

沈阳张士灌区镉污染生态的研究

吴燕玉 陈 涛 张学询

(中国科学院应用生态研究所, 沈阳)

摘 要

本文揭示了污染物镉从污染源——污染水体——张士灌区农田生态系统——人体的生态循环规律; 各种环境因素、灌溉条件、栽培作物等对镉的行为的影响及其对人体造成的危害, 为镉污染的治理从理论和实践上提供了重要依据。

关键词: 镉污染生态, 环境。

由于农田镉污染而引起对人体健康的危害是举世瞩目的环境问题。我国农田镉污染面积约有13,000ha, 沈阳张士灌区是发现最早、面积较大、污染严重的镉污染区。本文旨在系统地揭示镉在张士灌区内的循环规律; 各种环境因素对镉行为的影响; 镉的污染危害。以阐明张士灌区镉行为的传递特性, 为农田镉污染防治、提供理论依据。

一、张士灌区镉污染状况

张士灌区位于沈阳西郊, 距市区3km。1962年以来, 引用卫生明渠污水灌溉稻田, 面积为2,800ha。1974年林士所首次监测出灌区糙米含镉量最高达2.6mg/kg。1975年沈阳市镉污染联合调查组对灌区土壤、稻米、灌溉水、人体健康等进行了全面调查, 发现灌溉水中含镉量达30—143 μ g/L。灌区上游有330ha土地属严重污染区, 糙米平均含镉1.06mg/kg。这样大面积严重污染事件, 引起了公众的关注。自1975—1985年, 从调查、监测和研究中, 积累了历年灌区土壤、稻米的监测数据, 列于表1。

一闸严重污染区, 面积330ha, 土壤含镉量5—7mg/kg, 米含镉1—2mg/kg。二、三闸中度污染区, 面积1,130ha, 土壤含镉3—5mg/kg; 米含镉0.2—0.4mg/kg, 1984年以来, 二闸糙米镉含量超过0.4mg/kg, 有上升的趋势。下游德胜、沙岭一带为轻度污染区, 面积1,260ha, 土壤含镉1—2mg/kg, 米含镉0.1mg/kg左右。

这一污染状况与日本神通川流域镉污染状况相比, 污染程度则要严重得多(表2)。而与国内其它镉污染区相比, 虽然土壤镉含量并不太高, 但其米Cd/土Cd比大大超过其它地区的相应比值。张士灌区上游米Cd/土Cd为0.13—0.42; 天津盐化草甸土0.09—0.13; 广西石灰性水稻土仅为0.002—0.003。

造成张士灌区污染的原因主要是水污染。灌溉水源被沈阳市最大的镉污染源——沈阳冶炼厂所污染。该厂日排污水量2.6—2.7 $\times 10^4$ t, 在污染源治理前(1980年前), 污水中含镉

本文于1986年11月24日收到。

表1 张士灌区土壤、稻米含镉量 (mg/kg)

Table 1 Cd contents of soil and rice in Zhangshi irrigation area

年份	1975			1977			1978			1979		
	n	米Cd	±Cd (0.1molHCl)	n	米Cd	±Cd (0.1molHCl)	n	米Cd	±Cd	n	米Cd	±Cd
一 闸	5	1.09	3.08	3	2.34	7.0	8	0.53	7.19	20	1.07	6.59
二 闸	4	0.48	1.70	2	0.52	3.17	4	0.20	5.06	14	0.315	5.20
三 闸	3	0.25	1.06	1	0.265	5.13	4	0.24	5.5	16	0.165	4.25
德 胜							6	0.11	0.96	16	0.112	
沙 岭	4	0.19	0.49	1	0.20	0.80	5	0.06	0.85	18	0.043	0.82

年份	1980			1981			1982		
	n	米Cd	±Cd	n	米Cd	±Cd	n	米Cd	±Cd
一 闸	10	0.876	4.52	20	1.086	7.26	44	1.872	5.77
二 闸	8	0.418	3.90	8	0.299	4.83	8	0.379	未测
三 闸	5	0.363	2.28	4	0.232	4.38	6	0.08	未测
德 胜	2	0.038	0.485	5	0.051	1.19	4	0.04	未测
沙 岭	8	0.059	2.20	6	0.066	2.32	6	0.06	

年份	1983			1984			1985		
	n	米Cd	±Cd	n	米Cd	±Cd	n	米Cd	±Cd
一 闸	63	2.08	7.75	39	1.60	1.60	10	1.07	2.60
二 闸	7	0.258	7.06	7	0.52	4.81	4	0.48	5.63
三 闸	4	0.188	4.95	4	0.22	6.09	8	0.41	4.60
德 胜	6	0.242	2.11	6	0.19	3.33	6	0.42	1.33
沙 岭	5	0.068	1.23	5	0.12	1.25	4	0.04	1.75

