

污灌土壤的生态毒性研究

宋玉芳^{1,2}, 周启星^{1,2}, 王 新¹, 宋雪英¹, 张 薇¹, 孙铁珩^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点开放实验室, 辽宁 沈阳 110016; 2. 沈阳大学沈阳环境工程重点实验室, 辽宁 沈阳 100041)

摘 要:采用污灌区土壤现场采样及室内分析、培养试验方法,进行了污染物(重金属和矿物油)含量分析和植物毒性试验、蚯蚓毒性试验。结果表明,污灌区土壤中矿物油含量为 $145 \sim 1\,121 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 重金属 Cd 为 $0.34 \sim 1.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤对植物和蚯蚓显示不同程度的毒性效应。种子发芽根伸长抑制率为 $2.0\% \sim 35.1\%$, 蚯蚓死亡率为 $0\% \sim 40\%$ 。体重增长抑制率由 14 d 的 $-2.3\% \sim -19.4\%$ 增加到 28 d 的 $-2.1\% \sim 10.7\%$ 。表明土壤中的污染物积累较低,但具有明显的生态毒性。

关键词:土壤; 污水灌溉; 蚯蚓; 高等植物; 生态毒性

中图分类号:X131.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 – 2043(2004)04 – 0638 – 04

Eco – toxicity of Soils Irrigated with Wastewater

SONG Yu-fang^{1,2}, ZHOU Qi-xing^{1,2}, WANG Xin¹, SONG Xue-ying¹, ZHANG Wei¹, SUN Tie-heng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Key laboratory of Environmental Engineering of Shenyang, Shenyang University, Shenyang 100041, China)

Abstract: Soil samples were collected from several sites along the wastewater irrigation channel, western Shenyang. The concentration of heavy metals(Cd) and mineral oil was analyzed. The eco – toxicity of sediments was evaluated. Heavy metals (Cd) were determined by AAS (atom adsorption spectrometer), mineral oil was measured by UV spectrometer. The eco – toxicity of soil was based on the method of international standardization of organization (ISO) and OECD guideline with some modification. With inhibition rates of root elongation of wheat as endpoint seed germination test was performed and the duration period was 50h. With lethal and sub – lethal effects as endpoint earthworms test was conducted and the experimental period was 28d. The results showed that the mineral oil in soils were $145 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1\,121 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cd was $0.34 \sim 1.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The inhibition rate of root elongation based on germination test was $2.0\% \sim 35.1\%$ and the mortality rates of earworms were $0\% \sim 40\%$. The inhibition rates of body weight growth differed with treatment time, being $-2.3\% \sim 19.4\%$ and $-2.1\% \sim 10.7\%$ in 14 d and 28 d after treatment, respectively. There existed a lower accumulation of pollutants in soils that had produced apparent eco – toxicity.

Keywords: soils; wastewater irrigation; earthworm; higher plants; eco – toxicity

城市污水作为一种重要的资源用于农业灌溉在我国乃至世界都有着悠久的历史^[1, 2]。污水灌溉中水肥资源得到充分利用,但是污灌将导致土壤中污染物的积累,向地下水运移或通过作物向食物链传输,土壤 – 植物系统的污染将给人类健康带来潜在风险^[3 ~ 6]。有关土壤污染物的积累曾引起关注^[7, 8],但近年来的

相关研究很少报道。

已有 40 余年的浑蒲污灌区位于沈阳市西部郊区,面积达数千公顷,用于灌溉的污水以工业污水为主。本文针对浑蒲污灌区污水中污染物的特点,通过化学指标与生态毒理指标结合的方法,进行土壤污染生态研究,对污灌导致土壤整体污染的程度及由此带来的生态危害给予评价。

1 材料与方法

1.1 土壤

分别沿浑蒲污灌区的上中下游地带水稻田中采

收稿日期: 2004 – 01 – 13

基金项目: 国家自然科学基金(20077029, 20277041, 20337170); 沈阳大学, 沈阳环境工程重点实验室基金; 中国科学院沈阳应用生态所海外留学基金

