

孙 丹,支崇远,李 娅. 乌江上游毕节段溶洞地下水浮游硅藻及水质分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):323-326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.105

# 乌江上游毕节段溶洞地下水浮游硅藻及水质分析

孙 丹,支崇远,李 娅

(贵州师范大学生命科学学院,贵州贵阳 550001)

**摘要:**对乌江上游毕节段层台镇玉龙村溶洞的 3 个采样点进行野外水样采集,利用硅藻细胞密度、多样性指数、均匀度指数及硅藻商等指标评价溶洞地下水水质现状。结果表明,溶洞地下水中共发现硅藻 18 属 107 种(含变种),平均细胞密度为  $1.59 \times 10^4$  个/L,硅藻群落结构为物种较丰富、细胞密度较低、多样性较高。洞口 1、洞口 3 共有的硅藻种类较多,可能是洞口 1、洞口 3 的水环境特征相似,洞口 2 水环境可能受人为干扰影响。溶洞地下水水质为贫营养状态,水体清洁。

**关键词:**浮游硅藻;优势种;物种多样性;溶洞

**中图分类号:** Q178.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0323-03

喀斯特溶洞是由溶蚀作用形成的,洞中的水有溶蚀、侵蚀作用<sup>[1]</sup>。溶洞地下水与河流、湖泊等地表水有一定的区别。硅藻分布非常广泛,在淡水、半咸水、海水、陆地上都能生存。硅藻是一种低等的单细胞藻类植物,个体微小,体长一般在 1~200  $\mu\text{m}$ 。硅藻种类多、生命周期短、繁殖快、属种丰富,对环境因子变化十分敏感,国内外已将硅藻作为水质监测的重要指标<sup>[2-6]</sup>。关于应用硅藻对溶洞地下水水质进行分析的研究很少<sup>[7-8]</sup>。本研究以贵州省毕节市七星关区层台镇玉龙村溶洞地下水为对象,分析溶洞地下水中浮游硅藻群落的组成及分布,旨在为浮游硅藻种群多样性研究提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地点

玉龙洞位于乌江上游毕节段层台镇玉龙村,分布于整个村。依据玉龙洞在乌江上游毕节段的特点,依次在洞口 1(位于村头)、洞口 2(位于农户住宅旁)、洞口 3(位于山上)(图 1)3 个采样点采集样品。洞口均较小,洞口的水流速度比较快,洞口 1、洞口 3 周边植物繁茂,洞口 2 附近有人居住。洞壁潮湿,洞内温度较洞外低。



洞口 1



洞口 2



洞口 3

图 1 溶洞地下水的形态特征及 3 个采样点分布情况

### 1.2 样品的处理

在洞口 1、洞口 2、洞口 3 采样点分别取自然状态水 1 000 mL。

1.2.1 钙质、泥沙处理 加入一定量浓度为 12 mol/L 的盐酸溶液,利用乙醇灯对试验器皿持续加热至不产生气泡为止。

1.2.2 有机质、其他藻类处理 加入一定量的浓硫酸溶液,加热至不起泡为止。

1.2.3 样品提取 向样品中注入蒸馏水,自然冷却;待硅藻沉积在容器底部,使用真空水泵吸除烧杯上清液;多次重复此操作,至溶液最终 pH 值为 7 左右。

1.2.4 样品存放 根据样品硅藻密度,将硅藻溶液定容至 50 mL 备用。

1.2.5 标本制作 从制得的硅藻样品中提取 500  $\mu\text{L}$  样本置于 18 mm  $\times$  18 mm 盖玻片上,使用 ZCY 胶将样本制成硅藻永久制片,干燥。

收稿日期:2014-10-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:41062005、30560011);贵州省科技基金(编号:黔科合外 G 字[2012]7023);贵州省科技厅科技支撑计划(编号:黔科合 SY 字[2012]3178)。

