

脱硫石膏改良盐碱土技术的机理及研究进展

袁洁¹, 俄胜哲², 姚嘉斌¹, 黄涛², 车宗贤², 王婷²

(1. 酒钢集团吉瑞再生资源开发有限责任公司, 甘肃 嘉峪关 735100; 2. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 综述了脱硫石膏的基本理化性状, 以及利用脱硫石膏改良盐碱土的机理, 并对利用脱硫石膏改良盐碱土的效果、环境响应等进行了总结, 对其应用前景进行了展望。

关键词: 脱硫石膏; 盐碱地; 改良技术; 研究进展; 重金属

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)09-0042-03

doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2014.09.016

The Mechanism and Research Progression of Using Desulfurized Gypsum to Ameliorate Saline-sodic Soil

YUAN Jie¹, E Sheng-zhe², YAO Jia-bin¹, HUANG Tao², CHE Zong-xian², WANG Ting²

(1. Jirui Renewable Resources Development Co., Ltd, JISCO Group, Jiayuguan Gansu 735100, China; 2. Institute of Soil and Fertilizer and Save water Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: This paper reviewed desulfurized gypsum physiochemical properties and the mechanism of using desulfuration gypsum to ameliorate saline-sodic soil, summarized the improving effect and environment response and looked forward to the application prospect of desulfurized gypsum improve saline-sodic soil.

Key words: Desulfurized gypsum; Saline-sodic soil; Improving technology; Research progression; Heavy metal

土壤盐碱化是一个世界性难题, 全世界盐渍土面积约 1.00×10^{11} hm^2 。我国盐渍土面积约 3.46×10^7 hm^2 , 大部分分布在华北、西北和东北等干旱和半干旱地区, 改良和高效利用盐碱地是广大科技工作者长期研究的课题^[1-2]。国际上用石

膏改造盐碱化土壤已有 100 多年的历史, 但由于其投入成本过高至今还没有得到推广^[3-4]。2000 年以来, 利用脱硫石膏改良盐碱地在我国引起了广泛关注, 并在全国各地开展了广泛深入的研究。但由于盐碱程度、土壤类型和生态环境不同, 研

收稿日期: 2014-06-10

基金项目: 酒钢集团吉瑞再生资源开发有限责任公司项目“酒钢固废农业资源化利用技术研究”(企业项目)

作者简介: 袁洁(1980—), 女, 陕西西安人, 工程师, 主要从事冶金固废循环利用等方面的研究工作。联系电话: (0)18093747680。E-mail: yuanjie@jiugang.com

通讯作者: 俄胜哲(1978—), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物营养与土壤生态方面的科研工作。E-mail: eshengzhe@163.com

处理①、处理②, 处理④最低, 为 2.25。

3 小结与讨论

1) 全膜双垄沟播新覆膜栽培时, 玉米主要性状优于旧膜再利用处理, 生育期缩短 5~6 d。但膜下土壤墒情差别不大。全膜双垄沟播覆新膜, 全部磷肥在覆膜前一次性施入做底肥, 氮肥总量的 1/3 作底肥, 其余在拔节期、大喇叭口期、灌浆期各追施余量的 1/3 处理折合产量最高, 为 10 969.7 kg/hm^2 , 纯收益 12 469 元/ hm^2 , 产投比 2.25。全膜双垄沟播覆新膜, 全部磷肥及氮肥在覆膜前一次性施入处理的折合产量为 10 454.5 kg/hm^2 , 纯收益 13 864 元/ hm^2 , 产投比 2.97。

2) 在玉米生产中, 根据不同生育期氮肥分次施入,

使氮肥后移, 可有效提高氮肥的利用率, 优化生物性状及产量构成因子, 从而提高了产量。新覆膜及化肥的分次施入增加了生产成本和人工投入, 因此, 从经济效益的角度分析, 全膜双垄沟播覆新膜、全部磷肥及氮肥在覆膜前一次性施入处理的玉米生产效益最好, 可在当地大田生产中推广应用。

参考文献:

- [1] 崔云玲, 张立勤, 车宗贤. 注灌施肥对全膜双垄沟播玉米产量及土壤水分的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(2): 7-10.
- [2] 刘五喜. 玉米全膜双垄沟播一膜两年用与新覆膜栽培比较试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2012(3): 32-34.

