

不同水动力条件下的河流硅藻群落分布机理研究

黎佛林¹, 蔡德所^{1,2}, 文宏展³, 唐鑫¹, 易燃²

(1. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 3. 广西水文水资源局, 广西 南宁 530023)

摘要: 水体生物种群指标与河流水动力参数之间的关系是水生态的重要研究课题之一。在西江水系柳江河流共设置 31 个硅藻采样点, 来探究表层沉积硅藻在不同水动力条件下的群落结构, 着重研究了硅藻与水深、流速和流量等水文变量间的关系。在研究区域共发现硅藻 2 纲 38 属 264 种, 通过层状图和排序分析, 流速是影响硅藻群落分布最主要的水动力条件, 其次才是雷诺数。雷诺数的大小和浮游种类丰度关系紧密, 但雷诺数对硅藻种类的影响还有不确定因数。直链藻和小环藻等浮游种类在大江中比小溪中较易出现, 同时人工修建的大坝通过改变水动力条件, 对藻类的分布产生影响, 尤其在水库下游等较极端的湍流条件下, 桥弯藻和脆杆藻的丰度明显地增长。

关键词: 硅藻; 水动力; 流量; 流速; 大坝; 水生态环境

中图分类号: TV131.2; S968.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0205-05

Study on distribution mechanism of riverine diatoms community in different hydrodynamic conditions

LI Folin¹, CAI Desuo^{1,2}, WEN Hongzhan³, TANG Xin¹, YI Ran²

(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China;

3. Guangxi Bureau of Hydrology and Water Resources, Nanning 530023, China)

Abstract: The relationship between biological indicators of water body and hydrodynamic parameters of river is one of the important research subject of aquatic ecosystem. The paper set 31 diatom sampling points at Liujiang river to explore the community structure of surface sediment diatoms under different hydrodynamic conditions and focused on relationship between diatoms and hydrological variables such as water depth, velocity and flow. The diatoms found in the study area are 264 kinds of 2 classes 38. Through layered diagrams and sequence analysis, the flow rate is the most important hydrodynamic condition that influences diatom community distribution, followed by the Reynolds number. The relation between the size of Reynolds number and abundance of planktonic species is close, but the influence of Reynolds number on diatom species is also uncertain. Planktonic species such as *Melosira* and *Cyclotella* more easily appear in the river than in the creek, while artificial dam changes the hydrodynamic conditions and has impact on the distribution of algae, especially in the downstream reservoir and other more extreme turbulence conditions, the abundance of *Cymbella* and *Fragilaria* show a growth trend.

Key words: diatom; hydrodynamic; water flow; velocity; dam; water ecosystem

硅藻是水生态系统中物种最丰富的生物之一, 栖息的生境广泛。通过硅藻在不同环境条件下的分布规律, 可很好地了解淡水生态系统对环境变化的响应机理。在不同的水位、流量及流速环境下, 硅藻表现出的群落差异很大, 因此常被用于河流湖泊洪水的相关研究中^[1]。Christine 等在洪泛湿地中研究

了河流洪峰脉冲对水化学和硅藻群落的影响, 影响的程度主要取决于洪水大小和持续时间。在大洪水时, 生物量减小, 不利于硅藻的生长; 而持续时间短的小洪水有利于藻类的生长^[2]。在红河流域的大和中等洪水中, 漫滩湖泊盆地的硅藻物种组合完全不同干红河边上的湖泊, 因此硅藻物种能表征洪

收稿日期: 2013-08-07; 修回日期: 2013-08-27

作者简介: 黎佛林(1987-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 从事大坝安全监测和水体生物监测工作。

通讯作者: 蔡德所(1952-), 男, 湖北武汉人, 博士, 博导, 主要从事光纤传感监测技术和水体生态修复与监测工作。

水沉积物的特征^[3]。特别是在全球气候变化情况下,研究不同水动力及水文条件下的硅藻群落分布机理对定性和定量分析过去和未来的淡水生态系统和洪水变化过程都意义重大^[4]。

