

# 硫磺改良盐渍土效果初探

赵晓进<sup>1</sup>, 李亚芳<sup>2</sup>, 买文选<sup>2</sup>, 田霄鸿<sup>2</sup>, 来航线<sup>2</sup>, 吕家琰<sup>2</sup>

(1. 陕西省渭南市土肥站, 陕西 渭南 714000; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用田间试验方法, 探索了以硫磺为改土材料对渭南盐渍土的初步改良效果。结果表明, 硫磺的施用对于土壤及作物(棉花)的营养状况表现出一定的改善作用; 并且降低了土壤 pH 值, 相对于施用石膏的处理, 硫磺在降低土壤 pH 上有更明显的作用; 另外, 虽然硫磺的施用增加了土壤中各离子的含量及 EC 值, 但随着硫磺用量的逐渐增加, 土壤中各离子含量及 EC 值呈现出降低的趋势。因此, 硫磺的施用对于该地土壤具有一定的改良作用。但是, 虽然结果显示硫磺在该地土壤的改良中起到了一定的作用, 但总体效果有限, 其主要原因可能是硫磺施用量太低(试验中最高用量为 225 kg/hm<sup>2</sup>), 因此, 在本试验基础上如果进一步加大硫磺用量将可能会对该地盐碱化土壤具有更为明显的改良作用, 但最佳施用量还需要进一步研究。

**关键词:** 盐碱土; 硫磺; 改良

**中图分类号:** S143.72; Q945.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)04-0074-05

盐碱化耕地是指在土体中对作物生长有害的水溶性盐类的累积超过一定限度, 达到危害作物正常生长的一种耕地类型<sup>[1]</sup>。它属于我国中低产田范畴, 并占有相当的比例, 主要集中在华北、西北和东北一些干旱和半干旱地区, 特别是我国西部地区, 土地大面积盐碱化<sup>[2]</sup>。土壤盐碱化不仅降低了耕地的生产力, 而且直接影响着农业的可持续发展; 另一方面, 盐碱地也是我国农业发展的重要后备土地资源<sup>[3]</sup>。因此, 如何改良盐碱土, 提高土地生产力, 对于改善当地人们生活, 促进社会经济的发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。陕西是我国盐碱土分布面积最大的六大地域之一, 盐土和盐化土共计 8.5 万 hm<sup>2</sup>。位于关中东部的渭南地区是除榆林外陕西省内盐碱地最主要的分布地<sup>[5]</sup>, 该地年平均降水量为 677.5 mm, 而年蒸发量约为 1 000~1 200 mm, 年蒸发量大于年降水量的一倍半; 另一方面, 渭南地区处于黄、洛、渭下游的两岸阶地, 很多地方流水不畅, 多为内陆盆地、浅洼地或排水不良的低平原, 地形封闭, 雨季不能迅速排除积水, 这两方面的原因最终导致大量盐渍地的产生<sup>[6]</sup>。

作为盐渍土改良中最为常用的材料, 硫磺在微生物作用下或水解后, 可以产生酸类, 中和土壤中的碱性物质, 如果在石灰性土壤上施用, 与土壤中难溶解的碳酸钙作用后, 生成溶解度大的硫酸钙, 土壤中的活性钙增加, 改良作用也会随之增大。本研究以硫磺为主要改良材料, 对渭南盐渍土进行了初步的

改良研究, 以期对该地盐碱土改良工作提供一些实践和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验布置

试验于 2006 年 7 月 25 日至 10 月 3 日在陕西省渭南市临渭区固市镇牛家村的棉花地进行(于 2006 年 4 月 20 日播种, 品种为种棉 41 号)。该地处于陕西泾渭洛三角洲地带, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 等含量较高, 是碱性盐土集中分布地。其土壤基本理化性状为: pH 8.67, EC 值为 1337 μS/cm, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 8.67 mg/kg, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 2.82 mg/kg, 速效 P 17.8 mg/kg, 速效 K 214.2 mg/kg, Mg<sup>2+</sup> 118.6 mg/kg, Ca<sup>2+</sup> 418.0 mg/kg, Na<sup>+</sup> 含量 318.5 mg/kg, K<sup>+</sup> 24.1 mg/kg, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.38 g/kg, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 2.14 g/kg, Cl<sup>-</sup> 含量 0.82 g/kg。

