缓流	13	外秦淮河	主城区来水
6	赛虹桥	区域交通道路密集,河道水量很少,黑臭较严重	14	湿地公园	运粮河下游和外秦淮河之间,七桥瓮湿地公园主干水体
7	凤台桥	沿岸主要为交通道路、商用建筑,河道水位稳定,岸边水泥固化	15	运粮河	受纳城东污水处理厂尾水,实际为当地排污河道
8	雨花桥	沿岸主要为交通道路、商用建筑,河道水位稳定,岸边水泥固化			

1.2 水体理化指标的测定

各采样点水体溶解氧(DO)、pH、氧化还原电位(ORP)、水温(T)、电导率(COND)用 SX751 型 pH/ORP/电导率/溶解氧测量仪(上海三信仪表厂)现场测定;浊度(Tur)用哈希 2100P 便携式浊度仪(美国哈希)现场测定。水样采集后现场加浓硫酸固定,带回实验室后在 24 h 内测定基本理化指标,水质指标分析主要采用《水和废水监测分析方法》^[9]的有关规定进行。其中,总氮(TN)测定采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)测定采用纳氏试剂分光光度法;总磷(TP)测定采用过硫酸钾消解-钼锑抗光度法;水质硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)测定采用麝香草酚分光光度法。

1.3 浮游植物采集与鉴定

在水面下 0.5 m 处取 1L 水样,加甲醛固定,带回实验室静置沉淀 48 h 后,用细虹吸管(在水中的一端用 25 号筛绢封住)小心吸去上清液,浓缩定容至 30 mL。取 0.1 mL 样品注入面积为 20 mm×20 mm、容量为 0.1 mL 的浮游植物计数框内,小心盖上盖玻片(22 mm×22 mm),保证计数框内无气泡产生。标本制成后,静置几分钟,放在显微镜载物台上镜检,分类鉴别,并计算出藻类细胞个数和生物量。

1.4 数据分析

浮游植物和环境因子的数据利用 CANOCO 4.5 demo 软件包进行典范对应分析,并用 CANODRAW 绘制排序图。分析过程中物种数据采用浮游植物丰度指标,浮游植物丰度值采用 $\lg(x+1)$ 进行处理,环境数据除 pH 外均采用 $\lg(x+1)$ 处理。

2 结果与分析

2.1 秋冬季浮游植物群落组成特征

经鉴定,研究区域 15 个采样点共检出浮游植物 4 门 30 属 37 种,其中秋季检出 4 门 27 属 36 种,冬季检出 3 门 18 属 23 种。种类组成主要以硅藻、绿藻为主:中硅藻门 14 属 19 种,占全部种类的 51.4%;绿藻门 11 属 12 种,占全部种类的 32.4%;蓝藻门 3 属 3 种,占全部种类的 8.1%;褐藻门 2 属 3 种,占全部种类的

8.1%。镜检到的浮游植物名录见表 2。

秋冬季节研究区浮游植物平均丰度和平均生物量如表 3 所示。由表 3 可知,浮游植物丰度秋季明显高于冬季,秋季平均总丰度为 221.5 万 cells/L,其中蓝藻门最高(占总丰度的 41.5%),硅藻门次之(占总丰度的 36.7%),裸藻门占 12.2%,绿藻门丰度最低(占总丰度的 9.6%)。冬季浮游植物平均总丰度为 153.4 万 cells/L,蓝藻门未被镜检出,硅藻门在丰度上占绝对优势,裸藻门和绿藻门的丰度占总丰度比例均很小。而就生物量(质量浓度)而言,秋季(4.41 mg/L)却低于冬季(6.58 mg/L),这与冬季硅藻(其单个藻细胞生物量较高)为优势种有关。

2.2 秋冬季水质特征

表 4、表 5 为秋冬季研究区内各采样点的水质监测结果,秋冬季各项指标中,秋季水温平均为 22.5℃,冬季为 5.5℃,水温下降明显;pH 值在 7 左右波动,水体基本呈中性;COND 冬季比秋季有明显的增加,冬季均值为 618.93 μs/cm,秋季为 394.33 μs/cm;DO 冬季较秋季有一定的升高,冬季均值为 7.62 mg/L,秋季均值为 3.09 mg/L;其他指标整体上秋季均值略低于冬季均值,可能与秋季较冬季河道水量略多有关。根据 GB 3838—2002《中华人民共和国地表水环境质量标准》^[10] 中水质标准进行评价,全部水质均为 IV 类及以上水质。

