

采煤沉陷地新型复垦基质中 Cd 的植物去除效果研究

刘西敏, 冯永军, 郑九华, 郝桂喜

(山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 将粉煤灰与污泥按 4:1 的质量比混合组成新型复垦基质。采用盆栽试验,研究了油菜和小白菜在基质中的生长情况及其对基质中 Cd 的去除效果。结果表明:(1)油菜和小白菜在基质中生长较好,随着生长时间的延长,株高、叶面积和生物量显著增加。(2)在不同生长时期,两种植物的转运系数均大于 1,富集系数随着生长时间的延长而增大,表明两种植物对基质中 Cd 有较好的去除效果。

关键词: 油菜; 小白菜; 复垦基质; Cd; 植物修复

中图分类号: X173 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)01-0212-04

Experiment on Phytoremediation of Cd in Reclaiming Substrate for Coal Mine Subsidence Land

LIU Xi-min, FENG Yong-jun, ZHENG Jiu-hua, HAO Gui-xi

(College of Resource and Environments, Shandong Agriculture University, Taian 271018, China)

Abstract: In order to accelerate the reclamation of coal mine subsidence land and resource-oriented utilization of solid waste, fly ash was mixed with sewage sludge in weight proportion of 4:1 to get new reclaiming substrate. The removal of excessive Cd in reclaiming substrate through phytoremediation was studied using rape and pakchoi as plants by pot experiments. The growth character of rape and pakchoi and the phytoremediation effect of Cd in reclaiming substrate were researched by using fluvo aquic soil as control. The results showed that: (1) Rape and pakchoi grew better in reclaiming substrate, and their plant height, leaf area and biomass increased remarkably with extending of growth time. At harvest, the biomass of rape amounted to 30.65 g·plant⁻¹, evidently higher than that in the control. (2) During different growth period, the transformation coefficients of rape and pakchoi were both bigger than 1, and the absorption coefficient increased gradually with the growth of plants. So rape and pakchoi had good effectiveness on phytoremediation of Cd in reclaiming substrate.

Keywords: rape; pakchoi; reclaiming substrates; Cd; phytoremediation

煤炭和土地都是人类赖以生存的、不可再生的自然资源,随着人口的增加和经济不断发展的需要,二者的综合开发利用,推动着区域经济的发展、社会的进步和人民生活水平的提高。但由于煤炭和土地空间分布上的同位性以及采煤技术的限制,煤矿的开采往往引起土地塌陷,造成区域基础设施破坏、水土流失和生产力下降。据统计,全国每年因采煤塌陷土地 70 km²,平均每采万吨煤塌陷土地 0.2 hm²^[1],致使我国人口多耕地少的矛盾日益突出。采煤沉陷地的复垦治理

已成为世界各国研究的重要课题。粉煤灰和污泥都是工业废弃物,利用它们理化特性的互补性组成混合人工基质。基质中的盐分经过冲洗后,理化性质稳定,养分充足,可以种植植物^[2]。但这两种废弃物中都含有不同程度的重金属元素,监测结果表明基质中 Cd 的含量超过土壤环境二级指标,不适宜种植食用植物^[3]。为了使基质中可以种植食用植物,通过在基质中种植不同富集植物,研究其对基质中超标 Cd 的去除效果。

植物修复是 20 世纪 80 年代初期发展起来的环境污染治理技术。植物修复主要是指利用超富集植物(Hyperaccumulator)的提取作用将土壤中超量的重金属去除,从而达到清洁污染土壤的目的^[4]。由于这一技术被普遍认为具有物理、化学修复方法所无法比拟的费用低廉、不破坏土壤结构、不造成地下

收稿日期:2007-03-08

基金项目:山东省教育厅科技攻关资助项目(J02L07)

作者简介:刘西敏(1978—),女,硕士研究生,研究方向为土地开发与利用管理。E-mail:liuximin1978@163.com

通讯作者:冯永军 E-mail:fyj@sdaa.edu.cn

水的二次污染等优点,已成为当今污染土壤治理修复的研究热点^[5,6]。

本研究依据复垦基质的理化性质和超富集植物的特点,选取对 Cd 具有富集作用的油菜和小白菜,研究比较两种植物对基质中 Cd 的去除效果,拟为加快采煤沉陷地的复垦,并使矿区取得更好的经济、社会和生态效益提供途径和方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验设计

