

脱硫石膏配施不同量有机物料对盐碱土壤改良效果及作物产量的影响

王 丹¹, 黄 超², 李小东¹, 刘 娟¹, 张凤华¹

(1.石河子大学,新疆 石河子 832003;2.新疆天富能源股份有限公司,新疆 石河子 832003)

摘 要:以新疆玛纳斯河流域石河子绿洲盐碱地为研究对象,研究滴灌条件下脱硫石膏与不同量有机物料配施对盐碱土壤改良效果及作物产量的影响。采用微区试验方法,以单施脱硫石膏为对照(CK 1 000 kg·666.7m⁻²),设计了 3 种施用量有机物料配施处理:A(1 000 kg·666.7m⁻²+25 kg·666.7m⁻²)、B(1 000 kg·666.7m⁻²+50 kg·666.7m⁻²)、C(1 000 kg·666.7m⁻²+100 kg·666.7m⁻²)。结果表明:脱硫石膏与有机物料配施均显著降低耕层土壤 pH 值和电导率,增加土壤孔隙度;3 个处理 0~10 cm 和 10~20 cm 土层土壤中大团聚体分别较对照增加了 9.96%、20.23%、33.50%和 7.37%、20.54%、24.90%;耕层土壤中 Na⁺ 的含量显著降低,Mg²⁺ 的含量显著增加;棉花籽棉产量分别较对照增加了 5.77%、12.45%、17.96%。从农业生产的产投比考虑,综合土壤改良效果,脱硫石膏 1 000 kg·666.7m⁻²+有机物料 50 kg·666.7m⁻²配施模式效果较好。

关键词:脱硫石膏;有机物料;盐碱土壤;作物产量

中图分类号:S156.4⁺4 **文献标志码:**A

Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil improvement and crop yield in saline-sodic soil

WANG Dan¹, HUANG Chao², LI Xiao-dong¹, LIU Juan¹, ZHANG Feng-hua¹

(1. Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003; 2. Xinjiang Tianfu Energy Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang 832003)

Abstract: This study was conducted to study the effect of FGD gypsum with organic materials at different ratio on the improvement of saline sodic soil of alluvial fan in Manasi River Basin by monitoring improvement of soil quality and crop yield under drip irrigation. We used the micro zone test method, single FGD gypsum as control (CK: 1 000 kg·666.7m⁻²) and 3 ratios of organic materials were applied: A(1 000 kg·666.7m⁻²+25 kg·666.7m⁻²), B(1 000 kg·666.7m⁻²+50 kg·666.7m⁻²) and C(1 000 kg·666.7m⁻²+100 kg·666.7m⁻²). The results showed that combination of FGD gypsum and organic material significantly decreased soil pH and conductivity, increased soil porosity. Soil aggregates (>0.25 mm) in 0~10 cm and 10~20 cm soil layers were increased by 9.96%, 20.23%, 33.50% and 7.37%, 20.54% and 24.90% by three treatments, respectively. The Na⁺ concentration in topsoil (0~20 cm) significantly decreased, and the Mg²⁺ concentration significantly increased, the cotton yield increased by 5.77%, 12.45%, 17.96% compared with the control, respectively. Considering the production input ratio of agricultural production and the effect of comprehensive soil improvement, the combination of 1000 kg FGD gypsum combined with 50 kg organic material/666.7m² had the best result among all three treatments.

Keywords: FGD gypsum; organic materials; saline-sodic soil; crop yield

由于人类长期对土地不合理的开发利用及新疆自身独特的地理条件,土壤盐碱化问题日渐严重^[1]。新疆盐碱荒地面积达 2.81×10⁷ hm²,约占中

国盐碱地总面积的 1/3^[2],盐碱化已经完全制约着新疆的农业开发和持续发展。如何通过综合改良措施,最大程度消除盐碱危害对于保障新疆的粮食

收稿日期:2017-11-07

修回日期:2017-12-22

基金项目:兵团科技攻关与成果转化项目(2016AD022);国家重点研发计划课题(2016YFC0501406)

