

不同土壤改良剂对大豆富集重金属的影响^①

董明芳, 范稚莲, 莫良玉*, 韦玉娅

(广西大学农学院, 南宁 530003)

摘要: 在广西环江开展了土壤改良剂对大豆富集重金属的影响研究, 结果表明: 土壤改良剂(煤灰、菌渣、蚕沙)均能在大豆苗期、结荚期和成熟期有效降低大豆中重金属含量。菌渣对大豆苗期重金属抑制效果最好, 蚕沙对成熟期重金属吸收的抑制效果最佳, 而煤灰在结荚期抑制重金属效果优于其他的改良剂, 并且对减少大豆籽粒中重金属含量作用效果最好。

关键词: 大豆; 生长期; 土壤改良剂; 土壤; 重金属

中图分类号: X53

中国是世界上人口最多, 且耕地严重不足的国家。土地污染, 尤其是重金属污染已经成为危害我国土壤环境质量和粮食安全的主要问题^[1-2]。重金属具有积累性、难降解性等特点^[3]。2014年4月环保部公布的全国土壤污染状况调查结果显示, 我国部分地区土壤污染较重, 耕地土壤环境质量堪忧, 从调查点位情况看, 全国土壤总的点位超标率为16.1%, 以无机型为主, 占全部超标点位的82.8%, 主要是Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 8种无机污染物^[4]。我国农田以Hg和Cd污染为主的污灌面积达1 000多万hm², 导致土地粮食减产, 每年受重金属污染的粮食产量约1 200万t, 粮食安全生产已成为全社会关注重要问题之一^[5]。

目前, 对重金属污染土壤施用改良剂进行修复的方法受到广泛关注, 其实际应用也比较广泛, 如赵明等^[6]研究发现施用有机肥后土壤中有效态Cd含量有所增加。而有关研究表明, 在重金属污染土壤中施用改良剂可以有效提高植物修复效率, 从而更好地修复被重金属污染的土壤^[7-8]。有研究发现, 使用石灰等改良剂, 都能降低三七中重金属含量^[9]; 而用蒙脱石、稻草和鸡粪改良铜矿尾矿砂, 对黑麦草生长有很明显的改善作用^[10]; 采用粉煤灰改良复垦土壤, 不会造成土壤重金属污染^[11]; 而利用微生物影响植物吸收重金属也是目前的研究热点^[12]。

大豆是我国的重要粮食作物之一, 重金属污染能

影响大豆的产量及品质。目前关于重金属对大豆作物的影响研究及重金属低积累大豆的研究已经有所报道^[13], 而在土壤改良剂对作物吸收重金属影响的方面, 针对玉米、小白菜等作物开展的研究居多^[14-17], 针对大豆开发高效的土壤改良剂来降低大豆作物对土壤中重金属吸收, 从而提高大豆产量与品质的研究鲜见报道。

本试验针对环江地区农田土壤中As、Pb和Zn主要集中在分布在表层0~30 cm, 发生土壤酸化现象的土层厚度为0~70 cm的特点, 利用煤灰、蚕沙、菌渣等废弃物作为土壤改良剂, 研究了3种土壤改良剂单独施加及混合施加对大豆作物不同生长期吸收富集重金属的影响, 以降低大豆作物中重金属含量为目标, 寻找一种成本低、易推广的土壤改良剂, 为重金属污染土壤的修复和保障粮食的安全生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试植物为广西环江当地种植的大豆品种, 土壤改良剂分别是煤灰、蚕沙和菌渣, 其中菌渣主要成份为桑树枝和少部分麦麸, 大豆种植过程中施加复合肥为芭田-高塔218, 成分比例为N:P:K=21:11:13。

试验地点位于广西壮族自治区环江毛南族自治县,

基金项目: 广西自然科学基金项目(2014GXNSFAA118072)资助。

* 通讯作者(moliangyu99@yahoo.com.cn)

作者简介: 董明芳(1988—), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 研究方向为土壤环境生态。E-mail: dmf2011@126.com

