

# 甘肃徽县水阳江铅锌污染段纤毛虫群落特征及对水质的评价

马正学, 贺鹏辉, 杨 镇, 宁应之 (西北师范大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 2006年 10月至 2008年 5月, 在甘肃徽县水阳江铅锌污染段选择 4个样点, 分别在 3个水期采集水样, 研究了纤毛虫物种多样性及群落结构。共鉴定到纤毛虫 52种, 隶属于 3纲 12目 29科 33属。利用纤毛虫群落特征指标对水阳江铅锌污染段的水质进行了初步评价。综合评价结果显示, 4个样点受污染程度为县城 > 厂区 > 牟坝 > 对照, 污染级别为中度至重度。初步筛选出瓜形膜袋虫 (*Cyclidium citullus*)、尾草履虫 (*Paramecium caudatum*)、薄漫游虫 (*Litonotus lamella*) 作为铅锌污染水体的指示物种。

**关键词:** 水阳江; Pb; Zn; 纤毛虫; 群落特征; 水质评价

**中图分类号:** X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4831(2009)03-0083-07

Community Characteristics of Ciliates and Water Quality Assessment in the Pb-Zn Contaminated Section of the Shuiyangjiang River in Huixian County, Gansu Province MA Zheng-xue HE Peng-hui YANG Zhen NING Ying-zhi (College of Life Sciences Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Species diversity and community structure of ciliates in the Pb-Zn Contaminated section of the Shuiyangjiang River were studied during the period from October 2006 to May 2008, using water samples collected from 4 sampling sites in that section in 3 different periods. In the water samples 52 species of ciliates sorted into 3 classes, 12 orders, 29 family and 33 genus were identified, based on which water quality of that section of the Shuiyangjiang River was preliminarily evaluated. Results show that pollution of the water varied in degree between the four sampling sites in the section following a decreasing order of Xiancheng > Changqu > Muba > Duizhao from severe to moderate. Ciliates of *Cyclidium citullus*, *Paramecium caudatum*, and *Litonotus lamella* were screened out to be indicators of Pb-Zn contamination of water bodies.

**Key words:** the Shuiyangjiang River; Pb; Zn; ciliates; community characteristics; water quality assessment

纤毛虫是水生生态系统的重要生物类群, 对系统中物质循环和能量流动起着重要的调控作用。纤毛虫属于单细胞动物, 具有比表面积大、对外环境的变化反应敏感等特点, 因此, 常作为监测、评价和预报生态环境质量的指示生物。

铅、锌等重金属是一类毒性很强的环境污染物, 当其污染环境后, 即可使环境中的生物产生急性或慢性毒性效应, 某些重金属还可以在生物体内的代谢作用下转化为毒性更强、难以被生物降解的有机金属化合物, 在食物链或食物网中大量富集, 最终进入人体<sup>[1]</sup>。利用单细胞生物监测水体环境污染, 能直接判断水体受污染的程度和潜在毒性效应强度。在多种污染物并存时, 能通过反映生物群落特征的各级指标连续监测来综合表征环境质量状况, 且具有直观性强、快速、灵敏度高和廉价等特点, 可实现早期预报, 也能监测小剂量重金属及其长期作用产生的慢性毒性效应, 克服了理化监测的局限性, 因而

受到广泛关注<sup>[2]</sup>。

关于利用原生动物监测和评价生态系统重金属污染方面的研究, 目前在国内报道较少, 而且主要集中在对土壤<sup>[3-5]</sup>和水体<sup>[6-8]</sup>的研究。笔者针对 2006年 9月中旬甘肃徽县水阳江地区铅、锌污染环境(有 12 a 的污染历程)引起当地常住人口血铅严重超标和集体中毒事件, 于 2006年 10月、2007年 7月和 2008年 2月, 分 3个水期在水阳江铅锌污染段定点采集水样, 研究纤毛虫群落特征, 并利用纤毛虫群落特征指标对水阳江水质进行监测与评价, 旨在评价铅、锌等重金属对水体的污染程度和筛选有特征性的生物指标, 为该地区的水体环境质量评价、环境治理和生态恢复提供科学依据。