1 研究地点

按河流分级,西江水系下的柳江河流包括龙江、

柳江、融江和贝江等,本次试验以柳江河为研究对象,该地区为典型的亚热带大陆性季风气候,雨量充沛,光照充足,温和湿润,年平均气温 20℃。其中龙江大部分河段河面较宽,流速较缓;贝江水体清澈,流速适中,河面窄,为柳州市的备用水源地;柳江水势平缓,耕地集中,人口稠密,河面较宽。具体采样点名称见图 1、图 2。

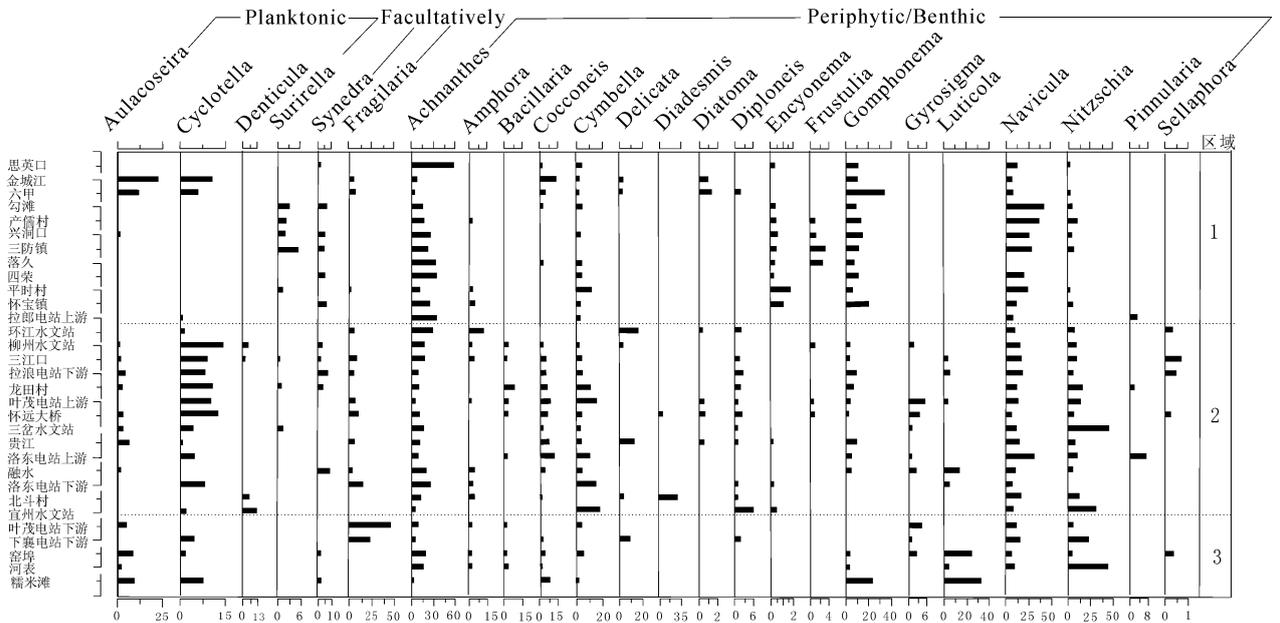


图 1 柳江河流硅藻属分布层状图(横坐标表示藻属种类的丰度)

2 材料和方法

实验于 2013 年 5 月在龙江、柳江和贝江进行现场采样,采样时按照每个断面附近 100 m 左右采集 4~5 块河底石头,刷取石头上的藻类,并尽量被刷下,装入样本瓶后加甲醛保存。流速采用便捷式流速仪测定,其他理化参数按照标准测定。硅藻样品用 30% 的双氧水和 35% 的盐酸处理后制片,参照 Krammer 和 Lange - Bertalot^[5] 的分类系统,每个样点计数 400 个藻左右。

在数据分析中,筛选至少在 2 个样点出现丰度 $\geq 1\%$ 或至少在 5 个样点出现的硅藻属,共计 24 个;筛选至少在 4 个样点出现并且至少有 1 个点的丰度 $\geq 5\%$ 的硅藻种类,共计 51 个种。其中种类分析时 *Achnantheidium minutissima*, *Achnanthes lineare* 不区别变种, *Aulacoseira*, *Gyrosigma*, *Planothidium* 统计到属。流态(层流与湍流)区分采用雷诺数 $Re = 500$ 为临界标志, $Re = \frac{vR}{\nu}$, $R = \frac{A}{\chi}$, 其中定义偏雷诺数为顺水流方向 100 m 范围内的水流紊动状态, v 为流

