

# 改良剂对土壤-烟草系统中 Pb 污染风险的削减

李希希, 王春香, 陈玉成\*, 杨志敏

(西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要:** 采用植烟区土壤的田间盆栽试验, 研究了石灰、腐植酸、硫化钠、猪粪 4 种改良剂对烟草中 Pb 及其土壤中有效 Pb 含量的影响。结果表明, 不同改良剂处理下的烟叶中 Pb 含量与土壤中 Pb 活性呈极显著正相关, 4 种改良剂可明显抑制土壤中 Pb 的活性, 从而显著降低烟叶中 Pb 积累量, 削减率为 23.16%~59.71%, 且各处理与对照均达到显著性差异。综合考虑土壤-烟草系统中 Pb 的削减效果与烟叶的经济性状, 采用因子序列生成法排序, 得出施用 2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的石灰、2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的腐植酸或 22.5 t·hm<sup>-2</sup> 的猪粪可有效削减土壤-烟草系统中 Pb 风险。

**关键词:** 烟草; Pb; 土壤; 风险; 修复

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2015)01-0026-05 doi: 10.13254/j.jare.2014.0268

## Decrease Risk of Pb Contamination in Soil-tobacco System by Amendments

LI Xi-xi, WANG Chun-xiang, CHEN Yu-cheng\*, YANG Zhi-min

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources & Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** Pot experiment using tobacco field soil was conducted to study the effect of four types amendments of lime, humic acid, sodium sulfide and organic manure on the content of Pb in tobacco and available Pb in soil. The results showed that the content of Pb in tobacco leaves treated with different amendments was proportional to the activity of Pb in the soil, and that the activity of Pb in the soil was obviously inhibited, thus significantly reduced the Pb accumulation in tobacco leaves, and the decrement rate ranged from 23.16% to 59.71%, with treatments and comparisons reaching significant difference. Based on the decrease effect of Pb in soil-tobacco system and the economic benefits of tobacco production, it was concluded that 2.25 t·hm<sup>-2</sup> of lime, 2.25 t·hm<sup>-2</sup> of humic acid or 22.5 t·hm<sup>-2</sup> of organic manure could effectively decrease the Pb risk in soil-tobacco system by factor sequence generation method.

**Keywords:** tobacco; lead; soil; risk; remediation

随着工农业发展, 我国植烟土壤也存在着不同程度的重金属污染。烟草行业对植烟土壤和烟草中重金属的研究越来越得到普遍关注<sup>[1-2]</sup>。研究表明, 烟叶中的重金属主要通过烟气进入人体, 最终危害人体健康<sup>[3]</sup>。烟叶中重金属主要来源于土壤<sup>[4]</sup>, 控制重金属从土壤向烟草的移动是控制烟叶中重金属含量的关键环节。对我国烟叶重金属含量的调查发现, Pb 可能是我国烟叶中的主要重金属元素<sup>[5]</sup>, 因此, 对土壤-烟草系统中 Pb 的迁移富集行为进行调控, 是降低烟草 Pb 富集积累, 进而减弱其对吸烟者健康影响的关键。

目前国内外对重金属污染的土壤修复技术主要有两大类, 一是从土壤中直接去除, 包括土壤淋洗、热处理、挖掘填埋等物理改良以及植物吸收萃取等<sup>[6-7]</sup>; 二是改变重金属在土壤中的存在形态, 使其固定, 以降低其生物有效性<sup>[1-2, 8-13]</sup>, 显然后者因为成本低廉、操作方便而备受青睐。陈钊等<sup>[10]</sup>采用盆栽试验, 研究了蛭石、草木灰、花生壳生物黑炭、秸秆生物黑炭、海泡石、腐植酸钠 6 种改良剂对降低烟叶中镉含量的效果, 发现海泡石处理的效果最好, 可分别使黄壤和红壤土上栽培的烟叶镉含量降低 32%~42% 和 86%。胡钟胜等<sup>[11]</sup>也采用盆栽试验, 发现凹凸棒土、骨粉、活性炭等 3 种改良剂均在不同程度上减少烟草不同部位重金属 (Cd 和 Pb) 的含量, 且增加烟草的生物量, 其优劣顺序为: 凹凸棒土 > 骨粉 > 活性炭。颜奕华等<sup>[12]</sup>盆栽研究了施磷、施硅及磷硅配施对 Pb 在土壤-烟草系

