

# 改良剂施用量对 Cd 污染土壤修复及烤烟 Cd 积累的影响

邱慧慧, 吴文昊\*, 蔡章春, 向必坤, 孙玉晓, 李平, 谭军, 樊俊, 霍光, 施河丽

(湖北省烟草公司恩施州公司, 湖北恩施 445000)

**摘要:** 为了研究改良剂施用量对重金属 Cd 污染植烟土壤的修复效果, 在湖北恩施“清江源”科技园区采取盆栽方法, 人工模拟 Cd 污染, 试验研究了不同改良剂用量对土壤中总 Cd、交换态 Cd 及烤烟叶片中 Cd 含量的影响。结果表明, 施用改良剂使植烟土壤 pH 值升高, 阳离子交换量显著增加, 交换性 Cd 含量显著降低。施用改良剂显著降低了烤烟中部叶 Cd 积累量, 最大降幅达 51.59%。

**关键词:** 改良剂; 烤烟; Cd 污染; 修复

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119(2015)04-0070-05

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.04.012

## Effects of Combined Amendment on Soil Remediation and Cd Accumulation in Flue-cured Tobacco

DI Huihui, WU Wenhao\*, CAI Zhangchun, XIANG Bikun, SUN Yuxiao, LI Ping,

TAN Jun, FAN Jun, HUO Guang, SHI Heli

(Enshi Prefecture Company of Hubei Provincial Tobacco Corporation, Enshi, Hubei 445000, China)

**Abstract:** In order to study the dosage of conditioner on remediation results in Cd polluted soils, pot experiments were conducted in the Greenhouse of Qingjiangyuan Modern Tobacco Agricultural Science Park in Hubei, China. Dosage effects of conditioner on soil physical and chemical properties, soil total Cd, soil exchangeable Cd and tobacco leaves Cd content were studied. The results indicated that application of combined amendment significantly increased soil pH and CEC, and reduced exchangeable soil Cd. Application of combined amendment resulted in reduced contents of Cd in tobacco leaves, and the maximum reduction of Cd content was 51.59%.

**Keywords:** combined amendment; flue-cured tobacco; Cd pollution; remediation

烟叶原料在注重品质的同时,更强调安全性,提高烟叶安全对烟草行业的可持续发展具有重要意义。已有研究表明<sup>[1]</sup>,烟叶中的 Cd 含量随着土壤 Cd 浓度的增加而极显著增加,并且烟叶中的 Cd 含量与烟气中的 Cd 含量呈极显著正相关。重金属对烟草的种子萌发、生长发育、品质、生理生化等方面都具有危害,并通过烟气进入人体,给身体造成伤害<sup>[2]</sup>。因此降低土壤重金属 Cd 含量是确保烟叶质量安全的重要手段。化学改良技术或化学稳定化技术是一种原位化学固定修复技术,是当前土壤重金属污染治理最有效的方法之一<sup>[3]</sup>,

旨在重金属污染土壤中施用改良剂,改变土壤的理化性质,通过吸附、沉淀等作用降低土壤中重金属的迁移能力和生物有效性,即稳定化。在恩施烟区,很早就开始在烟田中施加石灰、有机肥等改良剂以改善土壤酸化状况,降低烟田病害发生率及土壤重金属活性,从而提高烟叶产量和烟叶安全性<sup>[4-5]</sup>。海泡石比表面积大,孔隙率高,具有较高的吸附容量和离子交换能力,能钝化土壤中的重金属<sup>[6-7]</sup>。已有研究表明,海泡石对 Cd 污染土壤具有钝化修复效应<sup>[8]</sup>,石灰石和海泡石组配对于 Pb、Cd、Cu 和 Zn 复合污染土壤具有较好

基金项目:湖北省烟草公司恩施州公司项目“‘清江源’烟叶安全性评价及防控技术研究”[20130309]

作者简介:邱慧慧,女,硕士,主要从事烟叶安全性研究。E-mail: dihuihui99@163.com。\*通信作者, E-mail: 752268401@qq.com

收稿日期: 2014-10-15

修回日期: 2015-05-20

的修复效果<sup>[9-10]</sup>。恩施州地处鄂西南山区，是湖北省最大的烤烟产区，也是全国重点的烤烟产区之一。为了减少烟草 Cd 含量，在土壤中添加改良剂降低 Cd 有效性，从而减少吸收的措施将是行之有效的改良 Cd 污染土壤方法。在烟叶生产上尚未有关于石灰石与海泡石组配作为改良剂降低土壤重金属含量的研究。因此，通过研究施用不同量的组配剂对土壤 pH 值、阳离子交换量 (CEC) 及烤烟中部叶 Cd 含量的影响，以期对存在 Cd 污染风险的植烟土壤修复提供一些技术参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

