

# 以底栖动物评价湘江污染的研究

刘保元 王士达

胡德良

(中国科学院水生生物研究所)

(湖南省环境保护科学研究所)

## 提 要

湘江底栖动物种类较丰富,而上游种类尤多,生物多样性明显。中、下游某些江段因污染等因素影响,多样性有差异。Shannon 多样性指数反映出了这些变化。上游江段属于清洁水体,中、下游多数江段属于轻污染,少数江段为中污染,而霞湾港江段为重污染。

进行了水和底泥中化学毒物的含量与生物主要种类的数量变化的相关分析。

湘江发源于广西灵川县的海洋山,流经湖南,注入洞庭湖,全长 856 公里(在湖南境内 670 公里)。上游流经山区,河谷狭窄;中游沿岸多为起伏的丘陵地,有色金属矿藏丰富;下游地势平坦,仅有浅丘散布。湘江河床多为砾石和砂质构成,淤积较少。

湘江流域矿产的开发以及冶金、化工等工业废水的排入,加之湘江流域广泛使用农药,致使江水和底泥中重金属、六六六的含量不断增加。多年化学监测资料表明,湘江已被污染,且局部江段相当严重。鉴于生物监测是对水质监测的一种重要方法。我们于 1980 年 7 月和 10 月以及 1981 年 7 月、10 月和 12 月调查了湘江底栖大型无脊椎动物的种群分布,1980 年在全江段进行普查,1981 年则着重在株洲霞湾江段调查。根据底栖动物的种类和数量,使用生物多样性指数,对湘江干流及其重点江段污染状况作出生物学评价,为保护水资源提供生物学依据。

## 方 法

从湘江上游兴安的仙人掌到下游湘阴的樟树港,全江干流设 11 个断面,在左右两岸采样(图 1),仙人掌为对照断面。由于湘江底质多为砾石和砂质,故使用人工基质采样器,其规格为直径 16 厘米、高 18 厘米和直径 16 厘米、高 20 厘米的圆柱形铁笼(用 8 号和 12 号铁丝编成),小孔的面积为 4—5 平方厘米。铁笼底部铺一层 40 目的尼纶筛绢,内装干净的长为 6—8 厘米的卵石,共重 5—6 公斤(图 2)。在每个采样点上放置 2 个铁笼采集生物标本作为计算单位。铁笼用棉蜡绳固定在趸船或航标上,水深多为 2—4 米,个别水深达 7 米以上,流速 0.20—0.58 米/秒。

铁笼沉入水底静置 14 天后取出,将卵石倒入桶内,用猪毛刷洗净卵石和筛绢上的生物,经 40 目分样筛浓缩,在白色搪瓷盘中挑出生物标本,再用 70% 的酒精固定保存,带回室内在解剖镜和显微镜下鉴定种类并统计数量。



图1 湘江干流采样断面示意图

Fig. 1 Sampling stations along the Xiang Jiang River

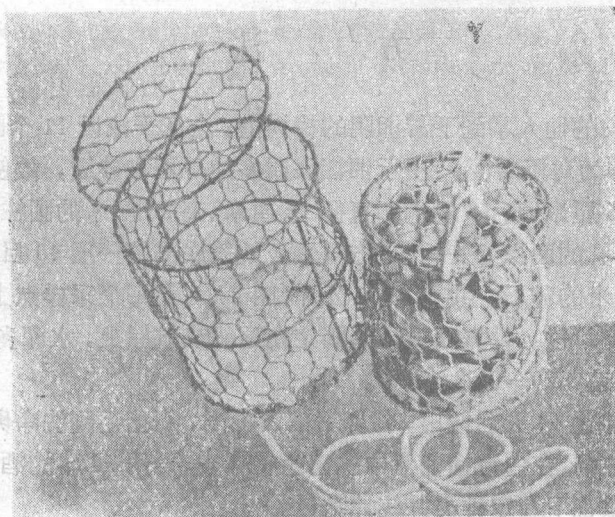


图2 人工基质采样器

Fig. 2 Sampler of artificial substrate

结 果

1. 群落结构的变化

1980 年 7 月和 10 月采到蜉蝣目稚虫 12 种,毛翅目幼虫 7 种,摇蚊科幼虫 6 种,寡毛类 12 种,软体动物 12 种;此外还有一些其他的种类(表 1)。仙人掌断面底栖动物的种类比较丰富,共采到 47 种,其中敏感的种类较多,因仙人掌江段两岸居民稀少,基本没有受到人为的干扰,接近自然生态条件,所以生物的多样性最高。

