

文章编号:1003-8701(2010)02-0039-04

外源 Cd、Pb 在薄层黑土中的形态分布及其对小白菜生长的影响

慕 姝¹, 何 淼¹, 王 卓¹, 张景野², 刘淑霞^{1*}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2. 吉林省扶余县三岔河镇农业站, 吉林 扶余 131200)

摘 要: 通过盆栽试验, 研究了外源镉、铅在土壤中的形态分布及其对小白菜生长的影响。结果表明: 随着外源镉、铅浓度的增加, 土壤中各形态的镉、铅均呈上升趋势。其中镉、铅均以交换态和碳酸盐结合态增幅较大, 交换态、碳酸盐结合态镉、铅所占的百分比均呈现上升趋势; 残渣态镉呈锐减趋势。外源镉浓度在 0~2 mg/kg 时, 小白菜的鲜重、叶长、干重都略有增加; 当镉浓度达 5 mg/kg 时, 小白菜的鲜重、叶长、干重开始下降, 当镉浓度达 20 mg/kg 时与对照相比下降分别为 27%、28% 和 21%。随着外源铅浓度的增加, 小白菜的鲜重、叶长、干重在不断下降, 当铅浓度达 2 000 mg/kg 时与对照相比下降分别为 43%、38% 和 35%。

关键词: 薄层黑土; 重金属; 小白菜; 生长

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

Forms and Distribution of Exogenous Cd and Pb in Thin Layer of Black Soil and Their Effects on Pakehoi Growth

MU Shu¹, HE Miao¹, WANG Zhuo¹, ZHANG Jing-ye², LIU Shu-xia¹

(1. College of Resource and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. Sanchahe Agricultural Station of Fuyu County, Jilin Province Fuyu 131200, China)

Abstract: Pot-cultured Pakehoi was used in this experiment to study forms and distribution of exogenous cadmium and lead in thin layer of black soil and their effects on pakehoi growth. The results showed that contents of all forms of cadmium and lead in soil increased with level of exogenous cadmium and lead. The lead and cadmium of exchangeable and Carbonate-bound form increased more than others. The proportion of lead and cadmium of exchangeable form and Carbonate-bound form increased as the added cadmium and lead increased, while cadmium of residual form reduced quickly. Fresh plant weight, leaf length and dry plant weight of pakehoi increased when the added cadmium was less than 2 mg/kg, and they reduced when the added lead was 5 mg/kg. When the added cadmium was 20 mg/kg, they reduced by 27%, 28% and 21% compared with the control. Fresh plant weight, leaf length and dry plant weight of pakehoi decreased as the exogenous lead increased. When the added lead was 2000 mg/kg, they reduced by 43%, 38% and 35% compared with the control.

Keywords: Thin layer of black soil; Heavy metal element; Pakehoi; Growth.

近年来在我国有关重金属所引起的土壤污染

问题已有较多报道^[1-3]。重金属因其不能被生物所降解, 在环境中也仅能发生各形态间的相互转化, 所以对于消除重金属污染也更为困难^[4]。Cd 和 Pb 都是重要的环境污染物质^[5], 它们进入土壤后会引引起土壤理化性能的改变, 从而造成土壤质地的降低, 还会在一定的浓度范围内引起植物中毒, 导致植株形态、结构的变化^[6], 并通过植株的吸收和食物

收稿日期: 2009-10-28

基金项目: 吉林省教育厅“十一五”科学技术研究项目(200872)

作者简介: 慕 姝(1984-), 女, 在读硕士, 主要从事植物营养与生态环境生态的研究。

通讯作者: 刘淑霞, 教授, 博士, E-mail: liushuxia2005824@163.com

链进入人体而对人类的健康产生危害^[7]。土壤中所含的重金属可通过食物链被植物、动物数十倍的富集^[8]。Cd 和 Pb 是我国污染蔬菜中的主要重金属元素^[9],而且蔬菜的重金属镉污染具有一定的隐蔽性,一般不会发生急性中毒,只有经过食物链作用在人体内不断发生累积而对人类的身体健康产生危害,因此对人类的健康具有巨大的潜在危害^[10]。

