

改良剂对烟草吸收土壤中镉铅影响的研究*

胡钟胜^{1,4} 章钢娅¹ 王广志² 招启柏² 刘秀丽³ 曹显祖³ 曹志洪^{1†}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 江苏省烟叶购销公司, 南京 210007)

(3 扬州大学, 江苏扬州 225009)

(4 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 采用盆栽试验, 研究 3 种改良剂对减少烟草吸收土壤重金属的效应。烟草生长在外源添加重金属达 $Pb\ 300\ mg\ kg^{-1}$ 和 $Cd\ 0.1\ mg\ kg^{-1}$ 的污染土壤上, 通过添加 3 种土壤改良剂, 测定分析烟草在不同生长期不同部位的生物量及重金属含量, 探讨 3 种改良剂对减少烟草吸收土壤重金属的效果。结果表明: Pb 的转移系数小于 Cd , 说明这两种重金属在烟草体内的迁移能力是 $Cd > Pb$; 与对照处理相比, 所有修复剂处理的土壤重金属残留量较多; 3 种改良剂均在不同程度上减少了烟草不同部位重金属 (Cd 和 Pb) 的含量, 且增加了烟草的生物量, 都起到了一定的改良效果, 本试验得到改良剂优劣顺序为: 凹凸棒土 > 骨粉 > 活性炭。

关键词 烟草; 重金属; 改良剂

中图分类号 S153 文献标识码 A

我国部分农田受 Cd 、 Pb 的污染比较严重^[1], 土壤中含过量重金属 Cd 、 Pb 会抑制植物生长, 降低作物品质, 并且还会通过食物链影响人体的健康^[2,3]。对于烟草来说, 人们主要是考虑尼古丁和糖(醣)燃烧后形成的焦油对健康的危害, 迄今还很少看到重金属对主动或被动吸烟者健康的危害的报道。卷烟中大部分 Cd 进入烟雾(约 70%), 对主动和被动吸烟者均构成健康危害, 每天吸 40 支烟所提供的镉相当于食物的 2 倍^[4]。若卷烟中含有其他重金属如砷和汞, 则更主要是以烟雾进入人体危害人们的健康。烟雾中重金属主要来自于烟丝。烟丝重金属的含量与原料烟叶的重金属含量密切相关, 与植烟土壤中有效态重金属含量呈正相关^[5]。因此, 治理植烟土壤的重金属污染是解决这个问题的关键。国内外的污染土壤改良治理的方法有生物改良和土壤淋洗、热处理、挖掘填埋等物理改良以及添加化学制剂或电动技术等化学改良^[6]。尽管各种改良方法具有一定的效果, 但自身也存在一定的局限性。重金属的生物可利用性主要依靠它们的各种形态, 因此, 通过添加改良剂改变重金属在土壤中的形态或增加对它们的吸附能力, 减少重金属的移动性和生物可利用

性^[7], 从而减少植物对重金属的吸收^[8,9], 应该是更现实可行的方法。这种方法与其他方法相比优点在于: 经济、方便、不改变土壤固有的理化性状^[10]。

本试验使用外加重金属的采自湖南某烟区的植烟土壤, 以骨粉(T1)、活性炭(T2)、凹凸棒土(T3)作为土壤改良剂, 研究它们对减少烟草吸收重金属 Cd 、 Pb 的效果, 探讨其作为土壤改良剂的可行性, 为生产中减少烟草重金属含量的技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验作物: 烟草(K326, 由江苏省烟草公司提供)。

改良剂: 骨粉、活性炭、凹凸棒土。

供试土壤: 湖南某烟区的植烟土壤(黄棕壤), 该土壤的基本性质见表 1。

1.2 盆栽试验

土壤晾干, 粉碎, 过 2 mm 筛。加入 $Cd(NO_3)_2$ 、 $Pb(NO_3)_2$ (化学纯) 溶液调至 Cd 、 Pb 分别为 $1\ mg\ kg^{-1}$ 、 $300\ mg\ kg^{-1}$, 充分混合, 稳定老化 1 周后^[11], 每盆加入 10 kg 土壤。加入不同的过 20 目筛的改良