试验方案见表 1。

每个处理重复 3 次, 共 15 个小区, 小区面积 50 m<sup>2</sup>(10 m × 5 m), 采用随机区组排列。以尿素及普通过磷酸钙作为基肥在播种时一次性施入, 用量分别为 N 100 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>。

于 2006 年 7 月 25 日施用硫磺和石膏, 采用条施法: 在两行棉花之间开一条深约 5 cm 的沟, 将硫磺或石膏均匀施入, 然后用表土覆盖。

从正式处理到结束的两个(8、9 月)内试验地总降雨量为 172.6 mm, 其中绝大部分集中在 8~9

收稿日期: 2007-11-02

基金项目: 本研究由日本 Cosmo 石油株式会社提供资助

作者简介: 赵晓进(1965—), 男, 陕西渭南人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料领域内应用技术的研究和推广工作。

通讯作者: 田霄鸿, 教授, 博士。E-mail: txhong@hotmail.com

月(117.0 mm)。

表 1 试验方案

Table 1 The project of experiment

处理编号 No. of treatments	处理 Treatments	用量(kg/hm <sup>2</sup> ) Application amount	注 Note
1	施 N、P 肥 N、P application	—	CK
2	施 N、P 肥+石膏 N、P application + gypsum	150	S <sub>150-石膏</sub> S <sub>150-Gypsum</sub>
3	施 N、P 肥+硫磺用量 1 N、P application + sulfur 1	75	S <sub>75-硫磺</sub> S <sub>75-Sulfur</sub>
4	施 N、P 肥+硫磺用量 2 N、P application + sulfur 2	150	S <sub>150-硫磺</sub> S <sub>150-Sulfur</sub>
5	施 N、P 肥+硫磺用量 3 N、P application + sulfur 3	225	S <sub>225-硫磺</sub> S <sub>225-Sulfur</sub>

注:用量是指纯 S 的用量;下表或图与此相同。

Note: The application amount was referred to sulfur amount solely. The same indication was made in the following tables and figures.

### 1.2 样品采集

于 2006 年 10 月 2 日采样,每小区随机采集棉花植株样品,分为茎、叶两部分,混匀。土壤样品每小区随机采两个点,每个采样点分施肥点、距施肥点 5 cm、距施肥点 10 cm 分别采取 0~20 cm、20~40 cm 两层次的土壤样品,同层次混合。

### 1.3 样品处理及分析

植物样 90℃下杀青 30 min,在 70℃烘干,粉碎待用;土壤样品自然风干后磨碎,过 1 mm 筛,待用。

植物样品用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮后,分别用半自动定氮仪(KDY-9820)、钒钼黄比色法、火焰光度计法测定全 N、全 P、全 K<sup>[7]</sup>;土壤速效氮采用 1 mol/L KCl 浸提(水土比为 10:1),流动分析仪测定;土壤速效钾:1 mol/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>OAc 浸提,火焰光度计法测定;土壤速效磷:0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提,钼锑抗比色法测定;土壤 pH 及 EC 值分别采用 pH 计(DELTA-320)和电导仪(DDS307)测定。

土壤中 7 种离子的测定:土壤样品经蒸馏水浸提后(水土比 5:1),K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 用火焰光度计法测定;

Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 用原子吸收分光光度计(AA320CRT)测定;HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 用双指示剂—中和滴定法测定;Cl<sup>-</sup> 用硝酸银滴定法测定;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 用 EDTA 滴定法测定。

### 1.4 数据处理

试验中所获得的数据均采用 SAS8.1 统计软件进行方差分析和多重比较(SSR 法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花植株及土壤 N、P、K 含量

