

# 煤烟脱硫石膏改良碱化土壤离子变化研究

王英男<sup>1</sup>, 张伟华<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学 研究生学院, 内蒙古自治区 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古自治区 呼和浩特 010018)

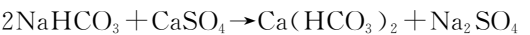
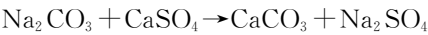
**摘要:**为了探究碱化土壤的改良,采用田间试验方法,研究脱硫石膏改良碱化土壤盐分组成变化情况。结果表明:改良前后土壤的 pH 明显下降,碱化度下降幅度也比较大。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  明显下降, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  明显上升,Cl<sup>-</sup> 变化不大;土壤中的  $\text{Na}^+$  被  $\text{Ca}^{2+}$  代换, $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  被  $\text{SO}_4^{2-}$  代换,大大降低了土壤的碱化度,改良后的土地种植玉米,虽然单产相对正常的还较低,但其生态价值远远高于未经改良的土地。

**关键词:**脱硫石膏;碱化土壤;碱化度;离子变化

中图分类号:S156.4 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2014)03-0044-04

碱化土壤是陆地表面广泛分布的土壤类型,约占陆地表面面积的 54%,我国是世界上碱化土壤比较严重的国家之一。土壤盐碱化问题已经成为制约干旱区农业发展的主要因素之一,也是干旱区农业可持续发展的战略问题。在耕地面积不断减少的情况下,粮食危机不断增强,我国碱化土壤作为潜在的后备耕地资源,存在巨大的开发潜力。因此,碱化土壤的改良对现代农业发展具有重要的意义<sup>[1-2]</sup>。

煤烟脱硫石膏的主要成分是  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 利用其改良碱化土壤是一个除弊兴利的环保项目,煤烟脱硫石膏改良碱化土壤的原理是利用溶解产生的  $\text{Ca}^{2+}$  代换碱化土壤胶体上的  $\text{Na}^+$ , 从而降低碱化土壤的 pH 和碱化度。在整个过程中主要的 2 个化学方程式分别为:



## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

和林格尔县位于内蒙古自治区中部,为呼和浩特市所辖旗县,  $\text{N}39^\circ 58' \sim 40^\circ 41'$ ,  $\text{E}111^\circ 26' \sim 112^\circ 18'$ ; 其地形地貌多样,山、丘、川兼备,属于内蒙古高原向黄土高原的过渡地带,总体地形呈东高西低,南高北低的态势;属于温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温在 6.2℃ 左右;历年平均降水量为 39.28 mm,一天内最大降水量为 99.1 mm;生长期为 195 d 左右。

### 1.2 材料

煤烟脱硫石膏主要来自于电厂的脱硫废渣,能进行碱土改良的脱硫石膏的主要组成成分见表 1<sup>[3]</sup>。供试玉米材料为抗旱品种新铁丹石。

表 1 煤烟脱硫废渣的主要成分

Table 1 Main components of the soot desulfurization residues

pH	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ Density	自由水分/% Free water	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\%$	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}/\%$	$\text{CaCO}_3/\%$	$\text{MgO}/\%$
6.01	1.03	9.9	82.6	0.35	3.37	1.75

### 1.3 方法

#### 1.3.1 试验设计

试验于 2012 年 3 月在和林格

尔县店湾村进行。试验设 4 个小区,其中 3 个为改良区,煤烟脱硫石膏的施用量均为  $2.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 一个为对照区,小区面积均为  $667 \text{ m}^2$ ; 每个小区设 2 个处理,即取 0~20 cm 和 20~40 cm 两层土进行试验,4 个小区共计 8 个处理,分别为  $T_1$  (0~20 cm)、 $T_2$  (20~40 cm)、 $T_3$  (0~20 cm)、 $T_4$  (20~40 cm)、 $T_5$  (0~20 cm)、 $T_6$  (20~40 cm)、 $\text{CK}_1$  (0~20 cm)、 $\text{CK}_2$  (20~40 cm)。分别在 5~9 月进行取样测定,每个月测定一次,对 pH 和碱化

