

## 香溪河流域浮游植物调查与水质评价

况琪军, 胡征宇\*, 周广杰, 叶麟, 蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

**摘要:** 报道了1996年10月~1997年7月和2003年对香溪河流域浮游植物2周年的调查结果。数据显示, 香溪河流域的浮游植物主要由硅藻、绿藻和蓝藻组成。1996~1997年硅藻的种类最多, 绿藻次之, 蓝藻居第3位; 2003年绿藻的种类数跃居首位, 硅藻次之, 其它藻类亦有不同程度的变化。藻类的细胞密度表现出明显的季节变化, 最高、最低值分别出现在夏季和冬季。应用Margalef多样性指数和Menkinick多样性指数对香溪河流域的水质进行评价的结果显示: 2003年该流域的水质营养等级为中-富营养型, 水环境质量较6年前有所下降。

**关键词:** 香溪河流域; 浮游植物; 群落结构; 藻类计数

**中图分类号:** X171

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-470X(2004)06-0507-07

## Investigation on Phytoplankton in Xiangxi River Watershed and the Evaluation of Its Water Quality

KUANG Qi-Jun, HU Zheng-Yu\*, ZHOU Guang-Jie, YE Lin, CAI Qing-Hua

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory for Freshwater Ecology and Biotechnology of China, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** This paper represents the results of an investigation on phytoplankton and water quality in Xiangxi River Watershed during the period from October 1996 to July 1997 and 2003. The results showed that the composition of phytoplankton was dominated by the species of diatoms, green algae and blue-green algae. Diatoms were the most important component, followed by green algae and blue green algae in the period of 1996–1997. In 2003, green algae sat at the primary position, and diatoms were the second. Other algae had also varied in different degree. The cell densities of phytoplankton were changed seasonally. The maximum value and the minimum value were noted in summer and winter, respectively. The water quality of Xiangxi River Watershed had a little destroyed during 6 years. The trophic status of the watershed is at  $\alpha$ - $\beta$ -mesotrophy level, nowadays.

**Key words:** Xiangxi River Watershed; Phytoplankton; Species community; Algal cell counting

香溪河流域系长江三峡水库湖北库区内第一大支流, 发源于湖北省西北部神农架林区, 流经兴山县、秭归县, 于香溪镇注入长江<sup>[1]</sup>。该流域地处东经110°25′~111°06′, 北纬30°57′~31°34′之间, 全长106 km, 流域总面积3 099 km<sup>2</sup>, 为峡谷型河流。三峡水库蓄水后, 从秭归县香溪镇至兴山县峡口镇河段的水位随之升高, 水流减缓, 水环境及其中的水生生物

可能会因蓄水而发生相应变化。有关香溪河流域的水质空间分布、鱼类资源、河岸带植物群落和水土流失的地理环境等早有报道<sup>[2-5]</sup>, 但有关浮游植物方面的资料至今尚未见报道。为了评价2003年三峡水库蓄水发电前后, 库区支流水环境变化对水生态系统的影响, 作者于1996年10月~1997年7月和2003年(以下分别简称为前期和后期)分别对香溪

收稿日期: 2004-02-19, 修回日期: 2004-05-11。

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-SW-111)资助; 国家自然科学基金重点项目(30330140)资助。

作者简介: 况琪军(1952—), 女, 高级工程师, 主要从事污水生物净化与藻类生态毒理学研究(E-mail: kuangqj@ihb.ac.cn)。

\* 通讯作者(E-mail: huzy@ihb.ac.cn)。

河流域的浮游植物群落结构和数量变化进行了共 2 周年的调查,并依据调查结果对香溪河流域目前的水质状况作了初步探讨。

### 1 研究方法

#### 1.1 采样点设置

于香溪河口至峡口镇河段之间共设 8 个采样点,由南至北依次编号为:S1(香溪河口,地名,下

同),S2(官庄坪),S3(盐关),S4(贾家店),S5(1681,路段公里数,下同),S6(高岚),S7(1679)和 S8(1677)(图 1)。于 1996 年 10 月,1997 年 1 月、5 月和 7 月;2003 年 1 月、5 月、7 月和 10 月,按季节在各采样点同步采样。

