J. Lake Sci.(湖泊科学),2010,**22**(6):950-956
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2010 by *Journal of Lake Sciences*

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*

路　娜,尹洪斌,邓建才**,高　峰,胡维平,高俊峰
(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室,南京 210008)

摘　要:采用野外调查的方法,结合趋势对应分析(DCA)及典范对应分析(CCA)的手段,研究春季巢湖流域河湖水体浮游植物群落结构特征及其与环境因子的相关性.结果表明,共鉴定出浮游植物73种,分属8门(硅藻门、绿藻门、蓝藻门、隐藻门、金藻门、甲藻门、裸藻门和黄藻门).在巢湖水体中,硅藻门、蓝藻门及绿藻门的数量之和占总数量的93.5%,为优势种群;蓝藻门中的项圈藻占总数量的21.9%,成为优势种.巢湖流域出入湖河流水体中,硅藻门、蓝藻门及绿藻门的数量也最多,占总数量的82.6%,为优势种群;蓝藻门中的席藻和束丝藻数量分别占总数量的38.3%、32.6%,成为出入湖河流水体中的绝对优势种.DCA分析表明巢湖流域水体浮游植物群落存在明显的空间差异.CCA分析表明巢湖水体浮游植物空间分布主要受水温、浊度和硝态氮浓度的影响;南淝河和柘皋河浮游植物空间分布受叶绿素a和硝态氮浓度的影响;而裕溪河、兆河和白石山河、杭埠河和丰乐河、派河浮游植物空间分布则受叶绿素a和磷酸根浓度的影响.
关键词:巢湖流域;浮游植物;趋势对应分析;典范对应分析

Spring community structure of phytoplankton from Lake Chaohu and its relationship to environmental factors

LU Na, YIN Hongbin, DENG Jiancai, GAO Feng, HU Weiping & GAO Junfeng
(*State Key Laboratory of Lake Science and Environment*, *Nanjing Institute of Geography and Limnology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *P. R. China*)

Abstract: Spring community structure of phytoplankton from rivers and wetlands in Lake Chaohu catchment was investigated by means of field sampling, and its relationship with environmental factors was analyzed by detrended correspondence analysis (DCA) and canonical correspondence analysis (CCA). The results showed that 73 species (genera) of phytoplankton have been identified in water from Lake Chaohu, which belonged to Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta, Euglennophyta and Xanthophyta, respectively. In the water of Lake Chaohu, 93.5% of the phytoplankton belonged to the phylum Bacillariophyta, Cyanophyta and Chlorophyta, which constructed the dominant population. Notably the number of *Anabaenopsis* from the phylum Cyanophyta, the most dominant species, is 21.9% of the numbers of the phytoplankton. In some rivers discharged to Lake Chaohu, the dominant species are also of the phylum Bacillariophyta, Cyanophyta and Chlorophyta, which constitute 82.6% of the phytoplankton. The number of *Phormidium* (the species of the largest population) reaches as high as 38.3% of the number of the phytoplankton, while the number of *Aphanizomenon* (the species of the second largest population) reaches 32.6%, both of which belong the phylum Cyanophyta. These two species construct the absolute dominant species. A significant discrepancy in spatial distribution of phytoplanton in the lake was observed. Phytoplankton community structure and spatial distribution in the water were remarkably affected by temperature, turbidity and NO_3^--N. However, concentrations of Chl. a, NO_3^--N and PO_4^{3-}-P were the main environmental variables affecting phytoplankton community structure and spatial distributions in water from rivers discharged to the lake.
Keywords: Lake Chaohu catchment; phytoplankton; DCA; CCA

---

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07526-002-08)和国家自然科学基金项目(40902052)联合资助.2010-02-08收稿;2010-03-26收修改稿.路娜,女,1983年生,硕士;E-mail:luna2007@126.com.
** 通讯作者;E-mail:jcdeng@niglas.ac.cn.