收稿日期: 2014-10-11

基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目 (110201102007); 中国烟草总公司重庆市公司科技项目 (NY20110601070008)

作者简介: 李希希 (1989—), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 研究方向为环境污染控制。E-mail: 137621831@qq.com

\* 通信作者: 陈玉成 E-mail: chenycheng@swu.edu.cn

统中迁移的影响,发现烟叶 Pb 含量分别降低63.06%、60.37%和 83.24%。这些试验结果大多为人工温室条件下取得,缺乏田间自然条件下的印证。尽管林述平<sup>[13]</sup>采用小区试验,发现单施稻草、绿肥、生物有机肥、石灰等单施均能不同程度上明显抑制烟株对 Cd 的吸收,显著降低烟叶中 Cd 含量,以生物有机肥的效果最好,最高抑制率达到 45.93%,但缺乏人为控制条件下的机理探讨。

本文以模拟 Pb 污染土壤为对象,通过植烟区的露天盆栽试验,研究石灰、腐植酸、硫化钠、猪粪等改良剂对降低烟草 Pb 积累,削减 Pb 污染风险的效果,并初步探讨其作用机理,以期为植烟土壤 Pb 污染的修复和优质烟叶的生产提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

烟草品种为云烟 87。盆栽土壤取自某植烟田耕层土(0~20 cm),土壤类型为黄壤,其基本理化性质见表 1,自然风干过 5 mm 尼龙筛网,其 Pb 含量为 44.75 mg·kg<sup>-1</sup>。选用的改良剂包括石灰、腐植酸、硫化钠和猪粪,前 3 种为化学纯试验材料,猪粪为市售的发酵肥料产品。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical property of the experimental soil

土壤	pH 值	有机质含量/g·kg <sup>-1</sup>	速效 N/mg·kg <sup>-1</sup>	速效 P/mg·kg <sup>-1</sup>	速效 K/mg·kg <sup>-1</sup>	总 Cd/mg·kg <sup>-1</sup>	总 Pb/mg·kg <sup>-1</sup>
黄壤	5.00	25.11	0.433	21.81	90.38	0.66	44.75

### 1.2 试验方法

为了更真实地反映烟草大田种植的实际状况,试验于 2013 年 5 月在某植烟区试验基地进行,参照食用农产品产地环境质量评价标准(HJ 332—2006)中规定的总 Pb 限值,采用盆栽试验,以 Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O(化学纯)形式加入 80 mg·kg<sup>-1</sup> 外源 Pb 作为模拟污染土壤。改良剂为石灰、腐植酸、硫化钠、猪粪,每种改良剂设 2 个施用水平,重复 3 次,随机排列(表 2)。采用塑料盆(直径 300 mm,高 280 mm),每盆装土 10 kg,

表 2 改良剂施用水平(g·kg<sup>-1</sup>)

Table 2 Application level of amendments (g·kg<sup>-1</sup>)

项目	石灰	腐植酸	硫化钠	猪粪
低水平	0.5(S1)	0.5(F1)	0.01(L1)	10(Z1)
高水平	1.0(S2)	1.0(F2)	0.05(L2)	20(Z2)

均匀混入基肥:15 g N[NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>]+9 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>[KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>]+12 g K<sub>2</sub>O[K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>],稳定老化 1 周后,每盆定植长势一致的烟苗 1 株,栽培深度一致。保持土壤水分为田间持水量的 70%,后期管理按照常规方法进行<sup>[14]</sup>。在烟草移栽后 90 d 采样,分根、茎、叶部位取样,用去离子水洗净,65 °C 烘干,磨碎,测定各部位 Pb 含量,同时采集对应的盆栽土样并测定有效 Pb 含量。

### 1.3 测定方法

烟叶、烟茎和烟根中的 Pb 用硝酸-高氯酸消解<sup>[15]</sup>;土壤中 Pb 含量用王水-高氯酸消解;土壤中有有效 Pb 用 1 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>OAc 浸提,原子吸收光谱法(WFX-1F2B2 原子吸收分光光度计)测定。