* 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB410805)资助

† 通讯作者, 电话: 025 - 86881057, E-mail: zhcao @issas.ac.cn

作者简介: 胡钟胜(1980~), 男, 硕士研究生, 主要从事环境化学与污染控制研究。E-mail: zshu2006 @sohu.com

收稿日期: 2005 - 01 - 17; 收到修改稿日期: 2005 - 05 - 29

剂各 30 g 与不加改良剂的为对照(简称对照),即对照(CK)、骨粉(T1)、活性炭(T2)和凹凸棒土(T3)4 种处理。每处理重复 4 次,在烟草生长的团棵、旺长、显蕊和成熟 4 个时期采样。盆栽共 64 盆,按随机区组排列,并按一定时期进行位置的调动,确保每个盆子每个重复在网室内的生长条件均匀。将生长状况一致

的烟苗移栽于盆子的中心,每盆 1 株苗,栽培深度要一致。保持土壤水分为田间持水量的 70%,治虫防病、中耕、抹杈打顶等按照常规办法进行^[12]。根据烟草生长时期分别在移栽后 15、45、70、90d 采样,分根茎叶等部位取样,用去离子水洗净,65℃ 烘干,磨碎,测定各部位 Cd、Pb 含量^[12]。

表 1 供试土壤的基本农化性质

Table 1 Properties of the soil tested

有机质 OM	总氮 Total N	pH ¹⁾	速效磷 Available P	速效钾 Available K	总镉 Total Cd	总铅 Total Pb	总砷 Total As	总汞 Total Hg
(g kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)					
15.64	1.43	6.15	16.56	81.15	0.24	63.32	25.10	0.33

1) 土水质量比为 1:2.5 W_{soil}:W_{water} = 1:2.5

1.3 测定方法

测定植株不同部位鲜重,按照微量元素采集和样品制备方法处理植株样,用 HNO₃-HClO₄ 微波消解^[13],原子吸收光谱测定各部位 Cd、Pb 含量,计算各处理植株不同部位的 Cd、Pb 含量^[14]。

1.4 数据分析

利用 SPSS10.0 统计软件,在 1% 和 5% 水平下用 LSD 法分析所有处理与对照之间的差异显著性,结合 Excel 软件分析作图。

2 结果与讨论

2.1 金属在植株体内的分布

通过表 2 可知,Cd 在烟草不同部位含量的顺序

为叶 > 根 > 茎,随着烟草生长发育,重金属在不同部位的含量降低,符合作物生长的稀释效应原理。现蕊期各部位 Cd 的含量仍然是叶 > 根 > 茎,种中 Cd 的含量最小,说明烟草也有大多数植物具有的一种对繁殖器官的保护机制,以避免对后代的毒害^[15]。元素 Cd 在不同的生长时期内发生了由根向茎、叶和种的转移,通过对 Cd 的转移系数(TF)即叶中 Cd 的含量与根中 Cd 的含量之比的计算可知,Cd 在烟草中的转移系数为 2.57~3.63 之间。通常将 TF > 1 的作物称为对该元素转移能力强的作物,可见烟草是对 Cd 转移能力极强的作物,这与前人烟草对 Cd 有很强的转移能力的结果是一致的^[16]。这也说明烟草中 Cd 很容易向烟叶集中,其浓度将容易超过最低允许标准。烟叶是种植烟草的目标产物,所以减少烟叶 Cd 的含量尤为重要。

表 2 对照处理不同时期镉和铅在烟草体内分布

Table 2 Cd and Pb distribution in tobacco during different growing periods

生长期 Growth Stage	Cd (mg kg ⁻¹)				Pb (mg kg ⁻¹)			
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	种 Seed	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	种 Seed
团棵期	1.95	4.91 ¹⁾	—	—	126	36.5 ¹⁾	—	—
旺长期	1.90	1.86	6.73	—	126	24.1	68.6	—
现蕊期	1.68	1.51	3.04	0.99	115	17.5	25.3	14.1
成熟期	0.65	0.49	2.36	—	71	12.2	18.8	—

