

# 多孔改良剂对毕节烟区植烟土壤重金属铬镉铅的影响<sup>①</sup>

黄化刚<sup>1,2</sup>, 刘世碧<sup>2</sup>, 班国军<sup>2</sup>, 陈 垚<sup>2</sup>, 夏中文<sup>2</sup>, 张 庆<sup>3</sup>, 王美艳<sup>3</sup>,  
徐胜祥<sup>3\*</sup>, 孙维侠<sup>3</sup>, 史学正<sup>3</sup>, 曹志洪<sup>3</sup>

(1 作物学博士后科研流动站(河南农业大学烟草学院), 郑州 450002; 2 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州毕节 551700;  
3 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)

**摘要:**本研究通过分析贵州毕节植烟区不施改良剂(CK), 施用秸秆(T1)、多孔改良剂(T2)、70% 多孔改良剂 + 30% 竹炭(T3) 4 种处理不同土层深度土壤重金属含量, 评价了植烟区重金属 Cr、Cd、Pb 的含量水平, 探讨了施用多孔改良剂对研究区土壤中重金属 Cr、Cd、Pb 含量及其有效性的影响。结果表明, 研究区土壤重金属 Cr、Cd、Pb 含量均低于国家二级土壤标准, 土壤处于清洁状态。不同土壤改良剂在改善土壤理化性状的同时还能显著降低土壤全 Cr 和 Pb 的有效性。在不同改良剂处理中, 以 T3 处理的效果最好, 土壤全 Cr 和有效 Pb 降幅分别为 26.4% 和 17.2%。毕节烟区使用多孔物理结构改良剂不会增加土壤 Cd、Pb 的重金属风险, 反而降低了土壤全 Cr 和有效 Pb 的含量, 实现板结土壤改良和重金属有效性降低的双重目标。

**关键词:** 土壤改良剂; 烤烟; 土壤性状; 重金属

中图分类号: S156.2; S572; S341.1 文献标识码: A

在我国烤烟是一种重要的经济作物, 其产量是世界之最, 占全球总产量的 52%<sup>[1]</sup>。烟叶的产量与品质受土壤厚度、质地、土壤结构、土壤通气性等性质影响显著<sup>[2]</sup>, 深厚的土层、疏松的结构往往是优质高产烟区土壤的突出特点<sup>[3]</sup>。然而在生产过程中, 烟田由于过度施用化肥导致连作障碍现象普遍。我国南方不同烟稻轮作区, 出于防止病原菌考虑, 当前生产规程要求晚稻种植前将烟杆清除出田<sup>[4]</sup>, 造成了活性有机质下降、土壤透气性降低和板结等现象。同时, 土壤中累积的重金属往往会降低土壤氮的矿化速率、磷的迁移速率, 并加速土壤中钾素的流失<sup>[5]</sup>, 从而影响到烟叶的产量和品质。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<sup>[6]</sup>。因此研究如何在改善土壤结构的同时, 减少土壤中重金属的含量, 进而提高烟叶的产量、品质, 对优质烟叶的生产具有重要意义。

围绕土壤物理结构的改善和土壤重金属的治理已有许多相关研究。一方面, 有学者通过增施土壤改良剂来达到土壤聚集水分、提高孔隙度、降低容重的

效果, 从而提高烟叶产量和改善烟叶品质, 取得了较好的成果<sup>[7-8]</sup>。另一方面, 有学者利用石灰、磷灰石、沸石和蒙脱石等土壤改良剂提高土壤 pH, 增加土壤中阳离子交换量, 利用磷酸与重金属形成沉淀等方法降低土壤中重金属的有效性<sup>[9-12]</sup>。还有的学者利用秸秆、有机质和生物质炭同时分析了这些改良剂对土壤物理结构和对土壤重金属有效性的影响<sup>[13-15]</sup>, 结果显示这些改良剂往往同时兼具改善土壤物理性质、降低部分重金属含量的功能。例如招启柏等<sup>[14]</sup>和胡钟胜等<sup>[15]</sup>的研究表明凹凸棒土、活性炭、骨粉和有机肥对烟田中的 Cd 和 Pb 有较好的固定功能, 可以减轻土壤重金属的毒害, 提高烟叶的产量和品质。中国科学院南京土壤研究所最近研发一种多孔新型改良剂, 对改良板结土壤有显著效果, 由于其是强碱性(pH 9.2), 应能够降低土壤中重金属的活性, 但尚未得到具体的验证。为此, 在贵州毕节烟区进行田间小区试验, 设立玉米秸秆还田、多孔改良剂、多孔改良剂与竹炭相结合的 3 个改良处理, 在评价植烟区土壤重金属含量水平状态的同时, 对比分析不同改良剂