### 1.4 统计分析方法

烟草生物量与各器官中的重金属含量差异分析采用 SPSS 方差分析;改良剂的优选采用因子序列生成法排序分析,即选取烟叶生物量、土壤有效 Pb 含量、茎 Pb 积累量、根 Pb 积累量为正向指标(取值越大越好),烟叶中 Pb 积累量为负向指标(取值越小越好),排序赋值,然后将各处理排序综合值归一化,得到优选处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改良剂对烟草生物量的影响

重金属对烟草的影响最终反映在生物量上,本试验采用烟草不同部位生物量指标来衡量土壤污染改良的生理生态效应<sup>[12]</sup>。在相同的外源 Pb 处理下,除了硫化钠高用量处理外,其他处理的烟叶、茎和根生物量都不同程度地增加(表 3)。烟叶的增幅为 6.69%~49.84%,烟茎的增幅为 10.88%~46.74%,烟根的增幅为 7.65%~48.90%,其中叶增幅最高是腐植酸的高用量处理,茎增幅最高是猪粪的低用量处理,根增幅最高是石灰的高用量处理。而硫化钠高用量处理下,烟草的生物量减少,叶、茎、根干重分别减少了 4.67%、5.15%和 11.94%,说明硫化钠用量过高,会抑制烟草的生长。可能因为硫化钠施入土壤中,经过一系列化学反应生成硫酸根,为烟草提供了过量的有效硫<sup>[16]</sup>。研究表明,植烟土壤中有有效硫大于 24 mg·kg<sup>-1</sup> 时,就处于丰富水平<sup>[17]</sup>,过量供硫会降低烟株的生物量和品质<sup>[18]</sup>。

### 2.2 改良剂对烟草中 Pb 含量的影响

试验发现(表 3),4 种改良剂对烟叶中 Pb 含量都有着不同程度的降低作用,削减率在 23.16%~59.71%,且各处理与对照处理均达到显著性差异。除

表 3 改良剂对烟草生物量和植株 Pb 含量的影响

Table 3 Impact of different amendments on tobacco biomass and Pb content in the plant

处理	Pb/mg·kg <sup>-1</sup>			Pb 削减率 /%			生物量 /g·株 <sup>-1</sup>		
	叶	茎	根	叶	茎	根	叶	茎	根
CK	16.66a	16.65a	56.29a	0	0	0	12.86d	8.73c	8.63c
S1	9.78bc	12.34ab	39.66cd	41.31	25.92	29.54	15.84c	10.99b	12.30a
S2	6.71c	9.36b	35.05d	59.71	43.78	37.73	16.74bc	10.65b	12.85a
F1	9.33c	12.70ab	46.88abc	44.01	23.77	16.72	17.80b	10.16b	9.40bc
F2	7.97c	12.15ab	41.86bcd	52.16	27.07	25.64	19.27a	12.27a	10.95ab
L1	9.80bc	16.05a	51.33ab	41.21	3.65	8.82	17.73b	9.68bc	9.29c
L2	8.84c	12.69ab	38.93cd	46.96	23.82	30.85	12.26d	8.28d	7.60d
Z1	8.86c	11.68ab	35.43d	46.81	29.87	37.06	18.31ab	12.81a	10.11b
Z2	12.80b	13.95ab	41.44bcd	23.16	16.21	26.39	13.72d	12.40a	10.46ab

注:数据后不同小写字母表示差异达  $P<0.05$ ,下同。

猪粪高用量处理效果较差外,其余处理的削减率都大于 40%,其中石灰高用量和腐植酸高用量处理显著抑制了烟叶对 Pb 的吸收,削减率超过 50%。

不同改良剂对烟茎吸收 Pb 起到一定的抑制作用(表 3),削减率为 3.65%~43.78%,石灰、腐植酸和硫化钠均是高用量处理比低用量处理的削减效果好,猪粪则是低用量时烟茎中 Pb 含量的削减率较大,大部分处理与对照以及处理之间都未达到显著性差异。其中石灰高用量处理时烟茎中 Pb 含量的削减率最大,达到 43.78%,且与对照处理的差异达到显著性水平。