老埠头断面在零陵以下 6 公里,采到底栖动物 42 种,其中蜉蝣目稚虫 9 种,生物多样性较高。松柏断面位于松柏镇以下 10 公里,由于水口山铅、锌矿,柏坊铜矿,以及铅、锌、砷等冶炼厂排出的废水,虽然经过部分处理后注入湘江,但对底栖动物仍造成影响,其种类减少为 14 种。根据Hawkes (1979) 的研究,真涡虫 (*Planaria*) 不能容忍任何感觉到的

表 1 湘江底栖动物的分布  
Tab. 1 Distribution of zoobenthos along the Xiang Jiang River 1980 年

分 布		采 样 站									
动 物 名 称		兴安	零陵	衡阳		株洲		湘潭		长沙	
		仙人 掌	老埠 头	松柏	合江 套	枫溪	霞湾	公路 桥	易家 湾	五一 桥	浏阳 河口
蜉 蝣 目 (Ephemeroptera)	花鳃蜉属 ( <i>Potamanthus</i> )	+	+		+	+					
	花扁蜉属 ( <i>Ecdyonurus</i> )	+++	++		+	++			+		
	动扁蜉属 ( <i>Cinygma</i> )	+									
	小蜉属 ( <i>Ephemerella</i> )	+++	+								
	四节蜉属 ( <i>Baetis</i> )	+++	+++	++	++	+++		+	+		
	中毛四节蜉属 ( <i>Centropilum</i> )			+		+					
	拟小裳蜉属 ( <i>Paraleptophlebia</i> )		+	+	+			+	+		
	刺小裳蜉属 ( <i>Thraulius</i> )	+									
	膜小裳蜉属 ( <i>Choroterpes</i> )	+++	++			+					
	蜉属 ( <i>Ephemera</i> )	+	+								
	细蜉属 ( <i>Caenis</i> ) <sub>1</sub>	+++	+++		+++	+++		++	++	+	+
	蜚蜉属 ( <i>Prosopistoma</i> )		+		++	+			+	+	
蜻 蜓 目 (Odonata)	蜻属 ( <i>Libellula</i> )	+	+		+						
	箭蜓属 ( <i>Gomphus</i> )	+									
	丝翅属 ( <i>Lestes</i> )	+							+		
半 翅 目 (Hemiptera)	水螳属 ( <i>Mesovelis</i> )	+	+								
	盘螳属 ( <i>Aphelocheirus</i> )	+	+								
	划螳科 ( <i>Corixidae</i> )	+	+								

续表 1

分 布  动 物 名 称		采 样 站										
		兴安 仙人 掌	零陵 老埠 头	衡阳 松柏	株洲 合江 套	株洲 枫溪	株洲 霞湾	湘潭 公路 桥	湘潭 易家 湾	长沙 五一 桥	长沙 浏阳 河口	湘阴 樟树 港
毛 翅 目 (Trichoptera)	原石蚕属 ( <i>Rhyacophila</i> )				+	+						++
	小石蚕属 ( <i>Hydroptila</i> )	+++	+	+	+	+	+	+		+		+
	短毛蚕属 ( <i>Orthotrichia</i> )	+	++									
	纹石蚕属 ( <i>Hydropsyche</i> )	+	+		+	+						
	双纹石蚕属 ( <i>Diplectrona</i> )	+										
	管石蚕属 ( <i>Psychomyia</i> )	+		++		+			+		++	+++
	长角石蚕属 ( <i>Leptocerus</i> )	+										
鞘 翅 目 (Coleoptera)	甲虫属 ( <i>Stenelmis</i> )	+++	+		+	++	+		+	+		
	扁泥甲属 ( <i>Psephenus</i> )	+	+									
摇 蚊 科 (Chironomidae)	五脉摇蚊属 ( <i>Pentaneura</i> )	++	++	+	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	++
	直突摇蚊属 ( <i>Orthocladius</i> )	++	++	+	++	++	+	++	++	++	++	+
	多足摇蚊属 ( <i>Polypedilum</i> )	+++			+	+			+		+	
	流水长附摇蚊属 ( <i>Rheotanytarsus</i> )	+++	+			+		+	+		+	
	隐摇蚊属 ( <i>Cryptochironomus</i> )				+				+			
	摇蚊属 ( <i>Chironomus</i> )								+	++		
双 翅 目 (Diptera)	蠓科 ( <i>Ceratopogonidae</i> )	+	+						+		+	
	蚋属 ( <i>Simulium</i> )	+										
蛭 类 (Hirudinea)	巴蛭 ( <i>Barbronia ueberi</i> )									+		
	宽身舌蛭 ( <i>Glossiphonia lataleri</i> )	+	+							++	+	
	扁舌蛭 ( <i>G. complanata</i> )					+		+	+	+		
	蚌蛙蛭 ( <i>Batrachobdella kasmiana</i> )		+									
寡 毛 类 (Oligochaeta)	霍甫水丝蚓 ( <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> )		+		+++	++		+++		++	++	
	巨毛水丝蚓 ( <i>L. silvani</i> )				+			+		+++		
	苏氏尾鳃蚓 ( <i>Branchiura sowerbyi</i> )				++			++	+	+	++	
	中华河蚓 ( <i>Rhyacodrilus sinicus</i> )				++	++		+++		+++	++	
	带丝蚓属 ( <i>Lumbriculus</i> )	+										
	多毛管水蚓 ( <i>Aulodrilus pluriseta</i> )				++							
	印西头鳃蚓 ( <i>Branchiodrilus hortensis</i> )				+				+	++		
	尖头杆吻虫 ( <i>Stylaria fossularis</i> )	++	++		+					+		
	尾盘虫属 ( <i>Dero</i> )	+			+	+			+	+++		
	管盘虫属 ( <i>Aulophorus</i> )				+	+				++		

