

重金属在燃煤烟气脱硫石膏改良盐碱土壤中迁移的实验研究

王淑娟, 陈群*, 李彦, 张宁, 赵博, 嵇玉群, 陈昌和

清华大学热能工程系, 热科学与动力工程教育部重点实验室, 盐碱地区生态修复与固碳研究中心, 北京 100084

摘要: 改良盐碱地对于保障我国粮食安全、生态环境保护及经济社会可持续发展具有非常重要的意义。近 20 年来, 火力发电厂燃煤烟气脱硫石膏已成功地应用于我国北方盐碱地的改良。作为燃煤电厂的废弃物, 脱硫石膏含有一些重金属元素, 这些重金属元素随着脱硫石膏改良盐碱地而进入土壤中。目前, 还很少有针对这些重金属对土壤环境影响的研究。为了评估脱硫石膏——特别是脱硫石膏中携带的重金属——在改良盐碱地后对作物和生态环境可能造成的影响, 从而为今后大面积示范推广脱硫石膏改良盐碱地提供依据, 以燃煤烟气脱硫石膏作为改良剂, 测量了不同脱硫石膏添加比例下盐碱土的土壤碱化度 (ESP)、酸碱度 (pH 值) 和电导率 (EC) 随脱硫石膏添加量变化。通过土柱淋滤实验, 分析研究了加入不同重量比例脱硫石膏的不同盐碱土壤层中重金属 Pb、Cd、Cr、As、Hg 含量分布。结果显示, 加入脱硫石膏的盐碱土壤 pH 值、电导率值、及碱化度有明显降低, 表明脱硫石膏对于盐碱土具有明显的改良作用。总体而言, 脱硫石膏的加入并未引起土壤重金属含量的显著变化。随着脱硫石膏的加入, 在 60~80 cm 土层中镉 (Cd) 含量增加、汞 (Hg) 含量在 40~60 cm 土层中增加、而土柱其余各层中的铅 (Pb) 含量均明显低于 0~20 cm 表层土壤。这些重金属的不同分布状态是其在土壤中迁移特性决定的。重金属在各土层中的最高含量均符合 GB 15618—1995 国家土壤环境安全标准, 表明脱硫石膏在改良盐碱土过程中不会导致土壤重金属污染而影响土壤环境质量。

关键词: 土柱试验; 重金属; 脱硫石膏; 盐碱土壤

中图分类号: S156.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0851-06

引用格式: 王淑娟, 陈群, 李彦, 张宁, 赵博, 嵇玉群, 陈昌和. 重金属在燃煤烟气脱硫石膏改良盐碱土壤中迁移的实验研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 851-856.

WANG Shujuan, CHEN Qun, LI Yan, ZHANG Ning, ZHAO Bo, ZHUO Yuqun, CHEN Changhe. Experimental Investigation on Distribution Profiles of Heavy Metals in the Desulfurization Gypsum Amended Saline and Sodic Soils [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 851-856.

盐碱地改良是资源化利用燃煤电厂烟气脱硫石膏的有效途径之一, 脱硫石膏中的主要成分硫酸钙能与盐碱土壤中的交换性 Na^+ 进行反应以改良盐碱土壤, 同时脱硫石膏中还富含 S、Ca、Si 等植物必需或有益的矿质营养^[1]。利用燃煤烟气脱硫石膏改良碱化土壤是从 20 世纪 90 年代后期才开始的^[2]。随脱硫石膏中有益成分一起进入土壤中的还有其中的重金属元素, 这些重金属一方面可被植物吸收影响植物生长, 另一方面可进入地下水, 有可能形成一种威胁环境安全的隐患。已有的研究表明, 尽管燃煤烟气脱硫石膏中有些重金属元素含量高于土壤自然背景值含量^[3], 一些主要的重金属元素, 如总 Pb、Cd、Cr、As、Hg 等指标, 基本上都低于国标最高容许量和土壤环境质量二级标准, 符合国家控制标准。

土壤中的重金属较难迁移, 具有残留时间长、隐蔽性强、毒性大等特点, 并且可能经作物吸收后进入食物链, 从而威胁人类的健康与其它动物的繁衍生息^[4-5]。因此, 掌握燃煤烟气脱硫石膏对土壤重金属分布的影响及重金属在土壤中的迁移规律, 对于正确评估脱硫石膏的环境风险至关重要, 但目前这方面的研究还鲜有文献报道。

