

# 香根草及添加剂对汞污染土壤汞固定的现场试验

王 衡<sup>1,2</sup>, 冯新斌<sup>1,\*</sup>, 王建旭<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**通过前期盆栽模拟试验发现,汞污染土壤种植香根草木屑和腐殖土或者添加木屑和腐殖土后再种植香根草都能极大抑制汞通过地表径流迁移,但是尚没有开展野外试验进行验证。因此为了进一步验证其效果,本研究在贵州万山汞矿区大水溪村汞污染农田建立了地表径流小区,现场研究了种植香根草及添加木屑和腐殖土后种植香根草对土壤汞固定的影响,研究结果显示:(1)在所有处理小区的地表径流中,颗粒态汞占总汞的96%以上,是汞迁移的最主要途径;(2)在汞污染土壤中种植香根草或者土壤中分别添加木屑或者腐殖土后再种植香根草,都能显著降低地表径流中颗粒态汞含量(46%~67%),进而减少土壤汞通过地表径流向周围环境迁移,且香根草与木屑或腐殖土结合效果更佳;(3)不同处理均降低了地表径流中可溶态汞(13%~31%)的含量。本研究能为汞矿区汞污染土壤修复提供一定理论支持和技术指导。

**关键词:**香根草;木屑;腐殖土;汞污染土壤;地表径流

中图分类号:X53;X142 文献标识码:A 文章编号:1672-9250(2014)01-0110-06

我国是汞矿资源丰富的国家,特别是西南地区分布着许多大型汞矿,长期大规模的开采与冶炼和矿区大量废渣的露天堆放,导致矿区农田土壤汞污染严重,对食品安全和人体健康构成严重威胁。此外,受污染土壤中的汞还会随降雨渗出影响周边环境<sup>[1-3]</sup>。因此,开展汞污染土壤的修复迫在眉睫。

传统的汞污染修复方法有土壤挖掘、填埋、土壤清洗以及通过物理化学技术进行固化、提取等,但这些方法也存在效率低、成本高,同时还破坏了土壤原有的生物环境的缺点<sup>[4]</sup>。土壤汞污染的植物修复技术是近年发展起来的新兴技术,植物修复技术因其成本低、易实施,一直倍受推崇。植物修复技术包括植物提取技术,植物固定技术,植物挥发技术,目前已有很多学者利用植物修复技术对汞污染土壤进行治理<sup>[5-12]</sup>,但大多数都是通过植物提取的方式进行修复,例如,Rodriguez等<sup>[13]</sup>以西班牙Almadén汞污染土壤为修复对象,研究了大麦(*Hordeum vulgare*)等生物量较大的作物对土壤中汞的富集能力。但对于汞污染十分严重的地区,植物提取需要的年限过长,且修复效率受到重金属生

物有效性的限制,这大大增加了修复成本和污染地区的监测周期,因此植物固定技术则显得尤其重要<sup>[12]</sup>。利用植物和化学改良剂对污染土壤中的汞进行原位固定和稳定<sup>[14]</sup>,能有效防止汞向周围扩散,减小污染面积,减轻危害程度。这种方法主要是通过降低土壤中生物可利用态汞的含量从而达到降低汞的迁移性的目的。

研究显示,具有发达根系的香根草(*Vetiveria zizanioides*)对各种不同的极端环境都表现出很强的适应性,具有极强的生态抗逆(旱、湿、寒、热、酸、碱)能力,在各类土壤条件(如非常贫瘠、紧实、强酸(pH=4)、强碱(pH=11)、具有重金属毒害)的土壤上都能生长,且生物量大。到目前为止,在利用香根草来修复生态环境的实例中,高达90%以上是作为水土保持的理想材料而被利用<sup>[15-22]</sup>。然而,也有很多研究表明香根草对Cu、Cd、Ni、Cr和Zn等重金属元素具有较强的耐受性,也能将其应用于污染环境的修复<sup>[16, 23-27]</sup>。例如,Chen等(2004)在澳大利亚已将其应用于矿山废渣重金属植物固定的试验研究<sup>[25]</sup>,Singh等(2000)也曾经将香根草应用于煤

收稿日期:2013-03-19;改回日期:2013-08-02

基金项目:国家高技术研究发展计划项目(2008AA06Z335)。

第一作者简介:王衡(1985—),女,博士研究生,主要从事环境地球化学研究。E-mail: hengwang198510@126.com.