作者简介: 宋玉芳(1954—), 女, 博士, 研究员, 从事陆地生态系统污染生态学研究。E – mail: songyufang@ hotmail. com

集了土壤(0~10 cm)样品,并以中国科学院沈阳生态实验站采集的清洁农业土壤(0~20 cm)为对照。所有样品经过 5 mm 筛,使用前于 4℃ 保存。土壤的某些物理化学性质,见表 1。

表 1 土壤的某些物理化学性质					
Table 1 Some physical-chemical properties of soils tested					
土壤	pH	有机质	粘粒/%	粉(砂)粒/%	砂粒/%
			<0.002 mm	0.002~0.05 mm	0.05~2 mm
1	5.70	1.74	17.71	47.22	35.07
2	5.49	3.14	17.38	47.40	35.22
3	5.69	1.77	14.88	29.87	55.25
4	5.66	1.95	17.08	23.53	59.39
5	6.43	1.23	29.49	30.21	40.30
6	5.26	1.57	19.55	32.79	47.66
7	5.93	1.66	22.41	29.76	47.83
CK	6.20	1.65	14.00	64.00	22.00

1.2 试验植物和蚯蚓

供试小麦 (*iticum aestivum* L.) 种子购自辽宁省阜新种子站。试验开始前进行种子发芽率试验。将种子放置在潮湿的滤纸上,于暗处 25℃±2℃ 培养,种子发芽率≥95%。供试蚯蚓 (*Eisenia fetide*) 购于当地市场,蚯蚓重量为 300 mg±10 mg。

1.3 种子发芽试验

参照国际标准方法组织和 OECD 指南^[9,10]。根据初始试验结果确定小麦根伸长试验周期为 50 h。试验均为 3 个重复。

1.4 蚯蚓毒性试验

蚯蚓毒性试验参照国际标准方法组织草案^[11]。分别于试验 14 d 和 28 d 记数每个处理的活蚯蚓数和蚯蚓死亡率,测定活蚯蚓重量。试验设 4 个重复,对照土壤与供试土壤同步进行。

1.5 污染物成分分析

矿物油测定:称取 5 g 过 1.0 mm 筛风干土壤于 250 mL 三角玻璃瓶中,加入 30 mL 三氯苯于恒温水浴 70℃ 提取 1 h。提取液通过装有 5 g 无水硫酸钠的容器中过滤水分,重提取步骤 2 次,合并有机提取相。样品的矿物油含量用紫外分光光度仪测定^[12]。

重金属测定:称取 0.5 g 过 1 mm 风干土壤于 100 mL 烧杯中,加入 20 mL 王水, HNO₃: HClO₄ (3:1) 在 180℃ 砂浴上硝化 18 h,提取液转移到 100 mL 容量瓶中,用去离子水稀释定溶至刻度,原子吸收分光光度计测定 Cd 含量^[13]。

2 结果与讨论

2.1 土壤中污染物的积累

测定了土壤中重金属 Cd 的含量。由图 1 可见,所有土壤中 Cd 的检测量超过土壤环境质量标准 (0.3 mg·kg⁻¹)^[13],其中 5 个采样点土壤中 Cd 含量为 1.0~1.8 mg·kg⁻¹。从土壤 Cd 的分布可见,灌渠上、中、下游地区土壤中 Cd 的积累量差别不大,这一结果与以往土壤 Cd 含量的至上而下含量依次减少的分布规律不同^[14],这表明土壤中 Cd 在逐渐下移。由表 1 可见,灌区土壤普遍的偏酸性性质 (pH 值 5.26~6.43) 对 Cd 的迁移与 Cd 重新从土壤中溶解与释放提供了有利条件,对加剧其向下游地区乃至地下水的迁移起重要作用。

