

# 小车河底栖硅藻生物多样性

唐水民, 支崇远\* (贵州师范大学生命科学学院, 贵州贵阳 550001)

**摘要** [目的]探究小车河底栖硅藻的多样性和空间分布特征,以及硅藻优势种与环境因子的关系。[方法]2015年6月对贵阳市小车河(阿哈水库到南明河段)10个样点采集的30个水样进行底栖硅藻调查。[结果]鉴定小车河底栖硅藻为2纲6目9科22属131种(包括亚种和变种),从硅藻分布的规律来看,小车河底栖硅藻的绝对丰度在各个采样点都存在差异,且以小环藻属为优势种。通过回归分析,小车河硅藻细胞密度与水体总磷含量呈明显正相关,与水温无明显线性关系。[结论]调查结果为小车河水环境监测、河流的保护与利用,以及维护生态平衡提供了理论依据。

**关键词** 底栖硅藻;多样性;小环藻;小车河

**中图分类号** S932.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)29-0007-03

## Benthic Diatoms Biodiversity of Xiaoche River

TANG Shui-min, ZHI Chong-yuan\* (College of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001)

**Abstract** [Objective] To study the benthic diatoms biodiversity and spatial distribution of Xiaoche River, and to explore the relationship between the dominant species of diatoms and the environmental factors. [Method] 30 water samples from 10 sampling sites in Xiaoche River (from Aha Reservoir to Nanming River) were investigated on June 2015. [Result] Benthic diatoms in Xiaoche River could be divided into 131 species, 22 genera, 9 families, 6 orders, and 2 classes (including subspecies and varieties). According to the law of diatom distribution, there were differences in the absolute abundance of benthic diatoms in the sampling sites of Xiaoche River. And *Cyclotella* was the dominant species. Regression analysis showed that diatom cell density was positively correlated to water total phosphorus (TP) content in Xiaoche River, but had no significant linear relationship with temperature. [Conclusion] Research results provide theoretical basis for the water environment monitoring, river protection and utilization, and ecological environment maintenance of Xiaoche River.

**Key words** Diatoms; Diversity; *Cyclotella*; Xiaoche River

底栖藻类附着在河床、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<sup>[1]</sup>。在河流中,底栖硅藻生物多样性要远远超过其他藻类<sup>[2]</sup>,底栖硅藻是河流水质监测的重要生物指标<sup>[3]</sup>,在判别水体污染程度、评价水体富营养状态等方面具有广泛的应用价值<sup>[4]</sup>。大多数的硅藻指数方法都集中在底栖硅藻群落指数的建立上。底栖硅藻作为指示种,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<sup>[5-6]</sup>,另一方面与其他生物类群相比,硅藻为初级生产者,生活周期短,能够准确和灵敏地反映水体的环境与生态状况的变化<sup>[7]</sup>。硅藻对不同的环境条件所产生的适应机制不同,主要表现在硅藻丰度与其群体结构的差异上,因此,硅藻生物量与硅藻群落组成的巨大差异是底栖硅藻最显著的特征之一<sup>[8]</sup>。水环境化学状态的变化会使一些种类的增长受到限制甚至消亡,一些种类的生长增殖得以加速,成为优势种<sup>[9]</sup>。

目前,硅藻多样性的研究是热点,美国、加拿大、英国、俄罗斯、丹麦、挪威等国学者近年正加强对硅藻多样性及其应用的研究,美国和欧盟投入巨资开展了多个单位联合的硅藻多样性研究<sup>[10]</sup>。我国对硅藻多样性的研究不多,且侧重于海洋硅藻,对淡水硅藻的研究更少。中国科学院海洋研究所开展了硅藻培养研究,贵州师范大学支崇远教授多年来一直致力于硅藻生物多样性及硅藻对重金属污染的治理研究。