(合每年2.61t/年)进入灌区,因此造成灌区土壤中镉的大量积累(图1)。

灌区米镉含量高的原因还在于灌溉水中含有大量氯离子(230—240mg/L),pH偏酸,有时竟达1—2,镉以氯化物状态存在,易被作物吸收。又因多年灌溉,在渠底及表层土壤中已积

表2 张士灌区与神通川流域米镉含量^[5]

Table 2 Comparison of Cd content in rice between Zhangshi irrigation area and Jintsubawa

米Cd浓度 (mg/kg)	神通川流域1971— 1976年平均(%)	张士灌区(1982)(%)		
		一闸地区	中下游地区	全灌区
<0.4	61.8	18.18	86.36	40.9
0.4—0.99	29.2	15.90	9.09	13.63
1.0—1.99	7.7	22.70	4.64	16.66
>2.0	1.2	43.18	0	28.78

累镉18t,一旦受酸水浸洗,很易释放镉离子。灌区地形东高西低,海拔高度33—35.8m,有一定坡度,地下水位9—12m,土壤表层质地为沙质壤土,渗透性能好,灌溉后易落干。同时污水中含氨态氮10—20mg/L,为防止水稻恋青倒伏,故有烤田习惯,而使土壤中镉处于氧化状态,促进了灌区米镉大量超标。

1977—1978年对灌区地下水的测定,镉含量甚微,未遭污染,排除了饮用水的

污染。

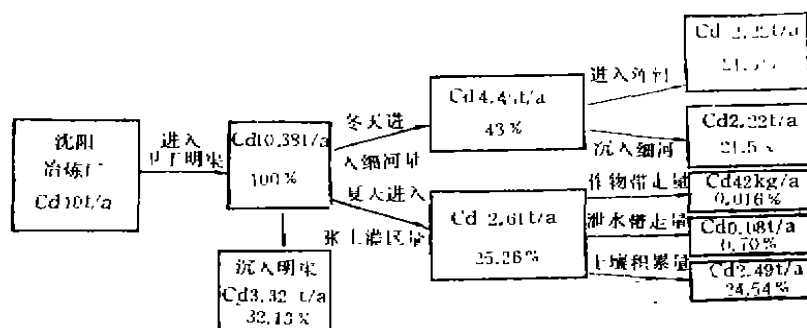


图1 沈阳市西部污水中镉的全年分配比 (1979—1980)

Fig. 1 Distribution ratio of Cd content of waste water in western area of Shenyang

二、镉在农田生态系统中迁移规律

张士灌渠在灌溉季节, 加以28—43%浑河水进行灌溉, 在水体中镉主要以悬浮物形式输送。据测定, 在悬浮物中Cd约占水体总量79.4%; Pb约占24.98%; Cu约占73.10%; Zn约占16.3%。

从渠道至三闸, 流程较短, 水质净化效果不大。仅在下游经过达子沉淀池的静水沉降, 去除悬浮物, 降低水质的重金属含量, 有明显的效果。

表3 张士干渠不同渠段污水中镉含量 ($\mu\text{g/L}$)

Table3 Cd content in waste water at different position in Zhangshi irrigation area

地 点	渠 首	一 闸	二 闸	三 闸	达子沉淀池
距离 (km)	0	3	2.5	1.4	4.0
pH	6.7	6.5	6.6	6.6	6.6
Cd	1978年	66.0	47.0	40.0	40.0
	1979年	66.0	47.0	40.0	40.0

镉在耕层土壤的含量分布。随着灌溉年限长短与所处位置不同而异。一般, 一闸>二闸、三闸>沙岭、水口>中央。

本区土壤表层有机质含量为1.9—2.4%; 粘粒 $<0.001\text{mm}$, 含量占20—32%; 对镉的最大吸附量为184—190mg/kg, 对镉的保持率达90%以上, 因此土壤镉主要积累在表层, 0—10cm土层中镉可占总量的30.2%; 30cm土层中镉可占总量的77—86.6%。

对灌区土壤中镉形态的研究表明。由于长期灌溉含有大量氯离子偏酸性污水, 灌溉年限越久, 污染越重。土壤pH越趋向酸性 (<6.0), 土壤中镉大部分 (80%) 与占无机配位体中主导地位 Cl^- 络合, 形成可溶性的 CdCl_2 及络离子 CdCl^- 。极易被水稻吸收^[21]。

