

九龙江西溪漳州段浮游植物组成与环境因子的关系*

黄旭光^{1,2,*} 李顺兴¹ 曾宪兴¹

(¹漳州师范学院化学与环境科学系, 福建漳州 363000; ²厦门大学环境与生态学院, 福建省海陆交界区生态与环境联合重点实验室, 福建厦门 361005)

摘要 分别在2010年的丰、平、枯3个时期,从浮游植物种类组成、生物量(叶绿素a含量)及其粒级结构等指标对九龙江漳州段浮游植物组成进行了调查,同时分析了其与环境因子间的关系,评估了该河段的水质质量。结果表明:研究区域微微型浮游植物占总生物量比例与温度存在显著的正相关性($P < 0.05$),小型浮游植物占总生物量比例与总氮成显著的负相关($P < 0.05$)。共鉴定出浮游植物7门59种,且在各时期均有差异;丰水期与枯水期相比,蓝藻比例上升($P < 0.05$),甲藻比例下降($P < 0.05$);研究水域 Shannon-Wiener 指数在1.0~3.0,为中度污染。典型对应分析表明,温度和营养盐是影响九龙江西溪漳州段浮游植物群落变化的主要环境因子。

关键词 浮游植物种类;粒级结构;生物量;环境因子

中图分类号 X171 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)5-1097-07

Phytoplankton composition and its relationships with environmental factors at Zhangzhou section of western Jiulong River. HUANG Xu-guang^{1,2,*}, LI Shun-xin¹, ZENG Xian-xin¹ (¹Department of Chemistry & Environmental Science, Zhangzhou Teachers College, Zhangzhou 363000, Fujian, China; ²College of the Environment and Ecology/Fujian Provincial Joint Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(5): 1097-1103.

Abstract: From the viewpoints of species composition and biomass (size-fractionated chlorophyll a), an investigation was conducted on the phytoplankton composition at Zhangzhou section of Western Jiulong River during wet, normal, and dry seasons in 2010, with the relationships between the phytoplankton composition and environmental factors analyzed and the water quality assessed. In the study area, the proportion of picoplankton biomass to the total phytoplankton biomass had significant positive correlation with water temperature ($P < 0.05$), and the proportion of micro-phytoplankton biomass to the total biomass had negative correlation with water total nitrogen ($P < 0.05$). A total of 59 species belonging to 7 phyla were identified. The phytoplankton species composition and abundance varied with seasons and sites. In wet season, the proportion of Cyanobacteria increased ($P < 0.05$), while that of Dinoflagellates decreased ($P < 0.05$), as compared with those in dry season. Canonical correspondence analysis showed that water temperature and nutrients contents were the main environmental factors affecting the phytoplankton community composition and biomass at the Zhangzhou section of western Jiulong River.

Key words: phytoplankton species; size fractionation; biomass; environmental factor.

九龙江是福建省仅次于闽江的第二大河流,有北溪、西溪、南溪三大水系。主要支流西溪河长172 km,流域面积3940 km²。西溪上游的花山溪、船场

溪、萝江和永丰溪等4条支流,在南靖县靖城镇汇流后为西溪下游,经郑店水文站、漳州市区到福河村止,全长34.8 km(郑建忠,2008)。九龙江西溪是漳州市主要的饮用水源地,其水质直接影响了沿岸居民饮用水源的安全。

浮游植物是水环境的重要指示生物,其种类组成、生物量等群落特征是水环境质量的重要标志。

* 福建省教育厅科技项目(JA09164)和福建省大学生科研创新实验计划和国家自然科学基金项目(40806060)资助。

** 通讯作者 E-mail: hxg226@sina.com

收稿日期: 2011-10-08 接受日期: 2012-01-20

浮游植物的种类组成和数量结构的变化具有一定规律,且受相关的物理、化学和生物等环境因子影响(Teubner, 2003; 李芳芳等, 2011; 王小冬等, 2011)。典型对应分析(CCA)因具有能同时结合多个环境因子,包含的信息量大,结果明确、直观、效果好等优点而受到重视。CCA为分析浮游植物群落与环境因子间的复杂关系提供了工具(Singh *et al.*, 2004; Camdevyren *et al.*, 2005; Pilkaityte *et al.*, 2006)。本文对九龙江西溪漳州段浮游植物粒级结构和浮游植物群落进行了调查,结合环境因子,综合评价浮游植物粒级结构与环境因子之间的关系,并运用典范对应分析探讨了浮游植物分布与环境因子间的关系,为城市流域水环境保护和水资源的综合管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和采样点的设置