基金项目: 贵州省烟草公司毕节市公司科技专项(毕节合 2015-02, 省市院合 2015-06)、中国烟草总公司贵州省公司科技项目(201703)、中国博士后科学基金面上项目(2015M572017)和贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2013]2193 号)资助。

\* 通讯作者(sxxu@issas.ac.cn)

作者简介: 黄化刚(1982—), 男, 四川北川人, 博士, 主要从事土壤修复、烟叶种植与品质提升研究。E-mail: hhg491124@163.com

处理对土壤重金属含量及其有效性的影响,以便筛选出既能够改良当地土壤板结,又能降低重金属有效性的最佳土壤改良剂。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于贵州省毕节市黔西县林泉科技园。黔西县地处贵州省西北部,三面环山,低山丘陵地貌,气候属亚热带温暖湿润气候,年均气温为 14.2 °C,降雨量 1 087.5 mm,日照时长 1 066.9 h,无霜期 271 d。该地区植烟土壤为页岩和板岩发育的黄壤(常湿淋溶土),质地偏黏,为粉砂质黏壤土,保水性较好,但通透性较差,这是目前影响该地区优质烟叶生产的主要土壤问题。2015 年进行植烟土壤改良试验,植烟前试验烟田土壤的基本理化性状:土壤容重 1.28 g/cm<sup>3</sup>,土壤总孔隙度 52%,pH 7.4,有机质 22.6 g/kg,全氮 1.53 g/kg,有效磷 23.8 mg/kg,速效钾 370.8 mg/kg,CEC 17.6 cmol/kg。

### 1.2 试验设计

试验共设 4 个处理:对照(不施改良剂,CK),施用玉米秸秆(T1)、多孔改良剂(T2)和 70% 多孔改良剂 + 30% 竹炭(T3),烤烟种植时采用当地常规耕作和施肥方式。多孔改良剂和竹炭的制作方法详见文献[16],基本性质见表 1。多孔改良剂是一种无机矿物质,是一种长效的土壤结构改良材料,施入土壤后可以大量增加通气孔隙,改良土壤板结。秸秆施用方法为利用秸秆颗粒机将晒干的玉米秸秆切成 1~3 cm 长的颗粒后用小型深耕机器分两次旋施到 15~30 cm 土层中。每个处理重复 3 次,每个小区面积约为 70 m<sup>2</sup>,合计为 12 个小区。T1 处理每小区基施 21 kg 玉米秸秆,T2 处理每小区基施 41 kg 多孔改良剂,T3 处理每小区基施 28.7 kg 多孔改良剂和 16.4 kg 竹炭。供试烤烟品种为当地适宜的烤烟种植品种毕纳 1 号。

表 1 土壤改良剂基本理化性质  
Table 1 Physiochemical properties of soil amendments

试验材料	pH	有机质 (g/kg)	松散容重 <sup>[17-18]</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	田间持水量 (g/kg)
多孔改良剂	9.2	7.06	0.26	657
竹炭改良剂	11.2	77.8	0.40	831

所有试验处理的施肥均按贵州烟草公司的有关生产技术规范实施,改良剂与基肥一起进行条施,然后起垄移栽烟苗。其中每小区起垄前施入 4.7 kg 烟草专用肥和 4.9 kg 酒糟有机肥作为基肥。移栽当天每小区施入 0.262 kg 烟草专用提苗肥。在烟苗移栽后 1