浮游植物是水生态系统的主要初级生产者之一，也是食物链的重要组成部分，对维持水生态系统健康具有重要作用[1-2]. 在不同的水生态系统（如河流型和湖库型）中，浮游植物的生物形态、结构和组成均存在着较大的差异[3-4]. 浮游植物群落结构与水生态环境因子之间有着十分密切的关系，其组成和分布对环境变化具有指示作用，特别是营养盐水平的变化[5-6]，如硅藻适宜生长在较温暖且透明度、营养盐浓度频繁波动的水体中[7]；反之，环境条件的改变也会影响浮游植物群落结构组成及生物量的变化[8]. 因此，通常可用浮游植物反映水质状况[9].

巢湖作为长江中下游典型的大型浅水湖泊，其流域面积约为 $1.3\times10^4 km^2$[10]，流域内河网密布、纵横交错，主要包括杭埠河-丰乐河、派河、西淝河-店埠河、柘皋河、白石山河、裕溪河等 7 大水系，共 33 条出入湖河流. 近年来，随着工业化、城市化进程的加快，生活污水、工农业废水的排放，导致巢湖流域河流水质状况日趋下降以及水生态系统退化等一系列问题已引起政府部门的高度重视[11]. 针对水体水质的不断恶化，许多学者开展了巢湖湖体富营养化成因机理研究[12-14]，但涉及巢湖，尤其是流域内河流水体，浮游植物群落结构特征的研究较少. 因此，本文将重点研究巢湖流域水体浮游植物群落结构的空间差异，以及与水环境因子的相关性，为流域内水资源开发与水环境保护提供生物学依据.

1 材料与方法

1.1 采样点的布设

本研究共设浮游植物采样点 59 个. 其中，巢湖湖体 12 个、裕西河 9 个、兆河和白石山河 5 个、杭埠河和丰乐河 15 个、派河及南淝河 14 个和柘皋河 4 个（图 1）.

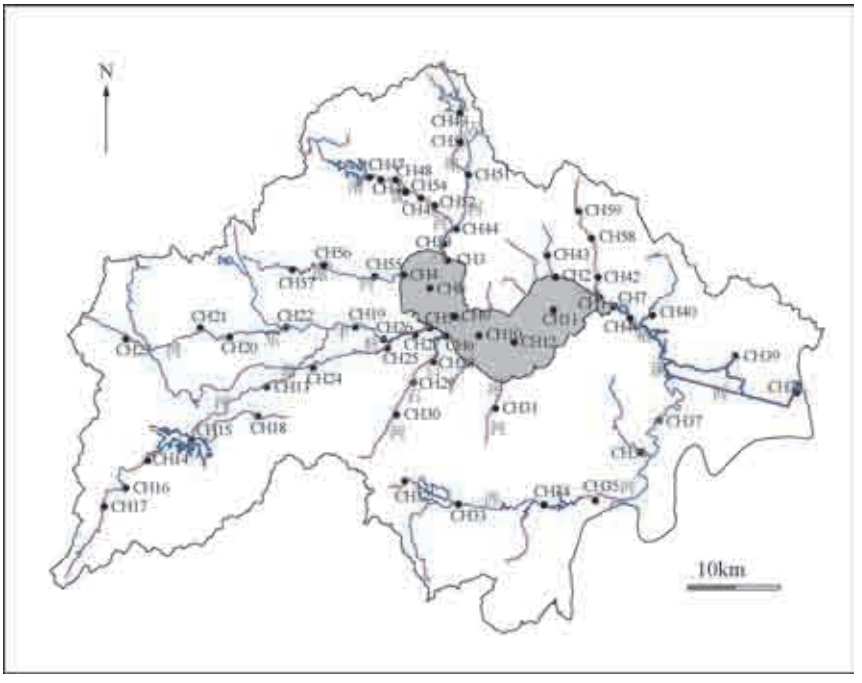


图 1 巢湖流域内浮游植物采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites of phytoplankton from the Lake Chaohu catchment

1.2 样品采集与处理

2009 年春季（4 月）对巢湖流域进行采样. 用 YSI6600 V2 型多参数水质监测仪（美国）现场测定表层（30－50cm）的 pH、水温（Tem）、溶解氧（DO）、电导率（EC）、浊度（Tur）等水质指标. 采集的水样主要用于分析叶绿素 a（Chl. a）、总氮（TN）、铵态氮（NH_4^+-N）、硝态氮（NO_3^--N）、亚硝态氮（NO_2^--N）、总磷（TP）、生物可

利用态磷(PO_4^{3-}-P)以及化学需氧量(COD_{Mn}),其测定方法按《湖泊富营养化调查规范》[15]进行.

