

粉煤灰对土壤性质和草坪生长的影响

郑海金¹ 曾峰海² 欧立业³

(1 江西省水土保持科学研究所 南昌 330029; 2 江西师范大学地理与环境学院 南昌 330027;

3 江西省基础地理信息中心 南昌 330046)

摘要 为使粉煤灰的利用避开食物链,探讨了粉煤灰在草坪业中的应用。盆栽试验结果表明:粉煤灰施加到土壤后,具有明显的降低土壤粘粒含量,增加速效 P、全 P 及部分金属元素(K、Ca、Mn、Zn、Cu、Cd 和 Pb)含量的作用,这一效果随粉煤灰施用量的增加而增加。同时,各个处理中的重金属元素 Zn、Cu 和 Pb 含量均低于“土壤环境质量标准值”一级标准,但为避免对环境的潜在危害,粉煤灰施加量应该控制在 317.29 g/kg 以内。在施灰量 300 g/kg (重量比)的土壤中,草坪生长和产量最佳; 300 g/kg 是粉煤灰用作草皮基质的最佳施加比例。

关键词 粉煤灰;草坪;土壤

中图分类号 S688; X705; X171

粉煤灰化学成份丰富而稳定,含有作物需要的大量及微量营养元素,如 P、K、Fe、Mg、Ca、B、Zn、Cu 等^[1],它可以刺激作物生长,显著提高作物产量^[2,3]。粉煤灰颗粒组成以微细的玻璃体状颗粒为主,细砂-粉砂占 65%以上,可用作土壤改良剂,改良粘质及砂质土壤的物理性状。粉煤灰资源农用是开发利用粉煤灰的重要途径,当前其农业利用已占总利用率的 20%~57%^[4]。通过这种途径,既可以解决粉煤灰堆放产生的占地与污染问题,又可以实现粉煤灰的资源化。目前世界各国的粉煤灰农用研究主要集中在改土培肥、提高作物产量方面。

但粉煤灰中含有一些金属元素如 B、Cu、Mn、Mo、Zn、As、Cd、Pb、Ni、Se 等,这些金属元素在土壤中累积可能会直接对植物或间接对动物造成毒害,并容易通过食物链对人体造成潜在危害^[5]。因此,用掺粉煤灰土壤,尤其是高量掺粉煤灰土壤进行作物种植,必须要考虑对动植物,尤其是对人体的影响。为使粉煤灰利用脱离食物链,国外有学者提出发展粉煤灰在草坪业中的应用。如 Adriano 和 Domy 等^[6]研究了高量粉煤灰对土壤物理性质及其施用对植物苗期和建坪的影响,发现粉煤灰处理过的试验地不易受干旱胁迫的影响;土壤 pH 值在植物可接受的范围内变化;黑麦草生长正常,干重也明显高于对照,而金属元素没有对植物生长造成有害影响。但到目前为止,我国关于粉煤灰在草坪业中的应用研究还十分鲜见。本文研究施用粉煤灰

对土壤性质和草坪生长的影响,以便为利用粉煤灰作为草坪栽培基质的可行性提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自北京市丰台区永定河西的长辛店,属于草甸褐潮土。由于一般城市土壤肥力较差,为了更接近实际情况,本试验所取土壤距地表 1 m 左右。粉煤灰由北京市石景山大唐实业总公司石井电厂提供,试验前先将粉煤灰堆积 3 个月左右以降低其 pH 值。试验所用的土壤和粉煤灰的理化性状见表 1。供试草种为冷季型多年生黑麦草 (*Lolium multiflorum* L.cv. *Barmultra*),由中国农业科学院畜牧所提供。

1.2 试验方法

本试验在首都师范大学资源环境与地理信息系统北京市重点实验室进行。试验采用盆栽方法,共设 5 个处理,即粉煤灰施加比分别为:0、300、500、700、1000 g/kg,依次计作 S100F0、S70F30、S50F50、S30F70、S0F100。每个处理 3 次重复,完全随机区组排列。试验盆长 33 cm,宽 24 cm,深 5 cm。每盆装土灰基质 3 kg,装盆前将土壤与粉煤灰充分混合均匀,装盆后浇足底墒水。

2001 年 9 月 29 日播种,每盆种植草籽 6.0 g(干草籽),不施任何基肥。10 月 2 日开始发芽出土,10 月 6 日苗已经基本出全,记录草坪生长初期的状