1) 为植株地上部(茎和叶)的含量 Contents of Cd or Pb in aerial part of tobacco. Rosette stage; Fast growing stage; Pistil appearing stage; Maturing stage

Pb 在烟草不同部位含量的大小顺序与 Cd 不同:根 > 叶 > 茎。随着烟草生长发育,植株不同部位 Pb 的含量也随之降低,同样符合作物生长的稀释效应。现蕊期种中 Pb 的含量比叶的含量低,但比茎中

高,这与 Cd 的情况不同,由于同一植株不同重金属在体内分配与重金属自身的理化性质不同相关。Pb 在烟草中的转移系数为 0.22~0.54 之间,所以烟草对 Pb 转移能力并不强^[17,18],这对防止 Pb 污染土壤

对烟叶的危害比较有利。

2.2 改良剂对植烟土壤中 Cd、Pb 含量的影响

研究结果证明,土壤中重金属的有效态含量与土壤性质以及所使用的改良剂种类密切相关。通过添加改良剂可以改变土壤的 pH 值、有机质含量、土壤的吸附性能、磷的含量等,可以减少土壤 Cd、Pb 含量的提取率,同时也减小了重金属的移动性和生物可利用性,从而达到减少作物体内不同部位重金属含量的目的^[9,19]。

成熟期,对照、骨粉(T1)、活性炭(T2)、凹凸棒土(T3)处理,对应土壤 Cd 的含量分别为 0.91、0.97、0.93、0.92 mg kg⁻¹,改变量比对照分别大 0.06、0.02、0.01 mg kg⁻¹,与对照处理差异不显著。对照、骨粉(T1)、活性炭(T2)、凹凸棒土(T3)处理,对应土壤 Pb 的含量分别为 262、266、270、267 mg kg⁻¹。由此说明修复剂处理烟草吸收土壤中重金属减少而使重金属在土壤中的残留量增加。土壤的 Cd、Pb 按照形态通常可分为交换态、碳酸盐结合态、铁锰结合态、有机结合态和残余态等^[20]。通过使用骨粉、活性炭、凹凸棒土等无机改良剂,土壤中交换态含量明显减少,其余形态的重金属都有增加,尤其是残余态重金属增加明显^[21]。

2.3 改良剂对烟草吸收 Cd、Pb 的影响

2.3.1 骨粉处理对烟草吸收 Cd、Pb 的影响 试验结果表明,现蕊期和成熟期两个时期不同处理烟草不同部位 Cd、Pb 的含量都有不同程度的降低,加入骨粉(T1)改良剂的处理与对照相比,无论是地上部分还是地下部分 Cd 的含量都有一定程度的减少。由图 1、图 2 计算可得,现蕊期根、茎、叶和种中 Cd 的含量与对照相比降幅分别为 47%、39%、8%和 43%,成熟期它们的降幅分别为 40%、37%、7%和 36%。由图 3、图 4 可得,现蕊期根、茎、叶和种中 Pb 的含量与对照相比降幅分别为 27%、21%、51%和 47%,成熟期降幅分别为 45%、30%、36%和 9%。统计分析可得,现蕊期,根中 Cd 的含量、叶和种中 Pb 的含量与对照相比差异极显著;成熟期,叶中 Pb 的含量与对照相比差异显著,根中 Pb 的含量与对照相比差异极显著。骨粉处理对烟草在这两个生长期其他部位的 Cd、Pb 的含量与对照相比差异不显著。

有研究表明,骨粉的主要成分为磷酸十钙盐([Ca₁₀(PO₄)₆OH₂]),它可以减少土壤重金属的生物有效性。原因有:(1)使土壤微域 pH 增加,可引起的重金属沉淀;(2)活性的重金属被骨粉颗粒所吸附