浮游植物的定性和定量采样:定性标本用25号浮游生物网在表层水中捞取,加甲醛溶液固定,带回室内鉴定种类;定量样品采水1000ml,加入10ml鲁哥氏剂(Lugol's),在室内静置24h,浓缩至30ml,摇匀,取0.1ml在计数框内以细胞为单位计数,随后换算成生物量.计数方法为目镜行格法,一般随机计数两个垂直行格(行格大小0.49mm×25mm),对于生物量较大而不便使用行格法的样品采取视野计数法,一般计数30-50个视野,使得细胞数在300以上.由于浮游植物的比重接近于1,故可以直接由浮游植物的数量换算为生物量(湿重),即生物量为浮游植物的数量乘以各自的平均体积,单位为mg/L,单细胞的生物量主要根据浮游植物个体形状测量而得[16].

1.3 数据分析

浮游植物和环境因子的数据利用CANOCO4.5软件包进行CCA分析,排序结果用物种-环境因子关系的双序图表示.在环境因子特征变量构成的空间上,对环境变量和浮游植物等排序作图,实现了浮游植物与环境因子的对应排序.在由主轴1和主轴2构成的平面中,箭头表征了环境因子在平面上的相对位置,向量长短代表其在主轴中的作用,箭头所处象限表示环境因子与排序轴间相关性的正负.对主要浮游植物种类的密度在主轴上排序,则可反映这些浮游植物与环境因子之间的对应关系.

2 结果与讨论

2.1 巢湖流域浮游植物群落结构特征

本研究共鉴定出的浮游植物属于8门73种,隶属于硅藻门(Bacillariophyta)、蓝藻门(Cyanophyta)、绿藻门(Chlorophyta)、隐藻门(Cryptophyta)、甲藻门(Pyrrophyta)、金藻门(Chrysophyta)、黄藻门(Xanthophyta)和裸藻门(Euglennophyta).其中最多的为绿藻门,占总数量的38.0%,其次为硅藻门,占总数量的15.3%;金藻门占总数量的1.6%、甲藻门占总数量的0.3%;黄藻门种类最少,仅占总数量的0.04%.本次鉴定出的浮游植物种属比台建明于2004年对巢湖水域调查的多[17].

巢湖水体中硅藻门、蓝藻门及绿藻门数量分别占总数量的10.7%、36.0%和46.8%,三门浮游植物数量之和占总数量的93.5%(表1),为巢湖水体浮游植物的优势种群.绿藻门中的种属大部分是污水生物,生长在有机物含量较高的水体中,绿藻在湖泊中大量繁殖,表示湖泊有机物含量较高,水质较差,富营养化程度较高[18].蓝藻门中的项圈藻(*Anabaena*)占总数量的21.9%,成为巢湖水体的优势种.硅藻门中的小环藻(*Cyclotella*)、直链藻(*Melosira*)、针杆藻(*Synedra*)及舟形藻(*Navicula*)为全湖性分布种.绿藻门的栅列藻(*Scenedesmus*)、盘星藻(*Pediastrum*)、卵胞藻(*Oocystis*)、十字藻(*Crucigenia*),硅藻门的异极藻(*Gomphonema*),蓝藻门的蓝纤维藻(*Dactylococcopsis*)、席藻(*Phormidium*)和项圈藻(*Anabaena*),以及隐藻门的蓝隐藻(*Chroomonas*)和隐藻(*Cryptomonas*)在绝大部分采样点出现.