河流生态系统是生物圈物质循环的重要通道,具有调节气候、改善生态环境以及维护生物多样性等众多功能<sup>[11]</sup>。贵阳市小车河流域属于典型的喀斯特地貌,以硅石和白云岩为主的山石裸露,给硅藻的生长提供了良好的环境。鉴于此,笔者研究了小车河底栖硅藻多样性及其分布特征,旨在为小车河水环境监测、河流的保护与利用,以及维护生态平衡提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 小车河发源于贵阳市花溪区麦坪乡的红岩,全长26.8 km,与金钟河在阿哈水库汇合后,流经南郊公园,最后从太慈桥汇入南明河。小车河多年平均流量为3.49 m<sup>3</sup>/s,是南明河上游的一条主要支流,也是贵阳市重要的水源保护地。该研究河段是阿哈水库到南明河段,流经农田、小车河湿地公园、居民区医院和工厂。近年来随着城市人口和旅游人数的增加,大量未经处理的生活、医疗用水及生活垃圾排入河中,对小车河水体生态环境以及生物多样性造成很大的影响。

## 1.2 方法

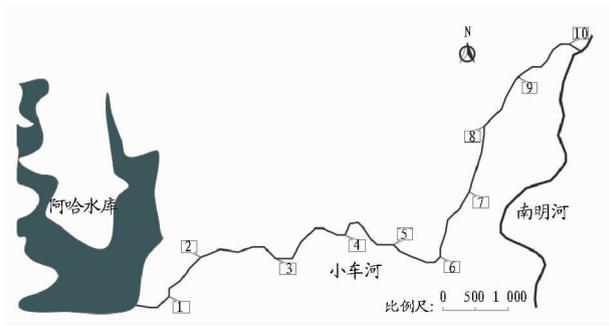
**1.2.1 采样点设置** 于2015年6月,依照小车河的环境特征,严格按照文献[12-13]中的水样采集方法,在小车河水域设置10个采样点(图1)。对每个采样点底栖硅藻采样,并现场测定水温等,实验室内测定水体总磷(TP)含量。

**1.2.2 底栖硅藻的采集和处理** 采集在正常水动力条件下不能被移动的石块,用小刀刮取表面的硅藻。将采集好的石块样品进行如下处理:①刮取硅藻。用硬毛牙刷或小刀刮取一定面积石块表面上的硅藻,在刮取过程中,用蒸馏水冲刷,以确保石块、牙刷上的硅藻全都被冲进烧杯。②去钙质与泥沙。加入适量12 mol/L浓盐酸处理,静置24 h,或通过加热

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41062005);贵州省科技厅国际合作项目[(2012)800107];贵州省环保厅项目[黔环科(2012)1号]。

**作者简介** 唐水民(1984-),男,湖南永州人,硕士研究生,研究方向:环境生态学。\*通讯作者,教授,博士,从事硅藻生理生态研究。

**收稿日期** 2016-08-22



注: 采样地点 1. 106°39'35" E, 26°32'18" N; 2. 106°39'46" E, 26°32'26" N; 3. 106°40'04" E, 26°32'26" N; 4. 106°40'23" E, 26°32'31" N; 5. 106°40'42" E, 26°32'27" N; 6. 106°40'53" E, 26°32'24" N; 7. 106°40'55" E, 26°32'31" N; 8. 106°41'07" E, 26°32'58" N; 9. 106°41'14" E, 26°33'11" N; 10. 106°41'29" E, 26°33'23" N。

Note: Sampling sites: 1. 106°39'35" E, 26°32'18" N; 2. 106°39'46" E, 26°32'26" N; 3. 106°40'04" E, 26°32'26" N; 4. 106°40'23" E, 26°32'31" N; 5. 106°40'42" E, 26°32'27" N; 6. 106°40'53" E, 26°32'24" N; 7. 106°40'55" E, 26°32'31" N; 8. 106°41'07" E, 26°32'58" N; 9. 106°41'14" E, 26°33'11" N; 10. 106°41'29" E, 26°33'23" N.