空间上 ORP 与 COND 表现出一定的区域性规律,即内秦淮河区域(ORP 和 COND 均值分别为 132.8 mV 和 430.3 μs/cm)较外秦淮河区域(分别为 120.7 mV 和 340.3 μs/cm)的高。其余指标空间分布规律不明显,

表 2 南京秦淮河浮游植物名录

Table 2 Investigation list of phytoplankton in Qinhuai River in Nanjing City

门类	编号	属名	数量	门类	编号	属名	数量
蓝藻门	1	颤藻属	+++	裸藻门	18	裸藻属	++
	2	席藻属	++		19	扁裸藻属	+
	3	平裂藻属	++	绿藻门	20	小球藻属	+
硅藻门	4	舟形藻属	+		21	纤维藻属	+
	5	直链藻属	+++		22	实球藻属	+
	6	小环藻属	+		23	空星藻属	+
	7	冠盘藻属	+		24	集星藻属	+
	8	平板藻属	+		25	卵囊藻属	+
	9	脆杆藻属	+		26	栅藻属	+
	10	针杆藻属	+		27	小柞藻属	+
	11	布纹藻属	+		28	新月藻属	+
	12	异极藻属	+		29	盘星藻属	+
	13	波缘藻属	+		30	弓形藻属	+
	14	辐节藻属	+				
	15	双菱藻属	+				
	16	羽纹藻属	+				
	17	卵形藻属	+				

注: +表示 0~10 万 cells/L, ++表示 10 万~50 万 cells/L, +++表示大于 50 万 cells/L。

表 3 秋冬季秦淮河浮游植物平均丰度和平均生物量

Table 3 Average phytoplankton abundance and average biomass in Qinhuai River in autumn and winter

门类	藻类数量/(万 cells·L ⁻¹)		生物量/(mg·L ⁻¹)	
	秋季	冬季	秋季	冬季
蓝藻门	92.000	0.000	0.058	0.000
硅藻门	81.200	143.900	1.476	6.113
裸藻门	27.100	3.200	2.711	0.157
绿藻门	21.200	6.300	0.167	0.308

表 4 秋季环境因子监测值

Table 4 Values of environmental factors in autumn

采样点	pH	ρ(DO)/(mg·L ⁻¹)	T/℃	Tur/ntu	ρ(NO ₃ -N)/(mg·L ⁻¹)	ρ(NH ₄ ⁺ -H)/(mg·L ⁻¹)	ρ(TN)/(mg·L ⁻¹)	ρ(COD _{Mn})/(mg·L ⁻¹)	ρ(TP)/(mg·L ⁻¹)	氧化还原电位/mV	电导率/(μs·cm ⁻¹)
1 号	7.49	3.98	21.5	40.30	2.394	2.164	4.644	2.582	0.242	122.0	382
2 号	7.47	2.33	21.7	34.50	2.700	2.267	5.073	2.504	0.222	123.0	387
3 号	7.46	2.39	21.9	29.60	2.839	3.190	6.084	2.775	0.281	124.0	392
4 号	7.44	1.26	22.2	14.10	1.644	1.344	3.156	4.392	0.192	125.0	371
5 号	7.40	1.33	22.5	12.70	0.644	4.779	5.453	6.353	0.380	117.0	407
6 号	7.58	2.30	22.3	32.50	2.061	5.036	7.141	3.451	0.440	121.0	457
7 号	7.56	3.33	22.3	17.40	2.644	1.549	4.225	2.461	0.202	125.0	356
8 号	7.56	3.28	22.6	42.00	3.644	2.164	5.900	2.510	0.242	123.0	375
9 号	8.94	8.10	24.4	13.60	1.144	0.267	1.434	4.078	0.061	109.0	292
10 号	8.20	5.82	21.9	14.40	0.839	0.369	1.330	2.353	0.053	127.0	279
11 号	7.47	2.52	21.5	18.90	0.533	1.190	1.751	3.275	0.083	122.0	315
12 号	7.43	1.07	22.0	14.30	1.256	2.882	4.207	3.294	0.222	124.0	378
13 号	7.45	2.61	23.5	46.40	1.728	1.087	2.898	3.667	0.123	135.0	326
14 号	7.76	2.82	21.9	15.80	0.079	0.267	0.493	4.392	0.061	143.0	386
15 号	7.30	3.20	25.0	5.20	14.889	4.472	19.734	6.118	0.846	179.0	812