供试粉煤灰取自泰安市热电厂,厌氧消化污泥取自泰安市污水处理厂。为保证植物有充足的养分供应,本试验将粉煤灰和污泥按照 4:1 的质量比配成基质,并以中壤质潮土作为对照(CK)。试验在室外网室进行,将污泥晾干并过 2 mm 的筛子,然后将粉煤灰与污泥按质量比 4:1 的比例混匀,分别装入直径 30 cm、深 25 cm 的塑料桶中,桶底分别设 5 个直径 0.5 cm 的孔,每桶盛 12.5 kg 基质,并浇水 2 000 mL 造墒,将桶埋入地下,上口与地面持平。基质于 2003 年配制,由于基质中 Cd 等重金属含量较高,自 2003 年以来一直种植月季、苜蓿、草坪等观赏类植物,生长良好。2006 年 4 月取基质和对照,测定其主要理化性质和重金属含量(见表 1、表 2)。试验共 4 个处理,每个处理 3 次重复。

1.2 修复植物选择与管理

油菜和小白菜均具有对 Cd 的积累特征,且在我国生长较好、生物量大,可用作修复 Cd 污染土壤的超累积植物^[7,8]。本试验选取了油菜(日本华冠),小白

菜(鲁白六号)作为试验植物,种子均由泰安市种子公司提供。2006 年 4 月 6 日播种,每盆播种 50 粒,定期浇水,按常规作物进行管理。

1.3 分析方法

1.3.1 植物生长状况测定

主要测定植物的出苗率、株高、叶面积和生物量,均采用常规方法测定。通过计算出苗率、株高和生物量等指标来评价作物生长状况,各指标计算方法如下:

出苗率(ER)=出苗数/播种总数×100%

叶面积计算公式:

油菜 A (cm²)=1.138 6 Ae-0.542 1

白菜 A (cm²)=1.067 4 Ae-0.068 0

式中 Ae=(π ×叶长×叶宽)/4。

株高、主根长、叶面积用直尺测量(叶面积为真叶面积),每个处理测定 5 株,取平均值。生物量测定用称重法测定。

1.3.2 基质中重金属含量测定

在氟乙烯烧杯中用盐酸(HCl)、高氯酸(HClO₄)、硝酸(HNO₃)、氢氟酸(HF)四酸消煮后,原子吸收分光光度法测定。

1.3.3 植物积累 Cd 数量测定

在聚四氟乙烯烧杯中用高氯酸(HClO₄)、硝酸(HNO₃)消煮;重金属含量用原子吸收分光光度计测定。富集系数=植物体内 Cd 含量/基质中 Cd 含量^[9];转运系数=植物地上部 Cd 含量/根部 Cd 含量。

2 结果与分析

2.1 基质 Cd 对植物生长的影响

表 1 供试材料和基质的主要化学性质

Table 1 The basic physic-chemical characteristics of substrate

样品	速效氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹	有机质/%	全盐/g·kg ⁻¹	pH 值
粉煤灰	5.0	10.0	50.0	0.21	5.1	7.5
污泥	1 256.0	781.0	911.0	3.41	1.6	6.5
CK	30.90	15.03	130.86	1.56	1.53	7.3
基质	140.31	58.82	117.00	2.46	1.86	6.9

表 2 基质中的重金属本底值(mg·kg⁻¹)

Table 2 The contents of heavy metals in substrate(mg·kg⁻¹)

样品	As	Cr	Pb	Cd	Cu	Zn
CK	13.96	58.34	15.32	0.273	25.66	63.08
基质	11.60	62.90	47.74	0.836	53.57	95.16
土壤环境质量二级标准值	30	200	300	0.60	100	250

2.1.1 基质对植物出苗的影响

植物种植 5 d 后开始观测出苗情况,由图 1、2 看出,油菜和小白菜在基质中的出苗率稍高于对照,但差别不大。这主要是因为基质由粉煤灰和污泥混合而成,质地疏松,通透性好,利于植物的出苗。

2.1.2 基质对植物不同时期生长状况影响

株高和叶面积是反映作物生长的两个重要指标,基质中 Cd 含量虽超过土壤环境二级指标,但 Cd 含量 $<1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,油菜和小白菜在基质中均可以较好生长,且株高、叶面积和生物量均随着生长时间的延长而增加。植物在基质中的生物量要明显好于对照,原因可能是基质中有效 N、P、K 和有机质含量高于对照,能促进植株的生长;另一方面,低浓度的 Cd 也能促进植物生长^[20](见表 3)。