续表 1

分 布		采 样 站		兴 安		零 陵		衡 阳		株 洲		湘 潭		长 沙		湘 阴
				仙 人 掌	老 埠 头	松 柏	合 江 套	枫 溪	霞 湾	公 路 桥	易 家 湾	五 一 桥	浏 阳 河 口	樟 树 港		
寡毛类 (Oligochaeta)	拟仙女虫属 ( <i>Paranais</i> )												+++			
	参差仙女虫 ( <i>Nais variabilis</i> )	+++	++		+	+++		+++	+++	+++	+++	+	+	++		
软体动物 (Mollusca)	方格短沟蜆 ( <i>Semisulcospira cancellata</i> )	+++	+++	+	+	+						+	+++	+		
	铜锈环稜螺 ( <i>Bellamya aeruginosa</i> )	+++	+++	+						+	+++	+++				
	光滑狭口螺 ( <i>Stenothyra glabra</i> )				+	++		+	+++	++	+	++				
	纹沼螺 ( <i>Parafossarulus striatulus</i> )	+	+++										+			
	大沼螺 ( <i>P. eximius</i> )	+++	+													
	椭圆萝卜螺 ( <i>Radix swinhoei</i> )	+	+							+			+			
	凸旋螺 ( <i>Gyraulus convexiusculus</i> )	+	++	++	+	+		+	++	++						
	拟半球多脉扁螺 ( <i>Polypylis hemisphaerula</i> )		++		+											
	长角涵螺 ( <i>Alocinma longicornis</i> )	++	+++		+								+	+++		
	曲螺属 ( <i>Ancylus</i> )	+	+							+	+					
	河蚬 ( <i>Corbicula fluminea</i> )	+	+		++	++	+	+	+	+	+		+	+		
	淡水壳菜 ( <i>Limnoperna lacustris</i> )		+	+	+	+	+	+++	+++	++	+	++	+	++		
	水蜘蛛 ( <i>Hydracarina</i> )	+	+	+	++	+		+		+						
	线虫 (Nematoda)				+								+	+		
其他动物 (Others)	等足类 (Isopoda)								+		+					
	沼虾 ( <i>Macrobrachium</i> )											++	+	++		
	米虾 ( <i>Caridina</i> )	++	+		+	+		+	+	+	+	+	+			
	钩虾 ( <i>Gammarus</i> )					+			+							
	真涡虫 ( <i>Planaria</i> )	++	++	++		+										
	水螅 ( <i>Hydra</i> )	+	++	+	+	+++		+++	+++	+				+		

注：10 个以下用“+”表示；11—50 个用“++”表示；51 个以上用“+++”表示。

有机污染<sup>[5]</sup>。而上述各断面都有真涡虫出现,因此,可以说在这一江段基本上不存在有机污染。衡阳市以下左岸合江套,采到耐污的寡毛类,如霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*) 和中华河蚬 (*Rhyacodrilus sinicus*), 同时摇蚊幼虫的种类也增多。衡阳至枫溪港沿江无大型工业区,水质良好,所以枫溪断面底栖动物的种类恢复到 33 种,其中蜉蝣目稚虫 7 种,也出现真涡虫。

