

修复剂对烟草吸收污染土壤中砷的改良^①

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 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 江苏中烟工业公司, 南京 210029;

3 扬州大学, 江苏扬州 225009; 4 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用盆栽试验, 研究 3 种修复剂对减少烟草吸收土壤重金属 As 之改良效果。烟草生长在 As 含量为 25 mg/kg 的污染植烟土壤上, 通过添加 3 种土壤修复剂, 测定烟草在不同生长时期不同部位的生物量及重金属 As 含量。结果表明: 烟草体内 As 含量的分布为根>叶>茎, 烟草由根部向地上部运转 As 能力不强; 烟草体内不同部位在不同的生长时期 As 的含量也发生变化; 3 种修复剂均在不同程度上减少了烟草不同部位重金属 As 的含量, 同时也改变了烟草中 As 的根吸收系数、初级转移系数和次级转移系数, 增加了烟草的生物量, 达到了提高烟草安全性和品质的目的。

关键词: 烟草; 砷; 修复剂

中图分类号: S153

烟草是一种特殊的食品, 随着吸烟与健康运动的深入, 人们对卷烟的安全性问题越来越重视, 烟气中的尼古丁、焦油和其他有毒气体对健康产生的危害作用, 这在科学文献中到处可见, 但是对重金属 As 对人体的危害还没引起足够的重视^[1], As 一旦通过烟气进入人体内就有很长的半衰期, 且具有致癌致畸致突变危害。烟气中的重金属 As 来自烟丝, 烟丝中 As 除了少量的来自加工中的香精香料、粘合剂和卷烟纸外, 主要来自土壤。而且烟草摄取过量的 As, 轻者生长受阻, 产量与品质下降, 重者个体死亡。随着工农业的发展, 农田中的 As 有增无减, 加上生物的富集作用, 对烟草生长发育的影响越来越强^[2-4]。因此对在污染土壤上种植烟草的 As 的吸收规律与减少烟草对 As 的吸收措施的研究显得尤为重要。

原位添加土壤修复剂是一种经济可行、方便、不改变土壤固有理化性状的好方法^[5-6]。原位添加土壤修复剂减少烟草对重金属 As 的吸收主要取决于土壤的理化性质。原位添加适宜的物质固定污染土壤的重金属机理包括^[7]: ①pH 控制: 使用碱性物质例如生石灰、熟石灰、石灰石或粉煤灰等。②化学沉淀: 降低重金属的溶解度, 如使用水合氧化物、

硫酸盐、硅酸盐或磷酸盐等。③有机难溶态: 通过添加含氧官能团尤其是含羧基或羟基的物质固定重金属离子。④吸附: 通过利用吸附性能强的物质, 例如黏土矿物、锯末、粉煤灰、活性炭、金属氧化物或沸石^[8]。⑤离子交换: 几乎所有的原位固定都涉及到离子交换作用。添加土壤修复剂一般通过以上的一种或多种作用影响土壤重金属的有效性^[9]。

本试验以骨粉、活性炭、凹凸棒土作为土壤修复剂, 研究烟草对 As 的吸收规律及修复剂对减少烟草吸收重金属 As 的效果, 探讨其作为土壤修复剂的可行性, 为生产中减少烟草重金属 As 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, 由江苏省烟草公司提供, 品种为 K326。

修复剂: 骨粉、活性炭、凹凸棒土。

供试土壤: 湖南省某烟区重金属污染的植烟土壤, 其基本性质见表 1。

1.2 盆栽试验

土壤晾干, 粉碎, 过 2 mm 筛。充分混合, 每

①基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2002CB410805) 资助。

* 通讯作者 (zhcao@issas.ac.cn)

作者简介: 胡钟胜 (1980—), 男, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 主要从事土壤化学及烟草生理的研究。E-mail: zshu2006@sohu.com

表1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of the tested soil

总 N (g/kg)	有机质 (g/kg)	pH*	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	总 As (mg/kg)	总 Pb (mg/kg)	总 Cd (mg/kg)	总 Hg (mg/kg)
1.43	15.64	6.15	16.56	81.15	25.10	63.32	0.24	0.33

