

盐浓度有显著差异。大风时 TSP 主要由风扬尘决定,此时的 SO_4^{2-} 也主要来于风扬尘,它占 TSP 的 $(0.8 \pm 0.3)\%$,无风时 TSP 主要由人为源决定, SO_4^{2-} 占 TSP 的 $(2.7 \pm 0.7)\%$,冬季由于气溶胶中 SO_4^{2-} 浓度较高, SO_4^{2-} 占 TSP 的 $(4.1 \pm 1.5)\%$ 。由此可见,水溶硫酸盐有燃煤排放的 SO_2 转化成的硫酸盐和风扬尘两个主要来源,并以前者为主。

另外,春季 SO_2 浓度下降很多,由 SO_2 转化成的硫酸盐在总的硫酸盐中比例下降,又由于春季风扬尘大,来自风扬尘的硫酸盐与 SO_2 无关,故春季 SO_2 与 SO_4^{2-} 的相关系数只有 0.632 (冬天为 0.918),这也证实了春季气溶胶中来自风扬尘的硫酸盐比例升高。

在 SO_4^{2-} 与阳离子的相关中,以 Ca^{2+} 最

好,并且无风和大风两种情况的回归方程相似,

无风 $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.38 + 1.02[\text{Ca}^{2+}] \quad r = 0.949$
无风和大风

$[\text{SO}_4^{2-}] = -1.9 + 1.14[\text{Ca}^{2+}] \quad r = 0.932$
说明气溶胶中可能存在 CaSO_4 。

参 考 文 献

- [1] 许维光,中国环境科学, (4), 51(1981).
- [2] 苏维瀚等,环境化学, 4(1), 55(1985).
- [3] 陈宗良等,环境化学, 4(2), 72(1985).
- [4] 陈静生等,中国环境科学, 4, 10(1984).
- [5] Harrison, R. M. et al., *Environ. Sci. Technol.*, 17, 169(1983).
- [6] 林国珍等,环境科学学报, 3(4)310(1983).

重金属污染的稻田土壤中动物群落的研究*

王振中 张友梅 贺跃明 周海鱼 连捷元

(湖南师范大学地理系)

(湘潭市环境保护监测站)

农田是一个由土壤、生物、作物组成的复杂多相系统,随着现代工业的发展,大量“三废”未经综合处理进入农田,影响了农田生态系统的平衡,栖息于土壤中的大量土壤动物则由于污染物的富集而减少。从湘潭锰矿废水污灌稻田中土壤动物的调查可以看出,土壤动物是反映环境污染的敏感指标^[1],我国这方面目前报道甚少,因此,进行环境污染地区农田土壤动物群落结构的研究,可为环境污染的监测和治理提供一定依据。

一、调 查 方 法

锰矿在开采和工艺流程中,排放的废水通过溪沟进入湘江,沿溪沟两侧的稻田由于引沟水灌溉而受到了污染,污染严重的稻田

土壤由于锰的大量沉积,形成了褐色的“锰泥”。野外调查路线的选择,系沿溪沟的水平 and 垂直方向选点,共选择了十个调查点,并在不受污灌影响的稻田里取了一个对照点(图1),其中重污染稻田和对照田分层取了样,其他各点只取了耕作层样。取样方法,在面积为 $50 \times 50 \text{ cm}^2$ 样方内取 50 cm^2 为一个土样,共取 78 个土样,带回室内分别用 Tullgren 法(干漏斗法)和 Bearnann 法(湿漏斗法)分离提取土壤动物。在体视显微镜下进行分类鉴定和计数,根据青木淳一的土壤动物概略检索表进行分类^[2],并参考了陈义著《无脊椎动物学》等文献。