总体而言,相对于只施用 N、P 肥的处理(CK),在硫磺处理条件下,除叶部 K 含量外,棉花植株茎、叶部的 N、P、K 含量均有不同程度的提高(表 2),而且随着硫磺施用量的增加其作用似乎愈加明显,比如在 S<sub>225-硫磺</sub> 处理条件下,与 CK 相比,其茎、叶全氮含量分别增加了 14.7% 和 4.6%,全磷增加了 46.7%、40.7%,而茎部全钾含量也有 17.3% 的增加。石膏处理对于棉花植株茎、叶部 N、P 含量没有表现出明显的作用,但其 K 含量有较大幅度的降低。

表 2 不同处理对棉花植株 N、P、K 含量的影响(g/kg)

Table 2 Effects of different treatments on N、P、K concentration of plant

处理 Treatments	全氮 Total N		全磷 Total P		全钾 Total K	
	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf
CK	1.90 <sub>a</sub>	3.89 <sub>a</sub>	0.15 <sub>a</sub>	0.27 <sub>b</sub>	0.52 <sub>a</sub>	0.89 <sub>a</sub>
S <sub>150-石膏</sub> S <sub>150-Gypsum</sub>	2.12 <sub>a</sub>	3.79 <sub>a</sub>	0.14 <sub>a</sub>	0.26 <sub>b</sub>	0.36 <sub>a</sub>	0.44 <sub>a</sub>
S <sub>75-硫磺</sub> S <sub>75-Sulfur</sub>	2.23 <sub>a</sub>	3.83 <sub>a</sub>	0.14 <sub>a</sub>	0.28 <sub>b</sub>	0.44 <sub>a</sub>	0.56 <sub>a</sub>
S <sub>150-硫磺</sub> S <sub>150-Sulfur</sub>	1.91 <sub>a</sub>	4.07 <sub>a</sub>	0.15 <sub>a</sub>	0.30 <sub>ab</sub>	0.47 <sub>a</sub>	0.79 <sub>a</sub>
S <sub>225-硫磺</sub> S <sub>225-Sulfur</sub>	2.18 <sub>a</sub>	4.07 <sub>a</sub>	0.22 <sub>a</sub>	0.38 <sub>a</sub>	0.61 <sub>a</sub>	0.63 <sub>a</sub>

注:小写英文字母表示 Duncan 氏新复极差检验后的多重比较结果(α=5%),下表同。

Note: Lowercase letters indicated the results of Duncan's new multiple comparisons(α=5%), and in the following tables the same indication was used.

表 3 表明,与只施用 N、P 肥处理相比,除速效钾外,硫磺的施用在一定程度上提高了土壤速效氮、

速效磷含量,这与棉花植株养分含量的变化趋势一致(表 2),虽然土壤中速效钾含量略有降低,但是由

于该土壤本身富含钾素,因此并无大碍,说明硫磺的施用不仅改善了土壤的养分状况,而且在一定程度上促进了作物对养分的吸收。但总体而言,效果并不明显,处理间差异达显著水平的很少。另外,与只施用 N、P 肥处理相比,石膏的施用也增加了土壤速

效氮、速效磷的含量,而且普遍高于进行硫磺处理,但是石膏的施用并没有像硫磺一样提高作物体内的 N、P 含量(表 2),这似乎说明硫磺和石膏对该地的土壤养分状况均有一定的改善作用,但同时硫磺还可以促进作物的吸收,而石膏则无此作用。

表 3 不同处理对土壤速效 N、P、K 含量的影响(mg/kg)

Table 3 Effects of different treatments on available N, P, K content of soil

处理 Treatments	N			P			K		
	0 cm *	5 cm	10 cm	0 cm	5 cm	10 cm	0 cm	5 cm	10 cm
CK	13.1 a	10.6 a	10.8 a	18.5 ab	17.1 a	17.8 a	222.1 a	210.9 a	209.5 a
S <sub>150</sub> -石膏 S <sub>150</sub> -Gypsum	15.8 a	14.8 a	19.0 a	18.2 b	27.1 a	18.0 a	194.6 a	191.8 a	192.3 a
S <sub>75</sub> -硫磺 S <sub>75</sub> -Sulfur	12.5 a	12.5 a	11.6 a	21.8 ab	18.9 a	21.3 a	204.9 a	193.2 a	202.1 a
S <sub>150</sub> -硫磺 S <sub>150</sub> -Sulfur	9.8 a	8.3 a	11.4 a	20.5 ab	26.4 a	18.8 a	195.5 a	210.0 a	205.3 a
S <sub>225</sub> -硫磺 S <sub>225</sub> -Sulfur	14.0 a	11.6 a	11.3 a	29.2 a	18.1 a	18.7 a	192.5 a	202.5 a	196.9 a

注: \* 表示距施肥点的距离,下同。

Note: \* indicated the distance of far to fertilizer location, and in the following tables the same indication was made.