图1 小车河浮游硅藻采样地示意

Fig. 1 Schematic diagram of the sampling sites of diatom in Xiaocher River

方法去除溶解性碳酸盐,直至样品不起泡。③去有机质。加入适量 98% 浓硫酸(18.6 mol/L),静置 24 h,或加热至样品不起泡。④去酸。加入蒸馏水静置 24 h,待硅藻沉积在烧杯底部后,用真空泵吸取烧杯上层清液;重复操作,直至溶液 pH 约为 7。⑤硅藻溶液定容。根据硅藻密度将硅藻溶液定容至 100 mL。

**1.2.3 永久制片和硅藻鉴定。**用移液枪吸取定容的硅藻样品溶液,从硅藻样中提取 500  $\mu$ L 样本放于 20 mm  $\times$  20 mm 盖玻片上,使其均匀分布于盖玻片上,自然风干或微火烘干。按照 E-44 环氧树脂与 SK-8 固化剂为 100:15 的配制比例(ZCYePoxy)进行胶的配制。将配制好的胶滴 1 滴于载玻片上,将干燥后的有硅藻样一面的盖玻片盖在有胶的载玻片上,待干燥后进行编号,使用 ECLIPSE E200 尼康生物相差光学显微镜在 1000 倍下鉴定并统计硅藻的壳面数量。

## 2 结果与分析

**2.1 小车河底栖硅藻属的组成及数量** 共鉴定出硅藻 131 种(包括变种),隶属于 2 纲 6 目 9 科 22 属。从底栖硅藻各个属的种数组成来看(表 1),中心纲包括浮游直链藻属 7 种、小环藻属 31 种、冠盘藻 6 种。羽纹纲包括 21 属 87 种:舟型藻属 18 种,羽纹藻属 3 种,布纹藻属 2 种,辐节藻属 1 种,异菱藻属 1 种,肋缝藻属 1 种,菱形藻属 5 种,菱板藻属 7 种,曲壳藻属 3 种,卵形藻属 1 种,桥弯藻属 5 种,双眉藻属 2 种,双菱藻属 3 种,长羽藻属 1 种,马鞍藻属 1 种,脆杆藻属 11 种,等片藻属 1 种,异极藻属 13 种,短缝藻属 5 种,双肋藻属 2 种,窗纹藻属 1 种。由图 2 可知,小环藻属 31 种,占总种数的 24%;舟型藻属 18 种,占总种数的 14%;异极藻属 13 种,占总种数的 10%。可见,小环藻属种是小车河流域底栖硅藻

的优势种。

表 1 小车河底栖硅藻鉴定数据

Table 1 Identification data of benthic diatom in Xiaocher River

纲 Class	科 Family	属 Genus	种 Species		
中心纲 Centricae	圆筛藻科	小环藻	31		
		冠盘藻	6		
		浮游直链藻	7		
		羽纹纲 Pennatae	舟型藻科	舟型藻	18
				羽纹藻	3
				布纹藻	2
				辐节藻	1
菱型藻科	菱型藻科	异菱藻	1		
		肋缝藻	1		
		菱形藻	5		
		菱板藻	7		
		曲壳藻科	曲壳藻科	曲壳藻	3
				卵形藻	1
				桥弯藻	5
		桥弯藻科	桥弯藻科	双眉藻	2
				双菱藻	3
		双菱藻科	双菱藻科	长羽藻	1
				马鞍藻	1
				脆杆藻科	脆杆藻科
		脆杆藻科	脆杆藻科	等片藻	1
异极藻科	异极藻			13	
短缝藻科	短缝藻			5	
双肋藻	2				
窗纹藻	1				

