

辽宁省设施土壤重金属 Cd、Ni、As 有效态含量及其影响因素的研究

刘 洋, 张玉龙, 张玉玲, 虞 娜, 王 静, 邹洪涛*

(沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北土壤与环境重点开放实验室, 沈阳 110866)

摘 要:为探讨不同种植年限、不同土层土壤中重金属有效态含量,采集 136 个辽宁省设施土壤及其相邻露地样品,分层测定了 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤中有效态 As、Cd 和 Ni 的含量,并分析了影响其含量的因素。结果表明,设施土壤重金属有效态含量与其相邻露地土壤相比,各土层重金属有效态的含量均有所增加,且种植年限与 3 种重金属有效态的平均增量呈正相关。设施土壤 pH 值与有效态 As 呈正相关,与有效态 Cd 和 Ni 呈极显著负相关;有机质与有效态 As 和 Cd 均呈极显著的正相关,而与有效态 Ni 仅在 20~40 cm 土层呈显著正相关。

关键词:辽宁省;设施土壤;重金属;影响因素

中图分类号:X833 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)06-1131-04

Soil Available Cd, Ni and As Concentrations and Its Influencing Factors in the Protected Fields of Liaoning Province, China

LIU Yang, ZHANG Yu-long, ZHANG Yu-ling, YU Na, WANG Jing, ZOU Hong-tao*

(College of Land and Environment Science, Shenyang Agricultural University, Key Open Laboratory of Northeast Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Shenyang 110866, China)

Abstract: The concentrations of available Cd, Ni and As in the soil samples at the depths of 0~20 cm and 20~40 cm collected from 136 protected fields and open fields of Liaoning Province were analyzed. The results showed that the concentrations of Cd, Ni and As in each soil layers of protected field increased, compared to the open field soils. There were positive relationship between the planting years and the increase of concentrations of these available heavy metals. Soil pH had positive relation with available As concentrations, however, there were significantly negative correlations between soil pH and the concentrations of available Cd and Ni. Soil organic matter showed significantly positive correlations with the concentrations of available As and Cd, and Ni at the 20~40 soil depths.

Keywords: Liaoning Province; protected field; heavy metal; influencing factors

随着工农业的迅速发展,土壤重金属污染日趋严重,可以说土壤重金属污染是一个世界性的环境问题^[1]。辽宁省设施蔬菜土壤面积达 20 万 hm² 以上,随着有机肥、化学肥料和农药的大量施用,重金属元素在设施土壤中逐年积累,存在的潜在风险也逐渐增高。以往的研究主要集中在土壤重金属的总量方面,而对重金属在土壤中赋存形态和植物有效性研究较少,目前有关重金属植物有效性的研究成为环境科学领域的热点问题之一^[2-5]。土壤中重金属有效态含量能

够反映植物吸收与生态危害状况,明确土壤重金属有效态含量是重金属污染土壤生态风险性评价的基础,也是制订土壤重金属安全含量标准和土壤环境管理的科学依据^[6-7]。本研究以辽宁省设施土壤为研究对象,进行大面积多点采样,探讨了不同种植年限、不同土层土壤中 Cd、Ni、As 3 种重金属有效态的含量,以阐明辽宁省设施土壤重金属有效态含量分布特征及其影响因素。该研究对掌握辽宁省设施土壤重金属的环境质量现状,防止蔬菜重金属污染,保障农产品质量和指导设施生产田间管理具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤样品采自沈阳、大连、鞍山、朝阳、锦州、

收稿日期:2011-10-14

基金项目:沈阳市科技攻关项目(1091108, F11-117-3-00)

作者简介:刘 洋(1986—),男,辽宁鞍山人,硕士研究生,主要从事污染土壤的修复与利用方面的研究。E-mail: aelysl@163.com

* 通讯作者:邹洪涛 E-mail: snzht@yahoo.com.cn

丹东、抚顺、铁岭等设施蔬菜主产区(如图 1 所示),采集土壤样点 136 个,种植年限为 2~35 a 不等。同时选择有代表性相邻露地土壤为对照,样品采集深度为 0~20、20~40 cm,每一土样由同一设施内按“S 形”多点取土混合而成,共采集土壤样品 394 个。采样时间为 2009 年 9 月至 2010 年 4 月,采样地点用 GPS 定位。

1.2 测定项目及方法

土壤重金属有效态含量采用 M3 法浸提,ICP-AES 上机测定;土壤 pH 值采用电位计法(水土比为 2.5:1)测定^[8];土壤有机质含量采用 TruSpecCN 元素分析仪测定。

