

# 粉煤灰对石油污染土壤修复的试验研究

武存喜

(延安职业技术学院,陕西延安 716000)

**摘要:**为改善石油污染土壤的环境,促进植物在污染土壤中的生长,通过对石油污染土壤中单独添加粉煤灰、添加粉煤灰+种植紫花苜蓿、单独种植紫花苜蓿等几种处理,探索粉煤灰添加对土壤中石油烃降解率的影响。结果表明:单独添加的粉煤灰,土壤中的石油烃降解率为4.14%~17.18%;单独种植紫花苜蓿,石油烃降解率为6.6%~30%;添加粉煤灰+种植紫花苜蓿,降解率为13.4%~60.36%,且3种处理石油烃降解率均随粉煤灰添加逐渐升高。粉煤灰加入量与紫花苜蓿生物量成正比,提高了紫花苜蓿的发芽率。说明粉煤灰能够较好改善土壤环境,促进紫花苜蓿的生长,从而实现土壤中石油污染的修复。

**关键词:**粉煤灰;土壤石油污染;石油烃;降解率

中图分类号:X5 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)04-0095-04

## Remediation of petroleum contaminated soil by fly ash

WU Cunxi

(Yan'an Vocational and Technical College, Yan'an 716000, China)

**Abstract:**To improve soil environment contaminated by petroleum and create a favorable condition for plants, the contaminated soil was treated by several processes. One process was just adding fly ash, another process was adding fly ash and planting alfalfa, the third process was just planting alfalfa. The degradation rate of petroleum hydrocarbon was also analyzed. The results showed that, the degradation rate of the above three processes in order were 4.14%~17.18%, 6.6%~30%, 13.4%~60.36%. The increase of fly ash addition improved the degradation rate of petroleum hydrocarbon. The addition of fly ash and biomass of alfalfa was positively correlated, and improved the germination rate of alfalfa.

**Key words:**fly ash; soil contaminated by petroleum; petroleum hydrocarbon; degradation rate

## 0 引 言

随着我国火力发电的发展,产生大量的粉煤灰。据统计由发电燃煤产生的粉煤灰总堆存量已超过10亿t,而且还在以每年0.8亿~1亿t的速度增加<sup>[1]</sup>。粉煤灰存放不仅占用大量土地,还会造成严重的环境污染<sup>[2]</sup>。研究表明粉煤灰是雾霾形成的主要污染物之一<sup>[3]</sup>。如何合理利用粉煤灰,减少粉煤灰的随意堆放,不断探索粉煤灰的资源化利用,已经是学者研究的重要课题。黄晓丽利用粉煤灰作为吸附剂,通过富集作用将有机物富集,通过电化反

应使难生物降解的有机物转化为可生物降解的有机物,最终降解为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O<sup>[4]</sup>。蒋丽等<sup>[5]</sup>研究了粉煤灰陶粒对废水中磷酸盐的去除情况。结果表明,粉煤灰陶粒对磷酸盐的去除率随粉煤灰陶粒投加量的增大而增加。隋艳明等<sup>[6]</sup>研究了粉煤灰合成沸石处理含Cr<sup>3+</sup>废水的性能以及对其他几种竞争性阳离子的影响,合成沸石对低浓度Cr<sup>3+</sup>废水具有良好的去除效果,去除效率达95%以上。李院高等<sup>[7]</sup>研究了粉煤灰细度对加气混凝土浇注稳定性的影响,认为粉煤灰细度应控制在25%~35%(筛余量0.045mm)。刘肖凡等<sup>[8]</sup>采用粉煤灰等量替代水泥

收稿日期:2015-04-16;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.04.025

基金项目:延安市社发攻关资助项目(2011KS-02)

作者简介:武存喜(1980—),男,山西怀仁人,讲师,硕士,主要从事矿物加工(煤炭类)科研与教学工作。E-mail:wucunxi@163.com

引用格式:武存喜.粉煤灰对石油污染土壤修复的试验研究[J].洁净煤技术,2015,21(4):95-98.

WU Cunxi. Remediation of petroleum contaminated soil by fly ash[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4): 95-98.