依据采样的原则,结合GPS卫星系统定位,设置4个采样点(图1);监测频次为每年3次,枯、平、丰水期各1次。并同步开展理化监测,主要指标包括:总磷(TP)、总氮(TN)、溶解氧(DO)、pH、水温(T)、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、透明度(SD)、化学需氧量(COD_{Mn})等参数,测定方法采用《水和废水监测分析方法(第4版)》(国家环保局,2002)。

定量采集1000 mL水样浓缩后分析,使用鲁格氏试剂(Lugol's solution)固定,静置24~36 h后,利用虹吸法将沉淀上层清液缓慢吸出并沉淀浓缩至30 mL,以备计数。鉴定方法:将浓缩沉淀后的水样充分摇匀,吸出0.1 mL置于计数框内,在10×40倍

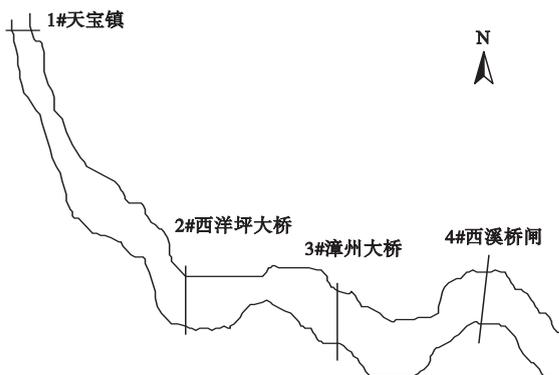


图1 九龙江西溪漳州段浮游植物调查采样点分布示意图
Fig. 1 Sampling sites of phytoplankton in Zhangzhou section of Western Jiulong River

1#天宝镇采样点处于上游,2#采样点为漳州市饮用水源地,3#采样点周边是漳州城区繁华处,4#采样点为下游(城区外)。

显微镜下观察计数,每个样品计数2片,每片选取100个视野,取其平均值同一样品的2片计算结果和平均数之差如不大于其均数的15%,其均数可视有效结果,否则还必须测第3片,直至3片平均数与相近两数之差不超过均数的15%为止,这两个相近值的均数,即可视为计算结果。种类依据《中国淡水藻类:系统分类及生态》(胡鸿钧等,2006)和《淡水微型生物图谱》(周凤霞等,2005)进行鉴定。

使用0.2 μm 、2 μm 微孔滤膜和20 μm 筛绢组合,分别过滤适当体积的水样,收集滤膜加入5 mL 90%丙酮于10 mL塑料离心管,-20 $^{\circ}\text{C}$ 避光萃取24 h,用荧光分光光度计测定其浓度,通过差减法即可获得各粒级叶绿素a的含量。

1.2 数据分析

利用SPSS 17.0分析环境因子之间的相关关系,利用Canoco Console 4.5软件包进行CCA分析。采用浮游植物丰度指标来反映浮游植物种类与环境的关系。

生物多样性指数(Shannon-Wiener指数)计算公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

式中, H 为生物多样性指数, N_i 为样品中第*i*种生物的个体数, N 为样品中生物总个体数。

生物多样性指数分级标准为: $H=0$ 为严重污染; $H<1$ 为重污染; $H=1\sim3$ 为中污染; $H>3$ 为清洁。

2 结果与分析

2.1 环境因子在不同站位和时期变化情况

九龙江西溪漳州段各采样点的环境因子情况如表1。pH值变化较小,为6.88~7.04,呈中性。溶解氧为3.1~12.3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,差异较大。其中最大值在1#的丰水期,最小为4#的枯水期。温度随季节变化明显,站位间无明显差异,丰、平、枯的平均水温分别是25.0、15.3和11.3 $^{\circ}\text{C}$ 。1#、2#、3#、4#采样点的TN和TP均在枯水期浓度最高,平水期浓度最低,TN、TP浓度最高值均在3#采样点枯水期分别为5.62和0.26 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,最低值均在1#采样点的丰水期。全年均值,TN、TP浓度3#>4#>2#>1#。叶绿素a丰水期出现最大值,3#最高达到90.12 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,在枯水期出现最小值,1#点仅为14.86 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。各