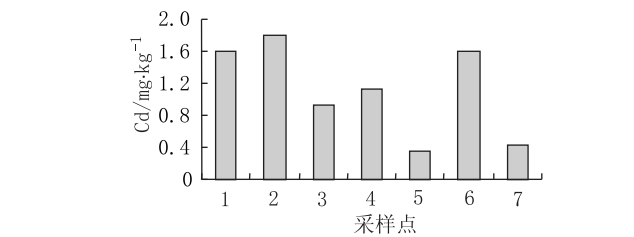


图 1 污灌区渠土壤中 Cd 含量
Figure 1 Accumulation of Cd in soil tested

由图 2 可见,多数土壤样品中矿物油积累不明显为 145~282 mg·kg⁻¹,仅个别点(采样点 6)矿物油含量为 1 120.7 mg·kg⁻¹ 超过土壤质量标准。孙铁珩等人曾调查石化地区土壤(0~20 cm)矿物油,发现矿物油含量在 30~40 mg·kg⁻¹^[15],而辽河下游草甸棕壤非污灌区土壤矿物油含量平均值为 43.72 mg·kg⁻¹,污灌区土壤矿物油含量在 88.75~1175 mg·kg⁻¹,土壤质地较粗糙的沙土地带,因容易污染向地下渗漏,土壤中矿物油的残留较低^[16]。从以上分析可见,污灌土壤中矿物油含量仍明显高于非污灌区土壤。比较 20 a 污灌土壤矿物油含量可见,长期污灌状态下土壤矿物油含量水平没有积累性增加。这可能与有机污染物的光解,好氧和厌氧生物降解等作用有关。

2.2 土壤的植物毒性

由图 3 可见,所有土壤都对植物生长产生毒性,导致对小麦根伸长不同程度的抑制和刺激效应。从小

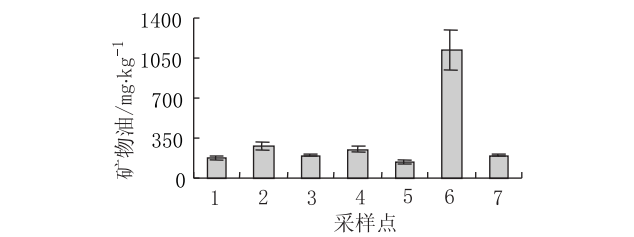


图 2 污灌区渠土壤中矿物油含量
Figure 2 Accumulation of mineral oil in soil tested

麦根伸长抑制率结果看,采自灌渠之首的土壤显示较弱的抑制毒性效应,而其他土壤对植物根伸长有明显的刺激作用。植物毒性反映了土壤整体的质量性质,与所有污染组分的生物有效性有关。宋玉芳等人以投加重金属进行的植物毒性试验表明,污染物在低浓度下对植物根伸长有明显的刺激作用,而在一定浓度之上开始产生抑制作用^[17,18],刺激作用与污染物浓度有关^[17,18]。

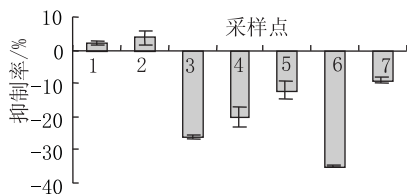


图3 土壤对小麦根伸长抑制率

Figure 3 Inhibition rates of sediments on root elongation of wheat

2.3 土壤对蚯蚓的毒性致死效应

分别测定了14 d和28 d的蚯蚓致死率。由图4可见,有4组土壤对蚯蚓产生致死毒性效应。其中7号土壤的毒性最强,14 d致死率30%,28d致死率为45%。6号土壤毒性其次。14 d死亡率为10%,28d增加至15%,灌渠首土壤的毒性明显不及上述2个样

品。14 d有蚯蚓死亡,28 d死亡率增加。其他土壤对蚯蚓无死亡毒性,显然图4中土壤的毒性较强。对照土壤28 d试验期内蚯蚓死亡率为零。以蚯蚓致死率划分土壤的毒性,其顺序依次为:7>6>2>3>1、4、5。从图1、图2可见土壤重金属和矿物油总浓度不高,上述土壤对蚯蚓的致死效应显然来自土壤的综合毒性^[18]。

