

增江底栖硅藻种类多样性及分布特征

何琦, 韦桂峰, 刘静, 林秋奇, 顾继光, 韩博平*

(暨南大学水生生物研究中心, 广州 510632)

摘要: 2010年1月和5月对东江水系重要支流增江进行底栖硅藻的采样调查, 分析了增江流域底栖硅藻的多样性和时空分布特征, 并探讨了硅藻优势种与环境因子的关系。结果表明, 两次采样共检出底栖硅藻42属178种(包括亚种和变种), 与1月份相比, 由于5月份降雨量较大, 硅藻的数量有所下降, 种类组成也有所改变。在两次采样中, 藻类分布从下游到上游呈现了一定的规律。四级河流以菱形藻属(*Nitzschia*)占比较大, 三级河流以舟形藻属(*Navicula*)占比较大, 二级及一级河流以曲壳藻属(*Achnanthes*)占比较大。相关性分析表明, 菱形藻属的相对丰度与水体的总磷、电导率有很强的相关性。作为优势属, 菱形藻属可进一步发展为对增江河段水质状况进行监测的指标。

关键词: 硅藻; 种类多样性; 优势种; 增江流域

中图分类号: Q948.881.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)03-0245-09

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.03.009

Species Diversity and Spatial Distribution of Benthic Diatom in Zeng River, Guangdong Province, Southern China

HE Qi, WEI Gui-feng, LIU Jing, LIN Qiu-qi, GU Ji-guang, HAN Bo-ping*

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: To understand species diversity and spatial distribution of benthic diatom in Zeng River, a branch of Dongjiang River, Guangdong Province, southern China. The benthic diatoms were sampled in January and May, 2010, respectively. The diatom species were identified according to KLB classification system and photos provided by Patrick Environmental Research Center. The correlation between the dominant species and some influential factors were studied with multivariate analysis method based on the sample data and environmental parameters. Altogether 42 genera and 178 species were identified. Compared with those in January, the number of diatom decreased and the species composition changed in May. The species distribution exhibited regular pattern from downstream to upstream, in which *Nitzschia* occupied a significant proportion in the fourth class stream, *Navicula* in the third class stream, and *Achnanthes* in the first and second class streams. The abundance of *Nitzschia* was strongly correlated with total phosphorus and conductivity. It suggested that *Nitzschia* genus could be used to develop biological index for monitoring the water condition of Zeng River.

Key words: Diatom; Species diversity; Dominant species; Zeng River watershed

底栖藻类(Benthic algae)附着在河床、湖泊与水库沿岸的石头、大型植物或者苔藓等基质上, 包括硅藻、绿藻、蓝藻、金藻等种类^[1]。在河流中, 底栖硅藻生物多样性要远远超过其它藻类^[2]。底栖硅

藻适合作为指示种, 一方面是因为其对环境因子(如光、温度、无机盐、氧浓度、pH、盐度)的变化十分敏感^[3-4]; 另一方面, 与其它生物类群相比, 硅藻为初级生产者, 生活周期短, 能够准确和灵敏地反映

收稿日期: 2010-01-11

接受日期: 2010-03-04

基金项目: 科技部东江水专项(2008ZX07211-009); 暨南大学科研培育与创新基金项目(21610311)资助

作者简介: 何琦(1984~), 女, 河南南阳人, 研究生, 主要从事河流生态监测的研究, email: heqiyjs2008@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: tbphan@jnu.edu.cn

水体的环境与生态状况的变化^[5]。硅藻已成为广泛用于河流水质监测与生态健康的指示生物类群^[6-7],但由于硅藻在样品处理与种类鉴定上要求较高,样品处理与分析的时间也较长,加之我国河流生态学的研究起步很晚,多数河流缺乏必要的基本生物种类数据,尤其是缺少系统的藻类名录与水质数据,在建立评估指标上存在不少困难^[8-9]。在我国华南地区,河流众多,水系复杂,过去近 30 年的经济快速发展中,绝大多数河流受到了较强的人为干扰,但河流水质与生态健康评估的基础资料不足,建立重要河流以及可以作为参考河流的底栖硅藻名录的需求十分迫切。增江主要位于广州的增城市,是东江的重要支流,目前尚无有关该河流底栖硅藻类的研究报道。本文以增江为研究对象,根据两次较为完整的采样及样品分析,探讨增江底栖硅藻的种类多样性和分布特征,为建立基于硅藻的珠江水系河流水质与生态健康评估指标提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 河流概况

增江位于广州市东部,发源于新丰县七星岭,流经从化、龙门、增城等县市,是东江的主要支流,在增城观海口注入东江。全长 189 km,流域面积 3144 km²,主要河段在增城市。

1.2 采样点的布设及环境状况

分别于 2010 年 1 月和 5 月对增江底栖硅藻进

行采样,共设置 17 个采样点(S1 ~ S17)(图 1),采样点的位置使用 GPS 定位仪定位,具体位置及自然环境概况见表 1。根据 Giller 提出的只有当两条相同等级的河流汇合时河流等级才会增加的理论,将增江流域分为 4 个等级^[10]。

