

# 污灌区土壤重金属累积影响因素研究

张乃明 陈建军 常晓冰

(云南农业大学环境科学系 昆明 650201)

**摘 要** 本文研究了大气沉降、化学肥料施用、污水灌溉 3 个外源因素对污灌区土壤中重金属 Hg、Cd、Pb 累积的影响, 结果表明: 污灌区大气干湿沉降和施肥输入土壤中 3 种重金属元素的数量顺序为 Pb>Cd>Hg。污灌水中重金属 Hg、Cd、Pb 含量的高低与相对应的灌区土壤中重金属的累积量的多少基本一致, 对土壤 Cd 累积影响最大的是污水灌溉, 对土壤 Hg 累积影响最大的是大气沉降, 污灌与大气沉降对土壤 Pb 累积影响作用相近, 施肥对 3 种重金属元素累积影响最小。

**关键词** 污水灌溉; 重金属; 土壤; 降尘

在我国重金属污染土壤主要分布在污水灌区, 重金属因其难被微生物降解、不易移动等特点使得进入土壤环境中的重金属元素即成为永久性的污染物在土壤中不断累积。影响重金属累积的因素很多, 这些因素可归为 3 类: 一类是重金属本身的理化性质; 另一类影响因素就是土壤理化性状, 包括土壤质地、粘土、矿物类型、母质、特征、剖面形态结构、有机质含量、土壤阳离子代换量等; 第三类是重金属的输入来源也对土壤中重金属累积量产生直接的影响。对影响土壤中重金属累积的前两类因素国内外学者都进行了大量的研究与探索<sup>[1,2]</sup>, 但对重金属外源输入因子研究少, 本文以在我国北方具有代表性的太原污灌区为研究对象, 定量研究了大气沉降、化肥施用、污水灌溉对土壤重金属 Hg、Cd、Pb 累积量的影响及输入贡献, 目的是为污灌区土壤重金属污染防治提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 污灌区概况

太原污灌区位于山西省中部的太原盆地北端, 灌区三面环山, 整个地形北高南低, 海拔在 760~820m。研究区地貌类型主要包括 3 类, 即分布于西部的洪积倾斜平原, 分布于中部汾河两岸的冲积平原和分布于东部的洪积冲积平原。

污灌区属暖温带半干旱大陆性季风气候区, 分布的主要土壤类型是潮土, 该类土壤养分丰富, 肥力较高, 是污灌区主要的耕作土壤, 在河流一级阶地低洼处和河漫滩, 零星分布有盐化潮土, 此外还有经人类活动长期耕种改造形成的水稻土和菜园土。灌区土壤成土母质以冲积物为主, 也有洪积冲积物母质、黄土状物质和淤积物。研究区土壤质地以轻壤为主, 绝大多数土壤呈微碱性; 种植的主要作物是小麦、玉米、高粱、水稻和蔬菜。贯穿南北的汾河是太原市城市生活污水和工业废水排放的总归宿, 各种污水和工业废水经 18 条支流从东西两侧汇入其内, 年排放量高达 2.5 亿立方米, 污灌区一般以汾河水与污水混合灌溉为主。

## 1.2 布点采样

太原污灌区属于干、支、斗、主渠配套的大型污灌区，污灌水监测点布设在主要污水水源。支渠取水口，干渠末端，排污水渠的上、中、下游，采样选用高压低密聚乙烯塑料瓶为容器，采样前用酸浸泡 8 h，然后用清水洗涤备用，具体采样时用采样器由渠边向渠中心采集，编号，加保护剂带回室内分析。

土壤采样点按污水渠流向布设，具体样点密度既考虑样点分布的均匀性和代表性，又要考虑经费支出的可能性，一般灌溉水质稳定区、土壤类型单一且远离污染源的区域布点密度较小，对土壤类型复杂、污水类型多样、靠近污灌水源且污灌历史长、污染事故发生多的区域适当加大布点密度。采样一般取 0~20 cm 耕层土壤，采多点混合样，土样经自然风干磨碎过尼龙筛备分析用。

