

# 城市污泥处理与绿化利用

唐鸣放, 王白雪, 郑怀礼

(重庆大学 教育部山地城镇建设与新技术重点实验室, 重庆 400045)

**摘要:**城市污水处理厂剩余污泥富含植物养分,在城市绿化中具有较高的利用价值,但污泥中也含有较高的重金属,会对城市地下水产生二次污染。采用改性粉煤灰钝化污泥,通过种植佛甲草绿化实验,探讨了不同配比和用量的改性粉煤灰处理污泥对植物生长状态以及对渗滤水的环境影响,得出用20%的改性粉煤灰钝化污泥作为绿化植物的种植基质可使渗滤水中污染物除去80%以上。

**关键词:**污泥;粉煤灰;重金属;绿化

中图分类号:X705 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2009)04-0103-04

## Sludge Treatment and Application in Greening

TANG Ming-fang, WANG Bai-xue, ZHENG Huai-li

(Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** Sludge is a very good fertilizer source and has higher value in use as nutrients for greening, whereas sludge also contains higher concentration of heavy metals, with which urban underground water would be suffered secondary pollution. A test of greening with sedium lineare and modified fly ash passivation sludge was carried out to study the impacts of different mixture ratio and dosage of modified fly ash on the plant's growth and leachate. It was shown that 20% mixture ratio of modified fly ash was the optimum for sludge treatment and 80% of heavy metals pollution can be removed.

**Key words:** sludge; fly ash; heavy metals; greening

城市污水处理厂剩余污泥中含有丰富的植物养分,将污泥适当处理后用作绿化的栽培基质,不但降低了绿化成本,同时也消化了城市废弃物。污泥农用处理主要采用堆肥方式<sup>[1-2]</sup>,但污泥中含有较高的重金属 Zn、Cu、Mn,尤其是 Zn、Cu,分别高达 3 300.0 mg·kg<sup>-1</sup>、920 mg·kg<sup>-1</sup>,远远超出我国污泥农用标准,因此在绿化应用前必须进行处理使其不会随雨水污染城市地下水。利用物理—化学方法将污泥重金属包容在密实的惰性基材中,使其钝化/稳定化是一项重要的处理技术。有研究<sup>[3-5]</sup>表明,用粉煤灰稳定污泥是一种有效方法。粉煤灰是燃煤电厂粉煤燃烧排放的废弃物,利用粉煤灰处理污泥可谓以废治废,同时,粉煤灰本身含有多种植物可利用

的营养成分。目前对污泥重金属钝化处理主要针对土壤改良<sup>[6-9]</sup>,很少进行植物生长试验。该文采用改性粉煤灰钝化污泥重金属,通过种植佛甲草绿化实验来研究污泥钝化处理有效方法,使污泥、粉煤灰资源化利用,为城市绿化提供养分好、成本低的种植基质。

### 1 实验方法

实验材料制备为改性粉煤灰和钝化污泥。用10%的石灰(含CaO95%)与粉煤灰均匀混合,用马弗炉匀速升温到1000℃焙烧3h,保温1h后自然冷却制成改性粉煤灰。在脱水污泥中加入一定量的改性粉煤灰,在温室中用恒重法维持40%左右的水分培养两周,使污泥重金属充分钝化,然后风干制成

收稿日期:2009-03-15

基金项目:国家科技支撑计划课题资助(2006BAJ01A02-02-05,2006BAJ04B05-1,2006BAJ02A09)

作者简介:唐鸣放(1957-),女,教授,博士,主要从事建筑节能与城市热环境研究,(E-mail)tmf@cqu.edu.cn。

钝化污泥。

实验设有 5 种处理,用 F0、F10、F20、F40 表示改性粉煤灰加入量为 0%、10%、20%、40% 的处理,用 F20(未)表示加入 20% 的粉煤灰(未改性)的处理。5 种处理为 5 种基质,种植佛甲草后观察其生长情况,成坪后测量如下内容:

(1) 植物叶绿素含量;

(2) 植物的土下和土上部分以及基质中的 Zn、Cu 含量;

(3) 渗滤水中 Zn、Cu 含量。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 钝化污泥对植物生长的影响

佛甲草生长状况的好坏是土壤基质物理性质和养分是否适合其生长的综合表现。观察几种处理基质佛甲草生长的整个过程可以看出,F0 基质种植的佛甲草生长速度快,成坪时间短,叶片开始是绿色,随着时间的延长,叶片由绿色变为黄绿色,随后变为黄色,根部有叶片腐烂、脱落现象;F10、F20、F40 基质种植的佛甲草成坪时间依次增加,绿色慢慢加深。这是因为 F0 处理污泥养分释放快、肥效期短,残效也基本上耗竭,受到高含量的 Zn、Cu、Mn 等重金属的影响;而改性粉煤灰处理污泥养分释放缓慢,后效长。

由成坪后测定的叶绿素含量(见图 1)可知,改性粉煤灰处理污泥为基质的佛甲草叶绿素含量普遍高于未处理污泥的情况。特别是 F10、F20 种植基质使佛甲草的叶绿素含量大幅提高。比较 F20 和 F20(未)为基质的佛甲草叶绿素含量可知,改性粉煤灰处理污泥种植佛甲草的生长效果比一般粉煤灰处理污泥更好。

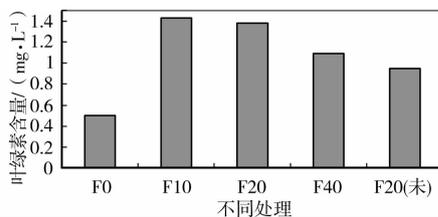


图 1 各种处理的叶绿素含量

因此,以 10%~20% 的改性粉煤灰处理污泥时,佛甲草生长快、叶绿素含量高,不仅有利于光合作用,促进植物生长,并且叶色浓绿,色泽鲜艳,提高景观效果。

### 2.2 植物及基质中 Zn、Cu

由图 2 和图 3 可以看出,佛甲草地上部分、地下部分和基质中 Zn、Cu 的含量均随着改性粉煤灰加入量的增加而明显下降。佛甲草地上部和地下部的

Zn、Cu 含量均明显高于基质中。从图中还可以看出,就佛甲草对处理污泥中 Zn 的净化而言,各种处理污泥种植的佛甲草地上部 Zn 的含量略高于地下部;而佛甲草对处理污泥中 Cu 的净化,各种处理污泥种植的佛甲草地上部 Cu 的含量显著低于地下部。这说明了佛甲草茎和叶对 Zn 的吸收净化作用高于根部,对 Cu 的吸收净化作用明显低于根部。在改性粉煤灰钝化污泥重金属的基础上,佛甲草又修复了污泥重金属,在此双重作用下进一步固化污泥重金属。