(本文责编: 陈伟)

究结果有明显差异。近年来,随着我国环保政策的严格实施,燃煤电厂引入烟气脱硫技术以减少 SO_2 排放,由于现行的脱硫技术绝大多数以钙基物质(CaCO_3 或 CaO)作为吸收剂,最终生成脱硫副产物—脱硫石膏,其主要成分是二水硫酸钙,含有丰富的S、Ca等植物必需的矿质营养。据统计,我国2010年脱硫石膏排放量达1500万t以上,且大量露天堆放,不仅占用土地、浪费资源,还对生态环境造成了潜在污染。因此,研究推广利用脱硫石膏改良盐碱地技术,对改善生态环境及实现废物资源化利用具有重要意义。

1 脱硫石膏理化性状

脱硫石膏是烟气脱硫过程中产生的副产物,是高分散度的湿态晶体,其主要成分和天然石膏一样,都是二水硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),呈中性或略偏碱性,平均粒径40~60 μm ,呈灰、黄色,含二水硫酸钙90%~95%、游离水10%~15%,还含有少量飞灰、有机碳、碳酸钙、亚硫酸钙以及微量的钠、钾、镁的硫酸盐或氯化物组成的可溶性盐等杂质^[5]。与天然石膏相比较,脱硫石膏具有纯度较高、颗粒粒径细、含碱量低、有害杂质少、成分稳定、含水率较高、含水溶性盐类较多等特点。在扫描电镜下观察,脱硫石膏颗粒外形完整,水化后晶体呈柱状,结构紧密,其水硬化体的表观密度较天然石膏硬化体大10%~20%,且颗粒一般不超过200目,粒径分布范围较小,品质大多优于天然石膏。

2 改良机理

脱硫石膏改良盐碱土的原理是利用脱硫石膏中含有的 Ca^{2+} 对土壤胶体中吸附的 Na^+ (来自土壤中的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3)进行置换,并通过淋洗将其排出土体,以达到改土治碱的目的^[6~7]。由于土壤胶体粒子长期与盐碱土中的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaCl 等接触,成为含 Na^+ 胶体粒子,而含 Na^+ 胶体粒子在土壤中有较好的分散性,能散布在土壤颗粒之间的细缝中,形成致密、不透水的板结土层^[8]。不易透水的含 Na^+ 板结层掺石膏后,因 Ca^{2+} 比 Na^+ 对土壤中胶体粒子的吸附能力强,原已吸附的 Na^+ 会和土壤溶液中的 Ca^{2+} 发生离子交换,而含 Ca^{2+} 胶体微粒的外层不吸附水分子,胶体微粒自己能互相靠近而聚团,土壤就不会板结,这些过程反复进行后,土壤就形成团粒结构,从而有利于农作物根系生长,吸收土壤水分和养分^[9]。