速, ν 为水体的运动粘度, χ 为湿周即 100 m 水体底长和两边水深之和。计算结果为采样区域水流都是湍流。相关生物指数计算可参考相关文献资料,所有的生物排序分析利用 Canoco4.5 软件进行,统计分析用 SPSS 18.0 进行。

3 研究结果

本次实验在研究区域共发现硅藻 2 纲 38 属 264 种含亚种和变种, *Cyclotella bodanica* var. aff. *lemanica*, *Achnanthes minutissima*, *Cymbella delicatula*, *Fragilaria ulna*, *Gomphonema parvulum*, *Lenticola goepertiana*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia sinuata* var. *tabelaria* 等是主要优势种。按照硅藻种群相似性,将研究样点划分为 3 个区域,见图 1。在区域一中除金城江、六甲和拉郎电站上游外都位于贝江,该区域最明显的特征是很少出现浮游属种,未出现喜污属种 *Lenticola* 和布纹藻,菱形藻较少,而曲壳藻属、异极藻属、肋缝藻属和內丝藻属在这一区域较其他区域多;六甲—金城江—拉浪电站处于龙江中上游,该段水域内没有电站等拦水建筑物,浮游种属的丰度呈递

减趋势。在第二区域小环藻属、卵形藻属、具席藻属和菱形藻属是主要优势属,该河段位于龙江河池境内。区域三中流速普遍较大,河面较宽,流量较大,此区域中的直链藻和脆杆藻较其它区域多。

根据研究区域的现有地形及水文资料,从 31 个样点中筛选出金城江、勾滩和融水等 16 个点,由研究区域当月的平均流速,平均流量,平均水温及河道断面确定偏雷诺数 Re 。在 16 个研究点中,见图 2。