表5 冬季环境因子监测值
Table 5 Values of environmental factors in winter

采样点	pH	$\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$T/^{\circ}\text{C}$	Tur/ntu	$\rho(\text{NO}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_4\text{-H})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氧化还原 电位/mV	电导率/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)
1号	6.20	9.40	5.3	19.20	5.407	5.069	10.679	2.032	1.014	157	630
2号	6.40	5.65	5.4	17.70	5.130	5.267	10.644	2.150	1.034	147	663
3号	6.30	5.65	6.6	16.90	5.130	4.928	10.272	2.343	0.895	144	760
4号	6.30	7.30	5.2	10.90	2.228	4.000	6.760	2.000	0.410	109	565
5号	7.83	7.83	6.3	19.20	1.951	7.194	9.214	6.027	1.212	112	520
6号	5.40	3.78	6.3	25.00	4.420	6.695	11.307	3.245	1.341	136	759
7号	5.40	5.40	6.6	21.50	5.222	5.296	10.737	2.083	1.103	130	700
8号	5.50	5.30	6.2	16.00	4.975	4.000	10.563	2.000	1.162	115	701
9号	6.70	11.03	2.4	9.30	2.568	0.200	2.749	2.000	0.083	133	383
10号	6.40	11.25	2.6	8.44	2.148	0.743	2.679	2.059	0.093	134	445
11号	6.20	11.10	4.9	6.40	2.228	6.681	9.214	3.250	0.261	110	399
12号	9.71	6.23	5.5	9.30	1.765	5.218	7.063	3.702	0.984	126	664
13号	6.40	7.03	6.5	46.40	2.846	4.596	7.586	3.427	0.945	133	592
14号	6.40	9.85	5.0	7.68	0.531	0.763	1.307	4.083	0.103	134	560
15号	7.69	7.48	7.3	24.50	21.426	7.142	28.642	6.071	2.489	143	943

变化较大且不均匀。以TN指标为例,秋季TN质量浓度范围为0.49~19.73 mg/L,最高值是最低值的40.3倍,冬季为1.31~28.64 mg/L,最高值是最低值的21.9倍,这也表明了水质空间分布不均匀的特点。

2.3 秋冬季浮游植物群落与环境因子间的典范对应分析

秋冬季浮游植物群落与环境因子的CCA排序结果见表6、表7。由表6可知,前两个物种排序轴总特征值为0.813,可解释的信息量为61.7%,其相关系数为-0.026,说明这两个物种排序轴之间相关性很小;前两个环境因子排序轴的相关系数为0,说明这两个排序轴完全垂直。因此该排序结果可较好地反映研究区秋冬季节浮游植物群落与环境因子之间的关系。

从表7可以看出,ORP、水温以及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 这4个环境因子与第一物种排序轴呈正相关,其中水温与物种排序轴相关性最明显,相关系数为0.7954。其余环境因子与第一排序轴呈负相关,最显著的是DO,相关系数为-0.6536。环境因子与第二物种排序轴多数呈现相关,其中COND与排序轴相关性最显著,相关系数为0.7142,其次为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和TN,相关系数分别为0.6572和0.7077;水温、浊度与物种排序轴呈负相关性,相关系数为-0.2620和-0.2454。综上可知,影响浮游植物群落分布的主要环境因子为水温、DO,其次为COND、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和TN。

浮游植物物种与环境因子的CCA排序见图1(物种序号见表2)。由箭头的长短可知,pH和浊度对整体浮游植物群落的分布影响作用较小,其他环境因子对群落分布都有较明显的影响作用。从图1可以看出藻类物种分化比较明显,绿藻主要分布在排序图的第一象限,且其对氮磷营养盐指标、ORP和COND、高锰酸盐指数、氮磷比均有较高的最适值,表明绿藻对此类指标较高的水质耐受能力较高。蓝藻分布在温度箭头附近,且具有较高的温度最适值,表明蓝藻适宜在水温高的环境下生长,且其分布状况受水温影响很大,这也是冬