采样点透明度(SD)在丰水期均低于平水期和枯水期,最低值出现在3#采样点,仅为0.8 m。

对表1数据进行统计分析,TN和TP呈显著的正相关关系($n=12, P<0.01, r=0.793$); NH_4^+-N 与TP显示较好的正相关性($n=12, P<0.01, r=0.665$);TN和TP与叶绿素a均无明显的相关性;但叶绿素a与T和DO显示较好的正相关性($n=12, P<0.01, r=0.740; n=12, P<0.05, r=-0.626$),与SD呈负相关($n=12, P<0.01, r=-0.737$)。pH值与其他环境参数间的关系均无明显相关。

2.2 浮游植物

2.2.1 浮游植物粒级组成

丰水期小型浮游植物叶绿素a含量在各采样点从11.21~32.38 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为19.88 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,小型浮游植物与总叶绿素a比值从23.57%~35.93%;枯水期小型浮游植物叶绿素a的含量从2.64~14.36 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为6.77 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,小型浮游植物与总叶绿素a比值从14.31%~24.53%。微微型浮游植物与总叶绿素a在各采样点各时期测得浓度均较小,最高值在3#站的丰水期,为1.48 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,在1#站枯水期未检出,微微型浮游植物叶绿素a对总叶绿素a的贡献较少,从0~2.9%。微型浮游植物叶绿素a为研究区域水体中生物量的主要贡献者,其贡献率达从

62.5%~83.5%(图2)。

由表2可见,微微型浮游植物生物量与总生物量比值与温度显示有较好的正相关性($n=12, P<0.05, r=0.699$),小型浮游植物生物量与总生物量比值与总生物量间存在明显的正相关性($n=12, P<0.05, r=0.580$)但是与TN却显示负相关($n=12, P<0.05, r=-0.678$)。

2.2.2 浮游植物种类组成及优势种变化

在全年调查中,共鉴定浮游植物7门59种。其中种类最多的是硅藻门,有26种,占种类总数的44.1%;其次是绿藻门,有21种,占种类总数的37.5%;蓝藻门5种,占8.5%;甲藻门1种,占6.8%;金藻门1种,隐藻门1种,裸藻门1种,各占1.7%。各站在不同时期物种检出数差异较大,2#站平水期物种数最多,达到了47种(属),3#站丰水期物种数最少仅为22种(图3)。各测站丰水期以蓝藻门的铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和微小平裂藻(*Merismopedia tenuissima*)占主要优势种,颗粒直链藻(*Melosira granulata*)和变异直链藻(*M. varians*)为次优势物种,平水期以颗粒直链藻和变异直链藻为优势种类;枯水期2#和3#站位的优势种类为拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.),其余站位是嗜蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*),颗粒直链藻和变异直链藻。绿藻门中的四尾栅藻

表1 九龙江西溪漳州段不同站位和时期水环境参数

Table 1 Environmental variables of different periods and sampling sites at Zhangzhou section of Western Jiulong River