进行改性,结果显示,当粉煤灰掺量为20%时,透水混凝土渗透性能满足工程要求,其60 d抗压强度明显提高。荆富等<sup>[9]</sup>利用粉煤灰提取炭黑和氧化铝。李宏波等<sup>[10]</sup>研究水泥粉煤灰不同掺量对超盐渍土的力学性能影响规律。但对粉煤灰作为添加剂对石油污染土壤修复研究较少。当前随着石油开采,土壤石油污染日趋严重,寻求一种价格低廉,能大面积改善石油污染土壤结构,配合生物修复石油污染的材料,是当前石油土壤污染治理的重点。笔者用粉煤灰作为添加剂对石油污染土壤进行植物修复效果研究,以期对石油土壤污染的治理提供新思路。

## 1 研究区概况

实验区位于延安市姚店镇下童沟村姚店油田,油田位于东经109°26'20",北纬36°37'46"。西邻长庆油田,南部为川口油田,北与永坪油田相邻。获批准Ⅱ类探明储量 $2865 \times 10^4$  t,含油面积43.5 km<sup>2</sup>。年日照2418 h,积温3878.1℃,无霜期年平均162 d,年平均温度8~10℃,年降水量400~900 mm,平均海拔700~1600 m。地形地貌属黄土高原丘陵沟壑区,地势北、西、南高,东低。土质为黄绵土,植被较少,水土流失严重。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

#### 2.1.1 试验土壤和植物

试验场地选取在延安市姚店镇下童沟废弃的油田场内,供试土壤在试验前进行翻耕,去掉碎石和植物枝叶,保证供试土壤物理化学性质一致。试验土壤性质为:全氮0.47 g/kg,全钾23.71 g/kg,全磷2.12 g/kg,速效钾45 mg/kg,速效磷7.38 mg/kg,pH值7.9,石油烃含量55.6 g/kg,容重1.39 g/cm<sup>3</sup>。植物筛选在陕北易于生长且耐寒的紫花苜蓿。

#### 2.1.2 试验用粉煤灰

试验用粉煤灰来自延安热电厂,该电厂粉煤灰颜色为银灰色,密度为1.8~2.6 g/cm<sup>3</sup>,比表面积为1121~3200 cm<sup>2</sup>/g,含有Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na等元素,粉煤灰的化学组成为:SiO<sub>2</sub> 41.5%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 42.3%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.98%,CaO 1.9%,MgO 0.7%,K<sub>2</sub>O 0.9%,SO<sub>3</sub> 0.4%,Na<sub>2</sub>O 0.8%,K<sub>2</sub>O 1.5%,烧失量6.24%。

### 2.2 试验设计

对选定实验区土壤进行耕作,以保证整个实验区内土壤性质基本相同,将耕作后实验区划分为6

个实验小区,每个小区面积为5 m×10 m。对6个小区的功能进行设置:所有小区分为两部分,每部分面积为5 m×5 m,1号小区一半种植,一半空闲,作为空白对照。2~6号小区,一半种植紫花苜蓿+粉煤灰,一半添加粉煤灰。2~6号小区添加粉煤灰的剂量分别为20、30、40、60、80 g/kg,具体见表1。1~6号小区选取相同数颗粒饱满的紫花苜蓿种子。首先将粉煤灰均匀的撒在实验小区的土壤表面上,随后进行2次翻耕,耕层保持15~20 cm,用耙子将土壤整平,保证粉煤灰均匀进入土壤。试验时间从2014年4月到8月共4个月,采样5次,采样时间分别为种植当天第一次采样,然后每隔一个月采一次样。

表1 试验小区概况

试验小区	处理方法	粉煤灰添加量/(g·kg <sup>-1</sup> )
1号	一半种植,一半空闲	0
2号	一半种植+粉煤灰,一半粉煤灰	20
3号	一半种植+粉煤灰,一半粉煤灰	30
4号	一半种植+粉煤灰,一半粉煤灰	40
5号	一半种植+粉煤灰,一半粉煤灰	60
6号	一半种植+粉煤灰,一半粉煤灰	80

### 2.3 分析方法

#### 2.3.1 石油烃的测定

取10 g风干土壤样品,过0.150 mm筛,将过筛土壤装入离心管中,加入二氯甲烷50 mL,放入超声波水浴槽中超声萃取30 min,4000 r/min离心15 min,将上清液倒入烘至恒重的烧瓶中,多次萃取,也将上清液倒入烧瓶中,50℃旋转蒸发仪蒸发恒重测定石油烃含量。

