

粉煤灰用做复合肥的可行性研究

姚远, 李灿, 邓鑫, 齐立强* (华北电力大学环境科学与工程系, 河北保定 071000)

摘要 [目的] 探明粉煤灰用做复合肥的可行性以发展和生产粉煤灰复合肥, 减轻粉煤灰堆积带来的环境压力。[方法] 对 4 个电厂的粉煤灰和保定市北部农耕黄潮土分别进行容重、比重、孔隙度、导热率、比表面积 5 种物理性质和 XRF 测定。[结果] 粉煤灰可以改善黄潮土的物理性能且两者化学组成较为相似, 部分对农作物有益的微量元素 Cu、Zn、S 等含量粉煤灰甚至高于黄潮土, 有做化肥的条件和潜质。同时, 对粉煤灰中 5 种有毒重金属 As、Cr、Cd、Pb、Hg 进行浸出试验, 结合粉煤灰复合肥制作方式和实际施用情况, 得出粉煤灰用做复合肥几乎不会对土壤重金属含量产生影响。[结论] 粉煤灰具有做复合肥的可行性。

关键词 粉煤灰; 物理性质; XRF; 重金属; 浸出试验

中图分类号 S143 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)01-0074-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Feasibility Study of Fly Ash as Compound Fertilizer

YAO Yuan, LI Can, DENG Xin et al (College of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding, Hebei 071000)

Abstract [Objective] The feasibility of using fly ash as compound fertilizer was proved to develop and produce fly ash compound fertilizer and reduce the environmental pressure caused by fly ash accumulation. [Method] Five physical properties including bulk density, specific gravity, porosity, thermal conductivity, specific surface area and XRF were determined for fly ash from four power plants and luvo-aquic soil from northern Baoding City. [Result] Fly ash could improve the physical properties of luvo-aquic soil and the two were relatively similar in chemical composition. Some trace elements Cu, Zn, S which were beneficial to crops contain fly ash was higher than that of fluvo-aquic soil. Therefore, fly ash had the conditions and potential to be used as fertilizer. At the same time, leaching tests were carried out on five toxic heavy metals As, Cr, Cd, Pb and Hg in fly ash. Combined with the production method and actual application of fly ash compound fertilizer, it was concluded that the use of fly ash as compound fertilizer would have little impact on soil heavy metal content. [Conclusion] Fly ash has the feasibility of making compound fertilizer.

Key words Fly ash; Physical properties; XRF; Heavy metals; Leaching test

粉煤灰作为火力发电的副产物, 是一种丰富的潜在资源。我国从 20 世纪 60 年代开始对粉煤灰的应用进行研究, 至今已在建筑材料和建筑工程上得到了广泛应用, 但目前粉煤灰利用率仍为 67% 左右, 远不及欧盟的 90% 以上^[1-3]。要进一步提高粉煤灰的利用率, 减轻堆积污染, 还需加大在其他领域的研究与应用。

利用粉煤灰生产复合肥是一项既符合我国国情又能创造较高经济效益的技术。研究表明, 粉煤灰可以有效促进大部分农作物的生长并提高产量^[4-6], Mittra 等^[7]研究表明, 粉煤灰用于复合肥可以节约原料和提高肥效。但也有部分研究表明, 粉煤灰的微量营养元素含量并不高, 没有作为复合肥价值^[8-11]。此外还有大量研究表明, 粉煤灰所含的 As、Hg 等重金属元素可能会对土壤及农作物产生积累造成中毒, 不适合长期施用^[12-15]。研究结果的不统一, 是制约粉煤灰复合肥发展的重要原因之一。笔者对粉煤灰的物理性质、化学组分及重金属污染 3 个方面进行研究, 并用保定市北部农耕黄潮土对比, 研究粉煤灰用做复合肥的可行性, 旨在为粉煤灰复合肥的发展和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 分别选取保定热电厂、邹城电厂、六安电厂、章丘电厂的粉煤灰及保定北部农耕黄潮土作为试验原

料。取 4 种粉煤灰样品各 100 g, 于 105 °C 烘干 2 h 去除水分, 计算含水率, 之后用球磨机把所有待试验样品粒径磨 0.08 mm 以下, 使其具有良好强度和活性。

1.2 物理性质及 XRF 测定 对粉煤灰和土壤的容重、比重、导热率、比表面积及 XRF 进行测定, 具体测定方法: 容重采用环刀法测定; 比重采用比重瓶法测定; 导热性采用热脉冲法测定; 比表面积采用 ST-03 型比表面积分析仪测定; XRF 采用日本理学 ZSX Primus 2 测定。