与巢湖水体相似,巢湖流域主要出入湖河流水体中浮游植物的数量也是以硅藻门、蓝藻门及绿藻门数量为最多(表1),分别占总数量的24.6%、37.1%和20.9%,三门浮游植物数量之和占总数量的82.6%,成为

表1 巢湖流域水体浮游植物的优势种

Tab.1 Dominant species of phytoplankton in water from Lake Chaohu catchment

巢湖	数量百分比(%)	出入湖河流	数量百分比(%)
硅藻门 Bacillariophyta	10.7	硅藻门 Bacillariophyta	24.6
小环藻 *Cyclotella* spp.	3.0	小环藻 *Cyclotella* spp.	10.0
直链藻 *Melosira* spp.	4.3	针杆藻 *Synedra* spp.	10.3
蓝藻门 Cyanophyta	36.0	蓝藻门 Cyanophyta	37.1
席藻 *Phormidium* spp.	6.2	束丝藻 *Aphanizomenon* spp.	32.6
项圈藻 *Anabaena* spp.	21.9	席藻 *Phormidium* spp.	38.3
绿藻门 Chlorophyta	46.8	绿藻门 Chlorophyta	20.9
盘星藻 *Pediastrum* spp.	10.9	栅列藻 *Scenedesmus* spp.	15.4
细丝藻 *Ulothrix* spp.	13.4	十字藻 *Crucigenia* spp.	8.1

巢湖流域主要入湖河流水体中的优势种群. 蓝藻门中的席藻(*Phormidium*)和束丝藻(*Aphanizomenon*)数量分别占总数量的38.3%、32.6%,位居第一和第二,成为入湖各支流中的绝对优势种. 与巢湖湖体相比,出入湖河流水体中硅藻门数量所占比例增加了约14%,绿藻门数量所占比例则下降了近20%,蓝藻门的比例则未出现明显的变化.

在巢湖水体中,硅藻门、蓝藻门、绿藻门、隐藻门、甲藻门、金藻门、黄藻门、裸藻门生物量分别为17.073、2.283、37.192、11.016、1.210、0.419、0.100、9.050mg/L,总生物量为78.343mg/L;出入湖河流各门对应的生物量分别为31.179、0.877、27.064、15.375、3.160、2.430、0.100、9.110mg/L,总生物量为89.295mg/L.

在巢湖水体中,硅藻门、绿藻门、隐藻门和裸藻门浮游植物的生物量较高,分别占总浮游植物生物量的21.8%、47.5%、14.1% 和11.6%,其浮游植物生物量之和占总生物量的95%. 与巢湖水体相似,出入湖河流水体中硅藻门、绿藻门、隐藻门和裸藻门浮游植物的生物量也较高,分别占总浮游植物生物量的34.9%、30.3%、17.2% 和10.2%,4门浮游植物生物量之和占浮游植物总生物量的92.6%. 与巢湖水体相比,出入湖河流水体中硅藻门浮游植物生物量显著增加,上升幅度为83%;绿藻门浮游植物生物量则显著减少,下降幅度为27%. 浮游植物种类及生物量的变化,表明出入湖河流水体营养盐浓度波动频繁,且幅度较大.

2.2 巢湖流域浮游植物与不同环境参数的典范对应分析

为了解不同环境参数对巢湖流域水体中浮游植物的影响,对浮游植物与水温、pH值、电导率、氧化还原电位、浊度、叶绿素a、溶解氧、总氮、总磷、可利用磷、氨态氮、硝态氮、亚硝态氮及化学需氧量等14个环境参数进行典范对应分析(CCA).

2.2.1 *浮游植物的空间分布特征*　根据各采样点浮游植物组成特点及各分类单元的密度,对59个采样点浮游植物样本进行趋势对应分析(DCA). 结果表明:巢湖及出入湖河流采样点在DCA第一轴上得到了很好的分化,可将59个采样点划分为三大区域,区域Ⅰ主要为巢湖湖体的采样点;区域Ⅱ包括南淝河和柘皋河的采样点;区域Ⅲ则主要包括裕溪河、兆河和白石山河、杭埠河和丰乐河、派河的采样点(图2). 研究区域浮游植物群落存在明显的空间差异,主要表现为三个研究区域的浮游植物组成差异较大,这可能是由于不同的生境造成的. 巢湖湖体水面宽阔,受到湖泊水动力(湖流、波浪)和气象条件(风速、风向)的影响较大,而其他两个研究区域河流水面相对较窄,受风速、风向的影响小,但河流沿岸的生活污水、工业废水及农田径流对水体浮游植物群落结构和种群数量的影响较大,同时还受到水流流向和流速的影响.