霞湾港在株洲市以下,距枫溪港 10 公里,右岸清水塘工业区的废水由霞湾港排污口排出,呈黑褐色,多泡沫,有刺激性臭味;污染物沉积江底,对底栖动物影响十分显著,在右岸没有采到任何底栖动物。在左岸(靠近中央)蜉蝣目稚虫均消失,仅采到极少量的生物。

说明该江段污染严重。湘潭公路桥断面的种类亦甚少。易家湾断面距湘潭 15 公里,水生昆虫的种类及数量明显减少,而软体动物的种类和数量相对增加,淡水壳菜 (*Limnoperna lacustris*) 成为优势种。在长沙五一桥右岸采到大量寡毛类,占该采样点总数的 53%。Hawkes (1979) 指出,寡毛类在有机污染状况下,常常是无脊椎动物中的优势种,其中霍甫水丝蚓被认为是最耐污的<sup>[5]</sup>。这表明五一桥右岸有机污染明显,湘阴樟树港水面宽阔,采样点水深 7 米以下,采到生物的种类和数量均较少。

## 2. 主要有毒物质浓度与底栖动物数量的相关分析

根据湖南省环境保护科学研究所 1980 年 5 月份水样分析和中国科学院地理研究所 1980 年 5 月份底泥分析的结果,大多数断面毒物的浓度未超过国家规定地面水最高允许浓度。但为了查明这些毒物的浓度与底栖动物的数量变动之间的关系,我们进行了有毒物质在水中和底泥中的含量与 1980 年 7 月份优势种数量的相关分析。试图从野外调查资料中找出对某种有毒物质特别敏感,或有较大忍耐限的底栖种类,并用以指示湘江水质污染的程度。

分析结果(表 2, 3)表明,湘江水中镉、铜、汞和六六六的浓度,与五脉摇蚊 (*Pentaneura*)、河蚬 (*Corbicula fluminea*) 的数量变化关系不明显。方格短沟蜷 (*Semisulcospira cancellata*) 的数量变化仅与铜呈负相关,而铜锈环棱螺 (*Bellamyia aeruginosa*) 的数量变化与汞呈明显正相关,淡水壳菜的数量变化与镉呈负相关,而与铜呈正相关。这说明不同种类的软体动物对不同金属的反应不同。但细蟚 (*Caenis*) 的数量变化与铜、汞、六六六

表 2 湘江底栖动物优势种与水中化学因子的相关系数

Tab. 2 Relationship between the dominant zoobenthos and chemical content of water in the Xiang Jiang River

相关系数 水中化学因子 动物种类	Cd	Cu	Hg	六六六 (BHC)
五脉摇蚊 (N = 14)	0.277	0.165	0.162	0.186
细蟚 (N = 12)	-0.009	-0.710**	-0.580*	-0.578*
四节蟚 (N = 10)	0.302	-0.928**	-0.149	0.760*
方格短沟蜷 (N = 10)	-0.352	-0.660*	-0.528	-0.521
铜锈环棱螺 (N = 8)	0.539	0.276	0.808*	0.374
河蚬 (N = 10)	-0.237	0.361	-0.112	-0.196
淡水壳菜 (N = 11)	-0.608*	0.761**	0.144	0.357

\* 表示相关显著 ( $0.05 > P > 0.01$ ); \*\* 表示相关非常显著 ( $P \leq 0.01$ )。

表 3 湘江底栖动物优势种与底泥中化学因子的相关系数  
Tab. 3 Relationship between dominant zoobenthos and chemical content  
of silt in the Xiang Jiang River

相关系数 底泥中化学因子 动物种类	Cd	Pb	Zn	Cu
五脉摇蚊 (N = 14)	-0.668**	-0.021	-0.145	-0.576*
细 螺 (N = 12)	-0.207	-0.232	-0.296	-0.337
四 节 螺 (N = 10)	-0.352	-0.336	-0.227	-0.309
方格短沟蜷 (N = 11)	-0.512	-0.547	-0.098	-0.403
铜锈环棱螺 (N = 8)	-0.156	-0.185	-0.116	-0.143
河 蚬 (N = 10)	0.852**	0.828**	0.814**	0.842**
淡水壳菜 (N = 11)	0.159	-0.131	0.003	0.017

\* 和 \*\* 的意义同表 2。

的浓度呈明显负相关,四节螺 (*Baetis*) 的数量变化与铜也呈负相关,而与六六六的浓度则呈正相关。这说明螺蚌目稚虫对某些金属较为敏感,而不同种类的螺蚌对六六六的敏感性不同。当毒物浓度达到螺蚌目稚虫忍耐限以上时,它们就不能生存,因此,在湘江的某个断面,根据是否存在螺蚌目稚虫,及其种类和数量的多少,基本上可以判断水质污染的程度。