\* 通讯作者:冯新斌,博士生导师,研究员。E-mail: fengxinbin@vip.skleg.cn.

矿的植物固定<sup>[28]</sup>,杨兵等(2005)也曾将香根草用于铅锌矿的重金属富集<sup>[23]</sup>。另外,香根草发达致密的根系提高了土壤剪切强度,起到固土作用,加上其所具备的广泛土壤适应性以及对多种有毒元素的高度耐性与强吸收力,使得香根草成为矿山污染土壤治理尤其是植物固定的理想材料<sup>[23, 29, 30]</sup>。

目前,国内外利用植物固定法对汞污染土壤的修复工作开展较少,而且现有研究多局限于室内实验,例如,王衡等<sup>[31]</sup>在室内通过模拟降雨试验来研究了香根草和腐殖土及木屑对汞污染土壤的地表径流中汞的影响,结果发现种植香根草或者在汞污染土壤中添加腐殖土或木屑后种植香根草,对地表径流中的汞有很强的固定作用。但由于盆栽实验的结果与田间实际应用存在差距,植物修复作为一个以应用为主导的科技领域,因此野外田间实验也尤其重要<sup>[32]</sup>。因此,本研究以实验室模拟实验的数据为基础,在汞污染地区建立地表径流小区,研究香根草及添加剂在自然降雨条件下对汞污染土壤地表径流中汞的固定作用,旨在抑制汞通过地表径流向周围环境迁移,防止污染面积扩大,以期为今后开发利用香根草修复汞污染土壤提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

野外供试小区位于贵州省铜仁地区万山特区大水溪村,污染土壤总汞平均含量为  $8.8 \text{ mg/kg}$ ;供试木屑为已杀菌消毒兰花专用肥料,总汞平均含量为  $0.02 \text{ mg/kg}$ ;腐殖土为以松针为主的腐叶土,总汞平均含量为  $0.21 \text{ mg/kg}$ 。供试香根草购买于贵州省农业科学研究院。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验小区建设

在坡度为  $25^\circ$  的一块农田里,以  $3.0 \text{ m}$ (长)  $\times$   $1.0 \text{ m}$ (宽)的规格划分六块平行的试验小区,将每个小区四周用水泥(上部高出地表  $5 \text{ cm}$ ,下部深入地表以下  $15 \text{ cm}$ )进行固定和密封,避免小区以外的地表径流流入试验小区以及各小区之间的地表径流交叉影响,分别在每个小区的下方正中留一直径为  $5 \text{ cm}$  的小孔收集地表径流(见图 1)。

#### 1.2.2 植物培养

在六个试验小区中,每隔一个小区选取一个作为对照(记为 ps),不做任何处理,将剩下的三个小区分别做如下处理:一个直接种植香根草(ps-v),第

二个加入  $5 \text{ kg}$  腐殖土,将腐殖土与上层土壤混匀并种植香根草(ps-hs-v),第三个加入  $5 \text{ kg}$  木屑,将木屑与上层土壤混匀并种植香根草(ps-sd-v)。将来自培养基地的香根草经过修剪,留约  $10 \text{ cm}$  茎头,  $8 \text{ cm}$  根部,每一样坑种  $3\sim 4$  株为一丛,丛距与行距分别  $10 \text{ cm}$ (见图 1)。

#### 1.2.3 地表径流

在香根草种植四个月以后,利用天然降雨,连续收集五天地表径流。将收集的地表径流,一部分用  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜过滤消解测定其可溶态汞含量,剩下部分直接消解测定其总汞含量,总汞含量减去可溶态汞含量为样品的颗粒态汞含量。将每一处理所获得的 5 次数据取平均值(对照为 15 次数据平均值),计算出地表径流中各种形态的汞浓度。



