

粉煤灰改良粘质石灰性褐土的效应研究

李恋卿^{1,2}, 潘根兴¹, 杜慧玲², 王建锁³, 姚永平³, 张俊珍³

(1. 南京农业大学, 江苏 南京 210095; 2. 山西农业大学, 山西 太谷 030801; 3. 山西永济于乡农场)

摘要: 利用粉煤灰改良粘质石灰性褐土, 5 年的试验结果表明, 施一定量的粉煤灰, 配合以复播绿肥作物压青、施无机肥等农艺措施, 使土壤的质地、容重、孔隙度及土壤水分状况得到明显改善, 增强土壤微生物活性, 提高土壤养分有效库容。试验推荐最佳方案为, 公顷施粉煤灰 35.25 万 kg、硝酸磷肥 880.5 kg、绿肥 13 047 kg, 作物产量可达 6 000 kg·hm⁻²。

关键词: 粘质土壤; 粉煤灰; 土壤性状; 小麦产量

中图分类号: S156.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2001)03-0172-03

Effects of Coal Ash Application on Clay-Calcic Cinnamon Soils

LI Lian-qing^{1,2}, PAN Gen-xing¹, DU Hui-ling¹, WANG Jian-shuo², YAO Yong-ping², ZHANG Jun-zhen²

(1. Institute of Agricultural Resources and Eco-Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095 China;

2. Shanxi Agricultural University, Shanxi 030801; 3. Yuxiang Farm, Yongji, Shanxi, 044000 China)

Abstract: A five-year field experiment was carried out on clay-calcic cinnamon soils for studying effects of applying coal ash, green manure and chemical fertilizer on clay-calcic cinnamon soil. The results showed that application of coal ash was capable of improving the soil properties such as porosity, texture volumetric weight, availability of nutrients and microbial activity. It was optimized that a protocol with application of coal ash, nitro-phosphate 880.5 kg·hm⁻² and green manure 13 t could produce as high as 6 t of wheat with net increase of 400 kg per hectare.

Keywords: clay soils; coal ash; soil properties; wheat yield

粉煤灰是由许多细小颗粒组成, 且含有较丰富的 N、P、K 及 Ca、Si、B 等营养元素, 是良好的土壤改良剂^[7]。虽然粉煤灰中含有一些重金属, 但只要用量适当, 对土壤、作物不会产生影响^[6]。山西省永济县于乡农场有约 333 hm² 粘质石灰性褐土, 土壤粘重、板结龟裂、耕性差, 小麦产量仅有 3 000—3 750 kg·hm⁻²。本试验通过在土壤中客土一定量粉煤灰, 并采用复播绿肥作物压青, 探讨改良粘质石灰性褐土、提高作物生产潜力的有效途径。

1 试验设计与方法

1.1 供试土壤基本性状

供试土壤为石灰性褐土, 地势平坦, 质地属粘质土, 土壤表层容重 1.43 g·cm⁻³, 有机质 14.55 g·kg⁻¹, 全氮 0.865 g·kg⁻¹, 速效磷 7.6 mg·kg⁻¹, 速效钾 257.9 mg·kg⁻¹, 代换量 21.99 cmol·kg⁻¹, 全盐 0.867 g·kg⁻¹, pH 8.2。该区平均温度 13.5℃, 平均降雨量 492.3 mm, 无霜期 212 d。

1.2 试验设计

收稿日期: 2000-07-04

作者简介: 李恋卿(1966—), 女, 博士, 主要从事土壤环境质量研究。

采用 311-A 最优回归设计, 三因子五水平^[5], 实施方案见表 1, 试验处理组合共 11 个, 重复 2 次, 随机区组排列, 各小区面积 133.3 m²。供试粉煤灰的 pH 为 8.1, 全盐量 0.80 g·kg⁻¹, Cd 0.32 mg·kg⁻¹, Pb 25.3 mg·kg⁻¹, As 6.21 mg·kg⁻¹, 均符合农用粉煤灰污染物控制标准 (GB 8173-87)。试验始于 1994 年, 第一年 6 月下旬按试验要求, 将粉煤灰一次性施入各试验小区, 以后逐年 7 月上旬复播绿肥作物玉米, 8 月下旬将其压青; 硝酸磷肥做基肥一次施入。各小区均实行秸秆全部还田。