该试验地因洪灾导致的铅锌金属矿区尾砂坝坍塌,造成严重污染后一直闲置,经过采样,对该地土壤理化性质(表 1)进行了测定。

表 1 土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

测定项目	测定值	测定项目	测定值
水分(g/kg)	28	有效磷(mg/kg)	29.8
pH	5.5	Cr(mg/kg)	34.05
有机质(g/kg)	23.5	Ni(mg/kg)	12.55
黏粒(g/kg)	83	Cu(mg/kg)	10.68
粉粒(g/kg)	98	Zn(mg/kg)	410
全氮(mg/kg)	740	As(mg/kg)	38.59
速效氮(mg/kg)	80.8	Cd(mg/kg)	2.39
全钾(mg/kg)	5.1	Hg(mg/kg)	0.086
速效钾(mg/kg)	4.7	Pb(mg/kg)	30.12
全磷(mg/kg)	737		

1.2 试验方法

本试验按不同处理和小区进行划分,共设 6 个处理,其中包括单独施加煤灰、菌渣和蚕沙 3 种土壤改良剂处理,以及将两种土壤改良剂煤灰/蚕沙、煤灰/菌渣混合施用的 2 个处理,将不施加任何土壤改良剂作为对照(CK),每个处理进行 4 次重复。土壤改良剂的单位面积施用量为:煤灰为 6 kg/m²,菌渣为 3.33 kg/m²,蚕沙为 1.67 kg/m²,煤灰/蚕沙为 (6 kg/1.67 kg)/m²;煤灰/菌渣为(6 kg/3.33 kg)/m²。

本试验中每个处理的 4 次重复设为 4 个小区,每个小区长为 5 m,宽为 3 m,每个小区总面积为 15 m²,小区采用随机排列分布。2010 年 5 月 10 日播种,于大豆生长发育过程中分苗期、结荚期和成熟期 3 次采样,采样时间分别为当年的 6 月 21 日、8 月 28 日和 10 月 15 日。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤的理化性质的测定 1) 土壤取样方法:采用 S 形线路法采样,各个点都是随机决定。

2) 土样预处理及测定方法:风干,粉碎过筛(分为 18 目,100 目)后保存。有机质:重铬酸钾容量-外加热法;全氮:凯氏定氮法;有效氮:碱解扩散法;全磷:钒钼黄比色法;速效磷:NH₄F-HCl 法;全钾:NaOH 熔融,火焰光度法;有效钾:NH₄OAc 浸提,火焰光度法^[18]。

1.3.2 大豆重金属含量的测定 1) 样品的前期处理。清洗干净,在烘箱中的 105℃ 条件下,杀青 30 min,然后 65℃ 烘干到恒重,然后将烘干的样品分为不同部位粉碎装袋保存,待下一步处理。

2) 消煮。消煮样品使用的仪器是微波消解仪——MARS。消煮的方法与过程:称取 0.300 g 左右的植物烘干样,加入 7 ml 的硝酸,1 ml 的双氧水然后进行消煮^[19]。

3) 重金属含量的测定。测定的方法:电感耦合等离子光谱发生仪(ICP)测定,利用每种元素的原子或离子发射特征光谱来判断物质的组成,而进行元素的定性分析与定量分析。

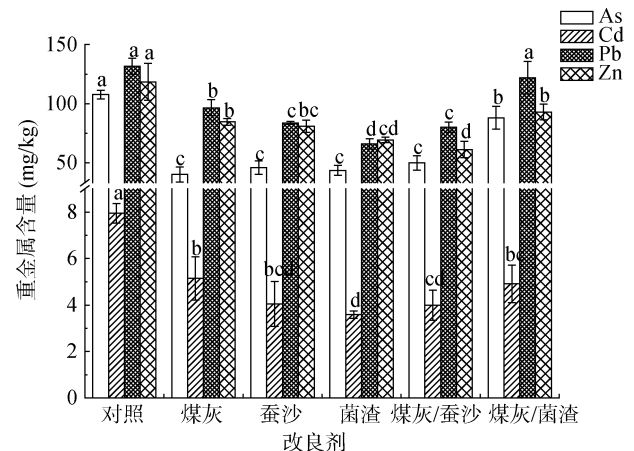
1.4 数据的统计分析

数据用 SPSS 中通用线性模型单因素变量法进行方差分析^[20],图采用 Origin 8.5 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 不同改良剂处理对大豆苗期重金属含量的影响