比较烟草不同部位 Pb 含量,可以发现烟根中 Pb 含量明显大于烟叶和烟茎中 Pb 含量(表 3),Pb 在烟草不同部位的含量大小顺序为:根>叶、茎,与前人研究一致<sup>[19-20]</sup>。Pb 污染土壤中施入改良剂,均降低了烟根中 Pb 含量,其削减率为 8.82%~37.73%,除腐植酸和硫化钠低用量处理外其余处理均与对照达到显著差异,其中石灰高用量处理和猪粪低用量处理对烟根 Pb 含量降低效果明显。

### 2.3 不同改良剂下土壤中有效 Pb 与烟叶中 Pb 含量的关系

#### 2.3.1 改良剂对土壤中有效 Pb 含量的影响

不同的改良剂对土壤中有效 Pb 含量有着不同程度的降低效果(表 4),说明改良剂均对土壤中 Pb 有一定的固定作用,其削减率在 11.66%~30.51%,石灰、腐植酸、硫化钠均是高用量处理比低用量处理效果好,且与对照处理达到显著差异;猪粪则是低用量处理效果好,高低用量处理均与对照处理差异显著。其中硫化钠高用量处理对有效 Pb 的削减效果相对较好,削减率为 30.51%,结果与陈恒宇等<sup>[21]</sup>研究一致,其试验结果表明硫化钠的施加可以显著降低土壤中

表 4 改良剂对土壤中有效 Pb 含量的影响

Table 4 Impact of different amendments on available Pb in soil

处理	有效 Pb/mg·kg <sup>-1</sup>	削减率/%
CK	2.87a	0
S1	2.54ab	11.66
S2	2.03b	29.25
F1	2.38ab	17.00
F2	2.12b	26.19
L1	2.52ab	12.21
L2	2.00b	30.51
Z1	2.12b	26.33
Z2	2.24b	22.15

Pb 的水溶态,从而使土壤中 Pb 的植物可利用态降低、活性下降,抑制了 Pb 由土壤向植物体内迁移。其次是石灰高用量处理,削减率为 29.25%。石灰能够有效地提高土壤的 pH 值,增加了土壤表面可变负电荷,从而增加了对 Pb 离子的吸附<sup>[22]</sup>;另一方面,Ca 与 Pb 之间存在着离子拮抗作用,可以减少 Pb 的可溶性<sup>[23]</sup>。

#### 2.3.2 土壤中有效 Pb 与烟叶中 Pb 含量的关系

在相同的外源 Pb 污染下,不同改良剂处理土壤中有效 Pb 与烟叶中 Pb 含量呈极显著正相关关系(图 1),相关系数为 0.77( $P<0.01$ ),与已有的研究结果一致<sup>[4,24-26]</sup>。试验表明,改良剂减少烟叶中 Pb 含量的效果主要是通过降低土壤中有效 Pb 含量来实现。添加改良剂,可以改变土壤的 pH 值、有机质含量、土壤的吸附性能等,减少土壤 Pb 含量的提取率,同时也减小了 Pb 的移动性,从而达到减少烟草不同部位 Pb 含量的目的。

### 2.4 不同改良剂处理结果的排序值

烟草生产的经济效益取决于烟叶的产量和品质,

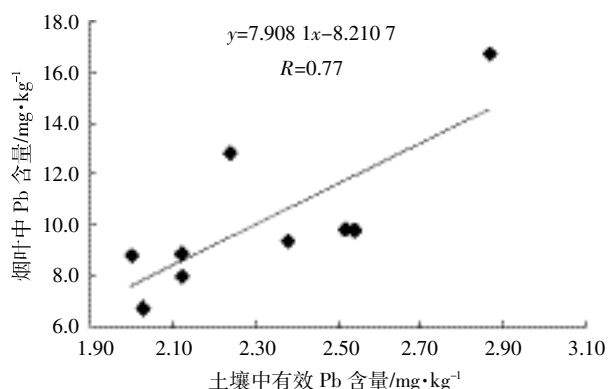


图1 土壤中有效 Pb 与烟叶中 Pb 含量的关系

Figure 1 The relationship between the content of available Pb in the soil and that of Pb in tobacco