**基金项目:** 国家自然科学基金 (30470208); 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室开放基金

**收稿日期:** 2008-09-08

# 1 材料与方法

## 1.1 采样点的设置

在水阳江铅锌污染段从上游至下游,依次设对照、县城、厂区和牟坝 4 个采样点(断面),采样点分布见图 1。

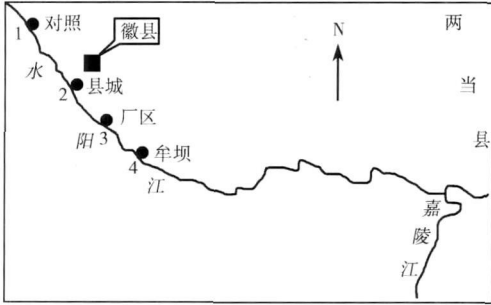


图 1 采样点分布

Fig 1 Distribution of sampling sites in the Shuiyangjiang River

## 1.2 样品的采集与处理

定性水样的采集:用 500 mL 广口瓶和采水器分别在河流表层和深层随机采样,取等量水样混合,用精密 pH 试纸 (pH 值 5.5~9.0) 测定 pH 值,并用温度计测定气温和水温。现场用镊子夹取一些浮游生物放入瓶内,带回实验室在显微镜下进行种类鉴定。

定量水样的处理:分别在河流表层和 0.5 m 深处各随机采集 500 mL 水样混合,带回实验室用直接计数法计数,即先标定 1 mL 定量吸管水滴数  $m$ ,然后将水样摇匀,用定量吸管吸取 1 mL 滴 1 滴在载玻片上,盖上盖玻片,在  $10 \times 20$  放大倍数下计数,得到平均 1 滴水中浮游生物个数  $n$  (重复 5~7 滴,取有效平均值),则 1 L 水中的个数  $N$  为<sup>[9]</sup>:

$$N = n \times m \times 10^3 \quad (1)$$

本试验中,1 L 水样随机取 5 mL,1 mL 计数 5~7 滴,然后取有效平均值。采样后 24 h 内完成计数。

底泥样品的采集和处理:在水样采集处的河流断面,于  $400 \text{ m}^2$  样方内以梅花 5 点法取样,用铁锹挖取底泥 (0~5 cm 深度) 样品 2 kg 带回室内自然晾干。经研磨、过筛和烘干后,提交分析。同时称取适量底泥样品置于干燥箱中,在  $120^\circ\text{C}$  下烘干,测定含水量备用。

## 1.3 物种鉴定

用活体镜检和固定染色方法对物种进行鉴定并

分类。物种鉴定方法参见文献 [10]<sup>[412-524]</sup>, [11-12], 采用 LEVINE 等<sup>[13]</sup>的分类系统进行分类。

## 1.4 分析指标及计算方法

### 1.4.1 相似性系数

根据 JACCARD 共同系数公式<sup>[14]</sup>计算各样点纤毛虫群落的相似性系数:

$$q = 2c / (a + b) \quad (2)$$

式 (2) 中,  $q$  为相似性系数,  $a$  为对照样点纤毛虫种数,  $b$  为其他样点纤毛虫种数,  $c$  为 2 者共有种数。  $q$  值  $> 0.75 \sim 1.00$ , 表示 2 样点群落极为相似; 在  $> 0.50 \sim 0.75$  之间, 为中等相似; 在  $> 0.25 \sim 0.50$  之间, 为中等不相似; 在  $0 \sim 0.25$  之间, 为极不相似。

### 1.4.2 多样性指数

根据 MARGALEF 多样性指数公式<sup>[15]</sup>计算:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

式 (3) 中,  $D$  为多样性指数,  $S$  为种数,  $N$  为个数。  $D$  值表示纤毛虫群落中物种多样性的高低, 可反映水质<sup>[16]</sup>。许木启<sup>[17]</sup>提出, 在污染水体中, 根据  $D$  值可将水体污染程度分成 5 个等级:  $D$  值为  $0 \sim 1$ , 属重度污染;  $> 1 \sim 2$ , 为严重污染;  $> 2 \sim 4$ , 为中度污染;  $> 4 \sim 6$ , 为轻度污染;  $> 6$ , 为清洁水。