2.1.1 根部重金属含量变化 不同处理的大豆苗期根部 As 和 Cd 含量如图 1 所示。单独施加和混合施加土壤改良剂都能显著抑制大豆根部对 As、Cd 的吸收,使得根部的 As 和 Cd 含量明显降低。3 种改良剂单独施加对抑制大豆根部吸收重金属 Cd 效果,菌渣>蚕沙>煤灰,与对照相比,单独施加菌渣处理根部 Cd 含量降低了 54.90%;煤灰处理对抑制重金属 As 吸收的效果最好,与对照相比根部 As 含量降低了 62.77%。土壤改良剂混合施加对大豆根部吸收 As 的效果比单独施加效果差;煤灰/菌渣混合施加处理根部的 As 和 Cd 含量较对照均降低近 50%,该结果显著优于煤灰/蚕沙混合施加处理。



(图中不同小写字母表示对同一重金属不同处理间差异在 P<0.05 水平显著,下同)

图 1 不同处理大豆苗期根部重金属含量

Fig. 1 Heavy metal contents in soybean roots in seedling stage under different treatments

改良剂处理大豆苗期根部 Pb 和 Zn 含量均低于对照(图 1)。单独施用菌渣处理对 Pb 的抑制效果最明

显,使得根部 Pb 含量较对照降低 49.98%,其次为煤灰/蚕沙处理,其根部 Pb 含量较对照减少 39.29%,煤灰/菌渣处理效果较差,Pb 含量较对照仅降低 7.42%。煤灰/蚕沙处理大豆根部 Zn 含量较对照降低 48.45%,抑制 Zn 吸收效果最明显,其次是菌渣处理,再次是蚕沙处理,二者根部 Zn 含量较对照分别降低 41.49% 和 31.71%。煤灰/蚕沙混合施加处理与蚕沙单独施加处理对 Pb 抑制效果差异不大,显著强于煤灰单独施加处理。

2.1.2 地上部重金属含量变化 图 2 显示,施加改良剂后,大豆植株地上部重金属 As、Cd 含量均显著低于对照。单独施加菌渣处理对 As、Cd 抑制效果最明显,地上部 As 和 Cd 的含量分别比对照降低 30.30% 和 20.81%;对于大豆作物地上部 As 的抑制作用,菌渣单独施加处理的抑制效果优于煤灰/菌渣混合施加处理,煤灰与蚕沙混合施用处理优于蚕沙单独施用处理,与菌渣混合作用效果刚好相反。总之,煤灰与蚕沙混合处理有利于提高改良剂的抑制效果,菌渣处理对大度作物地上部 As、Cd 的抑制效果最好。

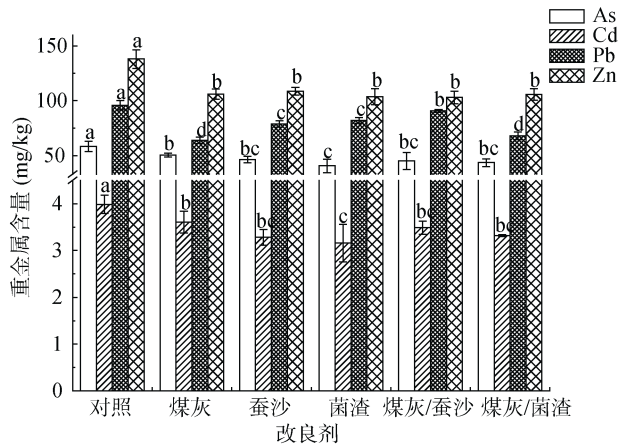


图 2 不同处理大豆苗期地上部重金属含量

Fig. 2 Heavy metal contents in above-ground parts of soybean in seedling stage under different treatments