*土水比为 1: 2.5。

盆加入 10 kg 土壤。加入不同的修复剂各 30 g。以不加修复剂的为 CK，共 4 种处理，每处理重复 16 次，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钵的中心，每盆一株苗，栽培深度一致。保持土壤水分田间持水量的 70%，治虫防病、中耕、抹杈打顶等按照常规办法进行。在烟草生长的团棵、旺长、现蕾和成熟 4 个时期采样，分根、茎、叶等部位取样，去离子水洗净，65 °C 烘干，磨碎，测定烟草各部位 As 含量。

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，土壤用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮，植株样用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 微波消解^[10-11]，原子吸收光谱仪测定土壤 As 全量及烟草植株各部位 As 含量，计算各处理植株不同部位的 As 全量。

1.4 数据分析

利用 SPSS11.5 软件，在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平下用 LSD 法分析所有处理与 CK 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 修复剂对土壤 As 形态及烟草根系中 As 含量的改良效应

作物吸收土壤中的重金属元素受多种因素的影响，其中土壤中重金属有效态是作物对重金属吸收的关键。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修复剂种类密切相关。通过添加修复剂可以改变土壤的 pH 值、有机质含量、土壤的吸附性能、P 的含量等等，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^[10-11]。大量研究表明，作物根系中重金属含量与土壤中重金属全量并无显著相关，而与有效态重金属含量呈显著相关^[5-7]，由此可见烟草根部对土壤中重金属 As 的吸收多少是

土壤中作物有效态 As 含量的间接反映。

通过对不同处理烟草 4 次采样分析可知(图 1)，除了现蕾期骨粉处理烟草根部 As 含量与 CK 差异显著以外，其他处理与 CK 差异不显著；但与 CK 相比，所有修复剂处理在不同时期都不同程度地减少了烟草根部对土壤中 As 的吸收，烟草采收时期也就是烟草现蕾期，骨粉、活性炭、凹凸棒土处理的烟草根系中 As 的含量由 CK 的 6.80 mg/kg 分别减少到 3.36、5.59、4.96 mg/kg。

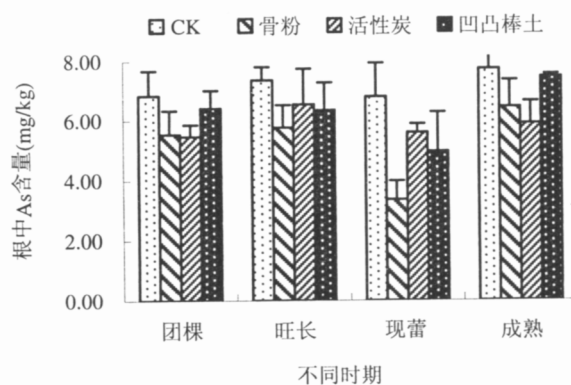


图1 不同修复剂处理对烟草根系中 As 含量的影响

Fig. 1 Effect of soil remediation agents on As content in the roots of plants

有研究表明，骨粉的主要成分为磷酸十钙盐： $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_{12}]$ ，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，降低土壤重金属的生物有效性；②活性的重金属被骨粉颗粒所吸附成为缓效性重金属；③重金属还可与磷酸根螯合沉淀而成为迟效态重金属^[12]。重金属污染土壤中加入骨粉可以原位固定土壤中重金属，而且磷酸根的存在有与 As 竞争作物根部的交换位点并减少易被作物吸收利用的螯合态 As 的作用，从而抑制作物对 As 的吸收，因为 P、As 的化学性质类似，P、As 在植物吸收转运过程中往往表现出拮抗效应^[13]。

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 C 的含量,起到固定重金属的作用^[14-16]。

凹凸棒土是一种典型的 2:1 型黏土矿物,其理想分子式为: $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{HO})_2(\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。凹凸棒石黏土(别称凹土、漂白土、白土、山软木等)具有特殊的纤维结构、不同寻常的胶体和吸附性能,非常高的阳离子交换容量可以使土壤重金属无效化^[16]。连续提取法研究 Al、Fe 离子的加入对土壤重金属形态影响的研究表明,外源 Al、Fe 离子的加入使得土壤铁铝结合态重金属含量明显提高,减少作物对 As 吸收和 As 对作物的毒害^[17]。介质中 Mg 可抑制 As 的吸收,植物体内有明显拮抗效应^[13]。