况。11月3日剪取黑麦草的地上部并计量生物量，同时在每盆中取土，风干后测定土壤的理化性质(包

括 pH 值、速效 N、速效 P、全 N、全 P、机械组成、有机质含量)及部分(重)金属元素含量。

表 1 供试土壤、粉煤灰的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil and fly ash

基质类型	pH	速效 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	机械组成 (g/kg)		
						> 0.05 mm	0.05 ~ 0.01 mm	< 0.01 mm
土壤	8.18	22.40	26.90	0.53	0.10	390	480	130
粉煤灰	8.63	12.60	0.51	0.15	0.14	870	130	0

基质类型	大量元素 (g/kg)			微量元素 (mg/kg)					
	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
土壤	2.84	1.88	3.51	24660	357.20	42.50	11.10	0.30	-
粉煤灰	5.26	7.21	5.51	25310	186.50	24.50	19.30	0.50	4.50

1.3 测定方法

pH 值采用电位测定法；速效 N 含量采用扩散吸收法；速效 P 含量采用碳酸氢钠法浸提，用 721 分光光度计测定；有机质含量采用重铬酸钾-硫酸氧化，油浴消化方法测定；全 P 含量采用高氯酸-硫酸消化浸提，钼锑抗比色法显色，721 分光光度计测定；全 N 采用蒸馏法；机械组成测定采用比重计法；金属元素 K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、Cd、Pb 等含量采用王水-双氧水-浓硝酸消煮浸提，用 WFX-1F2B 型原子吸收分光光度计测定^[7]。草坪地上部生物量将剪取的黑麦草以盆为单位烘干后称重。

2 结果与分析

2.1 对土壤质地的影响

按照苏联制土壤质地分类，未施灰土壤属于柱状碱土及强碱化土类的轻粘土；试验所用的粉煤灰相当于砂质壤土(表 1)，不同施灰处理土壤的机械组成见表 2。由表 2 可知，随着施灰量的增加，土壤物理性粘粒含量由 360 g/kg 降低到 110 g/kg，降幅 69.4% ~ 19.4%；物理性砂粒含量由 640 g/kg 增加到 890 g/kg，增幅 39.1% ~ 10.9%。统计分析结果

表明：土壤粘粒含量随施灰量的增加而递减，呈显著负相关($r = 0.979^*$)。可见，施用粉煤灰后粘土中粘粒含量降低，质地明显得到一定的改善(表 2)。这与吴家华等^[8]和毕德义等^[9]的研究结果较为一致。其机理在于粘质土壤施加粉煤灰后，会形成以粉煤灰颗粒为核心、四周粘附粘粒而类似于土壤的团粒状结构，改善土壤结构。

2.2 对土壤化学性质的影响

2.2.1 pH 值的变化 随着粉煤灰施用量的增加，土壤 pH 值稳中有升，但变幅不大(表 2)。本试验所用的土壤偏碱性，pH 值为 8.18。施用粉煤灰后土壤 pH 值变化范围为 8.20 ~ 8.32，说明施用粉煤灰对微碱性土壤酸度影响较小。吴家华等^[8]用燃煤电厂湿排法排出的粉煤灰改良粘质土壤，经过 6 个省市多年试验研究证明：每公顷施 60 万 kg 以下的粉煤灰对微碱性土壤的酸度影响不大。

在本试验中，未经风化的粉煤灰 pH 值较高，为 12.04，堆积 3 个月后，pH 下降到 8.63(表 1)。这主要是因为粉煤灰中含有一定的碱土金属，如 K、Ca、Na、Mg 等，所以干灰的酸碱度较高。当粉煤灰堆放或与水接触后，由于本身的吸附能力较强，灰中的氧化钙与水生成氢氧化钙，吸附空气中的

表 2 各种处理土壤性质测定结果

Table 2 Physical and chemical properties of the soils under different treatments

处理	机械组成 (g/kg)		pH	有机质 (g/kg)	速效 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	全 P (mg/kg)
	物理性粘粒	物理性砂粒					
	< 0.01 mm	> 0.01 mm					
S100F0	360	640	8.18	8.2	2.8	18.4	230
S70F30	290	710	8.20	-	4.2	22.8	410
S50F50	280	720	8.39	-	3.2	11.0	560
S30F70	210	790	8.32	-	2.8	27.2	750
S0F100	110	890	8.41	-	3.2	31.0	1240

CO₂ 形成碳酸钙,使其 pH 降低。本试验将堆放 3 个月后的粉煤灰施加到土壤中,不会影响到植物的正常生长。施用 35 天后测定,pH 降为 8.41(表 2),说明随施用后天数的增加,土壤 pH 有恢复原来水平的趋势。