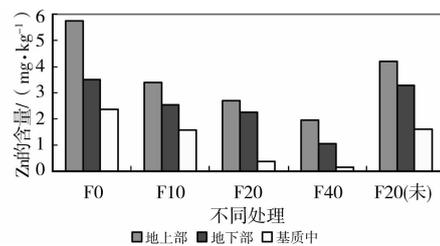


图 2 各种处理的佛甲草以及基质中 Zn 的含量

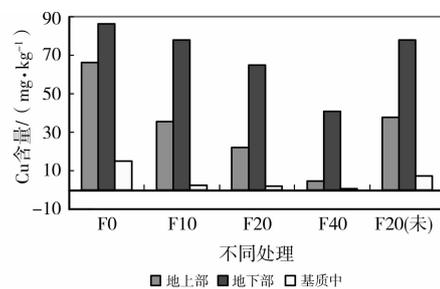


图 3 各种处理的佛甲草以及基质中 Cu 的含量

### 2.3 钝化污泥渗滤水对下水道水质的影响

佛甲草成坪后,降雨天分别收集各种处理基质的渗滤水,分析其水质结果见表 1。可以看出,钝化污泥的渗滤水中各种污染物含量都明显降低。但 F0 为基质的渗滤水中的污染物含量仍旧没有达到城市下水道水质标准(污水排入城市下水道水质标准 CJ 3082-1999)。而以 F10、F20、F40、F20(未)处理污泥为基质的渗滤水中,各污染物含量都明显低于城市下水道水质标准,而且随着改性粉煤灰加入量的增加污染物含量逐渐降低。若以 F0 的渗滤水污染物含量为基础,F20 的渗滤水中各种污染物去除率都在 80% 以上,降污效果很显著。

对于未种植佛甲草的各种处理污泥,收集渗滤水,分析水质中的 Zn、Cu、Mn 含量见表 2。可见改性粉煤灰处理污泥比一般粉煤灰处理污泥对重金属的钝化效果更好。比较表 1 和表 2 还可以看出,种植佛甲草的各种处理污泥渗滤水中污染物含量显著降低,说明佛甲草对污染物也起到一定的净化效果。在改性粉煤灰钝化污泥重金属以及佛甲草植物修复

重金属双重作用下,使污泥重金属固化在基质和吸收在佛甲草中,而未进入地下水中,切断了重金属在人类食物链中的传播,这样即保护了环境,也美化了环境,为污泥、粉煤灰在资源化利用方面寻找到了又一出路。

表1 种植佛甲草的基质渗滤水中污染物含量

处理	Zn/ (mg·L <sup>-1</sup> )	Cu/ (mg·L <sup>-1</sup> )	Mn/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	色度/ 倍
F0	5.3	3.8	3.7	610	130
F10	0.79	0.75	0.8	53	34
F20	0.64	0.30	0.6	38	26
F40	0.21	0.24	0.2	35	20
F20(未)	2.80	1.4	1.1	80	50
CJ 3082-1999	5.0	2.0	2.0	150	80
去除率/%	87.9	92.1	83.8	93.8	80.0

备注:去除率以 F20/F0 处理污泥中污染物含量计算

表2 钝化污泥渗滤水中污染物含量

处理	Zn/(mg·L <sup>-1</sup> )	Cu/(mg·L <sup>-1</sup> )	Mn/(mg·L <sup>-1</sup> )
F0	9.42	8.30	4.10
F10	5.4	4.25	1.50
F20	4.57	2.10	1.10
F40	4.32	1.91	0.84
F20(未)	7.58	5.20	1.80

#### 2.4 改性粉煤灰钝化机理分析

由图2和图3可以看到,佛甲草和基质中 Zn、Cu 含量,F20 处理都明显低于 F20(未),特别是基质中 Zn 和 Cu 含量,F20(未)处理高于 F20 处理的 4.4 倍和 3.8 倍。分析渗滤水的水质,由表1可知,F20 处理的渗滤水水质明显优于 F20(未)。

实验从宏观现象上说明了改性粉煤灰钝化污泥重金属的良好效果,下面用扫描电镜图比较原状粉煤灰与改性粉煤灰的微观结构差别,说明其钝化机理。

将原状粉煤灰和改性粉煤灰分别进行镀膜处理后,用扫描电镜观察它们的形貌,如图4和图5所示。原状粉煤灰中有许多玻璃体微珠,粒形规则完整,表面光滑,质地致密;而改性粉煤灰中由多孔的玻璃体和海绵多孔体组成,使其表面积大大增加。通过测定,改性粉煤灰的比表面积与原状粉煤灰增大了 2.5 倍多。改性粉煤灰经高温焙烧去除了其中的部分有机基团,生成了沸石类物质,其内部含有许多孔穴和通道,具有很强的吸附性和交换性,对污泥重金属离子具有很好的钝化效果。