作者简介:王丹(1994-),女,湖南湘乡人,硕士,主要从事农业生态环境研究。E-mail:wdwd817@163.com

通信作者:张凤华(1970-),女,博士生导师,主要从事农业生态环境研究。E-mail:zfh2000@126.com

安全与农业可持续发展至关重要^[3]。

脱硫石膏作为燃煤脱硫废弃物,已被证实是一种有效的改良盐碱土壤措施^[4]。孙兆军等^[5]研究表明,施用脱硫石膏改良后 3 年,碱化土土壤 pH 值、碱化度、全盐量分别降低 17.20%、42.63% 和 46.43%。Mao 等^[6]研究表明,施用脱硫石膏的土壤交换性钠百分率显著降低。施用脱硫石膏能促进水稻幼苗的生长,还可提高枸杞幼苗成活率^[5,7]。但由于脱硫石膏自身就是盐,施用不当效果会适得其反的。Sakai 等^[8]研究表明,脱硫石膏施用量过大或管理不善会引起土壤盐分累积,导致土壤全盐含量上升。魏淑贞等^[9]通过室内土柱试验得出脱硫石膏施用量并非越多越好。因此,通过改善脱硫石膏的施用方式,强化其对盐碱土壤的改良效果并优化施用结构,从而达到科学的运用燃煤脱硫废弃物改良盐碱土壤的目的。张伶俐等^[3]在山东乐陵地区进行试验得出,脱硫石膏与腐殖酸 1:1 组合使土壤 pH 值降低,速效钾含量显著提高并且实现了玉米增产 40%。Nan 等^[10]以江苏省北部沿海地区盐碱地为试验区,研究表明每公顷土地以 3.2 t 脱硫石膏配施 1.5 t 腐殖酸改良盐碱效果最佳且油菜增产效果明显。周阳等^[11]通过内蒙古呼和浩特试验得出,在脱硫石膏和腐殖酸共同作用下,土壤容重显著降低,青贮玉米的出苗率和产量均显著增高。

本试验通过研究脱硫石膏与不同量有机物料配施对盐碱土壤理化性质和作物产量的影响,寻找脱硫石膏与有机物料的最佳配比,以达到降低脱硫石膏施用量和提高脱硫石膏对盐碱土壤改良效果的目的,为新疆科学合理利用脱硫石膏改良盐碱地提供参考,为利用脱硫石膏改良盐碱土壤的大面积推广提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于新疆玛纳斯河流域石河子西古城镇(45°01'08"N、85°55'33"E)。研究区位于天山北麓、古尔班通古特沙漠南缘,东、西、北三面环沙,素有“沙海半岛”之称。海拔高度 346~358.8 m,无霜期为 135~205 d,≥0℃积温为 3 990.9℃,≥10℃积温为 3 693.8℃。常年干旱少雨,蒸发强烈,年均降

水量 100 mm,而年蒸发量却达到 1 100 mm。现有耕地面积约 1.4 万 hm²,其中盐碱耕地约 0.7 万 hm²,占耕地面积的 50%,耕地土壤盐碱化程度较重。

1.2 试验设计

于 2015 年 4 月 22—28 日在研究区开展微区试验。采用单因素完全随机区组设计,每个处理设置 3 次重复,每个小区面积为 5 m×6 m(30 m²)。共设 4 个施肥处理,T1:CK(单施脱硫石膏:1 000 kg·666.7m⁻²);T2:A(脱硫石膏 1 000 kg·666.7m⁻²+有机物料 25 kg·666.7m⁻²);T3:B(脱硫石膏 1 000 kg·666.7m⁻²+有机物料 50 kg·666.7m⁻²);T4:C(脱硫石膏 1 000 kg·666.7m⁻²+有机物料 1 00 kg·666.7m⁻²)。有机物料主要为腐植酸肥料(产自新疆双龙腐植酸有限公司,其名称为 DD-黄腐酸钾Ⅱ型,主要成分为黄腐酸和腐植酸)。脱硫石膏和有机物料均匀撒施在各小区后,用圆盘耙进行耙地,耙地深度为 0~20 cm。试验地种植的作物为棉花,采用膜下滴灌栽培种植模式 1 膜 2 管 6 行。处理后期的田间管理水平都相同,在棉花整个生育期内采用常规灌溉,灌溉量与实际生产一致,共滴灌了 9 次水,总灌水量是 380 m³·666.7m⁻²,试验地试验前土壤状况见表 1。

试验地土壤属于灰漠土,土壤表层为粘质土壤,根据国家对土壤盐碱程度分级标准,试验地土壤属于中度盐碱化土壤。土壤盐渍化的基本类型为以硫酸盐为主的盐碱土。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤样品的采集与处理 2015 年 9 月 20 日对收获后的棉花地进行采样,每个小区随机挖三个剖面(深度 60 cm),分别采集 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 的土样,把三个样点的相同土层的土壤样品均匀混合,采用“四分法”保留土壤,将采集土壤带回实验室自然风干,风干后过 1 mm 筛。对试验田原状土壤采集,分别采 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 的土样于塑料盒中,途中避免对原状土的挤压,将土壤样品带回实验室,在室温下风干,使样品达到塑限的程度后(含水量 20%左右),过 8 mm 筛,用于团聚体分析。