改良剂处理大豆植株地上部重金属 Pb、Zn 的含量均显著低于对照(图 2)。煤灰处理抑制 Pb 吸收效果最明显,其地上部 Pb 含量较对照降低 33.47%,而煤灰/蚕沙处理效果最差,仅降低 5.42%。各改良剂处理均能降低地上部的 Zn 含量,降幅高于 20%,煤灰/蚕沙处理降低 25.40%,蚕沙处理降低 21.24%;煤灰/蚕沙混合施用处理对 Zn 的抑制作用比改良剂单独施用效果好,但差异不显著。

2.2 不同改良剂处理对大豆结荚期重金属含量的影响

2.2.1 根部重金属含量变化 图 3 显示,改良剂处

理大豆植株根部 As 和 Cd 含量均显著降低。单独施加煤灰处理对重金属 As、Cd 吸收的抑制作用最大,根部重金属含量较对照分别降低 36.38% 和 29.24%,其他改良剂混合施加效果不理想。

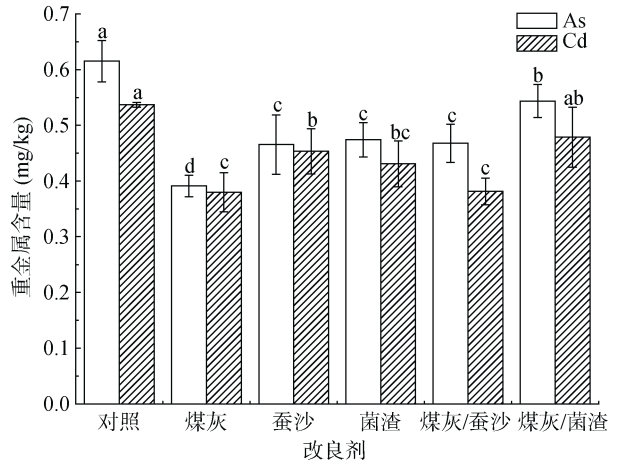


图 3 不同处理大豆结荚期根部 As、Cd 含量

Fig. 3 Cd and As contents in soybean roots in podding stage under different treatments

不同改良剂处理大豆结荚期根部 Pb 和 Zn 含量表现出不同的抑制效果(图 4)。煤灰/蚕沙处理对大豆结荚期根部 Pb 和 Zn 抑制效果最明显,能有效降低 Pb 和 Zn 的含量分别为 55.54% 和 58.25%;煤灰与蚕沙混合施用处理较二者单独施用处理对重金属吸收的抑制作用明显提高。

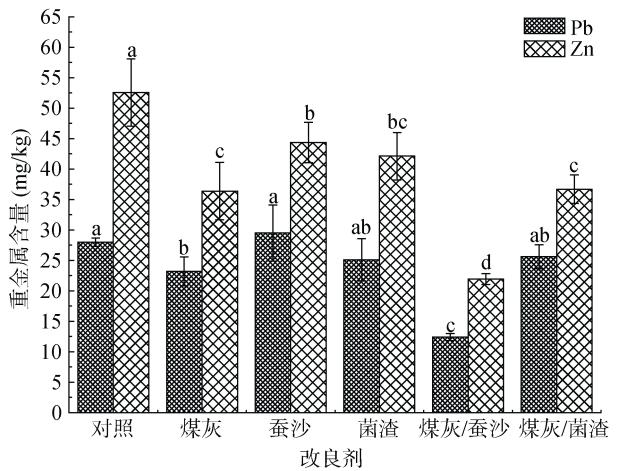


图 4 不同处理大豆结荚期根部 Pb、Zn 含量

Fig. 4 Pb and Zn contents in soybean roots in podding stage under different treatments

2.2.2 茎叶重金属含量变化 图 5 显示,改良剂处理大豆结荚期茎叶中重金属含量除 Cd 以外均显著降低,单独施加煤灰处理抑制 As、Pb、Zn 的效果最好。蚕沙处理大豆茎叶 Cd 含量较对照显著降低 23.32%。