#### 1.2 水样处理及藻类细胞计数

用采水器在表层、1 倍和 2 倍于透明度的深度各取水样 1.5 L,置同一容器混合,充分摇匀后取 1.5 L

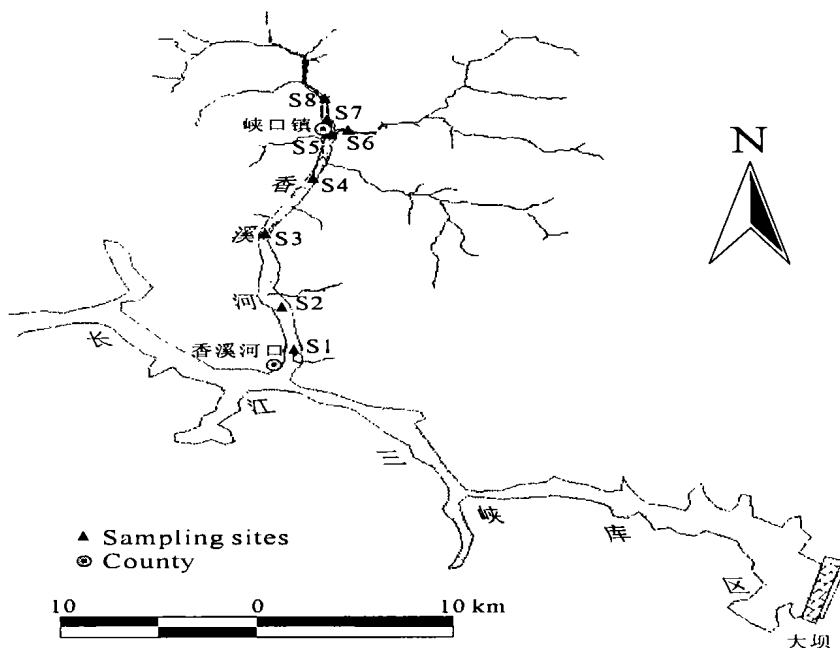


图 1 香溪河流域采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Xiangxi River Watershed

加鲁哥氏液固定。藻类定量样品按常规方法沉淀、去除上清液、收集藻类细胞、定容至 30 mL<sup>[6]</sup>,用浮游植物计数框在光学显微镜下 40 倍观察计数。为了减少工作量,本研究将原方法每次计算整片的十分之三,改为仅计算整片的百分之十五,呈梅花型选格,然后按相关公式换算成每升水样中藻类的细胞个数<sup>[7]</sup>。

#### 1.3 多样性指数的计算

分别运用Margalef多样性指数计算式 $d = (S - 1) / \ln N$ 和Menkinick多样性指数计算式 $\alpha = \frac{S}{\sqrt{N}} \times 1000$ 对藻类种类多样性进行计算。式中: $d$ 和 $\alpha$ 均表示多样性指数, $S$ 为种类数, $N$ 为细胞密度。

### 2 结果与讨论

#### 2.1 前期(1996 年 10 月~1997 年 7 月)香溪河流域浮游植物种类组成与细胞密度

##### 2.1.1 浮游植物种类组成

在前期的周年调查中,全流域 8 个采样点共鉴

定藻类 5 门 39 属 54 种,其中硅藻 17 属 23 种,绿藻 14 属 20 种,蓝藻 5 属 6 种,裸藻 1 属 3 种和金藻 2 属 2 种(见附录),图 2 展示了全流域各门藻类种类所占比例。总体而言,香溪河流域各采样点的藻类种

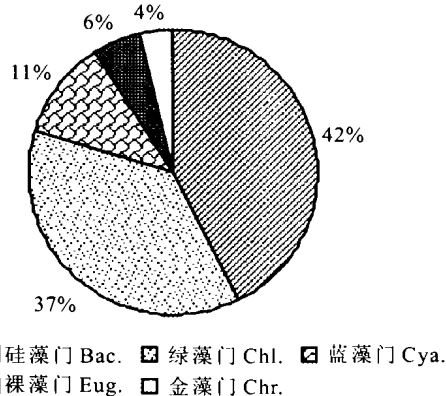


图 2 1996 年 10 月~1997 年 7 月浮游植物种类组成及各门藻类所占比例

Fig. 2 Composition and ratios of algae varieties in Xiangxi River Watershed from Oct., 1996 to July, 1997