本文通过土柱淋滤试验研究探讨脱硫石膏对土壤重金属分布的作用, 旨在为大面积推广脱硫石膏改良盐碱地从而实现其农业资源化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤取自内蒙古包头土默特右旗庙营盐碱荒地, 取耕作层土壤, 风干、磨细并通过 2 mm

基金项目: 国家科技支撑计划 (2013BAC02B06); 清华大学自主科研计划 (20101081776)

作者简介: 王淑娟 (1972 年生), 女, 副教授, 博士, 主要从事燃煤电厂烟气净化和二氧化碳捕集以及副产物资源化利用等研究。E-mail: wangshuj@tsinghua.edu.cn

*通信作者: 陈群, E-mail: qunchen@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2012-12-28

筛后混合均匀用于土柱试验。原土 pH 值在 10.2 左右, 碱化度 ESP 为 30.3%, 是典型的重度碱土。表 1 列出了原土中几种重金属的质量分数。

表 1 土壤及脱硫石膏重金属元素含量基底值
Table 1 Heavy metal contents in the original soils and FGD gypsum

w/(mg·kg ⁻¹)	As	Hg	Cd	Cr	Pb
原始土壤	12.91	0.03	0.61	63.10	11.24
脱硫石膏	2.71	0.17	0.49	21.31	14.86
国标	25	1	0.6	250	350

1.2 供试脱硫石膏

由于不同电厂燃用的煤种不同, 作为脱硫剂的石灰石来源不同, 脱硫石膏中的各种成分质量分数有差异^[6], 本研究所用的脱硫石膏采自北京石景山电厂, 其重金属元素质量分数如表 1 所示。

1.3 土柱淋洗试验

土柱由无铅盐 PVC 管(内径 10 cm, 横截面积 78.5 cm²)和支架组成, PVC 管高 123 cm, 底部用预留出水口的 PVC 堵头密封, 出水口接滤液接收容器, 顶部用带孔的 PVC 堵头加盖。制作土柱时, 每一 PVC 管底部垫 3 cm 厚石英砂利于渗漏, 将供试风干土壤装入土柱, 边装边敲实, 制成高 113 cm、容重为 1.42 g cm⁻³ 土柱。采用单因素试验 3 重复设计, 将不同量的脱硫石膏与土柱上部 0~20 cm 土壤完全混匀, 脱硫石膏质量分数分别为 0(CK)%、0.26%、0.52%、0.78%、1.04%、1.30%, 用来模拟脱硫石膏田间施用量为 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 t·667m⁻² 的不同改良模式。土柱填充完成后用去离子水浸润, 直到土柱底部有渗滤液流出。设计土柱淋溶水总量为 6 000 mL, 每 2 d 淋洗 1 次, 每次用量为 200 mL, 并调节淋洗速度为 50 mL·h⁻¹, 淋洗液在土柱底部汇集于接收容器, 整个实验过程持续 60 d, 最后取出土柱土壤, 每 20 cm 一层取样化验。

土壤中的重金属元素一方面可能影响作物生长, 另一方面可经过作物吸收进入食物链, 而淋洗液的重金属含量则主要影响地下水的质, 本文仅对照国家土壤环境质量二级标准, 考察分析土壤中重金属的分布。重金属在淋洗液中的质量分数及可能产生的对土壤地下水影响将在今后开展进一步研究。

1.4 分析测试

取通过 2 mm 孔径筛的风干试样与去离子水按 1:2.5 的质量比率搅拌混合制成悬浊液, 采用意大利米克公司生产的 Mi150 型台式 pH 测定仪通过电位法测定土壤 pH 值; 取通过 2 mm 孔径筛的风干试样与去离子水按 1:5 的质量比率混合,

持续搅拌 3 min 使可溶性盐浸出并溶于水, 悬浊液通过定量滤纸过滤, 采用意大利米克公司生产的 Mi170 型台式电导率仪测定滤液电导率; 阳离子交换量 (Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺) 采用乙酸铵提取 ICP-OES 测定 (美国 ThermoFisher 公司生产的 IRIS Advantage 全谱直读型光谱仪), 土壤前处理及各指标测定均根据 NY/T 1121.5—2006 农业行业标准《石灰性土壤阳离子交换量的测定》进行。土壤碱化度通过下式计算得到:

$$ESP = \frac{[Na^+]}{[Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} \times 100\%$$