1.3 浸出试验 为了尽可能多地浸出重金属以探究粉煤灰对土壤环境的影响, 以中华人民共和国环境保护部颁布的《固体废物浸出毒性浸出方法-水平振荡法》为标准, 同时参考李凤彩^[16]的研究结果, 确定如下试验方法: 分别取粉煤灰样品各 100 g, 根据预处理时测得的含水率, 计算粉煤灰固体质量, 以固液比 1:10 放入提取瓶中。浸取剂使用去离子水, pH 5.8~6.3, 试验过程中不再调节 pH。调节振荡频率为 110 次/min, 振幅 40 mm, 在室温下振荡 8 h 后取下提取瓶, 静置 16 h。取上清液经 0.45 μm 滤膜过滤后, 测定试样中各项重金属浸出量。每种粉煤灰做 2 组平行试验进行比较。

As 与 Hg 浸出液采用原子荧光光度计测定, 设备为 AFS-820 双道原子荧光光度计; Cr、Pb 与 Cd 浸出液采用分光光度计测定, 设备为 T6 新世纪。

2 结果与分析

2.1 粉煤灰与黄潮土物理性质和 XRF 测定结果 土壤的容重、比重和孔隙度决定了土壤的导水性、保水性、透气性等性质, 导热性决定了土壤的温度状况, 比表面积决定了土壤

作者简介 姚远(1994—), 男, 安徽广德人, 硕士研究生, 研究方向: 大气污染控制。* 通信作者, 教授, 博士, 从事大气污染控制研究。

收稿日期 2018-08-21

养分的吸附状况。这些参数均与农作物生长密切相关,同时也是评价土壤质量的重要指标,对 4 种粉煤灰和黄潮土进行 4 种属性的测定,并计算孔隙率,结果见表 1。由表 1 可知,粉煤灰相较于黄潮土,容重低,比重接近,孔隙度高,导热率

低。施入土壤后可以有效降低土壤容重(适宜农作物的容重为 1.14~1.26 g/cm³);增加孔隙度使其达到适宜农作物的孔隙度(适宜农作物的孔隙度为 50%~60%);提高土壤的保水性。

表 1 粉煤灰与黄潮土物理性质
Table 1 Determination of physical properties of fly ash and yellow fluvo-aquic soil

电厂 Power plant	容重 Bulk density g/cm ³	比重 Specific gravity g/cm ³	孔隙度 Porosity %	导热率 Thermal conductivity W/(m·K)	比表面积 Specific surface area cm ² /g
保定热电厂 Baoding thermal power plant	0.52	2.04	74.58	0.128	2 358.27
邹城电厂 Zoucheng power plant	0.80	2.36	66.12	0.113	2 765.96
六安电厂 Luan power plant	0.67	2.26	70.43	0.141	2 587.42
章丘电厂 Zhangqiu power plant	0.73	2.39	69.55	0.125	2 786.48
保定黄潮土 Baoding fluvo-aquic soil	1.53	2.72	43.87	0.216	78.65

粉煤灰的化学组成和微量元素含量是衡量其是否能做化肥的重要指标,因此对 4 个电厂粉煤灰与黄潮土进行 XRF 测定,结果见表 2、3。由表 2 可知,测定的 7 种主要氧化物均

占粉煤灰及黄潮土总组分的 90%以上,且每一个组分所占比例粉煤灰与黄潮土差距不大,说明二者的化学成分基本相似。

表 2 粉煤灰与黄潮土主要化学成分含量
Table 2 Chemical composition content of fly ash and fluvo-aquic soil

电厂 Power plant	SiO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
保定热电厂 Baoding thermal power plant	46.9	14.5	15.2	11.1	0.35	2.26	0.28
邹城电厂 Zoucheng power plant	19.2	15.7	17.5	34.9	0.19	2.18	0.19
六安电厂 Luan power plant	36.4	18.0	21.1	13.5	0.27	1.62	0.28
章丘电厂 Zhangqiu power plant	37.6	16.6	23.1	9.68	0.18	1.86	0.21
保定黄潮土 Baoding fluvo-aquic soil	49.0	9.25	9.96	20.4	0.44	2.57	0.17