通常用根吸收系数(root adsorption index, RAI)即作物根中某物质的含量与土壤中该物质的含量之比来说明土壤中该物质的生物有效性^[18]。对 As 而言,RAI 值越大,说明土壤中 As 越易被作物吸收利用,As 的生物有效性越大,土壤中有有效态 As 的含量越高。由表 3 可知,所有处理都降低了 As 的 RAI 值,也就是说减少了土壤中有有效态 As 的含量,但大部分处理与 CK 相比差异性不显著。不同时期各修复剂处理中,骨粉处理降低 As 的 RAI 值的幅度最大。这与以前用 DTPA 结合态反映修复剂减少土壤中有有效态 As 含量的结果是一致的^[13]。

表 2 不同修复剂处理对烟草 As 根吸收系数的影响

Table 2 Effect of soil remediaters on root adsorption coefficient

生长时期	CK	骨粉	活性炭	凹凸棒土
团棵期	0.27	0.22	0.22	0.26
旺长期	0.29	0.23*	0.26	0.25
现蕾期	0.27	0.13*	0.22	0.20
成熟期	0.31	0.26	0.24	0.30

* 代表与 CK 处理 $\text{LSD}_{0.05}$ 差异显著性。

2.2 修复剂对烟草茎中 As 含量的改良效应

实验结果表明(图 2),与 CK 相比,不同时期所有修复剂处理都减少了烟草茎中 As 的含量。方差分析表明,凹凸棒土处理烟草在 3 个时期茎中 As 的含量与 CK 相比差异均达到极显著水平;活性炭处理烟草除在成熟期与 CK 相比差异达显著水平外,其他时期与 CK 相比差异均达到极显著水平;而骨粉处理烟草成熟期与 CK 相比差异不显著,其他两个时期与 CK 相比差异均显著。修复剂使其产生差异的可能原因:①修复剂改变了 As 在烟草体

内的结合形态;②修复剂影响了作物体内 As 的运输载体;③As 在地下部向地上部运输的过程中主要受根部 As 含量的影响。

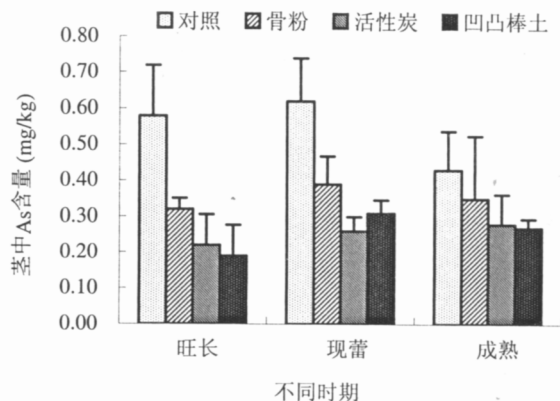


图 2 不同修复剂处理对烟草茎中 As 含量的影响

Fig. 2 Effect on As contents in stems with different remediaters

初级转移系数(primary transport index, PTI)指的是作物茎中某物质含量与根系中该物质含量之比^[18],其反映作物由地下部向地上部运转该物质的能力。由表 3 可知,烟草中 As 的 PTI 值在 0.03 ~ 0.12 之间, <1 ,说明烟草对 As 由地下部位向地上部位运转的能力不强,对 As 富集能力也不强,As 主要集中在烟草的根部;所有处理都降低了烟草中 As 的 PTI 值,即减小了烟草向地上部运转 As 的能力。在旺长期活性炭、凹凸棒土处理烟草 As 的 PTI 值与不加修复剂的 CK 相比差异性极显著,3 种处理中骨粉降低的幅度最小,与降低 RAI 值趋势恰好相反。原因可能是骨粉大幅度减少根系对土壤中 As 的吸收,改善了烟草的生长状况,减少了 As 对烟草的毒害,因此作物生长旺盛加快了 As 由根部向地上部的转移。这结果与许多研究结果是一致的^[17]。

表 3 不同修复剂处理对烟草 As 初级转移系数的影响

Table 3 Effect of soil remediaters on primary transport coefficient

生长时期	CK	骨粉	活性炭	凹凸棒土
旺长期	0.08	0.06	0.03**	0.03**
现蕾期	0.09	0.12	0.05	0.06
成熟期	0.06	0.05	0.05	0.04