个月,培土前每小区施入 2.3 kg 烟草专用追肥。其中提苗肥和追肥均将肥料溶于水浇施。待烟草成熟收获后分层(0~10、10~20、20~30 cm)采集烟垄土样,每处理采用多点取样法制成 1 个混合样,每处理 3 个重复。

### 1.3 测定项目与方法

土壤样品经室内风干剔除杂质后磨细过筛用于测定。土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾和阳离子交换量的测定方法详见文献[19]。全 Cr、全 Cd 和全 Pb 测定依据《土壤环境质量标准》<sup>[20]</sup>,有效 Pb 和 Cd 测定依据国标 GB/T 23739—2009<sup>[21]</sup>。

### 1.4 土壤重金属评价方法

采用单因子污染指数对植烟区本底土壤及施加改良剂后土壤的重金属含量进行评价<sup>[20]</sup>,其计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: $P_i$ 为土壤中重金属*i*的单因子污染指数; $C_i$ 为重金属实测含量(mg/kg); $S_i$ 为选取的评价标准(mg/kg)。

由于供试土壤 pH 为 7.4,根据《土壤环境质量标准》<sup>[20]</sup>中的二级标准,Cr 的  $S_i$  值为 200 mg/kg,Cd 的  $S_i$  值为 0.6 mg/kg,Pb 的  $S_i$  值为 300 mg/kg。单因子污染指数  $P_i \leq 1$  为无污染, $P_i > 1$  为污染。

### 1.5 数据处理与分析

所有数据经 Microsoft Excel 2013 处理,运用 IBM SPSS Statistics 22.0 统计分析软件对数据进行方差分析、多重比较等相关统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤常规化学性质

在植烟土壤中施用不同类型的土壤改良剂不但会使土壤物理结构发生变化,还可能对土壤的主要理化性质产生一定的影响。表 2 为施用改良剂之后不同处理土壤(0~30 cm)的主要理化性质。从中可见,与对照处理土壤相比,施用不同土壤改良剂后各处理土壤的主要理化性质均发生了一些变化,但多未达到显著水平( $P > 0.05$ )。

在 3 个施用改良剂的处理中,作用较明显的是 T1 处理,该处理除 pH 之外的各个土壤理化指标均高于对照和其他两个改良剂处理。这是因为该处理实行的是玉米秸秆还田,玉米秸秆中的有机质以及各营养元素对植烟土壤进行了补充,因而提高了土壤中相应水平。3 个施用改良剂处理的土壤 pH 均高于对照土

表 2 植烟土壤的主要化学性质  
Table 2 Soil chemical properties under different treatments

项目	处理			
	CK	T1	T2	T3
pH	7.39 ± 0.08 a	7.46 ± 0.09 a	7.53 ± 0.36 a	7.52 ± 0.13 a
有机质 (g/kg)	25.1 ± 1.6 ab	25.9 ± 1.2 a	24.3 ± 1.3 b	24.4 ± 1.9 ab
全氮 (g/kg)	1.68 ± 0.08 a	1.72 ± 0.13 a	1.66 ± 0.1 a	1.66 ± 0.1 a
全磷 (g/kg)	0.88 ± 0.05 a	0.92 ± 0.1 a	0.90 ± 0.07 a	0.85 ± 0.12 a
全钾 (g/kg)	27.4 ± 0.5 a	28.0 ± 0.8 a	27.5 ± 1.6 a	27.3 ± 1.4 a
碱解氮 (mg/kg)	110 ± 17 ab	119 ± 10 a	109 ± 7 ab	106 ± 9 b
有效磷 (mg/kg)	29 ± 9 ab	31 ± 7 a	27 ± 7 ab	23 ± 3 b
速效钾 (mg/kg)	490 ± 136 a	517 ± 72 a	436 ± 109 a	480 ± 64 a
阳离子交换量 (cmol/kg)	18.5 ± 0.8 a	18.8 ± 0.4 a	18.1 ± 0.5 a	18.3 ± 1.2 a