#### 2.3.2 生物量测定

采取紫花苜蓿样品,并将采好的紫花苜蓿,分装入塑料袋内,带回实验室,然后放入恒温烘箱,调制65℃烘至恒重,用分析天平分别称其干重。使用SPSS18.0软件和微软Excel进行数据处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 粉煤灰剂量对石油污染土壤的影响

在未种植紫花苜蓿的1~6号实验小区中添加粉煤灰的剂量分别为:0、20、30、40、60、80 g/kg,通过4个月试验5次采样,分析土壤中石油烃含量变化,粉煤灰剂量对土壤石油烃降解率的影响如图1所示。从图1中可以看出1~6号小区中随着粉煤

灰剂量从 20、30、40、60、80 g/kg 增加,与未加入粉煤灰 1 号小区空白对照相比,石油烃降解率随着粉煤灰量的增大而逐渐增大,降解率从 4.14% ~ 17.18%。可见石油污染的土壤中添加粉煤灰能显著提高土壤自身降解石油烃的能力。主要原因是粉煤灰的加入改善土壤结构,增加土壤孔隙率,土壤中微生物活动频繁,促进石油烃的降解。

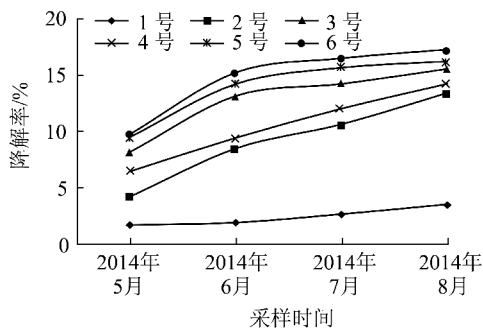


图1 不同剂量粉煤灰对土壤中石油烃降解率的影响

### 3.2 紫花苜蓿+粉煤灰对石油烃降解率的影响

对种植紫花苜蓿的 1~6 个试验小区 5 次采样结果进行分析,测定土壤的石油烃含量变化。石油烃降解率随采样时间的变化如图 2 所示。从图 2 中可以看出,与 1 号小区对比 2~6 号小区随着粉煤灰的加入降解率逐渐升高。4 号小区石油烃降解率从 5 月 15.07% 到 8 月的 57.44%,5 号小区从 5 月的 18.32% 上升到 8 月的 60.36%,6 号小区从 5 月的 17.73% 上升到 8 月的 59.18%,比较 4、5、6 号小区石油烃降解率发现,当粉煤灰添加量超过 40 g/kg 以后,降解率增长率减缓,降解率趋于平稳。原因主要是粉煤灰在一定范围内改变了土壤的结构,随着粉煤灰剂量的增加对土壤结构的作用越来越小。从图 2 还可以看出,2~6 号小区在 6 月、7 月、8 月对土壤中石油烃的降解率贡献最大。主要原因是因为这 3 个月紫花苜蓿的生长量最大,紫花苜蓿对石油烃的降解比较多。

### 3.3 粉煤灰、紫花苜蓿、紫花苜蓿+粉煤灰对石油烃降解率的影响

将试验处理中的单独种植紫花苜蓿、单独添加粉煤灰、种植紫花苜蓿+粉煤灰的 3 种处理数据进行分析,并且将单独种植紫花苜蓿与单独添加粉煤灰的数据进行叠加处理。添加粉煤灰、种植紫花苜蓿、种植紫花苜蓿+粉煤灰等不同处理对土壤石油烃降解率影响如图 3 所示。从图 3 可以看出 2~5 号小区中种植紫花苜蓿+粉煤灰处理对石油烃的降解率的影响均大于单独种植紫花苜蓿和单独施入粉煤