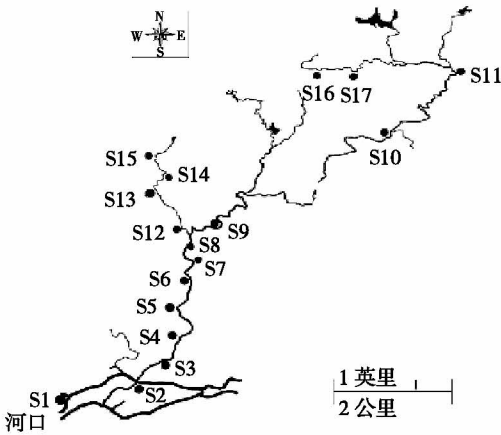


图 1 增江主要支流及采样点的分布
Fig. 1 The distribution of sampling sites in Zeng River

1.3 样品采集与处理

用 YSI-85 型水质仪现场测定水体表层温度、电导、溶解氧、pH 值,用萨氏盘测定透明度。水化指标总氮(TN)、总磷(TP)、正磷酸盐(PO₄³⁻-P)、硝氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)用连续流动分析仪(Auto Analyzer 3, 德国)测定。

底栖硅藻样品的采集,尽可能选择优势基质(石头、沙子、植物等),将样品装入 100 mL 小白瓶

表 1 增江流域各采样点的环境状况
Table 1 Environment state of sampling sites in Zeng River

等级 Class	采样点 Plot	地名 Location	环境状况 Environment state
四级 Fourth	S1	中堂 Zhongtang	位于东莞市,与东江交汇,采样点附近有工业区,污染比较严重
	S2	草墩 Caodun	
三级 Third	S3	石滩 Shitan	主要位于增城市,三级河流的采样点周围多数为居民区,受人类活动影响比较大,S4、S5、S7 为风景区,绿化措施较好,S8 为一渡口
	S4	塘口 Tangkou	
	S5	雁塔 Yanta	
	S6	增城大桥 Zengcheng Bridge	
	S7	桥头 Qiaotou	
	S8	小楼 Xiaolou	
	S9	正果 Zhengguo	
二级 Second	S10	龙华大桥 Longhua Bridge	S11 位于龙门县增江支流西林河
	S11	龙门县 Longmen xian	
一级 First	S12	庙滩 Miaotan	S12~S15 位于增城市,属于派潭河支流,S16、S17 位于龙门县,属于西林河支流,多数采样点水清澈见底,河水流速较快,受人类活动影响较小
	S13	派潭 Paitan	
	S14	大坝桥 Daba Bridge	
	S15	高滩桥 Gaotan Bridge	
	S16	山厦 Shanxia	
	S17	左潭 Zuotan	

中,按4%的比例用甲醛固定。硅藻样品采用浓硝酸氧化处理后,用封片胶 Naphrax 做永久玻片,在100×的油镜下镜检。采取随机视野的方法计数,其中破损面积超过1/4的硅壳不计入总数,大多数样品计数硅藻500个,个别由于样品数量较少,计数低于500个^[11-13]。硅藻鉴定参考KLB系统分类书及美国帕特里克环境研究中心提供的标准硅藻图谱^[14-17]。

通过相关性分析和CCA探讨硅藻与环境因子的相互关系,测试分析在软件CANOCO Version 4.5A中完成。

2 结果和分析

2.1 种类组成与相对丰度

在增江水系17个采样点的两次采样中,共鉴定出硅藻42属178种(包括亚种和变种),1月份共有33属138种,5月份共检出36属105种。1月份单个采样点的种类为15~44种,S8样点最高,S1、S2、S16的3个采样点最低;5月份单个采样点的种类为12~42种,S9样点最高,S2样点最低。四级河流的2个采样点,两次采样检测到的种类数量都较其它样点低;二、三级河流的各采样点物种数量普遍较高,只有在受人类活动干扰比较大的几个

点,种类数量有所下降,但5月份的种类数量普遍低于1月份。采样点间的底栖硅藻种数存在差异,有明显的空间分布,与枯水期(1月)相比,丰水期(5月)硅藻的种类数量少(图2)。

常见属为舟形藻属(*Navicula*)、菱形藻属(*Nitzschia*)、异极藻属(*Gomphonema*)、曲壳藻属(*Achnanthes*)、桥弯藻属(*Cymbella*)、*Luticola*、*Bacillaria*,从图3可见,17个采样点优势种的相对丰富度大部分都高于40%,只有个别采样点优势度不明显,在15%左右。不同采样点的优势种有很大差异,水质与生境对优势种都有影响。从表2可见,1月份与5月份的优势种类分别有12种和10种。1月份的主要优势种有:*Luticola goeppertiana*、*Nitzschia palea*、*Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii*和*Achnanthes laevis*;5月份的优势种有:*Nitzschia clausii*、*Navicula* aff. *subminscula*、*Navicula wallacei*和*Amphora montana*。敏感种是指其丰度对一种或多种环境因子变化敏感的种类。1月与5月的敏感种类分别有16种与13种。偶见种是指在所采集样品中出现频率较低且规律不明显的种类,1月与5月的偶见种类均为17种。

