

太原市污灌区土壤有效态铜锌和锰含量评价

刘小娟¹, 解静芳¹, 范仁俊², 毛雨廷³, 郭晓君¹, 崔宏莉¹

(1. 山西大学环境与资源学院, 太原 030006; 2. 山西省农科院植物保护研究所, 太原 030031; 3. 太原市环境监测中心站, 太原 030002)

摘 要:为了研究太原市污水灌溉对土壤有效态元素铜、锌和锰含量的影响,对太原市污水灌溉区(小店区、尖草坪区、晋源区和清徐县)150个土壤样品有效态微量元素铜、锌和锰的含量和分布进行了测定和分析。结果表明,长期污水灌溉导致该区土壤铜、锌和锰的含量均高于文献测定值。有效铜含量晋源区>小店区>清徐县>尖草坪区,分级评价结果均以中等级含量为主;有效锌含量小店区>晋源区>清徐县>尖草坪区,除小店区以低、中级含量为主外,其他3个污灌区均以低等级含量为主;有效锰含量晋源区>清徐县>尖草坪区>小店区,其分级分布情况变异最大,除小店区以低等级含量为主外,其他研究区域有效态锰均以高等级和极高等级含量为主。整体来看,研究区整体缺锌,有效铜含量适中,有效锰含量较高。

关键词:太原市;污水灌溉;有效态含量;含量评价

中图分类号:X833 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)03-0506-04

The Assessment on Available Contents of Cu, Zn and Mn in Soils of Sewage Irrigation in Taiyuan, China

LIU Xiao-juan¹, XIE Jing-fang¹, FAN Ren-jun², MAO Yu-ting³, GUO Xiao-jun¹, CUI Hong-li¹

(1.College of Environment and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; 3.Taiyuan Environment Monitoring Central Station, Taiyuan 030002, China)

Abstract: The purpose of this research is to study the effects of sewage irrigation on the available contents of Cu, Zn and Mn in the areas subject to sewage irrigation in Taiyuan. A total of 150 soil samples were collected from 4 typical sewage irrigation areas(the Districts of Xiaodian, Jiancaoping and Jinyuan, and the County of Qingxu). The available contents of Cu, Zn and Mn were measured with atomic absorption spectrophotometer. The analytical results showed consistently higher levels of Cu, Zn and Mn than those in recorded in previous literatures, most likely due to long-term application of sewage irrigation in these areas. The distribution level of available contents of Cu in soils was identified as: Jinyuan>Xiaodian>Qingxu>Jiancaoping. Hierarchical analysis showed that the Cu concentration was at moderate level in most soil samples. For Zn, the distribution of soil available contents was: Xiaodian>Jinyuan>Qingxu>Jiancaoping. It was noted that the Zn content varied from deficient to moderate levels in Xiaodian, while remaining low degree in the rest 3 areas. The available content of Mn was ranked as Jinyuan>Qingxu>Jiancaoping>Xiaodian. Soil Mn showed the greatest variations in distribution in Taiyuan, varying from the low level at Xiaodian to high or even extremely high levels in the rest areas. It is summarized that the study areas are generally deficient of Zn, with moderate Cu and high Mn available contents.

Keywords: Taiyuan; sewage irrigation; available content; content evaluation

污水灌溉作为一种污水利用的方式在我国乃至世界都有广泛的应用^[1]。将城市污水集中处理后进行灌溉,既可以节约大量的水资源,提高水的再利用率,缓解供水压力,还可以充分利用污水中的氮、磷等有

机物继而减少化肥的使用^[2]。合理科学的污水灌溉通过土壤-植物-微生物系统可以使水体净化,减轻水生生态系统的污染负荷,保护环境。但是长期的污水灌溉,会导致重金属和难降解持久性有机污染物的富集^[3],从而产生对土壤以及地下水的污染,并会造成农作物减产和粮食污染物残留等问题,进而危害人类健康。因土壤中有效态元素可以直接被植物所富集,所以了解污水灌溉对污灌区土壤中有效态微量元素含量的影响和分布特征,对污灌区合理进行污水灌溉、土壤