结合实际生产情况,烟叶重金属的控制需在保证经济效益的原则上进行。因此优先选择能够显著降低烟叶中重金属含量且增加烟叶产量的方法。此外,若重金属能够在烟茎和烟根中大量积累,烟叶收获后集中安全处置烟茎和烟根,这样还能有效去除植烟土壤中重金属的含量,以达到烟叶安全生产和土壤修复的双重效果。因此,采用因子序列生成排序法,选择叶中 Pb 含量、叶生物量、茎和根中积累的 Pb 含量以及土壤中有效 Pb 含量作为排序指标,对每个处理进行排序评分,见表 5。

表 5 不同改良剂处理结果的排序值

Table 5 The order of the effects of different amendments

处理	叶中 Pb	叶生物量	茎积累量	根积累量	有效 Pb	烟叶排序	综合排序
S1	3.0	3.0	4.0	8.0	1.0	3.00	3.80
S2	8.0	4.0	1.0	5.0	7.0	6.00	5.00
F1	4.0	6.0	3.0	4.0	3.0	5.00	4.00
F2	7.0	8.0	5.0	6.0	6.0	7.50	6.40
L1	2.0	5.0	7.0	7.0	2.0	3.50	4.60
L2	6.0	1.0	2.0	1.0	8.0	3.50	3.60
Z1	5.0	7.0	6.0	2.0	5.0	6.00	5.00
Z2	1.0	2.0	8.0	3.0	4.0	1.50	3.60

由综合排序可知,各处理的优选排序值为:F2>S2≈Z1>L1>F1>S1>Z2≈L2,腐植酸和石灰高用量以及猪粪低用量处理时对土壤-烟草系统中 Pb 污染风险的削减效果最好,此时烟叶中 Pb 含量较低且烟叶产量高,同时烟茎和烟根积累了较多的 Pb,安全处置烟茎和烟根后可以有效降低土壤中 Pb 含量。因此,对于 Pb 污染严重的植烟土壤,可以施用 2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的石灰、2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的腐植酸或 22.5 t·hm<sup>-2</sup> 的猪粪予以修复。

### 3 结论

(1)适量的石灰、腐植酸、硫化钠和猪粪均有效削减了烟草不同部位中 Pb 的积累量,增加了烟草的生物量,且大部分处理与对照都达到显著性差异,而高用量的硫化钠则抑制了烟草的生长,减少了烟草各部分的生物量,说明改良剂的用量和种类对植物生长存在一定影响。

(2)不同的改良剂可以降低土壤中 Pb 的有效性,进而影响烟草对 Pb 的吸收,烟叶中 Pb 含量与土壤中有效 Pb 呈极显著正相关。施用 4 种改良剂能明显削减土壤中有效 Pb 含量,从而减少烟草对 Pb 的吸收。且石灰、腐植酸、硫化钠均是高用量处理比低用量处理效果好,猪粪则是低用量处理效果好。

(3)采用因子序列生成法排序,得出当施用 2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的石灰、2.25 t·hm<sup>-2</sup> 的腐植酸或 22.5 t·hm<sup>-2</sup> 的猪粪时能较好地降低土壤-烟草系统中 Pb 的污染风险。