表 1 试验地土壤状况
Table 1 The condition of soil in the study area

pH	电导率 Electric conductivity /(dS·m ⁻¹)	容重 Bulk density /(g·kg ⁻³)	碱化度 Alkalinity/%	速效磷 Olsen phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)
9.1	1.67	1.59	11.2	11.04	0.34	38.17	9.36

1.3.2 土壤样品测定指标与方法 土壤孔隙度:土壤孔隙度(%)=1-容重/2.65;土壤团聚体组成分布的测定:干筛法,风干过程中,沿土壤自然结构轻轻掰成直径1 cm³左右的小土块,去除植物根系与石块,取样品100 g,通过一套直径为30 cm的筛组,筛子孔径依次为8、5、2、1、0.25 mm和0.053 mm,筛组上方有盖,下方有底,筛分时间为10 min,筛分结束后,测量各孔径筛子上土样重量(W_{di});土壤pH值采用BPH252 pH计(土水比1:2.5)测定;土壤电导率采用DDSJ-308A型电导率仪(土水比1:5);土壤K⁺,Ca²⁺,Na⁺,Mg²⁺含量测定采用ICP法(等离子体发射光谱测定法)。

1.3.3 作物产量的测定 2015年9月15日对研究区试验地各处理下的棉花产量进行测定。测产方法如下:每个小区取3个样点,取样为对角线法;行距测定:每个样点中取11行测量行距,计算平均行距;株距测定:每个样点中随机选取1行的21株测量株距,计算平均株距;铃数调查:每个样点随机选3行,每行连续10株,共计30株,调查铃数;单铃重(g):每个样点随机收取吐絮铃100个,自然取出籽棉,晾晒干后称重量,计算平均单铃重,单铃重(g·铃⁻¹)=100个絮铃籽棉干重(g)/100;667m²产量=(667m²株数×单株成铃数×单铃重×系数)/1000,系数取0.85。

1.4 脱硫石膏的组分

试验所用的脱硫石膏由新疆天富能源股份有限公司南热电发电厂提供,脱硫石膏的主要成分是CaSO₄·2H₂O,含量为75.85%。含水率37.54%~38.65%,pH值7.55,电导率为2.88 mS·cm⁻¹,总盐含量为16 g·kg⁻¹,K含量为5.39 g·kg⁻¹,Na含量为12.35 g·kg⁻¹,Ca含量为226.71 g·kg⁻¹,Mg含量为4.16 g·kg⁻¹。

1.5 试验数据处理

数据处理和绘图用Microsoft Excel 2003软件进行。方差分析采用SPSS 16.0统计分析软件进行。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)、最小显著差法(LSD)进行多重比较差异显著性检验(P<0.05)。

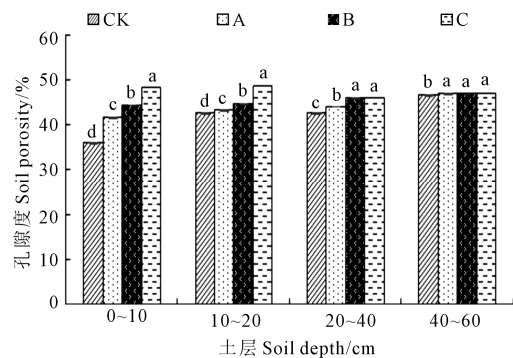
2 结果与分析

2.1 脱硫石膏配施不同量有机物料对土壤物理特性的影响

2.1.1 土壤孔隙度的变化 由图1可知,脱硫石膏配施不同量有机物料处理整体上均明显增加土壤孔隙度,随着脱硫石膏配施有机物料比例的增加,土壤孔隙度呈现出增加的趋势(C>B>A);0~10 cm

土层增加幅度最明显,与单施脱硫石膏相比,土壤孔隙度分别增加了17.55%、26.20%、42.29%。

2.1.2 土壤团聚体的变化 由表2可知,脱硫石膏配施不同量有机物料处理均增加了耕层(0~20 cm)土壤及20~40 cm土层土壤中大团聚体(粒径>0.25 mm)的比例,降低了小团聚体(0.053~0.25 mm)和微团聚体(<0.053 mm)的比例;脱硫石膏配施



注 Note: CK—单施脱硫石膏处理 Single FGD gypsum, A—1 000 kg·667m⁻²+25 kg·667m⁻², B—1 000 kg·667m⁻²+50 kg·667m⁻², C—1 000 kg·667m⁻²+100 kg·667m⁻²。下同。The same below.