站位	时期	TN ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	COD _{Mn} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NH_4^+-N ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	DO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH	T ($^{\circ}\text{C}$)	SD (m)	叶绿素a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
1#	丰水期	2.43	0.12	3.14	0.19	12.3	7.01	23.1	1.2	47.57
	平水期	3.34	0.14	6.83	0.2	8.8	7.04	15.1	1.8	32.83
	枯水期	4.12	0.18	4.65	0.32	6.1	6.98	11.6	2.4	14.86
2#	丰水期	2.55	0.14	3.15	0.48	10.1	7.02	23.2	1.2	67.74
	平水期	2.83	0.15	2.97	0.52	8.9	7.04	14.9	2.1	46.85
	枯水期	4.44	0.17	3.13	0.56	5.1	6.98	11.8	2.2	33.06
3#	丰水期	3.21	0.17	4.68	0.52	8.9	6.98	22.8	0.8	90.12
	平水期	4.21	0.21	3.15	0.62	7.8	7.01	15.8	2.1	55.92
	枯水期	5.62	0.26	6.00	0.63	3.2	7.01	11.1	2.3	32.87
4#	丰水期	2.77	0.15	5.83	0.31	6.9	6.89	23.1	1.2	46.46
	平水期	3.25	0.18	3.92	0.33	4.1	6.96	15.7	1.9	21.21
	枯水期	5.22	0.17	4.07	0.46	3.1	6.88	12.1	1.9	18.54

表2 九龙江西溪漳州段各粒级叶绿素a占总叶绿素a百分比与环境因子间的关系($n=12$)

Table 2 Relationship between environmental factors and percentage of all size-fractionated chlorophyll a contents to bulk chlorophyll a contents

	TN	TP	COD _{Mn}	NH_4^+-N	DO	pH	T	SD	叶绿素a
小型/总	-0.678*	-0.280	0.094	-0.176	0.535	0.388	0.550	-0.452	0.580*
微型/总	0.727**	0.339	-0.080	0.206	-0.555	-0.321	-0.624*	0.532	-0.607*
微微型/总	-0.504	-0.537	-0.107	-0.275	0.235	-0.521	0.699*	-0.430	0.303

