

[文章编号] 1003—4684(2019)05-0096-04

# 垃圾焚烧飞灰基材下的护坡植物生长效应研究

赵宏博, 万 娟, 肖衡林, 刘佳瑞, 胡 强

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 飞灰中所含磷、钾等元素,可促进植物生长。将飞灰加入到护坡基材中,探究飞灰对植物生长情况的影响。选取狗牙根,高羊茅和多花木兰三种代表性护坡植物,建立模型试验,观测分析植物在不同飞灰掺量下的植生情况。试验结果表明:在飞灰掺量小于 5.0%时,飞灰对狗牙根出芽起到促进作用,但对高羊茅和多花木兰起到抑制作用;当飞灰掺量大于 10%时,三种护坡植物的出芽时间和出芽颗数随着飞灰掺量的增加而减少。从出芽颗数分析,狗牙根的最大出芽颗数是高羊茅的 2.5 倍,具有更好的护坡效果和固土性能。在飞灰掺量小于 20%条件下,狗牙根和高羊茅的覆盖度均在 50%以上,可起到对土壤的遮阴效果,提高植物的固土性能和抗冲刷能力。而多花木兰在飞灰基材下不适宜生长。

[关键词] 护坡基材;垃圾焚烧飞灰;飞灰掺量;护坡植物

[中图分类号] TV41, Q945

[文献标识码] A

当今城市增长规模化,人均密度集中化,致使越来越多的垃圾不断堆置。大部分的生活垃圾不仅消耗了土壤资源,而且对自然环境与城市产生了严重污染。因此,寻求一种城市垃圾无害化解决方法迫在眉睫。现如今城市生活垃圾的主要处理方法有焚烧法,堆肥法和填埋法。随着人们环保意识的不断增强和热能回收等综合利用技术的提高,全球各国采取焚烧技术处理生活垃圾的比重不断增进,其优点主要在于迅速的减容能力和彻底的高温无害化,在体积方面可以缩减 70%~90%,重量上减少 50%~80%,可把燃烧后的无机物进行填埋处理,高温环境也可以杀灭腐解病菌,这样垃圾无害化和有效化程度大大提升<sup>[1-2]</sup>。

随着垃圾焚烧技术的普遍应用,焚烧后的飞灰产量也日渐增加,对于垃圾焚烧飞灰的资源化、稳定化处理也成为众多学者关注的热点课题。当下我国垃圾焚烧处理技术还居于初始阶段,飞灰资源化利用研究也还在不断探索当中。飞灰的主要成分包括  $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SO}_3$  等,飞灰利用主要集中在路面基础材料、水泥产品、混凝土的制作等方面<sup>[3]</sup>。施惠生<sup>[4]</sup>等将飞灰作用于水泥材料,把飞

灰加入到水泥原料中,其成本有效降低,可减少二次污染。薛永杰<sup>[5]</sup>等通过实验发现,把一定量飞灰掺入到混凝土中,可以提升沥青混凝土的力学和耐久性能。Tay JH<sup>[6]</sup>研究发现,在污泥中加入飞灰,可改善污泥的脱水性,因为飞灰能够与污泥中的油性物质进行中和反应,从而加快污泥的脱水。日本则采用较为领先的熔融法,将飞灰进行二次处理后作用于建筑材料当中。但是将飞灰作用在生态护坡这方向的科研成果较少。本试验以飞灰、种植土、水、保水剂、缓释肥作为护坡基材,通过改变飞灰掺量的方法,来研究护坡植物的生长效应,探究在不同飞灰掺量下植物的植生情况。

## 1 试验材料和方案

选取湖北工业大学生态护坡基地作为试验场地,护坡植物选取两种典型的草本植物狗牙根和高羊茅,灌木选取多花木兰,在不同飞灰掺量下,筛选出最佳的护坡植物。试验用土选取湖北工业大学绿化带地区的种植土,其自然含水率为 20%。从武汉垃圾焚烧厂中取出飞灰,经过固化处理之后,可测得其含水率为 5%。本试验采用了 21 个上部直径为