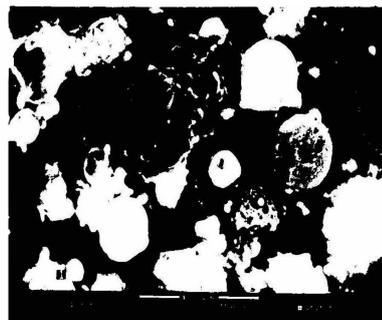


图4 原状粉煤灰的电镜扫描图

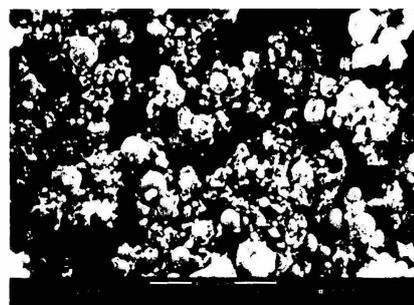


图5 改性粉煤灰电镜扫描图

### 3 绿化利用前景分析

城市污泥经过无害化处理后可以广泛应用于城市绿化。利用城市污泥进行草皮无土培植,比不用污泥的同类草皮生长快、铲运方便、效率高且无杂草。在绿化工程中施用城市污泥,绿化植物长势好、绿期延长、观赏性提高。城市污泥在园林绿化和花卉生产中作为有机肥施用,既可改良土壤、促进园林绿化植物和花卉的生长<sup>[10]</sup>,又可避开食物链,就近使用,减少运输费用。中国城市绿地面积每年需要新增 5.5 万 hm<sup>2</sup>,按 90 t/hm<sup>2</sup> 施用污泥作为有机肥,全国城市绿化需要施用污泥近 500 万 t<sup>[11]</sup>,可见污泥在城市绿化中的用量巨大。

随着市政建设的不断发展,城市绿化用地的供需矛盾日益突出,利用城市大面积的屋顶发展绿化,既可推进城市生态化建设,又可兼顾建筑节能的需求,达到节能、节地和改善室内外热环境的目的。以种植景天科耐旱植物为主的屋顶轻型绿化技术<sup>[11-14]</sup>,可以广泛适用于城市大量轻荷载屋顶的生态节能改造。通过对比实验,轻型绿化对屋顶的隔热降温效果非常显著<sup>[15-16]</sup>,夏季高温期间屋顶每天可节电 0.1 kW·h/m<sup>2</sup> 左右<sup>[17]</sup>。城市有近一半的面积是屋顶,采用无害化污泥作为屋顶绿化的种植基质,不但就地取材、低成本,节省了大量节能材料,同时也消化了城市废弃物,促进了城市循环经济发展。

## 4 结 语

实验结果表明,用改性粉煤灰处理污泥为基质种植佛甲草,叶绿素含量高,植物地上部分、地下部分和基质中 Zn、Cu 的含量均随着改性粉煤灰加入量的增加而明显下降。种植基质渗滤水中各污染物含量都明显低于城市下水道水质标准。