类组成以天然河流性藻类为主,硅藻的种类始终最多,其比例分别占各站总种类数的 50%左右,尤其是与长江相接的香溪河口,硅藻的比例高达 70%。

各采样点均未发现极为单一的优势群落,种间差别亦不明显。从出现频率和数量分布来看,硅藻门的小环藻(*Cyclotella* sp.)、直链藻(*Melosira* sp.)、变异直链藻(*M. varians*)、桥弯藻(*Cymbella* sp.)、舟形藻(*Navicula* sp.)、冠盘藻(*Stephanopyxis* sp.)、脆杆藻(*Fragilaria* sp.)、针杆藻(*Synedra* sp.);绿藻门的栅藻(*Scenedesmus* sp.)、小球藻(*Chlorella* sp.)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、绿球藻(*Chlorococcum* sp.)、棘球藻(*Echinospaerilla limnetica*);蓝藻门的巨颤藻(*Oscillatoria princeps*)和两栖颤藻(*Osc. amphibia*);以及裸藻门的一种裸藻(*Euglena* sp.)等,是较为主要的种类,各采样点

均有出现,且在数量分布上亦占一定比例。

2.1.2 浮游植物的细胞密度

藻类的细胞密度是水生态系统功能和水质评价的重要参数之一,图 3 数据显示,各采样点浮游植物的细胞密度差别较大。临近长江的 S1 采样点的藻类细胞密度最低最高值分别为  $49.8 \times 10^5$  个  $L^{-1}$  和  $110 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,年均  $83.4 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ 。S2~S8 采样点的年均细胞密度分别为  $66.0 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,  $28.1 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,  $53.3 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,  $43.1 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,  $48.5 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,  $34.4 \times 10^5$  个  $L^{-1}$  和  $49.2 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ ,全流域年均细胞密度  $50.7 \times 10^5$  个  $L^{-1}$ 。从季节分布情况来看,各采样点藻类的细胞数量均在夏季出现高峰,秋季有所下降,冬季最低,冬夏值相差 40%左右,无疑与水温条件和光照强度有关。

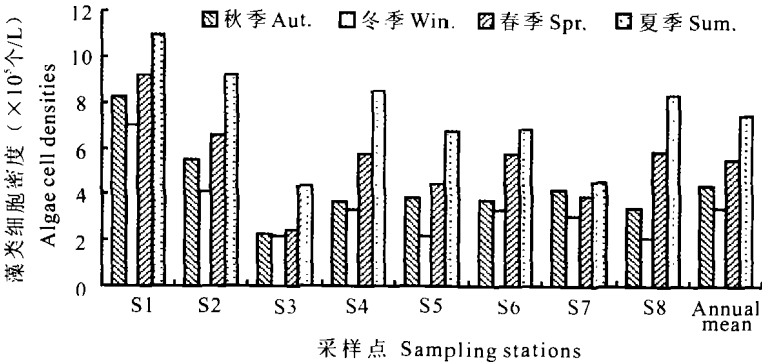


图 3 1996 年 10 月~1997 年 7 月香溪河流域藻类细胞密度季节变化  
Fig. 3 Seasonal changes of algal cell densities in Xiangxi River Watershed from Oct.,1996 to July,1997

2.2 后期(2003 年)浮游植物种类组成与细胞密度

2.2.1 浮游植物种类组成

在后期的周年采样调查中,香溪河流域各采样点共记录到藻类 81 种,分别属于 7 门 77 属,其中,绿藻门的属、种数居各门之首,有 37 属 41 种,分别占总属、种数的 48%和 50.6%;其次是硅藻 19 种和蓝藻 8 种,分别占全部种类数的 23.5%和 9.9%;裸藻、隐藻、甲藻和黄藻合计 13 种,仅占总种类数的 16.1%(图 4)。与 6 年前的状况相比,硅藻在各采样点所占的比例明显减少,绿藻的比例大幅增加;前期可观察到的金藻,6 年后未能出现,取而代之的是黄藻(见表 1)。香溪河流域后期鉴定到的绿藻多是一些适应性强,分布较广的湖泊水库型常见种类,它们在各采样点所占的比例依从 S1 至 S8 的顺序逐渐递增,且硅藻种类相应减少。鉴于河流型的藻类生态特