2013 年 4 月在湖北恩施“清江源”科技园区，利用人工模拟 Cd 浓度为 1.5 mg/kg 污染的酸性植烟土壤，进行石灰石和海泡石组配改良剂原位修复试验，该土壤基本理化性质 pH 5.5，有机质 21.43 g/kg，阳离子交换量 9.04 cmol/kg，土壤化学改良剂为石灰石和海泡石，pH 分别为 8.01、7.43。烤烟品种为云烟 87。

### 1.2 试验方法

将两种改良材料石灰石和海泡石按 2:1 的质量比混合均匀，组配成改良剂。在 Cd 污染植烟土壤中施用组配改良剂，共设置 5 个添加水平 (0、30、60、90 和 120 g/kg)，每个水平设置 10 盆，每盆装土 15 kg。施用改良剂后的植烟土壤保持适宜含水率直至移栽。2013 年 3 月育苗，4 月下旬移栽。施肥量按照烟叶生产的实际情况进行。分别在烟株的团棵期、旺长期测量烟株的株高、茎围、最大叶长宽、有效叶数等农艺性状数据。2013 年 7 月中旬烟叶成熟，每一处理随机选取 3 株，

取整株叶片，同时采集相应的根际土壤样品。烟叶样品带回实验室后，用蒸馏水洗净，晾干后测定鲜叶重，然后放入烘箱，105 °C 杀青 15 min，在 70 °C 下烘干至恒重，测定干叶重。烘干烟叶用小型粉碎机粉碎，过 60 目筛，用塑料封口袋保存待测。土壤采回后自然风干、磨碎后过 40 目筛，保存待测。

### 1.3 样品分析

土壤 pH 用酸度计测定，固液比为  $m(g):v(mL)1:2.5$ ，有机质含量采用水合热重铬酸钾氧化-比色法测定，土壤 CEC 采用乙酸铵法测定，土壤中重金属 Cd 总量采用王水-高氯酸消煮，交换态含量采用  $MgCl_2$  提取<sup>[11]</sup>。烟叶中重金属 Cd 用干灰化法消解 (GB/T 5009—2003)<sup>[12]</sup>。所有样品溶液中 Cd 含量用原子吸收分光光度计进行测定。所有样品分析过程中以国家标准物质土壤 [GBW(E)-070009] 和中国农业科学院烟草研究所制的烟叶标准样品进行质量控制分析，同时全程做空白实验。

### 1.4 数据处理

试验中的数据结果均为平均值±标准偏差，应用 Excel 2003 进行处理。

## 2 结 果

### 2.1 改良剂对土壤理化性质及交换态 Cd 含量的影响

从表 1 可以看出，随着改良剂的增加，除土壤有机质未存在显著差异外，其他各指标均存在显著差异。当改良剂使用量大于 30 g/kg 时交换态 Cd 含量、总 Cd 含量与对照呈极显著水平。改良剂添加量为 60、90 g/kg 时，土壤 pH、阳离子交

表 1 改良剂对土壤理化性质及土壤中总 Cd、交换态 Cd 含量的影响

Table 1 Effects of combined amendment on basic properties and concentration of total and exchangeable Cd in tobacco soil

改良剂添加量/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	有机质 OM/(g·kg <sup>-1</sup> )	阳离子交换量 CEC/(cmol·kg <sup>-1</sup> )	交换态 Cd/(mg·kg <sup>-1</sup> )	总 Cd/(mg·kg <sup>-1</sup> )
0	5.54d	21.43a	16.85c	0.37A	0.82Bc
30	6.52c	22.32a	18.84c	0.15B	0.96Bc
60	7.04b	25.12a	20.37b	0.07C	1.31b
90	7.11ab	24.87a	24.98b	0.06C	1.46a
120	7.15a	20.91a	32.21a	0.06C	1.56Aa

注：数据后大写字母不同表示差异极显著 ( $p < 0.01$ )，小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ )，下同。

换量、交换态 Cd 含量均无显著性差异,但与对照相比,除有机质含量外均呈显著差异。随着改良剂添加量的增加,土壤 pH、CEC 均呈逐渐上升趋势,交换态 Cd 含量随着改良剂的增加而降低但降低幅度逐渐减小;土壤残留总 Cd 含量随着改良剂增加而增加。