作者简介:孙 丹(1988—),女,吉林松原人,硕士研究生,主要从事湿地生态学研究。E-mail:719479994@qq.com。

通信作者:支崇远,博士,教授,从事硅藻生理生态学研究。E-mail:zhicyy@qq.com。

1.3 硅藻鉴定与统计

使用 50iBas 尼康生物相差光学显微镜 (DIC) 对溶洞中的硅藻进行鉴定,统计硅藻的壳面数量。结合国际权威硅藻图谱、《中国淡水藻类》及《中国淡水藻志》第 4 卷、第 10 卷、第 12 卷鉴定硅藻属种<sup>[9-13]</sup>。分别计算硅藻的物种数以及每物种个体数,每个样品计数 3 片,各片之间数值差距小于等于 15%,如果误差大于 15%,则相应增加计数片数,取其平均值。

1.4 方法

硅藻细胞密度 ( $N$ ) 计算公式如下:

$$N = n \times V_1 / V_2 \times V_3。$$
 (1)

式中: $V_1$  为浓缩样体积 (mL),  $V_2$  为计数体积 (mL),  $V_3$  为采样体积 (mL),  $n$  为个体数<sup>[14]</sup>。

Berger - Parker 物种优势度指数 ( $I$ ) 计算公式如下:

$$I = n_i / N。$$
 (2)

式中: $I$  为物种的优势度,  $N$  为样品的个体总数,  $n_i$  为第  $i$  种物种的个体数。当优势度  $I \geq 0.1$  时,该物种即为优势属或优势种。

硅藻生物多样性指数 ( $H$ ) 计算公式如下:

$$H = - \sum (n_i / N) \times \ln(n_i / N)。$$
 (3)

式中: $n$  为样点第  $i$  种硅藻个体数,  $N$  为样点中的硅藻总个体数<sup>[15-16]</sup>。  $H > 3$  代表清洁水质,  $2 < H \leq 3$  代表轻度污染水质,  $1 < H \leq 2$  代表中度污染水质,  $0 < H \leq 1$  代表重度污染水质。

$$D = (S - 1) / \ln N。$$
 (4)

式中: $D$  代表 Margalef 多样性指数,  $S$  代表硅藻种类数,  $N$  代表硅藻个体总数。  $D > 6$  代表清洁水,  $4 \leq D \leq 6$  代表水质轻度污染,  $3 \leq D < 4$  代表水质中度污染,  $D < 3$  代表水质重度污染。

$$E = H / \log_2 S。$$
 (5)

式中: $H$  为 Shannon - Weaver 多样性指数,  $S$  为种类数。当  $0 < E \leq 0.3$  为重污染,  $0.3 < E \leq 0.5$  为中污染,  $0.5 < E \leq 0.8$  为轻污染,  $E > 0.8$  代表无污染。

硅藻商 ( $Q$ ) = 中心纲硅藻种数 / 羽纹纲硅藻种数。 (6)

当  $Q \geq 1$  时代表水体富营养化;  $Q < 1$  时代表水体贫营养。

2 结果与分析

2.1 水质理化指标

由表 1 可知,各采样点氧化还原电位由高到低依次为洞口 2 > 洞口 3 > 洞口 1; 无机磷、无机氮含量最大值均出现在洞口 2,说明洞口 2 水质较洞口 1、洞口 3 差,这主要是因为该采样点位于村内,容易被生活污水等污染。

表 1 各采样点水质化学指标

采样点	温度 (℃)	pH 值	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 含量 (mg/L)	电导率 (mS/cm)	氧化还原电位	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N 含量 (mg/L)
洞口 1	18	6.5	0.044	0.42	202	6.35
洞口 2	17	6.3	0.052	0.42	238	6.36
洞口 3	16	6.4	0.048	0.46	219	6.19

2.2 硅藻的组成及分布

本研究共计发现硅藻 107 种 (含变种、变型),隶属 2 纲 9 科 18 属 (表 2)。其中,羽纹纲物种较丰富,共 8 科 17 属 104 种,占总种数的 97.20%; 中心纲 1 科 1 属 3 种,占总种数的