图 1 野外地表径流小区

Fig. 1 Surface runoff plot in the field

#### 1.2.4 分析方法

水样汞含量采用日本生产的 NIPPON(RA-300)冷原子吸收全自动测汞仪测定(灵敏度  $< 1 \text{ ng/L}$ )。水样的前处理参照阎海鱼等的方法<sup>[33]</sup>。固体样品汞含量采用俄罗斯生产的 LUMEX 测汞仪(RA-915+塞曼效应汞分析仪和配套 PYRO-915 热解装置)测定<sup>[34]</sup>。

#### 1.2.5 质量控制

样品测定过程中采用标准工作曲线、空白试验、平行样及样品加标回收实验,对实验数据进行质量控制。样品测定时分别带  $10\%$  空白样和平行样,并对水样样品的总汞采用样品加标回收实验验证,其加标回收率为  $94\% \sim 103\%$ ,平均回收率为  $100\%$ 。固体样品的总汞测定采用土壤 GBW070009( $2.2 \pm 0.4 \text{ mg/kg}$ )作为标准物质,其回收率为  $112\% \sim 118\%$ ,平均回收率为  $115\%$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 香根草及添加剂对土壤地表径流中总汞含量的影响

由图2可知,对照小区土壤地表径流总汞浓度为 $38.3 \mu\text{g/L}$ ,种植香根草的小区,或者在分别加入木屑、腐殖土后,再种植香根草的小区,地表径流中总汞浓度分别为 $21.0$ 、 $16.1$ 和 $12.7 \mu\text{g/L}$ ,显著低于对照小区( $P < 0.05$ )。与对照相比,ps-v,ps-sd-v,ps-hs-v地表径流总汞浓度分别减少了45%、58%、67%。结果表明,直接在汞污染土壤、或者在加入木屑或腐殖土的汞污染土壤中种植香根草,均能显著减少地表径流中总汞迁移,且在种植香根草的同时加入木屑或腐殖土,效果更显著。

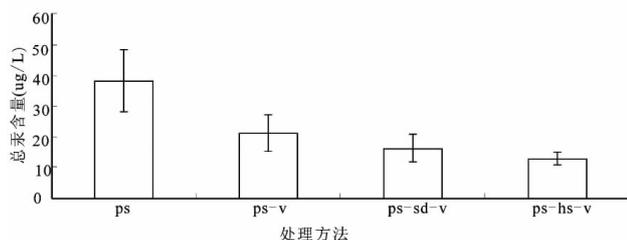


图2 土壤各处理地表径流总汞浓度

Fig. 2 Total mercury concentrations in soil surface runoff of different treatments

### 2.2 香根草及添加剂对土壤地表径流中颗粒态汞含量的影响

由图3可知,对照小区土壤地表径流颗粒态汞浓度为 $37.6 \mu\text{g/L}$ ,在汞污染土壤中种植香根草,以及加入木屑或腐殖土后,分别种植香根草,其地表径流中颗粒态汞浓度分别为 $20.5$ 、 $15.5$ 和 $12.3 \mu\text{g/L}$ ,比对照小区分别减少了46%、59%、67%,显著低于未种植香根草的对照小区( $P < 0.05$ )。结果表明,香根草能显著减少土壤中颗粒态汞的迁移,且加入木屑或腐殖土后,效果更显著。

### 2.3 香根草及添加剂对土壤地表径流中可溶态汞含量的影响

如图4所示,对照小区地表径流中可溶态汞浓度为 $(0.637 \mu\text{g/L})$ ,直接种植香根草或在土壤中加入木屑或腐殖土后分别种植香根草,其地表径流可溶态汞浓度分别降了13%、6%、31%。对各处理进行显著性比较,结果表明,各处理虽然均降低了地表径流中可溶态汞浓度,但差异并不显著( $P > 0.05$ ),说明香根草及添加剂对土壤地表径流中可