表6 CCA排序轴的特征与环境因子的相关性
Table 6 Eigenvalues for CCA ordination axes and correlation between species and environmental factors

坐标轴	特征值	物种排序轴与 环境轴相关系数
1	0.283	0.924
2	0.217	0.913
3	0.167	0.912
4	0.146	0.791

表7 环境因子与CCA排序轴的相关系数

环境因子	相关系数			
	A1	A2	A3	A4
ORP	0.2426	0.4630	0.4363	-0.0582
pH	-0.0600	0.0251	-0.1024	0.1208
COND	-0.2898	0.7142	0.0433	-0.1131
DO	-0.6536	0.1100	0.2822	-0.1128
T	0.7954	-0.2620	0.1524	0.0222
Tur	-0.1254	-0.2454	0.1747	-0.1160
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.0662	0.5998	0.1840	-0.2395
$\text{NH}_4\text{-N}$	-0.2334	0.6572	-0.2826	-0.0674
TN	-0.0388	0.7077	0.0335	-0.2294
COD_{Mn}	0.3417	0.5153	0.1398	0.4272
TP	-0.4245	0.5872	-0.1210	-0.1221
氮磷比	0.4716	-0.2069	0.2094	-0.2403

季未镜检到蓝藻的直接原因。硅藻主要分布在 DO 和温度箭头附近,且分布相对分散,表明硅藻的分布受 DO 和水温的影响比较明显,同时在各采样点秋冬季节均镜检到大量的硅藻,表明硅藻对环境的适应能力较强。在图 1 所示区域,物种相对集中分布于氮磷比因子变量箭头附近,说明氮磷比对该区域藻类的生长有着极大的影响。结合镜检物种结果分析可知,研究区水体中氮磷比对裸藻门、蓝藻门和部分绿藻门藻类的生长和分布有十分明显的影响。部分采样点未检出蓝藻可能与氮磷比突变造成蓝藻数量激变有一定的关系,其影响机理有待进一步研究。

秋冬季各采样点与环境因子之间的 CCA 排序见图 3。由图 3 可见,由于温度季节性差异明显,使得秋冬季采样点分化显著,秋季采样点主要分布在 I 区,冬季主要分布在 II 区。分析可知,秋季各采样点浮游植物群落的分布与水温有很显著的正相关性,与 DO,pH 呈明显的负相关,而与其他指标的相关性不显著。冬季各采样点浮游植物群落的分布则与 DO,pH,TP 呈显著的正相关性,与水温显著负相关,同时与氮营养盐的浓度也有一定的正相关,与秋季相比,冬季的影响因子和影响机理更加复杂多变。

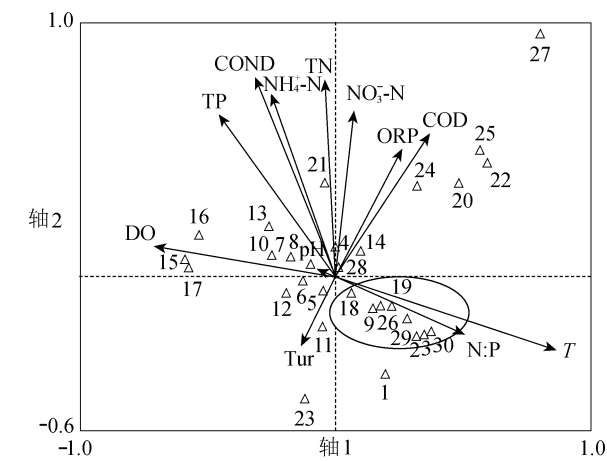


图 1 浮游植物物种与环境因子的 CCA 排序

Fig. 1 CCA ordination bi-plot between phytoplankton species and environmental factors