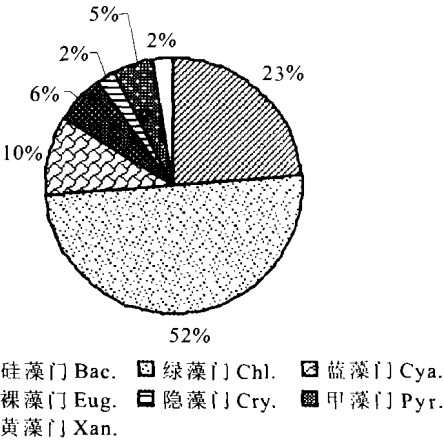


图 4 2003 年浮游植物种类组成及各门藻类所占比例  
Fig. 4 Composition and ratios of algae varieties in Xiangxi River Watershed in 2003

表 1 香溪河流域藻类名录  
Table 1 Appendix list of phytoplankton species identified in Xiangxi River Watershed

种类 Species	1996.10— 1997.7	2003	水质指示种 Indicator of water quality	种类 Species	1996.10— 1997.7	2003	水质指示种 Indicator of water quality
硅藻门				衣藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
Bacillariophyta				<i>Chlamydomonas</i> sp.			
美丽星杆藻	+	+	$\beta$ -ms	椭圆小球藻		+	
<i>Asterionella formosa</i>				<i>Chlorella ellipsoidea</i>			
扁圆卵形藻	+	+	$\beta$ -ms	蛋白核小球藻	+		$\alpha$ -ms
<i>Cocconeis placentula</i>				<i>Chl. pyrenoidosa</i>			
广缘小环藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	普通小球藻	+		$\alpha$ -ms
<i>Cyclotella bodanica</i>				<i>Chl. vulgaris</i>			
具星小环藻	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms	绿球藻	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms
<i>Cyc. stelligera</i>				<i>Chlorococcum</i> sp.			
椭圆波缘藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	极毛顶棘藻		+	
<i>Cymatopleura elliptica</i>				<i>Chodatella ciliata</i>			
桥弯藻	+	+	$\beta$ -ms	锐新月藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
<i>Cymbella</i> sp.				<i>Closterium acerosum</i>			
极小桥弯藻	+		$\beta$ -ms	拟新月藻	+		$\beta$ -ms
<i>Cym. perpusilla</i>				<i>Closteriopsis longissima</i>			
膨大桥弯藻	+		$\beta$ -ms	空星藻		+	$\alpha$ -ms
<i>Cym. turgida</i>				<i>Coelastrum sphaericum</i>			
肋缝硅藻	+		$\beta$ -ms	小空星藻	+		$\alpha$ -ms
<i>Frustulia</i> sp.				<i>Coe. microporum</i>			
普通等片藻	+	+	$\beta$ -ms	鼓藻		+	$\beta$ -ms
<i>Diatoma vulgare</i>				<i>Cosmarium</i> sp.			
双楔藻		+		十字藻		+	$\alpha$ -ms
<i>Didymosphenia</i> sp.				<i>Crucigenia apiculata</i>			
短缝藻		+		胶网藻	+		$\beta$ -ms
<i>Eunotia</i> sp.				<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>			
钝脆杆藻		+	$\beta$ -ms	异形藻		+	
<i>Fragilaria capucina</i>				<i>Dysmorphococcus variabilis</i>			
连接脆杆藻	+		$\beta$ -ms	棘球藻	+		
<i>Fra. construens</i>				<i>Echinospaerilla limnetica</i>			
微小异极藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	被刺藻		+	
<i>Gonphonema parvulum</i>				<i>Franceia ovalis</i>			
细布纹藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	疏刺多芒藻		+	$\beta$ -ms
<i>Gyrosigma kutzingii</i>				<i>Golenkinia paucispina</i>			
菱板藻		+		丛毛微孢藻	+		$\beta$ -ms
<i>Hantzschia</i> sp.				<i>Microspora floccosa</i>			
颗粒直链藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	肾形藻		+	
<i>Melosira granulata</i>				<i>Nephrocytium agardhianum</i>			
变异直链藻	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms	椭圆卵囊藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
<i>Mel. varite</i>				<i>Oocystis elliptica</i>			
舟形藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	粘四集藻		+	
<i>Navicula</i> sp.				<i>Palmella mucosa</i>			
小舟形藻	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms	集球藻		+	
<i>Nav. minima</i>				<i>Palmelloccocus miniatus</i>			
菱形藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	实球藻		+	$\beta$ -ms
<i>Nitzschia</i> sp.				<i>Pandorina morum</i>			
Sigma 菱形藻	+		$\beta$ -ms	双角盘星藻	+		$\beta$ -ms
<i>Nit. sigma</i>				<i>Pediastrum biradiatum</i>			
羽纹藻	+	+	os	整齐盘星藻	+		$\beta$ -ms
<i>Pinnularia</i> sp.				<i>Ped. integrum</i>			
弯楔藻	+		$\beta$ -ms	单角盘星藻	+		$\beta$ -ms
<i>Rhoicosphenia curvata</i>				<i>Ped. simplex</i>			
辐节藻	+	+	os	四角盘星藻		+	$\beta$ -ms
<i>Stauroneis</i> sp.				<i>Ped. tetras</i>			
星形冠盘藻	+	+	$\beta$ -ms	壳衣藻		+	$\beta$ -ms
<i>Stephanodiscus astraea</i>				<i>Phacotus</i> sp.			
螺旋双菱藻	+		os	浮球藻	+	+	$\beta$ -ms
<i>Surirella spiralis</i>				<i>Plankiosphaeria gelatinosa</i>			
针杆藻	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	多突藻		+	
<i>Synedra</i> sp.				<i>Polyedriopsis apinulosa</i>			
绿藻门				原皮藻		+	
Chlorophyta				<i>Protoderma viride</i>			
集星藻		+	$\beta$ -ms	翼膜藻		+	
<i>Actinastrum</i> sp.				<i>Pteromonas</i> sp.			
纤维藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	弓形藻		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
<i>Ankistrodesmus</i> sp.				<i>Schroederia setigera</i>			
小桩藻		+		双对栅藻	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms
<i>Characium</i> sp.				<i>Scenedesmus bijuga</i>			

