

粉煤灰在改良盐碱地土壤中的机理研究

张志众, 李云凯, 孙秀君

(唐山学院 环境与化学工程系, 河北 唐山 063000)

摘要: 利用粉煤灰进行盐碱土改良试验, 采用掩模层配比法, 研究了不同配比下盐碱土与粉煤灰混合后理化性质的变化规律。结果表明, 使用粉煤灰可降低土壤容重, 提高土壤孔隙体积, 减少土壤中的碱性物质含量, 加快土壤排盐速度及改善土壤的化学性质。同时, 分析了粉煤灰与土壤不同比例下木苗的最佳生长状况和生理指标。

关键词: 粉煤灰; 盐碱土; 改良; 掩模层配比法

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2014)06-0027-04

A Research on the Mechanism of Fly Ash in Saline Soil Improvement

ZHANG Zhi-zhong, LI Yun-kai, SUN Xiu-jun

(Department of Environmental and Chemical Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

Abstract: The authors of this paper have conducted experiments in saline soil improvement with fly ash, using the mask layer ratio method, and studied the variation of physical and chemical properties of the soil under different ratios of saline soil to fly ash. The results show that the use of fly ash can reduce soil bulk density, increase soil pore volume, reduce the alkali content in the soil, speed up the soil salt drainage rate and improve soil chemical properties. The authors have also analyzed the optimal growth conditions and physiological indicators of seedlings in soil under different proportions of saline soil to fly ash.

Key Words: fly ash; saline soil; improvement; mask layer ratio method

粉煤灰是燃煤火力发电厂在生产过程中排放出的大量固体废渣^[1]。粉煤灰对环境的危害主要体现在重金属和放射性物质污染、空气污染、水污染、土壤污染、人体健康危害以及地质灾害等多个方面。一直以来我国对粉煤灰的处置方法多以传统消极的堆放保存为主, 这种堆贮的治理方法已经给社会带来了巨大的环境问题。盐碱土是对盐土和碱土的统称。土壤中的含盐量在 0.1%~0.2% 以上, 或土壤胶体吸附一定数量的交换性钠, 碱化度数值在 15%~20% 以上, 且有害于作物正常生长的土壤属盐碱土类型, 或称盐渍土^[2]。唐山地区具有丰富的粉煤灰资源和代表性的盐碱土壤, 针对盐碱土问题, 如果通过添加适量的粉煤灰, 改进运行方式和优化操作条件, 可以实现粉煤灰对盐碱土的改良。

1 研究内容及方法

1.1 研究内容

通过园林开垦地试验的方法, 采用掩模层配比法, 研究

不同配比的粉煤灰和原土混合后各地块盐碱土壤理化性状的差异性, 主要内容是对加入不同混合配比的粉煤灰与原土混合后土壤的质地、有机质含量、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量、酸碱性及水分等养分状况的研究。

1.2 研究方法

采用掩模层配比法。首先对地形进行整体改造, 即在试验地周围挖阳沟, 挖出的土壤按试验设计与粉煤灰、炉渣等混合堆土成基, 加速土壤脱盐, 使土壤达到植物生长发育的条件。在种植层以下设置 25 cm 左右隔离带, 上层用粉煤灰和试验地土壤以不同梯度进行配比, 再进行不同配植方式的种植。

2 试验内容与方法

2.1 试验场地设计

试验设 10 个处理小区 (A1-E2), 每处理小区长 10 m, 宽 2 m, 分别平地铺设 25 cm 厚炉渣, 其上覆 40~50 cm 混合

收稿日期: 2013-11-21

作者简介: 张志众 (1979-), 男, 河北唐山人, 讲师, 硕士, 主要从事环境工程、环境监测研究。

土,混合土由挖沟起始土壤与粉煤灰按 4:1 比例混成,栽种植物。

2.2 采样及检测指标

2.2.1 土壤样品的采集

土壤分析包括养分供应分析,一般在晚秋或早春采集土壤^[3]。在木苗返青前后,进行 3 次采样。采样面积的规格约为长 1.5 m,宽 0.8 m,深 1.0 m,采样深度为 10 cm 和 30 cm。在采样标注图上标出采样地点,以避免下次在相同处采集。