成为缓效性的;(3)重金属还可与磷酸根螯合沉淀而使生物有效性降低^[22]。

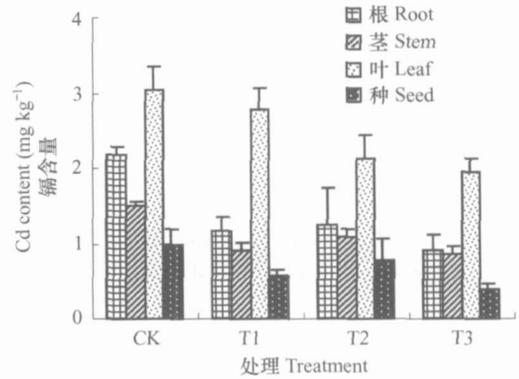


图 1 现蕊期不同处理不同部位镉含量

Fig. 1 Cd contents in different parts of tobacco plants in different treatments at the pistil appearing stage

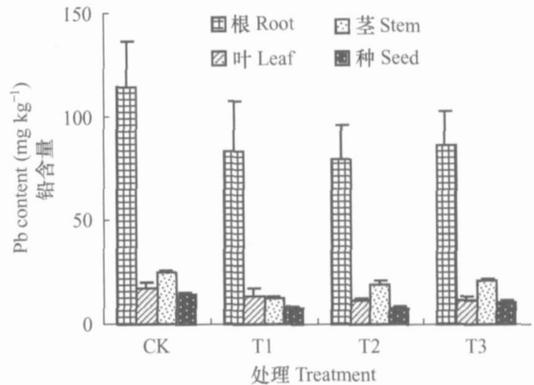


图 2 现蕊期不同处理不同部位铅含量

Fig. 2 Pb contents in different parts of tobacco plants in different treatments at the pistil appearing stage

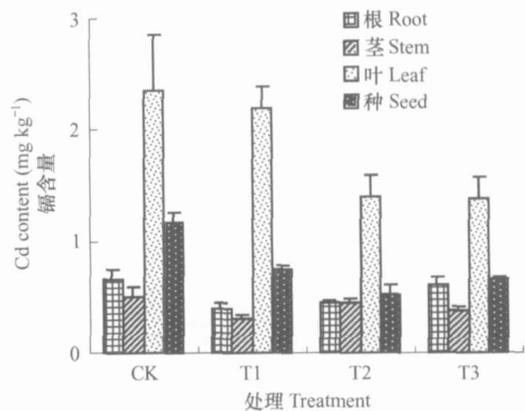


图 3 成熟期不同处理不同部位镉含量

Fig. 3 Cd contents in different parts of tobacco plants in different treatments at the maturing stage

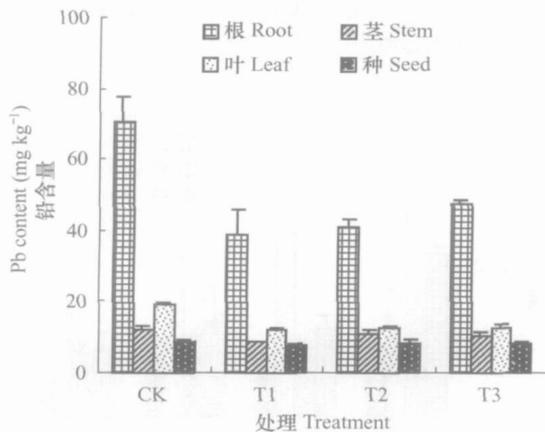


图4 成熟期不同处理不同部位铅含量

Fig. 4 Pb contents in different parts of tobacco plants in different treatments at the maturing stage

2.3.2 活性炭处理对烟草吸收 Cd、Pb 的影响

试验结果表明,加入活性炭改良剂的处理与对照相比,无论是地上部分还是地下部分 Cd、Pb 的含量也都有一定程度的减少。由图 1、图 2 计算可得,在现蕊期根、茎、叶和种中 Cd 的含量与对照相比降幅分别为 43%、28%、30%和 22%,成熟期它们的降幅分别为 32%、7%、41%和 56%。由图 3、图 4 计算可得在现蕊期根、茎、叶和种中 Pb 的含量与对照相比降幅分别为 31%、35%、26%和 47%,成熟期降幅分别为 42%、12%、33%和 2%。统计分析可得,现蕊期,根中 Cd 的含量,种中 Pb 的含量与对照相比差异极显著,活性炭处理对烟草在这两个生长时期其他部位的 Cd、Pb 的含量与对照相比差异不显著。