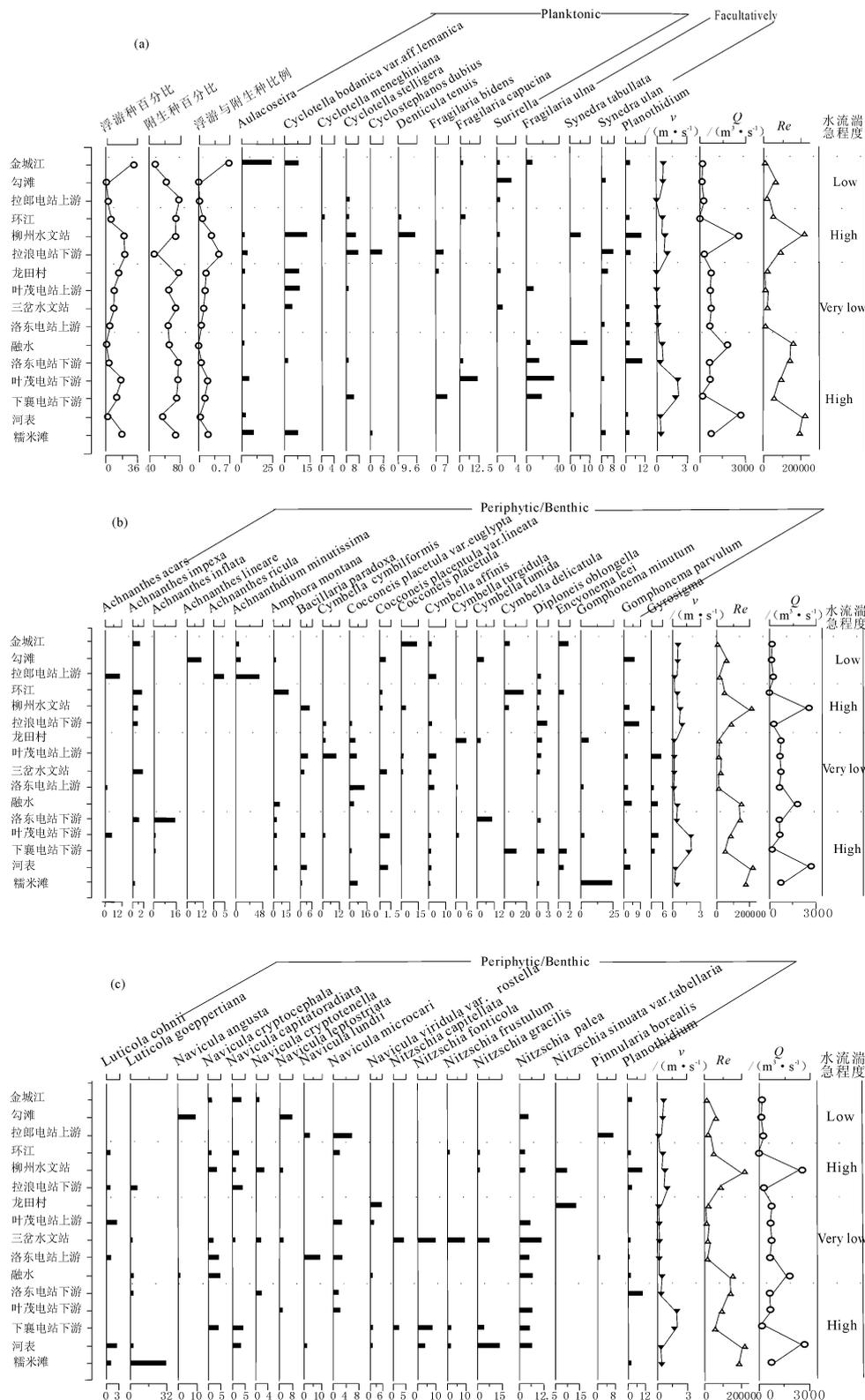


图 2 柳江表层沉积硅藻主要种类丰度及流速、流量、偏雷诺数分布

龙田村到洛东电站上游这4个区域的偏雷诺数较小,流速也较小,流量处于中等水平。分析硅藻的种类分布规律,浮游种百分比、浮游种与附生种比例($Ro.$)与流速(v)变化趋势相近;偏雷诺数 Re (除河表和糯米滩两点外)与浮游种丰度的变化趋势一致,见图2。勾滩—柳州水文站—龙田村,偏 Re 由低—高一—很低变化,*Achnanthes minutissima*在这一区段与 Re 相关性较好。从叶茂电站上游—融水—下襄电站下游,*Navicula cryptocephala*和*Achnanthes minutissima*的种类丰度与 Re 的变化趋势一致。

金城江及五座电站下游流速较大,水流湍急,该区域的硅藻群落具有以下明显特征。以*Fragilaria ulna*为代表的脆杆藻细胞能分泌大量胶质,粘性好,在激流中容易生存;此外还有*Gomphonema minutum*,*Gomphonema pumilum*,*Luticola goeppertiana*,*Navicula capitatoradiata*等藻类在这些激流环境中成为优势种类,但在这些区域,雷诺数处于中等水平。水流较缓

的区域适合各类硅藻的生长,如Pielou均匀度指数和Shannon-wiener指数整体上较急流样点大。经DCA分析,前两轴中的梯度长度 < 2 ,因此选用线性模型^[6]即主成分分析(PCA)来研究水文地理因子对硅藻群落的影响。PCA分析结果显示第一、第二轴的特征值分别为0.180和0.132,物种与因子排序轴的相关系数分别为0.756和0.883,说明排序图能部分反映硅藻与环境因子间的关系,前两轴共解释了31.2%的群落变异程度。在这个大区域、且梯级电站连续分布的研究样点,流速和海拔成为这几个因子中最重要解释变量;浮游种与附生种比例、偏雷诺数及流量三者间关系紧密,见图3,第二轴主要解释水流流态流量对硅藻群落的影响。