2.2.2 土壤测定指标

试验内容选取以下指标:土壤质地、容重、pH 值、可溶盐含量、有机质含量、全氮含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量。取不同试验处理地块的土壤样本,测定其理化性质,分析添加粉煤灰后对盐碱土产生的影响。

2.2.3 土壤测定的试验方法和装置

pH 值用蒸馏水(水土比 5:1)浸提,pH 计测定;可溶性盐用电导率法测定,使用 MU2020 型电导率控制器;有机质用重铬酸钾容量法一稀释热法测定;全氮用半微量凯氏法测定;速效磷用 0.5 mol/L 的 NaHCO_3 溶液浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾用中性 1 mol/L 乙酸铵 20 溶液浸提,火焰光度计测定;容重用环刀法测定;土壤质地采用吸管法测定。

3 结果与分析

3.1 粉煤灰对试验土壤的性质影响

3.1.1 试验土壤质地的变化

试验用粉煤灰是一种形状各异、大小不等的颗粒状物,颜色为深黑色,相当于细砂壤土。直径 0.002~0.02 mm 的粉粒占 65% 以上,直径 0.02~2 mm 的粉粒含量少于 32.4%,直径小于 0.002 mm 的粉粒更是低于 1.1%。试验中掺入一定比例粉煤灰后的土壤质地具体数据详见表 1。由表 1 可知,随着粉煤灰用量的增加,试验土壤中 D1,D2 大于 0.002 mm 的粉粒含量由对照原土的 30.57% 和 31.21% 分别增加至 44.52% 和 45.64%,平均为原来的 1.41 倍,粉粒含量随粉煤灰加入量明显增加,而粘粒和砂粒的含量则明显降低,由对照原土的 27% 和 42% 左右分别降至 16% 和 38% 左右,土壤类别也从重壤土变为中壤土,土壤质地明显得到一定的改善。

表 1 不同处理方案对土壤质地的影响

处理 方案	粘粒(%) <0.002 mm	粉粒(%) 0.002~ 0.02 mm	砂粒(%) 0.02~ 2 mm	土壤 质地	土灰 比
A1	21.81	37.54	40.65	中壤土	4:1
A2	21.94	38.42	39.64	中壤土	4:1
B1	20.53	39.29	40.18	中壤土	3:1
B2	20.65	40.22	39.13	中壤土	3:1

处理 方案	粘粒(%) <0.002 mm	粉粒(%) 0.002~ 0.02 mm	砂粒(%) 0.02~ 2 mm	土壤 质地	土灰 比
C1	19.61	40.54	39.85	中壤土	5:2
C2	19.72	41.51	38.77	中壤土	5:2
D1	16.69	44.52	38.79	中壤土	3:2
D2	16.74	45.64	37.62	中壤土	3:2
E1	26.92	30.57	42.51	重壤土	对照
E2	27.13	31.21	41.66	重壤土	对照
粉煤灰 1	1.34	65.45	33.21	砂壤土	全灰
粉煤灰 2	1.19	67.28	31.53	砂壤土	全灰

3.1.2 容重与孔隙体积的变化

试验用粉煤灰比重为 2.05 g/cm³,自然沉积后,容重均值仅为 0.70 g/cm³ 左右,而毛管孔隙体积则平均高达 81.65%。因此,随着粉煤灰施用量的增加,土壤容重减小,总孔隙体积、毛管孔隙体积增加,详见表 2。分别对不同处理方案的各项土壤指标作图,如图 1—3 所示。

表 2 不同处理方案对土壤容重及孔隙体积的影响

处理 方案	容重 /(g·cm ⁻³)	总孔隙 体积(%)	毛管孔隙 体积(%)	土灰比
A1	1.29	55.52	50.18	4:1
A2	1.24	52.94	50.06	4:1
B1	1.25	57.48	52.13	3:1
B2	1.21	55.30	52.05	3:1
C1	1.22	58.89	53.57	5:2
C2	1.18	56.91	53.44	5:2
D1	1.14	63.40	57.96	3:2
D2	1.10	62.38	58.02	3:2
E1	1.43	47.61	42.47	对照
E2	1.37	43.53	42.15	对照
粉煤灰 1	0.71	87.12	81.32	全灰
粉煤灰 2	0.69	90.74	81.98	全灰