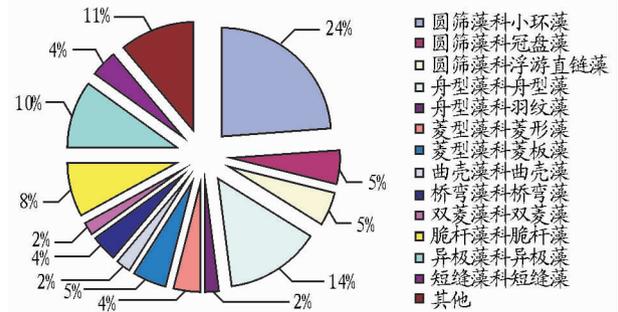


图 2 小车河底栖硅藻各属种数百分比

Fig. 2 Species and genus percentages of benthic diatom in Xiaocher River

**2.2 小车河底栖硅藻种类组成与相对丰度** 由表 2 可知,小车河 10 个采样点底栖硅藻群落结构较丰富,在不同点、不同的生态环境中,其优势种属不同,这可能取决于流速和营养盐的含量。采样点 1 以桥弯藻属 *C. Mesiana* Chohnoky 为主;采样点 2 以扁圆卵形藻椭圆变种为主;采样点 3、5 以小环藻属为主,分别是 *C. planctonica* Brunnthaler、*C. bodanica* Grunow var. *bodanica*;采样点 6、7 以舟型藻属为主,分别是 *N. concentrica* Carter、*N. riparia* Hustedt;采样点 8、9 以菱形藻属为主,分别是 *N. hungarica* Grunow、*N. prolongata* Hustedt var. *prolongata*;采样点 10 以异极藻 *G. herculeana* (Ehrenberg) Cleve 为主。

从所采 30 个样品的试验数据来看,小环藻属数量最多,为小车河硅藻优势属,舟型藻属和异极藻属数量也较多。小环藻属、舟型藻属和异极藻属种都喜好生活在营养物质丰富的水体中;桥弯藻属是水体富营养化的典型代表属,而曲壳

藻属和卵形藻属对污染较敏感,是清洁水或寡污水体的指示属<sup>[14-17]</sup>。这指示小车河水体整体水质较差,受污染程度较严重。

表 2 小车河底栖硅藻优势种与相对丰度

Table 2 Dominant species and relative abundance of benthic diatom in Xiaoche River

采样点 Sampling site	属 Genus	优势种 Dominant species	相对丰度 Relative abundance %
1	桥弯藻	<i>C. Mesiana</i> Chohnoky	28.4
2	卵形藻	扁圆卵形藻椭圆变种	19.6
3	小环藻	<i>C. planctonica</i> Brunnthaler	42.1
4	浮游直链藻	<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	38.5
5	小环藻	<i>C. bodanica</i> Grunow var. <i>bodanica</i>	40.4
6	舟型藻	<i>N. concentrica</i> Carter	26.3
7	舟型藻	<i>N. riparia</i> Hustedt	19.5
8	菱形藻	<i>N. hungarica</i> Grunow	20.9
9	菱形藻	<i>N. prolongata</i> Hustedt var. <i>prolongata</i>	25.5
10	异极藻	<i>G. herculeana</i> (Ehrenberg) Cleve	26.7

**2.3 小车河底栖硅藻的细胞密度** 由表 3 可知,小车河底栖硅藻细胞密度在各个采样点都存在差异,为 6 835 ~ 8 406 个/cm<sup>2</sup>,其中 10 号采样点是最高值,3 号采样点是最低值,平均值为 7 470 个/cm<sup>2</sup>。河流上游底栖硅藻的细胞密度波动较大,最高值和最低值都出现在上游;中游相对平稳,波动幅度不大;下游略有变化。

表 3 小车河底栖硅藻细胞密度

Table 3 Cell density of benthic diatom in Xiaoche River

采样点 Sampling site	纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种及变种 Species and varietas	细胞密度 Cell density 个/cm <sup>2</sup>
1	2	6	8	13	42	7 661
2	2	6	9	15	56	8 252
3	2	6	7	12	42	6 835
4	2	5	8	13	46	7 058
5	2	5	8	13	44	7 101
6	2	5	8	13	59	7 369
7	2	5	8	13	52	7 294
8	2	5	8	14	55	7 415
9	2	5	9	14	38	7 313
10	2	5	8	13	41	8 406