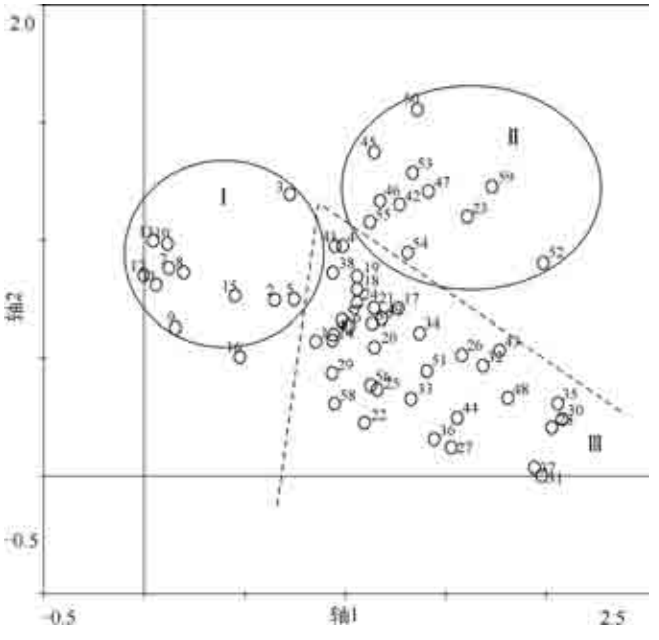


图2 巢湖流域浮游植物采样点的DCA排序图

Fig. 2 Distribution of sampling sites of Lake Chaohu catchment and its main tributaries in the DCA axis

2.2.2 浮游植物与环境因子的关系 CCA 分析前,为消除物种丰富度极端值对分类得分的影响,需对环境参数数据进行 lg(x+1)转换,使其趋于正态分布,并降低稀有物种的权重,以便使研究主要集中在丰富度高的物种上,根据排序的物种要求满足在各样点出现的频度≥15%,选取 35 种浮游植物进行 CCA 分析,浮游植物代码见表 2.

表 2 巢湖流域浮游植物 35 种名录

Tab. 2 35 species of phytoplankton genus in water from Lake Chaohu catchment

蓝藻门 Cyanophyta	13 菱形藻 *Nitzschia*	26 顶棘藻 *Chodatella*
1 蓝纤维藻 *Dactylococcopsis*	14 布纹藻 *Gyrosigma*	27 鼓藻 *Cosmarium*
2 束丝藻 *Aphanizomenon*	15 脆杆藻 *Fragilaria*	28 丝藻 *Ulothrix*
3 颤藻 *Oscillatoria*	16 小环藻 *Cyclotella*	隐藻门 Cryptophyta
4 席藻 *Phormidium*	绿藻门 Chlorophyta	29 蓝隐藻 *Chroomonas*
5 项圈藻 *Anabaena*	17 盘星藻 *Pediastrum*	30 隐藻 *Cryptomonas*
硅藻门 Bacillariophyta	18 弓形藻 *Schroederia*	金藻门 Chrysophyta
6 直链藻 *Melosira*	19 栅列藻 *Scenedesmus*	31 钟罩藻 *Dinobryon*
7 针杆藻 *Synedra*	20 卵胞藻 *Oocystis*	甲藻门 Pyrrophyta
8 异极藻 *Gomphonema*	21 纤维藻 *Ankistrodesmus*	32 多甲藻 *Peridinium*
9 异壳藻 *Cocconeis*	22 四角藻 *Tetraedron*	裸藻门 Euglennophyta
10 桥穹藻 *Cymbella*	23 集星藻 *Actinastrum*	33 裸藻 *Euglena*
11 舟形藻 *Navicula*	24 并联藻 *Quadrigula*	34 扁裸藻 *Phacus*
12 曲壳藻 *Achnanthes*	25 新月藻 *Closterium*	35 囊裸藻 *Trachelomonas*