活性炭具有较大的表面积和很强的吸附能力,主要通过下列两个作用减小土壤重金属有效性:(1)活性炭可以直接吸附污染土壤中的重金属;(2)活性炭的加入可以提高土壤有机碳的含量,起到固定重金属的作用。

2.3.3 凹凸棒土处理对烟草吸收 Cd、Pb 的影响

试验证明,加入凹凸棒土改良剂的处理与对照相比,无论是地上部分还是地下部分 Cd、Pb 的含量同样都有一定程度的减少。由图 1、图 2 计算可得,在现蕊期根、茎、叶和种中 Cd 的含量与对照相比降幅分别为 47%、39%、8%和 43%,成熟期它们的降幅分别为 40%、37%、7%和 36%。由图 3、图 4 计算可得在现蕊期根、茎、叶和种中 Pb 的含量与对照相比降幅分别为 27%、21%、51%和 47%,降幅分别为 45%、30%、36%和 9%。统计分析可得,茎和叶中 Cd 的含量与对照相比差异显著,而且根和种中 Cd

的含量、种中 Pb 的含量与对照相比差异极显著,凹凸棒土处理对烟草在现蕊期和成熟期其他部位的 Cd、Pb 的含量与对照相比差异不显著。凹凸棒土处理改良效果的原因应该是凹凸棒土为典型的 2:1 型黏土矿物,具有较高的阳离子交换容量可以吸附土壤重金属。

总之,3 种改良剂处理在现蕊期时,根 Cd 含量与对照相比有极显著差异,茎和叶 Cd 含量与对照有一定的减少,其中凹凸棒土处理与对照相比都有显著差异;根、茎和叶中 Pb 减少量几乎一致,只有骨粉处理叶中 Pb 含量与对照有极显著差异;其他处理根茎叶 Pb 含量与对照差异不显著。成熟期,除了骨粉处理与对照差异极显著外,所有处理之间差异不显著。通过 3 种改良剂对烟草不同生长时期不同部位 Cd、Pb 的减少量及它们与对照之间显著性综合分析可知,其改良效果的顺序为:凹凸棒土 > 骨粉 > 活性炭。

2.4 改良剂对烟草生物量的影响

大量研究表明^[8~10,18],通过使用骨粉、活性炭、凹凸棒土,可以提高土壤的 pH 值,提高土壤的吸附性能,降低土壤重金属有效态含量和生物可利用性,从而改善作物的生长条件,减小重金属对作物的危害,提高作物的产量。土壤重金属污染改良的生理生态效应是通过对作物的生理生态和生长状况影响程度等指标来考察的,而且鲜重是烤烟生产的基础,也是植株营养状况与生长状况的综合反映。本试验主要通过烟草不同部位生物量指标来衡量的。

通过图 5 和图 6 可见,在烟草现蕊期和成熟期,所有处理的根茎叶重量都有一定的增加。通过统计

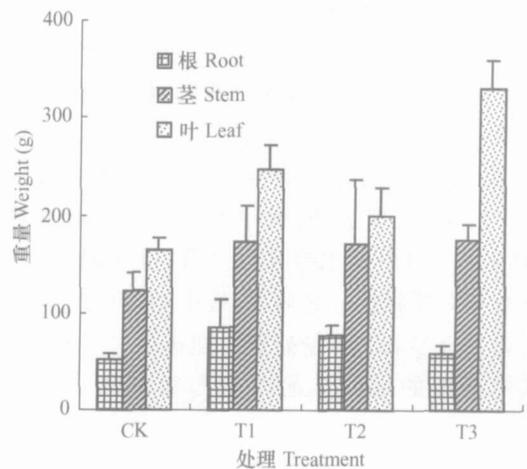


图5 现蕊期不同处理不同部位重量

Fig. 5 Weights of tobacco parts in different treatments at the pistil appearing stage