* 范玉兰,胡觉莲同志协助进行了土壤有机质, pH 值等指标的分析,谨此致谢。

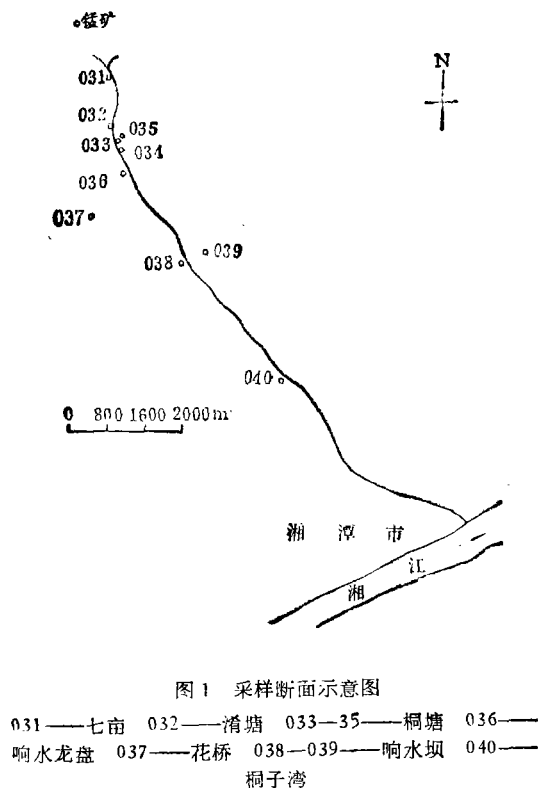


图 1 采样断面示意图

二、结果与讨论

(一) 群落的种类和数量组成

通过 11 个样地的调查,共获得中小型及少数大型土壤动物 5837 个,其中污染稻田 4467 个,计有 25 类,隶属 6 门 11 纲(表 1)。在 25 个土壤动物类群中,优势类群(个体数占总个体数 10% 以上)为线虫类、线蚓类、弹尾类,占全部土壤动物捕获量的 78.31%;常见类群(个体数占总个体数 1—10%)为涡虫类、颤蚓类、甲壳类、蛴螬类、双翅类,占全捕量的 19.1%,两者共占 97.5%,为锰矿污染区稻田土壤动物的主体;其余 17 类为稀有类群(个体数占总个体数 1% 以下),仅占全捕量 2.5%(表 2)。

(二) 群落的空间分布

1. 纵向分布

受锰矿污灌影响的稻田,其污染程度除局部因地势和灌溉方式而有不同外,总的

沿溪沟的水平方向距污染源愈远污染愈轻,土壤动物则表现为相反分布趋势,即随着污染程度的减轻而逐渐增加^[3,4],如在距离污染源 3km 的稻田, Mn 浓度高达 14000 ppm,土壤动物的密度为 5833.33 个/m²,而距污染源 10 km 的稻田, Mn 浓度下降为 536 ppm,土壤动物的密度高达 23366.67 个/m²(图 2)。

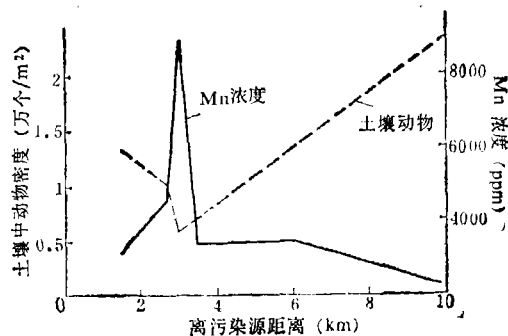


图 2 锰浓度与土壤动物的纵向分布

2. 横向分布

在垂直溪沟的方向上,距离溪沟愈远的稻田污染程度逐渐减轻,而土壤动物则明显增多。如位于溪边菜土的 Mn 浓度高达 14100 ppm,土动物密度为 5200 个/m²,而远离沟边的菜土 Mn 浓度为 1520 ppm,土壤动物密度达 19333.33 个/m²。稻田土壤动物亦呈现同样的分布趋势,如离溪沟 400 m 的 039 号稻田 Mn 浓度 685 ppm,土壤动物密度高达 33233.33 个/m²(图 3)