* $P<0.01$, * $P<0.05$ 。

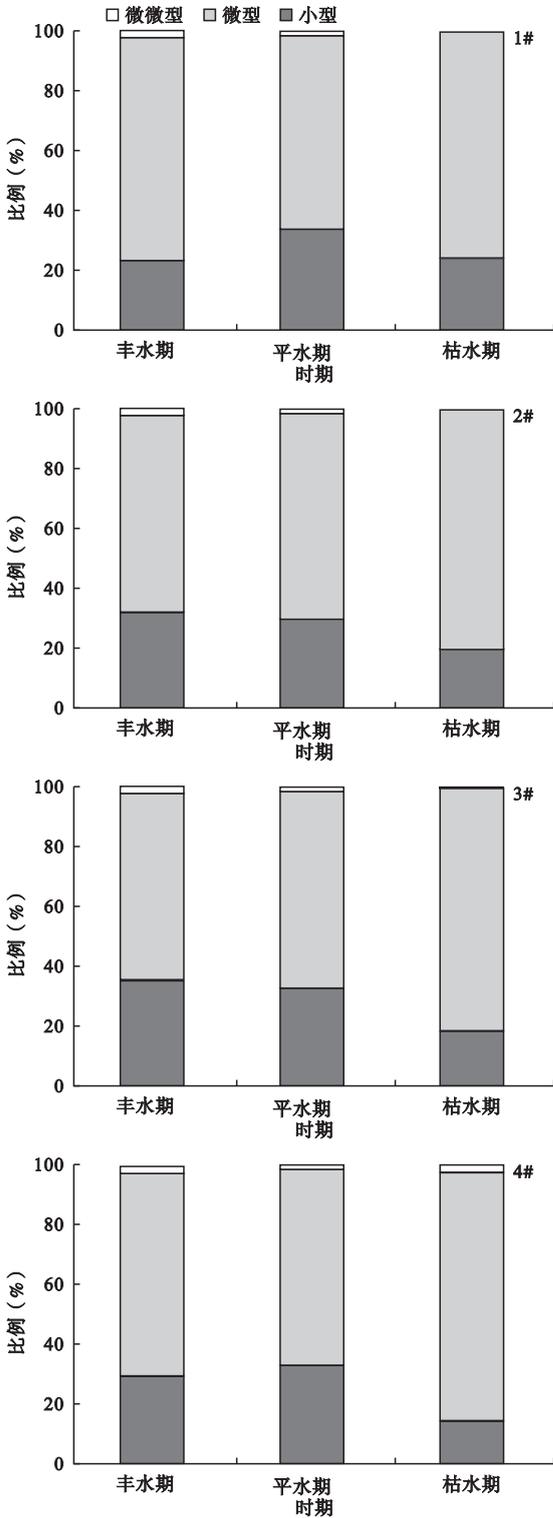


图2 九龙江西溪漳州段不同样点和时间各粒级叶绿素 a 占总叶绿素 a 的百分比
 Fig. 2 Percentage of all size-fractionated chlorophyll a contents to bulk chlorophyll a contents at different periods and sampling sites

(*Scenedesmus quadricauda*)、实球藻 (*Pandorina morum*)、空星藻 (*Coelastrum sphaericum*) 和二角盘星藻

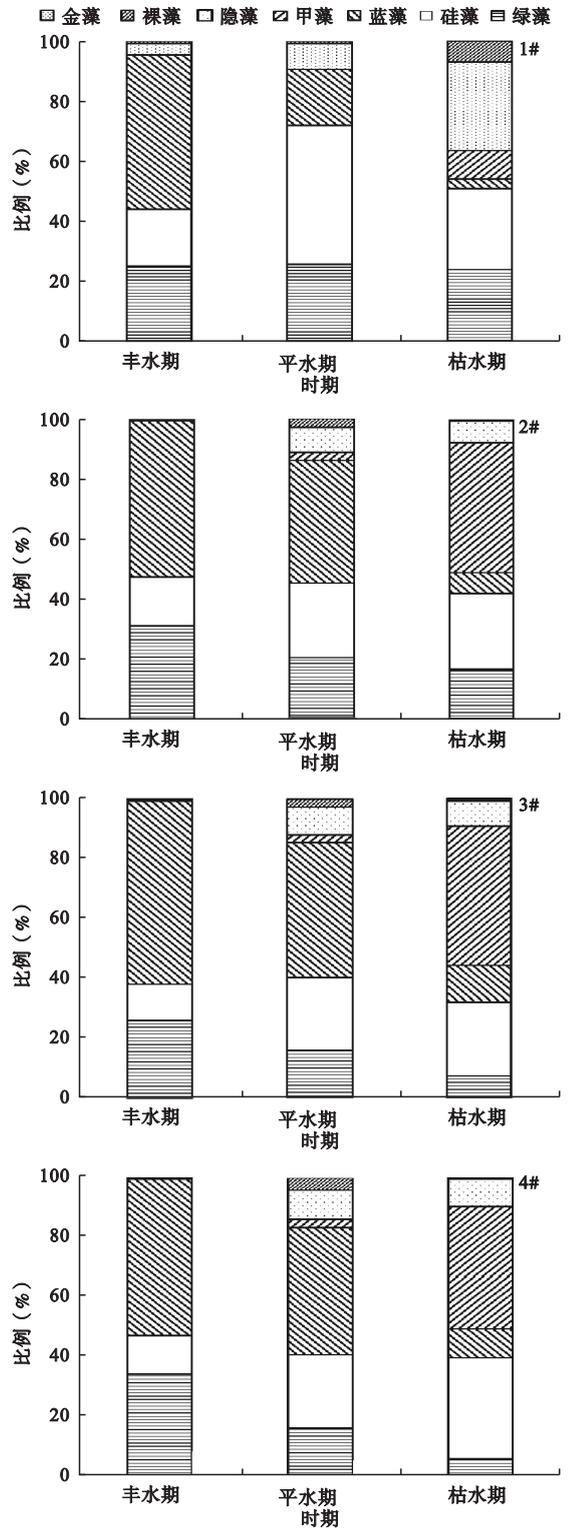


图3 九龙江西溪漳州段不同采样点和时间浮游植物群落结构变化
 Fig. 3 Composition rates of algae varieties at different periods and sampling sites