表 2 硅藻组成及各种所占比例

纲	目	科	属	种数 (种)	所占比例 (%)
中心纲	圆筛藻目	圆筛藻科	小环藻属	3	2.80
羽纹纲	单壳缝目	曲壳藻科	曲壳藻属	20	18.69
			卵形藻属	5	4.67
			短壳缝目	2	1.87
	短壳缝目	短壳缝科	短缝藻属	2	1.87
			管壳缝目	1	0.93
	管壳缝目	菱形藻科	菱板藻属	1	0.93
			菱形藻属	10	9.35
	无壳缝目	窗纹藻科	细齿藻属	2	1.87
			桥弯藻科	10	9.35
		异极藻科	桥弯藻属	1	0.93
			双眉藻属	6	5.61
		舟形藻科	异极藻属	2	1.87
			双壁藻属	2	1.87
		脆杆藻科	舟形藻属	30	28.04
			平板藻属	1	0.93
			四环藻属	1	0.93
			棒杆藻属	2	1.87
		等片藻属	等片藻属	1	0.93
			针杆藻属	2	1.87
		脆杆藻属	脆杆藻属	8	7.48
总计	5	9	18	107	99.99

2.80%。洞口 1 的浮游硅藻组成集中于曲壳藻属 (*Achnanthes*)、舟形藻属 (*Navicula*)、桥弯藻属 (*Cymbella*)、异极藻属 (*Gomphonema*) 等属; 洞口 2 的浮游硅藻主要集中于小环藻属 (*Cyclotella*)、曲壳藻属 (*Achnanthes*)、舟形藻属 (*Navicula*)、桥弯藻属 (*Cymbella*)、卵形藻属 (*Cocconeis*) 等属; 洞口 3 的浮游硅藻主要集中于菱形藻 (*Nitzschia*)、曲壳藻属 (*Achnanthes*)、舟形藻属 (*Navicula*)、桥弯藻属 (*Cymbella*) 等属。小环藻属 (*Cyclotella*) 为运动型硅藻, 洞口 2 比较多, 这与洞口 2 的水流速度缓慢的特点相适应。洞口 1 的硅藻物种数最丰富, 为 67 种; 洞口 3 次之, 为 46 种; 洞口 2 最低, 为 22 种 (图 2)。这可能与洞口的氧化还原电位、无机氮含量、无机磷含量有关。当氧化还原电位高时, 硅藻数量下降; 当无机氮与无机磷含量高时, 硅藻数量上升。

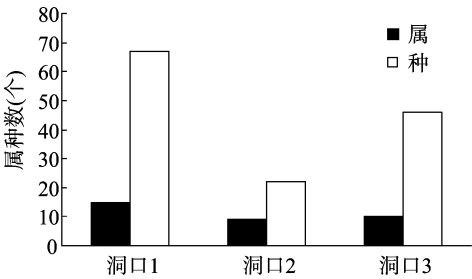


图 2 不同采样点的硅藻属种数分布情况

2.3 不同采样点硅藻的优势种

浮游硅藻优势种在水生态系统中有重要作用,不同优势种的组成、变化、优势度可以很好地反映水质。3 个洞口的优势属种分布特征不同 (表 3), 洞口 1 的优势属为曲壳藻属 (*Achnanthes*)、舟形藻属 (*Navicula*); 洞口 2 的优势属为桥弯藻属 (*Cymbella*)、曲壳藻属 (*Achnanthes*)、卵形藻属 (*Cocconeis*)、舟形藻属 (*Navicula*); 洞口 3 的优势属为菱形藻属 (*Nitzschia*)、桥弯藻属 (*Cymbella*)、曲壳藻属 (*Achnanthes*)、舟形藻属 (*Navicula*)。研究表明,桥弯藻属 (*Cymbella*)、曲壳藻属

(*Achnanthes*)、卵形藻属(*Cocconeis*)、小环藻属(*Cyclotella*)、*Achnanthes minutissima* 是水质清洁的指示属种<sup>[17]</sup>。研究区域主要优势种为 *Achnanthes minutissima* var. *jackii* 和 *Navicula parablis*,硅藻在各采样点的优势属、优势种多数为清洁指示种,由此可见,各采样点水质良好。

表 3 不同采样点硅藻优势属种分布

采样点	优势属	优势种
洞口 1	曲壳藻属	
	舟形藻属	
洞口 2	桥弯藻属	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i> (Rabenhorst) Lange – Bertalot
	卵形藻属	<i>Navicula parablis</i> Hohn & Hellerman
	曲壳藻属	<i>Cymbella minuta</i> Hilse
	舟形藻属	
洞口 3	菱形藻属	<i>Navicula parablis</i> Hohn & Hellerman
	桥弯藻属	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypia</i> (Ehrenberg) Grunow
	曲壳藻属	
	舟形藻属	