## 2.2 改良剂对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可知,在植烟土壤中添加改良剂对烟株的长势有一定的影响,团棵期,添加少量改良剂(60 g/kg)可促进烟株生长,烟株株高、茎围、最大叶面积均高于对照,而改良剂添加量较多时(90 g/kg)对烟株生长有抑制作用,株高、有效叶片数、茎围、最大叶面积均小于对照。旺长

期,各处理烟株农艺性状指标无显著差异;成熟期,添加改良剂各处理烟株长势均优于对照,添加改良剂 60 g/kg 处理,烟株株高、有效叶片数、最大叶面积均与对照呈显著差异。

## 2.3 改良剂对烤烟干物质积累的影响

由表 3 可知,在土壤中添加改良剂为 60 g/kg 时,全株鲜叶重最大,并与对照呈显著差异。当改良剂添加大于 60 g/kg,全株鲜叶重降低并与其呈显著水平,当土壤中改良剂添加浓度为 120 g/kg 时,全株鲜叶重最低,仅为最高值的 75.88%。全株干叶重在土壤中添加改良剂 30 g/kg 时,干重达到最大值,并与对照及添加量 90、120 g/kg 处理的烟株干叶重呈显著差异。

表 2 改良剂对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effects of combined amendment on tobacco agronomic characters

时期	指标	改良剂添加量/(g·kg <sup>-1</sup> )				
		0	30	60	90	120
团棵期	株高/cm	12.83b	14.00a	13.33a	9.33b	10.33b
	有效叶片数/片	11.00a	10.00 ab	10.67a	9.33b	9.67b
	茎围/cm	3.00a	3.03a	3.17a	2.60b	2.73 b
	最大叶面积/cm <sup>2</sup>	183.37b	199.97b	236.88a	143.13c	158.94c
旺长期	株高/cm	50.33a	51.33a	52.50a	51.00a	49.23a
	有效叶片数/片	19.00a	18.33a	19.00a	19.5a0	19.72a
	茎围/cm	4.17a	4.33a	4.50a	4.50a	4.33a
	最大叶面积/cm <sup>2</sup>	347.28a	351.41a	373.72a	377.53a	354.89a
成熟期	株高/cm	72b	76ab	80a	80a	78a
	有效叶片数/片	22b	23ab	25a	23ab	24a
	茎围/cm	4.5a	4.5a	4.5a	4.4a	4.4a
	最大叶面积/cm <sup>2</sup>	571.68b	629.42a	647.19a	619.27a	590.08ab

表 3 改良剂对烤烟干物质积累的影响

Table 3 Effects of combined amendment on tobacco dry matter accumulation

指标	改良剂添加量/(g·kg <sup>-1</sup> )				
	0	30	60	90	120
全株鲜叶重/g	426.72b	471.68ab	509.34a	406.25c	386.53c
全株干叶重/g	55.61b	66.38a	61.88a	56.11b	47.62c

## 2.4 改良剂对烤烟中部叶 Cd 含量积累的影响

由图 1 看出,烤烟中部叶中 Cd 含量随着土壤中改良剂的增加而降低,当改良剂添加浓度为 120 g/kg 时,烟叶 Cd 含量为未添加改良剂烟叶 Cd 含量的 48.41%,降幅达 51.59%,但烟株长势较弱;

土壤添加剂浓度为 60 g/kg 时烟株长势较好,且烟叶 Cd 含量为对照的 67.87%。

## 2.5 土壤 pH 与土壤交换态 Cd、烟叶中 Cd 含量的关系

由图 2 可以看出,随着土壤 pH 值的增加,土

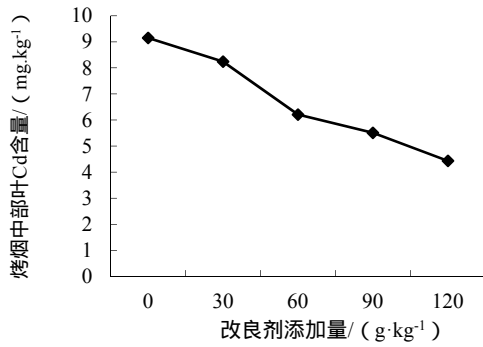


图 1 改良剂添加量对烤烟中部叶 Cd 含量的影响

Fig. 1 Effects of combined amendment on Cd Accumulation in Flue-cured Tobacco

壤交换态 Cd 含量显著下降,先急剧下降后趋于平缓,且交换态 Cd 含量与土壤 pH 值存在极显著的指数相关关系,  $R^2$  为 0.9853; 在土壤 pH 5.5~6.5 范围内烟叶 Cd 含量略有降低但幅度较小, 6.52~7.11 范围内烟叶 Cd 含量急剧下降。且烟叶中 Cd 含量与土壤 pH 呈显著的负相关关系,  $R^2$  为 0.9944。