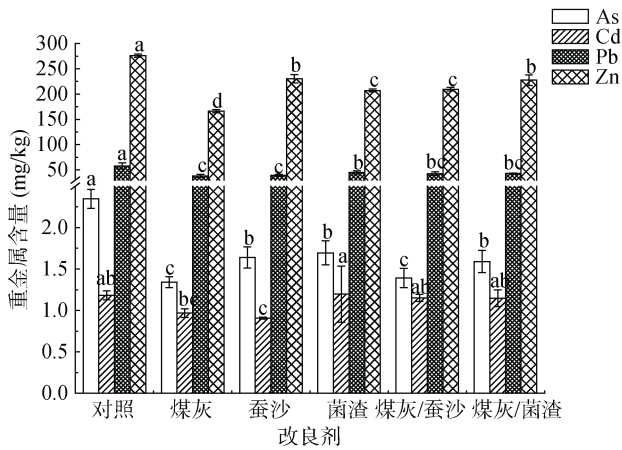


图 5 不同处理大豆结荚期茎叶重金属含量

Fig. 5 Heavy metal contents in soybean stems and leaves in podding stage under different treatments

2.2.3 豆荚重金属含量变化 图 6 显示,改良剂处理大豆豆荚中重金属含量均显著降低。3 个改良剂单独施用处理(煤灰、蚕沙和菌渣)对 As 具有较大抑制作用,豆荚中 As 含量分别降低 42.63%、45.10% 和 48.12%,但煤灰/蚕沙混合施用处理对 As 的抑制效果最好,豆荚中 As 含量降低 62.47%。煤灰处理对结荚期豆荚中 Cd 抑制作用最好,其次是蚕沙处理;而蚕沙、菌渣处理则对豆荚中 Pb 的抑制效果最明显;煤灰处理对豆荚吸收 Zn 的抑制作用较大。

2.3 不同改良剂处理对大豆成熟期重金属含量的影响

2.3.1 茎叶重金属含量变化 大豆成熟期茎叶中

重金属含量如表 2 所示。除煤灰/蚕沙处理外,其余 4 个改良剂处理大豆茎叶中重金属 As 含量均显著降低,煤灰处理能有效降低茎叶中的 As 38.36%,其次是菌渣处理,降低 19.72%,再次是蚕沙处理。煤灰、蚕沙和菌渣处理大豆茎叶中 Cd 含量均显著降低,其中蚕沙处理能有效降低茎叶中 Cd 30.92%。3 个改良剂单独施加处理均能有效降低大豆茎叶 Pb 含量,其中煤灰、蚕沙单独施用处理对 Pb 的抑制作用最大,分别降低茎叶中 Pb 含量 28.67% 和 29.05%;蚕沙处理茎叶中 Zn 的抑制作用最大,Zn 含量降低 26.02%。

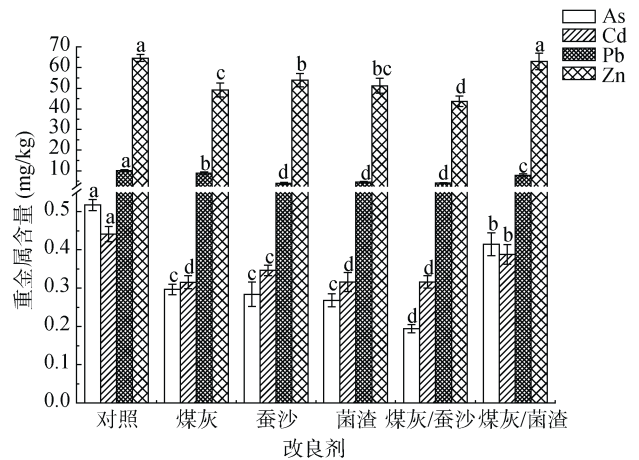


图 6 不同处理大豆结荚期豆荚重金属含量

Fig. 6 Heavy metal contents in soybean pods in podding stage under different treatments

表 2 大豆成熟期茎叶中重金属含量(mg/kg)