溶态汞的流失并没有显著影响。

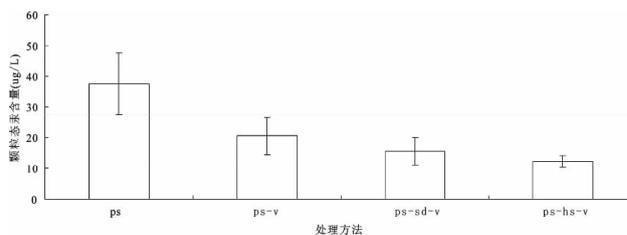


图3 土壤各处理地表径流颗粒态汞含量

Fig. 3 Particle mercury concentrations in soil surface runoff of different treatments

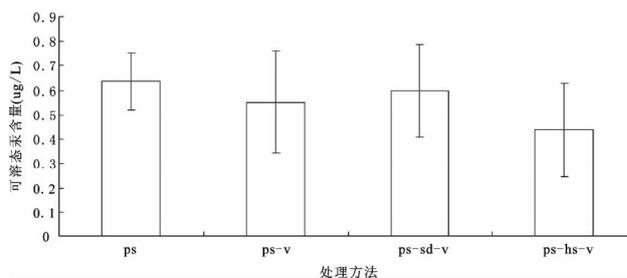


图4 土壤各处理地表径流可溶态汞含量

Fig. 4 Dissolved mercury concentrations in soil surface runoff of different treatments

## 3 讨论

本研究显示,在汞污染土壤中种植香根草,或者在加入木屑或腐殖土后分别种植香根草,均能有效减少地表径流中总汞、颗粒态汞和可溶态汞的迁移(图2、图3和图4),其中对阻止总汞和颗粒态汞迁移效果显著( $P < 0.05$ ),而添加木屑或腐殖土后种植香根草的效果更显著。但对于可溶态汞,各处理虽然均降低了地表径流中可溶态汞浓度,但差异并不显著( $P > 0.05$ ),所以对可溶态汞的固定没有显著影响,这与王衡等人在实验室模拟的结果不太一致,这可能与土壤总汞的含量及地表径流中可溶态汞所占的比例有关,野外所选区域土壤的总汞只有 $8.8 \text{ mg/kg}$ ,而室内模拟实验的土壤总汞高达 $89 \text{ mg/kg}$ <sup>[31]</sup>,总汞含量低了十倍,且淋出可溶态汞占地表径流中总汞的比例也最高只有4%。

另外,从地表径流中颗粒态汞占了总汞的比例(96%以上)来看,地表径流中汞的迁移主要以颗粒态为主,可溶态汞的迁移是次要的,这与王衡之前在实验室用模拟降雨实验得出的结论一致<sup>[31]</sup>。

综合所有的数据来看,颗粒态汞占地表径流中总汞的96%以上,是汞进行迁移的最主要途径。而种植香根草后,地表径流中颗粒态汞比对照减少了

45%以上,说明香根草有效阻止了汞向周围环境的迁移,这可能主要和香根草丰富的根系有关。香根草的根系在固定土壤、增强其紧致度方面有重要作用,颗粒物迁移的量降低,汞的迁移也随之降低,而溶解态汞迁移仅是次要地位,这与在室内利用模拟降雨实验测量的结果一致<sup>[31]</sup>。说明香根草,尤其是其发达的根系在阻止地表径流中各种形态汞向周围迁移的过程的确起着很重要的作用。努扎艾提·艾比布等<sup>[26]</sup>在研究香根草修复 Zn、Cu 污染物时发现,Zn、Cu 在香根草体内的分布主要是根部积累为主。植物大量的根系还可以增加土壤的孔隙度和透水性,在加入腐殖酸后,可溶态汞与腐植酸络合能很稳定地滞留在植物根系内,从而大大地减少了汞通过淋滤向土壤深部的迁移<sup>[35]</sup>。在土壤中种植单一的香根草不如将香根草和木屑结合更能有效减少地表径流中汞的迁移,这可能就是腐殖土中含有的腐殖酸与汞络合后滞留在根际的原因,姚爱军等人的研究发现腐殖质对土壤汞表现出极大的亲合性<sup>[36-39]</sup>。吴敏等人的研究发现,投加腐殖土能明显降低活性污泥中 Zn、Ni 元素的潜在迁移能力<sup>[40]</sup>。另外也有研究发现,利用有机质的吸附、络合、沉淀作用或这些作用的综合,减少了土壤中 Hg<sup>[41,42]</sup>、Pb、Cu<sup>[43]</sup> 等元素的活动性和生物可利用性。这可能也是香根草与木屑和腐殖土结合后能大大降低地表径流中的汞含量的原因。