收稿日期:2013-10-14

第一作者简介:王英男(1988-),女,黑龙江省庆安县人,在读硕士,从事土壤资源改良与利用研究。E-mail:hljwangyingnan@126.com。

通讯作者:张伟华(1960-),男,博士,副教授,硕士研究生导师,从事土壤资源改良与利用研究。E-mail:zhwh-nmau@126.com。

度的测量分 5 个月进行,而离子变化只在 5、7、9 月进行。3 个改良区均播种玉米  $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 对照组按同等密度播种。

1.3.2 测定项目及方法 每个小区取 0~20 cm 和 20~40 cm 两层土,每个层次取本小区内东、南、西、北、中 5 个点的混合土装入自封袋中,在实验室进行自然风干处理,然后过 2 mm 筛子的土样用于测定土壤的理化性质。测定的指标分别为土壤的 pH、碱化度、主要离子的含量变化以及盐分组成的改变<sup>[4]</sup>。9 月份收获玉米并测产。

用酸度计测定 pH,用电导率仪测定电导率,并计算碱化度,土壤中各离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  测定等<sup>[5]</sup>。

1.3.3 数据分析 所得到的数据采用 Excel 和 DPSV 7.55 的数据处理系统进行分析,并且对数

据进行显著性检查。

## 2 结果与分析

### 2.1 煤烟脱硫石膏改良碱化土壤的 pH 和碱化度变化

从图 1 和图 2 可看出,施用煤烟脱硫石膏后,能明显地降低土壤的 pH 和碱化度。从图 1 可以看出,pH 的变化很大,0~20 cm 土层由原来的最高值 8.32 下降到 7.94;20~40 cm 土层 pH 由原来的最高值 8.93 下降到 8.43。从图 2 中可看出,碱化度的变化幅度也很大,0~20 cm 土层从原来最高值 31.00% 下降到 13.75%,20~40 cm 土层由原来的最高值 42.04% 下降到 17.56%;碱化度的深层变化要比上一层变化要大,但是整体上的变化是很明显的。