湘江底泥中几种重金属浓度与细螺、四节螺、方格短沟蜷、铜锈环棱螺和淡水壳菜的数量变化相关不显著。但五脉摇蚊的数量变化与镉、铜呈明显的负相关,说明五脉摇蚊对某些金属毒物是敏感的。河蚬的数量变化与镉、铜、锌、铅的浓度呈明显正相关。它对底泥中镉、铜、铅、锌的含量只在一定范围内有较高的忍耐性。

某种毒物浓度与某些生物的数量变化无明显相关并不意味着污染湘江的有毒物质对底栖动物的生长和发育不产生影响<sup>[1]</sup>。因该毒物的浓度还没有达到一定的量,对生物生命活动的影响暂时没有表现出来。另一方面,由于水文、地理条件变化,亦影响采到的生物数量,所以相关系数并未达到其显著界限。

对湘江干流污染的评价

以底栖无脊椎动物评价水质和监测污染是生物学评价水质的一种重要方法,在国内外已经有较多的应用,并取得良好的效果<sup>[2,3,6]</sup>。底栖动物长期生活于水体底部,大多迁移缓慢,生命周期较长。水体发生的变化,直接地影响它们的生长发育。因此,水体中底栖

无脊椎动物的现存量常能较确切地反映水体的质量状况,成为水体环境质量的天然监测者。在采样点之间对底栖动物的种类和数量进行比较时,为能得出一个简单明确的相对数量概念,国外有不少人提出过各种生物指数。Shannon 多样性指数是把生物群落结构通过数学处理得到的一种简化指标。它的主要优点是便于在采样点之间相互比较<sup>[8]</sup>。同其他生物指数和计分制相比,这个指数较为客观,在评价无机毒物污染方面比有机污染的应用范围更广泛<sup>[5]</sup>。我们把用 Shannon 公式计算得到的多样性指数值列入表 4。根据我国具体情况,用该指数值评价水质时其标准为:指数值大于 3 为清洁水体;3—2 为轻度污染;2—1 为中度污染;小于 1 为重污染;0 为严重污染。

根据上述标准,从表 4 可以看出,仙人掌江段为清洁水体。老埠头、松柏、合江套 3 个江段,指数值在 3—2 之间,为轻污染。枫溪江段指数值在 3 以上,为清洁水体。霞湾右岸没有采到底栖动物,指数值等于 0,为严重污染;左岸指数值小于 1,为重污染。湘潭公路桥右岸污染重于左岸。易家湾、五一大桥、浏阳河口、樟树港 4 个江段,指数值都在 2—3 之间,为轻污染。

表 4 湘江底栖动物及其 Shannon 多样性指数

1980 年 7 月和 10 月

Tab. 4 Shannon diversity index of zoobenthos along the Xiang Jiang River

项目	仙人掌	老埠头		松柏		合江套		枫溪		霞湾		公路桥		易家湾		五一桥		浏阳河口		樟树港	
		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
种类	42	36	26	11	10	33	13	24	19	6	0	22	5	21	20	12	27	25	12	13	9
数量	775	966	333	62	47	418	63	175	129	7	0	745	129	128	496	59	1446	233	184	246	26
指数值	3.95	2.71	3.00	2.97	2.72	3.02	2.97	3.18	3.21	0.73	0	2.11	0.78	2.24	2.65	2.48	2.71	2.83	2.37	2.11	2.27

从相关分析及有关文献中都可看到水生昆虫对重金属毒物较敏感。据 Spehar 等 (1978) 报道,蜉蝣稚虫对镉 28 天半致死浓度 ( $LC_{50}$ ) 小于 3 微克/升,纹石蚕在镉浓度为 85.5 和 238 微克/升时,与对照明显不同。虫体作强有力的卷曲运动,呈现不正常状态<sup>[9]</sup>。Nehing (1976) 报道蜉蝣对铜、铅、锌 14 天 TLm 值分别为 0.18—0.20 毫克/升, 3.5 毫克/升和大于 9.2 毫克/升。试验表明,水生昆虫对重金属的忍耐限比多数鱼类大。蜉蝣可以监测重金属污染<sup>[7]</sup>。Winner 等 (1980) 发现蜉蝣目稚虫、毛翅目幼虫对重金属较敏感,因此,他提出摇蚊科、毛翅目和蜉蝣目的相对数量,可以指示重金属污染的程度。在重污染的水体中仅存摇蚊;在中等污染的区域,摇蚊和毛翅目丰富;在最小毒物污染或未污染的水体中,毛翅目和蜉蝣目皆丰富<sup>[10]</sup>。从湘江采到的水生昆虫(表 5)可以看出:仙人掌、老埠头两个断面的蜉蝣目数量占 60% 以上,再加上毛翅目的数量则接近 80%,说明该江段没有污染或只有轻度的污染。松柏、合江套两个断面的蜉蝣目和毛翅目的数量达 50% 以上,均是轻污染。枫溪断面的蜉蝣目和毛翅目的数量则占 70% 以上,该江段污染很轻或没有污染。霞湾断面是重污染。公路桥、易家湾、五一桥、浏阳河口 4 个断面摇蚊的数量丰富,占 70% 以上,并有少量的毛翅目幼虫,该江段为中度污染,其中五一大桥右岸蜉蝣目、毛翅目都不存在,而摇蚊占绝对优势,表明右岸局部范围是重污染。樟树港断面毛翅目数量明显增加,占 70% 以上,而摇蚊数量减少,该江段为轻污染。