1.3 试验方法

土壤生物氮采用氯仿熏蒸灭菌法^[3], 其余项目均采用常规分析法^[2,4]。

2 结果与分析

2.1 粉煤灰客土对土壤物理性状的效应

2.1.1 试验因子对粘质土壤质地的影响

试验中土壤物理性状的测定结果表明(表 2), 施粉煤灰等各个处理与对照处理 8 相比, 粒径 <0.01 mm 减少 3.8%—11.5%, <0.001 mm 粘粒减少 8.1%—18.6%。根据我国土壤质地分类标准, 粒径

表1 粉煤灰改良粘质石灰性褐土的311-A最优回归设计方案

Table 1 Optimized regression-design of amendment with 311-A for clay-calcic cinnamon soil by coal ash

区号	粉煤灰(X_1) /万 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$		硝酸磷肥(X_2) / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$		绿肥播种(X_3) / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	
	编号	用量	编号	用量	编号	用量
1	0	18.75	0	450	2	150
2	0	18.75	0	450	-2	0
3	-1.414	5.55	-1.414	132	1	112.5
4	1.414	31.95	-1.414	132	1	112.5
5	-1.414	5.55	1.414	768	1	112.5
6	1.414	31.95	1.414	768	1	112.5
7	2	37.5	0	450	-1	37.5
8	-2	0	0	450	-1	37.5
9	0	18.75	2	900	-1	37.5
10	0	18.75	-2	0	-1	37.5
11	0	18.75	0	450	0	75

表2 表层土壤(0—20 cm)物理性状的变化

Table 2 Variation of physical properties of surface soil(0—20cm)

区号	<0.01mm	<0.001mm	容重	孔隙度	平均地温	含水量
	/%	/%	/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	/%	/ $^{\circ}\text{C}$	/%
1	72.2	34.1	1.12	57.74	21.3	19.74
2	72.0	34.2	1.09	58.87	21.2	19.70
3	75.3	35.2	1.23	53.58	20.6	17.24
4	71.2	32.1	1.09	58.87	21.8	19.60
5	75.5	35.1	1.24	53.21	20.4	17.28
6	71.1	32.2	1.08	59.25	21.7	19.70
7	70.2	31.1	1.06	60.00	21.4	18.31
8	79.3	38.2	1.38	47.92	19.9	17.10
9	72.1	34.2	1.11	58.11	21.5	19.70
10	72.0	34.1	1.15	56.60	21.2	19.71
11	72.2	34.2	1.07	59.62	21.4	19.77

<0.001 mm 粘粒含量在 30%—35% 为粉粘土^[2]。增施粉煤灰及绿肥改良 5 年, 表层土壤质地由粘土成为粉粘土。

方差分析表明, $R_{0.01} = 0.992$; $R_{0.001} = 0.999$ 1, 土壤粘粒含量与试验因子相关性显著, 粘粒粒径 <0.01mm 和 <0.001 mm 的土壤粘粒含量受粉煤灰影响极显著 ($F_{0.01}567.11 > F_{0.01}$; $F_{0.001}544.86 > F_{0.01}$); 受绿肥影响显著 ($F_{0.01}2.98 > F_{0.25}$; $F_{0.001}2.25 > F_{0.25}$); 硝酸磷肥影响不显著。其主效应: 粉煤灰 > 绿肥 > 硝酸磷肥, 而且土壤粘粒含量与施粉煤灰、绿肥量呈正相关。

2.1.2 试验因子对粘质土壤容重和孔隙度的影响

土壤容重受土壤结构、土壤膨胀性及收缩性的影响, 这些性质均依赖于土壤粘粒含量和土壤湿度。试验表明, 施粉煤灰的各处理与对照处理 8 相比, 土壤容重减少 10.10%—23.0%, 孔隙度增加 11%—25.2%, 非毛管孔隙度增加 1.4%—8.5%, 三项比由 1:0.79:0.13 提高到 1:0.96:0.15—1:1.14:0.37。表明施粉煤灰改善了粘质土壤质地, 使粘粒含量减少, 土壤表层疏松, 通气、透气性能增强, 三项比趋于协调。