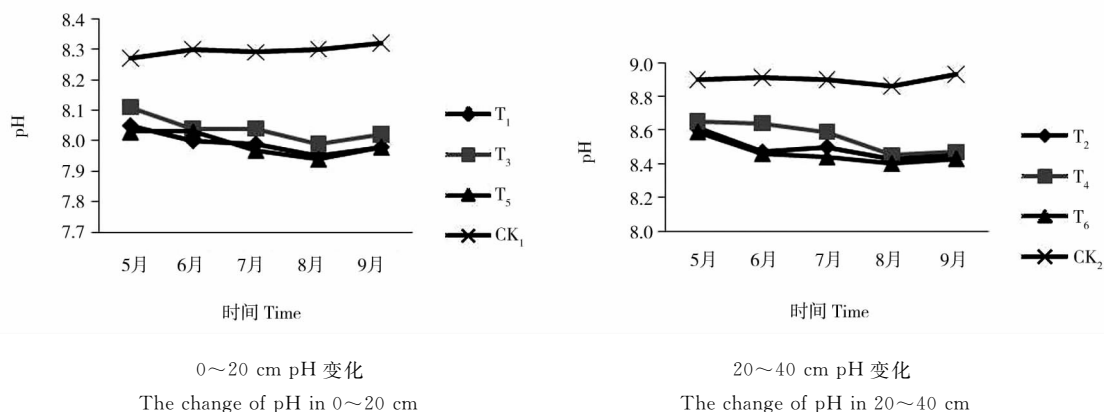


图 1 施用脱硫石膏土壤 pH 的变化

Fig. 1 The change of pH with desulfurization gypsum application

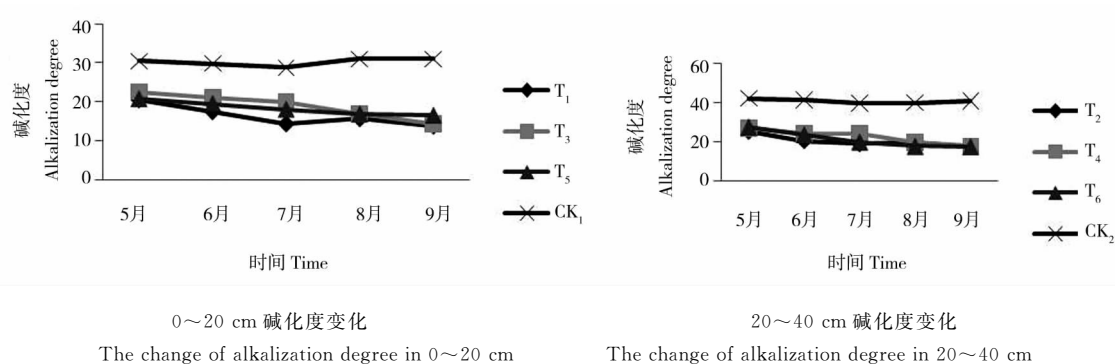


图 2 脱硫石膏施用碱化度的变化

Fig. 2 The change of alkaline degree with desulfurization gypsum application

### 2.2 煤烟脱硫石膏改良碱化土壤的主要离子和盐分组成变化

从表 2、表 3 可以看出,施用煤烟脱硫石膏

后,各处理土壤中的  $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  明显下降,0~20 cm 土层对照组和改良组都不含  $\text{CO}_3^{2-}$ ,20~40 cm 土层变化较大; $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量明显

增加,各土层各月份变化一致,均为改良组大于对照组;并且土壤中盐分组成也发生了较大的变化, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 含量有所降低, $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 含量有所增加, $\text{NaCl}$ 变化趋势不稳定,并且随着时间的推移 $\text{CaSO}_4$ 向下层移动明显。

表 2 脱硫石膏的施用主要离子变化

Table 2 The change of main ion with desulfurization gypsum application

离子 Ions	5 月土壤中离子含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The ion content in the soil in May							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
$\text{Ca}^{2+}$	2.81	1.32	2.82	1.47	2.67	1.37	0.32	0.14
$\text{Na}^{+}$	1.18	3.03	0.46	2.86	1.85	3.58	3.49	5.32
$\text{Mg}^{2+}$	1.34	1.80	1.24	1.23	1.26	0.86	0.30	0.40
$\text{HCO}_3^-$	0.39	0.70	0.59	1.43	0.32	0.56	1.95	2.30
$\text{SO}_4^{2-}$	4.06	3.87	3.67	3.25	4.13	3.53	0.90	1.50
$\text{CO}_3^{2-}$	0	0.04	0	0.03	0	0.04	0	0.3

离子 Ions	7 月土壤中离子含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The ion content in the soil in July							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
$\text{Ca}^{2+}$	1.58	1.56	1.00	2.98	1.24	2.38	0.38	0.27
$\text{Na}^{+}$	0.54	2.12	0.52	1.86	1.47	2.09	1.91	4.28
$\text{Mg}^{2+}$	1.02	1.64	1.30	1.62	1.00	1.12	0.26	0.35
$\text{HCO}_3^-$	0.31	0.35	0.33	0.50	0.31	0.31	1.40	1.50
$\text{SO}_4^{2-}$	2.54	3.79	2.16	5.01	2.68	4.20	0.50	1.43
$\text{CO}_3^{2-}$	0	0.06	0	0.02	0	0	0	0.5

离子 Ions	9 月土壤中离子含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The ion content in the soil in September							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
$\text{Ca}^{2+}$	1.88	2.88	0.13	2.42	1.15	2.22	2.55	3.51
$\text{Na}^{+}$	0.94	1.6	0.13	2.57	0.77	2.04	2.55	3.51
$\text{Mg}^{2+}$	0.62	2.12	1.10	1.78	0.98	1.26	0.25	0.35
$\text{HCO}_3^-$	0.40	0.34	0.31	0.41	0.25	0.54	1.14	1.37
$\text{SO}_4^{2-}$	2.62	5.40	2.05	5.12	2.11	4.40	1.10	1.47
$\text{CO}_3^{2-}$	0	0.04	0	0	0	0	0	0.07

表 3 施用脱硫石膏的土壤主要盐分组成含量变化

Table 3 The change of main salt content with desulfurization gypsum application

盐分 Salts	5 月土壤盐分含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The salt content in the soil in May							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
$\text{NaCl}$	0.97	0.75	0.46	0.27	1.13	0.34	0.80	0.50
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.11	1.14	0	1.29	0.36	1.62	0.90	1.50
$\text{MgSO}_4$	1.34	1.80	1.15	1.23	1.26	0.86	0	0
$\text{CaSO}_4$	1.45	0.93	2.53	0.73	2.51	1.05	0	0
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	0.19	0.35	0.23	0.72	0.16	0.28	0.23	0