总体来说,该研究在前期实验室模拟试验的基础上,通过在野外现场示范研究了在汞污染土壤中种植香根草和添加了腐殖土或木屑后种植香根草对地表径流中汞的影响,发现种植香根草或是香根草与木屑或腐殖土结合,均能减少地表径流中的汞向周围环境迁移。该研究结果将为汞矿区汞污染土壤修复提供一定的理论支持和技术指导。由于该研究方法较为简便,易于实施且成本低廉,在未来的研究工作中,我们也可以尝试应用于其他重金属污染的治理。

## 4 结论

1) 颗粒态汞占地表径流总汞的 96% 以上,是汞进行迁移的最主要途径,这与室内模拟实验的结果一致。

2) 在汞污染土壤中种植香根草,或者将香根草分别与木屑或腐殖土结合,均能显著减少地表径流中总汞(45%~67%)和颗粒态汞(46%~67%)向周围环境的迁移,且香根草与木屑或腐殖土结合效果更佳。

3) 不同处理均降低了地表径流中可溶态汞(13%~31%)的含量,但效果并不显著。

4) 该研究结果将为汞矿区汞污染土壤修复提供一定的理论支持和技术指导,对于其他重金属污染土壤的治理也具备一定参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] 戴前进,冯新斌,唐桂萍. 土壤汞的地球化学行为及其污染的防治对策[J]. 地质地球化学, 2002, 30(4): 75-79.
- [2] Matilainen T, Verta M, Korhonen H, *et al.* Behavior of mercury in soil profiles: impact of increased precipitation, acidity and fertilization on mercury methylation [J]. Water, Air, and Soil pollution, 2001, 125(1): 105-120.
- [3] 方凤满 王起超. 土壤汞污染研究进展[J]. 土壤与环境. 2000, 9(4): 326~329.
- [4] 刘平,仇广乐,商立海. 汞污染土壤植物修复技术研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 933-937.
- [5] Cassina L, Tassi E, Pedron F, *et al.* Using a plant hormone and a thioligand to improve phytoremediation of Hg-contaminated soil from a petrochemical plant [J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 231-232: 36-42.
- [6] Khokhar A L, Rajput M T, Ahmed B, *et al.* Checklist Of Flowering Plants Used In Phytoremediation Found In Sindh, Pakistan [J]. Sindh University Research Journal -Science Series, 2012, 44(3): 497-500.
- [7] Kiyono M, Oka Y, Sone Y, *et al.* Bacterial heavy metal transporter MerC increases mercury accumulation in Arabidopsis thaliana [J]. Biochemical Engineering Journal, 2013, 71: 19-24.
- [8] Nonnoi F, Chinnaswamy A, de la Torre V S G, *et al.* Metal tolerance of rhizobial strains isolated from nodules of herbaceous legumes (Medicago spp. and Trifolium spp.) growing in mercury-contaminated soils [J]. Applied Soil Ecology, 2012, 61: 49-59.
- [9] Pedron F, Petruzzelli G, Barbafieri M, *et al.* Remediation of a Mercury-Contaminated Industrial Soil Using Bioavailable Contaminant Stripping [J]. Pedosphere, 2013, 23(1): 104-110.
- [10] Wang J X, Feng X B, Anderson C W N, *et al.* Ammonium thiosulphate enhanced phytoextraction from mercury con-