2.2 重要指示性种与季节性种类的分布与动态

*Luticola goeppertiana*和*Nitzschia clausii*是在两

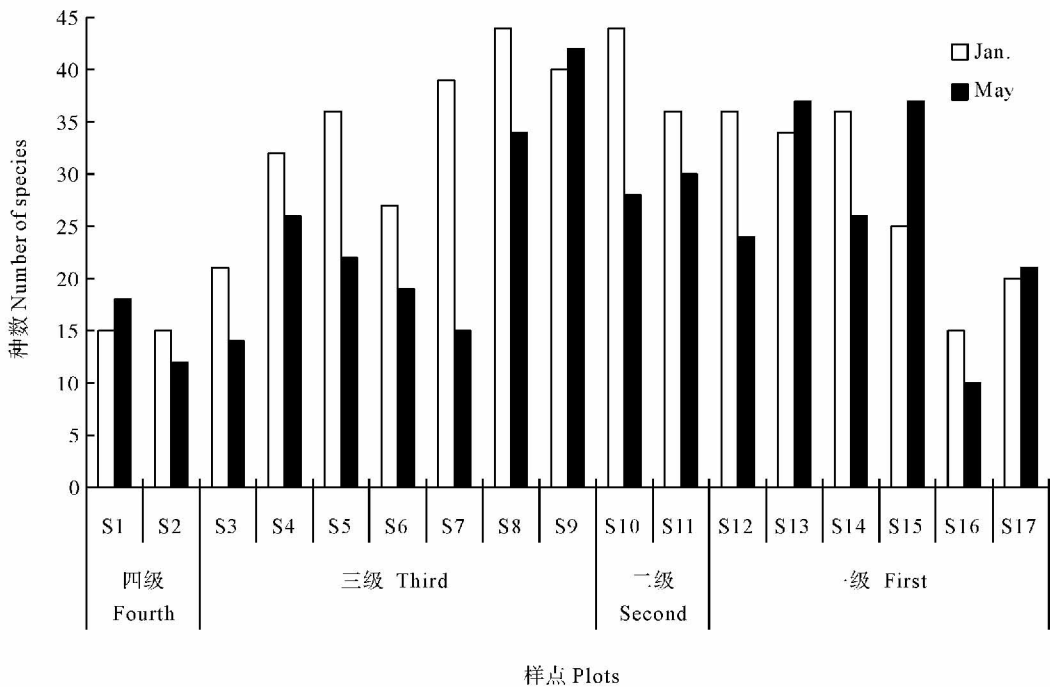


图2 2010年1月与5月底栖硅藻的种数
Fig. 2 Number of species of benthic diatom in January and May, 2010

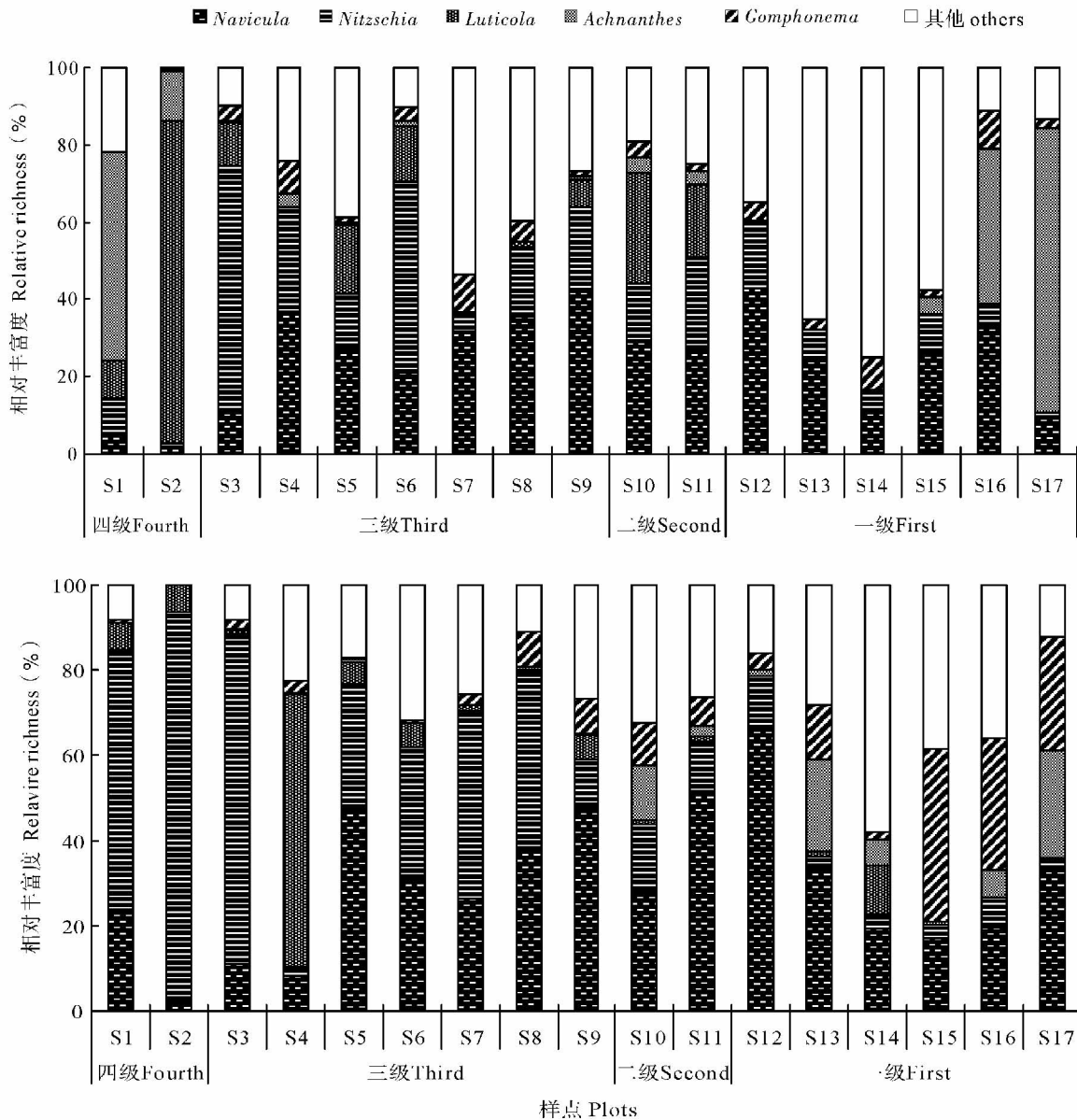


图3 1月份(上)和5月份(下)底栖硅藻属的相对丰富度
Fig. 3 Relative richness of benthic diatom in January (up) and May (down), 2010