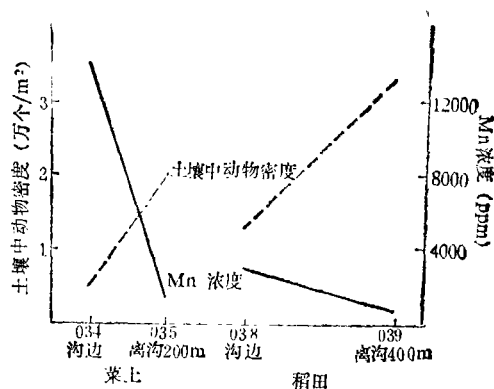


图 3 Mn 浓度的变化与土壤动物的横向分布

表 1 锰矿污染区稻田土壤动物类群名录*

门	纲	类(目、科)
原生动物门 Protozoa	纤毛纲 Ciliata	纤毛类 Ciliata
扁形动物门 Platyhelminthes	涡虫纲 Turbellaria	涡虫类 Turbellaria
环节动物门 Annelida	寡毛纲 Oligochaeta	近孔寡毛目 Plesiopora 颤蚓科 Tubificidae 线蚓科 Enchytraeidae
		后孔寡毛目 Opisthopora
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	腹足类 Gastropoda
节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea	枝角目 Cladocera 腺状介虫科 Cyprididae 十足目 Decapoda
	结合纲 Symphyla	结合类 Symphyla
	唇足纲 Chilopoda	石蜈蚣目 Lithobiomorpha 地蜈蚣目 Geophilomorpha
	蛛形纲 Arachnoidea	蜘蛛目 Araneida 蟱蛛目 Acarina
	昆虫纲 Insecta	双尾目 Diplura 双尾科 Campodeidae 缺尾虫科 Tapigidae
		膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae
		弹尾目 Collembola 直翅目 Orthoptera 同翅目 Homoptera 鞘翅目 Coleoptera 双翅目 Diptera 纛翅目 Thysanoptera

* 据 1985 年 5 月笔者调查结果而列。

3. 垂直分布

土壤动物的垂直分布,在非污染农田或一般自然土壤中都是由表层向下急剧的减少,直至消失,这是一个带普遍性的规律^[2],而污染地区的农田,土壤动物垂直变化和缓,甚至在 A 层和 B 层出现逆分布现象,如锰矿污染最严重的稻田,耕作层和犁底层土壤动物的密度分别为 10000 个/m² 和 10667/m²,反之,非污染稻田的耕层和犁底层土壤动物则分别为 43867 个/m² 和 1800 个/m². 污染田出现的土壤动物的逆分布现象,在长沙、株洲污染农田调查中均有发现,这种现象显然是由于污染物富集的表层,使一些表聚性强的类群不能生存和繁衍或向下迁移的结果。

(三) 土壤动物与污染物浓度的相关分析

1. Mn 的浓度

污染稻田的 Mn 浓度有的高达 14000 ppm,超出本底值近 30 倍,调查结果表明土壤动物的数量与稻田土壤的 Mn 浓度有明显的相关性,分析时采用 Spearman 秩相关系数公式。

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$$

式中: d_i 是每对变量的秩的差值; n 是数据对总数; r_s 为秩相关系数。

结果表明: 土壤动物的数量与 Mn 浓度的负相关达到极密切的程度*(图 4)。

2. Cd、Pb、As 的浓度

锰矿污染稻田并非单一的 Mn 污染,许

* 相关级别标准系依据杨秉廉编《计量地理学》
极密切 1.0—0.7(—1.0——0.7) 密切 0.7—0.4(—0.7—
—0.4) 较密切 0.4—0.2(—0.4——0.2) 不密切 0.2—
0.0(—0.2——0.0)