图1 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤孔隙度的变化
Fig.1 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil porosity

表2 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤团聚体的变化
Table 2 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil aggregates

土层深度/cm Depth	处理 Treatment	不同粒径团聚体比例/% Soil aggregates in different size		
		>0.25 mm	0.053~0.25 mm	<0.053 mm
0~10	CK	58.13d	32.94a	8.93a
	A	63.92c	29.07b	7.01b
	B	69.90b	26.44c	3.66c
	C	77.63a	19.84d	2.53d
10~20	CK	67.05d	25.01a	7.94a
	A	71.99c	23.00b	5.01b
	B	80.82b	16.11c	3.07c
	C	83.75a	12.52d	3.73c
20~40	CK	48.21d	37.32c	14.47a
	A	50.90c	39.26b	9.84b
	B	52.93b	40.43a	6.64c
	C	54.04a	41.48a	4.48d
40~60	CK	20.89a	62.87a	16.24c
	A	19.67a	60.17b	20.16b
	B	20.29a	59.54b	20.17b
	C	19.48a	57.62c	22.90a

注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: different lower case letters in the same column indicate significantly difference among treatments at P<0.05 level.

有机物料处理对耕层土壤中 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体的比例($R_{0.25}$)的增加效果最显著,且随着土层深度的增加,增加效果呈现出减弱的趋势。各处理0~10 cm和10~20 cm土层土壤中大团聚体的比例分别较单施脱硫石膏增加了9.96%、20.23%、33.50%和7.37%、20.54%、24.90%;0~40 cm土层,大团聚体的比例均表现为 $C>B>A$,且各处理间差异显著。在40~60 cm土层中A、B和C处理之间大团聚体比例之间差异均不显著。

2.2 脱硫石膏配施不同量有机物料对土壤化学特性的影响

2.2.1 土壤pH值的变化

由图2可知,脱硫石膏配施不同量有机物料处理较单施脱硫石膏均显著降低土壤的pH值。0~10 cm土层土壤中,随着配施有机物料量的增加,土壤pH值呈现出先降低后增加的趋势,B处理最低,显著低于其他处理,A处理与C处理之间差异不显著;10~20 cm土层土壤中,随着配施有机物料比例的增加,土壤pH值呈现出降低的趋势,B处理与A处理、C处理之间差异均不显著,A处理显著大于C处理;20~40 cm土层,A处理显著高于B处理和C处理,B处理和C处理之间差异不显著;40~60 cm土层中随着配施有机物料比例的增加,土壤pH值呈现出降低的趋势,A处理与B处理之间差异不显著,但均显著高于C处理。

2.2.2 土壤碱化度的变化

由图3可知,0~10 cm土层中,A处理与单施脱硫石膏处理之间无显著性差异,但显著高于B处理和C处理,C处理显著低于其他处理;10~20 cm土层中,A处理显著高于单施脱硫石膏与B、C处理,各处理之间差异均显著,C处理最低;20~40 cm土层中,脱硫石膏配施有机物料处理均显著低于单施脱硫石膏处理,且随着有机物料配施比例的增加,土壤碱化度呈现出降低的趋势,B处理与A处理、C处理之间差异均不显著,A处理显著大于C处理;40~60 cm土层中,各处理之间均无显著性差异。

2.2.3 土壤电导率的变化

由图4可知,脱硫石膏配施有机物料处理均显著降低耕层土壤0~20 cm和20~40 cm土层土壤的电导率。0~10 cm土层中,各处理之间差异均显著,随着有机物料配施量的增加,土壤电导率呈现出递减的趋势,A、B、C处理分别较单施脱硫石膏处理下降51.37%、67.12%和70.55%;10~20 cm土层中,随着有机物料配施量的增加,土壤电导率呈现出递减的趋势,B处理与C处理之间差异不显著;20~40 cm土层土壤中,随着有机物料配施量的增加,电导率呈现出先增加后降低

的趋势,单施脱硫石膏处理与A、B处理之间差异均不显著,A处理显著高于B、C处理,B处理与C处理之间差异不显著;40~60 cm土层中,随着有机物料配施量的增加,电导率则呈现出先降低后增加的趋势,单施脱硫石膏处理与A、B处理之间差异均不显著,A、B、C处理之间差异均显著,C处理最高。