2 结果与讨论

2.1 土壤重金属有效态含量统计特征

设施土壤不同土层重金属 Cd、Ni、As 有效态含

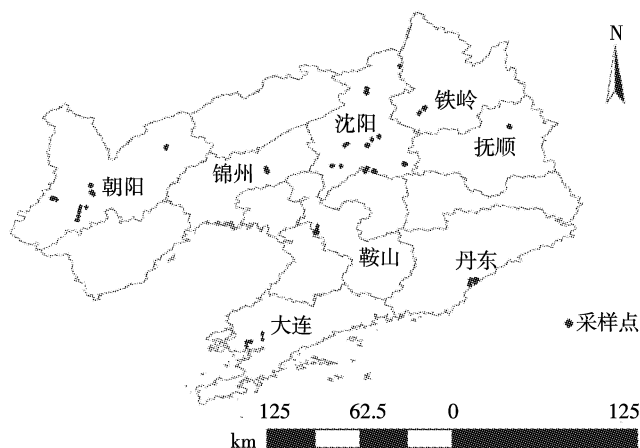


图 1 取样地点分布图

Figure 1 Soil sampling locations in Liaoning Province

量如表 1 所示。可以看出,0~20 cm 土层有效态 As、Cd 和 Ni 平均含量分别为 0.626、0.217、1.394 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 20~40 cm 土层有效态 As、Cd 和 Ni 平均含量分别为 0.560、0.144、1.448 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与露地土壤相比,其重金属有效态的含量均有所增加。在 0~20 cm 土层,有效态 As、Cd、Ni 的平均含量分别是相邻露地土壤的 1.16、1.84、1.16 倍,在 20~40 cm 土层,这 3 种重金属有效态的平均含量分别是相邻露地土壤的 1.20、1.99、1.21 倍。设施土壤重金属有效态含量受施肥、管理措施、种植制度等人为活动的影响显著^[9]。

变异系数 C.V 值反映了采样总体中各样点之间的平均变异程度。C.V $\leq 10\%$ 为弱变异性;10%<C.V $\leq 100\%$ 时为中等变异,C.V>1 为强变异性^[10-11]。由表 1 可知,研究区内土壤重金属有效态含量变化范围较大,不同重金属元素的变异情况不同,变异系数在 0.41~0.74 之间。在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中设施土壤 3 种重金属有效态含量的变异系数大小依次为 Cd>Ni>As,在不同土层中,相对变异程度设施土壤与露地相比相近或偏大;设施土壤的上下土层间比较,上层土壤有效态 Ni 含量相对变异程度大于其下层,而 As、Cd 则相反。可见设施土壤中有有效态 Ni 的含量受人为因素影响更大,且这一影响随着土壤深度的增加而减弱,与 Ni 相比 As 和 Cd 的影响相对较小。

2.2 设施土壤重金属有效态含量的影响因素

2.2.1 种植年限对土壤重金属有效态增量的影响

将采集的设施土壤样本按种植年限划分为 1~5、6~10、11~15 a 和 16 a 以上 4 种类型,4 种类型设施土壤重金属有效态的平均增量(设施土壤重金属有效态

表 1 供试土壤重金属有效态含量测定结果

Table 1 Soil available heavy metals in Liaoning Province

重金属 Available metals	土层 Soil depth/cm	类型 Types	采样点数 Number of samples	最大值 Max/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	最小值 Min/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	平均值 Mean/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	标准差 S D/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	变异系数 C.V.
As	0~20	设施	136	1.845	0.203	0.626	0.257	0.410
		露地	56	1.064	0.098	0.539	0.222	0.411
	20~40	设施	136	1.360	0.014	0.560	0.240	0.429
		露地	56	1.044	0.034	0.467	0.225	0.481
Cd	0~20	设施	136	0.727	0.022	0.217	0.138	0.637
		露地	56	0.527	0.019	0.118	0.081	0.684
	20~40	设施	136	0.681	0.013	0.144	0.107	0.744
		露地	56	0.244	0.002	0.073	0.047	0.647
Ni	0~20	设施	136	6.246	0.310	1.394	0.758	0.544
		露地	56	2.983	0.232	1.203	0.612	0.509
	20~40	设施	136	5.821	0.198	1.448	0.776	0.536
		露地	56	3.375	0.072	1.193	0.684	0.574

含量与相邻露地重金属有效态含量之差) 如表 2 所示。可以看出, 重金属有效态平均增量随着栽培年限的增加变化趋势不尽相同。在 0~20 cm 土层中有效态 As、Cd、Ni 的平均增量随着种植年限的延长与露地相比呈现逐渐增加的趋势。在 20~40 cm 土层 3 种重金属有效态增量变化趋势与 0~20 cm 土层变化基本相同。

对 3 种重金属有效态平均增量与种植年限做相关性分析表明, 在 0~20 cm 土层, As 有效态平均增量与种植年限呈显著正相关, Cd 有效态平均增量与种植年限呈极显著正相关, 而 Ni 有效态平均增量与种植年限呈正相关。在 20~40 cm 土层, As 与 Ni 有效态平均增量与种植年限呈正相关, Cd 有效态平均增量与种植年限呈极显著正相关。其原因是随着种植年限的增加, 施肥、农药以及农用薄膜残留等因素的积累造成的^[12]。