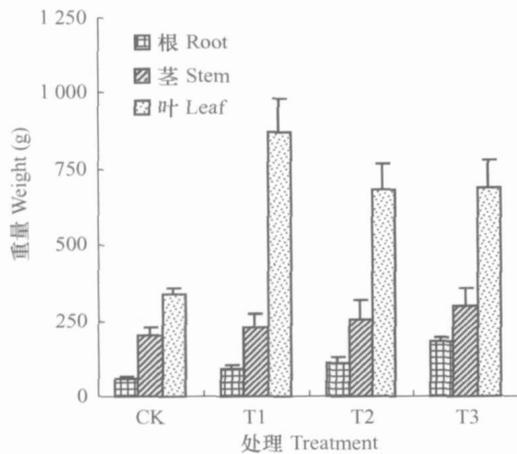


图 6 成熟期不同处理不同部位重量

Fig. 6 Weights of tobacco parts in different treatments at the maturing stage

分析可知,就烟草植株唯一具有价值的叶片而言,在现蕊期,凹凸棒土处理相对与空白对照处理叶片重量提高了 100%,最少的也增加 22.0%,凹凸棒土处理的叶重增加量最大,比对照 164 g 增加了 165 g。根重增加幅度为 13.5%~65.4%,茎重增加幅度为 37.4%~41.5%,凹凸棒土处理提高最多;成熟期,骨粉处理相对与空白对照处理叶片重量提高 157.5%,最少增加 101.5%,根的重量增加幅度为 44.3%~196.7%,茎的重量增加幅度为 12.4%~43.3%。效果最好的仍然是凹凸棒土处理,根重和茎重由对照的 61 g 和 201 g 分别增加到 181 g 和 298 g,根重与对照 CK 差异达到显著。试验表明,所有的处理相对于空白对照,对烟草的生长都有一定的促进作用,株高明显高于对照,茎秆粗壮,对照失绿,其他处理叶片颜色正常。前人的研究表明,作物体内重金属浓度升高,进入细胞后可与形成叶绿素所必需的 Mg^{2+} 离子发生竞争,抑制叶绿素的合成,抑制了植物正常的光合作用,而且可与巯基相结合改变了细胞膜的生理作用,细胞膜透性随镉浓度增加而增大^[23],可竞争地与酶活性结合,使酶的活性大大降低甚至失活,继之功能紊乱,细胞分裂变慢,生长发育迟缓,当离子浓度达到一定值时,酶活性可能会全被抑制,细胞分裂也随之停止^[24],从而影响植株正常的营养状况与生长状况,减少作物的生物量。

3 结 论

1) 烟草植株不同生长期重金属含量分析表明,Cd 在叶中的浓度远高于根中的浓度,说明烟草

对 Cd 有着很强的转移能力,而 Pb 转移系数小于 Cd,说明 Cd 在烟草体内的迁移能力大于 Pb。Cd 在人畜体内更易移动,因此高 Cd 烟叶对健康的潜在危害性较大。

2) 试用的 3 种改良剂对土壤中有效性 Cd、Pb 的含量都有一定程度的减少作用。同样,试用的改良剂也能减少烟草不同部位的 Cd、Pb 含量,但不同改良剂对不同时期烟草不同部位的改良效果不一致。3 种改良剂在烟草不同生长期不同部位 Cd、Pb 的减少量及它们与对照之间显著性的综合分析可知,它们的改良效果的顺序为:凹凸棒土 > 骨粉 > 活性炭。

3) 试用的改良剂减少了土壤中有效性重金属的含量,又降低了烟草体内有毒重金属的含量,从而改善了烟草的生长条件,减小了重金属对烟草的危害。与对照相比所有处理的生物量都有所提高,在烟草的生长过程中,烟草的性状也比对照明显要好。可见,通过使用改良剂可能具有提高烟草品质和产量的双重功效。