2.2.2 常量养分的变化 土壤全 P 含量变化具有一定的规律:S100F0 < S70F30 < S50F50 < S30F70 < S0F100(表 2)。全 P 含量的变化和粉煤灰在基质中的含量具有较高的相关性($r=0.851^*$)。这就说明了粉煤灰的用量越多,混合基质中的全 P 含量越高。除 S50F50 外,其余处理的速效 P 含量均比未施粉煤灰处理(S100F0)的速效 P 含量高,增幅为 23.9%~47.8%,这说明粉煤灰能增加土壤速效 P 含量。吴家华等^[8]在山西潮土上施用粉煤灰 7.5~90 万 kg/hm²、山东济宁黑粘土上施粉煤灰 30 万 kg/hm²、湖北武昌山坡乡施粉煤灰 15~30 万 kg/hm²,发现土壤平均有效 P 含量比不施粉煤灰对照土壤分别增加 35.1%、53.3%和 55%。对 P 的最大吸附量发生

在高用量粉煤灰改良的土壤上,这与土壤对 P 的吸附和解吸作用^[4]及土壤中重金属元素(Pb、Cu、Zn)含量高^[10]等有关。但粉煤灰高量施用,土壤 pH 值升高,可降低土壤中 P 元素的有效性^[11]。在本试验中,S50F50 的 pH 值最高(8.39),速效 P 含量却最低,仅为 11.0 mg/kg(表 2)。

各处理的速度 N 含量变异较大,S70F30 的含量最高,为 4.2 mg/kg,S100F0 的含量最低,为 2.8mg/kg(表 2)。由于粉煤灰有机质含量甚少,所以各个处理的有机质含量变化没有差异。

2.2.3 金属元素含量变化 粉煤灰中含有的金属元素包括植物必需的大量元素(Ca、K、Fe、Mg)、微量元素(Cu、Mn、Mo、Zn)和非必需的重金属元素(As、Cd、Cr、Pb)。在粉煤灰所含的金属元素中,Al、Ca 和 Fe 含量与典型土壤中的含量基本一致,K、Na、Mg 含量高于土壤中的含量^[12]。粉煤灰中的微量元素变化很大,但总是比典型土壤中的含量要高^[13]。本试验金属元素含量情况见表 3。

表 3 不同处理中(重)金属元素含量(mg/kg)

Table 3 Contents of metal elements of the soils under different treatments

处理	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
S100F0	2537.5	2050	3730	2547	388	42.1	12.6	0.1	4.9
S70F30	3112.5	6550	6012.5	2592	379.1	58.3	21.6	1.2	9.5
S50F50	3432.5	8190	4965.5	2608	416.1	60.4	30.7	1.3	11.4
S30F70	3562.5	15970	6370	2531	437.7	67.2	29.1	2.1	25.1
S0F100	4655	31660	5245	2819	495.3	91.5	33.6	2.4	36.7

由表 3 可知,K、Ca、Mn、Zn、Cu、Cd、Pb 含量变化规律为:S100F0 < S70F30 < S50F50 < S30F70 < S0F100。说明土壤中的 K、Ca、Mn、Zn、Cu、Cd、Pb 含量随着施灰量的增加而增加。Mg、Fe 含量规律虽然不是很明显,但施灰处理(如 S70F30、S50F50、S30F70、S0F100)中的含量高于未施灰处理(S100F0)的相应元素含量。对各金属元素含量和粉煤灰含量进行相关性分析,结果表明:K、Ca、Mn、Zn、Cu、Cd、Pb 的含量同处理中的粉煤灰含量有一定的正向关系,其中,K、Zn、Cd、Pb 的含量与粉煤灰含量显著相关($P < 0.05$)。

在本试验所监测到的金属元素中,Fe、Mn、Zn、Cu 是植物正常生长发育所必需的微量元素,但在土壤中含量过高时也会发生污染危害;Cd、Pb 是植物非必需微量元素且对人体健康直接危害明显。除 Cd

外,Zn、Cu、Pb 元素的含量均低于国家规定的“土壤环境质量标准值”一级标准值。说明本试验所用的粉煤灰量基本上不会对土壤产生污染,用粉煤灰改良后的土壤基本上仍为“清洁级”土壤。