2.2.2 土壤有机质对土壤重金属有效态含量的影响

设施土壤区别于露地土壤的一个显著标志是有机质的积累和速效养分含量增高, 尤其是大量施用家禽粪便和高效复合肥等, 致使有机质含量增高, 而大部分肥料均含有一定的重金属元素, 这可能是引起设施中重金属元素含量增加的主要原因。土壤重金属有效态与有机质的相关关系如表 3 所示, 在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中, 有机质对重金属有效态含量的影响大小顺序均为: Cd>As>Ni。

分别对有机质和不同重金属元素有效态的相关性分析发现, 在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中, 有机质与有效态 As 和有效态 Cd 均呈现极显著正相关; 在

20~40 cm 土层, 有机质与有效态 Ni 呈正相关, 且达到了显著水平。调查区域设施生产对农药限制非常严格, 也不存在污灌问题, 施用的肥料以家禽粪便和复合肥为主。而这类肥料通常含有 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、Hg 和 As 等重金属元素, 这可能是引起设施土壤重金属有效态含量变化的主要原因, 大量施肥导致土壤中重金属含量增加的相关报道较多^[13]。

2.2.3 土壤 pH 值对土壤重金属有效态含量的影响

土壤 pH 直接影响重金属元素的活性, 从而影响重金属的迁移和淀积行为。与露地相比, 设施土壤在 0~20 cm 土层中, 有 66.9% 的土壤样品 pH 值下降; 而在 20~40 cm 土层, 有 80.9% 的土壤样品 pH 值下降, 两土层的 pH 值下降范围为 0.01~3.06 个单位。其原因可能是施入设施土壤的肥料中往往带有 NO₃⁻、SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 等强酸性离子, 这些离子在土壤中残留累积起来, 造成设施土壤酸化; 另外, 人们往往偏重施用氮肥, 而设施土壤的硝化作用较露地土壤强烈, 由此产生大量的 H⁺ 和 NO₃⁻ 也会导致土壤 pH 值下降。

通常土壤 pH 越低, 重金属元素越易发生迁移, 而当土壤 pH 呈中性和碱性时, 则易发生淀积^[13]。统计分析表明, 在 0~20 cm 土层中, pH 值小于 7 的样点数量为 91 个, 在 20~40 cm 土层中, pH 值小于 7 的样点数量为 87 个, 上下两个土层土壤呈酸性的样点数分别占采样点数的 66.9% 和 63.9%。从表 4 可以看出, 在 0~20 cm 和 20~40 cm 两个土层中, pH 与有效态 As 的呈正相关, 与其他两种重金属有效态为极显著负相关关系。且 0~20 cm 和 20~40 cm 两个土层重金属有效态含量差异达到了极显著水平, 一般均为上层

表 2 土壤重金属有效态平均增量与年限的相关系数

Table 2 Correlation coefficient among average increment of available heavy metals and years in soils

类型 Types	采样点数 Number of samples(n)	0~20 cm 土层			20~40 cm 土层		
		As/mg·kg ⁻¹	Cd/mg·kg ⁻¹	Ni/mg·kg ⁻¹	As/mg·kg ⁻¹	Cd/mg·kg ⁻¹	Ni/mg·kg ⁻¹
1~5 a	20	0.042	0.067	0.252	0.068	0.042	0.255
6~10 a	39	0.061	0.074	0.030	0.121	0.054	0.099
11~15 a	36	0.130	0.117	0.139	0.067	0.070	0.149
16 a 以上	41	0.092	0.120	0.337	0.100	0.104	0.470
相关系数	—	0.730*	0.931**	0.351	0.213	0.965**	0.545

注:**表示<0.01 水平上相关,*表示<0.05 水平上相关。下表同。

表 3 土壤重金属有效态与有机质的相关系数

Table 3 Correlation coefficient among available heavy metals and organic matter in soils

土层 Soil depth	0~20 cm			20~40 cm		
重金属有效态 Available heavy metals	As	Cd	Ni	As	Cd	Ni
有机质 Organic matter	0.239**	0.242**	0.110	0.311**	0.445**	0.190*

表 4 土壤重金属有效态与 pH 的相关系数

Table 4 Correlation coefficient among available heavy metals and pH in soils

土层 Soil depth	0~20 cm			20~40 cm		
重金属有效态 Available heavy metals	As	Cd	Ni	As	Cd	Ni
pH	0.027	-0.237**	-0.281**	0.096	-0.229**	-0.211*