注：表中数据为平均值 ± 标准误；同一行数据小写字母不同表示处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )，下表同。

壤。改良剂处理平均使土壤 pH 增加了 0.11 个单位，其中 T1 处理增加 0.07 个单位，T2 处理增加 0.14 个单位，T3 处理增加 0.13 个单位。这是因为无论多孔改良剂，还是竹炭改良剂均为碱性材料(表 1)，施入土体中会引起土壤 pH 上升。

## 2.2 植烟土壤重金属含量及其对不同改良剂的响应

从表 3 中可以看出，与 CK 相比，施用土壤改良剂使土壤全 Cr 含量平均下降 19.7%，其中 T1、T2 和 T3 处理分别下降 15.4%、17.2% 和 26.4%，均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。本试验中有效 Cr 含量太低，未

检出。4 个处理之间土壤的全 Cd 含量以 T1 处理最高，CK 最低，方差分析显示 T1 处理显著高于 CK，可能是秸秆中 Cd 在土壤中分解时略微增加研究区的土壤 Cd 含量。不同处理间的土壤全 Pb 含量无显著差异。各处理的 Cd 和 Pb 含量均小于国家二级土壤标准值，单因子污染指数均小于 1，均未受到污染，处于清洁状态(表 4)。相比之下，Cd 的污染指数大于 Pb。各个处理的全 Cd 含量均低于一级土壤标准值的下限 ( $0.2 \text{ mg/kg}$ )<sup>[22]</sup>，全 Pb 含量介于  $34.2 \sim 37.9 \text{ mg/kg}$ ，基本相当于一级土壤标准值的下限 ( $35 \text{ mg/kg}$ )<sup>[19]</sup>。

表 3 施用不同改良剂对土壤重金属含量的影响 (mg/kg)  
Table 3 Effects of soil amendments on concentrations of soil heavy metals

重金属	处理			
	CK	T1	T2	T3
全 Cr	97 ± 7.2 a	82 ± 4.5 b	80 ± 1.5 bc	72 ± 0.9 c
全 Cd	0.179 ± 0.01 b	0.190 ± 0.01 a	0.184 ± 0.01 ab	0.187 ± 0.01 ab
全 Pb	35.2 ± 1.5 a	34.8 ± 1.2 a	35.9 ± 2.7 a	36.5 ± 2.4 a

表 4 研究区土壤重金属污染评价  
Table 4 Evaluation on soil heavy metal pollution in study area

重金属	含量范围(mg/kg)	国家二级土壤标准值(pH 6.5 ~ 7.5)	单因子污染指数	污染程度
Cr	70.1 ~ 101.1	200	0.35 ~ 0.51	未污染
Cd	0.17 ~ 0.19	0.3	0.57 ~ 0.65	未污染
Pb	34.2 ~ 37.9	300	0.11 ~ 0.13	未污染

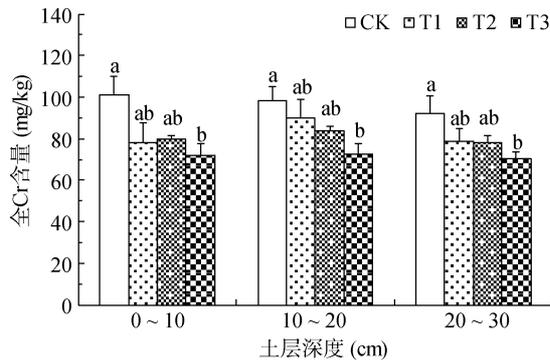
有报道表明贵州农业土壤存在 Cd 污染的风险。李玉美等<sup>[23]</sup>对贵州 4 个主要烟区土壤重金属污染状况分析，发现毕节烟区土壤中的 Cd 含量高于土壤环境二级质量标准，且烟叶中的 Cd 含量已经超出目前的安全标准；烟叶中的 Pb 含量高达  $1.46 \text{ mg/kg}$ ，存在超标的风险。李翠翠等<sup>[24]</sup>对毕节市威奢乡的农田土壤调查发现，土壤中 Cd 含量均值达  $2.22 \text{ mg/kg}$ ，远超出国家二级土壤环境质量标准，并成为该地区最

