

土壤 Cd Zn Pb 复合污染对植物吸收重金属的影响

李博文, 杨志新, 谢建治

(河北农业大学资环学院, 河北 保定 071001)

摘要: 以潮褐土为供试土壤, 用油菜作指示植物, 通过模拟试验研究了土壤镉铅锌复合污染对植物吸收重金属的影响。结果表明, 在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染处理条件下, 植物 Cd、Zn、Pb 吸收的线性方程分别为: $Y_{Cd} = 1.26 + 0.12 X_{Cd} - 1.78 X_{Zn}$, $Y_{Zn} = 0.97 + 0.06 X_{Zn}$ 和 $Y_{Pb} = 1.26 + 0.001 X_{Pb}$, 分别达到了极显著水准, 并发现土壤 Cd 含量和 Zn 含量对植物 Cd 吸收量产生 Cd-Zn 复合效应, 但二者对植物 Zn 的吸收未产生复合效应, 不仅土壤 Pb 对植物 Cd 和 Zn 的吸收量未产生影响, 而且土壤 Cd 含量和 Zn 含量对植物 Pb 的吸收量也未产生影响。

关键词: 土壤; 复合污染; 植物; 吸收; Cd; Zn; Pb

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2004)05-0908-04

Effects of Soil Compound Contamination with Cadmium, Zinc and Lead on Adsorption of the Metals by Rape

LI Bo-wen, YANG Zhi-xin, XIE Jian-zhi

(Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: A simulated test of compound contamination with cadmium, zinc and lead was carried out with meadow cinnamon soil grown with rape. It was indicated that contents of the adsorbed Cd in the plant correlated not only significantly positively with Cd contents, but also negatively with Zn contents in the treated soil, with correlation factors of 0.954^{**} and -0.598^{*} respectively. The contents of adsorbed Zn only showed significantly positive correlation (0.980^{**}) with the content of Zn in the treated soil. Meanwhile, the content of adsorbed Pb by the plant only was positively correlative with the contents of Pb in the treated soil (factor 0.877^{**}). It was shown that the significantly linear regressions between the contents of the adsorbed Cd, Zn and Pb and the contents of these metals in the soil with compound treatment with equations, i. e. $Y_{Cd} = 1.26 + 0.12 X_{Cd} - 1.78 X_{Zn}$, $Y_{Zn} = 0.97 + 0.06 X_{Zn}$ and $Y_{Pb} = 1.26 + 0.001 X_{Pb}$, respectively, reflecting that the effects of Cd-Zn interaction on the plant assimilating Cd in the treated soil through first regression. The contents of the adsorbed Cd were reduced by the contents of Zn in the treated soil. However, we did not discovered the effect of Cd-Zn interaction on the plant assimilating Zn, the effect of Pb on the plant assimilating Cd and Zn and the effect of Cd and Zn on the plant assimilating Pb in the treated soil.

Keywords: soil; compound contamination; plant; assimilate; cadmium; zinc; lead

土壤重金属污染直接影响着农产品的质量, 开展植物对土壤重金属吸收规律的研究, 可为控制重金属污染对农产品的影响提供科学依据。关于土壤重金属在植物体中的蓄积规律, 国内外学者已开展了大量研究。例如, 白瑛等人研究表明^[1], 土壤 Cd、Zn、Pb 在植物体中的蓄积规律为: 根> 叶> 枝(茎)> 果实, 须

根> 块根, 老叶> 新叶。但主要集中在土壤重金属单因子污染的研究, 对土壤重金属复合污染的植物吸收规律, 特别是对植物吸收重金属的复合效应规律, 尚缺乏深入的量化研究。本研究以油菜为指示植物, 采用模拟试验, 研究了土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染的植物吸收规律, 可为控制土壤重金属复合污染对植物的影响提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 供试土壤

收稿日期: 2004-03-01

基金项目: 河北省自然科学基金项目(302340); 河北省博士资金项目(03547017D)