#### 参考文献:

- [1] 周泽庆, 招启柏, 朱卫星, 等. 重金属污染植烟土壤改良剂原位修复研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5100-5102, 5124.  
ZHOU Ze-qing, ZHAO Qi-bai, ZHU Wei-xing, et al. Advances in research on remediation in situ of modifier for tobacco planted soil polluted by heavy metal[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(11): 5100-5102, 5124. (in Chinese)
- [2] 史宏志, 刘国顺, 常思敏, 等. 烟草重金属研究现状及农业减害对策[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3): 89-94.  
SHI Hong-zhi, LIU Guo-shun, CHANG Si-min, et al. Research progress on heavy metal in tobacco and agricultural measures of harm reduction[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2011, 17(3): 89-94. (in Chinese)
- [3] 陈庆华, 陈玉成. 吸烟过程中的重金属来源解析及预防[J]. 微量元素与健康研究, 2005(5): 47-49.  
CHEN Qing-hua, CHEN Yu-cheng. Heavy metals source analyze in smoking and its reduction strategy[J]. *Studies of Trace Elements and Health*, 2005(5): 47-49. (in Chinese)
- [4] 招启柏, 朱卫星, 胡钟胜, 等. 改良剂对土壤重金属(Cd、Pb)的固定以及对烤烟生长影响[J]. 中国烟草学报, 2009(4): 26-32.  
ZHAO Qi-bai, ZHU Wei-xing, HU Zhong-sheng, et al. Cadmium and lead immobilization by applying amendments in polluted soils and their effects on tobacco (*Nicotiana tabacum*) growth[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2009(4): 26-32. (in Chinese)
- [5] 张艳玲, 尹启生, 周汉平, 等. 中国烟叶铅、镉、砷的含量及分布特征[J]. 烟草科技, 2006(11): 49-52.  
ZHANG Yan-ling, YIN Qi-sheng, ZHOU Han-ping, et al. Contents and distribution of Pb, Cd and As in Chinese tobacco leaves[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2006(11): 49-52. (in Chinese)