2.2 植物对基质中 Cd 的修复

2.2.1 植物对基质中 Cd 的吸收与积累

随着植物生长时间的延长和生物量的增加,植物地上部和根部对基质中 Cd 的积累量也逐渐增加,且

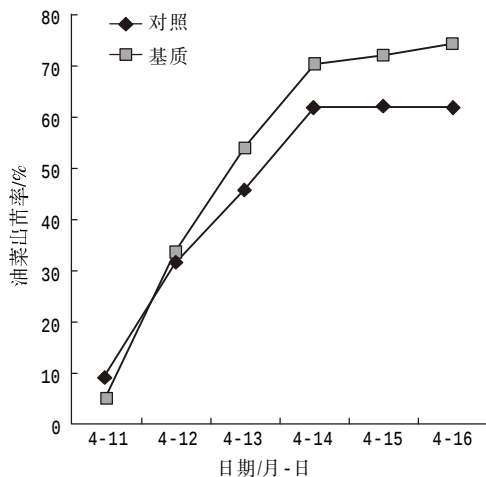


图 1 油菜出苗率变化图

Figure 1 Change of germination rate of rape

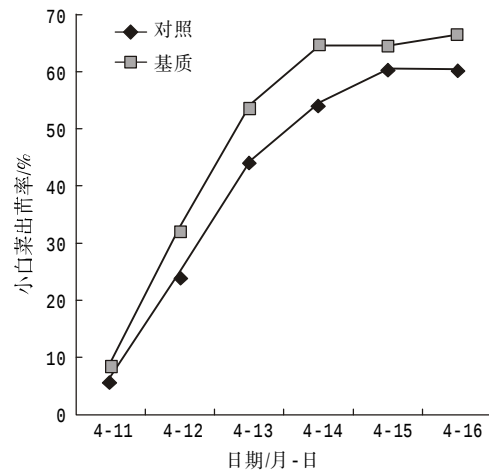


图 2 小白菜出苗率变化图

Figure 2 Change of germination rate of pakchoi

由图 3、4 可以看出植株地上部 Cd 含量大于根部;在同一生长期,小白菜地上部和根部对 Cd 的积累量均大于油菜;植物生长后期,随着植物的成熟,植物地上部和根部 Cd 的含量变化较小。由图 4 看出,6 月 2 日收获的小白菜地上部对基质中 Cd 的积累量达到 $0.632 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大于油菜在同一时期对 Cd 的积累量。

2.2.2 植物对基质中 Cd 的修复效果

富集系数反映土壤-植物体系中元素迁移的难易程度。转运系数表示植物从地下部向地上部运输的能力。试验中,小白菜的富集系数较高,6 月 2 日达到 0.723 9,大于同期油菜的富集系数;油菜和小白菜的转运系数均大于 1,说明油菜和小白菜根部向地上部运输 Cd 的能力较强,但随着生长时间的延长,转运系数有降低的趋势,说明油菜和小白菜的转运系数与根系的发育不成正相关关系;富集系数随着生长时间的延长不断增加,但在同一生长期,小白菜的富集系数略大于油菜,说明小白菜对基质中重金属 Cd 的富集能力略强于油菜(见表 4)。

表 3 基质对植物不同时期生长状况的影响

Table 3 Effects of substrate on quantitative characteristics of plants in different growth stages

植物	样品	株高 / cm			叶面积 / cm^2			生物量 / $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$		
		5 月 10 日	5 月 22 日	6 月 2 日	5 月 10 日	5 月 22 日	6 月 2 日	5 月 10 日	5 月 22 日	6 月 2 日
油菜	CK	9.1±0.04	10.6±0.05	12.1±0.08	113.60±0.06	148.13±0.07	196.32±0.06	4.11±0.03	5.93±0.04	17.63±0.05
	基质	10.5±0.03	11.5±0.04	13.2±0.10	148.55±0.05	170.71±0.09	233.28±0.15	6.50±0.03	11.22±0.06	30.65±0.09
小白菜	CK	10.2±0.05	9.8±0.03	11.5±0.07	274.35±0.05	321.24±0.10	374.86±0.08	5.61±0.05	5.95±0.04	18.26±0.05
	基质	11.4±0.06	10.2±0.05	12.1±0.12	276.91±0.08	375.36±0.14	385.69±0.12	6.78±0.04	10.27±0.08	29.33±0.07

注:表中数据为平均值±标准差;下同。

表 4 不同植物对基质中 Cd 的吸收积累特征

Table 4 Accumulation characteristic of Cd in substrate by different plants

植物	样品	富集系数			转运系数		
		5 月 10 日	5 月 22 日	6 月 2 日	5 月 10 日	5 月 22 日	6 月 2 日
油菜	CK	0.507 0±0.01	0.674 9±0.01	0.653 1±0.01	1.892 5±0.02	1.800 0±0.01	1.720 9±0.03
	基质	0.547 9±0.01	0.599 6±0.01	0.667 4±0.02	1.917 9±0.01	1.686 4±0.01	1.677 0±0.02
小白菜	CK	0.593 2±0.02	0.679 7±0.02	0.728 9±0.01	1.711 1±0.03	1.651 9±0.02	1.651 2±0.04
	基质	0.599 4±0.01	0.625 0±0.02	0.723 9±0.01	1.706 3±0.02	1.651 1±0.01	1.663 2±0.03