参 考 文 献

- [1] 张亚丽,沈其荣,姜洋. 有机肥料对镉污染土壤的改良效应. 土壤学报,2001,38(2):212~218. Zhang Y L, Shen Q R, Jiang Y. Effects of organic manure on the amelioration of Cd-polluted soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(2): 212~218
- [2] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京:科学出版社,2002. 102~105. Chen H M. Behavior of Chemicals in Soils and Its Relation to Environmental Quality (In Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 102~105
- [3] 陈维新. 农业环境保护. 北京:中国农业出版社,1993. 137~147. Chen W X. Agricultural Environmental Protection (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1993. 137~147
- [4] 张艳玲,周汉平. 烟草重金属研究概述. 烟草科技,2004(12):20~23. Zhang Y L, Zhou H P. Summary on study of heavy metal elements in tobacco (In Chinese). Tobacco Science & Technology, 2004(12): 20~23
- [5] 郝秀珍,周东美. 金属尾矿砂的改良和植被重建研究进展. 土壤,2005,37(1):13~19. Hao X Z, Zhou D M. A review: Remediation and revegetation of metal mine tailings dumping sites (In Chinese). Soils, 2005, 37(1): 13~19
- [6] 周启星. 污染土壤改良的技术再造与展望. 环境污染治理技术与设备,2002,3(8):36~40. Zhou Q X. Technological reformation and prospect of contaminated soil remediation (In Chinese). Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2002, 3(8): 36~40
- [7] 郝秀珍,周东美,王玉军,等. 泥碳和化学肥料处理对黑麦草在铜尾矿砂上生长影响的研究. 土壤学报,2004,41(4):645~648. Hao X Z, Zhou D M, Wang Y J, et al. Study of ryegrass growth in copper mine tailing treated with peat and chemical fertilizer