小白菜是人们经常食用的蔬菜品种之一,其可食用的部分为地上部,易受土壤重金属的影响^[9]。本研究以薄层黑土为供试土壤,分析了盆栽试验条件下,不同浓度外源 Cd 和 Pb 在土壤中的形态、分布

及其对小白菜生长的影响,以期土壤重金属污染的防治和无公害蔬菜的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试药品:重金属镉为 $CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$, 重金属铅为 $Pb(NO_3)_2$, 2 种试剂均为分析纯。

供试土壤和蔬菜:土壤类型为薄层黑土,采自吉林农业大学试验田土壤(0~20 cm),经风干后过 4 mm 筛备用,基本理化性状见表 1。供试蔬菜为小白菜。

表 1 供试土壤的基本理化性状

pH 值	有机质(%)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	全铅(mg/kg)	全镉(mg/kg)
6.41	18.2	128	38.8	116	35.2	1.92

1.2 试验设计

试验采用模拟污染盆栽的方式进行,2 kg 风干土放入聚乙烯塑料盆中。试验共设 12 个处理,重复 3 次。Pb 的处理浓度为 0、200、500、1 000、1 500、2 000 mg/kg。Cd 的处理浓度为 0、2、5、10、15、20 mg/kg。重金属 Pb 和 Cd 分别以 $Pb(NO_3)_2$ 和 $CdCl_2$ 溶液形态施入土壤。施肥量为:N 0.2 mg/kg, P_2O_5 0.1 mg/kg, K_2O 0.2 mg/kg。装好后放置平衡 2 周,以使其保持盆内的重金属浓度尽量均匀。5 月 20 日播种,6 月 20 日收获,生育期共 30 d。

采回样品后,立即用去离子水将其冲洗干净。沥去水后,沿根轴处将根和茎分开,分别称取鲜重。之后将样品再放入 105℃ 下杀酶 15 min,在 60℃ 下烘干至恒重,再称重。土壤风干过 20 目和 100 目筛后备用。

1.3 测定方法

土壤重金属铅和镉的测定:王水-高氯酸消煮,原子吸收分光光度计测定。

土壤中铅和镉形态的测定:Tessier 五步连续提取法^[11]。

土壤碱解氮、速效磷、速效钾的测定:土壤农化常规分析方法。

2 结果与分析

2.1 土壤中各形态 Cd、Pb 的含量特点

外源 Cd、Pb 进入土壤后,会同土壤中的物质发生一系列的变化,以至于其形态也随之发生改变。根据 Tessier 五步连续提取法^[11]对土壤样品进行测定,得出各形态 Cd、Pb 含量(图 1、图 2。)

由图 1、图 2 可以看出:随着外源 Cd、Pb 浓度的增加,土壤中各形态 Cd、Pb 均呈上升趋势。其

中镉以交换态(EXC)镉的增幅最大,可达 21 倍;碳酸盐结合态(CA)次之,为 20 倍;铁锰氧化物结合态(OX)可增加 16 倍;有机态(OM)镉的变化较小,为 9 倍;残渣态(RES)的增幅最小,仅为 6.15 倍。