表 5 湘江水生昆虫的百分比(%)  
Tab. 5 Percentage of aquatic insects along the Xiang Jiang River

1980 年 7 月和 10 月

项目	仙人掌	老埠头	松柏	合江套	枫溪	霞湾	公路桥	易家湾	五一桥	浏阳河口	樟树港
昆虫数量	595	296	65	274	355	0	159	163	211	141	112
蜉蝣目	70.4	69.3	47.7	52	65.4	0	11.2	23.9	1.4	5.7	0.9
毛翅目	5.5	9.5	21.5	1.8	8.2	0	1.3	1.2	2.4	31.9	71.4
摇蚊科	15.1	14.2	27.7	38.9	18.5	0	86.2	71.8	94.8	62.4	27.7
其他昆虫	9.0	7.0	3.1	7.3	7.9	0	1.3	3.1	1.4	0	0

Winner 等用水生昆虫的相对数量,把重金属污染分成 3 种不同的程度。使用 Shannon 多样性指数值,把污染分为 5 个等级。两者虽有不同之处,但总的来看,评价水质还是一致的,能够相互验证。Shannon 多样性指数值可以反映生物群落中两个信息,一是群落中种类数,一般是种类数越少,指数值越小,表示污染越严重;二是该指数值大小决定于群落中各种生物个体数的均匀情况,个体数量分布越均匀,其值越高。

综上所述,仙人掌是清洁水体;老埠头、松柏、合江套江段为轻度污染;枫溪江段为清洁水体;霞湾江段左岸为重污染,右岸为严重污染;公路桥为中度污染;而易家湾,五一桥、浏阳河口江段均为轻度污染,其中五一桥右岸有机污染较重;樟树港江段也是轻度污染(图 3)。

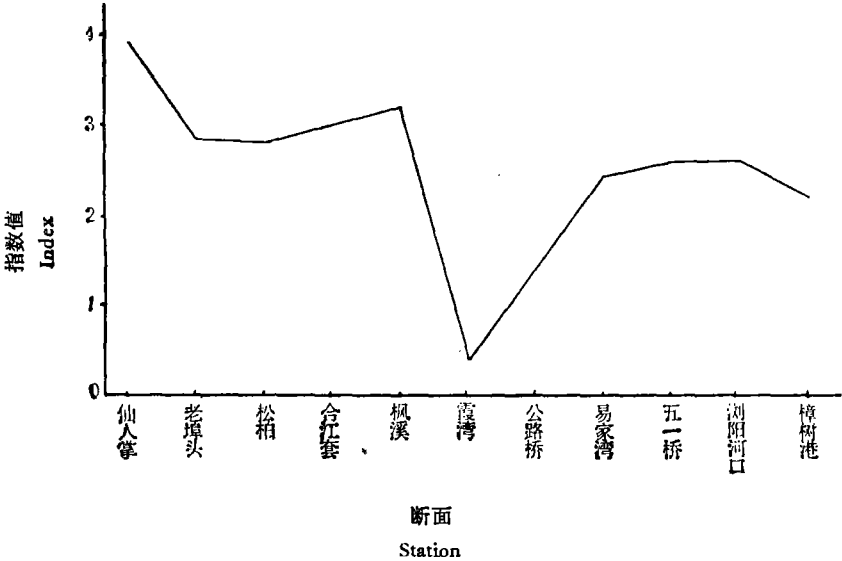


图 3 对湘江各断面污染程度的评价

Fig. 3 Evaluation of the degree of pollution at various transects of the Xiang Jiang River