### 1.4.3 污生指数

采用文献 [10]<sup>[128]</sup>中 PANTLE 等提出的污生指数公式计算:

$$S_i = \sum S_h \sum h \quad (4)$$

式 (4) 中,  $S_i$  为各样点的污生指数;  $S$  为不同种类的污生指数分值, 从寡污种到多污种其分值为  $1 \sim 4$ ;  $h$  为出现频率, 其值为  $1 \sim 4$ 。  $S_i$  为  $1.0 \sim 1.5$ , 属轻度污染;  $> 1.5 \sim 2.5$ , 为中度污染;  $> 2.5 \sim 3.5$ , 为重度污染;  $> 3.5 \sim 4.0$ , 为严重污染。

## 1.5 水体和底泥的重金属测定

采用原子吸收分光光度计测定水体和底泥中铅锌含量, 由黄河上游水环境监测中心进行分析。

# 2 结果与讨论

## 2.1 水阳江铅锌污染段各采样点(断面)水体环境特征描述

1号采样点(对照):位于河流上游,距离 2号样点约 3 km。水质较好,含有一定的生活性有机污染物。pH 值为  $7.0 \sim 7.1$ 。

2号采样点(县城):位于县城西侧西山脚下,距离县城约 1.5 km,距离 3号样点约 2.5 km。接纳了大量城市污水,受到铅锌冶炼厂降尘污染,水质较

差,水体呈现黑褐色,浑浊,氨臭气味浓,悬浮物较多。pH 值为 7.2~7.4。

3号采样点(厂区):位于铅锌冶炼厂门前(新寺村辖区),距离 4号样点约 5 km。河边有大量农田,农作物受害明显。接纳了大量城市污水,受铅锌冶炼厂降尘污染严重(河边堆放有大量矿渣),水质较差,水体呈铅褐色,臭味浓,浑浊,悬浮物较多。pH 值为 7.2~7.3。

4号采样点(牟坝):位于河流下游的牟坝村,河

边有大量农田,农作物受害明显。水体中含有一定的有机污染物和铅锌冶炼厂降尘,水质较差。但是与厂区河段相比,透明度明显改善,氨臭味减轻,悬浮物有所减少。pH 值为 7.1~7.2。

### 2.2 纤毛虫种类组成

2006年 10月至 2008年 5月,在水阳江铅锌污染段共采集水样 24个,鉴定出纤毛虫 52种,隶属于 3纲 12目 29科 33属,纤毛虫种类及其分布见表 1。

表 1 水阳江铅锌污染段纤毛虫的种类及其分布

Table 1 Distribution of ciliate species in the Pb-Zn-contaminated section of the Shuiyangjiang River