2.4 硅藻细胞密度

溶洞地下水硅藻细胞密度为  $1.08 \times 10^4 \sim 1.95 \times 10^4$  个/L,平均值为  $1.59 \times 10^4$  个/L。洞口 1 硅藻细胞密度最大值为  $1.95 \times 10^4$  个/L,洞口 2 的细胞密度最小值为  $1.08 \times 10^4$  个/L,洞口 3 的细胞密度  $1.73 \times 10^4$  个/L。水体中浮游硅藻密度  $<30 \times 10^4$  个/L 为贫营养,  $30 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$  个/L 为中营养,  $>100 \times 10^4$  个/L 为富营养<sup>[18]</sup>。溶洞地下水浮游硅藻的密度小于  $30 \times 10^4$  个/L,故溶洞地下水为贫营养。

2.5 硅藻多样性指数及硅藻商

由表 4 可见,采样点硅藻多样性指数 *H* 为 2.733 7 ~ 4.228 5,其中最高值出现在洞口 1,最低值出现在洞口 2;丰富度指数 *D* 为 5.849 2 ~ 14.919 5,其中最高值出现在洞口 1,最低值出现在洞口 2;均匀度指数 *E* 为 0.604 3 ~ 0.699 6,其中最高值出现在洞口 1,最低值出现在洞口 2;硅藻商 *Q* 值为 0.022 2 ~ 0.087 0,其中最高值出现在洞口 2,最低值出现在洞口 3。*H* > 3 为清洁水质, *D* > 6 为清洁水质,  $0.5 < E < 0.8$  为轻污染或无污染洁水。由此可知,溶洞地下水 3 个出口的水质均比较清洁,洞口 1 水质最好,洞口 2 水质最差。各采样点 *Q* 值均小于 1,由此可知,这几个采样点水质均属于贫营养型。

表 4 溶洞地下水各采样点的硅藻生物多样性指数及商值

地点	<i>H</i> 值	<i>D</i> 值	<i>E</i> 值	<i>Q</i> 值
洞口 1	4.228 5	14.919 5	0.699 6	0.030 3
洞口 2	2.733 7	5.849 2	0.604 3	0.087 0
洞口 3	3.443 1	10.288 4	0.626 9	0.022 2

3 结论与讨论

3.1 溶洞地下水硅藻群落结构特征

本调查表明,溶洞地下水中共发现硅藻 18 属 107 种(含变种),平均细胞密度为  $1.59 \times 10^4$  个/L,硅藻群落结构为物种较丰富、细胞密度较低和多样性较高<sup>[19-23]</sup>。溶洞地下水中硅藻以曲壳藻属(*Achnanthes*)和舟形藻属(*Navicula*)2 个属为优势属,曲壳藻 *Achnanthes minutissima* var. *jackii* (Raben-

horst) Lange – Bertalot、舟形藻 *Navicula parablis* Hohn & Hellerman 为优势种。不同采样点溶洞地下水中硅藻分布特征不同,洞口 1 硅藻为 67 种,洞口 2 为 22 种,洞口 3 为 46 种。各采样点均出现的硅藻种类有曲壳藻属(*Achnanthes*)、舟形藻属(*Navicula*)、脆杆藻属(*Fragilaria*)、卵形藻属(*Cocconeis*)、桥弯藻属(*Cymbella*),其中,洞口 1、洞口 3 共有的硅藻种类较多,可能是洞口 1、洞口 3 的水环境特征相似,洞口 2 水环境可能受人干扰影响。

3.2 喀斯特溶洞水质现状

3 个采样点中,洞口 2 的水质较其他 2 个采样点差,这可能与村民日常生活有关。我国喀斯特溶洞繁多,具有很大的开发价值和研究价值。因此,应对溶洞水质进行长期连续监测,建立合理的保护方案,避免溶洞生态系统受到破坏。本研究中喀斯特溶洞平均硅藻商为 0.046 5,均匀度指数等于 0.643 6。溶洞地下水水质为贫营养状态,水质清洁。但是多样性指数仅定量考虑了群落的物种数及其个体数,未涉及物种与生态因子之间的关系,因此不能揭示水体的具体水污染类型。在评价水体水质时,还应结合其他生物学及理化指标。