对株洲霞湾江段污染的评价

通过湘江干流的普查,可以看出湘江水质污染以霞湾江段最为严重。因此,我们于

表6 霞湾江段底栖动物的种类和数量

Tab. 6 Species and quantities of zoobenthos in stations near Xiawan

项 目		枫 溪	霞湾上	十四水厂	马家河	17号标	14号标	下摄司
离排污口距离(公里)		-10	-0.2	1.9	5.3	8.8	11.8	15.7
7 月	种类	18	14	4	6	6	4	—
	数量	294	238	28	56	15	34	—
10 月	种类	24	—	3	8	—	11	13
	数量	175	—	101	22	—	95	111
12 月	种类	17	9	0	2	5	9	6
	数量	91	26	0	73	9	45	45

1981年在该江段3次采集底栖动物。在霞湾港排污口上至枫溪港(10公里),下至湘潭市下摄司(15.7公里),在全长25.7公里的右岸共设7个采样点,其中排污口以上2个点,以下5个点。第一点位于枫溪港,水质良好,作为对照。第二点位于排污口上0.2公里,以监测株洲市及其他工厂排放废水对湘江水质的影响。第三点位于排污口下1.9公里处的十四水厂,其下4个采样点基本上相距3公里。

3次采集的底栖动物的种类和数量(表6)以枫溪港的种类最多,其次是霞湾上和14号航标。枫溪港出现6种蜉蝣目稚虫,除十四水厂外的其他采样点也出现2种或3种蜉蝣目稚虫。排污口下1.9公里处的十四水厂,在7月和10月份仅采到摇蚊幼虫,如五脉摇蚊和直突摇蚊(*Orthocladius*)。但在枯水期12月份就没有采到任何生物。排污口下11.8公里处的14号航标,生物已明显恢复。再往下的下摄司采样点,摇蚊幼虫成为优势种。

应用 Shannon 公式计算生物多样性指数,划分各点水质污染的等级(表7)。可以看出,枫溪港江段水质为清洁水。排污口上0.2公里,因受株洲市及工厂废水的影响,水质为轻污染。排污口下1.9公里处十四水厂的水质为重污染。到5.3公里的马家河,水质污染开始恢复为中度污染。11.8公里处14号航标的水质为轻污染。14公里处的下摄司水质因受湘潭市发电厂废水的影响,污染又加重,为中污染。

表7 霞湾江段 Shannon 多样性指数

Tab. 7 Shannon diversity index in stations near Xiawan

月份	枫溪	霞湾上	十四水厂	马家河	17号标	14号标	下摄司
7月	2.52	2.52	1.72	1.34	1.69	1.89	—
10月	3.84	—	1.10	2.57	—	2.55	2.10
12月	3.02	2.72	0	0.85	2.11	2.18	1.06
平均	3.13	2.62	0.94	1.55	1.90	2.21	1.58
污染等级	清洁水	轻污染	重污染	中污染	中污染	轻污染	中污染

由于湘江流域地处我国亚热带地区,雨量充沛,水流量大,稀释自净能力较强。根据多年的化学监测,霞湾港排出的废水和各种污染物质对水和底泥的污染是全江段最为严重

的。如废水的 DO 值接近于 0, COD 值高达 502.2 毫克/升。当其流入江内以后,在排污口下 0.2 公里处的污染带处, DO 值可恢复到 8 毫克/升。COD 值仅有 30 毫克/升。由此可见,湘江的自净能力是相当强的。在湘江平水期的水文条件下,霞湾港以下 1 公里以内为重金属主要吸附沉降区。沉降范围大致在 14 公里以内,在下摄司底泥和水中,金属的含量均已接近排污口以上两个采样点<sup>[4]</sup>。因此, 11.8 公里处 14 号航标的水质已恢复到轻污染。15.7 公里处下摄司水质污染反而加重,皆因新污染源所致。

1981 年 7 月和 10 月两次采样时,水位较高,流量大,水中漂浮大量的水绵 (*Spirogyra*) 和无脊椎动物。由于铁笼在江底放置十几天,漂浮的水生昆虫拓殖到铁笼上<sup>[11]</sup>。比较敏感的蜉蝣在十四水厂不能生存而死亡。而摇蚊幼虫暂时存在。到 12 月枯水期采集时,由于水位较低,流量较小,相对的水质污染加重,摇蚊幼虫也不能生存而死亡。所以 12 月份在十四水厂处没有采到任何生物。这也说明枯水期水质污染程度比丰水和平水期为重。