续表 1

种类 Species	1996. 10— 1997. 7	2003	水质指示种 Indicator of water quality	种类 Species	1996. 10— 1997. 7	2003	水质指示种 Indicator of water quality
两形栅藻 <i>Sce. dimorphus</i>	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i> sp.		+	
斜生栅藻 <i>Sce. obliquus</i>	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms	螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.		+	
四尾栅藻 <i>Sce. quadricauda</i>	+	+	$\beta$ -ms	巨型螺旋藻 <i>Spi. major</i>	+		
月牙藻 <i>Selenastrum dibraianum</i>	+	+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	裸藻门 Euglenophyta			
群星藻 <i>Sorastrum americanum</i>		+		裸藻 <i>Euglena</i> sp.		+	
长拟球藻 <i>Sphaerellopsis elongata</i>		+		梭形裸藻 <i>Eug. acus</i>	+		
球囊藻 <i>Sphaerocystis schroeteri</i>	+	+	$\beta$ -ms	多形裸藻 <i>Eug. polymorpha</i>	+		
角星鼓藻 <i>Staurastrum</i> sp.	+	+	$\beta$ -ms	旋纹裸藻 <i>Eug. spirogyra</i>	+		
四角藻 <i>Tetraedron</i> sp.		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	鳞孔藻 <i>Lepocinclis</i> sp.		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
四星藻 <i>Tetrastrum</i> sp.		+	$\alpha$ -ms	扁裸藻 <i>Phacus</i> sp.		+	$\beta$ -ms
四刺藻 <i>Treubaria</i> sp.		+		囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.		+	
小箍藻 <i>Trochiscia</i> sp.		+		壶藻 <i>Urceolus</i> sp.		+	
丝藻 <i>Ulothrix</i> sp.		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	隐藻门 Cryptophyta			
团藻 <i>Volvox</i> sp.	+		os	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms
韦斯藻 <i>Westella</i> sp.		+		卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>		+	$\alpha$ -ms
线形拟韦斯藻 <i>Westellopsis lineris</i>		+		甲藻门 Pyrrophyta			
蓝藻门 Cyanophyta				角甲藻 <i>Ceratium</i> sp.		+	$\alpha$ -ms
鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.		+	$\alpha$ -ms	薄甲藻 <i>Glenodinium</i> sp.		+	
小型色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	+	+		裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp.		+	
拟色球藻 <i>Chroococcopsis</i> sp.		+	$\alpha$ -ms	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.		+	
蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis</i> sp.	+			黄藻门 Xanthophyta			
粘杆藻 <i>Gloeothece</i> sp.	+			膝口藻 <i>Gonyostomum</i> sp.		+	
银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i>		+	$\alpha$ -ms	单肠藻 <i>Monallantus</i> sp.		+	
微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.		+	$\alpha$ - $\beta$ -ms	金藻门 Chrysophyta			
颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.		+	$\alpha$ -ms	卵形单鞭金藻 <i>Chromulina ovalis</i>	+		
两栖颤藻 <i>Oscillatoria amphibia</i>	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms	分歧锥囊藻 <i>Dinobryon cylindricum</i>	+		os
巨颤藻 <i>Osc. princeps</i>	+		$\alpha$ - $\beta$ -ms				