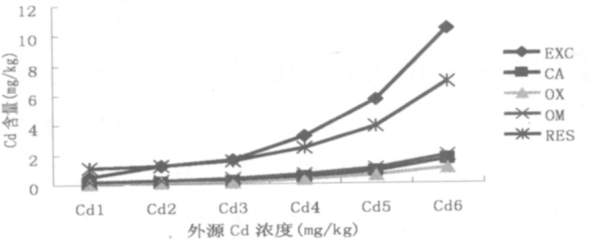


图 1 添加不同浓度 Cd 后土壤中各形态 Cd 含量

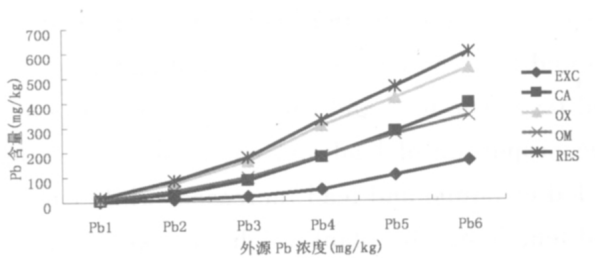


图 2 添加不同浓度 Pb 后土壤各形态 Pb 含量

铅以碳酸盐结合态(CA)铅和交换态(EXC)铅的增幅较大,分别为 104 倍和 160 倍;铁锰氧化物结合态(OX)为 51 倍;有机态(OM)铅的变化同样相对较小,为 52 倍;残渣态(RES)增幅最小为 45.4 倍。

2.2 土壤中各形态 Cd、Pb 的分布特点

根据各形态 Cd、Pb 的含量分布制成图 3、图 4,由图 3、图 4 可知:随着外源镉浓度的增加,交换态、碳酸盐结合态所占的百分比呈现上升趋势;残渣态镉呈锐减趋势;有机态和铁锰氧化物结合态所占的百分比变化较小。

随着外源 Pb 浓度的增加,交换态和碳酸盐结

合态所占的百分比呈现上升趋势 ;有机态 Pb 变化不大 ;残渣态 Pb 所占的百分比降低 ;铁锰氧化物结合态所占的百分比也略有减少。

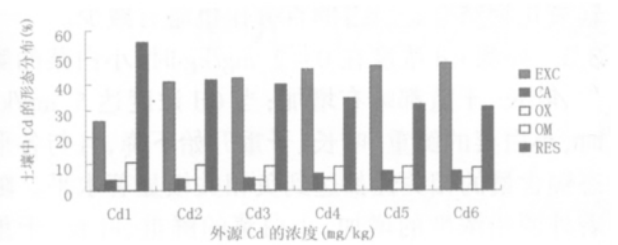


图 3 土壤中 Cd 的形态变化

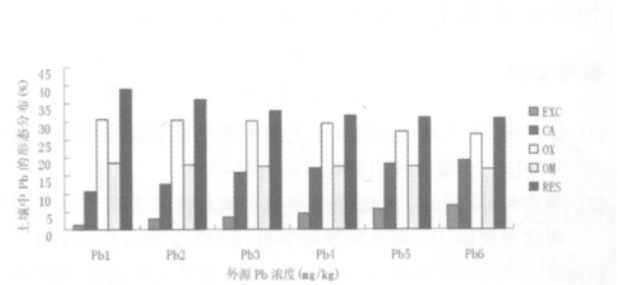


图 4 土壤中 Pb 的形态变化

2.3 土壤中不同浓度 Cd、Pb 处理对小白菜生长的影响

2.3.1 土壤中不同形态 Pb 与小白菜生长的关系

表 2 不同浓度 Pb 处理下的小白菜单株生长情况

处理编号	地上部鲜重(g)	叶长(cm)	地上部干重(g)
pb1	33.1	25.0	2.41
pb2	31.2	23.4	2.30
pb3	29.1	20.5	2.21
pb4	24.4	18.4	2.13
pb5	23.4	17.0	2.08
pb6	18.7	15.5	1.57

表 2 为不同浓度 Pb 处理的小白菜单株生长情况。从表 2 可知 ,土壤中 Pb 的形态对小白菜鲜重的影响随着外源 Pb 浓度的增加 ,小白菜的鲜重在不断下降 ,当外源 Pb 浓度达 2 000 mg/kg 时 ,相对于不添加 Pb 的 Pb1 处理 ,Pb6 处理的小白菜鲜重降低达 43%之多。以土壤中不同形态 Pb 含量与小白菜性状的相关性制成表 3 ,由表 3 可以看出 ,小白菜的鲜重与土壤中可交换态铅、碳酸盐结合态铅、铁锰氧化物结合态铅、有机态的铅、残渣态铅均呈负相关 ,即土壤中 5 种形态的铅含量过高时 ,能减少小白菜的鲜重。小白菜鲜重与各形态铅均达到负相关性极显著水平 ($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$)。