土柱中的土壤试样用盐酸+硝酸+高氯酸+氢氟酸微波消解^[7] (意大利 Milestone 公司生产的 Ethos 1 型高压消解/萃取系统) 后用于重金属质量分数测量。对于土壤试样中 Cd、Cr、Pb 的质量分数, 采用北京普析通用公司生产的 TAS990 型火焰-石墨炉原子吸收分光光度计测定; As 采用原子吸收-氢化物发生器 (WHG-630A 型流动注射氢化物发生器) 法测定, Hg 采用 Lumex 测汞仪测定 (俄罗斯 Lumex 公司生产的 RA-915+型测汞仪)。

1.5 数据处理

利用 Microsoft[®] Excel 分析实验数据, 图表中数据均为各处理重复间的平均值。

2 结果与讨论

2.1 脱硫石膏对土壤理化性质的影响

在盐碱土中, ESP (土壤碱化度) 和 pH (土壤酸碱度) 是限制作物生长的两个关键因素。本文为表明脱硫石膏对盐碱土壤的改良作用, 仅就土柱表层 (0~20 cm) 处的土壤样品的 pH、EC (电导率) 及 ESP 等进行了测定, 测试结果如下。

2.1.1 各处理间的土壤 pH 变化

从图 1 可以看出, 施用脱硫石膏后的土壤 pH 值较对照土壤均有下降, 且随着脱硫石膏施用量增加, pH 值的下降幅度增大。除了脱硫石膏质量

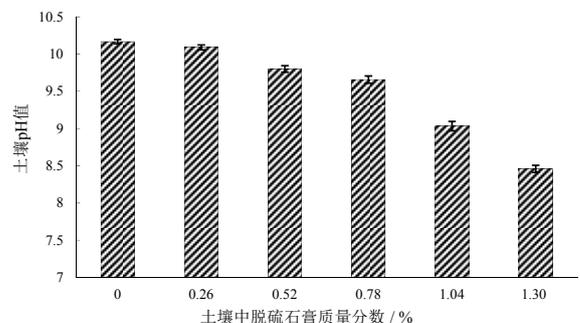


图 1 不同脱硫石膏施用水平下土柱 0~20 cm 土层土壤 pH 值的变化
Fig. 1 pH values for the 0-20 cm horizon soils in the soil columns amended with different quantities of FGD gypsum

分数为 0.26% 的处理外, 其余处理 pH 值较对照均有显著降低。其中 1.30% (脱硫石膏质量分数) 的处理 pH 值下降最明显, 从 10.2 降至 8.5, 降幅 1.7, 下降了 16.8%。

2.1.2 各处理间的土壤 EC 值变化

从图 2 中可以看出, 施用脱硫石膏后的土壤电导率值 (EC) 均有显著降低, 且呈现出与土壤 pH 值相同的下降趋势, 随着脱硫石膏施用量的增加, EC 值下降幅度增大。EC 值最低能降到 245.8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。由于土壤浸出液的电导率值能反映土壤含盐量的高低, 且在一定浓度范围内, 溶液的含盐量与电导率值呈正相关^[8]。因此, 可以推断施用脱硫石膏后土壤的水溶性盐量有了明显的降低, 且随着施入量的增加降幅增加。

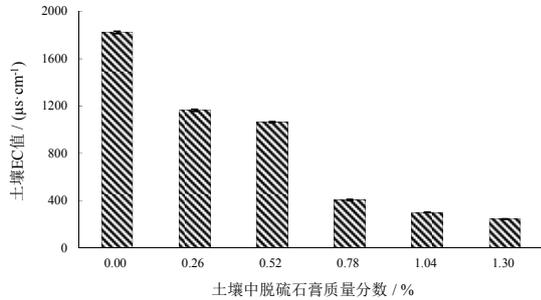


图 2 不同脱硫石膏施用水平下 0~20 cm 土层土壤 EC 值的变化
Fig.2 EC values for the 0-20cm horizon soils in the soil columns amended with different quantities of FGD gypsum