根据巢湖水体(区域Ⅰ)筛选的浮游植物种类与 14 个环境因子,进行种类和样点的 CCA 排序(图 3). 两主要轴(轴 1 和轴 2)的特征值分别为 0.163 和 0.108,解释了浮游植物种类变异的 26.2% 和环境变异的 43.5%,前 4 个排序轴特征值占总特征值的 67.9%,说明排序结果良好. 环境因子用带有箭头的线段(矢量)表示,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小,箭头所指的方向表示环境因子的变化趋势[19].

排序结果表明,巢湖水体主要影响因素为水温、浊度和硝态氮(P<0.05). 水温与 CCA 第一排序轴呈最大正相关(r=0.603),浊度与 CCA 第一排序轴呈负相关(r=−0.5834),硝态氮浓度与 CCA 第二排序轴呈较大的负相关(r=−0.5377). Naselli-Flores[20]研究表明:温度对浮游植物的影响是很明显的,如在对 Doirani 湖的研究中发现,水温与总藻类生物量呈显著的相关关系. 不同的浮游植物有着不同的最适温度,对于大多数浮游植物而言,其最适生长温度在 18−25℃之间[21]

蓝纤维藻、颤藻、席藻、项圈藻、四角藻、隐藻和扁裸藻 7 种浮游植物与水温有极大的正相关(图 3). 李秋华等[21]研究结果表明,温度是影响蓝藻门、裸藻门和硅藻门藻类丰度的主要环境变量. 束丝藻、直链藻、盘星藻、栅列藻、新月藻、丝藻 6 种浮游植物与浊度和硝态氮有很大的正相关性. CH3 号和 CH4 号均属于入湖河流,水环境特征基本相似,采样点受水温的影响较大;而浊度和硝态氮对 CH8、CH9 和 CH10 号点影响较大,3 个采样点均位于湖心地区且属于西半湖,水环境特征也较相似.

根据南淝河和柘皋河(区域Ⅱ)筛选的浮游植物种类与 14 个环境因子,进行种类和样点的 CCA 排序(图 4). 两主要轴(轴 1 和轴 2)的特征值分别为 0.203 和 0.186,解释了浮游植物种类变异的 19.5% 和环境变异的 37.3%,前 4 个排序轴特征值占总特征值的 57.7%,表明排序结果良好.

巢湖水体浮游植物结构和空间分布的主要影响因素为叶绿素 a(P<0.01)和硝态氮(P<0.05). 叶绿素 a 含量与 CCA 第一排序轴呈最大负相关(r=−0.5332),硝态氮浓度与 CCA 两个排序轴相关性都较好(r_1=−0.4243,r_2=0.5509). 第一排序轴代表了水体叶绿素 a 含量的变化,第二排序轴则基本反映了水体叶绿素 a 和营养盐的状况. 叶绿素是浮游植物重要的组成成分之一,叶绿素 a 含量高低是表征光能自养生物生物量的重要指标,并且与水体中浮游植物的种类和数量密切相关,是水体理化性质动态变化的综合反映指标[22].

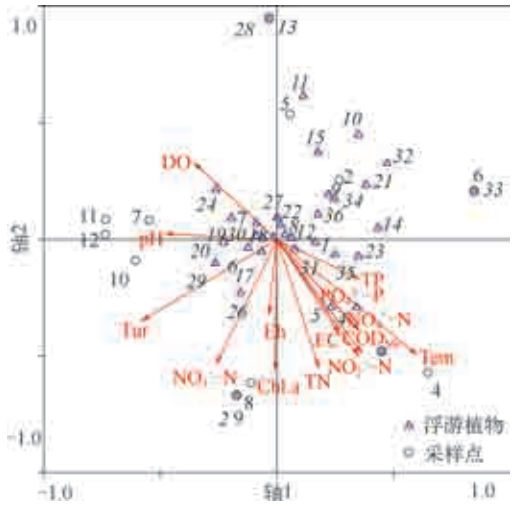


图 3 巢湖水体浮游植物种类、采样点与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 3 CCA ordination diagrams of phytoplankton communities between the species, the sites and environmental variables