* 代表与 CK 处理 $\text{LSD}_{0.05}$ 差异显著性, ** 代表与 CK 处理 $\text{LSD}_{0.01}$ 差异显著性。

2.3 修复剂对烟草叶中 As 含量的改良效应

叶片是烟草的收获器官,是烟草种植目标物,所以研究修复剂对烟叶中 As 含量的改良效果尤为

重要,考察烟草中 As 的含量是否达到卫生标准,就要考虑烟叶中 As 的含量。研究表明(图 3),所有修复剂处理不同程度地减少了烟叶中 As 的含量。烟叶中 As 的含量主要取决于茎中 As 的形态和浓度。显著性分析得出(图 3),骨粉处理、活性炭处理植株在旺长期和成熟期时烟叶中 As 的含量与 CK 差异达显著水平,而凹凸棒土处理植株在这两个时期与 CK 差异极显著。烟草在不同时期叶中 As 的含量是不同的,但是有着以下的趋势:在旺长期,烟草有着很高的生长势,烟草的生物量快速增加,符合作物生长稀释规律,几乎所有处理植株在这个生长期叶中 As 的含量比现蕾期要低;到了现蕾期,烟草生长势变弱加上根与茎中的 As 向叶转移,现蕾期叶中 As 的含量最高;到了成熟期,叶中的 As 向花与果实转移,而且烟草几乎停止生长,地下部的 As 很少向上运转,所以此时叶中 As 的含量又下降了。

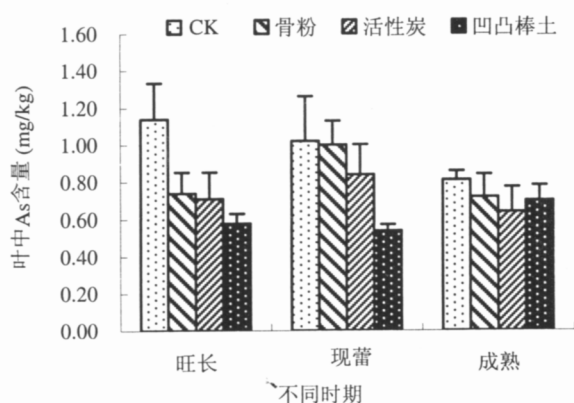


图 3 不同修复剂处理对烟草茎中 As 含量的影响

Fig. 3 Effect of soil remediators on As content in the stems of plants

与初级转移系数对应,次级转移系数 (secondary transport index, STI) 指的是作物叶中某物质的含量与茎中该物质的含量之比^[18],反映作物由茎部向叶运转该物质的能力。由表 4 可知,烟草中 As 的 STI 值在 1.05 ~ 3.57 之间,说明烟草茎中 As 很容易运输到烟草叶片中去,可能因为通过根进入茎

表 4 不同修复剂处理对烟草 As 次级转移系数的影响

Table 4 Effect of soil remediators on secondary transport coefficient

生长时期	CK	骨粉	活性炭	凹凸棒土
旺长期	1.97	2.31	3.23	3.05
现蕾期	1.05	3.57	3.23	1.74
成熟期	1.88	2.06	2.29	2.59

的 As 形态易于在体内运转。修复剂处理烟草 As 的 STI 值与不加修复剂的 CK 相比差异性不显著。

2.4 修复剂对烟草植株生物量的影响

在移栽的一两周内,各种处理的烟草生长状况几乎一致,说明修复剂对土壤重金属改良有一个作用过程。随着时间的推移,没有任何修复剂的 CK 处理,烟草叶片有明显的黄化现象,叶片生长缓慢,株高明显低于其他有修复剂的处理。As 的毒害对作物根、茎叶的鲜重影响也是非常明显的,由图 4、5 可以看出,与 CK 相比,所有修复剂在不同时期都显示出增加烟草根重的能力,在成熟期,骨粉、活性炭、凹凸棒土处理,根的鲜重分别提高了 44%、77%、197%,其中骨粉处理烟草根重与 CK 相比在团棵和旺长期差异达显著水平,成熟期达极显著水平;活性炭处理与 CK 相比在团棵和旺长期差异达