主要的污染物。但本研究的结果则表明毕节烟区土壤是清洁且安全的(表 4)，出现上述差异很可能与采样的具体田块有关。从生产安全、优质烟叶的角度考虑，应该选择“清洁”的农田种植烟叶。

## 2.3 不同土层深度植烟土壤的全铬含量及其对不同改良剂的响应

进一步对改良剂在不同土层深度对土壤全 Cr 的影响进行分析。图 1 为施用土壤改良剂后不同深度土

壤全 Cr 的含量。由图可知，不同土层间的全 Cr 含量无显著差异。从不同改良剂处理看，与 CK 相比，施用土壤改良剂使土壤全 Cr 含量平均下降 19.7%，其中 T1、T2 和 T3 处理分别下降 15.4%、17.2% 和 26.4%。不同土层下均以 T3 处理下全 Cr 含量降幅最大，0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层分别下降 29.0%、26.0% 和 23.9%，均达显著或极显著水平。



(图中小写字母不同表示同一土层不同处理间差异达显著水平(P<0.05)，下图同)

图 1 改良剂对不同土层深度土壤全铬的影响

Fig. 1 Effects of soil amendments on soil total Cr contents in different soil depths

Cr 是一种具有极高毒性、致突变性和致癌的重金属。据统计，我国土壤重金属污染的耕地面积点位超标率为 19.4%，Cr 污染耕地超标面积  $1.49 \times 10^6 \text{ hm}^2$  [25]。土壤-植物系统的 Cr 能通过食物链进入人体，因此研究土壤中的 Cr 含量意义非凡 [26]。本研究发现增施土壤改良剂显著降低土壤中 Cr 含量(表 3、图 1)，以 T3 降幅最大(26.4%)，不同土层间趋势一致，为烟草安全生产提供了保障。影响 Cr 在土壤-植物系统中迁移转化的因素主要有土壤理化性质、微生物活性、植物生理机制和植物种类等，低 pH 有利于人工合成的六价 Cr 被有机质还原成稳定态 Cr 的速率 [27]，鉴于本试验中无机改良剂均为碱性，我们推测使用通过酸化调整为中性 pH 的无机改良剂对降低土壤 Cr 含量效果更佳。

### 2.4 土壤有效态镉铅含量比较

表 5 为 4 个处理 0 ~ 30 cm 土壤中的有效 Cd 和 Pb 的含量。本研究针对的植烟区土壤重金属含量低，且由于土壤 pH 较高，重金属易被钝化，故其有效态含量也较低。从表 5 中可以看出，施用改良剂对土壤有效 Cd 含量没有显著的影响，但使得有效 Pb 含量显著下降。与 CK 相比，基施土壤改良剂使土壤有效 Pb 含量平均下降 13.0%，其中 T1、T2 和 T3 处理分别降低了 7.3%、14.6% 和 17.2%，以

T3 处理效果最佳。

表 5 施用不同改良剂对土壤有效镉和铅含量的影响(mg/kg)

Table 5 Effects of soil amendments on contents of soil available Cd and available Pb

重金属	改良剂处理			
	CK	T1	T2	T3
有效 Cd	0.06 ± 0.01 a	0.07 ± 0.004 a	0.06 ± 0.01 a	0.07 ± 0.01 a
有效 Pb	3.6 ± 0.2 a	3.4 ± 0.2 b	3.1 ± 0.2 c	3.0 ± 0.2 c

图 2 为施用土壤改良剂后对不同土层深度土壤有效 Cd 和 Pb 含量的影响。由图可知，单纯施用多孔改良剂能够使得 0 ~ 10 cm 土壤有效 Cd 有所减少，但在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 的效果不明显。除了 10 ~ 20 cm 土层外，T3 处理对有效 Cd 影响的效果整体上优于玉米秸秆还田(T1)处理的效果。与 CK 相比，基施土壤改良剂使土壤各土层有效 Pb 含量呈下降趋势。其中 T2 处理使 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中的有效 Pb 含量分别下降了 9.7%、14.3% 和 19.4%，T3 处理使对应土层的有效 Pb 含量分别下降了 14.3%、19.3% 和 17.8%。同 CK 相比，T2 和 T3 处理有效 Pb 含量在 10 ~ 20、20 ~ 30 cm 土层的下降显著。