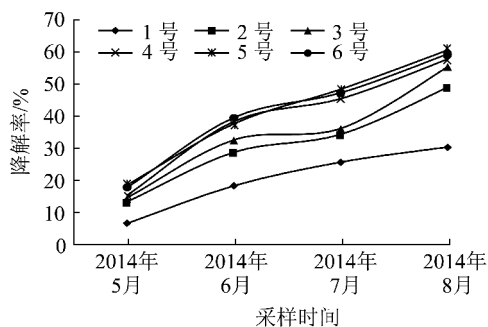


图2 紫花苜蓿+不同剂量粉煤灰对土壤中石油烃降解率的影响

灰。5 号小区出现最高降解率达到 60.36%。将种植紫花苜蓿+粉煤灰处理与单纯种植紫花苜蓿和单独施入粉煤灰降解率叠加效果进行比较,发现 2~5 号小区种植紫花苜蓿+粉煤灰处理降解率均高于叠加的降解率。说明粉煤灰的加入对紫花苜蓿降解石油烃起到了协同增效的作用,粉煤灰的施加促进了紫花苜蓿对石油烃的降解。

### 3.4 添加粉煤灰对紫花苜蓿发芽率的影响

土壤中石油烃的积累会导致土壤黏稠度的增加,影响土壤通透性,损害植物根部,阻碍根的呼吸与养分的吸收,引起根部腐烂,导致作物发芽出苗率降低。1~6 号小区种植紫花苜蓿加入的粉煤灰的量分别是 0、20、30、40、60、80 g/kg。实验对种植紫花苜蓿小区出芽率统计,将 6 个小区紫花苜蓿种植 1 个月后,对发芽率进行统计如图 4 所示。从图 4 可以看出未添加粉煤灰的 1 号小区发芽率为 30%。随着粉煤灰量的增加发芽率逐渐提高,6 号小区发芽率为 80%。这主要是由于当土壤被石油污染后,会出现板结,透气性差,保水性能差等,种子进入这样的土壤后不易发芽,通过粉煤灰的施入,土壤孔隙率增大,土壤结构发生变化,土质松散,透气性增强,能明显提高紫花苜蓿发芽率。

### 3.5 添加粉煤灰对紫花苜蓿生物量的影响

2014 年 8 月对 6 个小区种植的紫花苜蓿进行采样,样方为 1 m×1 m。将采集样品带回实验室测定。将测得植物生长量进行统计分析。分析紫花苜蓿生长量与添加粉煤灰之间相关性。粉煤灰添加量对紫花苜蓿生长量的影响,如图 5 所示。由图 5 可以看出紫花苜蓿生物量与粉煤灰施加量成正相关。植物生物量能够表征植物长势,测定植物生物量能反应出植物生长的优劣。生长量与粉煤灰施加量成正相关,说明粉煤灰施加促进了紫花苜蓿的生长,从而促进了紫花苜蓿对石油烃的降解作用。