注: + 表示出现的种类。  
Note: + denotes the species appeared.

征是以硅藻为主,而湖泊水库型的藻类生态特征是以绿藻为主,故此认为,香溪河流域各采样点越远离长江口,浮游植物的总体特征与一般湖泊水库中的情况越相近。

2.2.2 浮游植物细胞密度

对香溪河流域浮游植物定量计数的结果表明,全流域藻类的细胞密度波动在  $82\times10^5$  个  $L^{-1}$  和

$271\times10^5$  个  $L^{-1}$  之间,年均细胞密度  $164.8\times10^5$  个  $L^{-1}$ 。各采样点藻类细胞密度的最高值均出现在夏季,秋季次之,冬季最低,春季较冬季略高一点。不同季节藻类细胞密度的最高、最低值:夏季  $160\times10^5$  个  $L^{-1}$  和  $271\times10^5$  个  $L^{-1}$ ,平均  $216.8\times10^5$  个  $L^{-1}$ ;秋季  $143\times10^5$  个  $L^{-1}$  和  $245\times10^5$  个  $L^{-1}$ ,平均  $196.6\times10^5$  个  $L^{-1}$ ;冬季  $82\times10^5$  个  $L^{-1}$  和  $132\times10^5$

个 L<sup>-1</sup>, 平均 100.4×10<sup>5</sup> 个 L<sup>-1</sup>; 春季 108×10<sup>5</sup> 个 L<sup>-1</sup>和 153×10<sup>5</sup> 个 L<sup>-1</sup>, 平均 145.4×10<sup>5</sup> 个 L<sup>-1</sup>, 四季差异比较明显(图 5), 与亚热带地区河流和水库所呈现的规律基本一致, 显然与四季分明的季风气候有关。各采样点之间相比, 藻类细胞密度显示从 S1 至 S8 逐渐增加的趋势, 主要由于绿藻的细胞数