3 研究进展

3.1 应用效果

脱硫石膏改良盐碱土的研究方法有盆栽试验

和大田试验,主要技术涉及脱硫石膏的施用量、施用方式及施用时期等。许清涛以吉林省白城市洮北区高坪村0~20cm耕作层碱化度63.5%的重度碱化土壤(pH 9.9, EC 1.734 mS/cm)为改良对象,采用盆栽试验,以向日葵为指示作物进行了研究,表明施用脱硫石膏显著增加了向日葵出苗率及单株重,土壤pH显著降低,但EC值(水溶性离子含量)明显增加,且与脱硫石膏量存在线性正相关关系,适宜的脱硫石膏施用量为22.5 t/hm²^[10]。王立志等以2种土壤(pH 9.5、EC 0.25 mS/cm、全盐量0.577 g/kg和pH 9.4、EC 2.17 mS/cm、全盐量0.391 g/kg)为研究对象,发现施用脱硫石膏可明显降低油葵收获后0~20cm土壤的pH,但明显提高了土壤的EC值和全盐量(尤其是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 量),而代换性 Na^+ 含量显著降低,脱硫石膏施用适宜量亦为22.5 t/hm²。在轻度盐碱地(碱化度<20%,全盐量2.5~4.5 g/kg)和中度盐碱地(碱化度20%~30%,全盐量2.5~4.5 g/kg)以玉米为指示植物,在中度盐碱地(碱化度20%~30%,全盐量2.5~4.5 g/kg)及重度盐碱地上(碱化度>30%,全盐量3.0~6.5 g/kg)以油葵为指示作物,进行了多点试验,结果表明,脱硫石膏施用量与玉米和油葵产量都存在显著正相关关系,中度盐碱地适宜施用量为22.5 t/hm²,重度盐碱地适宜施用量30.0 t/hm²,油葵耐盐碱程度高于玉米^[11]。罗成科等在宁夏石嘴山市碱化度9.88%、总碱度0.24 cmol/kg的土壤上,以油葵为指示作物研究得出,脱硫石膏施用量为11.25 t/hm²时对中度苏打盐渍土改良效果最佳,最有利于油葵的生长发育^[12]。肖国举等选择具有典型代表性的宁夏西大滩碱化土壤,采用盆栽试验和土柱模拟试验,确定轻度碱化土壤脱硫石膏的理论施用量为12.53 t/hm²,中度碱化土壤施用量为17.30 t/hm²,重度碱化土壤施用量为23.40 t/hm²^[13]。采用田间试验对比犁翻施用脱硫石膏与旋耕施用脱硫石膏改良碱化土壤的效果,结果表明旋耕较犁翻对降低土壤碱化度、总碱度和pH,提高油葵出苗率和产量的效果较好,油葵出苗率提高9.4%,产量提高8.2%,且犁翻后再旋耕施用脱硫石膏效果更好,分别较犁翻施用脱硫石膏和旋耕施用脱硫石膏油葵出苗率提高13.6%和3.8%,产量提高16.2%和7.4%^[14]。在宁夏贺兰山东麓洪积扇边缘,碱化度15%~60%、总碱度0.20~0.65 cmol/kg、pH 8.0~10.4、全盐量2.5~6.5 g/kg的土壤上进行的研究表明,秋季施用脱硫石膏较春季施用的油葵的出苗率提高38.0%,产量提高39.0%,且深施(25cm)较浅施(10cm)的油葵

出苗率提高 6.3%，产量提高 6.0%；秋季深施较秋季浅施、春季深施、春季浅施的油葵出苗率分别提高 12.0%、25.6%、21.5%，产量分别提高 14.4%、32.7%、29.9%^[15]。

3.2 环境响应

脱硫石膏改良盐碱土壤重金属及农产品质量是公众关注的焦点。李彦等选取我国北方距离碱化土壤较近的 10 个燃煤火力发电厂的脱硫石膏进行测定，结果表明不同电厂脱硫石膏的 As、Hg、Pb、Cr、Cd 等重金属含量低于适用于耕地的国家土壤环境质量二级标准(GB15618-1995)。在宁夏回族自治区具有典型代表性的西大滩，利用这些脱硫石膏改良碱化土壤种植油葵，经连续 5 a 监测发现，土壤中 As、Hg、Pb、Cr、Cd 等重金属含量无明显变化^[16]。徐胜光等在广东酸性土壤上通过盆栽试验，用 8~10 g/kg 土的脱硫石膏处理种植花生、萝卜、甘蔗和水稻的土壤，结果表明植物可食部分重金属均无超常累积，即使用脱硫石膏未导致农产品重金属含量富集超标；在表土层施脱硫石膏至 40 g/kg，重金属也不会通过降水淋溶渗透到 1 m 左右的土层而污染地下水源^[17]。童泽军等以滩涂围垦农田土壤为研究对象，研究脱硫石膏对土壤重金属的解吸效果，结果表明脱硫石膏能有效降低土壤对重金属的吸附量，其解吸效果由大到小依次为 Cd、Cu、Ni、Zn、Pb、Cr^[18]。