2.2.4 土壤阳离子的变化

研究区土壤中阳离子的变化如图5所示。由图5(a)可知,在0~10 cm和20~40 cm土层土壤中,脱硫石膏配施有机物料

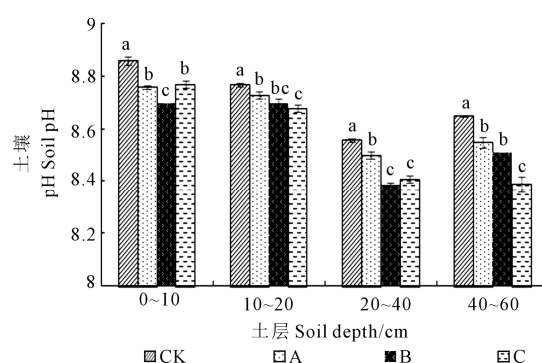


图2 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤pH值的变化
Fig.2 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil pH

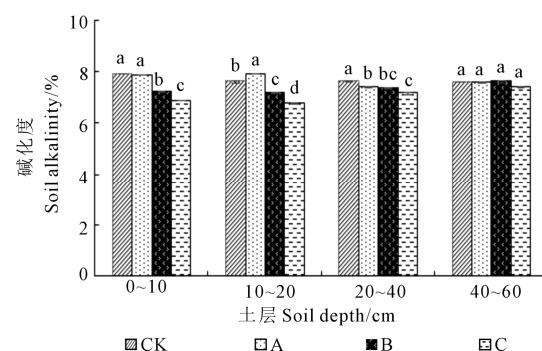


图3 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤碱化度的变化
Fig.3 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil alkalinity

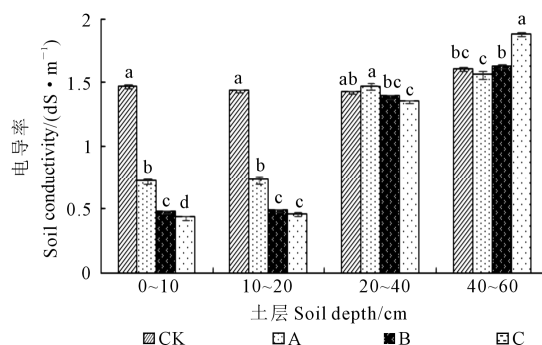


图4 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤电导率的变化
Fig.4 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil conductivity

料处理较单施脱硫石膏处理 K^+ 含量均显著降低, C 处理最低, 各处理分别较对照降低 12.35%、12.47%、26.18% 和 33.45%、30.99%、38.50%; 10~20 cm 土层土壤中, 各处理 K^+ 含量较单施脱硫石膏处理均显著增加, A 处理最高, 增加了 48.31%, C 处理显著低于 A 处理但显著高于 B 处理; 40~60 cm 土层土壤中, 各处理 K^+ 含量均显著增加, 但增加量较小。由图 5(b) 可知, 在 0~10 cm 土层土壤中, A 处理 Ca^{2+} 含量较单施脱硫石膏处理显著增加, 增加了 3.88%, B 处理显著低于 A 处理与单施脱硫石膏处理, Ca^{2+} 含量较单施脱硫石膏处理降低了 6.61%, C 处理与单施脱硫石膏处理之间差异不显著, 但显著高于 B 处理; 在 20~40 cm 土层土壤中, A、B、C 处理 Ca^{2+} 含量较单施脱硫石膏显著增加, A、B 处理之间无显著性差异, 但显著低于 C 处理; 在 40~60 cm 土层土壤中, 单施脱硫石膏处理、A、C 处理之间差异不显著, 但均显著低于 B 处理, B 处理较单施脱硫石膏处理增加了 45.51%。由图 5(c) 可知, 在 0~10、10~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤中, 脱硫石膏配施有机物料处理较单施脱硫石膏处理 K^+ 含量均显著降低, 随着有机物料配施量的增加, K^+ 含量呈现出降低的趋势。0~10 cm 土层中, B、C 处理之间无显著性差异, 但显著低于 A 处理, 10~20 cm 和 20~40 cm 土层中各处理之间差异均显著; 在 40~60 cm 土层中,

A 处理与单施脱硫石膏处理之间无显著性差异, 随着配施有机物料量的增加 Na^+ 含量呈现出增加的趋势。由图 5(d) 可知, 0~20 cm 土层土壤 Mg^{2+} 各处理间差异显著, 且随着配施有机物料量的增加呈现出增加的趋势; 20~40 cm 土层土壤 Mg^{2+} 含量较单施脱硫石膏处理均显著增加, 增加幅度 $B>A>C$, 各处理间差异均显著; 40~60 cm 土层土壤 Mg^{2+} 含量变化较小。