(*Pediastrum duplex*)、硅藻门中的肘状针杆藻 (*Synedra ulna*)、尖针杆藻 (*Synedra acus*) 和梅尼小环藻

(*Cyclotella meneghiniana*), 以及裸藻门的裸藻 (*Euglena* sp.) 均为常见种。

全年从门类来看, 硅藻和绿藻占总藻细胞数的比例较稳定, 甲藻和蓝藻变动较大, 丰水期蓝藻最大, 枯水期最少, 甲藻与之相反 ($P < 0.05$)。浮游植物的总细胞丰度为 $1.9 \times 10^9 \sim 1.3 \times 10^{10}$ cell · m⁻³, 3# 站丰水期最高, 1# 站枯水位最低。2#, 3# 和 4# 站位丰水期 > 枯水期 > 平水期, 1# 站位丰水期 > 平水期 > 枯水期。

采用生物多样性指数 (Shannon-Wiener 指数) 对研究水域开展水质生物学评价。计算结果显示, 全年不同采样点和时期均在 1.0 ~ 3.0, 其中 2# 丰水期最高为 2.46, 3# 枯水期最低位 1.48, 全年平均值为 2.01, 总体评价结果为中污染 (图 4)。

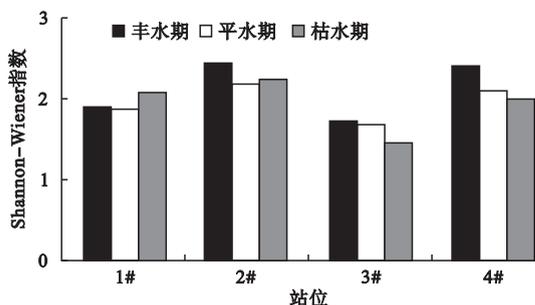


图 4 九龙江西溪漳州段不同时间和采样点浮游植物生物多样性指数

Fig. 4 Index of Shannon-Wiener at different periods and sampling sites

2.2.3 浮游植物种类组成变化与主要环境因子间的 CCA 分析 根据浮游植物丰度和出现的频率, 分别选取 15 种浮游植物, 其丰度占整个研究区域浮游植物丰度的 95% 以上, 作浮游植物物种与环境因子间的 CCA 分析图 (图 5)。排序图中, 前 2 个排序轴的特征值分别为 0.521 和 0.117, 前 2 个排序轴种类与环境因子的相关系数分别高达 98.4% 和 97.5%, 前 2 个排序轴说明种类分布的累积贡献率为 74.9%, 种与环境间关系为 69.6%, 而且第一排序轴与第二排序轴的相关性较小, 仅为 0.0552, 说明排序图能够反映浮游植物种类与环境因子间的关系 (Braak, 1986)。

表 3 CCA 分析中排序轴 1 和 2 分别与环境因子的相关关系
Table 3 Relation of the first two axes and environmental factors for CCA

	SPEC AX1	SPEC AX2
SPEC AX2	-0.0552	
TN	0.8946 **	-0.1039
TP	0.5568 *	-0.0849
COD _{Mn}	-0.0318	-0.0784
NH ₄ ⁺ -N	0.3879	-0.3597
DO	-0.7725 **	0.0932
pH	-0.0346	0.3010
T	-0.9042 **	-0.2932
SD	0.7920 **	0.4286
Chl-a	-0.6847 *	-0.3905