2.1.3 各处理间的土壤阳离子交换量变化

从表 2 可以看出, 除 0.26% 的处理外, 施用了脱硫石膏后的土壤交换性钙离子都明显高于对照土壤, 且交换性钠离子的含量较对照土壤都有明显降低, 表明脱硫石膏中的 Ca^{2+} 与碱化土的 Na^+ 发生了置换, 使得碱化土得到改良。从图 3 也可以看出土壤 ESP 变化明显, 且随着石膏施入量的增加 ESP 降幅增加。

因此, 从以上 3 种土壤理化性质的变化趋势可以看出, 脱硫石膏对于盐碱土具有明显的改良作用。

表 2 不同脱硫石膏施用水平下 0~20 cm 土层土壤中阳离子交换量($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 Cation concentrations ($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) in 0-20 cm horizon soils amended with different ratios of FGD gypsum

w(脱硫石膏)/%	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
0	80.91±0.92	9.48±0.10	0.48±0.02	20.14±0.57
0.26	80.10±1.16	9.28±0.06	0.53±0.01	14.95±0.23
0.52	82.68±2.06	9.12±0.06	0.46±0.04	13.41±0.67
0.78	85.52±1.94	8.35±0.37	0.42±0.03	4.64±0.19
1.04	87.07±4.32	8.10±0.13	0.36±0.02	2.44±0.30
1.30	87.81±2.55	8.14±0.36	0.35±0.03	1.25±0.21

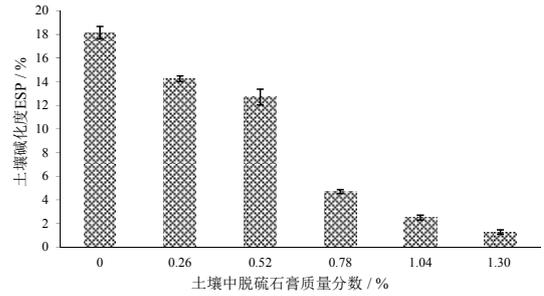


图 3 不同脱硫石膏施用水平下土壤 ESP 的变化

Fig. 3 ESP variations in soils amended with different FGD gypsum amounts

2.2 不同施用量下土柱实验土壤不同深度重金属质量分数的变化

2.2.1 土壤总砷变化

土壤中砷质量分数的 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准为 25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由图 4 可以看出, 加入脱硫石膏后, 0~20 cm 土层的砷质量分数较对照有所降低, 只有在 1.04% 的脱硫石膏质量分数情况下, 土层的砷质量分数较对照有所增加, 在脱硫石膏质量分数为 0.26% 的情况下, 20~40 cm 土层和 40~60 cm 土层的砷质量分数较对照有所降低, 其他土层深度各处理砷质量分数

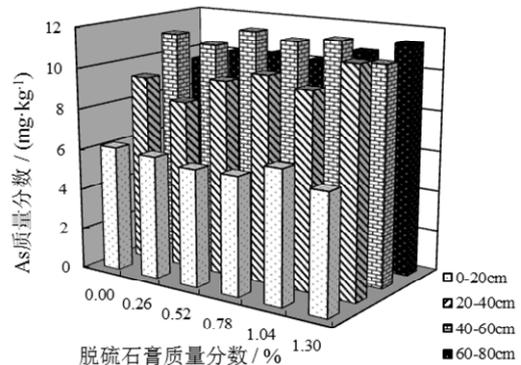


图 4 不同土层土壤中砷分布

Fig. 4 Distribution profiles of As in the soil horizons

较对照都有所增加, 说明脱硫石膏的加入确实引起了土壤砷质量分数的变化, 但是土壤砷质量分数的平均值始终低于国家标准。整体上, 随着石膏施入量的增加, 砷质量分数增加, 但是各土层的砷质量分数变化表现不规律, 特别是 60~80 cm 土层砷质量分数均低于 40~60 cm 土层, 土壤中砷质量分数随土壤深度变化规律不明显, 与 Keegan 等^[9]对斯洛伐克电厂周边土壤中砷的垂直分布无明显规律吻合。

2.2.2 土壤总汞变化

土壤中汞质量分数的 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准为 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从图 5 可以看出, 脱硫石膏加入量的增加使得汞在土壤中