4 结语

国内外利用石膏改良碱化土壤已有许多成功经验，但均因成本过高未能大面积推广应用。近年来，火电快速发展，脱硫石膏大量产生使得利用其改良盐碱地成为可能，而且利用脱硫石膏改良盐碱地是其实现资源循环利用，变废为宝的有效途径之一。前期诸多研究表明，在不同土壤类型、生态区域利用脱硫石膏改良不同程度的盐碱化土壤均效果明显，而且不会产生土壤重金属污染。利用脱硫石膏改良盐碱地的主要原理是经先交换后淋洗而使得土壤盐分离子离开土体，但改良过程中会使土壤可溶性盐分含量增加而影响出苗及植物生长发育，灌溉成为关系改良效果的关键因子，因此研究脱硫石膏施用量与灌溉互作效应对提升改良效果、降低改良成本有重要意义。前期研究多以露地栽培为主，但目前国内多采用覆膜栽培，因此与当前栽培模式相结合的改良技术也显得尤为迫切。脱硫石膏改良盐碱地的持续效果，以及由此所带来的土壤和农产品质量安全方面的研究工作也应系统开展。

参考文献：

[1] 李 彬, 王志春, 孙志高. 中国盐碱地资源与可持续

利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158.

- [2] 张永宏. 盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果[J]. 甘肃农业科技, 2005(3): 48-49.
- [3] 李焕珍, 徐玉佩, 杨伟奇, 等. 脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J]. 生态学杂志, 1999, 18(1): 25-29.
- [4] 王金满, 杨培岭, 任树梅, 等. 烟气脱硫副产物改良碱性土壤过程中化学指标变化规律的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 98-105.
- [5] 陈云嫩. 烟气脱硫石膏的资源化利用[J]. 金属矿山, 2003, 326(8): 51-53.
- [6] 赵锦慧, 乌力更, 车慧正, 等. 石膏改良碱化土壤中所发生的化学反应的初步研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 484-488.
- [7] 王金满, 杨培岭, 白中科. CaSO₄ 改良苏打碱土的离子吸附交换过程分析与数值模拟[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 43-51.
- [8] 丁 强. 利用脱硫废弃物改造滨海新区盐碱土[J]. 天津科技, 2011(5): 50-51.
- [9] 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(9): 33-37.
- [10] 许清涛, 李玉波, 李晓东. 脱硫石膏改良碱化土壤试验研究[J]. 中国农机化, 2011, 238(6): 426-430.
- [11] 王立志, 陈明昌, 张 强, 等. 脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 241-245.
- [12] 罗成科, 肖国举, 张峰举, 等. 脱硫石膏改良中度苏打盐渍土施用量的研究[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(3): 44-48.
- [13] 肖国举, 罗成科, 张峰举, 等. 燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤的施用量[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6): 762-767.
- [14] 肖国举, 秦 萍, 罗成科, 等. 犁翻与旋耕施用脱硫石膏对改良碱化土壤的效果研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 433-43.
- [15] 肖国举, 罗成科, 张峰举, 等. 脱硫石膏施用时期和深度对改良碱化土壤效果的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 197-203.
- [16] 李 彦, 张峰举, 王淑娟, 等. 脱硫石膏改良碱化土壤对土壤重金属环境的影响[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(6): 86-89.
- [17] 徐胜光, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 燃煤烟气脱硫副产物的重金属环境行为[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 38-42.
- [18] 童泽军, 李取生, 周永胜. 烟气脱硫石膏对滩涂围垦土壤重金属解吸及残留形态的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2172-2176.

(本文责编: 王建连)