2.3 脱硫石膏配施不同量有机物料对棉花产量的影响

对各处理下的棉花产量做差异性分析(图 6), A、B 和 C 处理增加了棉花籽棉的产量, 各处理之间产量差异性显著, C 处理显著高于其他处理, 脱硫石膏与有机物料配施对棉花增产效果优于单施脱硫石膏。

3 讨 论

3.1 脱硫石膏配施不同量有机物料对盐碱土壤理化特性的影响

本研究表明: 脱硫石膏与不同量有机物料配施均提高了耕层土壤(0~40 cm)中大团聚体的百分含量, 降低了小团聚体和微团聚体的百分含量, 大团聚体增加顺序依次为脱硫石膏配施 100 kg 有机物料处理>脱硫石膏配施 50 kg 有机物料处理>脱硫石膏配施 25 kg 有机物料处理。脱硫石膏与有机物料

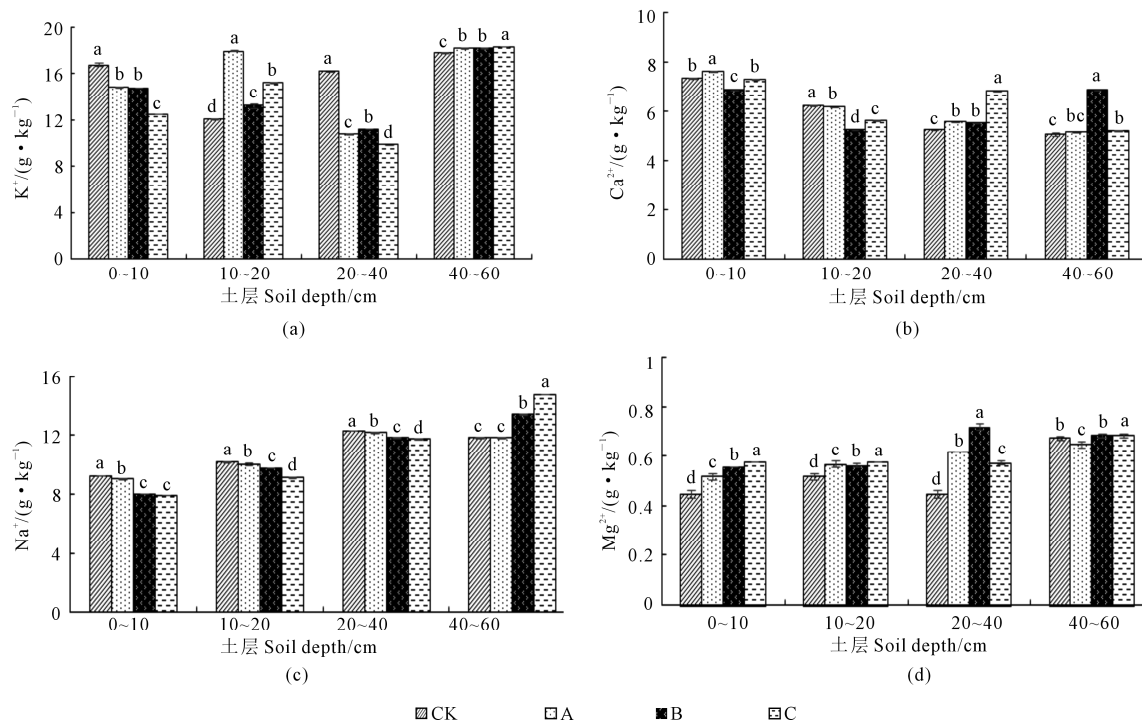


图 5 脱硫石膏配施不同量有机物料处理土壤中阳离子的变化

Fig.5 Effects of different amount of organic materials combined with desulfurized gypsum on soil cations

