

文章编号:1673-0062(2009)02-0078-05

## 软体动物多样性在花垣河水体重金属监测中的应用

刘俊,郑济芳,胡南,胡劲松,朱允华,刘运莲,殷杰

(南华大学 药学与生命科学学院,湖南 衡阳 421001)

**摘要:**对湘西花垣河软体动物多样性与重金属污染状况进行了调查.在花垣河 8 个监测断面中,除  $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_8$  的软体动物丰富度指数( $D_{MA}$ )与 Shannon - Wiener 多样性指数( $H'$ )分别介于 0.264 3 - 2.493 7 和 0.676 5 - 2.412 3 外, $S_2$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_7$ 、 $S_8$  五个断面的软体动物丰富度和多样性指数均为零. Mn、Cd、Pb、Cu、Zn 在花垣河 8 个监测断面的河水中都能检测到,其中 Mn、Cd 含量严重超出 GB 的 V 类水标准.软体动物多样性监测与理化监测的结果均表明,花垣河水体已经受到严重重金属污染.

**关键词:**花垣河;软体动物;多样性;水质评价

中图分类号:X832 文献标识码:B

## The Diversity of Molluscas Was Applied to Monitor the Heavy Metals in the Huayuan River

LIU Jun, ZHENG Ji-fang, HU Nan, HU Jing-song,  
ZHU Yun-hua, LIU Yun-lian, YIN Jie

(School of Pharmacy and Life Science, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract:** The diversities of molluscas and the pollution of heavy metals in the Xiangxi Huayuan River were investigated. The species richness indexes ( $D_{MA}$ ) and Shannon - Wiener diversity indexes ( $H'$ ) of mollusca at  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_8$  were 0.264 3 - 2.493 7 and 0.676 5 - 2.412 3, respectively. The  $D_{MA}$  and  $H'$  at the other 5 sections were zero. Mn, Cd, Pb, Cu, Zn were identified in the water, the concentrations of Mn and Cd were severe exceed the standard of limits of V class water of GB. The results of the diversities of molluscas and the physico - chemical monitoring suggested that the water of the Huayuan River had been polluted by heavy metals severity.

**Key words:** Huayuan River; molluscas; biodiversity; evaluation of water quality

收稿日期:2009-01-14

基金项目:湖南省教育厅基金资助项目(08C765);南华大学博士启动基金资助项目(5-03-XJQ-03-044)

作者简介:刘俊(1976-),男,湖南湘乡人,南华大学药学与生命科学学院讲师,博士研究生.主要研究方向:环境生态学与环境生物学.