小车河底栖硅藻种群较丰富,一些种类在该河段的几个样点均有分布,且数量较多,是这一流域底栖硅藻的主要种类,并成为这个流域的普生种。小车河底栖硅藻的普生种共有 10 个种及变种。其中,*C. meneghiniana* Kutz 分布在样点 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10;*C. bodanica* Grunow var. *bodanica* 分布在样点 2、3、5、6、7、8、9、10;*C. planctonica* Brunnthaler 分布在样点 1、3、4、7、10;*N. riparia* Hustedt 分布在样点 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10;*N. concentrica* Carter 分布在样点 5、6、7、9、10;*C. placentula* (Ehr.) Hust 分布在样点 3、5、6、9、10;扁圆卵形藻椭圆变种分布在样点 2、3、4、7、9、10;*N. prolongata* Hustedt var. *prolongata* 分布在样点 3、6、8、9、10;*N. hungarica* Grunow 分布在样点 5、7、8、9;*N. minima* Grun 分布在样点 3、6、7、9、10。

**2.4 硅藻细胞密度与 TP 含量及水温、pH 的相关性** 由图 3 和图 4 可知,小车河流域各样点的 TP 平均值为

0.299 mg/L,10 个采样点的 TP 含量为 0.101 ~ 0.504 mg/L,水温为 21.9 ~ 24.3 °C,河流 TP 含量从上游到下游呈上升趋势,水温呈下降趋势。小车河流域中磷的来源可能有 2 个方面:一方面是农业磷肥的使用,不能被农作物吸收的部分可随农田排水流进河中;另一方面是城市污水的排放,包括合成洗涤剂、食品污物和粪便等。小环藻属作为最多种类的硅藻属,其种类、数量与相对丰度均有较大的变化,在 TP 含量较高的水体中,小环藻属的相对丰度也较高。这说明它与小车河 TP 含量呈明显正相关( $r = 0.902, P = 0.001 < 0.005$ ),秩相关系数差异极显著(图 5);与水温无线性关系( $r = 0.091, P = 0.398 > 0.05$ ),相关系数差异不显著(图 6)。