表 3 粉煤灰和黄潮土部分微量元素含量

Table 3 Part trace elements content of fly ash and fluvo-aquic soil

电厂 Power plant	%				
	Mn	Cu	Zn	S	Ni
保定热电厂 Baoding thermal power plant	0.469	0.171	0.173	0.569	0.087
邹城电厂 Zoucheng power plant	0.481	0.063	0.089	1.88	0.069
六安电厂 Luan power plant	0.507	0.142	0.117	0.505	0.104
章丘电厂 Zhangqiu power plant	0.585	0.095	0.138	0.097	0.073
保定黄潮土 Baoding fluvo-aquic soil	0.434	0.044	0.061	0.086	0.049

从表 3 可以看出,所测得的 5 种对农作物有益的微量元素,除 Mn 含量稍低外,其余元素粉煤灰的含量均高于黄潮土。这表明粉煤灰与黄潮土化学组分相似,物理性能优良,粉煤灰中对农作物有益的微量元素含量高,具有做化肥的潜质。

2.2 浸出试验结果 由于实际生活中粉煤灰复合肥中的各类物质主要通过液体浸出进入土壤,因此选择浸出试验并计算浸出率,研究粉煤灰复合肥在土壤中可能的污染情况。结果见表 4。选取 40%粉煤灰添加量探究其最大影响值。以土地平均施复合肥 1 500 kg/hm² 为研究标准,则施用的粉煤灰占 40%为 600 kg。根据表 4 试验结果,以浸出最多的数据作为研究对象来探究最大浸出影响,得到 As、Cr、Cd、Pb、

Hg 的浸出液浓度为 0.33、0.14、0.000 6、0.064、0.001 4 mg/L,根据表 5 数据计算出 As、Cr、Cd、Pb、Hg 对应的浸出率为 12.38%、1.98%、0.88%、0.69%、5.38%,由此可知,600 kg 粉煤灰 As、Cr、Cd、Pb、Hg 分别浸出 1 978.8、838.8、3.6、385.35、8.4 mg 进入土壤。1 hm² 农耕土地 20 cm 耕层土壤重量约 2 250 000 kg,由于施肥后会有不断地犁地和翻种过程,600 kg 粉煤灰重金属平均进入 225 000 kg 土壤中,则 1 kg 土壤中 As、Cr、Cd、Pb、Hg 增加量为 8.79×10⁻⁴、3.73×10⁻⁴、1.60×10⁻⁶、1.71×10⁻⁴、3.73×10⁻⁶ mg。通过 XRF 测得黄潮土 As、Cr、Cd、Pb、Hg 的背景值为 6.620、27.350、0.117、27.820、0.087 mg/kg,两者相加总和对对比土壤环境质量国家二级标准规定数值 As≤20 mg/kg, Cr≤300 mg/kg, Cd≤0.6 mg/kg, Pb≤350 mg/kg, Hg≤1 mg/kg 看,这些增加微乎其微,几乎不会对土壤重金属含量产生影响。

表 4 粉煤灰浸出试验结果
Table 4 Leaching test results of fly ash

电厂 Power plant	mg/L				
	As	Cr	Cd	Pb	Hg
保定热电厂 Baoding thermal power plant	0.09	0.14	0.000 1	0.031 0	0.002 0
邹城电厂 Zoucheng power plant	0.28	0.046	0.000 6	0.017 0	0.001 4
六安电厂 Luan power plant	0.33	0.089	0.000 1	0.008 4	0.000 1
章丘电厂 Zhangqiu power plant	0.19	0.076	0.000 1	0.064 0	0.000 9

表 5 粉煤灰有害重金属含量

Table 5 The harmful heavy metal content of fly ash		mg/kg				
电厂 Power plant		As	Cr	Cd	Pb	Hg
保定热电厂 Baoding thermal power plant		8.89	70.61	0.16	71.48	0.09
邹城电厂 Zoucheng power plant		20.08	40.02	0.68	54.61	0.26
六安电厂 Luan power plant		26.64	53.53	0.25	46.27	0.08
章丘电厂 Zhangqiu power plant		14.45	49.65	0.092	92.64	0.18