作者简介: 李博文(1963—), 男, 回族, 河北文安人, 博士, 研究员, 长期从事土壤学研究。

供试土壤为河北农业大学标本园的潮褐土,取其 0~40 cm 土层的土壤用于试验。供试土壤的理化性质特征见表 1。

1.2 试验方案与布置

本试验采用 Cd、Zn、Pb 三因素、五处理水平回归正交设计方案,设 3 次重复。其处理水平和相应的土壤重金属含量见表 2。

本试验用高 20 cm、体积约为 2 800 cm³ 的塑料桶

表 1 供试土壤的理化性质特征

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soil

土壤类型	重金属含量/mg · kg ⁻¹			有机质 /g · kg ⁻¹	全 N /g · kg ⁻¹	碱解 N /mg · kg ⁻¹	速效 P /mg · kg ⁻¹	速效 K /mg · kg ⁻¹	pH	<0.01 mm 物理性粘粒/%
	Cd	Pb	Zn							
潮褐土	0.83	75.88	30.54	10.89	0.63	22.71	14.02	98.04	7.4	38.78

表 2 Cd、Zn、Pb 的复合处理条件下土壤及植物重金属吸收量

Table 2 Contents of Cd, Zn and Pb in the tested soil and the used plant under compound contamination treated levels with the heavy metals

处理号	重金属添加量/mg · kg ⁻¹			土壤重金属含量/mg · kg ⁻¹			植物重金属吸收量/mg · kg ⁻¹		
	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb
1	4.42	70.78	88.48	5.25	146.66	119.02	1.39	9.88	1.16
2	4.42	70.78	911.52	5.25	146.66	942.06	1.47	10.50	2.52
3	4.42	729.22	88.48	5.25	805.10	119.02	1.17	53.05	1.24
4	4.42	729.22	911.52	5.25	805.10	942.06	0.89	51.52	2.71
5	45.58	70.78	88.48	46.41	146.66	119.02	6.16	10.22	1.08
6	45.58	70.78	911.52	46.41	146.66	942.06	7.58	11.42	2.05
7	45.58	729.22	88.48	46.41	805.10	119.02	5.14	37.82	1.42
8	45.58	729.22	911.02	46.41	805.10	942.06	5.98	45.32	2.30
9	0.00	400.00	500.00	0.83	475.88	530.54	0.34	31.50	1.70
10	50.00	400.00	500.00	50.83	475.88	530.54	6.45	27.15	1.73
11	25.00	0.00	500.00	25.83	75.88	530.54	5.62	4.45	2.02
12	25.00	800.00	500.00	25.83	875.88	530.54	3.15	60.40	2.51
13	25.00	400.00	0.00	25.83	475.88	30.54	2.75	29.48	1.39
14	25.00	400.00	1 000.00	25.83	475.88	1 030.54	2.32	26.52	2.21
15	25.00	400.00	50.00	25.83	475.88	80.54	2.60	28.31	1.70

作盆,每盆装土 5 kg;供试土壤风干后过 3 mm 筛,重金属 Cd、Pb、Zn 分别以 Cd(Ac)₂ · 2H₂O、Pb(Ac)₂ · 3H₂O、Zn(Ac)₂ · 2H₂O 固体粉末形式,按各自的处理量加入土壤,同时每桶加入 1 g 尿素和 2 g 二氨作肥底,与土壤一并混合均匀装盆;然后,直播油菜籽,出苗后每盆定苗 8 株,放置室外 60 d 收获。收获后取其可食部分(地上部)分别用于测定 Cd、Pb、Zn 的吸收量。