物种	采样点				功能类群	污生指数分值
	对照	县城	厂区	牟坝		
趣尾毛虫 ( <i>Urotricha farcta</i> )				+	AB	3
卵圆尾毛虫 ( <i>Urotricha ovata</i> )		+			B	3*
双刺板壳虫 ( <i>Coleps bicuspis</i> )	++	++	+		A	1.5*
毛板壳虫 ( <i>Coleps hirtus</i> )	+				RA	1.5
扭曲管叶虫 ( <i>Trachelophyllum signoides</i> )			++	+	B*	2.5*
胃形斜口虫 ( <i>Enchelys gasterosteus</i> )		+	+		B*	4*
蛹形斜口虫 ( <i>Enchelys pupa</i> )				+	B	4*
蚤中缢虫 ( <i>Mesodinium pulex</i> )				++	B	2*
肋裂口虫 ( <i>Amphileptus pleurosigna</i> )				+	R	3.5*
片状漫游虫 ( <i>Litonotus fasciola</i> )			++		R	3.5
薄漫游虫 ( <i>Litonotus lamella</i> )	+	+++	++++	+	R	3.5*
匙口虫属一种 ( <i>Platyophrya sp.</i> )			+		AR*	2.5*
前突肾形虫 ( <i>Colpoda penardi</i> )			+		BA	2.5*
前隐圆纹虫 ( <i>Furgasonia protectissima</i> )	+		+		A*	1.5*
唇斜管虫 ( <i>Chilodonella labiata</i> )				++	A	2.5*
食藻斜管虫 ( <i>Chilodonella algivora</i> )	+			++	A	2.5*
非游斜管虫 ( <i>Chilodonella aplana ta</i> )	+	+		+	AB	2.5*
沟轮毛虫 ( <i>Trochilia sulcata</i> )				+	BA	2*
太阳球吸管虫 ( <i>Sphaerophrya soliformis</i> )	+				R	2*
肾形豆形虫 ( <i>Colpidium colpoda</i> )		+++			B	3.5
闪烁目虫 ( <i>Glaucocma scintillans</i> )	+				B*	3.5*
大口瞬目虫 ( <i>Glaucocma macrostoma</i> )	+			+	B	3.5
多叶瞬目虫 ( <i>Glaucocma myriophylli</i> )	+			+	B*	3.5*
楔形双膜虫 ( <i>Dichlum cuneiforme</i> )			+		BA*	2.5*
尾草履虫 ( <i>Paramecium caudatum</i> )		+++	++++		B	3
双小核草履虫 ( <i>Paramecium aurelia</i> )		++	+++		B	2.5
多小核草履虫 ( <i>Paramecium multimicronreleatum</i> )		+	++		B	2.5
旋毛草履虫 ( <i>Paramecium trichium</i> )				+	B	2.5*
旋尾纓虫 ( <i>Urocentrum terbo</i> )	+	+			B	3
光明舟形虫 ( <i>Lenbadion lucens</i> )	++				A	2*
珍珠映毛虫 ( <i>Cinetochilum margaritaceum</i> )		+++	+	+++	B	2
苔藓膜袋虫 ( <i>Cyclidium muscicola</i> )		+			B	3*
善变膜袋虫 ( <i>Cyclidium versatile</i> )	+	+	+++	+	B*	3*
银灰膜袋虫 ( <i>Cyclidium glaucocma</i> )	+	++	+		B*	3*
瓜形膜袋虫 ( <i>Cyclidium citrullus</i> )	++	++++	++++	+++	B	3

续表 1 Table 1 (Continued)

物种	采样点				功能类群	污生指数分值
	对照	县城	厂区	牟坝		
纵长膜袋虫 ( <i>Cyclidium elongatum</i> )	+	+	+	+	B	3*
似膜袋虫 ( <i>Cyclidium simulans</i> )		+++			B*	3.5*
钟形钟虫 ( <i>Vorticella campanula</i> )			++	++	B	3
喇叭虫属一种 ( <i>Stentor</i> sp.)				+	RA*	2.5*
大弹跳虫 ( <i>Halteria grandinella</i> )	+	++	+++	+++	B	2.5
粗圆纤虫 ( <i>Strongyloidium crassum</i> )	+				AB	2*
纺锤全列虫 ( <i>Holosticha kessleri</i> )	++	++		+	AB	2*
活泼似片尾虫 ( <i>Urosomoida agiliformis</i> )	+				B*	2.5*
近亲殖口虫 ( <i>Gonostomum affine</i> )	+			+	BAR*	2
尖毛虫一种 ( <i>Oxyticha</i> sp.)			++	++	BA*	2.5*
水藓尖毛虫 ( <i>Oxyticha sphagni</i> )	+				BA*	2.5*
织毛虫一种 ( <i>Histiculus</i> sp.)			+		B*	3.5*
棘尾虫一种 ( <i>Stylonychia</i> sp.)	+				AB*	3*
苔藓棘尾虫 ( <i>Stylonychia muscomum</i> )				+	AB*	3*
有肋楯纤虫 ( <i>Aspidisca costata</i> )	+	++	+++	+++	B	2
阔口游仆虫 ( <i>Euplotes eurytismus</i> )	++		++	+	R	2
粘游仆虫 ( <i>Euplotes Muscicola</i> )			+	+	AB	3
总计	25种	20种	24种	27种		

A—食藻者；B—食菌—碎屑者；R—肉食性捕食者。\*表示类推值。+、++、+++、++++表示该物种有分布且相对数量分别为 10、100、1 000 和 10 000。