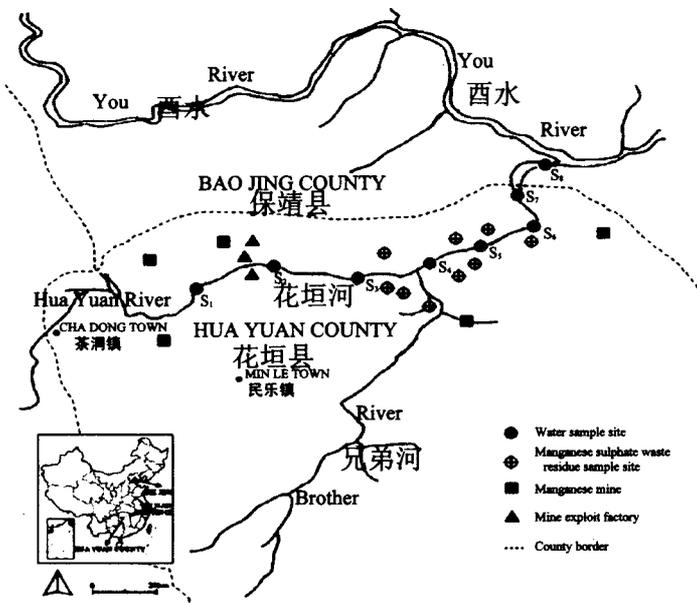
# 0 引言

花垣河是湘西自治州境内的一条主要河流 (E109°43', N28°29'), 从花垣县茶洞入境, 经花垣县城会兄弟河后, 至保靖县江口汇入酉水, 属酉水水系, 干流全长约 187 km, 流域面积约 2797 km<sup>2</sup>. 花垣县有“东方锰都”之美称, 其锰矿储量居湖南省之最, 全国第二位. 已有报道表明, 由于采矿业的发展, 花垣县境内硫酸锰废渣含有超标量的金属离子, Mn 与 Cd 为主要污染物, 在长期的风化淋溶作用下, 金属离子迁移释放到周边的土壤、地表水、地下水系中, 对当地环境和居民用水构成严重污染<sup>[1]</sup>. 目前政府湘西自治州有关部门对花垣河水质的监测常采用定期采样的理化监测方法, 但结果不能反映采样前、后的情况, 且理化监测一般只考虑瞬时污染状况, 要做到长期连续监测, 在经济上往往是不合适的. 生物监测是理化监测的重要补充, 在调查湘西花垣河软体动物种类组成、分布与群落结构等多样性特征的基础上, 结合理化监测的方法, 利用软体动物多样性指数监测和评价花垣河水体重金属的污染状况, 对花垣河水质状况做出评价, 为监测和综合治理湘西花垣河重金属污染提供科学参考.

# 1 研究方法

## 1.1 花垣河布点及采样

2007 年 1 ~ 12 月对该花垣河选择具有代表性的江段, 由上游向下游设置 8 个采集点 (S<sub>1</sub> ~ S<sub>8</sub>, 图 1), 对花垣河软体动物多样性进行了调查. 调查中采取点、面结合的方法, 进行定性、定量的调查采集. 定性采集时, 在各采集区的不同生境中采取随机取样的方法, 用三角拖网、抄网采集, 或在沿岸带徒手采集适量标本. 为有利于对资料进行比较和连贯性分析, 采样断面与采集点的设置按照中国科学院水生生物研究所 1995 年的设置方法. 用面积为 1/16 m<sup>2</sup> 的改良彼得生采泥器采样, 每个断面按左、中、右各采样 2 次, 或用 1/4 m<sup>2</sup> 的木框随机框定采样, 或用三角拖网、抄网采集, 或在沿岸带徒手采集, 所得泥样或标本用 40 目铜丝筛筛洗后分拣. 用 5% 福尔马林液保存采集标本, 空壳标本洗净凉干, 带回实验室分类鉴定. 在软体动物多样性调查的同时进行水样采集, 每个断面采样 3 个. 采样前, 用 5% 硝酸浸泡聚乙烯壶 24 h, 再用去离子水反复冲洗 8 次, 最后用水样洗涤聚乙烯壶及塞子 3 次.



注: S<sub>1</sub>: 毛沟大桥上 1 000 m; S<sub>2</sub>: 毛沟大桥下 1 000 m; S<sub>3</sub>: 竹篙滩; S<sub>4</sub>: 浮桥; S<sub>5</sub>: 磨岩坡; S<sub>6</sub>: 狮子桥; S<sub>7</sub>: 双溶滩; S<sub>8</sub>: 江口

图 1 花垣河监测断面的分布

Fig. 1 Monitoring sections of Huayuan river

## 1.2 多样性分析

从以下二个方面分析各采集点软体动物的种

类组成和数量<sup>[2-3]</sup>:

1) 不同生境的物种丰富度, 以 Margalef 指数

$D_{MA}$  来测度:

$$D_{MA} = (S - 1) / \log N$$

式中  $S$  为群落中的物种数目,  $N$  为观察到的所有个体总数.

2) 不同生境的物种多样性指数, 采用 Shannon - Wiener 多样性指数  $H'$  度量:

$$H' = - \sum P_i \log P_i$$

$$H'_{max} = \log S$$

式中  $P_i = n_i / N$ ,  $n_i$  为种  $i$  的个体数,  $N$  = 样本总个体数

### 1.3 重金属含量测定

采用硝酸 - 高氯酸消解法对水样预处理, 100 mL 水样加入 5 mL 浓硝酸, 加热消化至体积 10 mL, 冷却, 再加入 5 mL 浓硝酸和少量逐次加入 2 mL 高氯酸, 继续加热消化, 蒸至近干, 冷却后用 2% 硝酸溶解残渣, 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤, 滤液用 2% 硝酸定容. Mn、Cu、Pb、Cd 和 Zn 的含量采用火焰原子吸收分光光度法(日本岛津, AA - 6800 型原子吸收光谱仪)测定, Hg 和 As 的含量采用原子

荧光法(北京吉天仪器有限公司, FS-810 双道原子荧光光度计)测定, 每个数据重复测量 3 次, 金属离子的标准液由国家环保总局提供. 采用 spss (v13.0) 软件进行统计分析, 实验数据用平均数  $\pm$  标准误差表示, 组间数据差异比较用  $t$  检验.