## 2.2 土壤 pH 及 EC 值

施用硫磺降低了土壤 pH 值(表 4),而且较低的硫磺用量(75 kg/hm<sup>2</sup>)对于土壤 pH 的降低具有更为明显的效果,而随着硫磺用量的进一步增加,土壤 pH 反而显示出逐渐升高的趋势,但仍然低于只施用 N、P 肥的处理。石膏的施用虽然也降低了土壤尤其是施肥点的 pH 值,但相对于进行低量硫磺处理,

其效果并不明显。

另外,不同深度之间比较,20~40 cm 深度的土壤 pH 值普遍要高于表层土壤(0~20 cm),这可能与硫磺的施用深度有关(施用深度只有 5 cm),这说明硫磺在土壤中的扩散有限,虽然对该地土壤起到了一定的改良作用,但其作用范围很小。

表 4 施用硫磺对土壤 pH 及 EC 值的影响

Table 4 Effects of different treatments on pH and EC values of soil

处理 Treatments	0 cm		5 cm		10 cm	
	0~20 cm *	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
pH						
CK	8.55 a	8.77 a	8.63 a	8.72 ab	8.58 a	8.77 a
S <sub>150</sub> -石膏 S <sub>150</sub> -Gypsum	8.43 a	8.68 a	8.59 a	8.76 a	8.59 a	8.76 a
S <sub>75</sub> -硫磺 S <sub>75</sub> -Sulfur	8.34 a	8.42 a	8.35 b	8.41 b	8.31 b	8.36 b
S <sub>150</sub> -硫磺 S <sub>150</sub> -Sulfur	8.51 a	8.59 a	8.37 b	8.53 ab	8.43 ab	8.59 ab
S <sub>225</sub> -硫磺 S <sub>225</sub> -Sulfur	8.47 a	8.69 a	8.56 a	8.69 ab	8.58 a	8.70 a
EC (μS/cm)						
CK	1530 a	1545 a	1167 a	1287 b	1200 a	1290 b
S <sub>150</sub> -石膏 S <sub>150</sub> -Gypsum	1423 a	1770 a	1497 a	1637 b	1492 a	1596 ab
S <sub>75</sub> -硫磺 S <sub>75</sub> -Sulfur	1707 a	1977 a	1950 a	2200 a	2090 a	2150 a
S <sub>150</sub> -硫磺 S <sub>150</sub> -Sulfur	1620 a	1630 a	1843 a	1770 ab	1653 a	1700 ab
S <sub>225</sub> -硫磺 S <sub>225</sub> -Sulfur	1501 a	1541 a	1478 a	1485 b	1371 a	1463 b

注: \* 采样深度。Note: \* indicated the depth of soil samples collection.

土壤 EC 值与 pH 值正好表现出相反的规律,即:硫磺的施用增加了土壤 EC 值,而随着用量的进一步提高 EC 值呈逐渐降低趋势,但即使硫磺用量最高时(225 kg/hm<sup>2</sup>),土壤 EC 值仍然高于只施用 N、P 肥的处理。此外,20~40 cm 土层的 EC 值高于 0~20 cm 土层,因为采样在 10 月初进行,属于雨

水较多的季节,故土壤中盐分主要累积在耕层以下。

以上结果表明,相对于石膏,施用硫磺对于该盐渍化土壤的改良具有更为明显的效果,但同时,可能是由于硫磺的扩散作用十分有限,其改良作用受到了较大的限制。

### 2.3 土壤中七种离子含量

所有土壤样品均未检测出  $\text{CO}_3^{2-}$  的存在。

从图 1 可以看出,相对于只施用 N、P 肥,特别是石膏的处理,硫磺的施用使土壤各离子含量尤其是钾、钠、钙、镁等阳离子含量反而有所升高,但是总体而言,随着硫磺施用量的进一步增加,其含量又表现出逐渐降低的趋势。这可以说明如下问题:其一,