高于下层,说明调查区土壤重金属有效态在 pH 呈酸性时未发生淀积。主要原因可能是 pH 下降时土壤粘粒矿物和有机质表面的负电荷减少,因而对重金属的吸附能力下降,增加了活性重金属的含量。

3 结论

通过对辽宁省主要设施蔬菜产区及其相邻露地土壤重金属有效态含量、有机质含量及酸度进行分析,得出如下结论。

(1)设施土壤重金属有效态含量与露地土壤相比,各土层重金属有效态的含量均有所增加。且在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,3 种重金属有效态的平均含量分别是相邻露地土壤的 1.16~1.84 倍和 1.20~1.99 倍。

(2)设施土壤 0~20 cm 和 20~40 cm 土层重金属 As、Cd、Ni 有效态含量的平均增量随着种植年限、有机质含量呈正相关;土壤 pH 值与有效态 As 含量呈正相关,与 Cd、Ni 有效态含量呈负相关。

参考文献:

- [1] 张超兰,白厚义.用模糊综合评判法评价土壤重金属污染程度[J].广西农业生物科学,2003,22(1):54-57.
ZHANG Chao-lan, BAI Hou-yi. Evaluation of polluted degree by heavy metal in soils with fuzzy comprehensive assessment[J]. *Journal of Guangxi Agric and Biol Science*, 2003, 22(1):54-57.
- [2] 汪琳琳,方风满,蒋炳言.中国菜地土壤和蔬菜重金属污染研究进展[J].吉林农业科学,2009,34(2):61-64.
WANG Lin-lin, FANG Feng-man, JIANG Bing-yan. Processes of studies of heavy metal pollution of soil and vegetables on China's vegetable field[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2009, 34(2):61-64.
- [3] 邢维芹,冉永亮,梁 爽,等.施肥对土壤重金属的影响研究进展[J].河南农业科学,2010(5):129-133.
XING Wei-qin, RAN Yong-liang, LIANG Shuang, et al. Effect of fertilization on the heavy metals in soil evaluation[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010(5):129-133.
- [4] 韩宁新.土壤重金属植物有效性研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(26):14585-14586,14590.
HAN Ning-xin. Review on bioavailability of heavy metals in soils[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(26):14585-14586, 14590.
- [5] 赵 明,蔡 葵,王文娇,等.施肥对大棚土壤有效态重金属含量及

- 生物效应的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):26-30.
ZHAO Ming, CAI Kui, WANG Wen-jiao, et al. Effects of fertilization on soil available heavy metal content and biological effects in greenhouse [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl):26-30.
- [6] 陈怀满.土壤中化学物质的行为与环境质量[M].北京:科学出版社,2002:79-134.
CHEN Huai-man. Chemical behavior and the quality of the environment in soil[M]. Beijing: Science Press, 2002:79-134.
 - [7] 利 锋,张学先,戴睿志.重金属有效态与土壤环境质量标准制订[J].广东微量元素科学,2008,15(1):7-10.
LI Feng, ZHANG Xue-xian, DAI Rui-zhi. The Bioavailability of heavy metal and environmental quality standard for soil[J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 2008, 15(1):7-10.
 - [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
LU Ru-kun. The chemical analysis methods for soil in agriculture[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.
 - [9] 钟晓兰,周生路,李江涛,等.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究:以江苏昆山市为例[J].土壤学报,2008,45(2):240-248.
ZHONG Xiao-lan, ZHOU Sheng-lu, LI Jiang-tao, et al. Bioavailability of soil heavy metals in the Yangtze River Delta: A case study of Kunshan City in Jiangsu Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2):240-248.
 - [10] 徐 英,陈亚新,史海滨,等.土壤水盐空间变异尺度效应的研究[J].农业工程学报,2004,20(2):1-5.
XU Ying, CHEN Ya-xin, SHI Hai-bin, et al. Scale effect of spatial variability of soil water-salt[J]. *Transactions of the CASE*, 2004, 20(2):1-5.
 - [11] 陈 彦,吕 新.基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究:以新疆农七师 125 团为例[J].中国农学通报,2005,21(7):389-391.
CHEN Yan, LV Xin. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS of the 7th agricultural division as example in Xinjiang [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(7):389-391.
 - [12] 段永蕙,史 静,张乃明.设施土壤重金属污染物累积的影响因素分析[J].土壤,2008,40(3):469-473.
DUAN Yong-hui, SHI Jing, ZHANG Nai-ming, et al. Accumulation of heavy metals and its influential factors in greenhouse soils[J]. *Soils*, 2008, 40(3):469-473.
 - [13] 钟晓兰,周生路,黄明丽,等.土壤重金属的形态分布特征及其影响因素[J].生态环境学报,2009,18(4):1266-1273.
ZHONG Xiao-lan, ZHOU Sheng-lu, HUANG Ming-li, et al. Chemical form distribution characteristic of soil heavy metals and its influencing factors [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18 (4):1266-1273.