### 3 讨论

由于植烟土壤较难轮作,长期施用化肥,在烟株的旺长期进行大水灌溉等原因造成了土壤中的钙、镁、钾等碱性盐基离子大量流失,使土壤 pH 降低,呈酸性。酸性土壤可导致土壤中的重金属活化从而被烟株吸收利用。过量的重金属 Cd 进入烟株体内,使烟株的各种生理生化过程发生紊乱,烟株生长受到抑制。高家合等<sup>[13]</sup>研究表明,重金属 Cd 对烟株在生长、光合作用以及各项生理生化指标上都会产生不同的影响。叶绿素是光合作用的物质基础,其含量高低将直接影响植物光合作用的强弱及物质合成速率的高低。袁祖丽等<sup>[14]</sup>研究表明,重金属 Cd 对烟株的叶绿素影响严重。烟草是以收获叶片为目的的经济作物,重金属污染将直接影响烟株叶片的生长发育及质量安全,因此,降低植烟土壤中的有效 Cd 含量,减少烟株对 Cd 的吸收,是保证烟叶质量安全的一个重要措施。增加土壤中的碱性盐基离子含量,使土壤 pH 值、CEC 升高,增强土壤吸附能力,可有效降低土壤中交换态 Cd 含量,从而降低烟叶对 Cd 的积累。

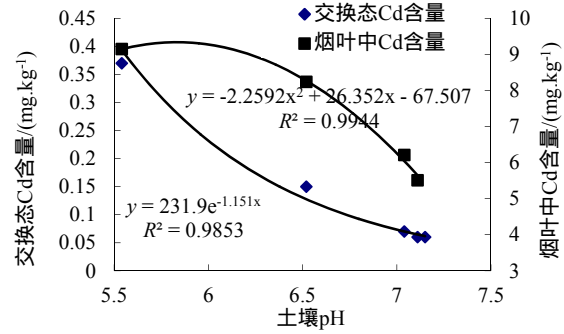


图 2 土壤 pH 与土壤交换态 Cd 含量及烟叶中 Cd 含量的关系

Fig. 2 Correlations of soil pH and concentration of exchangeable Cd in tobacco soil and Tobacco leaves

有关组配改良剂对重金属污染土壤理化性质及有效养分的研究,仅在水稻种植领域有相关报道<sup>[15]</sup>,在烟草种植领域尚无此方面的研究。但由于水稻与烟草对重金属的吸附能力差异较大,烟草属于 Cd 积累植物,对 Cd 有较强的吸附能力,因此,研究组配剂对植烟土壤中 Cd 含量及烟叶中 Cd 含量的影响非常必要。植烟土壤的保育与修复是烟叶工作者的一项长期任务,在大力推广增施有机肥的同时,可将改良剂与有机肥相结合,使其增加生产可行性,并使有机肥发挥最大优势,增强土壤改良效果。由于组配改良剂中的石灰含有  $\text{Ca}^{2+}$ ,海泡石是一种富镁硅酸盐可能向土壤中释放  $\text{Mg}^{2+}$ ,因此对土壤的 Ca、Mg 有效态含量可能存在增加趋势,这是否影响烟株对有效态微量元素的吸收,仍有待进一步研究。

### 4 结论

石灰石+海泡石组配改良剂的施用使得植烟土壤 pH 和 CEC 显著增加,并与添加量之间存在显著的线性相关关系。当改良剂施用量为 60 g/kg 时,烟叶 Cd 含量为对照的 67.87%,全株鲜叶重最大,烟株株高、有效叶片数、最大叶面积均高于其他处理,烟株长势较好。本研究对探寻重金属污染的植烟土壤的修复方法具有重要意义。同时,改良剂的施用量对大田土壤内的微生物种类、活性的影响仍需进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 孟建玉,商胜华,陆宁,等. 土壤重金属含量对烟叶