3 结论与讨论

为了探究粉煤灰用于制作复合肥的可行性,对 4 个电厂粉煤灰和保定市北部农耕黄潮土进行容重、比重、孔隙度、导热性、比表面积这 5 种物理性质的测定,结果表明,粉煤灰相较于黄潮土,容重低,比重接近,孔隙度高,导热率低。施入土壤后可以有效降低土壤容重(适宜农作物的容重为 1.14~1.26 g/cm³);增加孔隙度使其达到适宜农作物的孔隙度(适宜农作物的孔隙度为 50%~60%);提高土壤的保水性,因为增加土壤湿度能提高土壤导热性,湿润的表土层因导热性强,白天吸收的热量易于传导至下层,使表层温度不易升高,夜晚下层温度又向上层传递以补充上层热量的散失,使表层温度下降也不致过低,使土壤昼夜温差较小。因而冬季麦田干旱时浇水防冻、早春灌水防霜冻。粉煤灰施入土壤后可使水、肥、气、热均适于农作物生存。同时,较大的比表面积,可以更好地附着一些养分离子和气体,增强土壤的养分环境,更适于农作物的生长。

对粉煤灰和黄潮土进行 XRF 的检测,结果发现,SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、P₂O₅ 7 种氧化物占粉煤灰及黄潮土总组分的 90%以上,且每一个组分所占比列粉煤灰与黄潮土差距不大,说明这 2 种物质的化学组成基本相似。同时,XRF 的单元素检测结果显示,粉煤灰对农作物有益的微量元素 Mn、Cu、Zn、S、Ni 最低测得值为 0.469%、0.063%、0.089%、0.097%、0.069%,均高于黄潮土的 0.424%、0.044%、0.061%、0.086%、0.049%,施于土壤可以增加土壤肥力。对 4 种粉煤灰进行浸出试验,并计算各自的浸出率,

最终得出粉煤灰复合肥施用于农田后土壤重金属增加情况,表明粉煤灰复合肥几乎不会对土壤重金属含量产生影响。综上所述,粉煤灰复合肥的应用是可行的。

参考文献

[1] YAO Z T,JI X S,SARKER P K,et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash[J]. Earth-science reviews,2015,141:105-121.

[2] 刘可星,廖宗文. 粉煤灰的农用开发及其意义[J]. 粉煤灰综合利用,1997(1):44-46.

[3] GARG R N,PATHAK H,DAS D K,et al. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil[J]. Environmental monitoring & assessment 2005,107(1/2/3):1-9.

[4] PAGE A L,ELSEEWI A A,STRAUGHAN I R. Physical and chemical properties of fly ash from coal-fired power plants with reference to environmental impacts[M]//GUNTHER F A,GUNTHER J D. Residue reviews. York:New Springer,1979:83-120.

[5] GREWAL K S,YADAV P S,MEHTA S C,et al. Direct and residual effect of flyash application to soil on crop yield and soil properties[J]. Crop res,2001,21:60-65.

[6] HILL M J,LAMP C A. Use of pulverised fuel ash from Victorian brown coal as a source of nutrients for a pasture species[J]. Australian journal of experimental agriculture,1980,20(104):377-384.

[7] MITTRA B N,KARMAKAR S,SWAIN D K,et al. Fly ash-a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system[J]. Fuel,2005,84(11):1447-1451.

[8] 杨剑虹,车福才,王定勇,等. 粉煤灰的理化性质与农业化学行为的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1997,3(4):341-348.

[9] 田采霞,郭保华,宋晓梅. 贮灰场粉煤灰中微量元素的浸泡试验研究[J]. 粉煤灰,2007,19(5):21-23.

[10] SHARMA S K,KALRA N. Effect of flyash incorporation on soil properties and productivity of crops:A review[J]. Journal of scientific & industrial research,2012,65(5):393-390.

[11] SCHNAPPINGER M G,MARTENS D C,PLANK C O. Zinc availability as influenced by application of fly ash to soil[J]. Environmental science & technology,1975,9(3):258-261.

[12] EISENBUD M,PETROW H G. Radioactivity in the atmospheric effluents of power plants that use fossil fuels[J]. Science,1964,144(3616):288-289.

[13] TADMOR J. Radioactivity from coal-fired power plants:A review[J]. Journal of environmental radioactivity,1986,4(3):177-204.

[14] KUMAR R,MATHUR A K,SINGH A K,et al. Study of radon exhalation rate and uranium concentration from flyash produced in the combustion of coal using SSATD's[J]. Indian J Environ Prot,2005,25(7):609-611.

[15] GŁOWIAK B J,PACYNA J M. Radiation dose due to atmospheric releases from coal/fired power stations[J]. International journal of environmental studies,1980,16(1):23-28.

[16] 李凤彩. 水处理污泥中几种重金属的浸出变化研究[J]. 价值工程,2016,35(17):150-151,152.