表 2 锰矿污染区农田土壤动物种类、数量组成

类 群	污 染 田										非污 染田	个体数 合计	占全捕 量(%)	频度*
	030	034	033	032	036	038	031	035	040	039	037			
线虫类	6	10	84	134	61	197	187	40	482	320	1090	2617	47.90	+++
弹尾类	174	54	49	34	48	89	39	82	54	351	13	987	18.07	+++
线蚓类	25	41	20	54	42	9	89	178	38	75	103	674	12.34	+++
蛴螬类	15	36	5	5	4	62	26	60	28	90	15	346	6.33	++
双翅类	6	7	1	15	23	10	16	13	28	50	26	195	3.57	++
涡虫类		5		19	21	2	9	147	13	59	6	281	5.14	++
甲壳类		3	2	8	3	4	13	28	36	22	38	157	2.87	++
颤蚓类			11	13	14	9			8	7	8	70	1.28	++
后孔寡毛类							3	10	6	10	1	30	0.55	+
纤毛虫类				18				6				24	0.44	+
蛭类	1					1	1	2	6	12		23	0.42	+
腹足类											1	1	0.02	+
结合类	7							8				15	0.27	+
石蜈蚣类								1				1	0.02	+
地蜈蚣类								3				3	0.06	+
蜘蛛类								1		1	3	5	0.09	+
双尾类	7					1						8	0.15	+
直翅类											1	1	0.02	+
同翅类											1	1	0.02	+
缨翅类			2									2	0.04	+
鞘翅类			1		1	3	8	1			4	18	0.33	+
膜翅类									2			2	0.04	+
Σ	241	156	175	300	217	387	393	580	701	997	1316	5463		

* +++ 优势类群. ++ 常见类群. + 稀有类群.

多其他重金属元素也都大大超过该地区的本底值, 如 Pb 最高值为 270 ppm, As 48 ppm, Cd 6.25 ppm, 这些重金属元素的含量与土壤动物的分布亦有明显的相关性, 现设 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示 Mn、Cd、Pb、As 的浓度, y 表示土壤动物个体数. 根据肯德尔 (Kendall) 相关系数公式:

$$\tau = \frac{S}{\frac{1}{2} N(N-1)}$$

式中: τ 为 Kendall 相关系数, S 是一个变量各个值的贡献值之和, N 是秩的个数

得出 τ_{yx_1} 为 -0.80.

再运用偏相关系数公式:

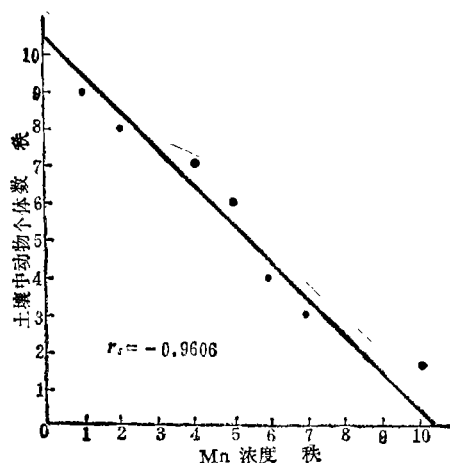


图4 土壤动物数量与 Mn 浓度的秩相关散点图

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - (r_{xz} \cdot r_{yz})}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

式中: x 、 y 、 z 是三个不同变量, r_{xy} 、 r_{yz} 是当 z 被控制时的偏相关系数 (即变量 x 与 y 之间的相关系数)。

当分别控制 x_2 、 x_3 、 x_4 时, 得 r_{yx_1, x_2} 、 r_{yx_1, x_3} 、 r_{yx_1, x_4} 分别为 -0.7179 、 -0.7213 、 -0.7086 , 表明 Cd、Pb、As 的浓度对土壤动

物均有一定影响。

据此, 我们认为锰矿污染区稻田, 影响土壤动物分布的重金属元素是多种的和综合的。同时, 通过多元线性回归分析, 得回归方程为:

设方程为 $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$, 则

$$\hat{y} = 801.67 - 0.06x_1 - 19.19x_2 + 1.65x_3 - 5.57x_4$$

经检验 (根据方程 $F = \frac{S_{\text{回}}/m}{S_{\text{残}}/(N-m-1)}$)

可以认为上述回归方程是显著的。

3. 有机物质的含量

一般说来有机质的含量与土壤动物的数量有明显的正相关^[6,7], 但在污染地区农田土壤动物与土壤肥力并不都表现正相关关系, 如有机质仅 2.95% 的非污染稻田土壤动物密度为 43867 个/ m^2 , 而有机质含量高达 6.18% 的污染稻田则仅为 13100 个/ m^2 (表 3)。