Table 2 Heavy metal contents in soybean stems and leaves in mature stage

处理	As	Cd	Pb	Zn
对照	0.67 ± 0.02 a	0.50 ± 0.02 a	18.9 ± 0.7 a	61.5 ± 2.7 a
煤灰	0.41 ± 0.03 d	0.43 ± 0.03 b	13.5 ± 1.2 b	55.7 ± 3.0 a
蚕沙	0.57 ± 0.03 b	0.35 ± 0.02 c	13.4 ± 0.8 b	45.5 ± 2.8 b
菌渣	0.53 ± 0.02 bc	0.43 ± 0.01 b	14.9 ± 1.3 b	47.4 ± 3.3 b
煤灰/蚕沙	0.66 ± 0.02 a	0.51 ± 0.02 a	20.1 ± 1.4 a	57.3 ± 2.8 a
煤灰/菌渣	0.53 ± 0.03 c	0.48 ± 0.03 a	13.7 ± 0.8 b	47.8 ± 3.5 b

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.3.2 籽粒重金属含量变化 大豆成熟期籽粒中重金属含量如表 3 所示。不同改良剂处理的大豆籽粒中 As、Cd 的含量均显著降低,3 个改良剂单独施用处理时,蚕沙处理抑制作用最大,其大豆籽粒中 As、Cd 的含量分别降低 51.10%、72.76%。煤灰处理大豆籽粒中 Pb、Zn 的含量分别降低 61.58% 和 37.79%,而蚕沙处理分别降低 48.59% 和 29.95%。

综上,3 个改良剂对成熟期大豆籽粒吸收重金属均有显著的抑制作用,煤灰和蚕沙处理的作用均较

好,改良剂混合施用不能增强改良剂的抑制作用。根据豆类食品中污染物限量标准^[21],除 Pb 外,大豆成熟期籽粒中重金属含量均不超标。

3 讨论

本试验中改良剂对大豆苗期、结荚期、成熟期吸收重金属均有抑制作用。苗期,对根部吸收重金属抑制效果最好的是菌渣,对地上部吸收重金属抑制效果最好的为菌渣和煤灰。结荚期,对根部吸收重金属抑

表 3 大豆成熟期籽粒中重金属含量(mg/kg)
Table 3 Heavy metal contents in soybean grains in mature stage (mg/kg)

处理	As	Cd	Pb	Zn
对照	0.05 ± 0.01 aA	0.48 ± 0.02 aA	0.51 ± 0.01 aA	84.92 ± 3.11 aA
煤灰	0.03 ± 0.01 cC	0.14 ± 0.01 bB	0.20 ± 0.02 bB	52.83 ± 3.07 cC
蚕沙	0.02 ± 0.01 dD	0.13 ± 0.02 bB	0.26 ± 0.02 bB	59.49 ± 2.9 bBC
菌渣	0.03 ± 0.01 cCD	0.16 ± 0.03 bB	0.31 ± 0.02 bB	62.61 ± 3.53 bB
煤灰/蚕沙	0.04 ± 0.01 bB	0.15 ± 0.03 bB	0.23 ± 0.01 bB	62.77 ± 1.44 cC
煤灰/菌渣	0.03 ± 0.01 cC	0.15 ± 0.02 bB	0.24 ± 0.02 bB	63.31 ± 2.89 bB
限量标准 ^[21]	0.20	0.20	0.20	100

注：同列不同小写、大写字母分别表示处理间差异在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 水平显著。

制效果最明显的为煤灰，其次是煤灰/蚕沙；对茎叶吸收重金属抑制作用最明显的是煤灰，其次是蚕沙；对豆荚吸收重金属抑制效果最好的是煤灰。成熟期，对茎叶吸收重金属抑制效果最明显的是蚕沙，其次是煤灰和菌渣，煤灰/蚕沙施用效果最差；对籽粒吸收重金属抑制效果最好的是煤灰，其次是煤灰/蚕沙。