方差分析表明, 土壤容重、孔隙度与试验因子相关性显著, $R_{容} = 0.9953$, $R_{孔} = 0.9953$ 。土壤容重、孔隙度, 受粉煤灰影响极显著 ($F_{容}78.80 > F_{0.01}$; $F_{孔}78.19 > F_{0.01}$), 硝酸磷肥、绿肥影响不显著。而且土壤容重与施粉煤灰量呈负相关, 土壤孔隙度与施粉煤灰量呈正相关。

2.1.3 试验因子对土壤温度的影响

土壤温度支配着土壤中化学反应的类型和速率, 影响着生物过程及微生物的活性。试验表明, 施粉煤灰的各个处理与对照处理 8 相比, 小麦苗期土壤温度升高 0.5 $^{\circ}\text{C}$ —1.8 $^{\circ}\text{C}$ 。表明粘质土壤中掺入粉煤灰, 土壤颜色加深, 使土壤表面辐射能增强, 土壤表层疏松, 非毛管孔隙度增加, 使土壤通气、导热性能增强, 导致土壤温度升高, 有利于小麦苗期生长。

方差分析表明, 土壤温度与试验因子相关性显著, $R = 0.9992$ 。土壤温度受粉煤灰影响极显著 ($F475.66 > F_{0.01}$); 受绿肥影响显著 ($F5.45 > F_{0.05}$); 硝酸磷肥影响不显著。其主效应: 粉煤灰 > 绿肥 > 硝酸磷肥, 而且土壤温度与施粉煤灰、绿肥量呈正相关。

2.1.4 试验因子对土壤含水量的影响

土壤水分是土壤内生物和养分转化过程的必需条件。试验表明, 施粉煤灰各处理与对照处理 8 相比, 小麦苗期土壤含水量增加 8.2%—15.3%, 表明施粉煤灰土壤质地得以改善, 使土壤渗透性能增强, 减少了土壤表层水分蒸发, 增强了土壤保水性能。

方差分析表明, 土壤含水量与试验因子相关性显著, $R = 0.9973$ 。土壤含水量受粉煤灰影响极显著 ($F72.07 > F_{0.01}$); 绿肥、硝酸磷肥影响不显著。其主效应: 粉煤灰 > 绿肥 > 硝酸磷肥, 而且土壤含水量与施粉煤灰量呈正相关。

2.2 试验因子对粘质土壤养分和微生物活性的影响

试验中土壤养分和微生物活性的测定结果列于表 3。施粉煤灰、硝酸磷肥、绿肥的各个处理与对照处理 8 相比, 微生物量 N 增加 1.2%—42.9%, 表明

表3 土壤养分和微生物量 N 的变化 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 3 Microbial Nitrogen and nutrients in soil ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

区号	碱解氮	速效磷	速效钾	微生物量 N
1	61.65	13.24	223.7	37.07
2	57.54	13.00	214.3	34.63
3	54.54	7.80	214.3	36.41
4	61.65	10.80	219.0	42.62
5	65.76	15.9	259.4	41.07
6	73.98	17.8	224.6	50.17
7	65.76	15.3	202.1	46.18
8	55.00	9.9	211.5	35.74
9	65.65	14.7	203.0	51.06
10	45.21	8.2	209.9	36.19
11	69.87	13.8	218.0	37.96

客土粉煤灰提高了土壤微生物活性,这可能是由于土壤物理性状的改善所致。方差分析表明,土壤微生物量 N 与试验因子相关性显著 ($R=0.9987$)。微生物量 N 受硝酸磷肥、粉煤灰影响极显著 ($F_{\text{硝}} 155.70 >$

$F_{0.01}$; $F_{\text{粉}} 127.42 > F_{0.01}$); 受绿肥影响显著 ($F_{\text{绿}} 2.54 > F_{0.25}$)。其主效应:硝酸磷肥>粉煤灰>绿肥。且微生物量 N 与施硝酸磷肥、粉煤灰、绿肥量呈正相关。

施粉煤灰的各处理与对照处理 8 相比,碱解 N 含量增加 12.1%—34.5%,速效磷含量增加 9.0%—79.8%,速效钾含量变化不明显(未施钾肥)。表明由于粘质土壤物理性状的改善,使土壤中水、肥、气、热趋于协调,从而增强了土壤微生物的活性,强化了养分转化、分解性能,提高了土壤速效养分含量。