续表 3

Continuing Table 3

盐分 Salt	7 月土壤盐分含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The salt content in the soil in July							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
NaCl	0.35	0.47	0.48	0.45	0.28	0.38	0.79	0.16
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.10	0.83	0.03	0.68	0.60	0.86	0.50	1.43
MgSO <sub>4</sub>	1.02	1.4	1.30	1.62	1.00	1.12	0	0
CaSO <sub>4</sub>	1.43	1.33	0.84	2.71	1.09	2.23	0	0.01
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.16	0.18	0.11	0.25	0.16	0.16	0.38	0

盐分 Salt	9 月土壤盐分含量/ $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ The salt content in the soil in September							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>
NaCl	0.30	0.38	0.13	0.32	0.56	0.38	0.05	0.19
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.32	0.67	0	1.22	0.12	0.83	1.10	1.47
MgSO <sub>4</sub>	0.62	2.12	0.97	1.78	0.98	1.62	0	0.01
CaSO <sub>4</sub>	1.68	2.67	1.05	2.22	1.03	1.95	0	0.02
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.01	0.17	0.16	0.13	0.13	0.27	0.17	0.13

2.3 改良后种植玉米的产量分析

未改良的对照组没有收获到玉米,改良组平均产量为  $5\,280\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,虽然低于正常玉米产量,但其生态价值远远高于未经改良的土地。

3 结论与讨论

利用煤烟脱硫石膏改良碱化土壤已经取得了明显的效果,对碱化土壤的改良利用具有重大的意义<sup>[6]</sup>。3 个改良组与对照组的比较中,pH 的变化很大,碱化度的变化幅度也很大,碱化度的表层变化要比下一层变化要大,但是整体上的变化是很明显的。 $\text{Ca}^{2+}$  大量代换了  $\text{Na}^{+}$ ,使  $\text{Na}^{+}$  含量下降明显;土壤主要的盐分组成变化也比较大, $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  含量增加。经过改良的土壤可以种植玉米,大大改良了土壤的理化性状。利用煤烟脱硫石膏改良碱化土壤成本低、方法简单,不仅为电热厂解决了残渣处理问题,更实现了工农业经济的循环发展<sup>[7]</sup>。

在煤烟脱硫石膏施用的整个过程中虽然效果明显,但是对不同施用量的煤烟脱硫石膏对碱化土壤的改良效果及土壤养分含量的影响等还有待研究。

参考文献:

[1] 赵兰坡,王宇,马晶,等. 吉林省西部苏打盐碱土改良研究[J]. 土壤通报,2001,32(51):91-96.  
[2] 雒鹏飞,高勇,宋凤斌,等. 吉林省西部盐碱土资源开发利用中的若干问题[J]. 吉林农业大学学报,2004,26(6):659-663.  
[3] 张伟华,乌力更,李跃进,等. 煤烟脱硫石膏改良碱化土壤的理论与实践[M]. 呼和浩特:远方出版社,2006:12-170.  
[4] 路浩,王海泽. 盐碱土治理利用研究进展[J]. 现代化农业,2004(8):10-12.  
[5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2005:15-190.  
[6] 黄彦,付强,司振江,等. 苏打盐碱土改良技术效果评价研究[J]. 东北农业大学学报,2008,39(6):55-58.  
[7] 张建锋. 盐碱地改良利用进展[J]. 山东林业科技,1997(3):25-28.

Research on Soot Desulfurization Gypsum Improved Soil Alkaline Ion

WANG Ying-nan<sup>1</sup>, ZHANG Wei-hua<sup>2</sup>

(1. Graduate School of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia Municipality 010018; 2. Ecological Environment College in Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia Municipality 010018)

**Abstract:** In order to explore the improement of alkaline soil, the method of field experiment was used, the composition change of desulfurization gypsum improving alkaline soil salt was studied. The results showed that before and after the improvement, pH and alkalization degree of soil decreased obviously.  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$  declined obviously,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  rised obviously.  $\text{Na}^{+}$  from the soil was taken place by  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$  were taken place by  $\text{SO}_4^{2-}$ , that reduced the soil alkalization degree, although the yield of maize in soil which was improved was lower than normal, but its ecological value was significantly higher than that without the improvement of land.

**Key words:** desulfurization gypsum; alkaline soil; alkalization degree; ion change