- [6] 张松柏. 重金属污染土壤的修复技术探讨[J]. 环境与生活, 2014(4): 50-51.  
ZHANG Song-bai. Discussion of remediation of contaminated soil with heavy metals[J]. *Environment & Life*, 2014(4): 50-51.(in Chinese)
- [7] 夏来坤, 郭天财, 康国章, 等. 土壤重金属污染与修复技术研究进展[J]. 河南农业科学, 2005(5): 88-92.  
XIA Lai-kun, GUO Tian-cai, KANG Guo-zhang, et al. Research progress of remediation of contaminated soil with heavy metals [J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2005(5): 88-92.(in Chinese)
- [8] 朱波, 青长乐, 牟树森. 紫色外源锌、镉形态的生物有效性[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 555-558.  
ZHU Bo, QING Chang-le, MOU Shu-sen. Bioavailability of exotic zinc and cadmium in purple soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 555-558.(in Chinese)
- [9] 袁波, 傅瓦利, 蓝家程, 等. 菜地土壤铅、镉有效态与生物有效性研究[J]. 水土保持学报, 2011(5): 130-134.  
YUAN Bo, FU Wa-li, LAN Jia-cheng, et al. Study on the available and bioavailability of lead and cadmium in soil of vegetable plantation [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011(5): 130-134.(in Chinese)
- [10] 陈钊, 高远, 张艳玲, 等. 不同土壤改良剂对烟草吸收镉的影响[J]. 烟草科技, 2013(3): 72-76.  
CHEN Zhao, GAO Yuan, ZHANG Yan-ling, et al. Effects of soil amendments on cadmium uptake of tobacco plants[J]. *Tobacco Agronomy*, 2013(3): 72-76.(in Chinese)
- [11] 胡钟胜, 章钢娅, 王广志, 等. 改良剂对烟草吸收土壤中镉铅影响的研究[J]. 土壤学报, 2006(2): 233-239.  
HU Zhong-sheng, ZHANG Gang-ya, WANG Guang-zhi, et al. Effects of soil amendments on cadmium and lead contents in tobacco[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006(2): 233-239.(in Chinese)
- [12] 颜奕华, 李金星, 郑子成, 等. 磷和硅对土壤-烟草系统中铅迁移的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(5): 640-645.  
YAN Yi-hua, LI Jin-xing, ZHENG Zi-cheng, et al. Effect of phosphorus and silicon on migration of Pb in soil-tobacco system[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30(5): 640-645.(in Chinese)
- [13] 林述平. 不同改良剂组合对烤烟生长和烟株镉含量影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士论文, 2012.  
LIN Shu-ping. Different combinations of flue-cured tobacco improves tobacco plant growth and influence the cadmium content[D]. Changsha: Master Dissertation of Hunan Agricultural University, 2012.(in Chinese)
- [14] 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[J]. 农业环境科学学报, 2004(1): 47-50.  
WANG Yan, WANG Jin-da, LIU Ru-hai, et al. Commutative influences of concentration of lead in soil and the growth of cole[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004(1): 47-50.(in Chinese)
- [15] 王喜全. 原子吸收光谱法测定植物叶中微量重金属[J]. 理化检验(化学分册), 2007, 43(5): 360-361.  
WANG Xi-quan. Atomic absorption spectrometric determination of microamounts of heavy metals in plant leaves[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis)*, 2007, 43(5): 360-361.(in Chinese)
- [16] 邵惠芳, 任晓红, 乔宁, 等. 烟草硫元素营养研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 304-307.  
SHAO Hui-fang, REN Xiao-hong, QIAO Ning, et al. A review of sulphur nutrition in tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(3): 304-307.(in Chinese)
- [17] 刘勤, 张新, 赖辉比, 等. 土壤烤烟系统硫素营养研究[J]. 中国烟草科学, 2000(4): 20-22.  
LIU Qin, ZHANG Xin, LAI Hui-bi, et al. Investigation into the sulphur nutrition of soil and flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2000(4): 20-22.(in Chinese)
- [18] 刘勤, 赖辉比, 曹志洪. 不同供硫水平下烟草硫营养及对 N、P、Cl 等元素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000(1): 63-68.  
LIU Qin, LAI Hui-bi, CAO Zhi-hong. Effect of sulphate rates supplied on sulphur metabolism and N, P and Cl absorption in tobacco[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000(1): 63-68.(in Chinese)
- [19] 张艳玲, 周汉平. 烟草重金属研究概述[J]. 烟草科技, 2004(12): 20-23.  
ZHANG Yan-ling, ZHOU Han-ping. Summary on study of heavy metal elements in tobacco[J]. *Tobacco Agronomy*, 2004(12): 20-23.(in Chinese)
- [20] 刘优雄, 周冀衡, 王东, 等. 铅污染对烟草生长和铅吸收的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(23): 67-69.  
LIU You-xiong, ZHOU Ji-heng, WANG Dong, et al. Influences of lead polluting on tobacco growth and tobacco lead absorption[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(23): 67-69.(in Chinese)
- [21] 陈恒宇, 郑文, 唐文浩. 改良剂对 Pb 污染土壤中 Pb 形态及植物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008(1): 170-173.  
CHEN Huan-yu, ZHENG Wen, TANG Wen-hao. The effectiveness of amendment on Pb form and bioavailability in Pb contaminated soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008(1): 170-173.(in Chinese)
- [22] 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[J]. 农业环境科学学报, 2003(5): 541-545.  
WANG Xin, ZHOU Qi-xing. Distribution of forms for cadmium, lead, copper and zinc in soil and its influence by modifier[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003(5): 541-545.(in Chinese)
- [23] 陈宏, 魏世强. 化学调控剂对土壤和莴笋中 Hg, Cd, Pb 含量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2006(1): 111-113.  
CHEN Hong, WEI Shi-qiang. Effects of adjust control agent on Hg, Cd, Pb content in soil and asparagus[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006(1): 111-113.(in Chinese)
- [24] Singh I J S, Milechunas D G, Lauenroth W K. Soil water dynamic and vegetation patterns in a semiarid grassland[J]. *Plant Ecology*, 1998, 134: 77-89.
- [25] 肖振林, 王果, 黄瑞卿, 等. 酸性土壤中有效态镉提取方法研究[J]. 农业环境科学学报, 2008(2): 795-800.  
XIAO Zhen-lin, WANG Guo, HUANG Rui-qing, et al. Extraction method for available cadmium in acid soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008(2): 795-800.(in Chinese)
- [26] 刘素云, 王旭刚, 董晓兵, 等. 3 种改良剂对烟叶微量元素含量和品质的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2012, 33(6): 51-54.  
LIU Su-yun, WANG Xu-gang, DONG Xiao-bing, et al. Effects of three soil amendments on micronutrients and quality in tobacco[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science)*, 2012, 33(6): 51-54.(in Chinese)