

陈虹,姜同轩,马蕊,等. 脱硫石膏施用不同年限对土壤改良效果及安全性评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(6):208-212.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.037

脱硫石膏施用不同年限对土壤改良效果及安全性评价

陈虹,姜同轩,马蕊,孙鲁鹏,杨涛,吴刚,张风华

(石河子大学/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆石河子 832003)

摘要:以干旱区玛纳斯河流域盐碱地为研究对象,分析施用脱硫石膏后不同年限土壤改良效果并对其进行安全性评价。将脱硫石膏一次性施入盐碱农田,分别在第 1、第 3、第 5 年定点检测土壤 pH 值、电导率(EC)、有机质和重金属含量变化。结果表明,施用脱硫石膏后土壤 pH 值、电导率较未施用有所降低,而有机质含量高于未施用处理。随着施用年限增加,土壤 pH 值有所升高,但仍低于未施用处理。盐碱荒地复垦后第 3 年土壤电导率明显大幅度降低;施用脱硫石膏土壤 EC 第 5 年高于未施用处理,但仍低于复垦前。施用脱硫石膏后第 1 年和第 3 年土壤砷、镉、铜、铅的含量有所降低,变化差异不大,第 5 年有所升高,高于土壤背景值,但都低于 GB 15618—2018 中的限量。得出脱硫石膏施用 5 年内能够降低土壤 pH 值,增加土壤中有机质的含量,不会造成土壤重金属污染。

关键词:盐碱地;脱硫石膏;重金属;安全性评价;土壤改良

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)06-0208-04

土壤盐渍化、次生盐渍化是限制世界农业生产的主要因素。在气候和地形因素的影响下,我国东北、西北、华北的干旱、半干旱地区盐碱地分布广、种类多,盐碱地面积约为 2 340 hm²,而盐碱地作为我国的后备土地资源,它的开发和利用是保持我国农业可持续发展的重要途径之一^[1-4]。脱硫石膏的主要成分为 CaSO₄ 和 CaSO₃,其作为盐碱改良剂改善土壤的理化性质,能够提供植物所需和有益的矿物质营养,降低土壤 pH 值、电导率(EC)和可溶性钠离子(Na⁺)含量^[5-7]。值得注意的是烟气脱硫石膏中含有重金属,施入土壤后会释放到土壤中,造成土壤环境安全隐患,可能影响植物的正常生命活动并造成地下水污染^[8]。目前已有研究表明,合理施用脱硫石膏不会造成土壤重金属污染而影响土壤环境质量^[9-11]。目前,大量研究都是针对脱硫石膏施用后的短期效应,关于脱硫石膏施用后对土壤改良效果和土壤环境安全性的长期影响鲜有报道。本试验连续 5 年跟踪检测施用脱硫石膏改良剂后土壤的改良效果和重金属含量,旨在为农用地土壤环境安全风险提供一个较为客观和全面的评价。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地选在新疆维吾尔自治区玛纳斯河流域的玛纳斯县冬麦地(44°18'50"N,86°26'31"E),位于天山北坡绿洲平原,处于新疆腹地,常年气候干燥,属大陆性干旱气候,其特点是干旱、少雨、多风沙、日照时间长、昼夜温差大、蒸发量大,年平均降水量为 100~200 mm,而蒸发量为 1 500~2 000 mm。2014 年在玛纳斯县冬麦地村新复垦的盐碱荒地进行试验,试验地土壤属于重度盐碱化土壤,pH 值为 9.01,EC 为 0.68 mS/cm。土壤通透性差、板结严重,表面易积水。

1.2 试验设计方案

采用完全随机试验,共设置 2 个处理:不施用脱硫石膏处理(2014 年对盐碱弃耕地进行翻耕播种,除不施用脱硫石膏外,其他措施与施用脱硫石膏处理一致)、施用脱硫石膏处理(脱硫石膏施用量为 30 t/hm²,2014 年播种前对试验地撒施脱硫石膏,将脱硫石膏均匀施入试验地中,采用犁翻耕使脱硫石膏与土壤充分混合,平整土地,脱硫石膏一次性施入,之后不再进行脱硫石膏的撒施,后 5 年其他水肥管理与 2014 年相同,但不施入脱硫石膏)。脱硫石膏施用后采用全球定位系统(GPS)对样地进行定位采样,后续每年对各小区点进行原位采样,采样后测定土壤理化性质及重金属含量,分别在 2014 年

收稿日期:2020-06-19

基金项目:兵团科技攻关项目(编号:2019AB038)。

作者简介:陈虹(1996—),女,四川广安人,硕士研究生,主要从事土壤生态与环境安全研究。E-mail:944564829@qq.com。

通信作者:张风华,博士,教授,主要从事干旱区绿洲农业生态研究。
E-mail:zhf2000@126.com。

(第 1 年)、2016 年(第 3 年)、2018 年(第 5 年)采样进行分析。每个处理设置 3 次重复,共计 6 个小区,每个小区的面积为 30 m²(5 m×6 m),小区周围设置 1 m 宽的保护行,各个小区随机排列。