次采样中具有明显代表性的耐污性种类(图 4)。*L. goeppertiana* 在 1 月份的四级河流出现较多,尤其在 S2 样点,达到最大值,而在其它采样点出现不多,一级河流的几个点甚至没有检测到,5 月份该种分布和 1 月份大致相同,但是数量要比 1 月份少很多,5 月份在 S4 数量最多。*N. clausii* 的分布特征与 *L. goeppertiana* 相似。

Cymbella tropica 和 *Achnanthes subhudsonis* var. *kræuselii* 是典型的清洁性种类,它们在四级河流中没有发现,但在一级河流、二级河流的出现频率较高,三级河流的 S4、S5 样点也有出现(图 5)。

A. subhudsonis var. *kræuselii* 在 S17、S18 采样点出现最多。

Amphora montana 在 1 月份数量和出现频率都较少,在 5 月份二级河流的 S6、S7 采样点成为优势种;*Hantzschia amphioxys* 在 1 月份 17 个采样点没有出现,在 5 月有 3 个采样点出现,但数量不多;*Melosira varians* 在 1 月份有 10 个采样点检测到,在 5 月份仅有 2 个采样点检测到,数量也很少(图 6)。

2.3 菱形藻属与总磷、电导率的相关性

菱形藻属是种类最多的属之一,也是数量最多

表 2 1 月和 5 月各采样点的优势种、敏感种和偶见种
Table 2 Dominant species, sensitive species and rare species in January and May, 2010

等级	样点	月份	优势种	敏感种	偶见种
Class	Plot	Month	Dominant species	Sensitive species	Rare species
四级 Fourth	S1	1	<i>Achnanthes laevis</i>	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Navicula recens</i>
		5	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Neidium affine</i> var. <i>longiceps</i>
	S2	1	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Encyoenma minuta</i>	<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i>
		5	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Actinocyclus normanii</i>
三级 Third	S3	1	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Achnanthes lanceolata</i>	<i>Fragilaria vaucheriae</i>
		5	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Amphora</i> cf. <i>strigosa</i>	<i>Cyclotella pseudostelligera</i>
	S4	1	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Achnanthes lanceolata</i>	<i>Fragilaria microstriata</i>
		5	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Amphora montana</i>	<i>Eunotia praeprupta</i> var. <i>bigibba</i>
	S5	1	<i>Cymbella tropica</i>	<i>Fragilaria</i> cf. <i>crotonensis</i>	<i>Nitzschia subacicularis</i>
		5	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Amphora</i> cf. <i>strigosa</i>	<i>Gomphonema angustatum</i>
	S6	1	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Bacillaria paradoxa</i>	<i>Geissleria decussis</i>
		5	<i>Amphora montana</i>	<i>Nitzschia clausii</i>	<i>Fragilaria capucina</i>
	S7	1	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>Navicula parablis</i>	<i>Navicula cuspidata</i>
		5	<i>Amphora montana</i>	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Achnanthes impexiformis</i>
	S8	1	<i>Navicula wallacei</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Navicula detenda</i>
		5	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Surirella angusta</i>
二级 Second	S9	1	<i>Navicula evanida</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Gomphonema brasiliense</i>
		5	<i>Navicula rostellata</i>	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Surirella robusta</i>
	S10	1	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Gomphonema</i> aff. <i>olivaceum</i>	<i>Fragilaria acutirostrata</i>
		5	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Surirella stalagma</i>
	S11	1	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Nitzschia amphibia</i>	<i>Gomphonema exilissimum</i>
		5	<i>Navicula canalis</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Navicula tridentula</i>
	S12	1	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Gomphonema turris</i>	<i>Hippodonta capitata</i>
		5	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Lemnicola hungarica</i>	<i>Sellaphora bacillum</i>
	S13	1	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Amphora montana</i>	<i>Eunotia rhomboidea</i>
		5	<i>Navicula minima</i>	<i>Nitzschia frustulum</i>	<i>Achnanthes stewartii</i>
一级 First	S14	1	<i>Melosira varians</i>	<i>Navicula oblonga</i>	<i>Navicula evanida</i>
		5	<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Gomphonema linguatiformis</i>
	S15	1	<i>Cymbella tropica</i>	<i>Diademsis contenta</i>	<i>Achnanthes impexiformis</i>
		5	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Amphora montana</i>
	S16	1	<i>Achnanthes subhudsonis</i> var. <i>kraeuselii</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Gomphonema</i> aff. <i>olivaceum</i>
		5	<i>Reimeria uniseriata</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Achnanthes minetissima</i> var. <i>gracillima</i>
	S17	1	<i>Achnanthes subhudsonis</i> var. <i>kraeuselii</i>	<i>Achnanthes subhudsonis</i> var. <i>kraeuselii</i>	<i>Gomphonema minusulum</i>
		5	<i>Navicula</i> aff. <i>subminscula</i>	<i>Reimeria uniseriata</i>	<i>Navicula mobiliensis</i> var. <i>minor</i>