分析水文地理因子与生物指数的相关性,结果见表1。由表1可见,流量与偏雷诺数、海拔相关性较好; V 和 $Ro.$ 、 E 也具有一定的相关性。

表1 水动力因数与硅藻生物指数间的相关系数

	$Ro.$	V	Q	Re	$Alt.$	H	D	E
$Ro.$	1							
V	0.355	1						
Q	-0.083	-0.222	1					
Re	0.123	0.331	0.618*	1				
$Alt.$	0.074	-0.018	-0.643**	-0.491	1			
H	-0.366	0.245	0.045	0.051	0.161	1		
D	-0.407	0.003	0.178	-0.134	0.145	0.873**	1	
E	-0.270	0.411	-0.082	0.23	0.074	0.848**	0.431	1

注: $Alt.$ 为海拔, H 为Shannon-wiener指数, D 为Margalef丰富度指数, E 为Pielou均匀度指数,**表示 $P < 0.01$,*表示 $P < 0.05$ 。

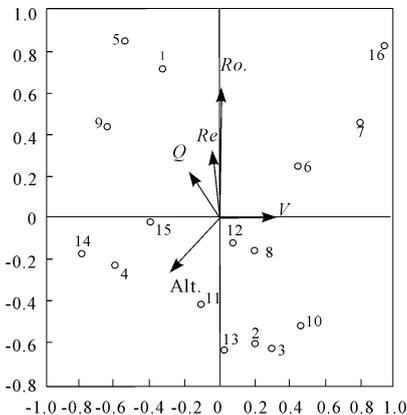


图3 主成分分析排序图

4 讨论与结论

该研究选取了龙江、柳江这类大江大河和贝江及龙江支流等小河小溪,在这些河流里,具有明显的

流量梯度和流速梯度,并且生境相似。其中金城江断面浮游种的丰度最大,其次为拉浪电站下游,贝江表层沉积硅藻几乎不出现浮游种类,见图1、2;分析认为这主要是受河流形态及流量的影响。Michael等研究发现一些硅藻可以指示洪水^[7],伴随洪水的发生,浮游硅藻的丰度会增加,如Johan等利用硅藻群落组成的相似性对比分析,得到“强洪水指示种”。浮游种的丰度受电站影响明显,六甲和金城江断面的浮游种丰度明显大于下游,金城江下游是梯级电站,这可能是梯级电站对洪水有效地调节功能,大库容阻碍了这些河段的洪水,使梯级电站常年水位变幅小。在这五座梯级电站中,下游断面的浮游种丰度明显大于上游断面。

浮游硅藻一般在大江中丰度较大,特别是直链藻和小环藻;如勾滩、融水实验点在5月份是丰水季节,勾滩只出现少量个体较大的双菱藻,而融水含有

一定丰度的直链藻和 *Cyclotella stelligera* 等浮游种类;北斗村是小环江上的一个断面,水流平缓,该断面主要浮游种——细齿藻属的丰度为 7.02%,北斗村下游的怀远大桥和叶茂电站上游两个断面的浮游种类丰度分别为 16.69% 和 10.58%。