低量硫磺不仅对于盐碱化土壤起不到改良的作用,反而会刺激土壤中各种离子含量的提高;其二,高量硫磺的施用能够减少土壤中各离子的含量,对盐碱化土壤能起到一定的改良作用;其三,本试验中的硫磺用量较低,如果继续加大硫磺用量可能会有更好的效果。

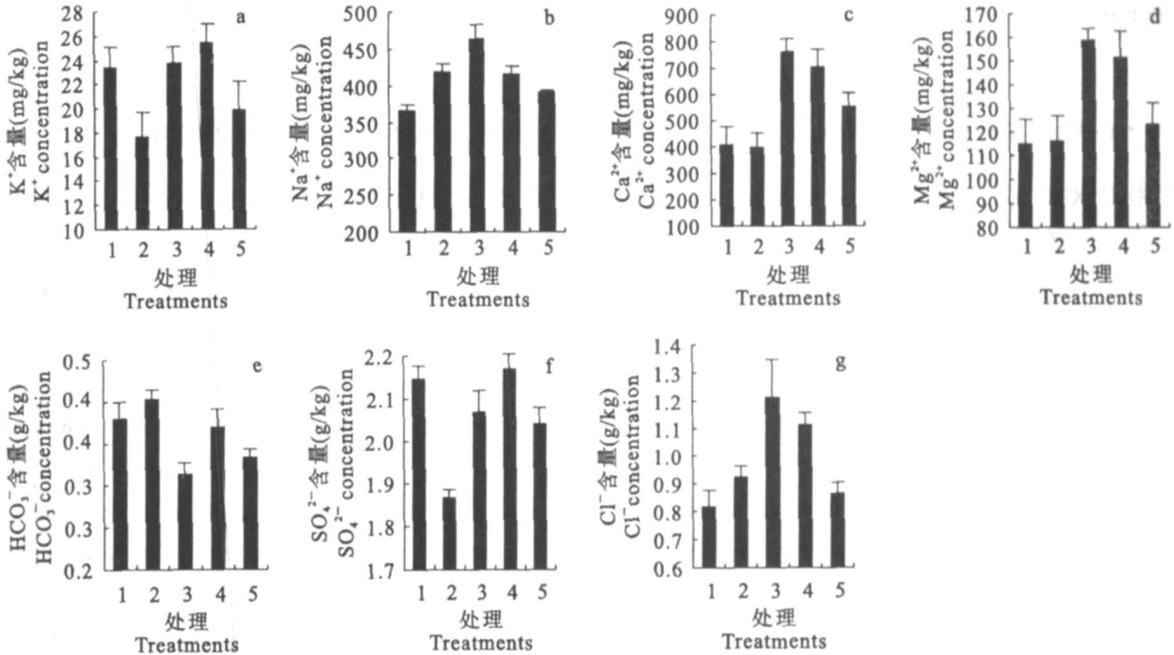


图 1 不同处理对土壤 7 大离子含量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on ion concentration of soil

### 3 结论与讨论

本研究采用硫磺对陕西渭南地区盐渍土进行改良试验,结果显示其改土作用较为有限,主要原因可能有两个方面:其一,硫磺施用时间较短,从施用硫磺到采样,期间只经历了 60 多天,在如此短的时间内单质 S 转化为  $\text{SO}_4^{2-}$  的数量必定有限;其二,硫磺施用量不足,证据如下:相对于只施用 N、P 肥,硫磺处理虽然提高了土壤 EC 值,但随着硫磺用量的进一步加大,土壤 EC 值呈现出下降趋势,但是在本试验中所设的最高硫磺用量下其值仍然高于对照,土壤 7 大离子也存在同样的规律,因此,如果继续增加硫磺的施用量,土壤 EC 值与离子含量可能将低于对照,起到更好的改良效果。因此,在本试验基础上如果进一步加大硫磺用量将可能会对该地盐渍化土壤具有更为明显的作用,但最佳施用量等还需要进一步研究。