表 3 为土壤中 Pb 的形态对小白菜叶长的影响。由表 3 可知 ,随着外源 Pb 浓度的增加 ,小白菜的叶长在不断下降 ,当外源 Pb 浓度达 2 000 mg/kg 时 ,相对于不添加 Pb 的 Pb1 处理 ,Pb6 处

理的小白菜叶长降低可达 38%。小白菜的叶长与土壤中可交换态铅、碳酸盐结合态铅、铁锰氧化物结合态铅、有机硫化物态的铅、残渣态铅均呈负相关 ,即土壤中 5 种形态的铅含量过高时 ,能降低小白菜的叶长。小白菜叶长与可交换态铅、铁锰氧化物结合态铅、残渣态铅相关系数达负相关性极显著水平 ($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$) ,碳酸盐结合态铅、有机硫化物态的铅达负相关性显著水平。

表 3 土壤中不同形态 Pb 与小白菜性状的相关系数

形态	EXC	CA	OX	OM	RES
鲜重(g)	-0.964 4	-0.984 1	-0.992 4	-0.988 1	-0.989 5
叶长(cm)	-0.974 8	-0.956 8	-0.981 8	-0.918 4	-0.972 8
干重(g)	-0.949 3	-0.933 4	-0.909 9	-0.913 4	-0.922 1

由表 2 和表 3 还可以看出 ,随着外源铅浓度的增加 ,小白菜的干重在不断下降 ,当外源铅浓度达 2 000 mg/kg 时 ,相对于不添加 Pb 的 Pb1 处理 ,Pb6 处理的小白菜鲜重降低达 35%。小白菜的株高与土壤中可交换态铅、碳酸盐结合态铅、铁锰氧化物结合态铅、有机硫化物态的铅、残渣态铅均呈负相关 ,即土壤中 5 种形态的铅含量过高时 ,能降低小白菜的干重。小白菜干重与可交换态铅、碳酸盐结合态铅、铁锰氧化物结合态铅、有机硫化物态铅和残渣态铅相关系数均达负相关性显著水平 ($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$)。

2.3.2 土壤中不同形态 Cd 与小白菜生长的关系

表 4 不同浓度 Cd 处理下的小白菜单株生长情况

处理编号	地上部单株平均鲜重(g)	叶长(cm)	地上部干重(g)
Cd1	32.6	24.8	2.38
Cd2	32.7	24.8	2.39
Cd3	32.9	24.9	2.41
Cd4	29.8	23.9	2.25
Cd5	26.2	21.4	2.09
Cd6	23.7	19.4	1.87

表 5 土壤中不同形态 Cd 与小白菜性状的相关系数

形态	EXE	CA	OX	OM	REX
鲜重	-0.967 4	-0.973 8	-0.966 7	-0.971 3	-0.966 0
叶长	-0.983 1	-0.989 7	-0.982 7	-0.985 2	-0.981 1
干重	-0.986 9	-0.990 4	-0.986 7	-0.988 3	-0.985 1

表 4 为不同浓度 Cd 处理的小白菜单株生长情况。从表 4 可知 ,外源 Cd 浓度在 0~2 mg/kg 时 ,小白菜的鲜重略有增加 ,Cd 对小白菜的生长起促进作用 ;当 Cd 浓度达 5 mg/kg 的 Cd4 处理时 ,小白菜的鲜重开始下降 ,当外源 Cd 浓度达 20 mg/kg 时 ,相对于不添加 Cd 的 Cd1 处理 ,Cd6 处理的小白菜鲜重降低达 27%。以土壤中不同形态 Cd 含量与小白菜性状的相关性制成表 5 ,由表 5 可以看出 ,小白菜的鲜重与土壤中可交换态镉、碳酸盐结合态镉、铁锰氧化物结合态镉、有机态的

镉、残渣态镉均呈负相关,即土壤中 5 种形态的镉含量过高时,能减少小白菜的鲜重。小白菜鲜重与各形态镉均达到负相关性极显著水平($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$)。