### 2.3 群落结构

水阳江铅锌污染段纤毛虫的群落结构见表 2。各样点纤毛虫群落优势种及主要生态指标见表 3。由表 2 和表 3 可见，水阳江铅锌污染段纤毛虫群落中优势类群为下毛目和膜口目，优势度为 44%；次

优势类群为前口目和盾纤目，优势度为 29%。除对照样点外，其余样点纤毛虫群落的优势种绝大多数是 B 群（食菌—碎屑者），污染指数较高，表明水体受污染程度较严重。

表 2 水阳江铅锌污染段纤毛虫群落结构

Table 2 Structural analysis of the ciliate community in the Pb-Zn-contaminated section of the Shuiyangjiang River

门	纲	目	科	属	种	
纤毛门 (Ciliophora)	动基片纲 (Kinetofragminophorea)	前口目 ( <i>Prostomatida</i> )	5	5	8	
		侧口目 ( <i>Pleurostomatida</i> )	2	2	3	
		肾形目 ( <i>Colpodiida</i> )	2	2	2	
		篮口目 ( <i>Nassulida</i> )	1	1	1	
		管口目 ( <i>Cyrtophorida</i> )	2	2	4	
		吸管目 ( <i>Suctorida</i> )	1	1	1	
		寡膜纲 ( <i>Oligohymenophorea</i> )	膜口目 ( <i>Hymenostomatida</i> )	5	6	11
			盾纤目 ( <i>Scuticociliatida</i> )	2	2	7
			缘毛目 ( <i>Peritrichida</i> )	1	1	1
		多膜纲 ( <i>Polyhymenophorea</i> )	异毛目 ( <i>Heterotrichida</i> )	1	1	1
寡毛目 ( <i>Oligotrichida</i> )	1		1	1		
下毛目 ( <i>Hypotrichida</i> )	6		9	12		

表 3 水阳江铅锌污染段各样点纤毛虫群落优势种及主要生态指标

Table 3 Dominant ciliate species and major ecological indicators in different sampling sites

样点	优势种	功能类群	污生指数分值
对照	双刺板壳虫 ( <i>Coleps bicuspis</i> )	A	1.5*
	光明舟形虫 ( <i>Lambdion lucens</i> )	A	2*
	瓜形膜袋虫 ( <i>Cyclidium citrullus</i> )	B	3
	纺锤全列虫 ( <i>Holosticha kessleri</i> )	AB	2*
	阔口游仆虫 ( <i>Euplotes eurystomus</i> )	R	2
县城	瓜形膜袋虫 ( <i>Cyclidium citrullus</i> )	B	3
	薄漫游虫 ( <i>Litonotus lamella</i> )	R	3.5*
厂区	尾草履虫 ( <i>Paramecium caudatum</i> )	B	3
	瓜形膜袋虫 ( <i>Cyclidium citrullus</i> )	B	3
	珍珠映毛虫 ( <i>Cinetochilum margaritaceum</i> )	B	2
牟坝	瓜形膜袋虫 ( <i>Cyclidium citrullus</i> )	B	3
	大弹跳虫 ( <i>Halteria grandinella</i> )	B	2.5
	有肋楯纤虫 ( <i>Aspidisca costata</i> )	B	2

A—食藻者; B—食菌—碎屑者; R—肉食性捕食者。\* 表示类推值。

### 2.4 群落相似性

水阳江铅锌污染段各样点纤毛虫群落的相似性系数见表 4。

表 4 水阳江铅锌污染段各样点纤毛虫群落的相似性系数

Table 4 Similarity index of ciliate communities in different sampling sites

样点	对照	县城	厂区	牟坝
对照	1.00	0.49	0.41	0.50
县城		1.00	0.59	0.38
厂区			1.00	0.47
牟坝				1.00

由表 4 可见,各样点与对照的纤毛虫群落相似性系数均在 0.25~0.50 之间,为中等不相似,表明县城、厂区、牟坝样点与对照的水体环境质量存在明显差异性。与水流相对平稳的鄱阳湖和拒马河北京段相比<sup>[18-19]</sup>,水阳江铅锌污染段纤毛虫群落的相似性系数明显较低,但高于水流较急的大夏河临夏段肉鞭虫群落<sup>[20]</sup>。