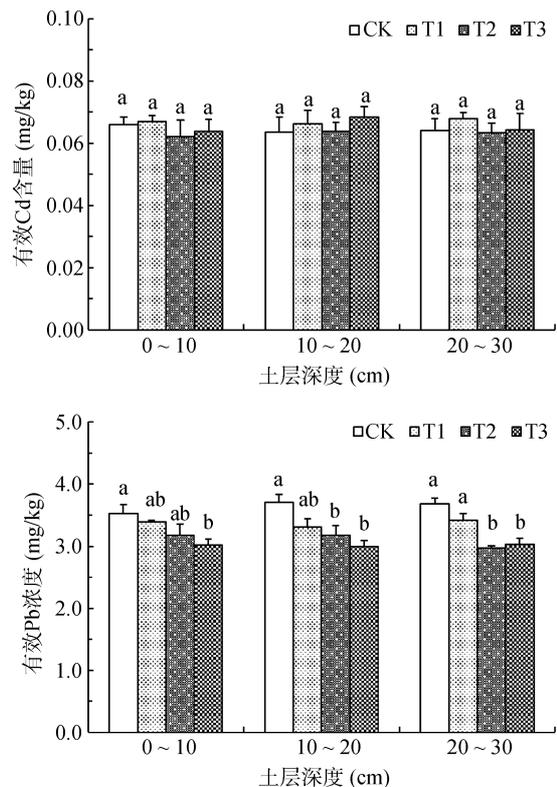


图 2 改良剂对不同土层深度土壤有效镉和有效铅的影响  
Fig. 2 Effects of soil amendments on contents of soil available Cd and available Pb in different soil depths

### 3 结论

本研究采用单因子污染指数法对贵州省毕节地区试验区植烟土壤的重金属污染程度进行了评价,并研究了植烟区土壤中增施不同种类土壤改良剂对土壤中 Cd 和 Pb 含量的影响。结果表明,供试土壤处于清洁状态,土壤中重金属的含量均未超过国家二级土壤标准值;增施多孔土壤改良剂不增加 Cd、Pb 集聚的风险,且能显著降低土壤中全 Cr 和有效 Pb 的含量。这一结果对该地区安全优质烟叶的生产具有积极的意义。