1.3 测定项目与测定方法

1.3.1 脱硫石膏组分检测 试验所用的脱硫石膏由石河子天富南热电厂提供,样品颜色为青灰色,

呈粉末状,主要成分为 CaSO₄·2H₂O 及杂质,其中钙(Ca)含量占 22.66%,含水率为 37.46%~38.95%,pH 值为 7.45,电导率为 2.78 mS/cm,土壤和电厂脱硫石膏重金属元素含量详见表 1。由表 1 可知,供试土壤与脱硫石膏重金属含量均未超过 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》。

表 1 土壤及脱硫石膏重金属元素含量

项目	砷(As)含量 (mg/kg)	镉(Cd)含量 (mg/kg)	铬(Cr)含量 (mg/kg)	铜(Cu)含量 (mg/kg)	汞(Hg)含量 (mg/kg)	铅(Pb)含量 (mg/kg)
土壤背景值	0.23	0.00	5.69	2.45	0.05	0.81
脱硫石膏	0.04	0.02	5.81	2.64	0.00	0.29
GB 15618—2018	25	0.6	250	100	3.4	170

1.3.2 土壤指标 土壤 pH 值用 BPH-252 pH 计测得,土壤提取液采用 1:2.5 土水比浸提;土壤电导率用 DDSJ-308A 型电导率仪测得,土壤提取液采用 1:5 土水比浸提;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土壤重金属(As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb)含量的测定采用等离子体发射光谱法(ICP)测定^[12]。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 软件进行数据处理及绘图;用 SPSS 16.0 软件对试验数据进行统计分析,采用单因素方差分析法检测各数据组间的显著性。

2 结果与分析

2.1 脱硫石膏施用不同年限对土壤 pH 值的影响

由图 1 可知,从总体(0~60 cm 土层)上看,与未施用相比,施用脱硫石膏后土壤 pH 值在第 1、第 3、第 5 年分别降低 1.70%、1.54%、2.55%,且随着复垦年限增加,未施用脱硫石膏与施用脱硫石膏处

理的土壤 pH 值均升高,但第 1 年至第 3 年增幅不大,第 3 年至第 5 年增幅较大。在 0~20 cm、20~40 cm 土层,与未施用处理相比,施用脱硫石膏后土壤 pH 值第 1 年至第 3 年差异不大,第 5 年分别降低 4.71%、3.32%;随着复垦年限增加,在 0~20 cm 土层,未施用脱硫石膏土壤的 pH 值先降低后升高,施用脱硫石膏土壤 pH 值不断升高,但均在第 3 年至第 5 年增幅较大;在 20~40 cm 土层,未施用脱硫石膏土壤 pH 值不断升高,施用脱硫石膏土壤 pH 值先降低后升高;在 40~60 cm 土层,与未施用处理相比,施用脱硫石膏后土壤 pH 值在第 1 年、第 3 年分别降低 2.1%、0.6%,但在第 5 年高于未施用处理,且随着复垦年限增加,未施用脱硫石膏与施用脱硫石膏土壤 pH 值均先升高后降低。

2.2 脱硫石膏施用不同年限对土壤电导率的影响

由图 2 可知,盐碱荒地复垦后第 1 年至第 3 年施用与未施用脱硫石膏处理的 0~60 cm 土层 EC 降幅较大,第 3 年至第 5 年变化不大,施用脱硫石膏

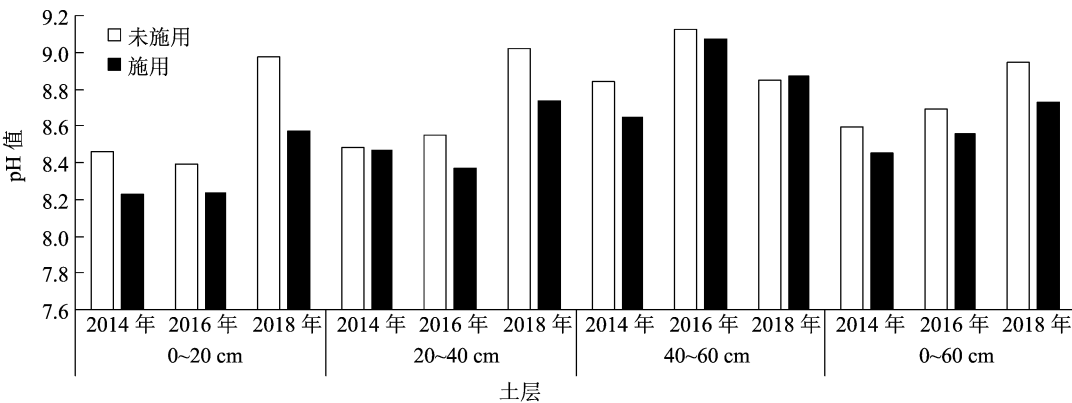


图1 脱硫石膏施用不同年限对不同土层土壤 pH 值的影响

后第 1 年和第 3 年土壤 EC 低于未施用,第 5 年与未施用相比,施用脱硫石膏后土壤 EC 有所升高。在 0~20 cm 土层,与未施用相比,施用脱硫石膏第 1 年和第 3 年土壤 EC 分别下降了 43.47%、48.48%,第 5 年升高了 246.60%;随着复垦年限增加,未施用脱硫石膏土壤 EC 不断降低,施用脱硫石膏土壤 EC 先降低后升高。20~40 cm 土层土壤 EC 变化情