### 1.4 水质评价

生物监测采用 Shannon - Wiener 多样性指数评价, 其标准为:  $H'$  小于 0 ~ 1 为重污染; 1 ~ 2 为中污染; 2 ~ 3 为轻污染; 大于 3 为清洁水. 理化监测采用地表水环境质量标准(GB3838 - 2002) 与世界卫生组织饮用水标准<sup>[4-5]</sup>.

## 2 结果

### 2.1 软体动物种类组成

参照文献[6 - 8], 对标本进行分类鉴定, 初步确定花垣河共有软体动物 15 种, 分别隶属于 2 纲 6 科 8 属, 其中, 腹足纲 4 科 6 属 12 种, 双壳纲 2 科 2 属 3 种(表 1). 田螺科 3 属 5 种; 肋蜷科 1 属 2 种; 椎实螺科 1 属 4 种; 扁蜷螺科 1 属 1 种;

表 1 花垣河 8 个断面软体动物种类及种群数量

Table 1 The species and population quantity of mollusca of eight sections in the Huayuan River

物种	采样点								区系	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	东洋界	古北界
腹足纲 Gastropoda										
1. 田螺科 Viviparidae										
1) 梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>	I		I						✓	✓
2) 肋角螺 <i>Angulyagra costata</i>	I		I						✓	
3) 耳河螺 <i>Rivularia auriculata</i>	I		III						✓	
4) 长河螺 <i>Rivularia elongate</i>			I						✓	
5) 卵河螺 <i>Rivularia ovum</i>			I						✓	
2. 肋蜷科 Pleuroseridae										
6) 方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	I								✓	✓
7) 格氏短沟蜷 <i>Semisulcospira gredleri</i>	I								✓	
3. 椎实螺科 Lymnaeidae										
8) 折叠萝卜螺 <i>Radix plicatula</i>				II					✓	✓
9) 椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	II		II			III			✓	✓
10) 卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	I		I						✓	✓
11) 耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	II		I						✓	✓
4. 扁蜷螺科 Planorbidae										
12) 印度扁蜷螺 <i>Indoplanorbis exustus</i>				I					✓	✓
双壳纲 Bivalvia										
5. 贻贝科 Mytilidae										
13) 湖沼股蛤 <i>Limnoperna lacustris</i>	I		I						✓	✓
6. 蜆科 Corbiculidae										
14) 河蜆 <i>Corbicula fluminea</i>	I		I						✓	✓
15) 闪蜆 <i>Corbicula nitens</i>	I	II	I						✓	✓

注: "I" 标本 10 个以下, "II" 标本 10 ~ 20 个, "III" 标本 20 个以上; S<sub>1</sub> - S<sub>8</sub> 同图 1 说明

贻贝科 1 属 1 种; 蛭科 1 属 2 种. 由此可见, 花垣河的软体动物主要以田螺科和椎实螺科的种类为主, 分别占总种数的 33.3% 和 26.7%. 根据我国地理区划, 花垣河属东洋界华中区. 从软体动物区系成分看, 在 15 种软体动物种, 属于东洋界分布的 5 种, 占分布种的 33.3%; 跨东洋界和古北界分布的 10 种, 占分布种的 66.7%. 因此, 花垣河软体动物的种类组成和区系成分属于东洋界类型, 具有亚热带区系的特征.

## 2.2 软体动物多样性指数分析

根据 8 个采集点随机采集的软体动物的种类和个体数量, 利用中国科学院研制的 Biodiversity Mapping 软件<sup>[9-10]</sup>, 分别计算出物种丰富度指数 DMA、物种多样性指数  $H'$  (表 2). 从表 2 可知,  $S_3$  物种数最多 (13), 其软体动物丰富度和多样性指数也是最高的分别为 2.493 7 和 2.412 3;  $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_7$ 、 $S_8$  物种数最少 (0 种), 其丰富度和多样性指数均为零.