收稿日期:2009-07-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30740037);太原市环保局资助项目

作者简介:刘小娟(1984—),女,山西五寨人,在读硕士,主要从事环境化学与毒理学研究。E-mail:200723902008@mail.sxu.cn

通讯作者:解静芳 E-mail:xiejf@sxu.edu.cn

施肥有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

太原市污灌区是我国污灌历史较长、面积较大的典型污灌区之一,污灌区主要分布于汾河东西两岸的冲积平原,污灌区土壤以潮土为主^[4],种植作物主要有水稻、玉米、小麦、蔬菜等。土样于 2008 年 4 月采自污灌区 0~20 cm 耕层土壤,采样点位按污水渠流向采用网格布点法布设,GPS 定位,同时考虑污水水质、土壤类型、污灌历史等因素,共布设采样点 150 个(其中小店区 50 个,尖草坪区 15 个,晋源区 35 个和清徐县 50 个)。布点后用土壤采样器采取 2 kg 左右土壤,进行编号登记后带回实验室进行预处理。

1.2 样品的处理以及测定方法

采集的土壤样品去掉杂质后于通风处风干,用四分法留取 0.5 kg 左右备用。用玛瑙研钵磨碎,过 1 mm 筛,备用。

1.3 仪器和试剂

1.3.1 试验所需仪器

原子吸收分光光度计,恒温振荡器,漏斗,滤纸及 50 mL 容量瓶等。

1.3.2 试验所需试剂

DTPA 提取剂配制:0.005 mol·L⁻¹ DTPA (二乙基三胺五乙酸)-0.1 mol·L⁻¹ TEA(三乙醇胺)-0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂(氯化钙),用 HCl(盐酸)调节 pH=7.30;0.1 mol·L⁻¹ HCl 浸提液。

1.3.3 样品的测定

有效态铜、锌的测定采用 DTPA-AAS 法^[5];称取土样 12.5 g 放入玻璃锥形瓶中,加 25 mL DTPA 提取剂于恒温振荡器中,在 25 ℃,180 r·min⁻¹ 条件下振荡 120 min 后取出,过滤。滤液、空白溶液分别用原子吸收分光光度计测定。

有效态锰的测定采用法采用 HCl-AAS 法^[6];称取土样 10 g 放入玻璃锥形瓶中,加 50 mL HCl 提取剂于恒温振荡器中,在 25 ℃,180 r·min⁻¹ 条件下振荡 60 min 后取出,过滤。滤液、空白溶液分别用原子吸收分光光度计测定。

2 结果与分析

2.1 污灌区土壤有效态铜、锌和锰含量与分级评价

一定条件下,土壤有效态微量元素含量水平,反映了土壤对植物微量养分的供应能力,而且还直接影

响植物的生长。研究区域土壤有效态铜、锌和锰含量的测定结果如表 1 所示。由表 1 可知,太原市污灌区土壤铜、锌和锰有效态含量变异系数分别为 63.56%、69.9% 和 227.28%,锰的变异最大。临界值以下样品数所占的比例,也以锰最多达 40.7%。这可能与元素本身性质、土壤母质来源、土壤理化性状各异和长期不同的农业利用方式有关^[12]。参考国内外分级标准,将土壤有效态微量元素含量分为极低、低、中、高、极高 5 个等级^[7-11],见表 2。由表 1 和表 3 可知,3 种元素在不同级别的分布情况不同,其中有效铜以中、高等级为主;有效锌以低、中等级为主,而有效锰在极高等级的分布则达到 42.7%。

表 1 太原市污灌区土壤有效态铜、锌和锰的含量
Table 1 The available content of Cu, Zn and Mn in the soil of sewage irrigation area in Taiyuan

元素种类	平均值/ mg·kg ⁻¹	标准差/ mg·kg ⁻¹	变异系数/ %	临界值/ mg·kg ⁻¹	临界以下样品	
					个数	占总数/ %
有效铜	0.741	0.471	63.56	0.2	42	28.0
有效锌	0.947	0.662	69.9	0.5	38	25.3
有效锰	10.52	23.91	227.28	3.0	61	40.7