## 1.3 分析方法

a. 土壤：Hg——硫酸-硝酸-高锰酸钾消解，冷原子吸收分光光度法测定；Cd、Pb——浓硝酸消解，原子吸收分光光度法测定。

b. 水样：Hg——测定方法同土壤；Cd、Pb——用硝酸-高氯酸消解，原子吸收分光光度法测定。

c. 大气：TSP（总悬浮微粒）——气泵滤膜采样，每月 1 次，每次连采 7 天，分析天平称重；降尘——用集尘缸采集，每个月取放 1 次降尘罐，经蒸发干燥称重。

d. 肥料中 Hg、Cd、Pb 测定方法同土壤。

## 2 结果分析

### 2.1 大气沉降对土壤 Hg、Cd、Pb 累积量的影响

大气中重金属在一定条件下沉降到地面，会增加土壤中重金属负荷，不同类型地区因大气污染程度不同，重金属沉降贡献率差别很大，国外有学者<sup>[3]</sup>研究了农村偏远地区、城市和工业区 Cd 的沉降量。太原作为全国能源重化工基地的中心城市，大气污染十分严重，位于全球污染最严重的 10 城市之首，其中降尘与 TSP 均为主要污染物，降尘对灌区土壤中重金属累积的贡献不容忽视。为定量分析大气降尘对土壤累积量的影响，在整个污灌区共布大气监测点 7 个，测定了 TSP 和降尘浓度及干湿降尘中重金属元素含量(表 1)，由此可进一步计算出每公顷土壤上干湿沉降输入土壤中重金属的数量(表 2)。对同一区域不同重金属元素大气沉降输入量顺次为 Pb>Cd>Hg，3 元素在不同区域经大气干湿沉降年输入土壤的数量以晋源区最大，顺序为晋源>小店>万柏林>清徐>尖草坪。

表 1 大气干湿降尘中重金属元素含量

项目	Hg		Cd		Pb	
	均值	范围	均值	范围	均值	范围
湿沉降(μg/l)	0.212	0.154~0.411	0.270	0.148~0.540	37.7	22.5~48.90
干沉降(mg/kg)	1.23	0.89~2.78	1.79	1.12~2.07	60.89	32.78~80.94

### 2.2 污灌水质对土壤中重金属累积量的影响

对于污水灌区，污灌水质状况与土壤中重金属累积量直接相关，太原市的工业与城市生活污水是污灌区灌溉的主要水源。污灌区基本沿汾河两岸由北向南呈长条形分布，在污

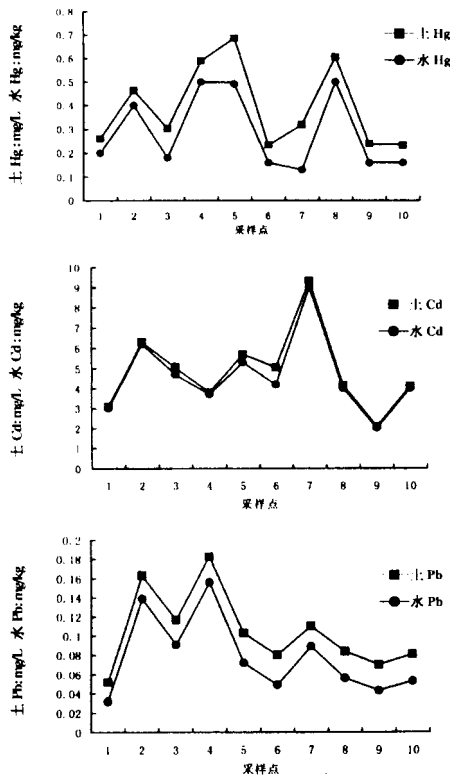


图 1 不同区域土壤和灌水中重金属含量

灌区不同位置由于距引水渠道的距离不同，接纳污水的污染源不同，使得灌区不同区域所灌溉污水的水质有很大差异。污灌区污水来源与水质类型可分成工业与城市生活混合污水、工矿污水、城市污水与汾河水混合污水 3 种类型。

在污灌区，污灌水质状况直接影响土壤中重金属的累积量。本研究监测了 10 个排污渠污灌水源所控制相应的灌区土壤中重金属的累积量，不同污灌水源区灌水和土壤中 Hg、Cd、Pb 含量高低变化趋势十分相似，灌水中重金属含量高，相对应的土壤中重金属含量也高（图 1）。根据污灌水平重金属的含量和年灌水量可计算出不同区域随污水输入土壤重金属的数量（表 2）。

### 2.3 施肥对土壤中重金属累积量的影响

施肥是农业生产中普遍采用的一种增产措施，为满足不断增长的粮食需求，肥料的施用种类与数量不断增加，大量化学肥料的长期使用，随肥料进入土壤中重金属的累积问题日益

受到重视，国外的研究证实连续施用磷酸盐能引起表土中 Cd 含量的显著增加<sup>[4]</sup>。虽然进入土壤中的重金属不一定全部累积在表层土壤，因有一部分会随水淋溶、还有少部分被作物吸收，但要估计施肥对土壤重金属累积量的贡献，年输入量应等于每年单位面积施肥数量乘以肥料中重金属元素的含量。