的属之一,其种类数量与个体丰度在空间上均有较大的变化。增江总磷约为:0.011~0.189mg L⁻¹,电导率为:42.40~169.80 μs cm⁻¹,从河流下游到上游电导率逐渐减小,总磷也呈下降趋势,在总磷和电导率高的水体,菱形藻属在样品中的相对丰度也高。它在样品中的相对丰度与总磷呈显著正相关关系($R=0.55$, $P=0.019$),与电导率呈极显著正相关关系($R=0.75$, $P=0.000$)(图 7)。

2.4 1 月份硅藻优势种与生态因子的 CCA 分析
通过对增江流域 1 月份 17 个采样点 7 种优势种相对丰度进行 CCA 分析,通过排序轴发现,*Luticola goeppertiana* 与总磷(TP)、总氮(TN)、正磷酸盐(PO₄³⁻-P)、硝氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、电导率呈正相关关系,*Navicula canalis* 与这些因子均呈负相关关系,与 pH 呈正相关关系,*Amphora montana*、*Gomphonema parvulum*、*Nitzschia palea*、*Nitzschia*

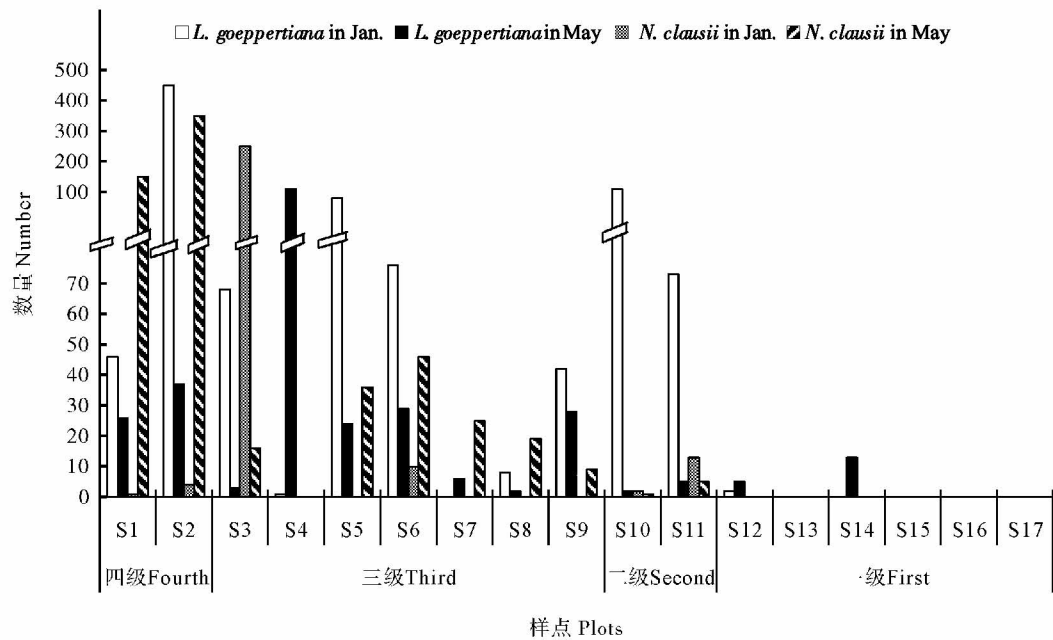


图 4 *Luticola goeppertiana* 和 *Nitzschia clausii* 在 1 月和 5 月的分布
Fig. 4 Distribution of *Luticola goeppertiana* and *Nitzschia clausii* in January and May

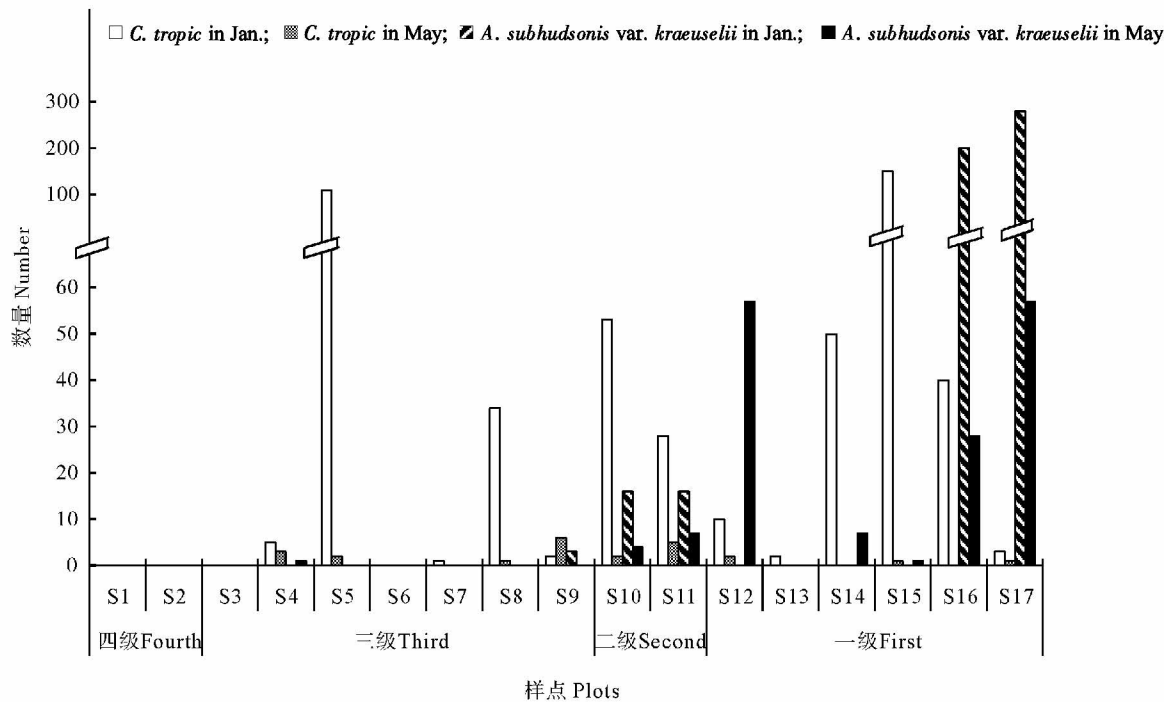


图 5 *Cymbella tropica* 和 *Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii* 的分布
Fig. 5 Distribution of *Cymbella tropica* and *Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii*