1.3 测试方法

1.3.1 土壤重金属含量测定

采用 HCl - HNO₃ - HClO₄ 三酸消化,原子吸收法测定^[2]。

1.3.2 植物重金属含量测定

采用 HNO₃ - HClO₄ 消化,原子吸收法测定^[2]。

1.3.3 土壤理化性质项目的测定

采用土壤农化常规分析法^[3]。

2 结果与分析

2.1 土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染处理的植物吸收效应

基于模拟试验 Cd、Zn、Pb 的复合处理水平、相应的土壤重金属含量和植物吸收量见表 2。通过偏相关分析(见表 3)可以看出,植物 Cd 吸收量与 Cd 添加量、土壤 Cd 含量的偏相关系数,分别为 0.951** 和 0.954**,分别达到了极显著的正相关;同样,植物 Zn 吸收量与 Zn 添加量、土壤 Zn 含量的偏相关系数,分别为 0.980** 和 0.980**,植物 Pb 吸收量与 Pb 添加量、土壤 Pb 含量的偏相关系数,分别为 0.849** 和 0.877**,也都分别达到了极显著的正相关。这表明添加的 Cd、Zn、Pb 和添加处理后土壤中的 Cd、Zn、Pb 均能被植物有效吸收,其添加量和土壤含量在一定程度上代表着土壤中 Cd、Zn、Pb 的有效量,在这种条件下,研究重金属 Cd、Zn、Pb 的关系,既能反映它们的植物有效性,又能说明土壤中重金属的含量,因此具有较

表 3 植物 Cd、Zn、Pb 吸收量与其土壤添加量土壤含量的偏相关系数

Table 3 Partial correlation coefficient between the contents of Cd, Zn and Pb absorbed by the plant and their contents fortified in the soil as well as their contents in the tested soil

项目		土壤重金属添加量			土壤重金属含量		
		Cd	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb
吸收量	Cd	0.951**	-0.584*	0.263	0.954**	-0.598*	0.272
	Zn	-0.501	0.980**	0.111	-0.504	0.980**	0.111
	Pb	-0.210	0.387	0.849**	-0.236	0.430	0.877**

注: $n = 15$, $r_{0.05} = 0.553$, $r_{0.01} = 0.684$ 。

强的代表性。

同时发现,植物 Cd 吸收量与 Zn 添加量、土壤 Zn 含量的偏相关系数,分别为 -0.584^* 和 -0.598^* ,均达到了显著的负相关,说明在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染中 Zn 对 Cd 的植物吸收可能有拮抗作用,产生了抑制 Cd 吸收的复合效应。这与夏增禄等用烟草试验,土壤 Zn 增加可降低烟草对 Cd 的吸收的结果相一致^[4]。这可能是由于在 Cd、Zn 污染的土壤中,Cd 与吸附于土壤胶体上的 Zn 进行离子代换,Cd 易于吸附在土壤胶体上,从而降低了土壤中 Cd 的有效性^[5]。然而,植物 Zn 吸收量与 Cd 添加量、土壤 Cd 含量的

偏相关系数均未达到显著相关,说明 Cd 对 Zn 的吸收并未产生抑制或促进作用,可能是由于前者含量浓度远远低于后者。同样,并未发现 Cd 和 Pb、Zn 和 Pb 之间对其植物的吸收产生复合效应。

2.2 土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染对植物吸收重金属的影响

为揭示土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染对植物吸收重金属的影响规律,以土壤重金属含量为自变量,分别设土壤 Cd、Zn、Pb 含量为 X_1, X_2, X_3 ;植物 Cd、Zn、Pb 的吸收量为 Y_1, Y_2, Y_3 ;基于 Cd、Zn、Pb 复合处理试验样本测试的基础数据(见表 2),进行了多元线性回归分析(见表 4)。

表 4 植物重金属吸收量与土壤重金属含量的多元线性回归分析

Table 4 Linear regression between contents of heavy metals in the tested plant and soil

序号	多元线性回归方程	<i>F</i> 检验值及显著性检验			
		<i>F</i>	<i>F</i> ₁	<i>F</i> ₂	<i>F</i> ₃
1	$Y_1 = 0.99 + 0.12 X_1 - 1.78 X_2 + 5.15 X_3$	39.44**	111.31**	6.13*	0.88
2	$Y_2 = 3.37 - 0.11 X_1 + 5.93 X_2 + 1.03 X_3$	89.01**	3.74	263.16**	0.14
3	$Y_3 = 1.15 - 3.30 X_1 + 4.04 X_2 + 1.18 X_3$	13.20**	0.65	2.49	36.45**

注: $n = 15$; $F_{0.05}(3, 11) = 3.59$, $F_{0.01}(3, 11) = 6.22$; $F_{0.05}(1, 11) = 4.84$, $F_{0.01}(1, 11) = 9.65$ 。