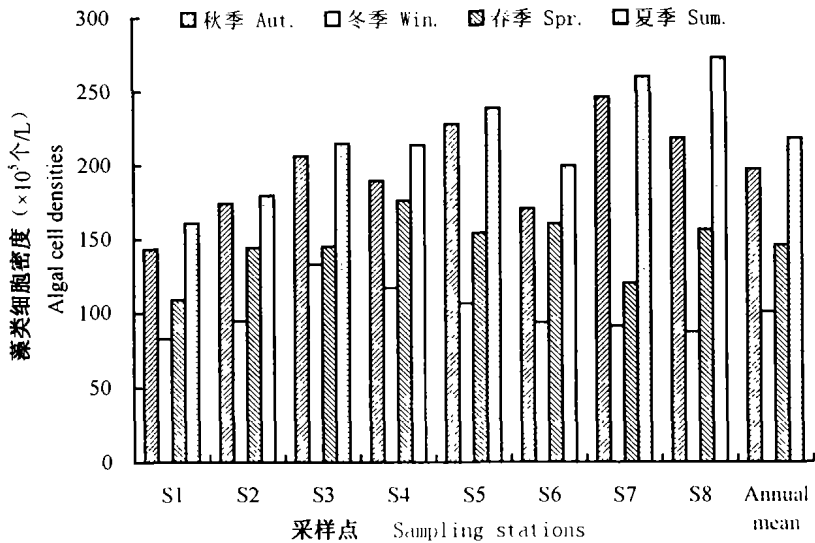


图 5 2003 年香溪河流域藻类细胞密度季节变化  
Fig. 5 Seasonal changes of algal cell densities in Xiangxi River Watershed during 2003

量明显增多所致。

**2.3 香溪河流域水质初步评价**

藻类的种群结构和污染指示种是水质生物学评价的重要参数。表 2 比较了前后 2 周年调查期间香溪河流域藻类的种类组成及不同营养型指示种类所占的比例, 数据显示, 6 年来该流域中藻类的属数和种类数明显增加, 富营养型指示种类所占的比例呈上升趋势, 贫营养型和中营养型指示种类的比例分别下降 73% 和 46%, 重富营养型指示藻类始终未曾出现, 说明香溪河流域的水域环境已遭到有机物的污染, 且对贫营养型和中营养型的藻类产生了不利影响。

种类多样性指数也是常用的水质评价指标, 主要依据藻类细胞密度和种群结构的变化评价水体的污染程度, 通常情况下, 指数值越大, 水质越净。表 3 列举了应用 Margalef 多样性指数和 Menkinick 多样性指数计算式<sup>[8,9]</sup>对调查期间香溪河流域各采样点浮游植物的种类多样性进行计算的结果, 数据显示, 1996~1997 的 *d* 值和 *α* 值分别在 1.7~2.3 和 9.7~18 之间波动, 评价结果为寡污和中污水体; 2003 年的两项值分别在 1.5~2.3 和 6.7~9.5 之间波动, 虽较前期值降低, 但评价结果不变; 比较各采样点之间的数据可见, 流域两端 S1 和 S8 采样点的种类多样性指数较其他采样点的略低, 但差值不

表 2 香溪河流域藻类组成和水质指示藻类的种数及其所占比例  
Table 2 Species composition and indicator algae in Xiangxi River Watershed

时期 Date	分类 Class	硅藻 Bac.	绿藻 Chl.	蓝藻 Cya.	裸藻 Eug.	隐藻 Cry.	甲藻 Pyr.	金藻 Chr.	黄藻 Xan.	合计 Total
前期 Early	属 Genera	17	14	5	1			2		39
	种 Species	23	20	6	3			2		54
后期 Later	属 Genera	19	37	8	5	2	4		2	77
	种 Species	19	41	8	5	2	4		2	81
指示种的种数 (Species, %)										
		os	β-ms		α-β-ms		α-ms		ps	
前期 Early		5(9.3)	21(38.9)		14(25.9)		4(7.4)		0	
后期 Later		2(2.5)	17(21.0)		20(24.7)		9(11.1)		0	
增减率(±Values, %)		-73	-46		-4.6		+50		0	

注: os. 贫营养型; β-ms. 中营养型; α-β-ms. 中富营养型; α-ms. 富营养型; ps. 重富营养型。  
Notes: os. Oligotrophy; β-ms. Mesotrophy; α-β-ms. Meso-eutrophy; α-ms. Eutrophy; ps. Hypereutrophy.

表 3 香溪河流域藻类年均细胞密度与种类多样性指数 \*  
Table 3 Annual mean cells and species diversity of algae in Xiangxi River Watershed \*