[收稿日期] 2019—04—15

[基金项目] 国家自然科学基金(51608182);国家自然科学基金(51678223);湖北省教育厅创新团队项目(T201605)

[第一作者] 赵宏博(1995—),男,湖北荆门人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为生态岩土工程

[通信作者] 万 娟(1977—),女,湖北天门人,湖北工业大学副教授,研究方向为生态岩土工程

160 mm,高为 190 mm 的盆栽花盆来种植三种植物。每种植物设置 7 个实验组,采用不同配比的护坡基材。飞灰掺量(飞灰与种植土的干质量比)分别为 0、5.0%、6.7%、10.0%、14.3%、20.0%、33.3%,

共 21 个实验组。  
分别将种植土和飞灰晒干,捣磨后过 8 mm 筛网。根据各个实验组所需质量进行定量称取,各组称重及比例如表 1 所示。

表 1 灰土比对应质量 kg

名称	飞灰占比/%													
	0		5		6.7		10		14.3		20		33.3	
	土	土 飞灰	土	飞灰	土	飞灰	土	飞灰	土	飞灰	土	飞灰	土	飞灰
狗牙根	2.0	1.905 0.095	1.875 0.125	1.818 0.182	1.75 0.25	1.67 0.33	1.5	0.5						
高羊茅	2.0	1.905 0.095	1.875 0.125	1.818 0.182	1.75 0.25	1.67 0.33	1.5	0.5						
多花木兰	2.0	1.905 0.095	1.875 0.125	1.818 0.182	1.75 0.25	1.67 0.33	1.5	0.5						

称取后,将种植土和飞灰充分搅拌均匀,填入盆栽花盆中。每个基材均浇水湿润,直到花盆底边有水渗出。每组称取 20 g 的植物种子,均匀播撒至基材中。最后,在各个花盆中铺一层约 2 mm 种植土,以防止种子直接裸露于空气中。取 100 g 有机肥料倒至 10 L 水中,溶解彻底后给各个花盆施肥。于每日早晚用浇水喷壶浇水,满足植物所需水分。

2 实验结果与分析

2.1 护坡植物出芽时间观测与分析

本试验于初春时节播种,并开始观察记录三种植物的出芽及生长情况。在播种后第二天,部分试验组开始出芽,随后时间内,其他实验组也相继出芽。

表 2 不同飞灰掺量下出芽时间表 d

	飞灰掺量/%						
	0	5	6.7	10	14.3	20	33.3
多花木兰	3	11	23	23	—	—	—
狗牙根	3	2	6	9	11	14	18
高羊茅	3	5	5	5	9	13	18

由表 2 可发现,在不同飞灰掺量下,狗牙根和高羊茅的出芽情况差异显著,狗牙根在飞灰掺量为 5.0%试验组的出芽时间为 2 d,高羊茅出芽时间为 5 d。出芽时间随着飞灰掺量增加,大致呈抑制情势。飞灰掺量为 33.3%条件下,其出芽时间最长,均为 18 d。

在飞灰掺量为 0、5.0%、6.7%、10.0%四个试验组中,多花木兰存在出芽情况,在飞灰掺量 14.3%、20.0%和 33.3%条件下,幼苗死亡,无出芽情况。除飞灰掺量 0 的试验组,多花木兰出芽时间与同掺量狗牙根、高羊茅相同外,其他掺量试验组的出芽时间均较后滞,可知多花木兰在飞灰条件下不适合生长。

现横坐标为飞灰掺量,纵坐标为出芽时间,建立飞灰基材下狗牙根和高羊茅的出芽时间曲线图(图 1)。

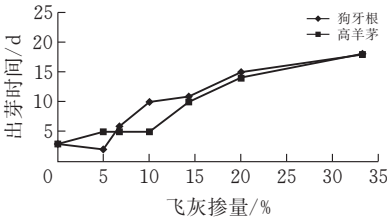


图 1 飞灰掺量与出芽时间关系曲线

由图 1 曲线可知,对于狗牙根和高羊茅的出芽时间,飞灰掺量对其存在一定程度的影响。飞灰掺量大于 5.0%时,狗牙根的出芽时间随着飞灰掺量的增加而增加,既越难以出芽;飞灰掺量为 5.0%的试验组,其出芽时间均为 2 d,较纯土试验组早 1 d 出芽,可知在飞灰掺量小于 5.0%时,对狗牙根的出芽存在促进作用。