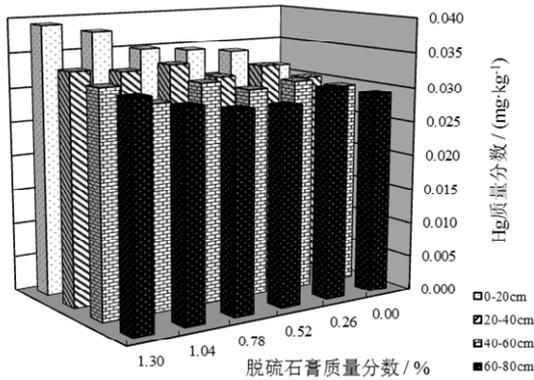


图5 不同土层土壤中汞分布

Fig. 5 Distribution profiles of Hg in the soil horizons

的质量分数有所增加,但是各处理土壤的汞质量分数均低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准。从图5中也可以看出,6个处理均表现出随着土柱深度的增加,Hg质量分数降低的趋势,但各处理每层横向比较土壤中汞质量分数未见明显差异,表明在一定范围内受脱硫石膏施用量的影响较小^[10]。

2.2.3 土壤总镉变化

土壤中镉质量分数的 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准为 0.6 mg·kg⁻¹。如图6所示,加入脱硫石膏后,0~20 cm 土层的镉质量分数较对照都有所降低,其余土层土壤镉质量分数较对照具有明显增加。另外,随着土层深度增加,镉的质量分数逐渐上升,40~60 cm 土层最高,这是由于镉在土壤中具有较高的迁移活性,因而淋洗过程中纵向向下迁移速度较快^[11-12]。同时,各处理土壤镉质量分数平均值均低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准,随着脱硫石膏施用量的增加各层土壤镉质量分数未见显著差异。

2.2.4 土壤总铬变化

土壤中铬质量分数的 GB 15618—1995《土壤

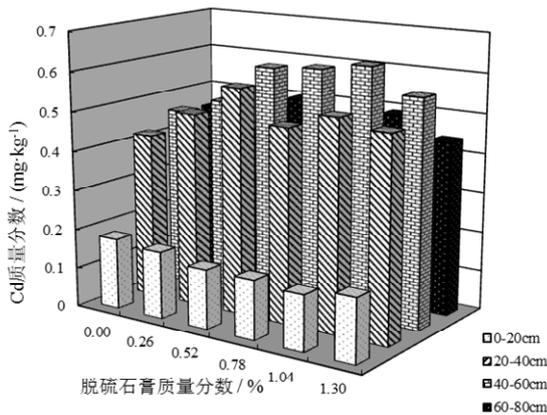


图6 不同土层土壤中镉分布

Fig. 6 Distribution profiles of Cd in the soil horizons

环境质量标准》二级标准为 250 mg·kg⁻¹。从图7可以看出,实验土壤铬最高质量分数为 50.97 mg·kg⁻¹,远低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准,各处理的土壤铬质量分数未见明显差异,但呈现了随土层深度略有增加的趋势。有试验表明,当土壤 pH 在 6.5~8.5 的条件下,土壤中的三价铬能被氧化为六价铬^[13],通常情况下,Cr⁶⁺被土壤胶体吸附较弱,具有较高的迁移活性,这种活性随土层深度的增加,铬质量分数差异表现明显^[14],脱硫石膏中的铬进入土壤后首先在表层富集,由于表层土壤氧化还原电位较高,表层土壤中铬主要以六价铬的形态存在,在经过多次淋洗后表层土的铬向深层土壤运动。

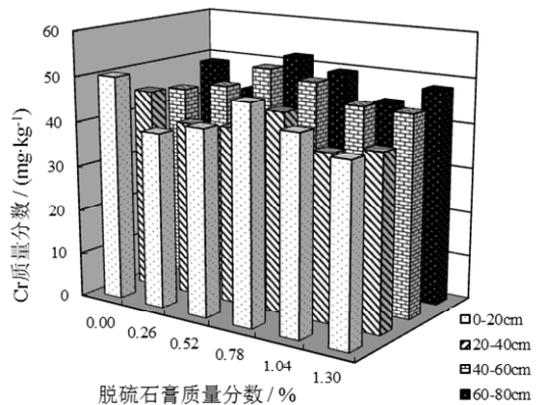


图7 不同土层土壤中铬分布

Fig. 7 Distribution profiles of Cr in the soil horizons

2.2.5 土壤总铅变化

土壤中铅质量分数的 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准为 350 mg·kg⁻¹。如图8所示,加入脱硫石膏的土壤除 0.78% (脱硫石膏质量分数) 的处理外,表层土的 Pb 质量分数与对照土壤无明显差异,各处理土壤中 Pb 质量分数呈现随土层加深而降低的趋势,说明外加入的 Pb 多