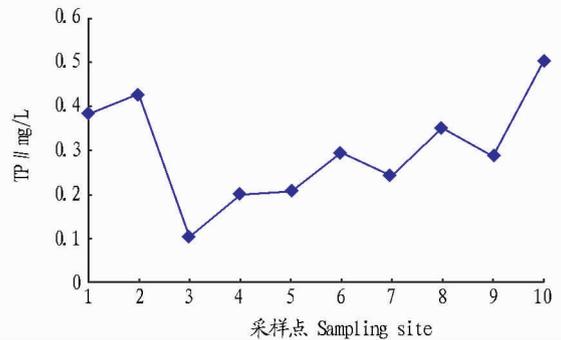


图 3 小车河 TP 含量情况

Fig. 3 Situation of TP content in Xiaoche River

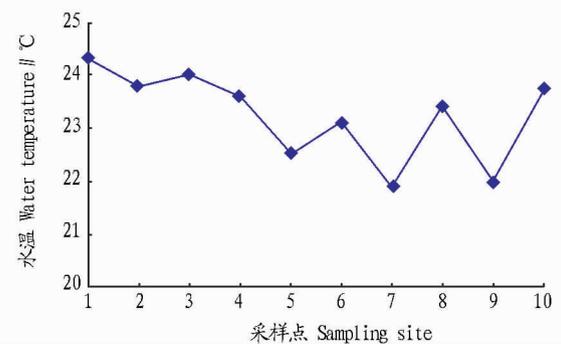


图 4 小车河采样点水温情况

Fig. 4 Water temperature situation of sampling sites in Xiaoche River

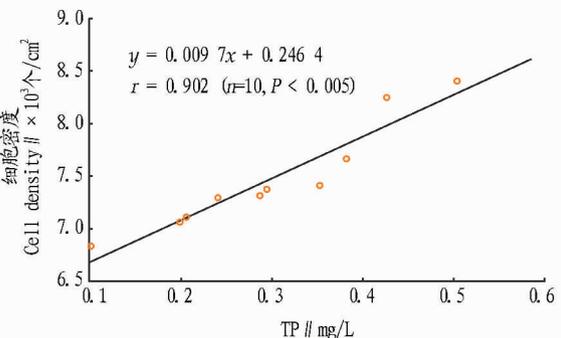


图 5 小车河硅藻细胞密度与 TP 的关系

Fig. 5 Relationship between diatom cell abundance and TP (total phosphorus) in Xiaoche River

以达到稳定的处理效果。同时还需要相关部门从实际情况入手,严格落实各项政策,积极发展新形势下农村的生态环境保护,努力实现农村生态环境持续健康的发展。

### 参考文献

- [1] 徐小丽. 有关我国农村污水的现状和处理对策分析[J]. 低碳世界, 2015(4): 3-4.
- [2] 陆宇燕, 李丕鹏. 氮肥污染的危害[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(1): 1-5.
- [3] 王学渊, 何佩佩, 王玲玲, 等. 工业污染对农村可持续发展的影响分析: 以杭州萧山南阳镇坞里村为例[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(10): 18-22.
- [4] 孙瑞敏. 我国农村生活污水排水现状分析[J]. 能源与环境, 2010(5): 33-34.
- [5] 中国塑料加工工业协会. 中国塑料工业(2014)[J]. 中国塑料, 2015, 29(5): 1-4.
- [6] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[R]. 2010-02-06.

- [7] 孙红杰, 杨少华, 崔玉波, 等. 人工湿地在农村生活污水处理中的研究与应用[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(3): 328-333.
- [8] 任珊珊, 薛帅征, 崔朝锋, 等. 厌氧-人工潜流型湿地技术处理农村生活污水[J]. 给水排水, 2013(S1): 155-158.
- [9] 张跃峰, 刘慎坦, 谢祥峰, 等. 人工湿地处理农村生活污水的脱氮影响因素[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2011, 32(4): 487-491.
- [10] 徐康宁, 汪诚文, 刘巍, 等. 稳定塘运行管理中的中试研究[J]. 给水排水, 2009, 35(S1): 168-171.
- [11] GÓMEZ E, CASELLAS C, PICOT B, et al. Ammonia elimination processes in stabilisation and high-rate algal pond systems[J]. Wat Sci Tech, 1995, 31(12): 303-312.
- [12] 李旭东, 周琪, 黄翔峰, 等. 高效藻类塘系统处理太湖地区农村生活污水[J]. 水处理技术, 2006, 32(6): 61-64.
- [13] 张俊, 周航, 赵自玲, 等. 一体式生物接触氧化/土地渗滤系统处理农村污水[J]. 给水排水, 2012, 28(24): 57-59.
- [14] 张博, 雷志斌. 人工快渗工艺处理小城镇生活污水: 以重庆大足县某镇为例[J]. 河南科学, 2012, 30(10): 1521-1524.
- [15] 卢旭珍, 邱凌, 王兰英. 发展沼气对环境和生态的贡献[J]. 可再生能源, 2003(6): 50-52.