镉累积在灌区土壤表层后, 在栽培不同作物条件下, 又产生了生物迁移过程。灌区的作物组合是以水稻为主、间作大豆。局部水稻田改为菜田, 而在其边缘地带分布着少量玉米。

镉很易为水稻吸收, 而且积累于籽实中, 铅、砷则很难被水稻吸收, 1975—1979年在张士灌区上中下游选择有代表性地块, 测定土壤及糙米中镉、铅、砷、铜、锌含量, 然后, 计

算转移率

$$R_i = \frac{C_i \text{ 籽实中浓度} \times \text{籽实产量 kg/ha}}{C_s \text{ 土壤中浓度} \times \text{土重 kg/ha}}$$

重金属的转移率按 $\text{Zn}(0.00026) > \text{Cd}(0.000182) > \text{Cu}(0.000092) > \text{As}(0.000064) > \text{Pb}(0.000024)$ 顺序递减, Cd的转移率比Pb大7.6倍。

以 ^{210}Pb 与 $^{115+116}\text{Cd}$ 研究水稻对土壤的转移率, ^{210}Pb 为0.24%, $^{115+116}\text{Cd}$ 为2.22%,也说明Cd易被水稻吸收,转移率几乎为Pb的十倍¹⁾ 不同作物植株吸收镉量顺序为向日葵>水稻>玉米>大豆。就籽实中镉含量比较,顺序为大豆>向日葵>水稻>玉米。

在水稻植株中,镉的分配按根系>茎>叶>糠>籽实递减,呈典型宝塔状分布。

在蔬菜中含量以叶菜类最高,果菜类次之,根菜及豆角类不太明显。叶菜类鲜重含镉0.8—3.0mg/kg; 比对照区高10—20倍,9种蔬菜平均含镉0.76mg/kg,比对照区0.135mg/kg高5.6倍。

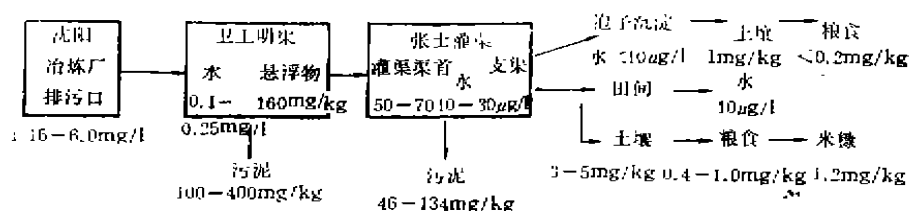


图2 镉在张士灌区内迁移分配示意图

Fig. 2 Migration of Cd in Zhangshi irrigation area

三、镉在灌区生物体内迁移

为调查研究镉污染对灌区生物及人体的影响,由沈阳市卫生部门及医科大学从1975—1984年先后对灌区人体组织(以血镉、尿镉、发镉为指标)、胎儿脏器、家畜脏器、膳食构成的日摄入镉量开展了全面调查测定,结果列入表5—8。

表4 污灌区与对照区猪内脏镉含量调查(1980年)

Table 4 Cd content in pig internal organs in wastewater irrigation area comparing with control area

地 点	脏 器	例 数	均值 (mg/kg)	范围 (mg/kg)	标 准 差
对 照 区	肉	35	0.0377	0.0098—0.0957	0.0191
	肝	32	0.1744	0.0628—0.3914	0.0695
	肾髓质	35	0.8457	0.1882—1.3026	0.2451
	肾皮质	35	2.3412	1.3076—4.4582	0.8169
污 染 区	肉	35	0.3200	0.0781—0.8971	0.1720
	肝	35	1.6178	0.3990—4.1982	0.9197
	肾髓质	35	6.1829	0.3792—23.0578	4.7311
	肾皮质	35	17.8714	2.0062—50.0919	9.8465

张士灌区所产猪肉及内脏中镉含量都显著高于对照区,猪肉含镉为对照区8倍,猪肾为对照区猪肉的460倍。显然是由于污灌区饲料如米糠、穗、稻壳等含镉量较高的缘故。

1) 李书鼎1985 土壤—植物系统中重金属行为某些特性

对灌区居民膳食情况的调查,将主、副食及饮水含镉量测定后,得出灌区重污染区居民每人每日镉摄入量为 557.77 μ g (对照区仅为 17.61 μ g),高出世界卫生组织(WHO)建议的60—70 μ g的8—9倍,灌区居民镉摄取源主要为主食(1982年产大米含镉1.04mg/kg)对照区主要来源于副食。灌区居民日摄入量为对照区的32倍,但仅为日本神通川流域居民日摄入量(1.6—2.0mg/日)的1/4—1/3。

