

# 粉煤灰改良砂姜黑土对冬小麦田生态因子的影响

丁 军<sup>1</sup>, 马新明<sup>2</sup>, 李新平<sup>1</sup>, 黄进勇<sup>1</sup>, 李 琳<sup>2</sup>

(1 浙江大学生命科学院农业生态研究所, 浙江 杭州 310029; 2 河南农业大学农学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 1997 年—1999 年通过桶栽试验研究了粉煤灰改良砂姜黑土对冬小麦田生态因子的影响。结果表明, 粉煤灰施入砂姜黑土降低了土壤的容重、比重及土壤的粘粒含量, 增加了土壤的总孔隙度、毛管孔隙度和土壤饱和导水率。并分别得出土壤容重、比重、毛管孔隙度和饱和导水率与粉煤灰用量的模拟方程。同时, 也对土壤温度、土壤含水量及土壤微生物数量在整个生育时期的变化动态进行了研究。

**关键词:** 粉煤灰; 冬小麦; 砂姜黑土; 土壤改良; 生态因子

**中图分类号:** S156.99    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000 - 0267(2001)04 - 0221 - 04

## Effect of Shajiang Black Soil Amended by Coal Flying Ash on Ecological Factors in Winter Wheat

DING Jun<sup>1</sup>, MA Xin-ming<sup>2</sup>, LI Xin-ping<sup>1</sup>, HUANG Jin-yong<sup>1</sup>, LI Lin<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Agroecology, Department of Life and Science, ZheJiang University, Hangzhou, 310029 China;

2. Department of Agronomy, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002 China)

**Abstract:** Effect of Shajiang Black soil receiving coal flying ash on winter wheat ecological factors was studied by pot experiment during a period from 1997—1999. The result indicated that coal flying ash could decrease soil density, soil proportion and clay content and increase soil total porosity, capillary porosity and coefficient of soil saturation conductive water. The simulation equation between these ecological factors and the amount of coal fly ash was gained. In addition, changing situations of soil temperature, soil water content, the number of soil microorganism in developing process of wheat were also conducted in the present investigation.

**Keywords:** coal flying ash; Shajiang Black Soil; soil amendment; ecological factors

经过 30 多年的探索, 粉煤灰农用范围大致有两方面: 一是复合肥的添加剂, 用量为 10%—30%<sup>[1-5]</sup>, 二是土壤改良剂, 掺和量为 30%—80%<sup>[6-8]</sup>。粉煤灰作为土壤改良剂已为人们所接受。多数研究仅注重了粉煤灰对土壤理化特性及作物产量的影响, 而对作物生态因子的影响研究较少。本试验就粉煤灰改良砂姜黑土对冬小麦田生态因子的影响进行了系统地研究, 旨在找到粉煤灰改土引起作物增产的根本原因, 以便为粉煤灰的合理施用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况与设计

试验采用桶栽的方法。供试土壤取自平舆县的李屯村, 土壤质地为典型的砂姜黑土, 土壤养分含量为: 有机质 10.5 g · kg<sup>-1</sup>, 有效氮 9.89 mg · kg<sup>-1</sup>, 有效磷

6.32 mg · kg<sup>-1</sup>, 有效钾 72.08 mg · kg<sup>-1</sup>。粉煤灰由驻马店电厂提供。试验设 8 个处理, 即粉煤灰量为: 60 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>1</sub>)、120 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>2</sub>)、180 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>3</sub>)、240 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>4</sub>)、300 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>5</sub>)、360 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>6</sub>)、420 t · hm<sup>-2</sup>(T<sub>7</sub>) 和对照 (T<sub>0</sub>) 共 8 各处理, 3 次重复, 完全随机区组排列。试验用桶深 35 cm, 上口内直径为 29 cm, 每桶装土 19 kg, 供试小麦品种为豫农 118, 装桶前把称好的土与称好的肥料及粉煤灰充分混匀后装桶, 并浇足底墒水, 于 10 月 10 日播种。每桶施尿素 4.41 g, 二铵 5.07 g, 硫酸钾 4.82 g。