表 2 花垣河 8 个采集点软体动物多样性分析

Table 2 An analysis of the biodiversity of molluscs of 8 sections in the Huayuan River

采集点	物种数 ( $S$ )	丰富度 ( $D_{MA}$ )	多样性 ( $H'$ )
$S_1$	11	2.345 9	2.268 5
$S_2$	1	0	0
$S_3$	13	2.493 7	2.412 3
$S_4$	0	0	0
$S_5$	0	0	0
$S_6$	1	0.134 5	0.356 5
$S_7$	0	0	0
$S_8$	0	0	0

注:  $S_1 - S_8$  见图 1 说明

## 2.3 重金属含量

从选定的 8 个断面采样, 分析了 Mn、Cd、Pb、Cu 和 Zn 的含量 (表 3), 从表 3 可知,  $S_1$  作为河流的对照断面, 但 Mn 含量分别超出 GB 和 WHO 规定浓度上限的 8.5 倍和 2.1 倍, Pb 含量高出 WHO 的 1.2 倍, 其他重金属元素均在 GB 和 WHO 规定范围之内.  $S_2$  与  $S_1$  相比, 该断面 Cd 和 Pb 含量显著上升 ( $P < 0.05$ ), Zn 和 Cu 的含量极显著上升 ( $P < 0.01$ ), Mn 含量无显著变化.  $S_3$  和  $S_2$  相比, 该断面 Mn 和 Cu 的含量变化不大, Pb 含量显著上升 ( $P < 0.05$ ), Cd 和 Zn 含量极显著下降 ( $P < 0.01$ ).  $S_4$  与  $S_3$  相比, Mn、Cd、Cu 和 Zn 含量极显著提高 ( $P < 0.01$ ), Pb 含量显著下降

( $P < 0.05$ ). Mn、Cd 和 Cu 含量分别高出 GB 规定浓度上限的 170 倍, 10 倍和 1.55 倍, Mn、Cd 和 Pb 含量分别超出 WHO 的 43 倍、17 倍和 1.8 倍. Mn 和 Cd 含量比另外 7 个断面的含量都高.  $S_5$  与  $S_4$  相比, 该断面的 Mn、Cd 和 Cu 含量都极显著降低 ( $P < 0.01$ ), Pb 和 Zn 含量无显著变化. Mn 和 Cu 含量仍分别高出 GB 规定浓度上限的 69 倍和 1.4 倍, Mn、Cd 和 Pb 含量也还高出 WHO 的 17 倍、1.4 倍和 1.9 倍.  $S_6$  与  $S_5$  相比, Mn 含量极显著降低 ( $P < 0.01$ ), Pb、Zn 和 Cu 含量显著升高 ( $P < 0.05$ ), Cd 含量无显著变化, 其中 Zn 和 Cu 含量是八个断面中最高的. Cu 含量分别高出 GB 和 WHO 规定浓度上限 2.6 倍和 1.3 倍.  $S_7$  与  $S_6$  相比 Mn、Cu 和 Zn 含量极显著降低 ( $P < 0.01$ ), Cd 含量极显著上升 ( $P < 0.01$ ), Pb 含量也显著升高 ( $P < 0.05$ ), 是八个断面中最高的.  $S_8$  与  $S_7$  相比, Cd 和 Pb 含量明显降低, Mn、Cu 和 Zn 含量无显著变化. Mn 含量高出 GB 和 WHO 规定浓度上限的 12.1 倍和 3.1 倍, Pb 含量高出 WHO 规定的 1.4 倍.

## 2.4 水质评价

理化监测结果显示, 从花垣河中选取 8 个监测断面中, 其中, 锰和镉不达标的断面分别有 8 个、2 个 ( $S_4$  和  $S_7$ ). 8 个断面中有 3 个 ( $S_1$ ,  $S_3$  和  $S_8$ ) 断面属 IV 类水体, 5 个断面 ( $S_2$ ,  $S_4 - S_7$ ) 属劣 V 类水体, 主要污染物是锰和镉; 生物监测的结果表明, 除  $S_1$ ,  $S_3$  2 个断面污染相对较轻外, 其余 6 个断面为严重污染 (表 4). 水质化学监测和生物指数监测的结果具有高度一致性, 结果表明花垣河大部分江段水质受到重金属重度污染; 用软体动物对花垣河水体重金属进行生物监测其结果是准确的.