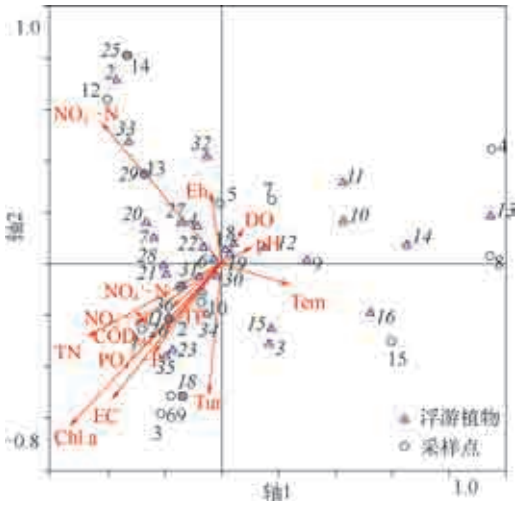


图 4 南淝河和柘皋河浮游植物种类、采样点与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 4 CCA ordination diagrams of phytoplankton communities between the species, the sites and environmental variables

小环藻、卵胞藻、四角藻、集星藻、新月藻、鼓藻、蓝隐藻、隐藻、扁裸藻、囊裸藻等浮游植物与叶绿素 a 含量有较好的相关关系(图 4). 而束丝藻、席藻、直链藻、针杆藻、栅列藻、纤维藻、并联藻、顶棘藻、丝藻、钟罩藻、多甲藻,这些藻类中属于绿藻门的种类居多数,与硝态氮浓度呈正相关. CH1、CH2、CH3、CH6、CH9、CH10 和 CH11 号采样点受叶绿素含量的影响较大,这些点主要分布于南淝河上游、中游和下游. 而硝态氮含量对 CH5、CH12、CH13 和 CH14 号点的影响较大,这些采样点主要分布于柘皋河.

根据裕溪河、庐江县的兆河和白石山河、杭埠河和丰乐河、派河(区域Ⅲ)筛选的浮游植物种类与 14 个环境因子,进行种类和样点的 CCA 排序(图 5). 排序结果显示,影响水体浮游植物结构组成和空间分布的环境因子主要为 Chl. a($P<0.01$)和磷酸根($P<0.05$). CCA 第一排序轴与叶绿素 a 呈显著的负相关,叶绿素 a 与 CCA 第二排序轴呈负相关.

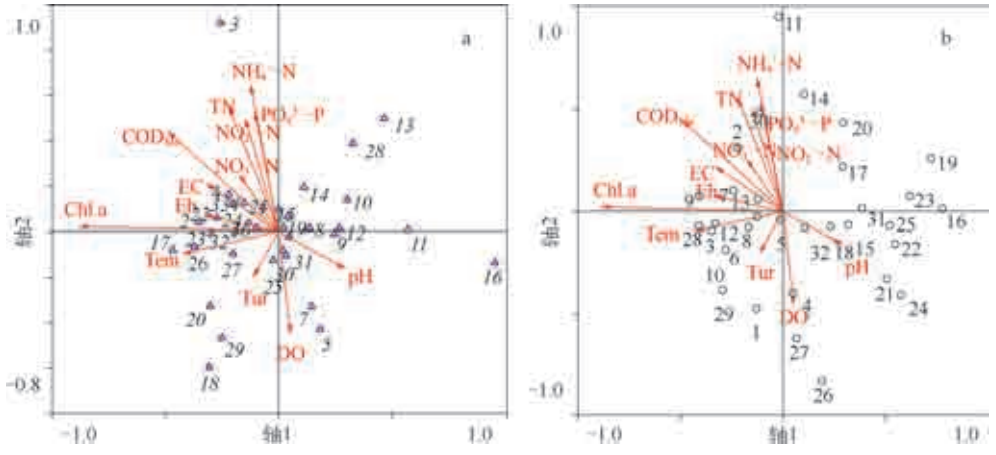


图 5 其他河流浮游植物种类(a)、采样点(b)与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 5 CCA ordination diagrams of phytoplankton communities between the species(a), the sites(b) and environmental variables