- taminated soil -Results from a greenhouse study [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 186(1): 119-127.
- [11] Wang J X, Feng X B, Anderson C W N, *et al.* Implications of Mercury Speciation in Thiosulfate Treated Plants [J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46(10): 5361-5368.
- [12] Wang J X, Feng X B, Anderson C W N, *et al.* Remediation of mercury contaminated sites -A review [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2012, 221-222: 1-18.
- [13] Rodriguez L, Rincon J, Asencio I, *et al.* Capability of selected crop plants for shoot mercury accumulation from polluted soils; Phytoremediation perspectives [J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2001, 9(1): 1-13.
- [14] Moreno F N, Sigolo J B. Controlled Phytostabilization; Proposed process for the revitalization of liabilities from foundry sands//Abstracts of IV International Seminar on Remediation and Redevelopment of Contaminated Sites, São Paulo, SP, Brazil. 2006.
- [15] Babalola O, Oshunsanya S O, Are K. Effects of vetiver grass (*Vetiveria nigritana*) strips, vetiver grass mulch and an organomineral fertilizer on soil, water and nutrient losses and maize (*Zea mays*, L) yields [J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 96(1-2): 6-18.
- [16] Danh L T, Truong P, Mammucari R, *et al.* Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes [J]. *International journal of phytoremediation*, 2009, 11(8): 664-691.
- [17] Donjatee S, Chinnarasri C. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the application of vetiver grass mulch in soil and water conservation [J]. *International Journal of Sediment Research*, 2012, 27(2): 168-177.
- [18] Donjatee S, Chinnarasri C. Vetiver grass mulch for prevention of runoff and soil loss [J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2013, 166(3): 144-151.
- [19] Donjatee S, Clemente R S, Tingsanchali T, *et al.* Effects of vertical hedge interval of vetiver grass on erosion on steep agricultural lands [J]. *Land Degradation & Development*, 2010, 21(3): 219-227.
- [20] Donjatee S, Tingsanchali T. Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems [J]. *Paddy and Water Environment*, 2013, 11(1-4): 573-581.
- [21] Oshunsanya S O. Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigritana Stapf*) hedgerows on soil accumulation and yields of maize-cassava intercropping system in Southwest Nigeria [J]. *Catena*, 2013, 104: 120-126.
- [22] Xiao B, Wang Q H, Wu J Y, *et al.* Protective function of narrow grass hedges on soil and water loss on sloping croplands in Northern China [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4): 653-664.
- [23] 杨 兵, 蓝崇钰, 束文圣. 香根草在铅锌尾矿上生长及其对重金属的吸[J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 46-50.
- [24] Chakraborty R, Mukherjee A. Technical Note: Vetiver can grow on coal fly ash without DNA damage [J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2011, 13(2): 206-214.
- [25] Chen Y, Shen Z, Li X. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals [J]. *Applied Geochemistry*, 2004, 19(10): 1553-1565.
- [26] 努扎艾提·艾比布, 刘云国, 宋华晓, 等. 重金属 Zn、Cu 对香根草生理生化指标的影响及其积累特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(1): 54-59.
- [27] Truong P N V, Foong Y K, Guthrie M, *et al.* Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils and Water Using Vetiver Grass [J]. *Environmental Bioengineering*, 2010, 11: 233-275.
- [28] Singh R, Kumar S, Kukreja A, *et al.* Revegetation of coal mine overburden dump (OBD) slopes by aromatic grasses, Proceedings of the national seminar on the research and development in aromatic plants; current trends in biology, uses, production and marketing of essential oils, Lucknow, India, 30-31 July 1999. Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants, 2000, 22(1B): 506-509.
- [29] 张国发, 姜旭红, 崔玉波. 香根草研究与应用进展[J]. *草业科学*, 2005, 22(1): 73-78.
- [30] 郑小林, 朱照宇, 黄伟雄, 等. N、P、K 肥对香根草修复土壤镉、锌污染效率的影响[J]. *西北植物学*, 2007, 27(3): 0560-0564.
- [31] 王 衡, 冯新斌, 王建旭, 等. 香根草及添加剂对模拟降雨条件下汞污染土壤和矿渣地表径流中汞含量的影响[J]. *生态学杂志*, 2010, 30(5): 922-927.
- [32] 廖晓勇, 陈同斌, 阎秀兰, 等. 提高植物修复效率的技术途径与强化措施[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 881-893.
- [33] 阎海鱼, 冯新斌, 商立海, 等. 天然水体中痕量汞的形态分析方法研究[J]. *分析测试学报*, 2003, 22(5): 10-13.