### 2.5 多样性指数

水阳江铅锌污染段各样点纤毛虫群落的物种多样性指数分别为:对照 2.43、县城 1.63、厂区 1.87、牟坝 2.34。县城与厂区样点多样性指数较低,水体污染较严重。对河床底泥中铅、锌含量的监测结果(表 5)表明,厂区和牟坝样点铅、锌含量明显高于县城样点,但物种多样性指数却高于县城样点。这是

因为铅、锌重金属污染物难溶于水,水阳江水流湍急,在水体流动迁移过程中,有机悬浮物吸附、絮凝等多种物理和化学作用使其沉降进入底泥,故水体中铅、锌含量很低,处于下游的牟坝样点河床底泥中铅、锌含量很高。在县城样点河段由于接纳了部分城市生活污水,故水体受有机物污染较重,多样性指数最低,在河水流动的过程中这些生活污染物(悬浮物)逐渐沉降或由于水体自净作用使得其浓度在下游降低,因而牟坝样点物种多样性指数再度升高。

表 5 各样点底泥和水体中铅锌含量

Table 5 Pb and Zn concentrations in sediments and waters from different sampling sites

样点	pH	底泥铅含量 / 底泥锌含量		河水铅含量 / 河水锌含量	
		(mg·kg <sup>-1</sup> )	(mg·kg <sup>-1</sup> )	(mg·L <sup>-1</sup> )	(mg·L <sup>-1</sup> )
对照	7.1	242	767	—	—
县城	7.3	569	1 247	—	0.07
厂区	7.2	8 225	2 381	0.198	0.87
牟坝	7.1	4 829	2 010	—	0.07

取 3 个水期采集的土样、水样等量混合后测得。—表示未检出。

由此可见,水阳江铅锌污染段纤毛虫多样性指数 D 值变化较好地反映了水质污染状况,这与许木启等<sup>[21]</sup>对北京通惠河水质的评价、马正学等<sup>[20,22]</sup>对大夏河临夏段和金昌市生活饮用水水源水质的评价结果相一致。

结合表 1 和表 5 可以看出,厂区样点不仅水体污染程度较重,水样中铅含量也明显超过了 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中 V 类标准(≤0.1 mg·L<sup>-1</sup>),其底泥中铅、锌含量更高。该样点的群落优势种为瓜形膜袋虫、尾草履虫和薄漫游虫,表明这些物种对铅锌污染环境具有较强的耐受性,初步认为这些物种可以作为能耐受铅锌污染水体的指示物种,此与铅锌类污染土壤的指示物种——梅氏扁豆虫<sup>[6]</sup>不同,说明土壤环境和水体环境有差异性。

### 2.6 营养功能类群与污生指数

PRATT 等<sup>[23]</sup>将淡水原生动物的按食性分成 6 个营养类群,即光合作用者(P 群)、食藻者(A 群)、食细菌—碎屑者(B 群)、腐生者(S 群)、食肉者(R 群)和无选择性的杂食者(N 群)。通常清洁的水体自养程度高,纤毛虫群落中 PA 类群占较大比例,随着水体有机污染程度的加重,异养程度提高,PA 类群比例下降,BS 类群比例上升<sup>[10]159-176</sup>

各样点 BS 类群比例和污生指数见图 2。由图 2 可见,县城和厂区样点水体污染较严重,BS 类群比例和污生指数的变化趋势基本一致。

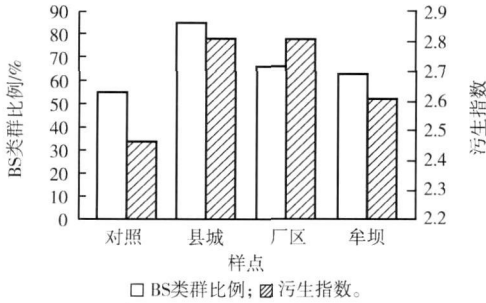


图 2 水阳江各样点纤毛虫群落 BS 类群比例和污生指数  
Fig. 2 groups percentages and  $S_1$  of ciliates in different sampling sites of the Shuiyangjiang R iver