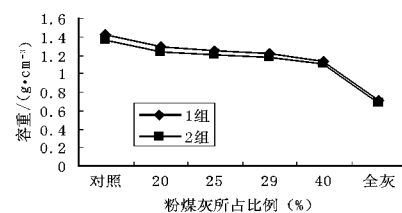


图 1 不同处理方案对土壤容重的影响

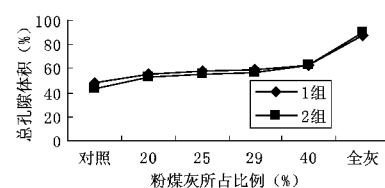


图 2 不同处理方案对土壤总孔隙体积的影响

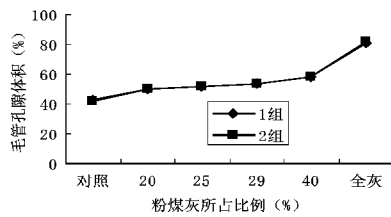


图3 不同处理方案对土壤毛管孔隙体积的影响

从方案对比中可以看出,施用粉煤灰后土壤的容重降低了 $0.1 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$,毛管孔隙体积增加了 $8\% \sim 15\%$,由此增加了土壤的保水性能。由图表分析得到不同处理方案土壤的物理形状也各不相同。根据测定:试验地块 D1,D2 的毛管孔隙体积及总孔隙体积均为各种处理方案的最高值,总孔隙体积分别为 63.40% 和 62.38% ,毛管孔隙体积分别为 57.96% 和 58.02% ,且土壤容重最小分别为 1.14 g/cm^3 和 1.10 g/cm^3 ,说明该土壤物理性状最好,透气透水性能良好,土层疏松柔软,保水保肥能力较强。试验地块 A2 的物理性状最差,总孔隙体积 52.94% ,毛管孔隙体积 50.06% ,为所有试验地块中的最低值,容重最重只达到 1.24 g/cm^3 ,此数据说明该处理方案的土壤质地固相较多,气相偏少,所以毛管持水量也相应最少,土层相对紧密度大,透气透水性能最差,同时保水保肥能力也最差,不利于植物生长。其他试验地块的各项指标介于两者之间,按指标优良性能排列顺序为粉煤灰 > D1D2 > C1C2 > B1B2 > A1A2 > 对照土壤。

3.1.3 土壤化学性质测定分析

本试验中土壤化学性质测定结果详见表 3。

表 3 不同处理方案的土壤化学性质测定结果

项目	pH 值	可溶盐 (%)	有机质 (%)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
A1	8.27	0.51	0.41	0.46	32.14	12.64	272.63
A2	8.29	0.52	0.47	0.48	33.78	12.58	251.87
B1	8.24	0.51	0.46	0.46	33.45	14.55	288.75
B2	8.28	0.48	0.39	0.43	30.71	14.48	269.53
C1	8.29	0.48	0.38	0.41	30.11	13.91	300.47
C2	8.31	0.47	0.43	0.42	31.68	13.83	281.21
D1	8.41	0.42	0.35	0.37	27.36	11.28	337.24
D2	8.43	0.41	0.38	0.37	28.91	11.16	320.63
E1	8.16	0.58	0.48	0.53	37.13	5.07	208.77
E2	8.11	0.61	0.55	0.55	39.05	5.14	193.02
粉煤灰 1	8.63	0.21	0.12	0.13	12.71	43.29	531.23
粉煤灰 2	8.72	0.17	0.14	0.11	12.88	42.83	527.16

(1)土壤 pH 值的变化。粉煤灰还可以改善土壤的 pH 值^[4]。各处理方案试验地块土壤 pH 均值详见表 3 中 pH 值一项。分两组采样,不同处理方案对土壤 pH 值的影响如图 4 所示。本试验中选用的粉煤灰来自电厂贮灰场,因经过了较长时间的存放,风化作用后粉煤灰的 pH 值迅速降低,经