表 2 土壤有效态铜、锌和锰的含量分级评价标准
Table 2 The evaluation standard of every levels of the available contents of Cu, Zn and Mn in the soil

元素种类	样品数	评价标准/ mg·kg ⁻¹				
		极低	低	中	高	极高
有效铜	150	<0.10	0.1~0.2	0.3~1.0	1.1~1.8	>1.8
有效锌	150	<0.5	0.5~1.0	1.1~2.0	2.1~5.0	>5.0
有效锰	150	<1.0	1.0~2.0	2.1~3.0	3.1~5.0	>5.0

表 3 太原市污灌区土壤有效态铜、锌和锰含量各级分布
Table 3 The distribution of every levels of available contents of Cu, Zn and Mn in the soil of sewage irrigation area in Taiyuan

元素种类	样品数	各级分布/ %				
		极低	低	中	高	极高
有效铜	150	0.7	5.3	74	16	4
有效锌	150	25.3	40	30	4.7	0
有效锰	150	8.7	19.3	12.7	16.7	42.7

2.2 不同污灌区土壤有效态铜、锌和锰含量统计分析

太原市不同污灌区土壤有效态铜、锌和锰的含量范围、均值、标准差和变异系数以及含量的分级分布如表 4 和表 5 所示。

铜是高等植物生长发育过程中的一种重要微量营养元素,作为多种酶的组分之一,参与很多生理代

谢过程,它还参与植物的呼吸作用,影响到作物对铁等其他微量元素的利用。但由于铜具有累积性,过量的铜又会导致植物体的铜毒害,阻碍植物的生长,降低产品的质量。从表 4 及表 5 可以看出,所研究的 4 个区的有效铜含量的高低顺序是晋源区>小店区>清徐县>尖草坪区。所研究 4 个区中有效铜含量都以中等等级含量为主,其中小店区为 72%,尖草坪区为 66.7%,晋源区为 62.86%,而清徐县的中等等级含量比例达到了 86%。这说明整体来看,研究区域有效铜的含量是适中的。

锌是植物生长不可缺少的微量元素之一,适量保持锌在土壤中的含量能够预防植物病害,同时锌肥还能提高植物的抗寒性和耐盐性。从表 4 及表 5 中可以看出,所研究的 4 个区有效锌含量的高低顺序为小店区>晋源区>清徐县>尖草坪区。其分级分布情况分别为小店区有效锌含量以低、中等级为主,所占份额分别为 42%、34%;清徐县和晋源区含量以低等级为主,清徐县低含量水平为 46%,晋源区为 51.4%,尖草坪区的极低等级比例为 60%。这说明太原市污灌区土壤整体缺锌。

锰对植物的生理作用是多方面的,它与许多酶的活性有关。它是多种酶的成分和活化剂,能促进碳水化合物代谢和氮的代谢,锰还与绿色植物的光合作用(光合放氧)、呼吸作用以及硝酸还原作用都有密切的关系。从表 4 及表 5 可以看出,所研究的 4 个区有效锰含量的高低顺序依次是晋源区>清徐县>尖草坪区>小店区。晋源区的有效锰含量明显大于其他区域,究其原因晋源区有个别点位的有效锰含量特别高,这可能与这些地区的周围环境以及耕作习惯有关系。

有效锰在 4 个区的分级分布情况分别为:小店区以低等级含量为主(44%),尖草坪区以高等级含量为主(33.3%),晋源区和清徐县以高等级含量为主,其中晋源区达到了 82.9%,清徐县为 58%。

与黄土高原北部风沙区土壤有效态铜含量范围 0.158~1.194 mg·kg⁻¹ 及平均值 0.505 mg·kg⁻¹[13] 相比,太原市污灌区土壤有效铜的含量范围和总平均值均明显高于文献值,这可能与研究区域长期采用污水灌溉有很大关系。此外,从分区情况看,由于晋源区灌溉用水含有部分工业废水,导致该区的有效铜含量明显高于其他区域。