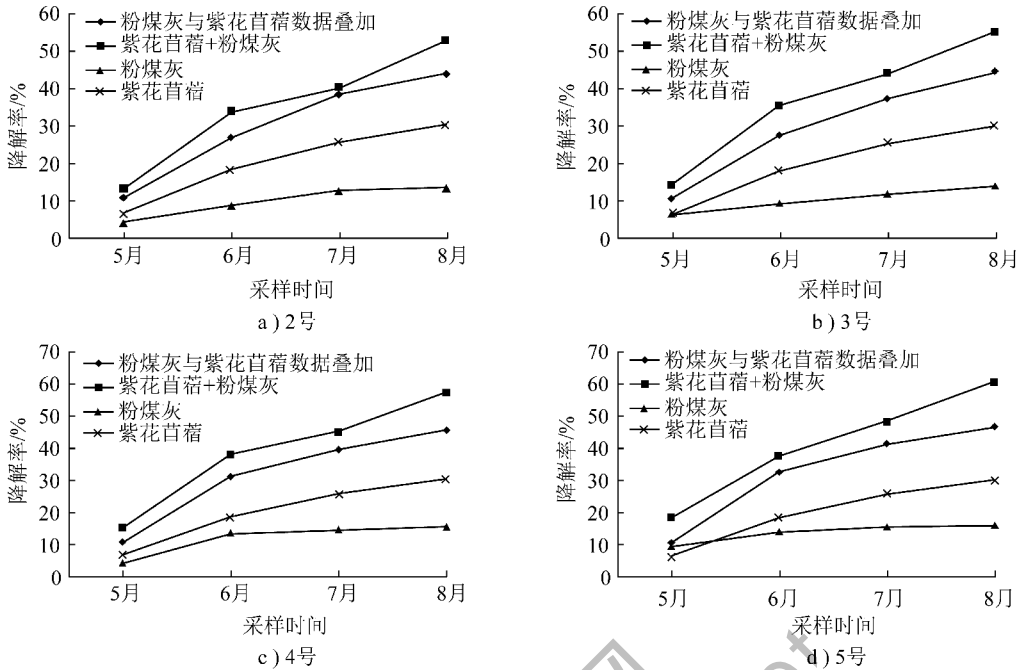


图3 粉煤灰、紫花苜蓿、紫花苜蓿+粉煤灰对土壤中石油烃降解率的影响

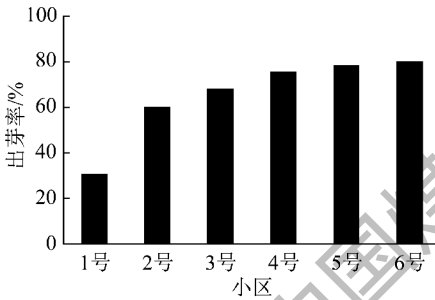


图4 粉煤灰添加量对紫花苜蓿发芽率的影响

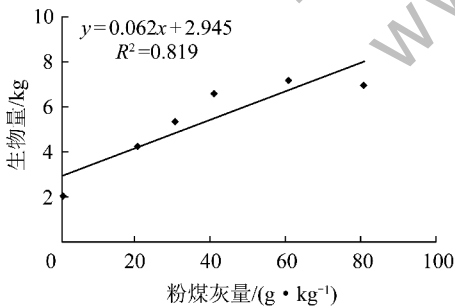


图5 粉煤灰添加量对紫花苜蓿生长量的影响

## 4 结 论

1) 单独施粉煤灰,紫花苜蓿+粉煤灰 2 种处理的土壤中的石油烃降解率均随着粉煤灰量的增加而增加,为 4.14% ~ 17.18%,当粉煤灰量达到 40  $\text{g}/\text{kg}$  后降解率趋于稳定,粉煤灰对土壤石油烃降解率作用明显。

2) 种植紫花苜蓿+粉煤灰的处理对土壤中石油

烃的降解率高于单独添加粉煤灰、单独种植紫花苜蓿,并且高于单独添加粉煤灰和单独种植紫花苜蓿的降解率叠加值,说明粉煤灰加入对紫花苜蓿降解石油烃起到了协同作用。

3) 随着粉煤灰添加量的增加,紫花苜蓿的发芽率提高,紫花苜蓿生长量也与粉煤灰量成正相关。

### 参考文献:

- [1] 郭新亮. 燃煤电厂粉煤灰综合利用技术研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [2] 雷 瑞,付东升,李国法,等. 粉煤灰综合利用研究进展[J]. 洁净煤技术,2013,19(3):106-109.
- [3] 陈丹江,杨 光. 综合利用发展煤化工:驱散中国煤都的雾霾[J]. 中国石油和化工,2013(10):29-31.
- [4] 黄晓丽. 粉煤灰改性及其对甲基橙废水的应用研究[D]. 西安:陕西师范大学,2014.
- [5] 蒋 丽,谌建宇,李小明,等. 粉煤灰陶粒对废水中磷酸盐的吸附试验研究[J]. 环境科学学报,2011(7):1413-1420.
- [6] 隋艳明,吴德意,魏 棣,等. 粉煤灰合成沸石用于含  $\text{Cr}^{3+}$  废水处理的应用研究[J]. 净水技术,2009(3):48-51.
- [7] 李院高,何俊廷. 粉煤灰细度对加气混凝土浇注稳定性的影响[J]. 墙材革新与建筑节能,2015(1):43-45.
- [8] 刘肖凡,白晓辉,王展展,等. 粉煤灰改性透水混凝土试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,2014(1):20-23.
- [9] 荆 富,伊茂森,张忠温,等. 粉煤灰提取白炭黑和氧化铝的研究[J]. 中国工程科学,2012(2):96-106.
- [10] 李宏波,田军仓,何 芳,等. 水泥粉煤灰固化超盐渍土的力学性能试验研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2014(4):809-816.