两种植物存在较小的差异,在不同飞灰掺量条件下,其出芽时间与狗牙根相似,在飞灰掺量为 5.0%、6.7%、10.0%条件下,高羊茅的出芽时间均为 5 d,飞灰掺量大于 5%小于 10%时,高羊茅的出芽情况没有显著变化,但仍存在一定抑制作用。当掺量超过 10%后,和狗牙根出芽时间相似,出芽时间随着飞灰掺量增加而增加。采用线性拟合飞灰掺量与出芽时间的关系曲线,并得出关系式:

狗牙根

$y = 0.5076x + 2.8101, R^2 = 0.8899$

式中: $x$  为飞灰掺量,%; $y$  为出芽时间,d。即飞灰掺量增长一个百分点,狗牙根出芽时间滞后约为 0.5 d。

高羊茅

$y = 0.4912x + 2.3053, R^2 = 0.9462$

式中: $x$  为飞灰掺量,%; $y$  为出芽时间,d。即飞灰掺量增长一个百分点,高羊茅出芽时间滞后约为 0.5 d。

2.2 护坡植物出芽数测量与分析

植物发芽后,每隔 5 d 测量各个实验组的出芽数且记录其最大出芽数,横坐标为播种天数,纵坐标为植物出芽数,建立在飞灰基材下三种植物出芽数

随时间变化曲线图(图 2~4)。

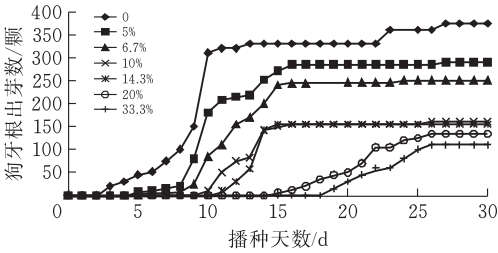


图 2 狗牙根出芽数与时间关系曲线

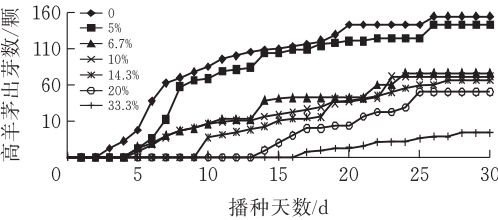


图 3 高羊茅出芽数与时间关系曲线

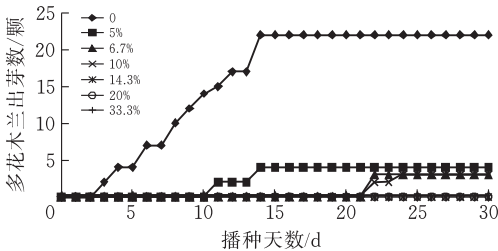


图 4 多花木兰出芽数与时间关系曲线

由图 2 可知,飞灰掺量为 0、5.0%、6.7%、10.0%、14.3%试验组在播种后的 8 d 内,出芽颗数增长缓慢,从第 8 d 开始,至第 15 d 内,狗牙根の出芽颗数开始明显增长,达到出芽速率的峰值。在 15 d 后,飞灰掺量为 0、5.0%、6.7%、10.0%、14.3%试验组出芽颗数基本保持不变且达到最大出芽数。在飞灰掺量为 20%、33.3%条件下,在播种后 18 d 内,出芽颗数明显增长变缓,从第 18 d 开始,至第 25 d 内,其出芽颗数开始显著增长,达到出芽速率的峰值,在播种 26 d 后,其出芽颗数也基本稳定,达到最大出芽数。