2.4 土壤对蚯蚓体重增长的抑制效应

分别于14 d和28 d测定了蚯蚓体重增减的动态变化率。由图5可见,土壤对蚯蚓生长显示不同的毒性响应。多数土壤对蚯蚓生长有刺激作用,导致蚯蚓体重明显增加。当试验时间由14 d延长到28 d时,情况发生变化,具体表现为以下两种形式,即刺激作用减弱,或刺激作用转变为抑制作用。与图4结果比较发现,在引起蚯蚓死亡的土壤中,蚯蚓个体对土壤毒性的响应不同。

在28 d试验期内对照土壤蚯蚓体重持续增加,但总体变化不大。这与供试土壤中蚯蚓的体重变化趋势不同,进一步说明供试土壤的毒性特征。整个试验过程中所有蚯蚓都没有喂养。从对照蚯蚓体重的变化说明,28 d的饥饿状态没有对蚯蚓(对照土壤)生产产

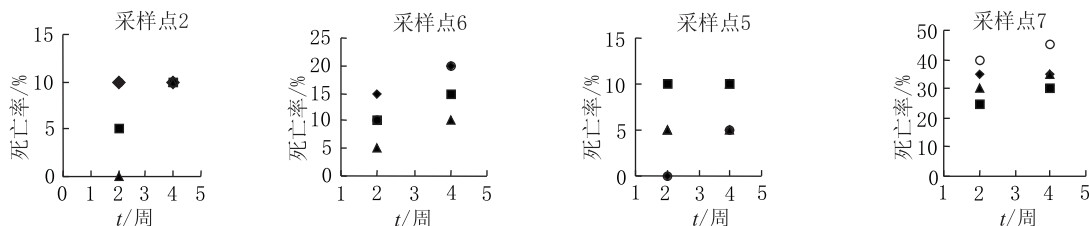


图4 土壤中蚯蚓死亡率动态变化

Figure 4 Dynamic variations of mortality rate of earthworms in the sediments

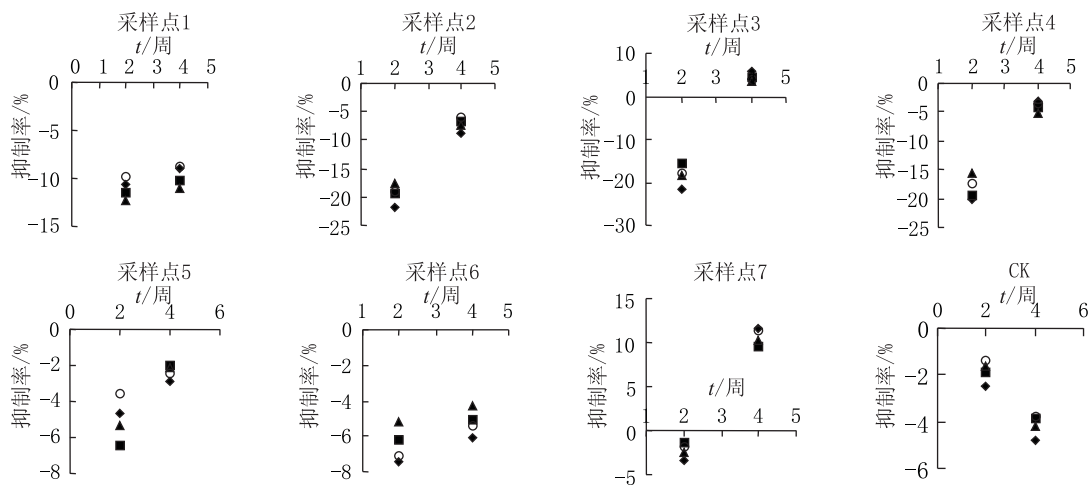


图5 土壤中蚯蚓体重增长抑制率的动态变化

Figure 5 Dynamic variations of the inhibition rate of earthworm weight in soils

生直接负面影响。饥饿状态下污染土壤中蚯蚓体重的变化显然与污染胁迫相关,但饥饿状态能使污染胁迫的作用加强^[11]。

2.5 污染物含量与土壤毒性的相关性

试验结果表明,供试土壤中污染物积累程度与毒性之间有以下关系:(1) 污染物浓度相对较高的土壤(6号),其植物毒性和动物毒性也相对高;(2) 污染物浓度相对低的土壤,毒性响应明显不同,其中一部分土壤有明显的植物毒性(1、2),主要表现为植物生长的抑制效应;而另一部分显示明显的动物毒性(2、3、7),主要表现为急性致死效应。这说明这类土壤整体具有毒性组分。这类从化学尺度上轻度污染的土壤,其潜在的毒性属性需进一步界定。部分土壤既没有明显的植物毒性,也没有明显的动物毒性,说明这类土壤除了实验检测的化学指标浓度不高外,其他有害组分的含量也不高,土壤整体毒性不大。

3 结论

初步对沈阳西部污灌区土壤进行了污染物积累和生态毒性研究。土壤中污染物积累水平不高,但所有土壤都显示不同程度的植物毒性和土壤动物毒性。本研究表明,以化学分析和生态毒理指标结合的方法,可以对环境样品的整体毒性和环境危害性给予更为科学的评价,以避免单纯化学分析对低污染积累土壤的生态风险及危害的遗漏。

参考文献:

[1] 高拯民. 土壤-植物系统污染生态学[M]. 北京:科学出版社, 1986. 1-6.

[2] 朱荫湄,周启星. 我国土壤污染与农业环境保护的现状,理论与发展前景[J]. 土壤通报, 1999, 30(3): 132-135.

[3] Angelakisa A N, Bontoux B. Lwastewater reclamation and reuse in Europe countries[J]. *Water Policy*, 2001, 3: 47-59.

[4] Jamala M S, Al - Sammisa T W, Mexala J G, et al. A growth - irrigation scheduling model for wastewater use in forest production[J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 56: 57-79.