### 1.2 测定项目与方法

土壤温度: 分别于小麦播种后 5 d、越冬前(11 月 20 日)、越冬期(12 月 20 日)、返青期(2 月 20 日)、拔节期(3 月 20 日)、抽穗期(4 月 20 日)、成熟期(5 月 28 日), 用直管地温计测定 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 的土壤温度, 每次连续观察 3 d, 每天于上午 8 点、中午 14 点、下午 18 点 3 次调查, 最后求每日的平均值。

收稿日期: 2000 - 10 - 26

基金项目: 国家“九五”科技攻关和河南省教委重点资助项目的部分内容  
作者简介: 丁 军(1974—), 男, 河南周口人, 浙江大学在读博士研究生, 主要进行水土保持、土壤改良与环境保护方面的研究工作。

土壤含水量: 采用小铝盒烘干法测定 10 cm、20 cm、25 cm 的土壤含水量, 测定时间与土壤温度相同。

土壤物理结构: 小麦收获后, 用比重计速测法、比重瓶法和环刀法分别对土壤的机械组成、比重、容重进行测定, 土壤饱和导水率、毛管孔隙度用常规方法测定。总孔隙度通过计算求得(河南农业大学农学院土壤教研室, 土壤学实验指导(油印本), 1995)。

土壤微生物含量: 在小麦灌浆前期(4 月 28 日)、灌浆盛期(5 月 11 日)、成熟期(5 月 28 日)各取小麦根际的土壤 10 g, 用混合稀释平板法对小麦根际的细菌、真菌和放线菌进行培养、计数<sup>[9,10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 对土壤物理结构的改良效果与预测

粉煤灰改良砂姜黑土对土壤物理结构具有较大的影响。土壤容重、比重、土壤粘粒含量随施灰量的增加而减小(表 1)。和 T<sub>0</sub> 相比随施灰量的增加土壤容重的减幅为 5.43%—10.694%、土壤比重为 -0.134%—3.732%、土壤粘粒为 -2.037%—16.834%。土壤的毛管孔隙度、总孔隙度、渗透系数随施灰量的增加而增加。和 T<sub>0</sub> 相比随施灰量的增加毛管孔隙度增幅为 12.026%—61.743%。总孔隙度为 7.169%—12.643%、渗透系数为 27.119%—142.252%。

由表 1 的资料得出粉煤灰用量与土壤物理结构的变化拟合方程(表 2)。方程表明, 粉煤灰用量的增

表 1 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤物理结构的影响  
(1997 年—1999 年统计资料)

Table 1 Effects of coal flying ash on physical structure of Shajiang Black Soil (based on data of 1997—1999)

| 处理             | 容 重<br>/g·cm <sup>-3</sup> | 比 重<br>/% | 毛管孔隙<br>度/% | 土壤粘粒<br>/% | 总孔隙度<br>/% | 渗透系数<br>/cm·s <sup>-1</sup> |
|----------------|----------------------------|-----------|-------------|------------|------------|-----------------------------|
| T <sub>0</sub> | 1.253                      | 2.224     | 24.78       | 83.487     | 43.66      | 0.082 6                     |
| T <sub>1</sub> | 1.185                      | 2.227     | 27.76       | 85.524     | 46.79      | 0.105 0                     |
| T <sub>2</sub> | 1.164                      | 2.214     | 28.55       | 78.859     | 47.43      | 0.137 8                     |
| T <sub>3</sub> | 1.161                      | 2.211     | 33.36       | 77.599     | 47.48      | 0.150 7                     |
| T <sub>4</sub> | 1.151                      | 2.219     | 36.30       | 69.480     | 49.18      | 0.162 4                     |
| T <sub>5</sub> | 1.145                      | 2.184     | 34.88       | 68.428     | 47.57      | 0.163 5                     |
| T <sub>6</sub> | 1.130                      | 2.172     | 31.67       | 66.653     | 47.97      | 0.172 3                     |
| T <sub>7</sub> | 1.119                      | 2.141     | 40.08       | 68.669     | 48.09      | 0.200 1                     |

表 3 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤温度的影响(1997 年—1999 年统计资料,℃)