(上接第9页)

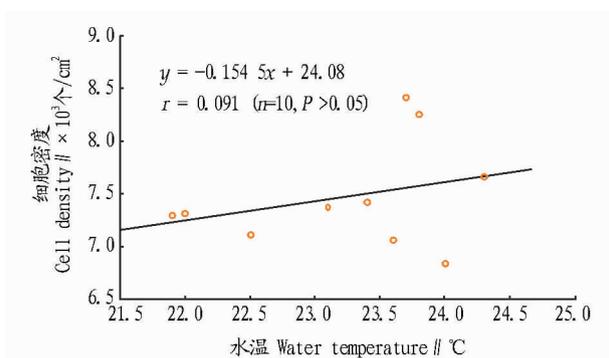


图6 小车河硅藻细胞密度与水温的关系

Fig. 6 Relationship between diatom cell abundance and water temperature in Xiaoche River

### 3 结论

小车河共鉴定出底栖硅藻2纲9科22属131种(包括亚种和变种)。从上游到下游,各采样点之间底栖硅藻的主要属差别不大,但优势种差别较大,且相对丰度也不相同。从种类组成及优势种来看,上游水质好,中、下游受人类活动影响较大,水质较差。小环藻和舟型藻是种类较多的属,硅藻的细胞密度受总磷含量的影响明显。为了更好地保护小车河和南明河,政府与环保部门应对该河段加强监测和治理力度。

### 参考文献

- [1] CHATHÁIN B N, HARRINGTON T J. Benthic diatoms of the river deel: Diversity and community structure[J]. Biol and Environ, 2008, 108(1): 29-42.
- [2] STEVENSON R J, PAN Y, DAM H V, et al. Assessing ecological conditions in rivers and streams with diatoms[M]. London: Cambridge University, 1999: 11-20.

- [3] LARSEN J. Recent changes in diatom-inferred pH, heavy metals, and spheroidal carbonaceous particles in lake sediments near an oil refinery at Mongstad, Western Norway[J]. Journal of paleolimnology, 2000, 23(4): 343-363.
- [4] POTAPOVA M G, CHARLES D F. Benthic diatoms in USA rivers: Distributions along spatial and environmental gradients[J]. Journal of biogeography, 2002, 29(2): 167-187.
- [5] ELSTER J, SECKBACH J, VINCENT M F, et al. Algae and extreme environments: Ecology and physiology[M]. Berlin: Nova Hedwigia, 2002: 602-648.
- [6] WHITTON B A, ROTT E. Use of algae for monitoring rivers II[M]. Innsbruck: University Innsbruck, 1996: 176-185.
- [7] STEINBERG C, SCHIEFELE C. Biological indication of trophic and pollution of running waters[J]. Z. Wasser-Abwasser Forsch, 1988, 21(6): 227-234.
- [8] 孙翠翠, 支崇远, 张伟, 等. 舞阳河硅藻生物的多样性[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 319-323.
- [9] TAYLOR J C, VAN VUUREN M S J, PIETERSE A J H. The application and testing of diatom-based indices in the Vaal and Wilge Rivers, South Africa[J]. Water SA, 2007, 33(1): 51-60.
- [10] 支崇远. 硅藻与环境: 东海南部边缘硅藻与古环境[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 1-8.
- [11] 蔡庆华, 孙志禹. 三峡水库水环境与水生态研究的进展与展望[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 169-177.
- [12] 吴组成, 沈学优, 官宝红, 等. 环境监测[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 33-35.
- [13] 孙成. 环境监测实验[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 277.
- [14] 董旭辉, 羊向东, 王荣. 长江中下游地区湖泊富营养化的硅藻指示性属种[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 570-574.
- [15] BELLINGER B J, COCQUYT C, O'REILLY C M. Benthic diatoms as indicators of eutrophication in tropical streams[J]. Hydrobiologia, 2006, 537(1): 75-87.
- [16] STENGER-KOVÁCS C, BUCZKÓ K, HAJNAL É, et al. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary[J]. Hydrobiologia, 2007, 589(1): 141-154.
- [17] 刘世民, 刘岩, 王长祥. 氢化发生原子吸收法测定海产品中的微量砷[J]. 食品工业科技, 2005, 26(2): 189-190.