对 Zn、Cu、Pb、Cd 元素和粉煤灰含量进行回归分析,可以得出各重金属元素和粉煤灰含量之间的最优回归方程,其中,X 表示粉煤灰施加百分含量(%),Y 表示(重)金属元素含量(mg/kg)。按照粉煤灰施加量百分比 30 计算,各重金属的含量分别为: $Y_{Zn}=54.77$ mg/kg, $Y_{Cu}=21.38$ mg/kg, $Y_{Pb}=10.96$ mg/kg, $Y_{Cd}=0.96$ mg/kg。除了 Cd 外,其余元素的含量均大大低于“土壤环境质量标准值”一级标准值(表 4)。Cd 按照“土壤环境质量标准值”中的三级标准值 1.0 mg/kg 计算,粉煤灰的施用量应控制在 317.29 g/kg 以内。

表 4 粉煤灰用量对几种重金属的回归方程、相关系数及一级标准值

Table 4 Correlations, regression equations and standards of metallic elements

元素名称	一级标准值* (mg/kg)	回归方程	相关系数 R	Y(X=30,单位 mg/kg)
Zn	100	$Y_{Zn}=41.0724 + 0.4566 X$	0.936***	54.77
Cu	35	$Y_{Cu}=15.1752+0.2069 X$	0.864**	21.38
Pb	35	$Y_{Pb}=1.1234+0.3279X$	0.909**	10.96
Cd	0.20	$Y_{Cd}=0.2734+0.0229X$	0.945**	0.96

*: 国家环保局, 土壤环境质量标准 (GB15618-1995); **: 相关性显著水平为 0.01; ***: 相关性显著水平 0.05。

2.3 对草坪生长的影响

2.3.1 生长状况 采用目测法分别于 10 月 6 日、8 日、11 日和 31 日对草坪进行评分。评分标准采用 5 分制, 5 表示好, 4 表示较好, 3 表示一般, 2 表

示较差, 1 表示差。评价指标有: 出苗率、株高、色泽、对不利环境抵抗能力的表现(如叶片的卷曲, 干枯等), 综合评价结果见表 5。

表 5 黑麦草生长情况及地上生物量

Table 5 Growth of ryegrass and biomass of its ground part in different treatments

处理序号	出苗后发芽及生长情况					地上生物量 (g/盆)
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 25 天	综合评分 (分)	
S100F0	2.67	3.67	3.67	3.67	3.42	2.22
S70F30	4	5	5	5	4.75	2.49
S50F50	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	1.47
S30F70	3	2.67	2.67	2.67	2.75	1.78
S0F100	2.3	2	1.3	1.3	1.75	0.66

表 5 显示, S0F100 处理中的草坪在各个时期生长均最差, 综合评分仅为 1.75 分; S70F30 中的草坪生长最佳, 综合得分为 4.75 分; 其余的 3 个处理居中, S50F50 比另外两个处理略差些, 得分为 2.67 分。

2.3.2 地上生物量 将剪取的地上生物量烘干后统计如表 5。S70F30 的草屑量最多, 为 2.49 g/盆, S0F100 最少, 仅为 0.66 g/盆。另 3 个处理(S50F50、S30F70 和 S100F0) 居中, 但 S50F50 略少些。这一结果和草坪生长状况一致。S70F30 草屑量分别是 S0F100、S50F50、S30F70 和 S100F0 草屑量的 3.78、1.7、1.4、1.12 倍。

粉煤灰用于土壤显著提高作物产量的研究已有较多报道^[2,3], 但前提是粉煤灰控制在一个合理的用量范围内。从黑麦草发芽、出苗所需时间和后期的生长状况以及草坪草屑产量来考虑, 以处理 S70F30 最佳, 其原因是 S70F30 的 pH 适中 (pH8.2), 不会影响草坪对常量及微量元素如 N、P、Zn 的吸收利用, 同时土壤质地较好, 养分含量增加, 从而促进了草坪生长。因此, 粉煤灰施加量为 300 g/kg 的土壤可作为最佳新型草坪栽培基质。

3 结论

(1) 土壤粘粒含量随施灰量的增加而递减。但粉煤灰对微碱性土壤的 pH 值影响不大; 土壤速效 P、全 P 及金属元素 (K、Ca、Mn、Zn、Cu、Cd 和 Pb) 含量随施灰量的增加而增加, 且相关性较强。除 Cd 外, 其余重金属元素 Zn、Cu 和 Pb 含量均低于“土壤环境质量标准值”一级标准值, 说明本试验所用的粉煤灰量基本上不会对土壤产生污染。