Table 3 Effects of coal flying ash on temperature of Shajiang Black Soil (based on data of 1997—1999,℃)

| 处理             | 越冬期   |       |       |       | 拔节期  |       |      |       | 开花期   |       |       |       | 成熟期   |       |        |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                | 5 cm  | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 5 cm | 10 cm | 15cm | 20 cm | 5 cm  | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 5 cm  | 10 cm | 15 cm  | 20 cm |
| T <sub>0</sub> | 10.03 | 9.19  | 8.47  | 8.70  | 9.97 | 10.1  | 9.35 | 9.47  | 22.97 | 21.97 | 20.97 | 20.47 | 22.27 | 22.65 | 22.55  | 22.73 |
| T <sub>2</sub> | 10.54 | 9.73  | 8.77  | 8.88  | 9.55 | 9.55  | 8.60 | 8.70  | 22.20 | 21.10 | 20.47 | 19.93 | 22.17 | 22.45 | 22.28  | 21.93 |
| T <sub>4</sub> | 10.57 | 9.78  | 9.33  | 8.83  | 9.70 | 8.88  | 8.60 | 8.31  | 22.35 | 21.10 | 21.88 | 20.03 | 22.15 | 22.17 | 22.015 | 21.78 |
| T <sub>6</sub> | 10.65 | 10.1  | 9.70  | —     | 8.90 | 11.7  | 9.96 | —     | 22.70 | 21.42 | 21.97 | —     | 21.75 | 22.43 | 22.20  | —     |

加与土壤物理结构变化的拟合方程分别达到了 99% 和 95% 的显著水平。从方程可以看出, 粉煤灰用量每增加单位重量时, 土壤容重、土壤比重和土壤粘粒含量依次减少 0.003 8、0.002 8 和 0.706 8 个单位; 而土壤毛管孔隙度、总孔隙度、土壤渗透系数依次增加 0.044、0.116 2 和 0.003 3 个单位。

表 2 粉煤灰用量与土壤物理结构变化量的拟合方程

Table 2 Simulation equation between dosage of coal flying ash applied and changing amount of physical structure in the soil

| 土壤物理结构 | 拟合方程                   | R           | R <sub>0.05</sub> | R <sub>0.01</sub> |
|--------|------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 容重     | $Y = 1.268 - 0.0038X$  | -0.898 5 ** | 0.666             | 0.798             |
| 比重     | $Y = 2.238 - 0.0028X$  | -0.897 8 ** | 0.666             | 0.798             |
| 毛管孔隙度  | $Y = 25.982 + 0.442X$  | 0.864 7 **  | 0.666             | 0.798             |
| 土壤粘粒   | $Y = 84.733 - 0.7068X$ | -0.930 6 ** | 0.666             | 0.798             |
| 总孔隙度   | $Y = 45.65 + 0.1162X$  | 0.750 2 *   | 0.666             | 0.798             |
| 渗透系数   | $Y = 0.0146 + 0.0033X$ | 0.946 8 **  | 0.666             | 0.798             |

### 2.2 对土壤温度的影响

粉煤灰改良砂姜黑土对土壤温度的影响随土层和小麦生育时期而不同(表 3)。粉煤灰改良砂姜黑土对 5 cm 地温影响最大, 10 cm 地温较大, 15 cm 地温次之, 20 cm 地温和 25 cm 地温最小; 越冬期, 施灰处理的各层次地温均高于 T<sub>0</sub>, 并随施灰量的增加而升高。拔节期, T<sub>4</sub> 处理在 10 cm 和 15 cm 层次上分别比 T<sub>0</sub> 高 0.52℃ 和 0.60℃, 其它施灰处理在各个层次的地温均低于 T<sub>0</sub>; 5 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.27℃—1.07℃; 10 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.58℃—1.25℃; 15 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.75℃; 20 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.16℃—0.77℃; 25 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.72℃—1.05℃。扬花期, 只有 T<sub>4</sub> 和 T<sub>6</sub> 在 15 cm 层次上高于 T<sub>0</sub>, 各施灰处理在其它层次上的地温均低于 T<sub>0</sub>, 同一层次上随施灰量的增加而地温降低。灌浆期, 施灰各处理的地温在各个层次上均低于 T<sub>0</sub>, 5 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.10℃—0.52℃; 10 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.2℃—0.48℃; 20 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.8℃—0.95℃; 25 cm 层次上比 T<sub>0</sub> 低 0.38℃—0.96℃。从整个生育时期来看, 除 T<sub>0</sub> 呈现逐渐升高外, 各施灰处理的地温大致呈现出拔节前保持稳定升高, 拔节至扬花则迅速升高, 扬花至灌浆呈缓慢降低。各处理间, 在 15 cm 以上各层次随施