clausii 与温度、溶氧呈正相关关系, 而曲壳藻属 (*Achnanthes*) 与温度、溶氧呈负相关关系。

3 讨论

两次采样共检测到硅藻 42 属 178 种(包括亚

种和变种), 在两个月份占优势的属均为舟形藻属和菱形藻属, 这两属所占比例较大, 舟形藻属有 29 种, 占藻总种数的 23.8%; 菱形藻属有 19 种, 占 17.4%。主要的优势种有: *Luticola goeppertiana*、*Achnanthes laevis*、*Nitzschia palea*、*Cymbella tropica*、

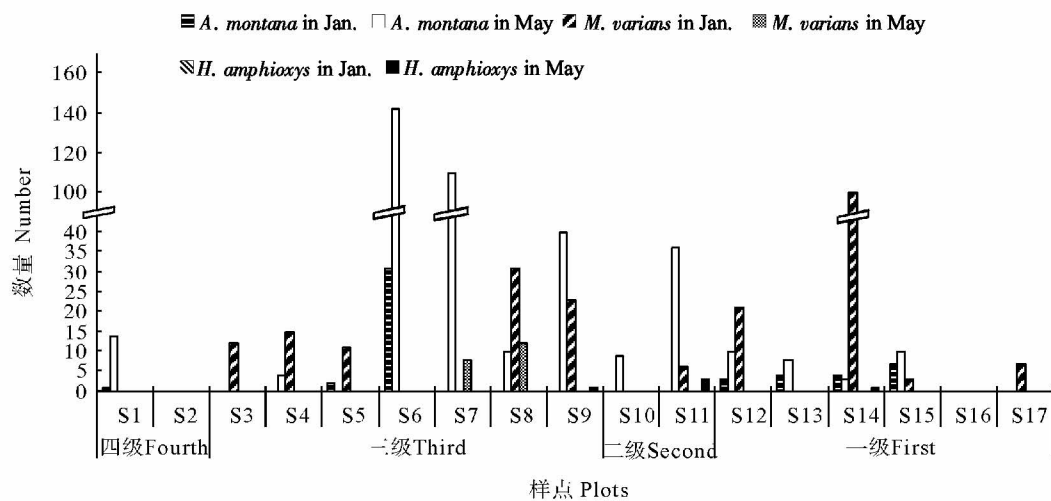


图6 *Amphora montana*、*Melosira varians*、*Hantzschia amphioxys* 的分布
Fig. 6 Distribution of *Amphora montana*, *Melosira varians*, *Hantzschia amphioxys*

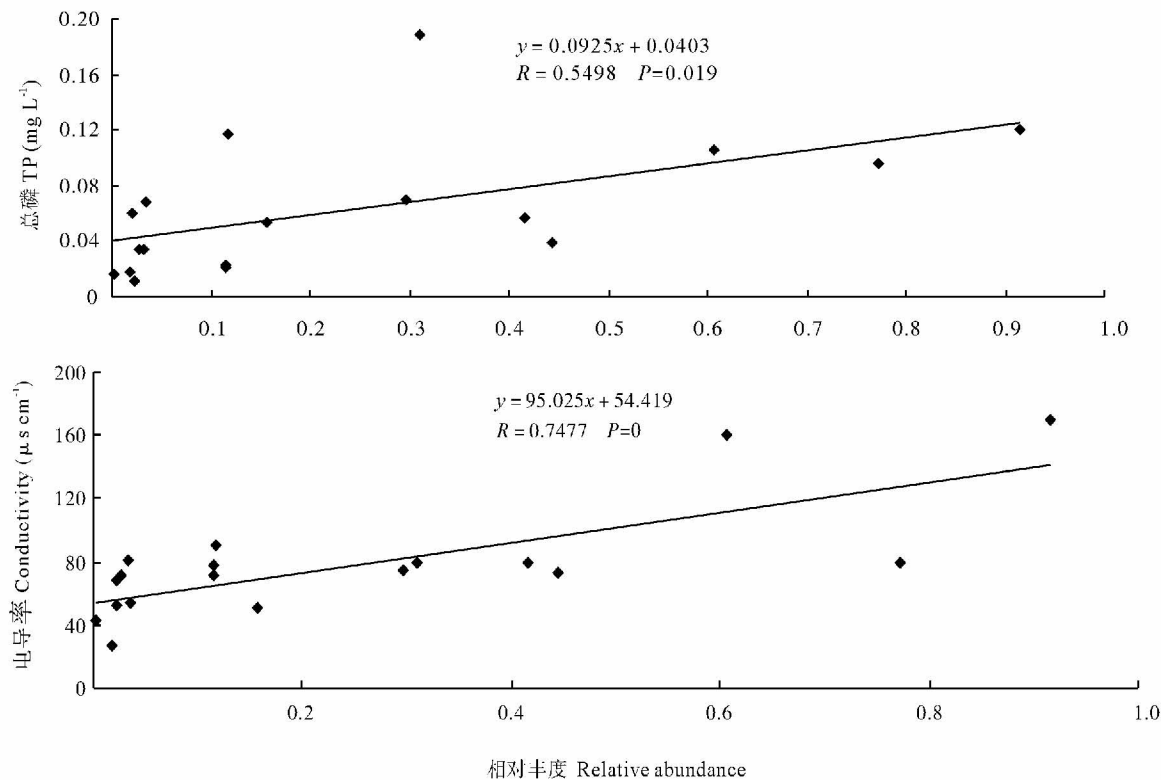


图7 *Nitzschia* 的相对丰度与总磷及电导率的相关性
Fig. 7 Correlations between relative abundance of *Nitzschia* and TP or conductivity