过测试,pH 值范围为 $8.63 \sim 8.72$,比土壤略高。因此,与试验地块的原土进行不同比例混合后对土壤 pH 值造成的影响并不明显。

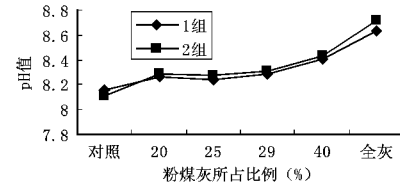


图4 不同处理方案对土壤 pH 值的影响

(2)可溶性盐的变化。各处理方案试验地块土壤可溶性盐的含量均值详见表 3 中可溶盐一项。分两组采样,不同处理方案对土壤可溶盐的影响如图 5 所示。由图表可知,试验用粉煤灰含盐量平均为 0.19% 左右,随着粉煤灰施用量的增加,土壤含盐量减小,粉煤灰使用量最大的 D1,D2 地块,可溶盐含量降至 0.42% , 0.41% ,降幅最大;粉煤灰施用量最小的 A1,A2 地块,可溶盐含量分别为 0.51% 和 0.52% ,降幅最小。各种处理方案综合分析,土壤可溶盐含量降低幅度可达 $0.08\% \sim 0.18\%$,植物所受的盐胁迫危害进一步减小。试验前已对试验土地进行了混合堆土成基的地形改造,在淋洒灌溉过程中促进了土地盐分的排盐速度,使得盐碱地土壤的含盐量迅速降低。

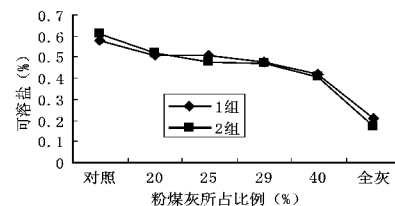


图5 不同处理方案对土壤可溶盐的影响

(3)有机质含量的变化。各处理方案试验地块土壤有机质含量均值详见表 3 中有机质一项。分两组采样,不同处理方案对土壤有机质的影响如图 6 所示。试验用粉煤灰有机质含量较试验对照地块本底值更低,仅为 0.13% 左右;试验对照地块有机质含量在 0.5% 左右,属于相对贫瘠的土壤。随着粉煤灰施用量的增加,土壤含有机质有所减小,降低幅度可达 $0.12\% \sim 0.17\%$,植物所需要的养分减少,粉煤灰加入量过大,会造成植物营养成分不足。此问题可通过投加有机物质得到改善,例如添加牲畜粪便或水库淤泥等物质。

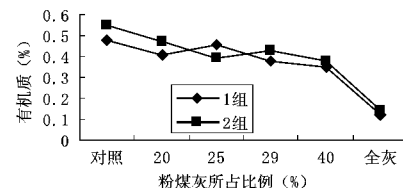


图6 不同处理方案对土壤有机质的影响

(4)土壤全氮的变化。各处理方案试验地块土壤全氮含量均值详见表 3 中全氮一项。分两组采样,不同处理方案对土壤全氮的影响如图 7 所示。试验用粉煤灰全氮含量很低,平均值为 0.12 g/kg。因此,随着粉煤灰施用量的增加,土壤全氮含量减小,植物所需要的养分进一步减小,影响植物的生长。这与有机质含量降低规律一致,通过耕作施肥可改善这一不利影响。

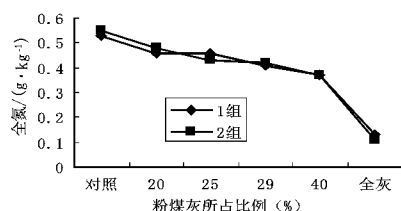


图 7 不同处理方案对土壤全氮的影响

(5)速效氮含量的变化。各处理方案试验地块土壤速效氮含量均值详见表 3 中速效氮一项。分两组采样,不同处理方案对土壤速效氮的影响如图 8 所示。由图表分析可知,试验用粉煤灰速效氮含量为 12.8 mg/kg 左右,低于土壤的速效氮含量。随着粉煤灰施用量的增加,土壤速效氮含量减小,其中施灰量最大的试验地块 D1, D2 降幅最高,分别达 9.77 mg/kg 和 10.14 mg/kg,这与全氮的分布规律相似,严重影响植物生长。