同样与朱显谟等所研究的黄土高原区土壤有效锌含量范围 0.06~2.97 mg·kg⁻¹[13] 比较,小店区和尖草

表 5 太原市不同污灌区土壤有效态铜、锌和锰含量分级分布
Table 5 The distribution of every level of available contents of Cu、Zn and Mn in the soil of every sewage irrigation area in Taiyuan

污灌区	样品数	元素名称	各级分布/%				
			极低	低	中	高	极高
小店区	50	有效铜	0	2	72	22	4
		有效锌	20	42	34	4	0
		有效锰	12	44	10	20	14
尖草坪区	15	有效铜	6.7	13.3	66.7	13.3	0
		有效锌	60	6.7	26.7	6.7	0
		有效锰	6.7	26.7	20	33.3	13.3
晋源区	35	有效铜	0	2.9	62.9	22.9	11.4
		有效锌	22.9	51.4	17.1	8.6	0
		有效锰	0	0	11.4	14.3	82.9
清徐县	50	有效铜	0	6	86	8	0
		有效锌	24	46	28	2	0
		有效锰	8	10	12	12	58

表 4 太原市不同污灌区土壤有效态铜、锌和锰的含量分析

Table 4 The available contents statistic of Cu、Zn and Mn in the soil of every sewage irrigation area in Taiyuan

污灌区	样本数	元素名称	含量范围/mg·kg ⁻¹	均值/mg·kg ⁻¹	标准差/mg·kg ⁻¹	变异系数/%
小店区	50	有效铜	0.11~2.22	0.84	0.41	0.48
		有效锌	0.30~3.09	1.04	0.60	0.57
		有效锰	0.36~14.93	2.76	2.56	0.93
尖草坪区	15	有效铜	0.09~1.49	0.50	0.36	0.73
		有效锌	0.03~4.82	0.87	1.20	1.38
		有效锰	0.28~8.41	3.32	2.56	0.69
晋源区	35	有效铜	0.17~3.32	0.93	0.67	0.71
		有效锌	0.33~2.35	0.94	0.59	0.63
		有效锰	2.14~154.28	27.84	44.81	1.61
清徐县	50	有效铜	0.17~1.54	0.58	0.29	0.50
		有效锌	0.13~2.62	0.88	0.56	0.63
		有效锰	0.58~22.45	8.33	6.43	0.77

坪区土壤有效锌含量均高于文献值。分析原因可能与这两个区采用的污水灌溉的污水来源、水质、耕作习惯及施肥习惯有关系。

与段永蕙等研究的山西省土壤有效锰的含量范围 $1.48\sim 83.16\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值 $7.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[4]相比, 太原市污灌区土壤有效锰的含量范围和总平均值明显高于山西土壤有效锰的含量。可能与晋源区长期采用工业污水灌溉导致此区域有效态锰的含量要高于其他3个区域有关。

3 结论

太原市污水灌溉, 对土壤有效态铜、锌和锰的平均含量和分级分布有不同的影响。太原市4个污灌区有效铜含量的高低顺序是晋源区>小店区>清徐县>尖草坪区, 研究区域有效铜在3个区均主要以中等含量为主, 整体来看, 含量适中; 有效锌含量的高低顺序为小店区>晋源区>清徐县>尖草坪区, 分级分布情况表明, 除小店区以低、中级含量为主外, 其他3个污灌区均以低等级含量为主, 土壤整体缺锌; 有效锰含量在4个区的高低顺序依次是晋源区>清徐县>尖草坪区>小店区, 有效锰的分级分布情况变异最大, 除小店区以低等级含量为主外, 其他研究区域有效态锰均以高等级和极高等级含量为主, 说明锰含量极丰富, 特别是晋源区的有效态锰的含量明显高于其他3个区域。由于研究区域长期采用污水灌溉, 导致有效态铜、锌和锰的测定结果均高于现有的研究资料显示的测定值。对于缺锌的地区可适当补锌, 如施用硫酸锌 $15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 或叶面喷施 0.5% 的硫酸锌^[15]。