参考文献:

[1]何才华,王宗艳. 洞穴环境与洞穴旅游[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2005,23(1):46-50.  
[2]郭云,赵宇中,张波,等. 乌江中上游水体营养状况底栖硅藻指示性属种的研究[J]. 中国环境监测,2010,26(6):80-84.  
[3]Battarbee R W, Flower R J, Juggins S, et al. The relationship between diatoms and surface water quality in the hoylandet area of Nord-Trondelag, Norway[J]. Hydrobiologia, 1997, 348(1/2/3):69-80.  
[4]Vuorio K, Lagus A, Lehtimäki J M, et al. Phytoplankton community responses to nutrient and iron enrichment under different nitrogen to phosphorus ratios in the northern Baltic Sea[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2005, 322(1):39-52.  
[5]刘俊琢,张成君. 硅藻指数在水环境监测与评价中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(5):12-16.  
[6]Kelly G M. Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers[J]. Water Research, 1998, 32(1):236-242.  
[7]李国忱,刘录三,汪星,等. 硅藻在河流健康评价中的应用研究进展[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9):2617-2624.  
[8]刘明,王倩,马健荣,等. 贵阳天河潭旱洞硅藻生物多样性与环境初步研究[J]. 中国岩溶, 2009, 28(3):324-328.  
[9]胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社, 2006.  
[10]胡鸿钧,李尧英,魏印心,等. 中国淡水藻类[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1979.  
[11]齐雨藻,中国科学院中国孢子植物志编辑委员会. 中国淡水藻志:第 4 卷:硅藻门中心纲[M]. 北京:科学出版社, 1995.  
[12]齐雨藻,李家英,谢淑琦,等. 中国淡水藻志:第 10 卷:硅藻门羽纹纲[M]. 北京:科学出版社, 2004.  
[13]施之新. 中国淡水藻志:第 12 卷:硅藻门异极藻科[M]. 北京:科学出版社, 2004.  
[14]邓洪平,陈锋,王明书. 嘉陵江南充段硅藻群落结构及水环境分析[J]. 水生生物学报, 2008, 32(4):586-591.  
[15]章宗涉,龚循矩. 微型生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1990.

于雷,李晓蒙,张作明,等. 硫源对高温厌氧产氢菌 *Caldicellulosiruptor changbaicum* 发酵产氢的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):326-328.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.106

# 硫源对高温厌氧产氢菌 *Caldicellulosiruptor changbaicum* 发酵产氢的影响

于雷<sup>1</sup>, 李晓蒙<sup>1</sup>, 张作明<sup>2</sup>, 高猛<sup>1</sup>

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118; 2. 吉林大学生命科学学院分子酶学工程教育部重点实验室, 吉林长春 130112)

**摘要:**以从长白山温泉中筛选到的高温厌氧产氢菌 *Caldicellulosiruptor changbaicum* 为菌种,研究硫源对其发酵纤维素产氢的影响。先以  $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  为硫源进行单因素试验,考察硫源对菌株生长和产氢的影响。然后在生物反应器中分别以  $\text{Na}_2\text{S}$  和  $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  混合物为硫源进行厌氧发酵试验。结果在以  $\text{Na}_2\text{S}:\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3=1:2$  的混合物为产氢菌提供硫元素时,发酵液 pH 值呈稳定下降趋势,产气稳定时的平均速率为  $90\sim100\text{ mL}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ,氢气的转化效率达到  $7.73\text{ mmol/g VS}$ ,说明  $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  混合硫源有利于该高温厌氧菌发酵纤维素产氢。

**关键词:**高温厌氧产氢菌; *Caldicellulosiruptor changbaicum*; 纤维素; 硫源; 氢气; 生物反应器; 发酵产氢

**中图分类号:** TQ920.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0326-03

进入 21 世纪以来,从石油、煤炭等矿产资源开采量的不断上升以及储存量的不断减小,到人们对可替代能源的追求与探索,能源问题已经成为了全世界共同关注的焦点问题<sup>[1]</sup>。氢气作为一种可燃的气体,有着诸多方面的优点。例如环保,氢气燃烧后的产物除了水之外没有其他任何物质,是绝对无污染的;另外,氢气的燃烧值最高,达到了  $3\,042\text{ cal}/\text{m}^3$ ,且燃烧的热转化效率也很高。因此,关于制氢技术的研究成为了近年来人们关注的热点<sup>[2]</sup>。