与其他水域相比 (表 6), 水阳江铅锌污染段纤毛虫 A 群和 P 群的比例均低于贫营养的索溪峪自然保护区水系, 但 A 群比例显著高于富营养的东湖。与中营养的道格拉斯湖相比, 水阳江 A 群比例高, 而 P 群比例低, 2 者之和也低于道格拉斯湖<sup>[10]163</sup>。此外, 水阳江铅锌污染段各样点纤毛虫群落的污生指数在 2.45~2.81 之间, 低于黄河兰州段 (2.83~3.31)<sup>[24]</sup>, 却高于刘家峡水库库心 (2.25)<sup>[25]</sup>。上述分析结果均表明, 水阳江铅锌污染段的水体受到了比较严重的污染。

表 6 水阳江与国内外其他水体纤毛虫群落的营养功能类群比例比较

Table 6 Comparison in functional-trophic group of ciliates community between the section of the Shuiyangjiang R iver and other water bodies

水体	各营养功能类群所占比例 /%					
	P 群	B 群	A 群	S 群	N 群	R 群
索溪峪水系 <sup>[10]163</sup>	31.0	11.7	39.9	0.4	12.9	3.6
道格拉斯湖 <sup>[10]163</sup>	26.0	64.2	2.0	0.7	6.7	0
东湖 <sup>[10]163</sup>	11.9	73.1	4.3	1.1	11.8	1.1
水阳江	0	62.2	24.7	0	0	13.1

### 3 结论

(1) 水阳江铅锌污染段水体具有以铅、锌污染为主的综合污染性特征。厂区样点水体中铅、锌含量为 0.198 和 0.87  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 铅含量明显超过了 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中 V 类标准

( $\leq 0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 底泥中铅、锌含量更高, 分别为 8 225 和 2 381  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(2) 污染导致水体中纤毛虫群落的物种多样性显著下降, 群落结构趋于简单化。在水阳江铅锌污染段共鉴定出纤毛虫 52 种, 隶属于 3 纲 12 目 29 科 33 属。群落中优势类群为下毛目和膜口目, 食性大多数以 B 型 (食菌—碎屑者) 为主, BS 类群比例为 55.33%~85.00%, 物种多样性指数为 1.63~2.43, 污生指数为 2.45~2.81。表明水体受污染较严重。4 个样点水体污染程度从重到轻依次为县城、厂区、牟坝和对照样点。

(3) 初步筛选出以铅、锌污染为主的水体纤毛虫群落优势类群为下毛目和膜口目, 优势种为瓜形膜袋虫、尾草履虫和薄漫游虫, 表明这些物种对铅、锌污染具有较强的耐受性, 初步认为这些物种可以作为铅、锌污染水环境的指示物种。

### 参考文献:

- [1] 金岚. 环境生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992. 209—210.
- [2] 曾丽璇, 陈桂珠, 余日清, 等. 水体重金属污染生物监测的研究进展 [J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(3): 12—15.
- [3] 马正学, 龚大洁, 宁应之, 等. 铅锌矿采废物流污染对土壤原生动物的影响 [J]. 甘肃科学学报, 2002, 14(3): 53—57.
- [4] 牛世全, 宁应之, 马正学, 等. 重金属复合污染土壤中原生动物的群落特征 [J]. 甘肃科学学报, 2002, 14(3): 44—48.
- [5] 冯伟松, 杨军, 叶志鸿, 等. 凡口铅锌矿湿地处理系统的土壤原生动物 [J]. 动物学杂志, 2004, 39(1): 2—11.
- [6] 许木启, 王子健. 利用浮游动物群落结构与功能特征监测乐安江—鄱阳湖口重金属污染 [J]. 应用与环境生物学报, 1996, 2(2): 169—174.
- [7] 徐润林, 孙逸湘, 阳承胜, 等. 铅锌尾矿废水处理系统中 PFU 原生动物群落变化特征及其与水质净化的关系 [J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(4): 357—361.
- [8] 阳承胜, 束文圣, 徐润林, 等. 利用 PFU 原生动物群落检测铅锌尾矿人工湿地废水净化效能 [J]. 环境污染与防治, 2000, 22(5): 20—22.
- [9] 国家环保局《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1993. 18—427.
- [10] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [11] 中国原生动物学会. 原生动物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 129—490.
- [12] 蒋燮治, 沈韞芬, 龚循矩. 西藏水生无脊椎动物 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 1—492.
- [13] LEVINE N D, CORLISS J O, COX F E, et al A Newly Revised Classification of the Protozoa [J]. Journal of Protozoology, 1980, 27(1): 37—58.