灰量的增加地温升高; 15 cm 以下各层次则有随施灰量的增加而地温降低的趋势。产生这种结果的原因是粉煤灰为灰黑色, 吸热性好, 能增加土壤的吸热性能从而提高地温, 所以拔节前, 施灰处理的地温随施灰量增加而升高, 拔节后, 施灰处理的封垄快于对照, 致使得到光照较少, 地温较低。

### 2.3 对土壤含水量的影响

粉煤灰施入砂姜黑土对土壤含水量产生一定影响(图1、图2)。在0—10 cm 层次中, 返青期, 施灰处理的土壤含水量增加, 增幅为3.403%—7.77%。孕穗期,  $T_0$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  和  $T_6$  的土壤含水量减少, 减幅为0.044%—3.123%;  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_5$  和  $T_7$  的土壤含水量增加, 增幅为1.379%—3.413%。开花后期,  $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_5$  的土壤含水量降低, 减幅为0.738%—1.44%,  $T_4$ 、 $T_6$  和  $T_7$  的土壤含水量增加, 增幅为0.304%—3.515%。灌浆盛期, 各处理的土壤含水量均为减少的趋势, 随粉煤灰施入量的增加, 减少的顺序依次为7.891%、7.989%、6.628%、5.676%、0.252%、7.196%、5.955%和5.59%。10—25 cm 层次上, 返青期, 各处理的土壤含水量均呈现出增加的趋势, 增幅为3.309%—6.006%; 孕穗期, 各处理土壤含水量均呈现出减小的趋势, 减幅为0.344%—8.964%; 开花期,  $T_0$ 、 $T_1$  和  $T_2$  的含水量减小, 减幅为2.834%—

7.007%,  $T_4$  至  $T_7$  的土壤含水量呈现出增加, 增幅为1.028%—7.81%; 灌浆期, 各处理的含水量均呈现出减小, 减幅为0.071%—9.921%。由于返青前地温随施灰量增加而升高, 这使土壤水分蒸发加快, 其后, 因施灰处理小麦发育快, 封垄较早, 地温较低, 这使土壤水分蒸发较慢。因此出现上述结果。

### 2.4 对土壤微生物的影响

粉煤灰改良砂姜黑土对土壤细菌、真菌、放线菌的影响随生育时期的进程而变化。由图3—图5可知。

开花后期, 施灰各处理的细菌数高于  $T_0$ , 施灰各处理间随施灰量的增加而细菌数目增加,  $T_6$  处理的细菌数目最大为  $T_0$  的132.2倍。灌浆期, 施灰处理的细菌数目均呈减少的趋势, 其中,  $T_2$  减少最大为开花后期的1/65倍, 而  $T_0$  的细菌数目呈增加趋势为开花后期的16倍。成熟期  $T_2$  的细菌数目迅速增加为灌浆期的67倍, 而其他处理的细菌数目和灌浆期相比均减少。

真菌的数量变化与细菌的变化趋势不完全一致。开花后期, 施灰处理的真菌数目均大于  $T_0$  且随施灰量的递增而增大,  $T_6$  的真菌数目最大为  $T_0$  的5.1倍。灌浆期, 各施灰处理的真菌的数量与开花后期相比均大幅度减少,  $T_6$  减少最大。成熟期, 施灰处理的真菌数目均大于  $T_0$ , 其中,  $T_2$  最大约为  $T_0$  的4倍。各

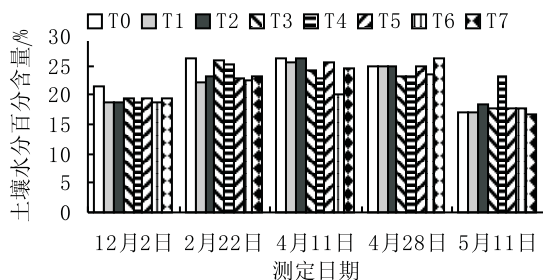


图1 粉煤灰对0—10 cm 土壤含水量的影响

Figure 1 Effects of coal flying ash on water contents in the soil at the depth of 0—10 cm