Cocconeis placentula、*Nitzschia clausii*、*Navicula* aff. *subminscula*。

1 月份与 5 月份两次采样中,主要的属和种类差别不大。5 月份有硅藻种类 36 种,各样点优势种的丰富度所占比例多数超过 60%,均高于 1 月份。从整体上看,硅藻种类随着水体污染程度不同有所差异。在污染较严重的水体,种类较少,在较清洁

的水体,种类较多^[18-19]。虽然 1 月份的优势属是舟形藻属和菱形藻属,但其它属所占比例高达 80%。而在 5 月份,增江流域出现较大降雨,采样是在降雨后的一周,受暴雨的冲刷,各采样点的硅藻种类普遍低于 1 月份,舟形藻属和菱形藻属所占比例高达 90%。5 月份基本是由舟形藻属、菱形藻属、曲壳藻属、异极藻属组成,其它藻类所占比例很小。

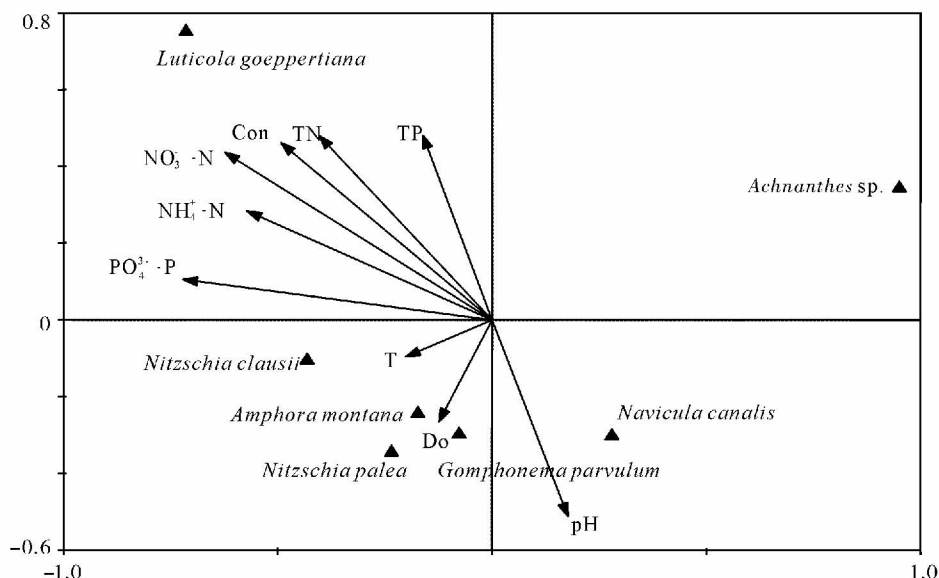


图 8 生态因子主成分分析

Fig. 8 Principal component analysis for ecological variables

Con: 电导率 Conductivity; T: 温度 Temperature; DO: 溶解氧 Dissolved oxygen; TP: 总磷 Total phosphorus; TN: 总氮 Total nitrogen

一些代表性种类可以较好反映水体的状况^[20-21]。*Luticola*可在酸性或者污染严重的水体出现^[22]。在两次采样中均检测到*L. goeppertiana*,其在1月份的四级河流占绝对优势,其他采样点比较少,一级河流基本没有。四级河流的两个采样点(S1、S2)位于东莞,经济比较发达,采样点周边有工厂,大量的工业废水排入河中,造成河水严重污染。菱形藻属的*N. clausii*能够忍受有机污染,能在富营养化水体生存^[23],它与*L. goeppertiana*的分布大致相同,1月份*N. clausii*在S3样点数量最高,5月份在S2样点最高,通过CCA分析,*L. goeppertiana*与总磷(TP)、总氮(TN)、正磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)、硝氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)呈正相关关系,而菱形藻属与总磷存在较强正相关性,S2和S3采样点周围是居民区,生活污水排入河流,该种数量多可能与总磷含量高有关。

CCA分析显示,曲壳藻属除与温度和溶氧呈负相关关系外,受其它生态因子的影响较小,*Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii*在流速快的水体占优势^[1]。一级河流的2个采样点(S17、S18)的水流速度快,卵石底质,*Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii*在这2个点成为优势种。*Cymbella tropica*为清洁带的指示种,经常出现在比较干净的水体。S5采样点位于增城市,为一风景区,周边绿化好,周围无工厂和居民区,水质较好,因而*C.*

*tropica*占优势。*Melosira varians*在1月份的数量较多,这是因为秋冬季节水温等条件适合该种生长,因此其在秋冬季节的丰度较高^[24]。

由于目前对增江的底栖硅藻与相对应的水质与生态研究数据还很少,敏感性种类的指标对象还不清楚,对该河流的硅藻生物多样性及对水质与生态健康状态的指标与评价有待进一步的数据积累。