[5] 王学军,席 爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克拉格插值与重金属污染评价[J]. 中国环境科学, 1997, 17(3): 225-228.

[6] 张秀梅,唐以剑,章 申. 白洋淀地区土壤-植物系统污染物含量与变化规律研究[J]. 地理科学进展, 1997, 16(2): 61-69.

[7] 庞奖励,黄春长,孙根年. 西安污灌土壤重金属含量及对西红柿影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 94-97.

[8] 宋玉芳,常士俊,李 利,等. 污灌土壤中多环芳烃的积累与动态变化[J]. 应用生态学报, 1998, (1): 93-98.

[9] International Organization for Standardization (ISO). Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth. ISO, 1993, 11269-1.

[10] OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) Proposal for Updating Guideline 208: Terrestrial (Non - Target) Plant Test 208A - Seedling emergence and seedling growth test. Paris, France, 2000.

[11] International Organization for Standardization) ISO. Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (Eisenia fetide) - part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substance. 1993, 11268-1.

[12] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1986. 129-331.

[13] 王 新,梁仁碌. 土壤-水稻系统重金属复合污染的生态效应[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 38-42.

[14] 宋玉芳,孙铁珩,张丽珊. 土壤-植物系统中多环芳烃(PAHs)和重金属的行为研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(4): 417-422.

[15] 孙铁珩,常士俊,杨祖凡,等. 北京燕山石化地区土壤污染评价的研究——土壤-植物系统污染生态学[M]. 北京:科学出版社, 1986. 302-311.

[16] 刘均祐,常士俊,杨祖凡,等. 辽河下游草甸棕壤矿物油环境容量研究——土壤-植物系统污染生态学[M]. 北京:科学出版社, 1986. 208-219.

[17] 宋玉芳,许华夏,任丽萍,等. 土壤重金属对白菜种子发芽与根伸长抑制的生态毒理效应[J]. 环境科学, 2002, 23(1): 103-107.

[18] 宋玉芳,周启星,许华夏,等. 土壤中亚、苡,1,2,4-三氯苯对蚯蚓的急性毒性效应[J]. 农村生态环境, 2003, 19(1): 36-39.