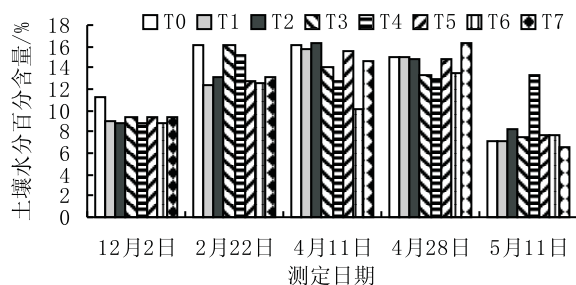


图2 粉煤灰对10—25 cm 土壤含水量的影响

Figure 2 Effects of coal flying ash on water contents in the soil at the depth of 10—25 cm

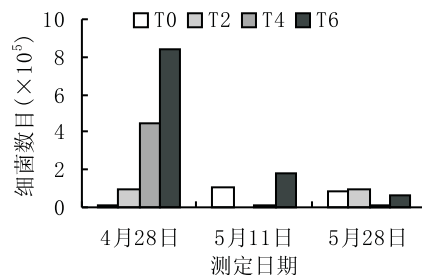


图3 粉煤灰对土壤细菌数目的影响

Figure 3 Effects of coal flying ash on the number of bacteria in the tested soil

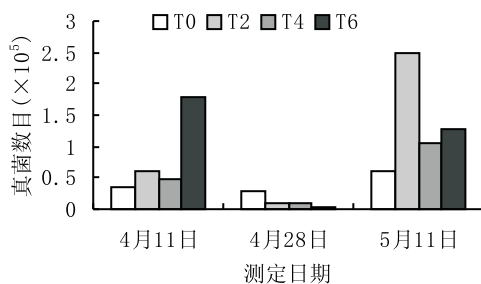


图4 粉煤灰对土壤真菌数目的影响

Figure 4 Effects of coal flying ash on the number of fungi in the tested soil

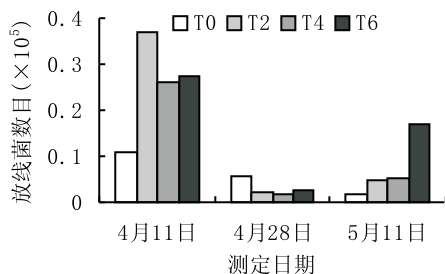


图5 粉煤灰对土壤放线菌数目的影响

Figure 5 Effects of coal flying ash on the number of actinomycetes in the tested soil

处理与灌浆期相比均呈增加的趋势, 且随施灰量增加分别为灌浆期的 2.2、27、18 和 34 倍。

放线菌的变化受环境的影响较细菌和真菌大。开花后期, 放线菌的数目表现为: 施粉煤灰的各处理均大于  $T_0$ 。 $T_2$  最大约为  $T_0$  的 3.5 倍,  $T_4$  约为 2.4 倍,  $T_6$  约为 2.5 倍。灌浆期, 各处理的放线菌数均随施灰量的增加而减少, 其中  $T_2$ 、 $T_4$  分别比  $T_0$  减少 61.8%、65.5% 和 49.1%, 和开花期相比,  $T_2$ 、 $T_4$  和  $T_6$  分别比原来减少 94.3%、92.7% 和 89.8%。成熟期, 各处理的放线菌数目呈增加的趋势, 且随施灰量的增加而增加,  $T_2$ 、 $T_4$  和  $T_6$  分别为  $T_0$  的 255%、284% 和 884%, 和灌浆期相比分别增加 130.5%、184.2% 和 500%。

土壤微生物在小麦生育过程中变化的原因是: 灌浆前期, 土壤微生物中占优势的好气菌属, 随施灰量的增加, 土壤有机质的分解加快, 为土壤微生物的繁殖提供较多的物质来源。故前期随施灰量的增加, 土壤微生物数量增大, 加速土壤有机质的消耗, 结果因缺乏营养来源而数量减少; 成熟期, 由于腐烂的根系和残枝落叶的增加, 食物来源迅速增加, 土壤微生物数量相应增大。