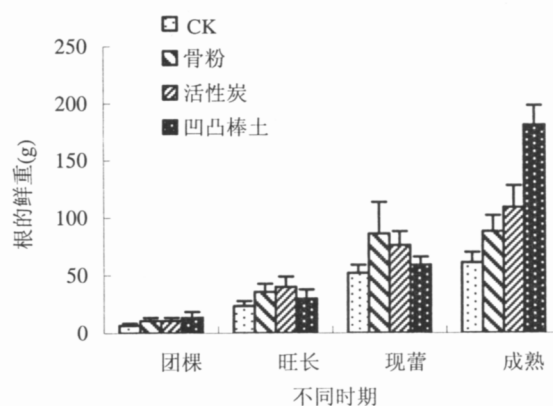


图 4 不同修复剂处理对烟草根鲜重的影响

Fig. 4 Effect of soil remediators on fresh weight of the roots

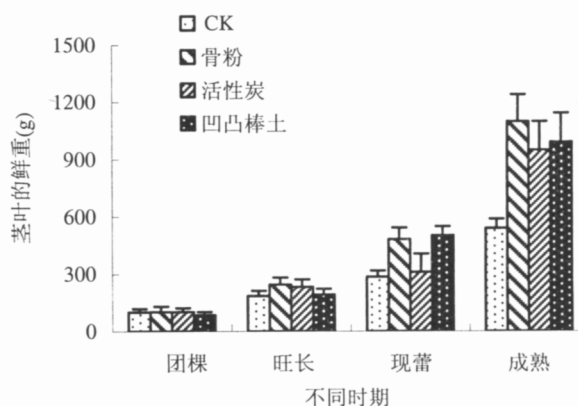


图 5 不同修复剂处理对烟草茎叶鲜重的影响

Fig. 5 Effect of soil remediators on fresh weight of the stems and leaves

极显著水平, 成熟期达显著水平; 而凹凸棒土处理与 CK 相比只有在成熟期差异才达到显著水平。这是由于修复剂减少了烟草根部 As 的含量, 改善了作物的生长环境, 提高了根重, 这与作物根重随着植株根中 As 的含量升高而降低规律基本上是一致的。同样, 与 CK 相比, 所有处理也明显增加了作物茎叶的鲜重, 在成熟期, 骨粉、活性炭、凹凸棒土处理将茎叶的鲜重分别提高了 104%、76%、83%, 但是所有处理不同时期茎叶的鲜重与 CK 相比差异不显著。综上分析, 活性炭、凹凸棒土作为土壤无机修复剂减少了烟草体内 As 的含量, 从而达到提高烟草安全性和烟草产量的目的。

3 结论

(1) 烟草植株不同生长时期不同部位重金属含量分析表明, 烟草体内 As 的含量分布为根>叶>茎, 烟草由根部向地上部运转 As 能力不强, As 主要集中在根部或者根的表皮细胞; 烟草体内不同部位在不同的生长时期 As 的含量也发生变化, 可能由于烟草随生育期的变化体内 As 发生运转的缘故。

(2) 所有修复剂处理在不同时期都不同程度地减少了根部对土壤中 As 的吸收; 与 CK 相比, 不同时期所有处理都减少了烟草茎、叶中 As 的含量。试用的 3 种修复剂, 减少了烟草对土壤中 As 的吸收与利用, 从侧面说明降低了土壤中 As 的生物有效性。

(3) 3 种修复剂均在不同程度上改变了烟草中 As 的根吸收系数、初级转移系数和次级转移系数, 除了在旺长期活性炭、凹凸棒土处理烟草中 As 的 RAI 值与不加修复剂的 CK 相比差异性极显著以外, 修复剂引起的其他这 3 个值的变化与 CK 相比, 大多差异不显著。

(4) 试用的修复剂减少了土壤中重金属有效态 As 的含量, 又降低了烟草体内 As 的含量, 从而改善了烟草的生长条件, 减小了 As 对烟草的危害。与 CK 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 CK 明显要好, 可见, 使用修复剂可以达到提高烟草安全性和产量的双重功效。

参考文献:

[1] Chiba Metal (赵金扣译). 烟草及其烟雾中的毒性元素和微量元素. 国外医学医学地理分册, 1993, 14 (2):