## 3 结论

软体动物是动物界的第二大类群, 也是生物多样性的重要组成部分, 其生物多样性与水质、水流、有机质等生态因子有着密切的关系, 特别是当栖息环境发生剧烈的变化时, 原有的物种由于不能适应新的环境条件而无法继续生存<sup>[11-12]</sup>. 本项研究表明, 湘西花垣河现存的软体动物资源很少 (15 种), 不仅物种丰富度和多样性都非常低, 而且其种群数量也较少. 不同的物种因为对栖息环境的适应性的差异, 做出的反应也不尽相同. 椭圆萝卜螺在花垣河的种群数量相对较多、分布范围相对较广, 可能是椭圆萝卜螺相对较能耐受较高

表3 花垣河8个断面监测数据平均值( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )  
Table 3 Average data of eight monitoring sections in the Huayuan River

元素	Mn	Cd	Pb	Cu	Zn
GB	0.1	0.005	0.05	1.0	1.0
WHO	0.4	0.003	0.01	2.0	-
S <sub>1</sub>	0.853 ± 0.116	0.0015 ± 0.0001	0.0116 ± 0.0013	0.120 ± 0.033	0.045 ± 0.005
S <sub>2</sub>	0.952 ± 0.223	0.0020 ± 0.0002 *	0.0166 ± 0.0021 *	0.321 ± 0.036 * *	0.127 ± 0.003 * *
S <sub>3</sub>	0.735 ± 0.134	0.0012 ± 0.0001 * *	0.0231 ± 0.0012 *	0.304 ± 0.020	0.018 ± 0.002 * *
S <sub>4</sub>	17.320 ± 2.530 * *	0.0503 ± 0.0023 * *	0.0179 ± 0.0033 *	1.565 ± 0.187 * *	0.618 ± 0.063 * *
S <sub>5</sub>	6.920 ± 0.953 * *	0.0043 ± 0.0003 * *	0.0187 ± 0.0036	1.368 ± 0.056 * *	0.561 ± 0.045
S <sub>6</sub>	2.563 ± 0.53 * *	0.0042 ± 0.0002	0.0286 ± 0.0023 *	2.640 ± 0.064 *	0.878 ± 0.004 *
S <sub>7</sub>	1.420 ± 0.153 * *	0.0280 ± 0.0013 * *	0.0329 ± 0.0013 *	0.631 ± 0.030 * *	0.254 ± 0.053 * *
S <sub>8</sub>	1.210 ± 0.125	0.0041 ± 0.0002 * *	0.0147 ± 0.0010 * *	0.592 ± 0.021	0.264 ± 0.046

注: Hg 和 As 没有检测到。\*  $P < 0.05$ , 表示该断面与相邻的上一断面之间差异显著, \* \*  $P < 0.01$ , 表示该断面与相邻的上一断面之间差异极显著。S<sub>1</sub> - S<sub>8</sub> 同图 1 说明。

表4 花垣河8个断面水质评价  
Table 4 An evaluate of water quality of 8 sections in the Huayuan River

断面	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
多样性指数 $H'$	2.268 5	0	2.4123	0	0	0.356 5	0	0
水质生物监测	轻污染	重污染	轻污染	重污染	重污染	重污染	重污染	重污染
水质化学监测	IV类	劣V类	IV类	劣V类	劣V类	劣V类	劣V类	IV类

水平的重金属污染。化学监测和生物指数监测都表明,随着花垣河流域工业迅速发展,锰、锌、铅等有色金属矿藏的大量开采,花垣河水质已经受到重金属的严重污染,且日趋严重。

#### 参考文献:

- [1] 胡南,周军媚,刘运莲,等. 硫酸锰废渣的浸出毒性及无害化处理的研究[J]. 中国环境监测,2007,23(2):49-52.
- [2] 赵志模,郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1990.
- [3] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I  $\alpha$  多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [4] GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] WHO. Guidelines for Drinking Water Quality [M]. WHO, Geneva: WHO, 1985.
- [6] 刘月英,张文珍,王耀先,等. 中国经济动物志淡水软体动物[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [7] 蔡如星,黄维灏,刘月英,等. 浙江动物志软体动物[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1991.
- [8] 齐钟彦,马绣同,刘月英,等. 中国动物图谱—软体动物:第四册[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [9] 刘俊,胡自强. 湘江中游江段软体动物的种类组成与多样性分析[J]. 生态学报,2007,27(3):1153-1160.
- [10] 赵海军,纪力强. 生物多样性评价软件 Biodiversity Mapping 的设计与实现[J]. 生物多样性,2004,12(5):541-545.
- [11] 胡自强,刘俊. 湘江干流软体动物的研究[J]. 水生生物学报,2007,31(4):524-531.
- [12] 刘俊,胡自强. 湘江中游江段淡水螺类的种类组成及区系分析[J]. 生命科学研究,2006,10(3):248-251.