由表 4 可以看出,在置信度 $\alpha = 0.05$ 条件下,方程 1 中自变量 X_3 的 *F* 检验不显著,也就是说 X_3 对 Y_1 的影响不大,应从方程 1 中剔除 X_3 。依次类推,在置信度 $\alpha = 0.05$ 的条件下,方程 2 中自变量 X_1, X_3 的 *F* 检验不显著,应从方程 2 中剔除 X_1, X_3 ;方程 3 中自变量 X_1, X_2 的 *F* 检验不显著,应从方程 3 中剔除 X_1, X_2 。然后,建立新的线性回归方程。

由方程 1 得到:

$$Y_1 = 1.26 + 0.12 X_1 - 1.78 X_2 \quad (\text{方程 } 4)$$

方程 4 的 *F* 检验值为 59.30,临界值 $F_{0.01}(2, 12) = 6.93$,该回归方程极度显著。说明在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染的处理条件下,土壤 Cd 含量和 Zn 含量对植物 Cd 吸收量产生了 Cd-Zn 复合效应。从方程自变量的系数可以看出, X_2 为负系数,说明 Zn 对植物 Cd 的吸收具有抑制作用。由于 Zn 是植物的微量营养元

素之一,仅当土壤 Zn 含量过高,超过 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时才造成污染^[6]。因此,在土壤 Zn 含量远未达到超标的情况下,通过施用锌肥可以对 Cd 污染起到一定的控制作用。

$$\text{由方程 2 得出: } Y_2 = 0.97 + 0.06 X_2 \quad (\text{方程 } 5)$$

方程 5 经相关系数分析检验,相关系数为 0.973^{**} ($r_{0.01} = 0.641$),达到了极显著的正相关。说明在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染的处理条件下,植物 Zn 的吸收仅受土壤 Zn 的制约,不受土壤 Cd 含量的影响。因此,土壤 Cd 含量和 Zn 含量对植物吸收量的 Cd-Zn 复合效应,仅对植物吸收 Cd 产生抑制作用,并不对植物吸收 Zn 产生复合效应,同时,还说明植物 Zn 的吸收不受土壤 Pb 含量的影响。

$$\text{由方程 3 得到: } Y_3 = 1.26 + 0.001 X_3 \quad (\text{方程 } 6)$$

方程 6 经相关系数分析检验,相关系数为 0.849^{**}

($r_{0.01} = 0.641$), 达到了极显著的正相关。说明在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染的处理条件下, 植物 Pb 的吸收仅受土壤 Pb 的制约, 与土壤 Cd 和 Zn 的含量均未产生复合作用。

3 结论

在土壤 Cd、Zn、Pb 复合污染处理条件下, 植物 Cd、Zn、Pb 的吸收方程分别为: $Y_1 = 1.26 + 0.12 X_1 - 1.78 X_2$, $Y_2 = 0.97 + 0.06 X_2$ 和 $Y_3 = 1.26 + 0.001 X_3$, 土壤 Cd 含量和 Zn 含量对植物 Cd 吸收量产生 Cd - Zn 复合效应, 土壤 Zn 抑制植物对 Cd 的吸收, 土壤 Cd 对植物 Zn 的吸收并未产生复合效应, 土壤 Pb 对植物 Cd 和 Zn 的吸收也未产生复合效应。

参考文献:

- [1] 白 瑛, 张祖锡. 灌溉水污染及其效应[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.
- [2] 环境污染分析科研协作组. 环境污染分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [3] 土壤化学学会主编. 土壤农化常规分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [4] 夏增禄, 穆从如, 孟维奇, 等. Cd、Pb、Zn 及其相互作用对烟草、小麦的影响[J]. 生态学报, 1984, 4(3): 231 - 235.
- [5] 宋 菲, 郭玉文, 刘孝义, 等. 镉、锌、铅复合污染对菠菜的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(1): 9 - 14.
- [6] 项长兴, 董雅文, 钱君龙, 等. 南京栖霞山铅锌矿区土壤环境质量评价[J]. 土壤, 1993, 25(6): 319 - 323.