在所有的制氢技术中,生物制氢以其反应条件温和、节能、可再生,还可以治理工业污染等诸多优点,逐渐成为了研究的热门领域<sup>[3]</sup>。生物制氢主要分为两大类,一类为光合微生物发酵;另一类为厌氧微生物发酵。其中,厌氧微生物发酵生物质制氢具有治理污染、环保和高产能等特点,有着非常广阔的开发前景,越来越多的厌氧产氢菌已经被发现并应用到富含纤维素污染物的处理当中<sup>[4]</sup>。高温厌氧微生物在所有发酵产氢的厌氧微生物中,由于其发酵环境的温度较高,发酵过程中产生的气体不需要再经过后继操作就可以快速溢出,因此在一定程度上降低了生产成本。而且氢气的快速溢出,

也减小了氢气对发酵过程的抑制作用,从另一角度提升了发酵制氢的速率<sup>[5]</sup>。相对于其他厌氧产氢菌,高温菌更易得到高的产氢效率<sup>[6-7]</sup>,理论最大产氢量可以达到每消耗  $1\text{ mol/L}$  菌葡萄糖产  $4\text{ mol/L H}_2$ <sup>[8]</sup>,因此利用高温厌氧菌发酵产氢具有较大的生产潜力。

在利用高温厌氧产氢菌制氢的过程,影响其生长和产氢的因素很多<sup>[9]</sup>,如培养温度、培养基 pH 值、培养所利用碳源、氮源的种类和金属离子的影响等等。除上述因素以外,硫源对该类细菌的生长和制氢有着非常大的影响,该类细菌的生理生化特性表明硫元素为新陈代谢过程中的电子受体,因此硫元素是该类细菌生长所必须的元素之一<sup>[10-11]</sup>。本试验主要研究硫源对分离自长白山温泉的高温厌氧产氢菌 *Caldicellulosiruptor changbaicum* 的生长以及产氢的影响,从而为其发酵产氢的应用提供理论和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 菌种及来源

高温厌氧产氢菌由吉林大学分子酶学教育部重点实验室提供,通过 16S rRNA 全序列比对及系统发育学分析,发现这株菌属于热解纤维素果汁杆菌属,命名为 *Caldicellulosiruptor changbaicum*。

### 1.2 培养基

传代培养基:  $0.33\text{ g NH}_4\text{Cl}$ ,  $0.33\text{ g KH}_2\text{PO}_4$ ,  $0.33\text{ g KCl}$ ,

收稿日期:2014-03-20

基金项目:吉林省科技发展规划项目(编号:20100563)。

作者简介:于雷(1973—),男,吉林长春人,博士,副教授,研究方向为食品科学与发酵工程。E-mail:leiuyjl@sina.com。

[16]朱为菊,王全喜. 滴水湖浮游植物群落结构特征及其水质评价[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2011,40(4):405-410.

[17]邓迪勇,卢伟,陶敏. 硅藻在水环境监测中的指示作用及研究进展[J]. 环境科学与技术,2009,32(12):222-225.

[18]胡芳,刘桢. 湘江长沙段浮游藻类动态监测与水质评价[J]. 环境科学与管理,2012,37(2):111-113.

[19]邓洪平,陈锋,王明书,等. 嘉陵江下游硅藻群落结构及物种多样性研究[J]. 水生生物学报,2010,34(2):330-335.

[20]辛晓云,杨文杰,张红,等. 内蒙古岱海水质的硅藻生物指数评价[J]. 山西大学学报:自然科学版,2000,23(3):263-266.

[21]辛晓云. 河南南湾水库浮游硅藻的种群结构与水质污染评价初步研究[J]. 生态学杂志,2003,22(5):125-126.

[22]高亚辉,虞秋波,齐雨藻,等. 长江口附近海域春季浮游硅藻的种类组成和生态分布[J]. 应用生态学报,2003,14(7):1044-1048.

[23]杨清良. 台湾海峡西侧浮游硅藻类的种类组成与分布[J]. 海洋学报,1995,17(2):99-107.