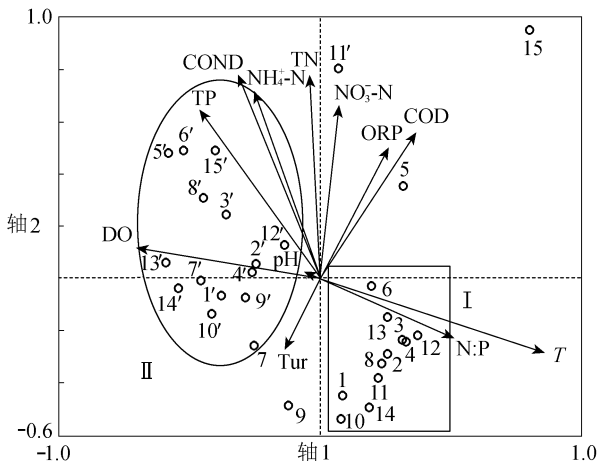


图 2 秋冬季各采样点与环境因子的 CCA 排序

Fig. 2 CCA ordination bi-plot between sampling points and environmental factors in autumn and winter

2.4 影响秦淮河浮游植物群落的主要环境因子分析

水体中浮游植物群落的种类组成和数量结构变化具有一定的规律,其变化主要受相关的物理、化学和生物等环境因子的影响^[11-14],但不同地区不同水体的主要影响因子是不同的。Naselli-Flores 等^[15-16]研究表明,Arancio 湖水温、COND、库容对浮游植物分布的影响最大,Rosamarina 湖中硝氮、亚硝氮和混合水深及可溶性硅对浮游植物群落的影响最重要,而 Sicilian 水库富营养程度、碱度和库容变化对浮游植物影响最大;Habib 等^[17]认为,Lomond 湖浮游植物群落主要受水温、DO、透明度和高锰酸盐指数的影响;路娜等^[18]指出,巢湖流域春季湖体浮游植物空间分布主要受水温、浊度和 NO₃-N 的影响,流域内河流浮游植物群落分布主要受叶绿素 a、NO₃-N 和磷酸根浓度的影响;Licursi 等^[19]认为硅藻能够适应多变的环境条件。

南京地区四季分明,秋冬季水温差异较大,各季节浮游植物组成相对稳定,季节之间浮游植物数量对比明显。结合秋冬季浮游植物群落分布、采样点与环境因子之间典范对应分析可知,秋冬季影响浮游植物群落的主要因子为水温和 DO,其次为氮磷营养盐浓度和 COND。氮磷比作为一个较为特殊的因子直接影响研究区蓝藻、裸藻和特定绿藻的时空分布。另外,汉中门、文津桥、运粮河 3 个采样点的氮磷营养盐、ORP、高锰酸盐指数和 COND 指标均高于其他采样点,水质较差,同时这 3 处有较高的绿藻丰度,说明绿藻对此类不良水质的耐受程度较高,与 CCA 论述一致。秋冬季在各采样点均有较高的硅藻丰度值,说明硅藻的环境适应能力更好一些,这些与 Licursi 等的观点相一致^[19]。

3 结 论

a. 南京市内外秦淮河秋冬季共检出藻类 4 门 30 属 37 种,其种群组成随季节变化较大,秋季以蓝藻、硅藻为主(分别占总丰度的 41.5% 和 36.7%),而冬季硅藻占绝对优势(占总丰度的 93.8%);秋季的浮游植物平均丰度(221.5 万 cells/L)远高于冬季(153.4 万 cells/L),而生物量则正好相反(秋季为 4.41 mg/L,而冬季

为 6.58 mg/L)。

b. 通过 CCA 排序图和相关分析可知,绿藻对氮磷营养盐浓度、高锰酸盐指数等指标较高的水体耐受能力较强,硅藻在各采样点均有较高的丰度值,其对环境的适应能力较强。氮磷比对研究区蓝藻、裸藻和部分绿藻有直接的影响作用,机理需进一步研究。

c. 通过 CCA 排序表明,秋冬季影响秦淮河浮游植物群落时空分布的主要环境因子为水温和 DO,其次为氮磷营养盐浓度和 COND。

参考文献:

- [1] LEPIST L, HOLOPAINN A L, VUORISTO H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing ecological status of finnish boreal lakes [J]. *Imnologia*, 2004, 34: 36-48.
- [2] TER BRAAK C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis [J]. *Ecology*, 1986, 67: 1167-1179.
- [3] TER BRAAK C J F, SMILAUER P. CANOCO reference manual and CanoDraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (Version 4.5) [M]. Ithaca NY: Microcomputer Power, 2002.
- [4] 禹娜, 陈力桥, 赵泉鸿. 太湖介形虫分布与水环境因子之间的典范对应分析 [J]. *微体古生物学报*, 2007, 24(1): 53-60. (YU Na, CHEN Liqiao, ZHAO Quanhong. CCA ostracod distribution and environmental factors in the Taihu Lake [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2007, 24(1): 53-60. (in Chinese))
- [5] ANGERS B, MAGNAN P, PLANTE M, et al. Canonical correspondence analysis for estimating spatial and environmental effects on microsatellite gene diversity in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) [J]. *Molecular Ecology*, 1999, 8: 1043-1053.
- [6] 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. (LUAN Qingshan, SUN Jun, SONG Shuqun, et al. Canonical correspondence analysis of summer phytoplankton community and its environment in the Yangtze River estuary, China [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 445-450. (in Chinese))
- [7] 夏品华, 马键荣, 李存雄, 等. 红枫湖水库冬春季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析 [J]. *环境科学研究*, 2011, 24(4): 378-386. (XIA Pinhua, MA Jianrong, LI Cunxiong, et al. Canonical correspondence analysis between the plankton community and environmental factors in Hongfeng Lake reservoir in winter and spring [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2011, 24(4): 378-386. (in Chinese))
- [8] CVETKOVIC M, WEI A, CHOW-FRASER P. Relative importance of macrophyte community versus water quality variables for predicting fish assemblages in coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2010, 36(1): 64-73.
- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] GB 3838—2002 中华人民共和国地表水环境质量标准 [S]
- [11] REYNOLDS C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 11-16.
- [12] 蒋玉玲, 李青, 陈晓宏, 等. 广州市大金钟水库浮游植物与环境因子的关系 [J]. *水资源保护*, 2011, 27(1): 46-50. (JIANG Yuling, LI Qing, CHEN Xiaohong, et al. Relationship between phytoplankton and environmental factors in Dajinzhong reservoir of Guangzhou [J]. *Water Resources Protection*, 2011, 27(1): 46-50. (in Chinese))
- [13] 蔡琳琳, 朱广伟, 朱梦圆, 等. 蓝藻水华期温度与营养盐对太湖浮游植物生物量的影响 [J]. *水科学与水工程*, 2012, 5(4): 361-374. (CAI Linlin, ZHU Guangwei, ZHU Mengyuan, et al. Effects of temperature and nutrients on phytoplankton biomass during bloom seasons in Taihu Lake [J]. *Water Science and Engineering*, 2012, 5(4): 361-374. (in Chinese))
- [14] 王艳玲, 曹正梅, 刘峰. 崂山水库浮游植物的季节变化及水体营养状态 [J]. *水资源保护*, 2011, 27(1): 42-45. (WANG Yanling, CAO Zhengmei, LIU Feng. Seasonal variation of phytoplankton and analysis of nutritional status in Laoshan reservoir [J]. *Water Resources Protection*, 2011, 27(1): 42-45. (in Chinese))
- [15] NASELLI-FLORES L, BARONE R. Phytoplankton dynamics in two reservoir with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy) [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 163-178.
- [16] NASELLI-FLORES L. Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationship between species composition and environmental factors [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424: 1-11.
- [17] HABIB O A, TIPPETT R, MURPHY K J. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physic-chemical factors in Loch Lomond, Scotland [J]. *Hydrobiologia*, 1997, 350: 63-79.
- [18] 路娜, 尹洪斌, 邓建才, 等. 巢湖流域春季浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系 [J]. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 950-956. (LU Na, YING Hongbin, Deng Jiancai, et al. Spring community structure of phytoplankton from Lake Chaohu and its relationship to environmental factors [J]. *Journal Lake Science*, 2010, 22(6): 950-956. (in Chinese))
- [19] LICURSI M, SIERRA M V, GÓMEZ N. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America) [J]. *Journal of Marine Systems*, 2006, 62: 35-45.