- (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 645 ~ 648
- [8] Sally B, Chaney R, Judith H, *et al.* In situ treatment to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium. *J. Environ. Qual.*, 2004, 33: 522 ~ 531
- [9] Urszula K, Rufus L C. Amelioration of nickel phytotoxicity in muck and mineral soils. *J. Environ. Qual.*, 2001, 30: 1 949 ~ 1 960
- [10] Cheng S F, Zeng Y H. In-situ immobilization of cadmium and lead by different amendments in two contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2002, 140: 73 ~ 81
- [11] 王新,周启星. 外源镉铅铜锌在土壤中形态分布特性及改性剂的影响. *农业环境保护*, 2003, 22(5): 541 ~ 545. Wang X, Zhou Q X. Distribution of forms for cadmium, lead, copper and zinc in soil and its influences by modifier (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5): 541 ~ 545
- [12] 王艳,王金达,刘汝海,等. 土壤铅的浓度与油菜生长相互影响的研究. *农业环境保护*, 2004, 23(1): 47 ~ 50. Wang Y, Wang J D, Liu R H, *et al.* Commutative influences of concentration of lead in soil and growth of cole (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(1): 47 ~ 50
- [13] 张小燕,马政生,程立康,等. 植物中多元素测定的微波消解前处理技术. *分析测试技术与仪器*, 2000, 6(1): 45 ~ 48. Zhang X Y, Ma Z S, Cheng L K, *et al.* Technology of the microwave digestion for determination of multi-elements in plants (In Chinese). *Analysis and Testing Technology and Instruments*, 2000, 6(1): 45 ~ 48
- [14] Malgorzata M, Hakan A. Influence of lead and cadmium on growth, heavy metal uptake, and nutrient concentration of three lettuce cultivars grown in hydroponic culture. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2001, 32(3/4): 571 ~ 583
- [15] Cao Z H, Wang X C, Yao D H, *et al.* Selenium geochemistry of paddy soils in Yangtze River Delta. *Environment International*, 2001, 26: 335 ~ 339
- [16] Angel A, Carbonell B, Franciscoburlo C, *et al.* Arsenic uptake, distribution, and accumulation in bean plants: Effect of arsenite and salinity on plant growth and yield. *Journal of Plant Nutrition*, 1997, 20(10): 1 419 ~ 1 430
- [17] 冯绍元,邵洪波,黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究. *农业工程学报*, 2002, 18(4): 113 ~ 115. Feng S Y, Shao H B, Huang G H. Field experimental study on the residue of heavy metal in wheat crop (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(4): 113 ~ 115
- [18] 张连忠,路克国,王宏伟,等. 重金属镉、铜在苹果幼树体内的分布特性及生物有机肥对减少重金属效应的研究. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 123 ~ 126. Zhang L Z, Lu K G, Wang H W, *et al.* Heavy metal (Cd&Cu) distribution in apple plant and effect of biofertilizer in reducing adsorption of heavy metal (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3): 123 ~ 126
- [19] 林琦,郑春荣,陈怀满. 根际环境中镉的形态转化. *土壤学报*, 1998, 35(4): 461 ~ 467. Lin Q, Zheng C R, Chen H M. Transformation of cadmium species in rhizosphere (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(4): 461 ~ 467
- [20] 陈宏,陈玉成,杨学春. 石灰对土壤中 Hg、Cd、Pb 的植物可利用性的调控研究. *农业环境科学学报*, 2003, 22(5): 549 ~ 552. Chen H, Chen Y C, Yang X C. Regulation of phyto-availability of Hg, Cd, Pb in soil by limestone (In Chinese). *Journal of Agro-Environmental Science*, 2003, 22(5): 549 ~ 552
- [21] Mark H, Eva V J. Bonemeal additions as a remediation treatment for metal contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*, 2000, 34: 3 501 ~ 3 507
- [22] 郝秀珍,周东美,王玉军,等. 不同改良剂对铜矿尾矿砂的改良效果研究. *农村生态环境*, 2002, 18(1): 11 ~ 15. Hao X Z, Zhou D M, Wang Y J, *et al.* Effect of amendments on ryegrass grown on copper mine tailing (In Chinese). *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(1): 11 ~ 15
- [23] Kabata P A, Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. 2nd Ed. CRC Press, 1991. 365
- [24] 李荣春. Cd、Pb 及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 238 ~ 242. Li R C. Effects of cadmium and lead on physiological and ultra-structural features in tobacco leaves (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(2): 238 ~ 242

EFFECTS OF SOIL AMENDMENTS ON CADMIUM AND LEAD CONTENTS IN TOBACCO

Hu Zhongsheng^{1,4} Zhang Gangya¹ Wang Guangzhi² Zhao Qibo² Liu Xiuli³ Cao Xianzu³ Cao Zhihong^{1†}

(1 *The State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China*)

(2 *Jiangsu Provincial Tobacco Leaf Corporation, Nanjing 210007, China*)

(3 *Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China*)

(4 *Graduate School, CAS, Beijing 100039, China*)

Abstract Pot experiments were carried out to evaluate effects of soil amendments on heavy metal uptake and distribution in different organs of tobacco plants, which were planted in soil containing Pb 330 mg kg⁻¹ and Cd 1 mg kg⁻¹ of extraneous sources. Three different kinds of soil amendments were applied separately, Pb and Cd contents in and biomasses of different parts of the plants during different growth periods were investigated to determine effects of the amendments on heavy metal uptake by the tobacco. The results show that the translocation factor (TF) of Pb is lower than that of Cd, indicating that Cd in tobacco moved more easily than Pb. Cd in the tobacco leaves is more harmful to human health than Pb; Compared with control, pots treated with amendments had more Cd and Pb left in the soil, suggesting that all the three kinds of soil amendments more or less reduced Cd and Pb contents in different parts of the tobacco plants, and increased biomass of the tobacco. Therefore, they had positive effects on tobacco growth and reduction of Pb and Cd uptake by tobacco. Among all the amendments, attapulgitite was the best modifier, and bone powder was better than activated carbon.

Key words Tobacco; Heavy metal; Remediator