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

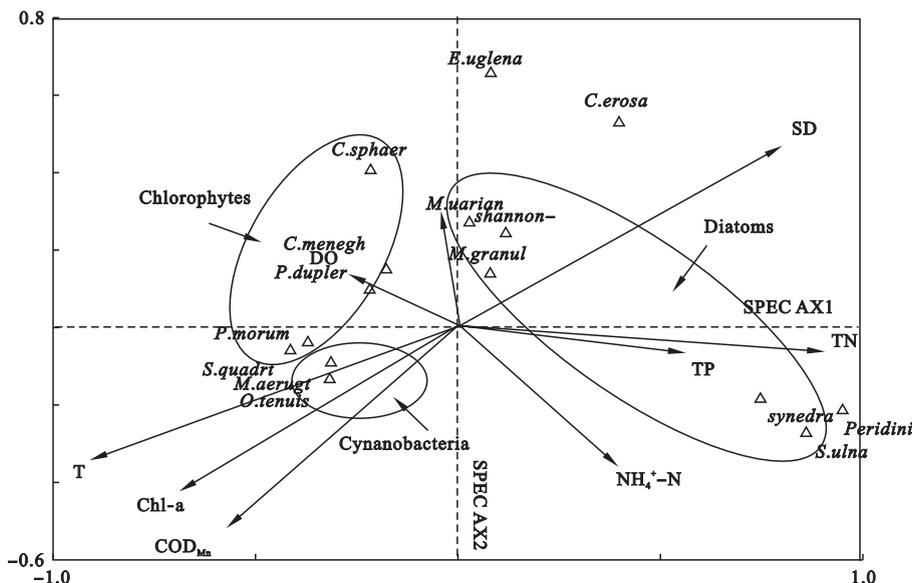


图 5 九龙江西溪漳州段浮游植物种类与环境因子之间的双轴等级排列

Fig. 5 Ordination biplots of species and environmental variables at Zhangzhou section of Western Jiulong River

图5反映了浮游植物与环境因子间的关系,从箭头的连线长度可以看出,选取的环境因子对浮游植物的种类都有一定程度的影响,受总氮、总磷、铵态氮、温度、溶解氧和透明度的影响较大。排序轴1和2分别与环境因子的相关关系见表3,排序轴1与总氮、总磷、温度、溶解氧和叶绿素a都呈较好的相关性。图5反映了九龙江西溪漳州段浮游植物种类与环境因子间的关系,分析结果表明,温度是影响蓝藻和绿藻丰度的主要环境因子,甲藻和硅藻主要是受水体中的总氮、总磷和透明度的影响。

3 讨论

3.1 九龙江西溪漳州段水质状况

根据《地表水环境质量标准 GB 3838-2002》(国家环保局,2002),九龙江西溪漳州段各站各时期总磷、铵态氮、COD_{Mn}处于Ⅱ、Ⅲ类水质。但是各点各时期总氮值高于2 mg·L⁻¹,均超过Ⅴ类水水质标准。N/P比为18.2~30.7,均高于Redfield比值16,可见九龙江西溪漳州段属于磷限制的水体(李秋华等,2011)。另外,各采样点和时期Shannon-Wiener指数分布在1.0~3.0,说明研究水域受到一定程度的污染。

3.2 九龙江西溪漳州段浮游植物粒级结构与环境因子的关系

对各粒级叶绿素含量的研究表明,微型和微微型两个粒级的浮游植物占总生物量的64.1%~80.9%,微型浮游植物是研究水域的浮游植物现存量的主要贡献者,这一结果与他人研究结果一致(Stockner *et al.*,1991;赵文等,2001)。近年的研究表明,微微型藻类(0.2~2 μm)对生态系统浮游植物生物量和初级生产力具有重大贡献,很多微微藻类具有吸收速率快和独立于细胞阈值之外的维持高效吸收能力,这样就能使微微型藻类在营养物质贫乏的水域中和营养物质间歇供给的水域具有竞争优势(Stockner *et al.*,1991)。因此,微微型藻类在水体中的数量和生物量的大小可作为水生生态系统质量的一项重要指标。Stockner等(1986)的研究表明,在营养物质含量过剩的水域中,微微型藻类丰度降低。在本研究中,微微型级浮游植物对总浮游植物的贡献小于3%,这主要是与研究水域的富营养水质相关。较大粒级的浮游植物在富营养的水体中有竞争优势(刘冬燕等,2004)。

总生物量与小型浮游植物对总生物量的贡献呈

显著的正相关性,说明总生物量的增加主要贡献者为小型浮游植物的增长。同时,小型浮游植物对总生物量的贡献与总氮呈显著的负相关,可能是小型浮游植物的大量生长消耗了氮营养,使得总氮浓度下降所致。