4 结论

通过对增江流域底栖硅藻的调查,1月份和5月份共检测出底栖硅藻178种。进入汛期(5月)后,暴雨增加,水流不稳定,这一时期的底栖硅藻种类少于枯水期(1月),小个体种类增加。不同季节以及不同采样点之间,虽然主要属差别不大,但是优势种差异较大,相对丰富度也不同。两次采样中,一级河流中流速较快的采样点出现的种类比较低,四级河流的种类也比较低。从种类组成及优势种来看,上游河段的水质比下游河段好。菱形藻属是种类最多的属之一,也是个体数量最多的属之一,其种类数量与个体丰度在空间上均有明显的规律性变化,可以作为重要的指示类群。*Luticola goeppertiana*和*Nitzschia clausii*在两次采样中均显现出明显的耐污性,而*Cymbella tropica*和*Achnanthes subhudsonis* var. *kraeuselii*则是典型的清洁性种类。

致谢 感谢 Michigan State University 的 R. Jan Stevenson 在硅藻样品与分类上的指导。

参考文献

- [1] Chathain B N, Harrington T J. Benthic diatoms of the river deel: Diversity and community structure [J]. Biol Environ, 2008, 108: 29-42.
- [2] Stevenson R J, Pan Y. Assessing Ecological Conditions in Rivers and Streams with Diatoms Vol. 5 [M]. London: Cambridge University, 1999: 11-20.
- [3] Whitton B A, Rott E. Use of Algae for Monitoring Rivers II [M]. Innsbruck: Universitat Innsbruck, 1996: 176-185.
- [4] Elster J, Seckbach J, Vincent M F, et al. Algae and Extreme Environments: Ecology and Physiology [M]. Berlin: Nova Hedwigia, 2002: 602-648.
- [5] Steinberg C, Schiefele S. Biological indication of trophy and pollution of running waters [J]. Z Wasser-Abwasser Forsch. 1988, 21: 227-234.
- [6] Wang Q(王倩), Zhi C Y(支崇远), Kang F X(康福星). Effect of major ions on the communities of benthic diatoms in Karst rivers from the Zhujiang Watershed [J]. Acta Sci Circumst(环境科学学报), 2009, 29(7): 1518-1526.(in Chinese)
- [7] Bate G, Smailes P, Adams J. A water quality index for use with diatoms in the assessment of river [J]. Water SA, 2004, 30: 493-498.
- [8] Poff L N, Allan D, Bain M B, et al. The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration [J]. Bioscience, 1997, 47: 769-784.
- [9] Chovanec A, Schiemer F, Waidbacher H, et al. Biological assessment of landscape linkages on different scales [J]. Hydrobiol, 2002, 87: 183-195.
- [10] Giller P S, Malmqvist B. The Biology of Streams and Rivers [M]. London: Oxford University, 1999: 14-29.
- [11] Pan Y, Stevenson R J, Hill B H, et al. Ecoregions and benthic diatom assemblages in the Mid-Atlantic Highland streams [J]. J N Amer Benthol Soc, 2000, 19: 518-540.
- [12] Zhao X G(赵湘桂), Cai D S(蔡德所), Liu W(刘威), et al. Diatom biomonitoring method study on water quality in Lijiang River [J]. J Guangxi Norm Univ(广西师范大学学报), 2009, 27(2): 142-147.(in Chinese)
- [13] Jia X H(贾兴焕), Wu N C(吴乃成), Tang T(唐涛), et al. Spatiotemporal variation of epilithic algae in Xiangxi River system [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2008, 19(4): 881-886.(in Chinese)
- [14] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae, Volume 2 [M]. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986: 442-874.
- [15] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithimiaceae, Surirellaceae Volume 2 [M]. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1988: 3-608.
- [16] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, Volume 2 [M]. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1991: 3-596.
- [17] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Achnanthes and Gomphonema, Volume 2 [M]. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1991: 3-466.
- [18] Hu S H(胡胜华), Gao Y N(高云霓), Zhang S Y(张世羊), et al. Distribution of nutrients and ecological indexes of diatom about Moon Lake in Wuhan [J]. Ecol Environ Sci(生态环境学报), 2009, 18(3): 856-864.(in Chinese)
- [19] Silva-Benavides A M. The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica [J]. Revist Biol Trop, 1996, 44(2A): 395-416.
- [20] Zheng L, Stevenson R J, Craft C. Changes in benthic algal attributes during salt marshes restoration and use in bioassessment [J]. Wetlands, 2004, 24: 309-323.
- [21] Stevenson R J. Effects of current and conditions stimulating autogenically changing microhabitats on benthic diatom immigration [J]. Ecology, 1983, 64: 1514-1524.
- [22] Pavlovi A, Nakov T, Levkov Z, et al. *Luticola grupcei* (Bacillariophyceae): A new freshwater diatom from Mountain Baba (Macedonia) and Great Smoky Mountains National Park (U.S.A.): Comparison with the type material of *L. goeppertiana* [J]. Nova Hedwig, 2009, 89: 147-164.
- [23] Fu X C(傅小城), Tang T(唐涛), Jiang W X(蒋万祥), et al. Impacts of small hydropower plants on macroinvertebrate communities [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2008, 28(1): 45-52. (in Chinese)
- [24] Katalin S, Keve T, Ector L, et al. Benthic diatom flora in a small Hungarian tributary of River Danube [J]. Acta Hydrobiol, 2004, 111(Suppl.): 79-94.