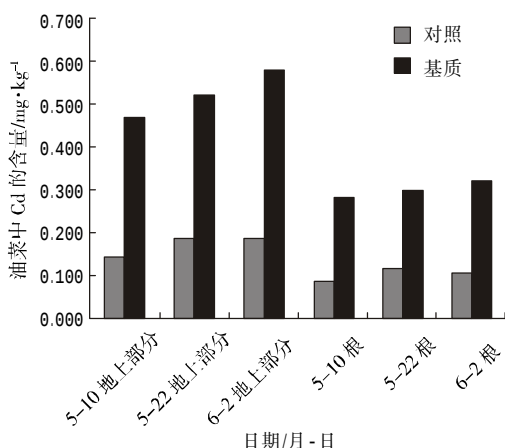


图 3 油菜不同时期对 Cd 的积累量

Figure 3 Contents of Cd in rape in different growth stages

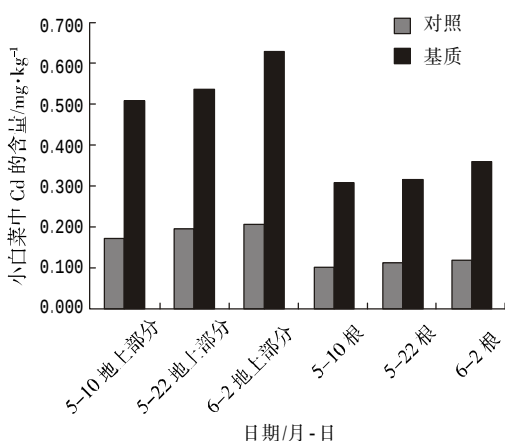


图 4 小白菜不同时期对 Cd 的积累量

Figure 4 Contents of Cd in pakchoi in different growth stages

3 结论

(1) 由于粉煤灰和污泥组成的混合基质,质地疏松,通透性好,同时含有大量的有机质和速效养分,油菜和小白菜在基质中的出苗率均高于对照,同时油菜和小白菜在基质中的生长较好,生物量也均高于对

照。

(2) 富集系数和转运系数是评价植物修复能力的两个指标^[1],油菜和小白菜的转运系数均大于 1,由于基质中 Cd 的含量 $<1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,油菜和小白菜的富集系数小于 1,但随着生长时间的延长而增大;油菜和小白菜的生物量较大,而且随着生物量的增加,其富集系数增大。因此,油菜和小白菜对基质中超标的 Cd 均具有较好的去除效果。这不仅可以加快矿区沉陷地的复垦,而且可促进矿区经济、社会和生态环境的健康发展。

参考文献:

- [1] 张发旺,侯新伟,韩占涛,等. 采煤陷地对土壤质量的影响效应及保护技术[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(3):67-70.
- [2] 王兆峰. 新型复垦基质与适种植物选择[D]. 山东泰安:山东农业大学硕士学位论文,2003.
- [3] 王晓玲,冯永军,康惊涛,等. 采煤沉陷地一种复垦基质植物生长试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(4):62-65.
- [4] Salt D E, Smith R D, Raskin I. Phytoremediation [J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1998,49: 643-668.
- [5] Chaney R L. Plant uptake of inorganic waste constituents[A]//Land Treatment of Hazardous Wastes Ed. By part, J. F. et al. Noyes Data Corp [D]. Park Ridge, 1983.50-76.
- [6] Cunningham, S D Ow D W. Promises and prospects of phytoremediation [J]. Plant physiology,1996,110: 715-716.
- [7] 苏德纯,黄焕忠. 油菜作为超累积植物修复镉污染土壤的潜力[J]. 中国环境科学,2002,22(1):48-51.
- [8] 段云青,王 艳,雷焕贵. 小白菜镉积累的基因型差异[J]. 河南农业科学,2005,11:74-77.
- [9] Salt D E, Blaylock M B, Kumar N P B A, et al. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants [J]. Biotechnology, 1995,13: 468- 474.
- [10] 史瑞和. 植物营养原理[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1989.101-104.
- [11] Baker A J M, Brooks R R, Pease A J, et al. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa with in the genus *Science* L. from Zaire[J]. Plant and Soil, 1983, 73: 377-385.