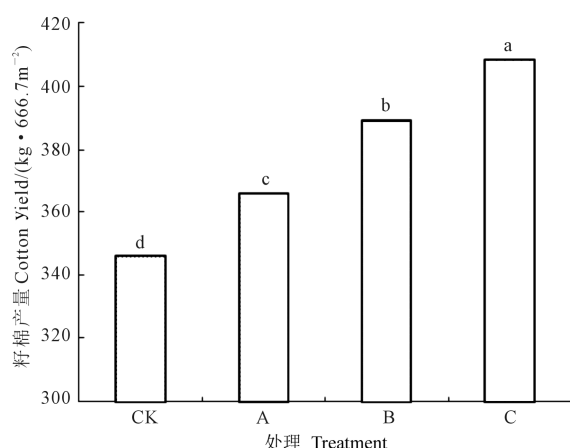


图 6 不同处理下棉花产量差异性分析

Fig.6 Cotton yield difference analysis under various treatments

配施处理对土壤孔隙度和团聚体改良效果显著高于单施脱硫石膏处理,不同配施方案显著提高了土壤中大团聚体(>0.25 mm)含量,张峰举等^[12]研究得出,随着脱硫石膏施入量的增加,土壤水稳定团聚体含量显著提高,其采用胶散分组法分离土壤有机无机复合体,得出脱硫石膏产生的 Ca^{2+} 直接参与土壤有机无机复合体的形成是碱化土壤团粒结构改善的重要机理。随着脱硫石膏与有机物料配施量增加,土壤孔隙度呈增加趋势,且配施量最多情况下土壤孔隙度增加显著;邵玉翠等^[13]也发表过类似研究,发现脱硫石膏与天然有机物混合改良剂较基础土壤增加土壤总孔隙度 0.16%~10.52%,其试验表明土壤总孔隙度随着改良剂施用量的增加而增加,呈显著正相关关系。本研究中,脱硫石膏与有机物料配施后耕层土壤 pH 值、碱化度和电导率明显降低,与肖国举、王静等^[14-15]研究发现土壤中施入改良剂使土壤 pH 值和碱化度显著降低的结论一致。究其原因是土壤胶体中 Na^+ 被脱硫石膏中 Ca^{2+} 代换出来,降低土壤中的盐碱含量,结合灌溉使之淋洗,达到改良土壤的目的^[16-17]。本试验研究表明,脱硫石膏与有机物料配施后 0~40 cm 土层土壤电导率降低,40~60 cm 土层土壤电导率增加,这可能是由于施用脱硫石膏及有机物料使得土壤表层土层孔隙度增大,土壤透水性和通气性增加,随着灌溉淋洗,盐分随水下移,在下层(40~60 cm)积累,导致土壤电导率增加。0~20 cm 土层 Na^+ 含量下降幅度最大,原因是脱硫石膏提供的 Ca^{2+} 置换了吸附在土壤胶体的 Na^+ ; Ca^{2+} 含量下降可能是由于 Ca^{2+}

与 Na^+ 发生置换反应,导致 Ca^{2+} 与土壤中的 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 发生沉淀反应,降低了土壤 Ca^{2+} 含量。土壤中 Mg^{2+} 含量上升,这主要与 Na^+ 和 Mg^{2+} 发生化学交换有关。

3.2 脱硫石膏配施不同量有机物料对作物产量的影响

大量研究表明,脱硫石膏颗粒细致、含水量低,可直接施用于盐碱地土壤中,达到加快脱盐,改善土壤结构,增加土壤渗透性的目的,脱硫石膏中含有大量微量和营养元素也可以促进植物生长,提高盐碱地农作物的出苗率和产量^[18-20]。

本研究中,随着脱硫石膏配施有机物料量的增加,棉花产量呈现出增加的趋势,在每 666.7m² 地施用 1 000 kg 脱硫石膏与 100 kg 有机物料时达到最大,脱硫石膏与有机物料配施对棉花增产效果优于单施。同时,邵玉翠等^[13,21]研究表明脱硫石膏与有机物料配施为土壤及作物提供了充足的营养物质,提高了作物的抗病能力,进而使白菜和玉米增产。郑普山等^[22]研究发现盐碱地施用脱硫石膏改良剂可显著提高紫花苜蓿出苗率和鲜草产量。一方面是由于脱硫石膏与有机物料的施用参与土壤团粒结构的形成,改善土壤团粒结构^[23],调整了土壤的酸碱度;另一方面在于脱硫石膏的施用增加了有益于植物生长的 S、Ca、Si 等元素,提高了植物对恶劣环境的抗性,改善了养分亏缺问题,有益作物生长^[24]。

综合考虑,本研究中每 666.7m² 地脱硫石膏 1 000 kg 与有机物料 50 kg 的配施模式更适合农业生产。脱硫石膏与有机物料配施可以解决工业废弃物的处理问题,使资源优化利用。但是,脱硫石膏作为工业废弃物,其中含有一定量的重金属,长期施用是否会引起一些环境问题,尚未研究清楚。因此,如何在改良盐碱地的基础上实现棉花产量的进一步提高,同时不会造成环境污染是我们今后继续关注和研究的问题。