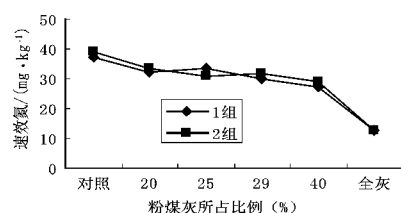


图 8 不同处理方案对土壤速效氮的影响

(6)速效磷含量的变化。各处理方案试验地块土壤速效磷含量均值详见表 3 中速效磷一项。分两组采样,不同处理方案对土壤速效磷的影响如图 9 所示。土壤中全磷含量较低,速效磷的含量通常会略显不足。但即便全磷含量较高的土壤也不一定保证含有足够的速效磷供应作物生长,因为土壤中的磷大部分是以磷酸钙盐这种难溶性化合物形式存在的,能被作物吸收利用的速效磷含量有限。因此要测定土壤中速效磷的含量才能客观地说明土壤磷肥力的供应情况。

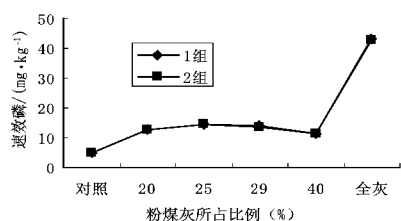


图 9 不同处理方案对土壤速效磷的影响

(7)速效钾含量的变化。各处理方案试验地块土壤速效

钾含量均值详见表 3 中速效钾一项。分两组采样,不同处理方案对土壤速效钾的影响如图 10 所示。从图中可以看出,随着粉煤灰施用量的增加,土壤中速效钾的含量也对应增加,增幅为 43~144 mg/kg。

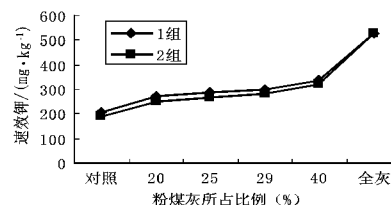


图 10 不同处理方案对土壤速效钾的影响

3.2 试验土壤对木苗生长监测结果与分析

木苗在试验土壤上移植 18 个月后,对试验木苗进行了抽样监测,结果按照树种不同分别列表,详见表 4。

表 4 不同处理方案对植物生长的影响

项目	成活率 (%)	胸径 /mm	冠幅 /mm	枝数 /枝	木苗高度 /mm	土灰比
A1	100	44±4	1 095±30	3	1 975±40	4:1
A2	100	45±5	1 100±25	3	1 980±45	4:1
B1	100	47±2	1 142±20	3	2 008±40	3:1
B2	100	48±3	1 138±15	3	2 014±35	3:1
C1	100	46±5	1 070±30	3	1 975±45	5:2
C2	100	46±4	1 075±25	3	1 960±55	5:2
D1	100	43±5	1 005±35	3	1 805±70	3:2
D2	100	42±5	1 010±30	3	1 750±80	3:2
E1	100	45±4	1 035±25	3	1 900±60	对照
E2	100	43±2	1 045±20	3	1 870±65	对照

3.2.1 木苗生长状况分析

由表 4 可以明显看出,按照土灰的比例,分别施加 4:1, 3:1 和 5:2 的粉煤灰后,木苗的胸径、冠幅和木苗高度均比对照提高。施加 3:2 的粉煤灰时,由于植物根部有固氮作用,对改良后的土壤养分需求不苛刻,生长没有受到很大的影响,但为了保证土壤的养分,粉煤灰含量最好控制在 30% 以下,因为超过 30%,除固氮能力极强的植物外,其他木苗生长可能会受到明显影响。

3.2.2 木苗生理指标测定结果与分析

通过试验测得树种的电导率、脯氨酸、丙二醛和可溶性糖含量均有不同程度的下降,说明粉煤灰改良土壤后,土壤的含水量增加,速效磷、速效钾含量增加,植物所受的干旱胁迫作用有所减少,抗逆性增强。

根据植物的生长状况和各项生理指标数据分析,受试树种在不同处理方案的试验地块上均可种植成活,其中,以土灰的比例为 3:1 施加粉煤灰后的测定结果最为理想,这与木苗的生长检测结果基本吻合。

(下转第 34 页)