从佛甲草的生长状态以及渗滤水对环境的影响来看,用 20% 的改性粉煤灰钝化污泥作为种植基质效果最佳,渗滤水污染物除去率高于 80%。

### 参考文献:

- [1] 邹绍文,张树清,王玉军,等. 中国城市污泥的性质和处置方式及土地利用前景[J]. 中国农学通报,2005, 21(1): 198-201.  
ZOU SAO-WEN, ZHANG SHU-QING, WANG YU-JUN, et al. Character and disposal of municipal sludge and its prospect of using on farmland and forestland in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 198-201.
- [2] 林兰稳,钟继洪,张国林,等. 广州市污水污泥堆肥在园林绿化中的应用[J]. 生态环境,2006, 15(5): 974-978.  
LIN LAN-WEN, ZHONG JI-HONG, ZHANG GUO-LIN, et al. The application of compost of sewage sludge to environmental greening [J]. Ecology and Environment 2006, 15(5): 974-978.
- [3] WU Q T, NYIRANDEGE P, MO CEHUI. Removal of heavy metal from sewage sludge by low costing, chemical method and recycling in agriculture [J]. J of Environ Sci, 1998, 10(1): 122-128.
- [4] 张鸿龄,孙丽娜,孙铁珩. 粉煤灰对钝化污泥重金属有效性影响[J]. 辽宁工程技术大学学报,2008,27(6):944-946.  
ZHANG HONG-LING, SUN LI-NA, SUN TIE-HENG. Heavy metals and trace elements of sewage sludge stabilized by fly ash[J]. Journal of Liaoning Technical University. 2008,27(6):944-946.
- [5] M R LASHEEN, N S AMMAR. Assessment of metals speciation in sewage sludge and stabilize sludge from different wastewater treatment plants, greater cairo [J]. Journal of Hazardous Materials. 2009, 164: 740-749.
- [6] JACKSON B P, MILLER W P. Soil solution chemistry of a fly ash, poultry litter, and sewage sludge-amended soil[J]. J Environ Qual, 2000, 29:2430-2436.
- [7] SU DC, WONG JWC. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge[J]. Environment International, 2004, 29(7):895-900.
- [8] GIBB P A, CHAMBER B G, CHAUDRI A M, et al. Initial results from a long-term, multi-site field study of the effect on soil fertility and microbial activity of sludge cakes containing heavy metals[J]. Soil Use and Management, 2006, 22(1):11-21.
- [9] 张鸿龄,孙丽娜,孙铁珩. 粉煤灰钝化污泥人工土壤理化性质研究[J]. 环境科学,2008,29(7):2068-2072.  
ZHANG HONG-LING, SUN LI-NA, SUN TIE-HENG. Principal physicochemical properties of artificial soil composed of sewage sludge stabilized by fly ash[J]. Environmental Science, 2008,29(7):2068-2072.
- [10] 赵玉婷,胡永红,张启翔. 屋顶绿化植物选择研究进展[J]. 山东林业科技,2004(2):27-29.  
ZHAO YU-TING, HU YONG-HONG, ZHANG QI-XIANG. Development of research on selection of green roof plants [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2004(2):27-29.
- [11] 赵定国. 屋顶绿化及轻型平屋顶绿化技术[J]. 中国建筑防水,2004(4):17-19.  
ZHAO DING-GUO. Roof greening and light weight flat roof greening technology [J]. China Building Waterproofing,2004(4):17-19.
- [12] 张杰,胡永红,李海英,等. 一次成型轻型屋顶绿化技术[J]. 西北林学院学报,2007,22(1):194-196.  
ZHANG JIE, HU YONG-HOG, LI HAI-YING, et al. Compounded technique of lightweight roof greening[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1): 194-196.
- [13] 严永红,邓宏,唐鸣放. 回应西部湿热气候的模块式生态屋面[J]. 新建筑,2007(5):34-36.  
YAN YONG-HONG, DEN HONG, TANG MING-FANG. Research on modular eco-roof system responds to hot and humid weather of west China [J]. New Architecture, 2007(5):34-36.
- [14] 赵定国,薛伟成. 轻型屋顶绿化的降温效果[J]. 上海农业学报,2006,22(1):53-55.  
ZHAO DING-GUO, XUE WEI-CHENG. Effect of greening on light roofing on lowering temperature[J]. Acta Agriculture Shanghai, 2006,22(1):53-55.
- [15] TANG M, YANG Z. Thermal characteristics of green roof in natural climate [J]. Journal of Central South University of Technology, 2007,14:39-42.
- [16] 赵定国,薛伟成. 轻型屋顶绿化的节电效果[J]. 上海农业学报,2008,24(1),99-101.  
ZHAO DING-GUO, XUE WEI-CHENG. Effect of light roof greening on saving electric power consumption[J]. Acta Agriculture Shanghai, 2008, 24(1),99-101.

(编辑 王秀玲)