方差分析表明,土壤养分含量与试验因子相关性显著, $R_N=0.9875$, $R_P=0.9958$ 。碱解 N、速效 P 含量,受硝酸磷肥影响极显著 ($F_{N\text{硝}} 21.28 > F_{0.01}$; $F_{P\text{硝}} 85.35 > F_{0.01}$); 受粉煤灰影响显著 ($F_{N\text{粉}} 7.22 > F_{0.05}$; $F_{P\text{粉}} 22.73 > F_{0.01}$); 受绿肥影响显著 ($F_{N\text{绿}} 4.09 > F_{0.1}$; $F_{P\text{绿}} 1.58 > F_{0.25}$)。其主效应:硝酸磷肥>粉煤灰>绿肥。而且碱解 N、速效 P 含量与施硝酸磷肥、粉煤灰、绿肥量呈正相关。

2.3 试验因子对作物产量的效应

对作物产量的测定结果列于表 4, 施粉煤灰、硝

表4 各处理小麦、绿肥产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)Table 4 Yields of wheat and green manure in various treatments ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

区号	1	2	3	4	5	6	7	8
绿肥产量	13 000.5	0	10 450.5	12 133.5	12 000	12 000	11 749.5	10 917
小麦产量	4 315	4 245	3 370.5	4 338	4 149	5 352	4 668	3 792

酸磷肥、绿肥的各处理与对照处理 8 相比,增产幅度为 9.6%—41.4%。方差分析表明,作物产量与试验因子相关性显著, $R=0.9967$ 。作物产量受硝酸磷肥、粉煤灰影响极显著 ($F_{\text{硝}} 225.97 > F_{0.01}$; $F_{\text{粉}} 206.86 > F_{0.01}$); 受绿肥影响显著 ($F_{\text{绿}} 1.65 > F_{0.25}$)。其主效应:硝酸磷肥>粉煤灰>绿肥,而且作物产量与施硝酸磷肥、粉煤灰和绿肥量呈正相关。表明粘质土壤中掺入粉煤灰同时复播绿肥作物压青,配施无机 N、P 肥提高了作物产量,因此促进了土壤生产力的提高。

2.4 最佳组合模拟优选

本试验共有 125 个组合,根据最佳配合法,采用频数分析,在 $-2 \leq X_i \leq 2$ 区间内,寻求作物产量高于 $5\ 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的优化组合,求出编码值为 95% 的置信区间: $X_1: 1.0907—1.6501$, $X_2: 0.9685—1.6240$, $X_3: -0.1287—0.9435$ 。作物产量高于 $5\ 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的优化组合有: (1、2、1), (1、2、2), (2、0、2), (2、1、1), (2、1、2), (2、2、-2), (2、2、-1), (2、2、0), (2、2、1), (2、2、2)。因此,优化方案为:公顷施粉煤灰 (X_1) 28.95 万 kg —34.2 万 kg 、硝酸磷肥 (X_2) 667.95—815.4 kg 、绿肥 (X_3) 6 081 kg —9 567 kg ,作物产量均高于 $5\ 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。推荐最佳方案为:公顷

施粉煤灰 35.25 万 kg 、硝酸磷肥 880.5 kg ,绿肥 13 047 kg ,作物产量可达 $6\ 124.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3 结论

粘质褐土中客入粉煤灰并结合绿肥压青,土壤物理性状得到显著改善,养分的供应水平明显提高,增产效果明显。试验结果表明,公顷施粉煤灰 300 t、配施硝酸磷肥 900 kg 和绿肥 15 t 可以达到改良粘质褐土、恢复小麦正常产量的效果。

参考文献:

- [1]李天杰,宫世国,潘根兴,等.土壤环境学[M].北京:高等教育出版社,1995.244—247.
- [2]南京土壤研究所.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.66—70.
- [3]何振立.土壤微生物量的测定方法:现状和展望[J].土壤学进展,1994,22(4):36—44.
- [4]劳家圣.土壤农业化学分析手册[M].北京:中国农业出版社,1988.123—126,234—236.
- [5]徐中儒.农业试验回归设计[M].哈尔滨:黑龙江科学出版社,1988.416—420.
- [6]吴家华,董云中,刘宝山.粉煤灰中有害元素对土壤、粮食影响的初步评价[J].土壤学报,1995,32(2):194—201.
- [7]秦梅枝,曹江营,张树礼,等.利用粉煤灰种植农作物的研究[J].农业环境保护,1996,15(4):170—172.