硫是植物生理活动必需的矿质营养元素之一,

就需要量而言,仅次于氮磷钾,被列为第四大营养元素。近年来,随着无硫或低硫化肥(尿素、重过磷酸钙、磷铵等)的广泛应用,对土壤硫素的归还与补给不断减少,作物与土壤中缺硫的报道逐年增多<sup>[8]</sup>。研究表明我国北方大部分土壤硫素含量不足,硫肥的施用对于提高作物产量及品质具有良好的效果<sup>[9]</sup>,而且在等硫量条件下硫磺的肥效优于石膏<sup>[10]</sup>。因此,本研究采用硫磺对盐渍土进行改良,一方面起到了降低土壤 pH 的作用,另一方面也为棉花植株补充了硫素。

总体而言,硫磺的施用改善了土壤养分状况,增加了棉花植株的养分含量,降低了土壤 pH 值;另外,虽然硫磺的施用增加了土壤中各离子的含量及 EC 值,但随着硫磺用量的逐渐增加,土壤中各离子含量及 EC 值呈现出降低的趋势。因此,硫磺的施用对于该地区土壤具有一定的改良作用。然而,在本试验条件下,硫磺改良盐渍化土壤总体效果有限,因此应进一步加大其用量,讨论其改良机理。

## 参考文献:

- [1] 杨瑞珍, 毕于运. 我国盐碱化耕地的防治[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(3): 23-30.
- [2] 姜国良, 刘云, 刘文文. 盐碱土壤修复材料对作物生长影响研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(4): 547-550.
- [3] 陈伏生, 曾德慧, 王桂荣. 泥炭和风化煤对盐碱土的改良效应[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(6): 861-864.
- [4] 任坤, 任树梅, 杨培岭, 等.  $\text{CaSO}_4$  在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 77-80.
- [5] 杨子文. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [6] 李学曾. 陕西盐碱地改良[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1981.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [8] 程炯, 郑泽厚, 吴志峰, 等. 湖北四种典型土壤硫肥效应[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 720-722.
- [9] 李金凤, 陈洪斌, 张玉龙, 等. 辽宁大豆主产区土壤硫素状况及不同硫肥肥效研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 470-473.
- [10] 雷全奎, 郭建秋, 张洁, 等. 小麦、玉米硫肥施用效果[J]. 土壤通报, 1999, 30(6): 277-278.

## A preliminary study on amendment of saline soil through addition of sulfur

ZHAO Xiao-jin<sup>1</sup>, LI Ya-fang<sup>2</sup>, MAI Wen-xuan<sup>2</sup>, TIAN Xiao-hong<sup>2</sup>, LAI Hang-xian<sup>2</sup>, LU Jia-long<sup>2</sup>

(1. The Working Station of Soil and Fertilizer of Weinan, Weinan, Shaanxi 714000, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi 712100, China)

**Abstract:** Weinan is located in the eastern part of Guanzhong Plain which has the second largest area of saline soil in Shaanxi Province. Soil salinization not only reduces the productivity of agricultural soil, but also directly affects the sustainable development of agricultural system. So it is very important to find out effective measures to ameliorate these soils. A field experiment for amendment of saline soil with sulfur as material was conducted in Weinan, Shannxi Province in 2006. The results indicated that, over 2 months after addition of sulfur to saline soil, the soil nutrient status was improved and the total N and P concentration of cotton plants was increased; and the soil pH was decreased. In addition, the contents of seven ions (potassium, sodium, calcium, magnesium, bicarbonate, sulfate and chlorine) and EC values of soil tested were decreased with the sulfur adding. However, there was a decline trend of these ions contents and EC values with the increase of sulfur usage dose. Although the sulfur indicated a obvious amendment effects to the saline-alkali soil in Weinan saline soil area, the effect was limited under the current low rates of sulfur addition (the largest sulfur application amount was  $225 \text{ kg/hm}^2$  in this study). Therefore, further field experiment is necessary for investigate the effects of sulfur especially in the aspect of sulfur application on saline-alkali soil.

**Key words:** saline-alkali soil; sulfur; amendment