4 个样品中, Fe-Co 合金为 bcc 结构, 没有其他杂相生成。

(3) TEM 和 HRTEM 观察表明: 掺杂 La 的 Fe-Co 合金纳米颗粒尺寸在 200 ~ 500 nm 范围内, 颗粒被石墨层所包覆。

(4) VSM 室温磁性能测试结果说明: 掺杂 La 的 Fe-Co 合金/石墨纳米复合物其饱和磁化强度随着 La 的掺杂量的增大先减小后增大, 而矫顽力则先增大后减小。

参考文献:

- [1] Ivan ŠKORVÁNEK, Jozef MARCIN, Jana TURČANOVÁ, et al. Fe-Co-based soft magnetic nanocrystalline alloys [J]. Acta Electrotechnica et Informatica, 2010, 10(3): 14 - 18.
- [2] Wohlfarth E P. 铁磁材料[M]. 刘增民, 张熙, 宋玉升, 译. 北京: 电子工业出版社, 1993: 122 - 130.
- [3] Gautard D, Couderchon G, Coutu L. 50-50 CoFe alloys: magnetic and mechanical properties[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1996, 160: 359 - 360.
- [4] Wu Aibing, Yang Xuwei, Yang Hua. Magnetic prop-

erties of carbon-encapsulated Fe-Co alloy nanoparticles [J]. Dalton Transactions, 2013, 42(14): 4978 - 4984.

- [5] Chen J Y, Shi D W, Ahmad N, et al. Fabrication and magnetic properties of La-X (X=Co, Ni, and Fe) nanotube arrays prepared by electrodeposition methods[J]. Journal of Applied Physics, 2013, 114(054303): 1 - 6.
- [6] 张喆. 稀土 Nd 掺杂 FeCo 纳米磁性薄膜的结构和磁性[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [7] Huang M Q, Wallace W E, McHenry M E, et al. Soft magnetic properties of LaCo₁₃ and La(Co, Fe)₁₃ alloys [J]. Journal of Applied Physics, 1998, 83(11): 6471 - 6473.
- [8] Yan S S, Du J, Weston J L, et al. Barnard, Modulated magnetic properties of hard/soft exchange-coupled SmFe/NiFe multilayers[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2001, 231(2-3): 241 - 245.
- [9] 王迎, 王尔德. 纳米复相稀土永磁材料研究进展[J]. 粉末冶金技术, 2007, 25(5): 378 - 381.

(责任编辑: 李秀荣)

(上接第 30 页)

4 结论与建议

在盐碱土中加入一定比例的粉煤灰, 可以降低盐碱土中粘粒含量, 改善土质, 减少堆积密度, 降低土壤容重, 增加土壤的孔隙体积, 并提高土壤含水量和土地存水量; 采用掩模层配比模式可增加盐碱土壤排盐速度, 减少土壤中的碱性物质的含量, 调节土壤的 pH 值, 增加土壤有效磷、有效钾的含量, 同时增加土壤中硅、铜、锌、铅、锰、硼等营养元素含量, 有利于提高土壤保肥能力, 增强植物抗逆性。

粉煤灰的物理性质有利于增加土壤的通气性、透水性、温度、蓄水能力, 有利于改善土壤水分状况, 而 pH 值对土壤酸碱性影响有限。粉煤灰的有效氮含量处于较低水平, 满足不了作物的生长需要, 因此在施灰的同时应添加有机肥料补充速效氮。

土壤与粉煤灰的配比为 3 : 1 时, 通过木苗生长状况可

知土壤的改良效果最为明显。粉煤灰的物理性质与沙壤土相似, 可改良粘土的结构性; 粉煤灰的主要化学成分也与土壤相类似, 施灰量不超过土壤质量 10% 的比例时, 不会造成土壤污染和作物毒害, 且经过淋溶的粉煤灰的 pH 值、盐度及潜在毒性均低于干灰。

参考文献:

- [1] 王福元, 吴正严. 粉煤灰利用手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 14 - 15.
- [2] 王遵亲. 中国盐碱土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 5.
- [3] 北京林业大学. 土壤理化分析实验指导书[M]. 北京: 北京林业大学出版社, 2002: 28 - 36.
- [4] 孙建卫, 刘海增, 闵凡飞. 粉煤灰综合利用现状[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 101 - 103.

(责任编辑: 李秀荣)