表 2 不同外源因子对土壤重金属输入量的影响 (g/hm<sup>2</sup>a)

区域	Hg			Cd			Pb		
	降尘	污水	施肥	降尘	污水	施肥	降尘	污水	施肥
尖草坪	3.17	0.81	0.0030	4.4	21.06	0.218	279.5	313.2	0.347
万柏林	4.10	2.48	0.0037	5.78	27.54	0.301	326.2	658.8	0.361
晋源	6.06	1.404	0.053	8.65	16.2	0.433	432.2	324.3	0.53
小店	5.39	1.4	0.0106	7.66	16.0	0.794	393.6	324.0	1.54
清徐	3.67	0.81	0.0179	5.16	21.0	1.45	315.6	313.2	1.37
平均	4.48	1.38	0.0081	6.33	20.36	0.639	349.4	386.7	0.829

为进一步比较不同外源因子对土壤重金属累积的贡献，由表 3 中的平均值可看出 3 个外源因子对土壤重金属累积的贡献。其中污灌区土壤 Hg 的输入贡献顺序一致均为：大气降尘>污水灌溉>施用肥料，这与西欧发达国家 80 年代来源顺序基本一致<sup>[3]</sup>，究其原因这是由于污灌区大气污染较重而污灌水中 Hg 含量又相对较低；污灌区所涉 5 个区县外源因子对土壤 Cd 的贡献率均为污水>降尘>施肥；Pb 的输入贡献在尖草坪和万柏林区与 Cd 相同，

这与上述区域污灌水 Cd、Pb 的含量较高有关,但在晋源、小店和清徐 3 个外源因子对 Cd、Pb 贡献顺序与 Hg 相同即大气降尘>污水灌溉>施用肥料,总体看施用肥料对 3 个重金属元素的贡献最小(表 3)。

表 3 污灌区肥料中重金属含量 (mg/kg)

肥料种类	样本数	Hg		Cd		Pb	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值
过磷酸钙	6	0.02 ~ 0.08	0.03	1.2 ~ 2.70	1.9	1.42 ~ 4.08	2.8
氯化钾	5	--	--	2.7 ~ 17.81	14.0	26.7 ~ 101.5	88.0
复合肥	6	0.006 ~ 0.09	0.01	0.13 ~ 0.46	0.20	7.98 ~ 16.55	12.0

### 3 结论

1. 不同类型区域外源因子输入土壤中重金属的数量不同,对污灌区同一类型区域大气干湿沉降和随化学肥料施用输入土壤中重金属元素的数量顺次一致均为 Pb > Cd > Hg。

2. 污灌水中重金属的含量与相应土壤中重金属的累积量具有相同的变化趋势,太原污灌区所属 5 县(区)随污灌水输入土壤中重金属的数量以万柏林区最大,小店区和晋源区次之,清徐县和尖草坪区最低。

3. 污灌区 3 个外源因子对土壤中重金属的累积贡献不同,对土壤 Cd 的累积贡献率均为污水 > 降尘 > 施肥, Hg 的累积贡献为降尘 > 污水 > 施肥,对土壤 Pb 的累积贡献率以施肥最小,污灌与大气降尘的贡献相近。

### 参 考 文 献

- 1 唐诵六. 土壤重金属地球化学背景值影响因素研究. 环境科学学报, 1987, 7(3): 245 ~ 246
- 2 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属. 北京: 中国环境科学出版社, 1995, 34 ~ 36
- 3 Kloke, A.et al. Changing metal cycles and human health. Spring-verlag, 1984, 113 ~ 141
- 4 张乃明. 太原污灌区土壤重金属污染研究. 农业环境保护, 1996, 15(1): 21 ~ 23

\*\*\*\*\*

(上接第 89 页)

### 参 考 文 献

- 1 张树人等. 吉林省土壤微量元素含量与分布规律研究 第一报 土壤中的铜和锌. 吉林农业科学, 1987, (3): 50 ~ 57
- 2 张树人等. 吉林省土壤微量元素含量与分布规律研究 第二报 土壤中的铁和锰. 吉林农业科学, 1988, (2): 51 ~ 57
- 3 张树人等. 吉林省土壤微量元素含量与分布规律研究 第三报 土壤中的硼和钼. 吉林农业科学, 1989, (1): 54 ~ 59
- 4 刘铮等. 土壤的微量元素——微量元素土壤化学. 中国科学院微量元素学术交流会汇刊. 北京: 科学出版社, 1980, 23~55
- 5 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983, 332~575