- 和烟气中重金属的影响[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(3): 1-6.
- [2] 苏贤坤, 庄文贤, 李继新, 等. 重金属对烤烟的影响及其治理技术与策略[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 57-61.
- [3] 郭观林, 周启星, 李秀颖. 重金属污染土壤原位化学固定修复研究进展[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1990-1996.
- [4] 孟赐福, 傅庆林. 施石灰石粉后红壤化学性质的变化[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 301-307.
- [5] 徐茜, 周泽启, 巫常标. 酸性土壤施用石灰对降低氮素及提高烤烟产质的研究[J]. 中国烟草科学, 2000, 21(4): 42-45.
- [6] 孙约兵, 徐应明, 史新, 等. 海泡石对镉污染红壤的钝化修复效应研究[J]. 环境科学学报, 2012, 32(6): 1465-1472.
- [7] 林大松, 刘尧, 徐应明, 等. 海泡石对污染土壤镉、锌有效态的影响及其机制[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(3): 346-350.
- [8] 朱奇宏, 黄道友, 刘国胜, 等. 改良剂对镉污染酸性水稻土的修复效应与机理研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(7): 847-851.
- [9] 曾卉, 徐超, 周航, 等. 几种固化剂组配修复重金属污染土壤[J]. 环境化学, 2012, 31(9): 1368-1374.
- [10] 刘维涛, 周启星. 不同土壤改良剂及其组合对降低大白菜镉和铅含量的作用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(9): 1846-1853.
- [11] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 13, 29, 108.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB/T5005.15—2003 食品中镉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [13] 高家合, 王树会. 镉胁迫对烤烟生长及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1167-1170.
- [14] 袁祖丽, 李春明, 熊淑萍, 等. Cd, Pb 污染对烟草叶片叶绿素含量、保护酶活性及脂膜过氧化的影响[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(1): 15-19.
- [15] 邱琼瑶, 周航, 曾卉, 等. 组配改良剂对重金属污染土壤理化性质及有效养分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(5): 907-912.

## 《烟草科技》2015年第7期目次

### 烟草农学

- 烟草脱落酸受体基因 NtPYR1 和 NtPYL9 的克隆及表达模式分析..... 黄佳, 夏玉珍, 赵影影, 等 1
- 烤后烟叶类胡萝卜素的稳定性及其影响因素..... 邵兰军, 谢晋, 左安建, 等 9
- 2002—2013 年间我国烤烟主要化学成分变化趋势及原因分析..... 包勤, 张艳玲, 王爱国, 等 14
- 井窖式移栽烟田温湿度对烟株前期生长发育的影响..... 邱雪柏, 高维常, 陈伟, 等 20
- 基于电子鼻的星座图聚类分析法在烟叶分类中的应用..... 薛芳, 施丰成, 李耀光, 等 25

### 烟草化学

- 月桂叶精油的 3 种制备方法比较及应用..... 杨靖, 万强, 陈勇健, 等 29
- GC/MS 指纹图谱结合 Hotelling T<sup>2</sup> 检验用于香精品质控制..... 刘秀明, 王家俊, 李源栋, 等 36
- 烤烟多糖的硫酸化修饰及抗氧化活性..... 许春平, 赵珊珊, 杨琛琛, 等 41
- 滁菊亚临界净油挥发性和半挥发性成分分析及卷烟加香效果..... 王甜, 赵明月, 何保江, 等 46
- CP/MAS 13C NMR 技术分析酸提取对烟草果胶产率和结构的影响..... 李东亮, 谭兰兰, 高芸, 等 53
- 造纸法再造烟叶加工过程中 5 种甾醇的含量变化..... 孙德坡, 王昆森, 赵伟, 等 59

### 烟草工艺

- 配方烟草样品等温吸湿曲线预测模型的构建与验证..... 马骥, 马宇平, 陈芝飞, 等 64
- 沟槽滤嘴对卷烟感官品质及风格的影响..... 王建民, 王晓斌, 苏东赢, 等 70
- 透气度流量盘测量方法的改进..... 杨荣超, 赵航, 张勃, 等 75

### 设备与仪器

- 基于仿真实验的物流系统优化方法..... 刀荣贵, 吕小波 81
- 基于单冷源空调系统的温湿度独立控制方法..... 王德吉, 廉洁, 王志国, 等 86
- 电加热式出料罩在 CTD 气流烘丝机中的应用..... 邵柱, 戴宇昕 92