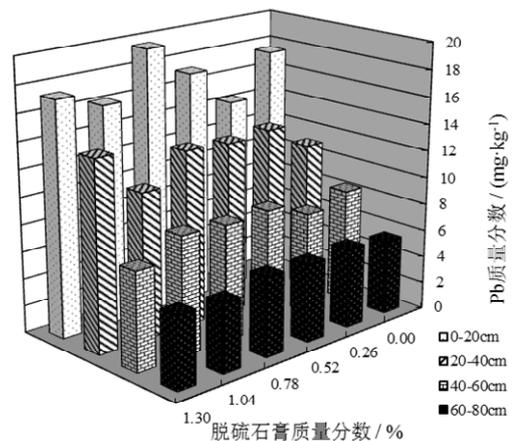


图8 不同土层土壤中铅分布

Fig. 8 Distribution profiles of Pb in the soil horizons

集中于土壤表层,但表层 0~20 cm 土层土壤 Pb 质量分数最高值为 $19.56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 远低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准,因此适量加入脱硫石膏不会引起土壤中铅超标。

由上述分析可以看出,加入脱硫石膏引起的土壤重金属质量分数变化均低于《土壤环境质量》国家二级标准。从不同种类重金属在实验所取得的数据来看,砷、汞、镉在蒸馏水溶淋作用下表现出向土壤深处迁移的趋势,因此,在一定的浓度范围内施用脱硫石膏,在雨水的冲刷作用下,不会导致严重的土壤砷污染,且砷多集中在下层土壤中,不会引起表土层作物根系的吸收;铬含量随深度分布比较均匀,铅含量的分布则呈现顶层多、深处少的趋势。可能的原因是脱硫石膏对重金属有解析效果,脱硫石膏能不同程度地降低土壤对重金属的吸附。

需要指出的是土壤重金属的环境危害不但与其总量有关,更重要的是与它们在土壤中的活性有关。土壤的性质对土壤重金属的活性有很大的影响^[3,15]。土壤中的重金属一般可分为可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物态、有机质结合态和残渣态,而不同形态的重金属活性可有很大差别,因此它们的移动性可有很大的差异^[16-17]。而且重金属在土壤中的停留时间长,可能对土壤的性质、利用方式有一定的影响。另外,本文针对《土壤环境质量》国家标准中规定的几种重金属元素进行了研究,但未涉及 Cu 和 Zn 等重金属。一方面,这些重金属在脱硫石膏中的含量及其环境影响已有相关研究^[3],结果表明脱硫石膏中 Cu 和 Zn 含量及其在改良后土壤中含量都低于国标最高容许量和土壤环境质量二级标准;另一方面,Cu 和 Zn 都是植物生长发育不可缺少的元素,只有在土壤溶液中超过一定水平才会对植物的生长造成危害。因此,这些问题将在今后开展进一步研究。

随着环保部门对火电厂大气排放控制标准的进一步提高,选择性催化脱硝装置的使用将不可避免地提高脱硫石膏中重金属质量分数,在这样的背景下,施用脱硫石膏改良盐碱地的重金属环境风险还需要用长期定位试验。

3 结论

本文通过土柱淋滤实验对加入不同重量比例脱硫石膏的不同盐碱土壤层中重金属 Pb、Cd、Cr、As、Hg 质量分数变化的检测分析,获得了如下一些结论:

(1) 加入适量的脱硫石膏能有效改善盐碱土壤的性状,改良后盐碱土壤的 pH 值、电导率值、及碱化度有明显降低。

(2) 燃煤烟气脱硫石膏的加入并未引起土壤重金属质量分数的显著变化,改良后土壤的重金属质量分数符合 GB 15618—1995 国家土壤环境安全标准。

(3) 不同重金属在不同土层中迁移分布特性不尽相同,砷、汞、镉有向土壤深处迁移的趋势,而铅则多分布在土壤顶层,铬质量分数随深度分布比较均匀。

参考文献:

- [1] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等. 烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4):38-23.
- [2] 李彦,张峰举,王淑娟,等. 脱硫石膏改良碱化土壤对土壤重金属环境的影响[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(6):86-89.
- [3] 徐胜光,蓝佩玲,廖新荣,等. 燃煤烟气脱硫副产物的重金属环境行为[J]. 生态环境, 2005, 14(1):38-42.
- [4] 周启星,黄国宏. 环境生物地球化学及全球环境变化[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 231.
- [5] 魏树和,周启星. 重金属污染土壤植物修复基本远离及强化措施探讨[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1):65-72.
- [6] 王英,段鹏选,张晔. 烟气脱硫石膏的基本性能研究[J]. 中国水泥, 2009(1):60-63.
- [7] 杨锐明,李彦. 微波消解及 ICP-AES 同时测定土壤中多种元素含量[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(8):26-28.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 183.
- [9] KEEGAN T J, FARAGO M E, THOMTON I, et al. Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia[J]. Science of the Total Environment, 2006, 358: 61-71.
- [10] 方凤满,杨丁,汪琳琳,等. 芜湖燃煤电厂周边土壤中砷汞的分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2010, 1(24): 109-113.
- [11] PICCOLO A. Distribution of heavy metals in profiles of ahydromorphic soil system[J]. Environmental Bulletin, 1992, 1(1): 16-21.
- [12] ROTHBAUM H P, GOGUEL R L, JOHNSTON A E, et al. Cadmium accumulation in soil from long continued application of superphosphate[J]. Journal of Soil Science, 1986, 37: 99-107.
- [13] 魏复盛. 土壤元素的近代分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 226.
- [14] 裴廷权,王里奥,钟山,等. 典型铬渣简易掩埋场铬渣及土壤铬污染特征和处置分析[J]. 环境工程学报, 2008, 2(7): 994-999.
- [15] 童泽军,李取生,周永胜. 烟气脱硫石膏对滩涂围垦土壤重金属解吸及残留形态的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6):2172-2176.
- [16] CEZARY K, SINGH B R. Fractionation and Mobility of Copper, Lead, and Zinc in Soil Profiles in the Vicinity of a Copper Smelter[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30:485-492.
- [17] ERNST W H O. Bioavailability of Heavy Metals and Decontamination of Soils by Plants[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11: 161-167.

Experimental investigation on distribution profiles of heavy metals in the desulfurization gypsum amended saline and sodic soils

WANG Shujuan, CHEN Qun, LI Yan, ZHANG Ning, ZHAO Bo, ZHUO Yuqun, CHEN Changhe

Research Center for Saline-alkali Soil Rectification and Carbon Fixation, Key laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education, Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Flue gas desulfurization (FGD) gypsum has been applied as an amendment to saline and sodic soils for nearly two decades. It has been proven that FGD gypsum is effective for reclaiming sodic soils. However, as a byproduct from wet desulfurization process, FGD gypsum thus contains some heavy metals either from coal or from limestone. The heavy metals that have entered the soils amended with FGD gypsum may be leached to the soil environment. To date, very few data are available to show the potential environmental risks of the heavy metals introduced by FGD gypsum on the soils. The migration of these extra heavy metals in the soils remains unclear. In this paper, soil column leaching experiments were carried out to investigate the distribution profiles of heavy metals, such as Pb, Cd, Cr, As and Hg, in different soil horizons. The results showed that the pH value, total dissolved salts (TDS) and exchangeable sodium percentage (ESP) significantly decreased in the FGD gypsum amended soils compared with those in the unamended soil. No significant accumulation of heavy metals was found in the soils with the introduction of FGD gypsum. However, Cd and Hg contents increased slightly in 60-80 cm and 40-60 cm horizons respectively, while Pb content in each horizon were significantly lower than those in the top surface horizon. Moreover, the contents of the heavy metals in the soils were well complied with the Environmental Quality Standard for Soils in China (GB 15618—1995), which implied that FGD gypsum would not deteriorate the soil environmental quality.

Key words: soil-column experiment; heavy metals; FGD gypsum; sodic soils