本试验研究结果与前人报道结果基本一致，施用改良剂能明显降低作物对重金属的吸收，并且粉煤灰的作用更明显^[22-23]；陈恒宇等^[24]通过盆栽实验发现，改良剂的施加可使土壤 Pb 的有效态含量降低、活性下降，抑制 Pb 在土壤-植物体系的迁移，从而有利于植物安全生产。研究发现，在 Cd 胁迫下，石灰+鸡粪+过磷酸钙处理与对照相比生物量增加的最大^[25]；张青等^[26]研究发现蚕沙和菌渣对水稻 Pb、Zn 的含量降低的效果较好，改良剂可以使土壤的有效态 Cr 和 Zn 含量显著减少，变为植物不容易吸收的形态，同时提高土壤的 pH。Lee 等^[27]发现，使用粉煤灰和骨粉降低茼蒿地上部 Pb、Cr 含量的效果显著，能显著增加茼蒿的地上部生物量。

土壤改良剂能有效抑制大豆作物对重金属的吸收，其原因有几点：不同改良剂的添加改变了重金属的有效态，交换态重金属离子的减少，抑制植物的吸收转运^[28]；改良剂改变了植物根际 pH、Eh，土壤 pH 不仅决定各种土壤矿物的溶解度，而且影响着土壤溶液中各种离子在固相上的吸附程度。丁园和刘继东^[29]通过施加两种剂量石灰石改良受重金属复合污染红壤的理化性质，使其 pH 分别提高到 4.67 ~ 4.93 和 6.19 ~ 6.73。因为大多数重金属在土壤内是结合或吸附在氧化物的表面上，所以可以通过氧化还原点的变化，从而从土壤内获得不溶性的重金属，以及大多数植物可以从根部释放机酸和还原剂来还原 Fe、Mn 氧化物^[30-32]；改良剂能与土壤中的重金属共沉淀，重金属与碳酸盐、铁锰氧化物结合，吸附在其表面或以之形成的共沉淀，或者固定在矿物晶格中

不容易释放的部分^[24]。

4 结论

本试验中所采用土壤改良剂对大豆作物不同生育期吸收重金属均有抑制作用。从试验结果可以得出，5 种土壤调节剂中煤灰是抑制大豆作物吸收重金属的最佳土壤改良剂，并且经煤灰处理的大豆作物中的重金属含量都没有超标。而其他改良剂处理的大豆籽粒中的 Pb 含量虽然都明显降低，但 Pb 含量超过国家标准。本试验结果为进一步探讨用煤灰作为土壤调节剂开展研究及推广应用提供了数据支持和依据，为解决农田土壤重金属污染问题和粮食安全生产提供了技术支持。

参考文献：

- [1] 周静, 崔红标, 梁家妮, 等. 重金属污染土壤修复技术的选择和面临的问题[J]. 土壤, 2015, 47(2): 283-288
- [2] 宋昕, 林娜, 殷鹏华. 中国污染场地修复现状及产业前景分析[J]. 土壤, 2015, 47(1): 1-7
- [3] 李洋, 于丽杰, 金晓霞. 植物重金属胁迫耐受机制[J]. 中国生物工程杂志, 2015, 35(9): 94-104
- [4] 人民网. 环保部国土部发布公报称全国 16%土壤面积遭污染[OL]. (2014-4-17). <http://society.people.com.cn/n/2014/0417/c1008-24910096.html>
- [5] 杨伯杰, 林创发. 土壤重金属污染现状及其修复技术方法概述[J]. 能源与环境, 2015, 1: 60-61
- [6] 赵明, 蔡葵, 孙永红, 等. 不同施肥处理对番茄产量品质及土壤有效态重金属含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 1 072-1 078
- [7] Martínez F D, Walker D J. The effects of soil amendments on the growth of *Atriplex halimus* and *Bituminaria bituminosa* in heavy metal-contaminated soils[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2012, 223(1): 63-72
- [8] 李磊, 陈宏, 潘家星, 等. 改良剂对红蛋植物修复污染土壤重金属铅和镉效果的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 822-825
- [9] 刘云芝, 张文斌, 冯光泉, 等. 改良剂对降低三七中重金属残留量的作用的研究[J]. 云南农业大学学报, 2008(1): 118-121