将图 2 与图 3 对比,可发现与狗牙根相比,高羊茅的稳定期更短,出芽周期更长,且最大出芽颗数均少于狗牙根。飞灰掺量为 0、5.0%、6.7%狗牙根试验组,其出芽高峰期在 8~15 d,但高羊茅试验组的在 4~32 d, 20%、33.3%实验组同理,可知狗牙根の出芽颗数均高于高羊茅。

将图 4 与图 2、图 3 进行对比,可知多花木兰在飞灰基材环境中极难存活,出芽颗数极少,在掺量为 14.3%及以上时,出芽率为 0,掺量为 0 时,最大出芽颗数也仅 20 颗。由此可得,多花木兰完全不适合在

飞灰基材环境下生长,对多花木兰存在显著的压制作用。故在以下试验中,不再统计和分析多花木兰的生长情况。横坐标为飞灰掺量,纵坐标为最大出芽数,做出这两种植物的最大出芽数随飞灰掺量的变化,曲线图如图 5 所示。

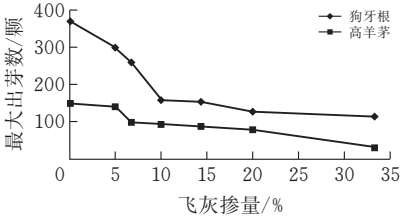


图 5 护坡植物最大出芽颗数图

可以看出,在飞灰掺量为 0 的条件下,这两种护坡植物的出芽率最大,狗牙根为 370 颗,高羊茅为 150 颗。飞灰掺量为 33.3%的条件下,其出芽率最小,狗牙根颗数为 115 颗,高羊茅仅为 34 颗。且高羊茅和狗牙根的生长情势基本相似,随着飞灰掺量的增加,其出芽颗数均减少。

狗牙根平均出芽颗数为 212 颗,在飞灰掺量为 0、5.0%、6.7%条件下,其出芽率高于平均水平,其他试验组均低于平均水平,33.3%试验组出芽率最低。由此可见,飞灰掺量对狗牙根出芽率有较大影响,狗牙根出芽率随着飞灰掺量的增加而降低。

高羊茅平均出芽颗数为 98 颗,在飞灰掺量为 0、5.0%、14.3%和 20.0%条件下,其出芽率高于平均水平,其他试验组低于平均水平,33.3%试验组出芽率最低。由此可见,高羊茅出芽颗数随着飞灰掺量的增加而降低,且出芽颗数整体低于狗牙根。采用单调指数函数对其关系分别进行拟合,满足关系式:

狗牙根

$$y = 308.91\exp(-0.036x), R^2 = 0.7982$$

式中: $x$  为飞灰掺量,%; $y$  为最大出芽颗数。即飞灰掺量增长一个百分点,狗牙根出芽颗数降低约为 25 颗。

高羊茅

$$y = 154.89\exp(-0.043x), R^2 = 0.9406$$

式中: $x$  为飞灰掺量,%; $y$  为最大出芽颗数。即飞灰掺量增长一个百分点,高羊茅出芽颗数降低约为 7 颗。

2.3 护坡植物覆盖度分析

为了更加直观的研究不同飞灰掺量对两种植物的植生情况的影响,现通过植物覆盖度情况来观测分析。采用针刺法测定其覆盖度。各个试验组出芽趋于稳定时,播种 30 d 后,将各个实验组去除长和宽各为 2 cm 的边缘区域,分为 16 个 3 cm×3 cm 的

区域作为观察区。每区域随机确定 3 个观察区,每个观察区用针刺法测定其覆盖度,每个区域用针刺 50 下,确定其覆盖度。不同的飞灰掺量下,其覆盖度情况如表 3 所示。横坐标为不同飞灰掺量,纵坐标为覆盖度,建立两种植物的覆盖度曲线图(图 6)。

表 3 飞灰掺量下植物覆盖度情况表

	飞灰掺量/%						
	0	5	6.7	10	14.3	20	33.3
高羊茅	100	89.37	69.42	65.90	61.68	54.63	22.94
狗牙根	100	87.31	75.31	64.77	60.23	54.38	34.38
平均	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0