4 结 论

1) 脱硫石膏配施不同量有机物料对耕层土壤的孔隙度和大团聚体数量的增加效果明显。

2) 施用脱硫石膏与有机物料后,耕层土壤的 pH 值、碱化度和电导率降低,配施效果优于单施脱硫石膏。

3) 脱硫石膏与有机物料配施能有效提高棉花的产量,随着配施量的增加,棉花的产量呈递增趋势。脱硫石膏 $1\,000\text{ kg} \cdot 666.7\text{ m}^{-2}$ + 有机物料 $50\text{ kg} \cdot 666.7\text{ m}^{-2}$ 配施模式,更适合农业生产。

参 考 文 献:

- [1] 陈镭,侯东升,郭玲玲,等. 新疆盐碱地形成特点及改良措施[J]. 新疆农垦科技,2009,32(05):56-57.
- [2] 李文昊,王振华,郑旭荣,等. 新疆绿洲盐碱滴灌区域荒地土壤盐分变化[J]. 排灌机械工程学报,2016,34(08):722-729.
- [3] 张伶波,陈广锋,田晓红,等. 盐碱土石膏与有机物料组合对作物产量与籽粒养分含量的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(12):12-17.
- [4] 杨真,王宝山. 中国盐碱地改良利用技术研究进展及未来趋势[J]. 水土保持,2014,2(1):1-11.
- [5] 孙兆军,赵秀海,李茜,等. 脱硫废弃物改良盐碱地种植沙枣试验研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(05):90-92+145.
- [6] Mao G L, Xu X, Chen Q J, et al. Flue gas desulfurization gypsum by-products alters cytosolic Ca^{2+} distribution and Ca^{2+} - ATPase activity in leaf cells of oil sunflower in alkaline soil[J]. Journal of Plant Interactions,2014,9(1):152-158.
- [7] 白海波,郑国琦,杨涓,等. 脱硫废弃物对盐碱地水稻幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(9):1859-1864.
- [8] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains[J]. Soil & Sediment Contamination,2006,13(1):65-80.
- [9] 魏淑贞,张伟华,岳股萍. 脱硫石膏对盐碱土改良效果研究[J]. 北方农业学报,2017,45(02):58-62.
- [10] Nan J, Chen X, Wang X, et al. Effects of applying flue gas desulfurization gypsum and humic acid on soil physicochemical properties and rapeseed yield of a saline-sodic cropland in the eastern coastal area of China[J]. Journal of Soils & Sediments,2016,16(1):38-50.
- [11] 周阳. 脱硫石膏与腐植酸改良盐碱土效果研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [12] 张峰举,许兴,肖国举. 脱硫石膏对碱化土壤团聚体特征的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(06):108-114.
- [13] 邵玉翠,任顺荣,廉晓娟,等. 施用脱硫石膏与天然有机物混合改良剂对盐化潮土理化性质及玉米产量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(07):285-289.
- [14] 肖国举,罗成科,白海波,等. 脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究[J]. 生态环境学报,2009,18(06):2376-2380.
- [15] 王静,许兴,肖国举,等. 脱硫石膏改良宁夏典型龟裂碱土效果及其安全性评价[J]. 农业工程学报,2016,32(02):141-147.
- [16] 贺坤,李小平,周纯亮,等. 烟气脱硫石膏对滨海农耕土壤磷素形态组成的影响[J]. 生态学报,2017,37(09):2935-2942.
- [17] 王金满,杨培岭,张建国,等. 脱硫石膏改良碱化土壤过程中的向日葵苗期盐响应研究[J]. 农业工程学报,2005,21(09):33-37.
- [18] 张俊华,贾科利,孙兆军. 宁夏银北地区盐化土壤改良成效研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):232-235.
- [19] Mailapalli D R, Thompson A M. Polyacrylamide coated MilorganiteTM and gypsum for controlling sediment and phosphorus loads[J]. Agricultural Water Management,2011,101(1):27-34.
- [20] 李小平,刘晓臣,毛玉梅,等. 烟气脱硫石膏对围垦滩涂土壤的脱盐作用[J]. 环境工程技术学报,2014,4(06):502-507.
- [21] 邵玉翠,任顺荣,廉晓娟,等. 盐渍化土壤施用有机物-脱硫石膏改良剂效果的研究[J]. 水土保持学报,2009,23(05):175-178.
- [22] 郑普山,郝保平,冯悦晨,等. 不同盐碱地改良剂对土壤理化性质、紫花苜蓿生长及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(09):1216-1221.
- [23] 程镜润,陈小华,刘振鸿,等. 脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J]. 中国环境科学,2014,34(6):1505-1513.
- [24] 李彦,衣怀峰,赵博,等. 燃煤烟气脱硫石膏在新疆盐碱土壤改良中的应用研究[J]. 生态环境学报,2010,19(07):1682-1685.