表示水流流态的偏雷诺数与河流流量的相关性较好,见表 1 和图 2,其中柳江河流主要的优势种 *Achnanthes minutissima* 与偏雷诺数的变化趋势相似,另还有 *Navicula cryptocephala* 与偏雷诺数在一定区域内变化趋势相似,因为受研究区域的河流地形限制,偏雷诺数大小并不能真实反映水流湍急程度,同时计算过程中采用的是平均值,没有考虑 *Re* 阈值对表层沉积硅藻的影响,所以利用这两种硅藻指示 *Re* 大小还有待进一步的研究。而流速就更为直观地表现水流的扰动缓急,也是水动力最基本的参数^[8]。众多的研究表明,流速是影响硅藻生长的重要因子。在水库下游等水流湍急的生境中,硅藻种群表现出以 *Navicula*、*Gomphonema* 和 *Achnanthes* 丰度的减少,以 *Cymbella*、*Encyonema* 和 *Fragilaria* 丰度增加的演替规律。说明 *Cymbella*、*Encyonema* 和 *Fragilaria* 这 3 个属种对湍急水流的适应能力亦强。当然 *Achnanthes*、*Gomphonema* 和 *Navicula* 在湍急水状态下的生存能力强,但不如前 3 者,同时该区域为喀斯特地貌,硅藻分布还受环境因子和一些钙镁离子的影响^[9]。以下种类 *Fragilaria ulna*、*Cymbella affinis*、*Cymbella tumida*、*Cymbella delicatula*、*Luticola goeppertiana* 被认为是在该地区抗水流干扰能力强的硅藻。如 *Fragilaria ulna* 一般认为是群居生活,对基质粘着性好,是淡水普生种。*Cymbella tumida* 在广西是很普遍的种类,其个体较大,有的地区被认为是浮游种类,适宜在中等营养水体中,是喜氧性种类,水流湍急情况下,水中含氧量的增加在一定程度上使得粘着性强的藻类成为优势种。*Luticola goeppertiana* 为代表的 *Luticola* 属是一种典型的好气属,湍流条件为该属种的硅藻生长提供了有利的条件,同时 *Luticola goeppertiana* 经常出现在酸性水体中。*Cymbella affinis* 是一种高山冲击水体^[10]中常见的喜盐性、 β -中污类群,高需氧量藻类,在动水条件下具有生长优势。

主成分分析显示,流速是所有水文地理因子中影响硅藻群落分布最主要的因素,雷诺数和流量是次要因数。同时在缓流水体下适宜大多数藻类的生长,如硅藻的种类数、Shannon-wiener 指数和 Pielou 均匀度指数普遍高于湍流水体。根据以上讨论分

析,结论如下:

(1)河流表层浮游硅藻的丰度主要受河流形态及流量的影响,同时人工修筑的电站亦对其产生影响。

(2)以直链藻和小环藻为代表的浮游硅藻在大江及水流缓慢的表层石头中丰度较大。

(3)在水动力条件中,流速是影响硅藻生长最主要的因子,雷诺数和流量是次要因数。*Fragilaria ulna*、*Cymbella affinis*、*Cymbella tumida*、*Cymbella delicatula*、*Luticola goeppertiana* 等藻类抗水流干扰能力强,*Cymbella*、*Encyonema* 和 *Fragilaria* 三属种在湍急水流的生长能力较强。

参考文献:

- [1] Natalie Bozinovski, Johan A Wiklund, Roland I Hall, et al. Epiphytic diatoms as flood indicators [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2010, 44: 25-42.
- [2] Yangdong Pan, Christine L Weillhoefer, Sara Eppard. The effects of river flood waters on flood plain wet land water quality and diatom assemblages [J]. *WET LANDS*, 2008, 28(2): 473-486.
- [3] Barbara E Medioli, Gregory R Brooks. Diatom and thecamoebian signatures of Red River (Manitoba and North Dakota) floods: Data collected from the 1997 and 1999 spring freshets [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2003, 29: 353-386.
- [4] Shusaku Yoshikawa, Michinobu Kuwae, Narumi Tsugeki, et al. Reconstruction of a climate record for the past 140 kyr based on diatom valve flux data from Lake Biwa, Japan [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2004, 32: 19-39.
- [5] Krammer K, Lange - Bertalot H. *Bacillariophyceae* [M]. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag Gmb H Heidelberg, 2000.
- [6] 邓培雁,雷远达,刘威,等. 桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素[J]. *生态学报* 2012. 32(7): 2196-2203.
- [7] Michael A Sokal, Roland I Hall, Brent B Wolfe. Relationships between hydrological and limnological conditions in lakes of the Slave River Delta (NWT, Canada) and quantification of their roles on sedimentary diatom assemblages [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2008, 39: 533-550.
- [8] 吴晓辉,李其军. 水动力条件对藻类影响的研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1732-1738.
- [9] 支崇远 王倩,康福星. 黔桂喀斯特区域河流水体离子对底栖硅藻群落的影响[J]. *环境科学学报*, 29(7): 1517-1526.
- [10] Francesca Bona, Elisa Falasco, Sara Fassina, et al. Characterization of diatom assemblages in mid-altitude streams of NW Italy [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 583: 265-274.