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.
GAO Zheng-min. The soil-plant system pollution ecology [M]. Beijing: Science Press, 1986: 1-6.
- [2] Angelakisa A N, Bontoux B L. Wastewater reclamation and reuse in Europe countries[J]. *Water Policy*, 2001, 3: 47-59.
- [3] 宋玉芳, 常士俊, 李利, 等. 污灌土壤中多环芳烃(PAHs)的积累与动态变化[J]. 应用生态学报, 1998(1): 93-98.
SONG Yu-fang, CHANG Shi-jun, LI Li, et al. Accumulation and dynamic change of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in wastewater irrigated soils[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, Feb, 1998(1): 93-98.
- [4] 张乃明, 李保国, 胡克林. 太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 349-353.
ZHANG Nai-ming, LI Bao-guo, HU Ke-lin. Spatial variability of heavy metals and salt contents in soils of Taiyuan sewage irrigation region[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(3): 349-353.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 128-139.
BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 128-139.
- [6] 金茜, 钟永科, 程学勤. 火焰原子吸收光谱法测定土壤中有有效态 Cu、Zn、Fe 和 Mn[J]. 光谱实验室, 2007, 24(4): 626-629.
JIN Qian, ZHONG Yong-ke, CHENG Xue-qin. Determination of available Cu, Zn, Fe and Mn in soil by flame atomic absorption spectrometry[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2007, 24(4): 626-629.
- [7] Kaiser K, Zech W. Competitive sorption of dissolved organic matter fractions to soils and related mineral phase[J]. *Soil Sci Soc Am*, 1997, 61: 64-69.
- [8] 李晓宁, 高明, 慈恩. 重庆市植烟土壤有效态微量元素含量评价[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 25-28.
LI Xiao-ning, GAO Ming, CI En. Evaluation of available microelement contents in tobacco soils of Chongqing[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(3): 25-28.
- [9] 高砚芳, 段增强, 邹恒福, 等. 太湖地区温室土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 土壤, 2007, 39(6): 910-914.
GAO Yan-fang, DUAN Zeng-qiang, XUN Heng-fu, et al. Investigation and evaluation of heavy metal contamination of greenhouse soils in Tai Lake region[J]. *Soils*, 2007, 39(6): 910-914.
- [10] 王林, 许自成, 肖汉乾, 等. 湖南烟区土壤有效态微量元素含量的分布特点[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 119-124.
WANG Lin, XU Zi-cheng, XIAO Han-qian, et al. Distribution of soil microelements in Hunan Tobacco-growing areas[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 119-124.
- [11] Fulekar M H. Release and behavior of Cr, Mn, Ni and Pb in a-fly-ash/soil/water environment[J]. *International Journal of Environmental Studies*, 1991, 38(4): 281-296.
- [12] 谢佰承, 张春霞, 薛绪掌. 土壤中微量元素的环境化学特性[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 132-135.
XIE Bai-cheng, ZHANG Chun-xia, XUE Xu-zhang. Characteristics of environmental chemistry for trace elements in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(sup.): 132-135.
- [13] 朱显谟. 黄土高原土壤与农业[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 220-250.
ZHU Xian-mo. The loess plateau soil and agricultural[M]. Beijing: Agriculture Press, 1985: 220-250.
- [14] 段永蕙, 张乃明. 山西土壤锰含量及影响因素研究[J]. 土壤通报, 2008, 34(3): 337-339.
DUAN Yong-hui, ZHANG Nai-ming. Distribution and affecting factors of manganese in soils of Shanxi[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 34(3): 337-339.
- [15] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价[J]. 土壤, 2004, 36(4): 438-441.
TAO Xiao-qiu. Evaluation of microelement contents of tobacco soils in southwest Sichuan[J]. *Soils*, 2004, 36(4): 438-441.