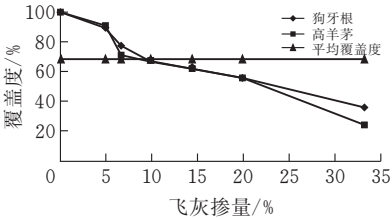


图 6 飞灰掺量与植物覆盖度关系曲线

由表 3 和图 6 可发现,狗牙根和高羊茅在飞灰掺量为 0、5.0%、6.7% 试验组的覆盖度均高于平均覆盖度,其他掺量试验组的覆盖度均小于其平均值,且飞灰掺量为 33.3% 时的覆盖度最小,狗牙根为 35.38%,高羊茅仅为 23.94%。其他掺量覆盖度也均在 55% 以上。由此可知,覆盖度随着飞灰掺量的增加而减少。

3 结论

通过对狗牙根、高羊茅和多花木兰三种护坡植物进行飞灰基材模型试验研究,得出以下结论:

1)当飞灰掺量小于 5% 时,掺入飞灰可促进狗牙根出芽,但对高羊茅和多花木兰的出芽存在抑制作用。当飞灰掺量大于 5% 时,狗牙根与高羊茅出芽时间随着飞灰掺量的增加而相继增加,即飞灰会抑制植物的发芽情况。当飞灰掺量超过 10% 时,多花木兰无出芽现象,随着飞灰掺量增加,其他试验组的出芽时间也出现明显后滞,可见在飞灰基材下不适合种植多花木兰。可确定飞灰掺量和出芽时间的关系式,即飞灰掺量每增加一个百分点,狗牙根、高羊茅出芽时间均滞后 0.5 d。

2)飞灰掺量对植物的出芽率均会存在一定影响,随着飞灰掺量的增加,其出芽颗数均减小。可确

定飞灰掺量和出芽颗数的关系式,即飞灰掺量每增加一个百分点,狗牙根出芽颗数降低约 25 颗,高羊茅降低约 7 颗。

3)飞灰掺量对覆盖度的影响表现为随着飞灰掺量的增添,覆盖度减少。狗牙根和高羊茅在飞灰掺量小于 20% 时,覆盖度均达到 50% 以上。当飞灰掺量小于 6.7% 时,覆盖度高于其平均覆盖度。

4)在飞灰掺量小于 5% 条件下,狗牙根和高羊茅基本起到对土壤的遮阴效果,可以有效提高植物的保水固土、抵抗炎热能力。狗牙根出芽颗数较高羊茅约为 2.5 倍,更易于根系保水固土和护坡效果。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 孔宪文,王智远,任卫东.垃圾的燃料价值[J].东北电力技术,2002(7):22.

[2] 赵嘉勋,谈我国城市生活垃圾采用焚烧技术的应用和发展[J].上海宝钢工程设计,2003(4): 671.

[3] 张立军.城市垃圾焚烧飞灰资源化利用前景分析[J].民营科技,2016(3):221.

[4] 施惠生,袁玲.垃圾焚烧飞灰胶凝活性和水泥对其固化效果的研究[J].硅酸盐学报,2003, 31(11): 1021-1025.

[5] Xue Yongjie, Hou Haobo, Zhu Shujing, et al. Utilization of municipal solid waste incineration ash in stone mastic asphalt mixture: Pavement performance and environmental impact[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(2): 989-996.

[6] Tay Joo Hwa, eyaseelan S J. Conditioning of oily sludges with municipal solid waste incinerator fly ash[J]. Water Science and Technology,1997, 35(8): 231-238.

[7] 李建中,李钊,何启华,等.垃圾焚烧飞灰之力学特性与在大地工程之应用[C].一般废弃物焚化灰渣资源化技术与实务研讨会论文集,1996:193.

[8] 廖宗盛.生活垃圾焚烧飞灰的处置及应用研究[J].中国资源综合利用,2018,36(8):89-90,93.

[9] 蒋旭光,常威.生活垃圾焚烧飞灰的处置及应用概况[J].浙江工业大学学报,2015, 43(1):7-17.