#### 参考文献:

- [1] 胡德伟. 中国烟草控制的经济研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2008
- [2] 黄成江, 张晓海, 李天福, 等. 植烟土壤理化性状的适宜性研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 42-46
- [3] Hawks S N, Collins W K. Principles of flue-cured tobacco production[M]. 1st ed. Raleigh, North Carolina: North Carolina State University, 1983
- [4] 刘炎红, 姜超强, 沈嘉, 等. 烟杆腐解速率及养分释放规律[J]. 土壤, 2017, 49(3): 543-549
- [5] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [6] 曹晨亮, 王卫, 马义兵, 等. 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 628-636
- [7] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 68-79
- [8] 刘玉学, 王耀锋, 吕豪豪, 等. 不同稻秆炭和竹炭施用水平对小青菜产量、品质以及土壤理化性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6): 1438-1444
- [9] 周静, 崔红标. 规模化治理土壤重金属污染技术工程应用与展望——以江铜贵冶周边区域九牛岗土壤修复示范工程为例[J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(3): 336-343, 272
- [10] 崔红标, 梁家妮, 周静, 等. 磷灰石和石灰联合巨菌草对重金属污染土壤的改良修复[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(7): 1334-1340
- [11] 崔红标, 田超, 周静, 等. 纳米羟基磷灰石对重金属污染土壤 Cu/Cd 形态分布及土壤酶活性影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5): 874-880
- [12] 李希希, 王春香, 陈玉成, 等. 改良剂对土壤-烟草系统中 Pb 污染风险的削减[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(1): 26-30
- [13] 张晶, 苏德纯. 不同镉污染农田土壤上秸秆和炭化秸秆分解动态及其对土壤镉的吸附特征[J]. 环境工程学报, 2013, 7(10): 4097-4102
- [14] 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, 15(4): 26-32
- [15] 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, 43(2): 233-239
- [16] 潘金华, 庄舜尧, 史学正, 等. 竹炭与 T20 改良剂对皖南旱地烤烟生态和产质量的综合效应研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(4): 73-81
- [17] 刘明伟, 许国仁, 李圭白. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对污泥与底泥制备轻质陶粒性能的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(10): 18-21
- [18] 许国仁, 邹金龙, 孙丽欣. 污泥作为添加剂制备轻质陶粒的试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(4): 557-560
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [20] 中华人民共和国国家标准. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618 - 2018)[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018
- [21] 中华人民共和国农业部. 土壤质量 有效态铅和镉的测定 原子吸收法(GB/T 23739-2009)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [22] 叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994
- [23] 李玉美, 雷硕, 严猛, 等. 贵州省主要烟区土壤及烟草中重金属污染状况分析[J]. 南方农业学报, 2012, 43(10): 1505-1508
- [24] 李翠翠, 李世杰, 罗荣琴, 等. 贵州省毕节市威奢乡农田土壤环境质量特征研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(2): 238-244
- [25] 朱宇恩, 张倩茹, 张维荣, 等. 基于文献计量的 Cr 污染土壤修复发展历程剖析(2001—2015 年)[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 409-419
- [26] 蒋逸骏, 胡雪峰, 舒颖, 等. 湖北某镇农田土壤-水稻系统重金属累积和稻米食用安全研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 410-420
- [27] 戴宇, 杨重法, 郑袁明. 土壤-植物系统中铬的环境行为及其毒性评价[J]. 环境科学, 2009, 30(11): 3432-3440

## Effects of Porous Amendments on Soil Cr, Cd and Pb Contents in Flue-cured Tobacco in Bijie City of Guizhou

HUANG Huagang<sup>1,2</sup>, LIU Shibi<sup>2</sup>, BAN Guojun<sup>2</sup>, CHEN Yao<sup>2</sup>, XIA Zhongwen<sup>2</sup>, ZHANG Qing<sup>3</sup>,  
WANG Meiyang<sup>3</sup>, XU Shengxiang<sup>3\*</sup>, SUN Weixia<sup>3</sup>, SHI Xuezheng<sup>3</sup>, CAO Zhihong<sup>3</sup>

(1 *Crop Science of Post-doctoral Research Stations, College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China*; 2 *Bijie Branch Company, Guizhou Tobacco Company, Bijie, Guizhou 551700, China*; 3 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

**Abstract:** In order to explore the effects of porous amendments on the contents of heavy metals (Cr, Cd and Pb) in flue-cured tobacco fields in Bijie City of Guizhou Province, a field experiment was conducted and four treatments were designed, i.e., CK (No amendment), T1 (maize straw incorporation), T2 (porous soil amendment) and T3 (70% T2 and 30% bamboo charcoal). The results showed that soil Cr, Cd and Pb contents in the study area were lower than the 2<sup>nd</sup> Grade of National Soil Environmental Standard, which indicated the soils are safe and clean. Different soil amendments not only improved soil physiochemical properties, but can also significantly reduced Cr and the availability of soil Pb. Among different amendments, T3 treatment had the best effect, and the soil Cr and available Pb decreased by 26.4% and 17.2% respectively. The use of porous physical structure amendments in Bijie tobacco planting area didn't increase the risk of heavy metals of soil Cd and Pb, but reduced the content of soil available Pb, thus, could archive the dual goals in reducing soil compaction and heavy metal availability.

**Key words:** Soil amendments; Flue-cured tobacco; Soil properties; Soil heavy metal