由于居民长期摄取该区受镉污染的农副产品,已对人体组织内镉含量有所影响,血、尿、发的镉含量与对照区比有明显差异,而且近年来有所加重。1978年尿镉为1.755 μ g/L,1979年为2.232 μ g/L,1982年为13.26 μ g/L。尿中低分子蛋白阳性率增加,从1978年的34.9%到1982年的48.11%,说明慢性经口的镉中毒器官肾脏已经受到了影响。

表5 张士灌区人体血、尿、发的镉含量测定

Table 5 Detection of Cd content in the blood, hair and urine of people living in zhangshi irrigation area

组别	项目	血 (μ g/L)			尿 (μ g/L)			发 (μ g/g)		
		几何均数	标准差	p	几何均数	标准差	p	几何均数	标准差	p
张士组		1.06	0.21	<0.05	13.26	0.37	<0.05	0.723	0.013	<0.05
对照组		0.42	0.35		2.13	0.17		0.154	0.002	

从胎儿脏器中镉含量测定,张士灌区胎盘含镉量为对照区的2.4倍,胎儿肝、肾含镉量为对照区2.2倍,说明镉不仅蓄积于母体,也已转送到胎儿体内,存在潜在危害^[3]。

表6 尿低分子蛋白阳性率测定结果

Table 6 Results of detection of Positive of lower molecular protein in urine

年份	项目	组别	检查人数	阳性例数	(%)	p
1978		污灌区	43	15	34.9	<0.01
		对照区	26	3	11.5	
1982		污灌区	106	51	48.11	
		对照区	94	13	13.83	

表7 胎儿各脏器镉含量比较 (μ g/g干重)

Table 7 Distribution of Cd content in embryo's internal organs

组别	项目	胎 盘				肝				全 肾			
		n	几何均值	标准差	T	n	几何均值	标准差	T	n	几何均值	标准差	T
对照组		31	0.032	0.238		32	0.009	0.270		29	0.007	0.322	
张士组		32	0.078	0.395	4.648	36	0.020	0.412	3.86	27	0.015	0.395	2.461

四、结束语

沈阳张士灌区是国内严重的镉污染区。沈阳冶炼厂是该灌区排放大量含镉废水的污染源。通过不合理污灌,不但对农田土壤所生产农副产品造成了污染,而且还传递到了人体及胎儿组织,对人体健康及下一代的影响产生了直接的作用。因此对张士镉污染现状,按现在摄镉水平继续下去,镉的潜在危害将日益明显。

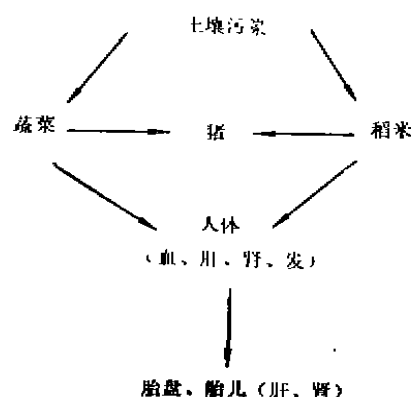


图3 镉在张士灌区的生态循环
Fig. 3 Ecological cycle of Cd in Zhangshi irrigation area

参 考 文 献

- [1] 吴燕玉等, 1984, 张士灌区镉污染及其改良途径, 环境科学学报 4 (3) 275—283.
- [2] 陈 涛等, 1985, 张士灌区土壤中镉形态的探讨, 生态学报 5 (4) 300—305.
- [3] 冯兆良, 1985, 张士灌区镉污染时居民健康现状及长期影响的研究, 中国医科大学学报 14 (4) 287.
- [4] K kitagishi, 1981, Heavy Metal Pollution in soil of Japan, 88—90, Japan Scientific societies press, Tokyo.
- [5] 丹野贡, 1980, 神通川流域におけるカドミラム, 汚染の実態と対策.

POLLUTION ECOLOGY OF Cd IN THE ZHANGSHI IRRIGATION AREA OF SHENYANG

Wu Yanyu, Chen Tao, Zhang Xiexun

(ShenYang Institute of Applied Ecology, Academia Sinica)

Zhangshi irrigation area is the notorious heavy pollution area by Cd in China. In this paper, different kinds of ecocycle model are revealed i.e., how Cd was transformed from pollution sources into irrigation water, agroecosystem and human body. It is stated that there is an active cycle of Cd in natural environment, specified irrigation system, cultivated crops and food composition. Human health is seriously affected in Zhangshi irrigation area.

Key words: pollution ecology of Cd, environment.