## 结 论

1. 根据湘江全江段和重点江段底栖无脊椎动物种群变化,以及水、底泥中不同金属毒物和六六六的浓度与生物数量变化的相关分析,蜉蝣目稚虫对毒物较为敏感。由此可根据蜉蝣目稚虫是否存在以及数量的多少,判断湘江水质污染程度。在广义上说,蜉蝣可以作为湘江水质污染的指示生物。

2. 根据湘江全江段和重点江段底栖无脊椎动物群落结构的变化,应用 Shannon 多样性指数评价湘江水质污染,所得结果与水、底泥理化分析结果基本相符。因此该指数值适于评价湘江水质。在污染重的江段,水质经过自然的净化,指数值必须接近 3 或 3 以上,才能认为水质已恢复清洁,如果指数值在 2—3 之间,该处仍为轻污染。由于湘江稀释自净能力强,再流经 5 公里以上的距离,水质可恢复为清洁水。

3. 湘江底泥中,多数断面铅、锌含量比较高。如霞湾港排污口下 4.8 公里处铅为 450 ppm, 锌为 1240 ppm<sup>[4]</sup>。但对底栖动物影响不明显。通过计算相关系数,大多数生物数量变化与底泥中铅、锌浓度相关不显著,这与铅、锌毒性较低有关,因某些底栖动物对重金属有较大的忍耐限,它们对底栖动物的生理生化毒理影响尚不能在种类和数量上明显地表现出来。

4. 7 月份和 10 月份采到的底栖动物种类和数量,在相同采样点趋于一致,但有季节变化,如 10 月份采到的种类和数量一般多于 7 月份。霞湾江段,12 月份采到的种类和数量少于 7 月和 10 月份。因 12 月份为枯水期,水位低,径流量小,污染物浓度相应增高。

5. 生物监测结果表明,湘江年径流量大,水温高,水体自净能力较强,水质仅局部江段(如霞湾)污染严重,大部分江段为轻度污染或清洁水体。由于中、下游工业城市较多,及流域内农田使用农药量多,污染对湘江水生生物和水产资源带来的威胁不容忽视。

## 参 考 文 献

- [1] 王士达等, 1981. 官厅水库主要污染物质对底栖动物的影响. 环境污染与生态学文集, 58—65 页. 江苏科学技术出版社。

- [2] 颜京松等, 1980。以底栖动物评价甘肃境内黄河干支流枯水期的水质。环境科学, (4): 12—20。
- [3] 刘保元等, 1981。利用底栖动物评价图们江污染的研究。环境科学学报, (4): 337—348。
- [4] 曾北危等, 1981。霞湾江段稀释自净能力的研究。环境科学, (5): 41—46。
- [5] Hawes, H. A., 1979. *Biological Indicators of Water Quality*. John Wiley and Sons.
- [6] Hellawell, J., 1977. *Biological Monitoring of Inland Fisheries*. Applied Science Publishers Ltd., London.
- [7] Nehring, R. D., 1976. Aquatic insecta as biological monitors of heavy metal pollution. *Bull. Envir. Contam. Toxic.*, 15(2): 147—155.
- [8] Shannon, C. E. et al., 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana.
- [9] Spehar, R. L. et al., 1978. Toxicity and bioaccumulation of cadmium and lead in aquatic invertebrates. *Envir. Pollut.*, 15(3): 195—208.
- [10] Winner, R. W., 1980. Insect community structure as an index of heavy metal pollution in lotic ecosystems. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*, 37(4): 647—655.
- [11] Wise, D. H. et al., 1979. Colonization of artificial substrates by stream insects: Influence of substrate size and diversity. *Hydrobiologia*, 65(1): 69—74.

## AN EVALUATION ON POLLUTION IN THE XIANG JIANG RIVER BY USING ZOOBENTHOS

Liu Baoyuan Wang Shida

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

Hu Deliang

(Environmental Protection Research Institute  
of Hunan Province)

### Abstract

Studies on zoobenthos in the Xiang Jiang River were carried out for five times between July, 1980 and December, 1981. Artificial substrate was used for sampling in all stations in the river, especially the heavily polluted area between Zhuzhou and Xiangtan.

Based on the data obtained from the survey, Shannon diversity index was calculated and used for the biological evaluation of water quality of the river. Relationship between the number of zoobenthos and the chemical content was also calculated in some stations.

Results show that the mayfly naiads are more sensitive to heavy metals and pesticides. They may be used as monitors for water pollution in the river. The percentage of ephemeropterans and trichopterans as compared with that of the other aquatic insects used for water monitoring is also given in this paper.

Nearly in all stations the diversity indices were more than 2.11, except the Xiawan station, where the index was only 0—0.73.