- [34] 王翠萍, 闫海鱼, 刘鸿雁, 等. 使用 Lumex 测汞仪快速测定固体样品中总汞的方法[J]. 地球与环境, 2010, 38(3): 378—382.
- [35] Moreno F N. Phytoremediation of mercury-contaminated mine wastes(D). New Zealand: Massey University. 2005.
- [36] 姚爱军, 青长乐. 腐殖酸对矿物结合汞挥发活性的影响 I [J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 477—483.
- [37] 姚爱军, 青长乐. 腐殖酸对矿物结合汞挥发活性的影响 II [J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 202—208.
- [38] 姚爱军, 青长乐, 牟树森. 腐殖酸对汞的络合稳定特性及其环境学意义[J]. 中国生态农业学报, 2004, 14(3): 138—140.
- [39] 姚爱军, 青长乐, 牟树森. 腐殖酸对矿物结合汞环境迁移性的影响及其机制研究[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 274—277.
- [40] 吴敏, 朱睿, 魏传银, 等. 腐殖土对活性污泥中重金属形态分布的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(2): 263—267.
- [41] Moreno F N, Anderson C W N, Stewart R B. Phytoremediation of mercury-contaminated mine tailings by induced plant-Hg accumulation [J]. *Environmental Practice*, 2004, 6(2): 165—175.
- [42] Moreno F N, Anderson C W N, Stewart R B, *et al.* Induced plant uptake and transport of mercury in the presence of sulphur-containing ligands and humic acid [J]. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 445—454.
- [43] Kumpiene J, Lagerkvist A, Maurice C. Stabilization of Pb-and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat [J]. *Environmental Pollution*, 2007, 145(1): 365—373.

## Stabilization of Mercury in Hg-polluted Soil by Growing *Vetiveria zizanioides* with Additives—Results from a Field Study

WANG Heng<sup>1,2</sup>, FENG Xin-bin<sup>1\*</sup>, WANG Jian-xu<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China)

**Abstract:** The results from previous pot experiments showed that both the growth of *Vetiveria zizanioides* in Hg-contaminated soil and sawdust-added or humus soil in soil plus planting *Vetiveria zizanioides* can efficiently stabilize mercury in soil. However, no field demonstration work has been conducted to investigate the practical aspects of this technology. Therefore, a series of surface runoff plots were built in a Hg-contaminated farmland at Dashuixi Village in the Wanshan mercury mining area to investigate the growth of *Vetiveria zizanioides* and sawdust-added or humus soil in soil plus planting *Vetiveria zizanioides* to stabilize mercury in soil. The results showed that (1) particle Hg in the surface runoff, which accounts for more than 96% of the total Hg, was the dominant form of Hg transportation to the environment; (2) planting *V. zizanioides* in Hg-polluted soil, growing *V. zizanioides* with sawdust or humus soil, respectively, can effectively reduce the concentrations of particle Hg (46%~67%) in surface runoff, therefore reducing the transportation of Hg in soil to the ambient environment. Moreover, growing *V. zizanioides* with sawdust or humus soil, respectively had the better effect; (3) the concentrations of dissolved Hg in surface runoff was declined by 13%~31% in all treatments. The results from this study can give some theoretical and technique supports for remediating mercury contaminated soils in the mercury mining area.

**Key words:** vetiver(*Vetiveria zizanioides*); sawdust; humus soil; Hg-polluted soil; surface runoff