蓝纤维藻、束丝藻、颤藻、席藻、卵胞藻、纤维藻、四角藻、集星藻、钟罩藻、多甲藻、裸藻、扁裸藻、囊裸藻,这些浮游藻类多属于蓝藻门、绿藻门和裸藻门,与水体的叶绿素含量呈正相关性(图 5a). 位于裕溪河、白石山河和派河的 CH2、CH7、CH9、CH13 和 CH30 号采样点叶绿素 a 和磷酸根浓度影响较明显(图 5b). 监测结果表明叶绿素 a 含量与浮游植物的分布密切相关,这是因为 4 月份正处于气温回升期,藻类开始大量繁殖,而处于浮游植物食物链上方的浮游动物和某些鱼类的繁殖滞后于浮游植物,因而此时藻类处于良好的生长环境中. 营养盐作为浮游植物赖以增殖的基础,其数量与分布能影响浮游植物的数量动态;同样,作为水体生态系统的生产者,浮游植物也能吸收、消耗水体中的营养盐[3].

3 参考文献

[1] 刘建康. 高级水生生物学. 北京:科学出版社,1999.

[2] Lepistö L, Holopainen AL, Vuoristo H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of Finnish boreal lakes. *Limnologica*, 2004, **34**(3): 236-248.

[3] 沈会涛,刘在歧. 白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析. 湖泊科学,2008,**20**(6):773-779.

[4] 栾表杉,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. 植物生态学报,2007,**31**(3):445-450.

[5] Marchetto A, Padedda BM, Marinani M *et al*. A numerical index for evaluating phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep Mediterranean reservoirs. *J Limnol*, 2009, **68**(1): 106-121.

[6] 邓建明,蔡永久,陈宇炜等. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科学,2010,**22**(1):70-78.

[7] Crossetti LO, Bicudo CED. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical urban shallow reservoir (Garcas Pond): the assemblage index application. *Hydrobiologia*, 2008, **610**(1): 161-173.

[8] 孙 军,刘冬艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报,2004,**26**(1):62-76.

[9] 洪 松,陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. 水生生物学报,2002,**26**(3):295-305.

[10] 王振祥,朱晓东,孟 平. 巢湖富营养化年度尺度变化分析及对策. 环境保护,2009,(6):33-36.

[11] 何开丽. 巢湖富营养化现状与治理对策. 环境保护,2002,(4):22-24.

[12] Wu M, Zhang W, Wang XJ. Application of MODIS satellite data in monitoring water quality parameters of Lake Chaohu in China. *Environ Monit Assess*, 2009, **148**(1-4): 255-264.

[13] Zhang M, Xu J, Xie P. Nitrogen dynamics in large shallow eutrophic Lake Chaohu, China. *Environ Geol*, 2008, **55**(1): 1-8.

[14] Shang GP, Shang JC. Spatial and temporal variations of eutrophication in western Lake Chaohu, China. *Environ Monit Assess*, 2007, **130**(1-3): 99-109.

[15] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社,1990.

[16] 章宗涉,黄群飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社,1991.

[17] 台建明. 巢湖水域浮游生物调查与分析. 河北渔业,2005,(4):18-22.

[18] 邹红娟,任江红,卢媛媛. 武汉市湖泊浮游植物群落排序及水质生态评价. 湖泊科学,2007,**19**(1):87-91.

[19] Naselli-Flores L, Barone R. Phytop lankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy). *Hydrobiologia*, 1998, **369/370**: 163-178.

[20] Temponeras M, Kristiansen J, Moustaka-Gouni M. Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece. *Hydrobiologia*, 2000, **424**(1-3): 109-122.

[21] 李秋华,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. 生态学报,2007,**27**(6):2355-2364.

[22] 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关联分析. 上海环境科学,2003,**22**(4):261-265.