### 3 结论

3.1 粉煤灰施入砂姜黑土后降低了土壤容重、比重, 增加了土壤的总孔隙度、毛管孔隙度, 提高了土壤饱和和导水率, 降低了土壤的粘粒含量, 显著地改良了土壤的物理特性。

3.2 粉煤灰的施入有效地提高了小麦拔节期以前 15 cm 以上土壤温度, 有利于小麦的早生快发, 形成壮苗。进入小麦灌浆后期, 有一定的抑温作用, 可在一定程度上缓解高温危害, 延长灌浆时间。

3.3 施灰处理的土壤含水量在返青期以前低于对照处理, 开花期以后高于对照处理, 有利于保持在后期根系具有较高活力, 提高灌浆强度。

3.4 土壤微生物在开花期数量较大, 以后逐渐减小, 灌浆中期为最小, 接着迅速回升, 至成熟期数量又达到最大。

### 4 讨论

4.1 粉煤灰的施入改善了土壤的物理结构有利于作物的早生快发, 形成壮苗, 但由于土壤的物理结构改良加快土壤好气微生物的活动, 土壤有机质分解加快, 容易引起作物早衰现象。原因可能是: ①土壤的孔隙度增大, 通气性好, 土壤的好气微生物活动旺盛, 使土壤有机质分解过快, 使前期生长过快而后期脱肥。②粉煤灰改良量大, 其所含的有毒元素使土壤微生物中毒而导致微生物量的减少, 土壤酶的活性降低, 从而限制有机质的分解和营养元素的释放。③由于施粉煤灰过多, 土壤总孔隙度较大, 表层的营养元素则随雨水或灌水淋洗至土壤下层, 结果耕层根系得不到充足的养分而出现脱肥。针对这一现象, 在生产中应重视增施有机肥加以缓解。

4.2 粉煤灰改良砂姜黑土, 可能引起有害重金属元素的污染, 对生物链造成潜在的危害。为了严防土壤污染以及有害物质在作物中的积累, 危害人体健康, 应注意粉煤灰的适量施用及作物的合理布局。对粉煤灰含量高的田块, 应种植棉花、柳树、亚麻等经济作物; 粉煤灰含量低的田块, 可以种植粮食和蔬菜<sup>[11]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 吴金桂, 宁运旺, 姜德仁, 等. 磁化肥研制与应用综合评价[J]. 江苏农业科学, 1994, 6: 42 - 45.
- [2] 陈大睿. 浅析磁化肥对农作物的增产机理[J]. 电力环境保护, 1996, 12(1): 25 - 28.
- [3] 陈大睿. 土壤磁性及磁性粉煤灰在农业上的利用[J]. 粉煤灰综合利用, 1997, (1): 41 - 44.
- [4] Wong - JWC, Jiang - RF. Born availability in ash - sludge mixture and its uptake by corn seedlings[J]. Soil Science, 1996, 166(3): 182 - 187.
- [5] Kukier - U, Summer - ME, Miller - WP. Boron release from fly ash and its uptake by corn[J]. Environ Qual, 1994, 23: 596 - 603.
- [6] 万贵怡, 周茂林, 李 玲, 等. 粉煤灰改良红壤性中低产田(地)的试验研究[J]. 江西农业科学, 1994, 4: 30 - 34.
- [7] 吴家华, 刘宝山, 董云中, 等. 粉煤灰改土效应研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 334 - 340.
- [8] 李士凤, 卢英杰. 粉煤灰改良粘质土壤研究[J]. 电力环境保护, 1990, 6(1): 41 - 48.
- [9] 姚占芳, 吴云汉. 微生物学试验技术[M]. 北京: 气象出版社, 23 - 69.
- [10] 陈文新. 土壤和环境微生物学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 23 - 34.
- [11] 陈世宝, 华 璐, 白玲玉, 等. 有机质在土壤重金属污染治理中的应用[J]. 农业环境与发展. 1997, 14(3): 26 - 29.