3.3 影响浮游植物群落的主要环境因子

典型对应分析排序反映了浮游植物群落与环境因子间的对应关系,这一方法已经广泛的应用到了各种水体中物种与环境因子的生态学研究。李秋华和韩博平(2007)用典范对应分析研究了调水水库的浮游植物群落与季节、环境因子的关系,结果表明,影响其浮游植物群落动态变化的主要环境因子是水温、降雨量。Hibib等(1997)阐明,硅作为重要的环境因子影响着浮游植物群落。本研究结果表明,温度和营养盐是影响浮游植物群落动态变化的主要环境因子,该结果与薄芳芳等(2009)的研究基本一致。

本研究表明,蓝藻门、硅藻门和绿藻门的浮游植物种类在CCA排序图上均在相对集中的位置,这一结果与栾青杉等(2007)研究结果基本一致。他们通过长江口夏季浮游植物与环境因子的分析,认为浮游植物物种与环境的关系与分类学相似,分类学相近的物种对环境因子的适应也较接近,也就是说相似的环境条件下会出现接近的物种。

参考文献

- 薄芳芳,杨虹,左倬,等. 2009. 上海公园水体夏季浮游植物群落与环境因子的关系. 生态学杂志, **28**(7): 1259-1265.
- 国家环境保护总局. 2002. 地表水环境质量标准. GB 3838-2002.
- 国家环境保护总局. 2002. 水和废水的监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社.
- 胡鸿钧,魏印心. 2006. 中国淡水藻类——系统、分类及生态. 北京:科学出版社.
- 李芳芳,董芳,段梦,等. 2011. 大辽河水系夏季浮游植物群落结构特征及水质评价. 生态学杂志, **30**(11): 2489-2496.
- 李秋华,陈丽丽,夏品华,等. 2011. 贵州百花湖麦西河口浮游植物群落结构及与环境因子之间关系. 湖泊科学, **23**(4): 612-618.
- 李秋华,韩博平. 2007. 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, **27**(6): 2355-2364.
- 刘冬燕,赵建夫,马利民,等. 2004. 粒径分级叶绿素a对富营养水体生物修复的响应. 生态学报, **24**(11): 2477-2483.
- 栾青杉,孙军,宋书群,等. 2007. 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, **31** (3): 445-450.
- 王小冬, 秦伯强, 高 光, 等. 2011. 无机氮磷添加对太湖来源浮游植物和附着生物生物量的影响. 生态学杂志, **30**(10): 2257-2261.
- 赵 文, 邢 辉, 安立会. 2001. 不同粒级浮游植物对淡水初级生产力的作用. 大连水产学院学报, **16**: 157-162.
- 周凤霞, 陈剑虹. 2005. 淡水微型生物图谱. 北京: 化学工业出版社.
- 郑建忠. 2008. 九龙江流域西溪下游治洪策略研究. 水利建设与管理, (4): 73-75.
- Braak CJF. 1986. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**: 1167-1179.
- Camdeyren H, Demyr N, Kanik A, *et al.* 2005. Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of chlorophyll-a in reservoirs. *Ecological Modelling*, **181**: 581-589.
- Habib OA, Tippett R, Murphy KJ. 1997. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland. *Hydrobiologia*, **350**: 63-79.
- Pilkaityt R, Razinkovas A. 2006. Factors controlling phytoplankton blooms in a temperate estuary: Nutrient limitation and physical forcing. *Hydrobiologia*, **555**: 41-48.
- Singh KP, Malik A, Mohan D, *et al.* 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India): A case study. *Water Research*, **38**: 3980-3992.
- Stockner JG. 1991. Autotrophic picoplankton in fresh water ecosystems: The view from the summit. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, **76**: 483-492.
- Stockner JG, Antia NJ. 1986. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: A multidisciplinary perspective. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**: 2472-2503.
- Teubner K. 2003. Phytoplankton, pelagic community and nutrients in a deep oligotrophic alpine lake: Ratios as sensitive indicators of the use of P-resources (DRP: DOP: PP and TN: TP: SRSi). *Water Research*, **37**: 1583-1592.
-
- 作者简介 黄旭光,男,1979年生,博士研究生,讲师,主要从事环境生物学研究。E-mail: hxg226@sina.com
- 责任编辑 李凤芹
-