(2) 土壤重金属元素的生物活性随着土壤 pH 值的升高而减弱, 植物对重金属的总量累积规律是随着施灰量的增加而递减^[2]。结合考虑黑麦草的生长发育和产量, 处理 S70F30 可作为最佳草坪栽培基质。粉煤灰中的重金属元素对土壤存在潜在危害, 317.29 g/kg 应作为粉煤灰的施用上限值。

(3) 本试验只研究了盆栽条件下粉煤灰用量与改土效果及其对草坪生长的影响, 田间大量施用粉煤灰时, 仍要加强关于重金属在土壤、植物体内的积存及对地下水潜在污染等问题的研究, 要考虑其用量与土壤污染的关系, 加强对土壤、地下水环境的监测, 探索出一个合理的用量标准, 达到作物产

量最好，而又不造成污染，充分发挥高量粉煤灰在农业、草坪业中的应用价值。

参考文献

- Adriano DC, Weber J, Bolan NS, Paramasivan S, Koo Bon-Jun, Sajwan KS. Effects of high rates of coal fly ash on soil, turfgrass and groundwater quality. *Water, Air & Soil Pollution*, 2002, 139 (1/4): 365 ~ 385
- 杨安中. 粉煤灰理化性质及改土增产效应研究. *广东微量元素科学*, 2000, 7 (2): 54 ~ 57
- 孙振元, 李潞滨. 我国草坪业现状及发展趋势. *学术园地*, 2000, (7): 3 ~ 5
- 焦有. 粉煤灰的特性及其农业利用. *农业环境与发展*, 1998, (1): 23 ~ 26
- 尚爱安, 刘玉荣, 梁重山, 党志. 土壤中重金属的生物有效性研究进展. *土壤*, 2000, 32 (6): 294 ~ 302
- Domy AC, John WT. Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30 (2): 596 ~ 601
- 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 吴家华, 刘宝山, 董云中, 刘继青, 王岗. 粉煤灰改土效应研究. *土壤学报*, 1995, 32 (3): 334 ~ 340
- 毕德义, 吴子一. 磁化粉煤灰对作物增产机理的研究简报. *山东农学院学报*, 1983, (1): 71 ~ 74
- Tu C, Zheng CR, Chen HM. Effect of heavy metals on phosphorus retention by typic udic ferrisols: equilibrium and kinetics. *Pedosphere*, 2002, 12 (1): 15 ~ 24
- 翟建平, 谭衢霖, 付晓茹, 吕鹏. 施灰土壤的理化性质分析及作物增产机理探讨. *粉煤灰综合利用*, 2002, (2): 3 ~ 6
- Mattigod SV, Rai D, Eary LE, Ainsworth CC. Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel residues I. Review of the major elements. *J. Environ. Qual.*, 1990, 19: 188 ~ 201
- Eary LE, Rai D, Mattigod SV, Ainsworth CC. Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: II. Review of the minor elements. *J. Environ. Qual.*, 1990, 19: 202 ~ 214.

EFFECT OF FLY ASH ON SOIL PROPERTIES AND GROWTH OF TURFGRASS

ZHENG Hai-jin¹ ZENG Feng-hai² OU Li-ye³

(1 Science Institute of Water and Soil Conservation of Jiangxi Province, Nanchang 330029;

2 College of Environment and Geography, Jiangxi Normal University, Nanchang 300027;

3 Jiangxi Provincial Geomatics Information Center, Nanchang 330046)

Abstract Because application of certain fly ashes in farmland, especially at high rates, can affect quality of the crop and the food chain in general, other application options should be explored. For instance in non-food chain areas, such as turf (sod) farms. By pot experiment, effects of fly ash on soil physical and chemical properties and growth of turfgrass were studied. Results indicate that application of mixture of fly ash and soil could enhance soil physical properties, such as contents of clayey particles, available P, total P and some metal elements, e.g., K, Ca, Mn, Zn, Cu. These effects were in close relation to the application rates of fly ash. At the same time, with higher rates of fly ash, the contents of Pb and Cd were increasing linearly. But the contents of some metal elements, i.e., Zn, Cu, and Pb remained below the criteria of Grade I of the Quality Standards for Soil Environment (QSSE). According to the criteria of Grade III of the QSSE for cadmium element, the usage of fly ash should be controlled below 317.29 g/kg. Growth and yields of turfgrass were optimal in the treatment of S70F30, so application of fly ash at a rate of 300 g/kg should be an optional recommendations for sod.

Key words Fly ash, Turfgrass, Soil