采样点 Sampling stations	前期 Early				后期 Later			
	种数 Species	细胞密度 Cell density ( $\times 10^5$ 个 $L^{-1}$ )	多样性指数 Index values		种数 Species	细胞密度 Cell density ( $\times 10^5$ 个 $L^{-1}$ )	多样性指数 Index values	
			d	$\alpha$			d	$\alpha$
S1	28	83.4	1.6942	9.6956	26	123.7	1.5309	7.3925
S2	33	66.0	2.0379	12.8453	28	147.9	1.6354	7.2807
S3	30	28.1	1.9530	17.8965	30	174.4	1.7392	7.1837
S4	34	53.3	2.1306	14.7270	28	173.8	1.6196	6.7163
S5	34	43.1	2.1602	16.3772	32	181.3	1.8548	7.5154
S6	37	48.5	2.3385	16.8008	31	155.7	1.8719	7.8563
S7	34	34.4	2.1925	18.3316	40	178.6	2.3356	9.4650
S8	30	49.2	1.8820	13.5250	33	182.9	1.9137	7.7163
Mean	33	50.8	2.0486	15.0249	31	164.8	1.8126	7.6408

\* 评价标准:  $\alpha=5$ , 清洁;  $\alpha>4$ , 寡污;  $\alpha>3\beta$ , 中污;  $\alpha<3\alpha$ , 中污;  $d>3$ , 轻或无污染;  $d=1\sim3$ , 中污染;  $d=0\sim1$ , 重污染<sup>[9]</sup>。  
\* Evaluated standards:  $\alpha=5$ , Cleanness;  $\alpha>4$ , Oligosaprobic;  $\alpha>3\beta$ ,  $\beta$ -mesosaprobic;  $\alpha<3\alpha$ ,  $\alpha$ -mesosaprobic;  $d>3$ , Oligosaprobic or cleanness;  $d=1\sim3$ , Mesosaprobic;  $d=0\sim1$ , Hypersaprobic<sup>[9]</sup>.

显著,这在一定程度上说明,各采样点的水质营养状  
况虽有差异,但总体水平基本相当。

纵观上述硅藻所占比例下降、绿藻比例大幅上  
升、金藻消失、小型化藻类增多、种类多样性指数减  
小等现象认为,香溪河流域的水质较 6 年前有所下  
降;鉴于该流域的藻类群落结构仍比较丰富且稳定  
性尚好,说明其水质的污染程度尚不严重,目前其水  
质营养等级为中-富营养型( $\alpha$ - $\beta$ -ms)。三峡水库蓄  
水发电后,水位升高对香溪河流域的水质和浮游植  
物的影响如何,作者将继续定期观察,结果另文报道。

参考文献:

[1] Zhang X H (张晓华), Xiao B D (肖邦定), Chen Z J (陈珠金), Hui Y (惠阳), Xu X Q (徐小清). Characteristics of the distribution of Cu, Pb, Cd, Cr, Zn in Xiangxi River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2002, 11(3): 269 - 273. (in Chinese).  
[2] Ye L (叶麟), Li D F (黎道丰), Tang T (唐涛), Liang X D (梁晓东), Cai Q H (蔡庆华). Spatial distribution of water quality in Xiangxi River, China[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2003, 14(11): 1959 - 1962. (in Chinese).  
[3] He C C (何长才). Investigation on the resources of

fish in Xiangxi River[J]. *Hubei Fishery* (湖北渔业), 1990(3): 84 - 85. (in Chinese).

[4] Jin T (金涛), Liu Y (刘艳). Geographical conditions for soil erosion and water loss in the Xiangxi Valley in the Three Gorges Region and its renovation[J]. *Research of Soil and Water conservation* (水土保持研究), 1996, 3(4): 98 - 102, 110. (in Chinese).  
[5] Jiang M X (江明喜), Deng H B (邓红兵), Tang T (唐涛), Cai Q H (蔡庆华). On spatial pattern of species richness in plant communities along riparian zone in Xiangxi River Watershed[J]. *ACTA Ecological Sinica* (生态学报), 2002, 22(5): 629 - 635. (in Chinese).  
[6] Xia Y C, Kuang Q J. Study on the phytoplankton in a lager reservoir[J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 1992, 10(4): 359 - 370.  
[7] Rao Q Z (饶钦止). Basic Knowledge of Lake Investigation (湖泊调查基础知识) [M]. Beijing: Science Press, 1956. (in Chinese).  
[8] Marglef D R. Infomation theory in ecology[J]. *General systems*, 1958(3): 36 - 71.  
[9] James E B, Jerrold H Z. Field and Laboratory Methods for General Ecology[M]. Washington DC: American Public Health Association, 1977. 136 - 145.