根据 Spearman 相关系数公式, 得出 r_s 为 0.1030, 表明污染区稻田土壤动物与有机质含量的正相关不密切。

表3 污染物浓度与土壤动物的分布

项 目 样地号	污染物浓度 (ppm)					有机质 (%)	pH	土 壤 动 物	
	Mn	Cd	Zn	Pb	As			密 度 (个/ m^2)	类群数
031	2389	0.21	49.5	21	24	6.18	6.14	13100	8
032	1512	5.00	485.6	175	34	3.16	7.38	10000	9
033	14100	6.25	520.3	270	48	3.15	7.89	5833.33	9
034	14100	6.25	520.3	270	48	4.28	7.89	5200	7
035	1520	1.13	111.0	43	13	3.32	6.64	19333.33	15
036	2760	1.38	122.1	98	24	3.26	6.94	7233.33	9
037	567	0.63	73.7	50	20		6.08	43866.67	14
038	2920	1.25	250.0	60	25	3.06	7.68	12900	11
039	685	1.13	124.9	45	18	5.59	7.82	33233.33	11
040	536	2.58	126.1	62	30	5.00	6.05	23366.67	11

参 考 文 献

- [1] 陆强国、环境科学, 6(2), 59(1985).
[2] 青木淳一,《土壤动物学》,北隆馆,东京, 1973.

- [3] 夏增禄等,环境科学学报, 1(5), 105(1985).
[4] 张友梅等,湖南师范学院学报 1(3), 90(1984).
[5] 张荣祖等,生态学杂志, 4, 23(1983).
[6] 陈 鹏等,地理科学, 2(3), 133(1983).
[7] 王振中等,湖南师范大学学报, 2, 83(1985).

光照对凤眼莲强化氧化塘处理废水 反应动力学的研究

区尹正 徐向阳

(浙江农业大学环保系)

氧化塘是低能耗、基建投资及运行管理费用较低的废水生物处理系统。因此,国内外研究报道很多,应用范围极广。但对于氧化塘的光效应及其基质降解动力学,特别是用动力学研究所获得的参数代替经验数据来进行氧化塘设计的研究报告甚少,为了加深对氧化塘机理的认识和促进氧化塘设计规范化,并为氧化塘工业化作准备,探讨塘内光照对基质降解动力学是必要的。

一、材料和方法

合成塑料板制成容积为

65 L(74.5 cm × 35 cm × 25 cm)

的容器六只,作模拟氧化塘,用近似太阳光波的日光灯代替自然光照。

取含有大量藻类的池塘水并加入适量的牧场污水、活性污泥及人工合成污水(COD 约为 300 mg/L)静置培养。几天后将其倒入上述容器中,并各加入等重量的凤眼莲,静置二天,然后启动高位槽,放出人工污水作动态模拟预试验,流量 $Q = 1.35 \text{ L/h}$,运行六天,使凤眼莲适应人工污水。此时光照度为 7000 Lx,光照时间 11 h/d,日平均温度为 23℃。

试验方法分下列几组:

1. 静态试验

均以一只容器灌满人工污水并加入定量凤眼莲,废水停留时间为四天。

A. 室外自然光照(光照度平均为 38000 Lx)

B. 室内自然光照(光照度平均为 8000 Lx)

C. 室内人工光照(光照度为 7000 Lx,光照时间分别为 6、8、10、12 h/d)。

2. 室内人工光照动态模拟试验

用三级串联完全混合流态系统,分别以 7000、6000、5000、4000、3000 Lx 光照,每级停留时间 2 天,并分别在 11 h 光照和 24 h 全日照下进行。

COD 测定用重铬酸钾法,光照度用 ST-II 型照度计测定。

二、结果与讨论

1. 自然光照静态试验 COD 降解动力学

自然光照下凤眼莲氧化塘 COD 去除*情况见表 1。

根据化学反应动力学原理,如反应动力学呈一级反应时, $\ln c_0/c_t$ — t 曲线为一直线;如属二级反应,则 $1/c_t$ — t 为一直线(c_0

* 作者在本文中将 COD 看作单项污染物。