- [10] 郝秀珍, 周东美, 王玉军, 等. 不同改良剂对铜矿尾矿砂的改良效果研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 11-15
- [11] 高祥伟, 胡振琪, 费鲜芸, 等. 粉煤灰改良复垦土壤重金属污染的可拓评价[M]. 煤炭工程, 2006, 5(2): 71-72
- [12] 郭军康, 董明芳, 丁永祯, 等. 根际促生菌影响植物吸收和转运重金属的研究进展[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1 228-1 234
- [13] 智杨, 孙挺, 周启星, 等. 铅低积累大豆的筛选及铅对其豆中矿物营养元素的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(6): 1 939-1 945
- [14] 胡丽萍, 周国兴, 李冲, 等. 复合改良剂对镉污染土壤中小白菜品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(18): 35-40
- [15] 施春婷, 彭嘉宇, 黄勇, 等. 改良剂对土壤镉铅生物有效性及其在玉米中累积状况研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(4): 1 689-1 696
- [16] 李丹, 李俊华, 何婷, 等. 不同改良剂对石灰性镉污染土壤的镉形态和小白菜镉吸收的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(9): 1 679-1 685
- [17] 李素霞, 韦司棋, 刘云霞. 3 改良剂对氮镉互作下小白菜产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(4): 1 709-1 712
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 14-107
- [19] 王晓雁, 刘隆, 李慧慧. 微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法测土壤中的几种重金属[J]. 绿色科技, 2015(8): 189-192.
- [20] 白厚义. 试验方法及统计分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 105-1321
- [21] 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012
- [22] 邓惠强, 聂呈荣. 不同改良剂对镉污染土壤中油麦菜生物量及镉含量的影响[J]. 佛山科学技术学院学报, 2013, 31(4): 7-11
- [23] 聂呈荣, 杨文瑜, 邓日烈, 等. 不同改良剂对镉污染土壤上生长的油麦菜生理生化特性的影响[J]. 佛山科学技术学院学报, 2010, 28(1): 62-66
- [24] 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, 27(1): 7-17
- [25] 刘维涛, 周启星. 不同土壤改良剂及其组合对降低小白菜镉和铅含量的作用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(9): 1 846-1 853
- [26] 张青, 李菊梅, 徐明岗, 等. 改良剂对复合污染红壤中镉锌有效性的影响及机理[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 861-865
- [27] Lee S H, Park H, Koo N, et al. Evaluation of the effective of various amendments on trace metals stabilization by chemical and biological methods[J]. Hazard Mater, 2011, 188: 45-51
- [28] 张晓薰, 罗泉达, 郑瑞生, 等. 石灰对重金属污染土壤上镉形态及芥菜镉吸收的影响[J]. 福建农业学报, 2003, 18(3): 151-154
- [29] 丁园, 刘继东. 重金属复合污染红壤增施石灰石对黑麦草生长的影响[J]. 南昌航空工业学院学报, 2003, 17(1): 22-25
- [30] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. 2ed. San Diego. CA. USA: Academic Press, 1995
- [31] Uren N C. Chemical reduction of an insoluble higher oxide of manganese by plant roots[J]. J. Plant Nutr., 1981, 4: 65-71
- [32] Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(7): 844-851

Effects of Different Soil Ameliorants on Soybean Accumulating Heavy Metals

DONG Mingfang, FAN Zhilian, MO Liangyu*, WEI Yuya
(Agriculture College of Guangxi University, Nanning 530003, China)

Abstract: A study was carried out to investigate the effects of soil ameliorants on the accumulation of heavy metals by soybean in Huanjiang of Guangxi. The results showed that all soil ameliorants (coal ash, fungi residues, silkworm excrement) decreased effectively heavy metal contents in soybean, during the seedling, podding and mature stages. The heavy metals inhibition effects were best for mushroom residue in seedling stage, for silkworm excrement in mature stage, for coal ash in podding stage. Coal ash also reduced most heavy metal contents in soybean grains.

Key words: Soybean; Growing period; Soil ameliorant; Soil; Heavy metal