64-66

- [2] 陈同斌. 砷毒田中有机肥对水稻生长和产量的影响. 生态农业研究, 1995, 3 (3): 17-20
- [3] 蒋成爱, 吴启堂, 陈杖榴. 土壤中砷污染研究进展. 土壤, 2004, 36 (3): 264-270
- [4] 周启星. 污染土壤修复的技术再造与展望. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3 (8): 36-40
- [5] Brown S, Chaney R, Hallfrisch J, Ryan JA, Berti WR. In Situ Soil treatment to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium. J. Environ. Qual., 2004, 33: 522-531
- [6] Cheng SF, Hseu ZY, In-Situ, immobilization of cadmium and lead by different amendments in two contaminated soils. Water, Air, and soil Pollution, 2002, 140: 73-81
- [7] Stouraiti C, Xenidis A, Paspaliaris I. Reduction of Pb, Zn and Cd availability from tailings and contaminated soils by the application of Lignite Fly Ash. Soils, Water, Air, and soil Pollution, 2002, 1137: 247-265
- [8] 郝秀珍, 周东美. 沸石在土壤改良中的应用研究进展. 土壤, 2003, 2: 103-106
- [9] Hao XZ, Zhou DM, Wang YJ, Cang L, Chen HM. Effects of different amendments on ryegrass growth in copper mine tailings. Pedosphere, 2003, 13 (4): 299-308
- [10] 廖晓勇, 陈同斌, 谢华, 肖细元. 磷肥对砷污染土壤的植物修复效率的影响: 田间实例研究. 环境科学学报, 2004, 24 (3): 455-462
- [11] 张小燕, 马政生, 程立康, 王晓红. 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
- [12] Hodson M, Valsami-Jones E. Bonemeal additions as a remediation treatment for metal contaminated soil. Environ. Sci. Technol., 2000, 34: 3501-3507
- [13] 廖晓勇, 肖细元, 陈同斌. 砂培条件下施加钙、砷对蜈蚣草吸收砷、磷和钙的影响. 生态学报, 2003, 23 (10): 2057-2065
- [14] Moon CJ, Lee JH. Use of curdlan and activated carbon composed adsorbents for heavy metal removal. Process Biochemistry, 2005, 40 (3/4): 1279-1283
- [15] 郝秀珍, 周东美, 王玉军, 陈怀满, 孙兆海. 泥炭和化学肥料处理对黑麦草在铜矿尾矿砂上生长影响的研究. 土壤学报, 2004, 41 (4): 645-648
- [16] Murray HH. Overview-clay mineral applications Applied Clay Science, 1991, 5 (5/6): 379-395

- [17] 肖细元, 廖晓勇, 陈同斌, 张杨珠. 砷、钙对蜈蚣草中金属元素吸收和转运的影响. 生态学报, 2003, 23 (8): 1476-1487
- [18] Carbonell-Barrachina A, Burlo-Carbonell F, Mataix-Beneyto J. 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): 1419-1430

Effect of Remediators on As Uptake by Tobacco in Contaminated Soil

HU Zhong-sheng^{1,4}, ZHANG Gang-ya¹, WANG Guang-zhi², ZHAO Qi-bo²,
LIU Xiu-li³, CAO Xian-zhu³, CAO Zhi-hong¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Jiangsu Provincial Tobacco Corporation, Nanjing 210007, China;*

3 *Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;*

4 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Pot experiments were carried out to study effects of different soil remediators on tobacco growth and reduction of As contents in tobacco. Tobacco plants were planted in pots of As-contaminated soil, 25 mg/kg in As concentration. After three different soil remediators were applied separately, As contents and biomass of different parts of the plants during different growth periods were investigated. The results showed that As distribution in the plants was the order of roots>leaves>stems. The ability of the plant to transfer As from roots to stems and leaves was not strong. As contents in different parts of the plants varied with the growth period. The three soil remediators reduced As contents in different parts of the plant to a varying degree. Meanwhile, they also changed root adsorption coefficient, primary transport coefficient and secondary transport coefficient of As in tobacco, and increased biomass of the plants. Bone meal, activated carbon and attapulgit are good soil remediators that may improve tobacco quality and yield.

Key words: Tobacco, As, Remediator