外源 Cd 浓度在 0~2 mg/kg 时(表 4、表 5),小白菜的叶长稍有增加,Cd 对小白菜的生长起促进作用;当 Cd 浓度达 5 mg/kg 的 Cd4 处理时,小白菜的叶长开始下降,当外源 Cd 浓度达 20 mg/kg 时,相对于不添加 Cd 的 Cd1 处理,Cd6 处理的小白菜叶长降低达 28%。小白菜的叶长与土壤中可交换态镉、碳酸盐结合态镉、铁锰氧化物结合态镉、有机态的镉、残渣态镉均呈负相关,即土壤中 5 种形态的镉含量过高时,能减少小白菜的叶长。小白菜叶长与各形态镉均达到负相关性极显著水平($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$)。

外源 Cd 浓度在 0~2 mg/kg 时(表 4、表 5),小白菜的干重略有增加,Cd 对小白菜的生长起促进作用;当 Cd 浓度达 5 mg/kg 的 Cd4 处理时,小白菜的干重开始下降,当外源 Cd 浓度达 20 mg/kg 时,相对于不添加 Cd 的 Cd1 处理,Cd6 处理的小白菜干重降低达 21%。小白菜的干重与土壤中可交换态镉、碳酸盐结合态镉、铁锰氧化物结合态镉、有机态的镉、残渣态镉均呈负相关,即土壤中 5 种形态的镉含量过高时,能减少小白菜的干重。小白菜叶长与各形态镉均达到负相关性极显著水平($N=5$, $R_{0.05}=0.878$, $R_{0.01}=0.959$)。

3 结 论

3.1 在种植过小白菜的土壤中 Cd、Pb 的形态分布特征,呈现随着外源镉、铅添加浓度的增加,其交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机硫化物态、残渣态镉、铅的含量均增加。都以交换态和碳酸盐结合态的增幅较大,残渣态和有机态增幅相对较小。

3.2 随着外源 Cd 浓度的增加,交换态、碳酸盐结合态所占的百分比呈现上升趋势;残渣态镉呈锐减趋势;有机态和铁锰氧化物结合态所占的百

分比变化较小。随着外源 Pb 浓度的增加,交换态和碳酸盐结合态所占的百分比呈现上升趋势;有机态铅变化不大,残渣态铅所占的百分比降低,铁锰氧化物结合态所占的百分比也略有减少。

3.3 外源 Cd 浓度在 0~2 mg/kg 时,小白菜的鲜重、叶长、干重都略有增加;当 Cd 浓度达 5 mg/kg 时,小白菜的鲜重、叶长、干重开始下降,且与各形态镉含量的相关性都达到负相关极显著水平。随着外源铅浓度的增加,小白菜的鲜重、叶长、干重在不断下降,与各形态铅含量的相关性都达到负相关显著水平。

参考文献:

- [1] 张 民,龚子同.我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J].土壤学报,1996,33(1):85-93.
- [2] 周建利,陈同斌.我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J].湖北农学院学报,2002,22(5):476-480.
- [3] 宋 波.北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J].环境科学学报,2006,26(8):1343-1353.
- [4] 马 榕.重视磷肥中重金属镉的危害[J].磷肥与复肥,2002,17(6):5-6.
- [5] Friberg J., Piscator M., Nordberg G F., et al. Cadmium in the Environment[M]. Cleveland: CRC Press, 1974.
- [6] Shah K., Dubey R S. Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds[J]. Acta Physiol Plant, 1998(20): 189-196.
- [7] 彭 浩,张兴昌,邵明安.黄土区土壤钾素径流流失试验研究[J].水土保持学报,2004,18(1):70-73.
- [8] Mireles A., Sols C., Andrade E., et al. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2004(6):187-190.
- [9] 赵建忠,李 冉.镉在小白菜体内的累积规律及其生物效应的研究[J].中国土壤与肥料,2009(4):40-43.
- [10] 王 浩,顾国平.土壤铅、镉污染对小白菜生长与积累的影响[J].浙江农业科学,2009(2):398-400.
- [11] Tessier A., et al. Sequential Extraction procedure for the speciation of particulate trace metals [J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(7): 844-851.