- [14] 《土壤动物研究方法手册》编写组. 土壤动物研究方法手册 [M]. 北京:中国林业出版社, 1998, 63—72.
- [15] MARGALEF R. Diversity and Stability in Ecological Systems[M]. Upton, Brookhaven National Laboratory, 1969.
- [16] 吴鹏鸣. 环境监测原理与应用 [M]. 北京:化学工业出版社, 1991, 189—464.
- [17] 许木启. 原生动物群落结构和功能特征参数与水质关系研究 [D]. 北京:中国科学院动物研究所, 1996.
- [18] 谢钦铭, 李长春, 彭赐莲. 鄱阳湖原生动物群落生态的初步研究 [J]. 江西科学, 2000, 18(1): 40—44.
- [19] 李凤超, 康现江, 杨文波, 等. 拒马河北京段原生动物群落特征及其对河流营养状况的指示 [J]. 生物多样性, 2006, 14(4): 327—332.
- [20] 马正学, 康瑞琴, 宁应之. 大夏河临夏段枯水期肉鞭虫群落特征及其对水质的评价 [J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2007, 41(6): 1—7.
- [21] 许木启, 翟家骥. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京通惠河水质 [J]. 动物学杂志, 1998, 33(4): 1—6.
- [22] 马正学, 赵庆芳, 胡春香. 金昌市生活饮用水水源原生动物调查及水质的评价研究 [J]. 兰州大学学报:自然科学版, 1997, 33(专辑): 259—265.
- [23] PRATT J R, CAIRNS J J. Functional Groups in the Protozoa: Roles in Differing Ecosystems [J]. Journal of Eukaryotic Microbiology, 1985, 32(3): 415—423.
- [24] 孙胜利, 冯琳, 杜彩, 等. 黄河兰州段浮游动物种类构成及水质评价 [J]. 甘肃科学学报, 2000, 12(1): 80—83.
- [25] 马正学. 用原生动物评价黄河兰州段的水质 [J]. 中国环境科学, 1994, 14(6): 401—405.

**作者简介:**马正学 (1953—), 男, 甘肃平凉人, 教授, 主要从事污染生态学研究。E-mail: mzhx53@163.com

## 欢迎订阅 2010年《植物资源与环境学报》

中国科技核心期刊 中国科学引文数据库核心期刊

“中国期刊方阵”双效期刊 “江苏期刊方阵”优秀期刊

季刊, 单价 15元, 邮发代号: 28—213, 国内统一连续出版物号: CN 32—1339/S

《植物资源与环境学报》系江苏省·中国科学院植物研究所、江苏省植物学会及中国环境科学学会植物园保护分会联合主办的学术刊物, 国内外公开发行人。本刊为 BA、CA、CAB、Elsevier's, 中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收摘。本刊围绕植物资源与环境两个中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者, 可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊于 1992年创刊, 全国各地邮局发行, 若错过征订时间或需补齐 1992年至 2009年各期者, 请直接与编辑部联系邮购。邮购价: 1992年至 1993年每年 8元; 1994年至 2000年每年 16元; 2001年至 2005年每年 24元; 2006年至 2008年每年 40元; 2009年至 2010年每年 60元(均含邮资, 如需挂号另付挂号邮寄费 3元)。

编辑部地址: 南京市中山门外江苏省·中国科学院植物研究所内

邮编: 210014

电话: 025—84347016

传真: 025—84432074

E-mail: nbgx@jlonline.com 或 zwzy@mail.cnbg.net