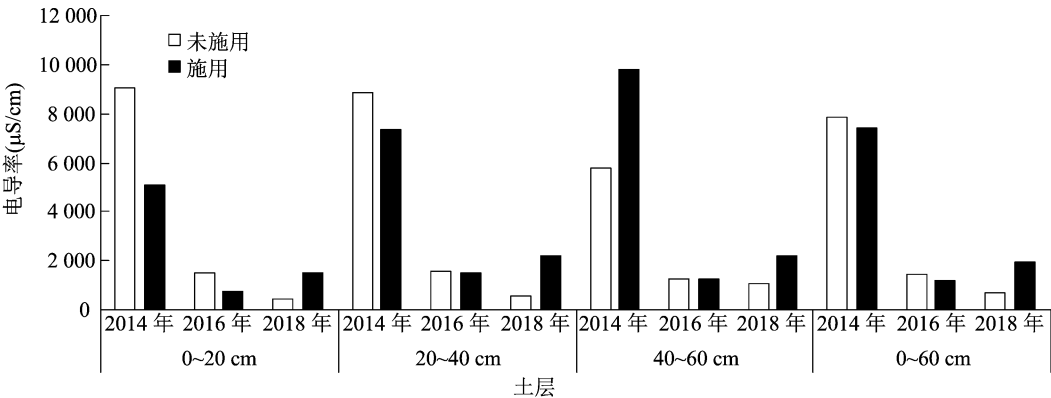


图2 脱硫石膏施用不同年限对不同土层土壤 EC 的影响

2.3 脱硫石膏施用不同年限对土壤有机质含量的影响

由图 3 可知,盐碱荒地开垦后第 1 年和第 3 年土壤有机质含量变化差异不大,随着开垦年限增加,复垦第 5 年土壤有机质含量明显降低。施用脱硫石膏第 1、第 3、第 5 年土壤有机质含量较未施用有所增加,与未施用处理相比,分别增加了 9.94%、6.21%、4.55%。

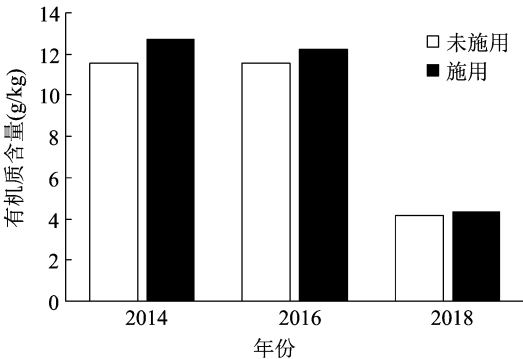


图3 脱硫石膏施用不同年限对耕层土壤有机质含量的影响

2.4 脱硫石膏施用不同年限对土壤重金属含量变化及其安全性评价

2014 年将试验地施入脱硫石膏复垦后对重金属含量进行连续采样检测,不同年份各类重金属含量详见表 2。与开垦前相比,随着年份增加土壤 As 含量先降低后升高,第 1 年和第 3 年 As 含量差异不显著,与开垦前相比显著降低($P < 0.05$),第 5 年土

况与 0~20 cm 土层一致,与未施用处理相比,施用脱硫石膏第 1 年和第 3 年土壤 EC 分别下降了 16.76%、6.89%,第 5 年升高了 283.08%。在 40~60 cm 土层,施用脱硫石膏第 1 年和第 5 年土壤 EC 比未施用处理增加 69.91%、106.97%,第 3 年的差异不大,随着复垦年限增加,施用脱硫石膏的土壤 EC 先降低后升高。

壤 As 含量升高,且显著高于土壤背景值,施用脱硫石膏后连续 5 年土壤 As 含量远低于 GB 15618—2018 中的 As 含量限量(25 mg/kg)。

表 2 不同年限土壤重金属含量						mg/kg
项目	砷含量	镉含量	铬含量	铜含量	汞含量	铅含量
土壤背景值	6.70b	0.27b	54.71b	28.70b	—	15.40b
2014 年土壤	6.26c	0.12c	49.03c	27.03c	—	11.35c
2016 年土壤	6.26c	0.12c	39.03d	27.03c	—	11.35c
2018 年土壤	8.73a	0.36a	57.12a	31.76a	—	18.25a
GB 15618—2018	25	0.6	250	100	3.4	170

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。“—”表示未检出。土壤背景值是开春施用脱硫石膏将土壤翻耕均匀后采土测定的土壤重金属含量。

与开垦前相比,施用脱硫石膏后,第 1 年和第 3 年土壤 Cd 含量显著降低,第 1 年和第 3 年差异不显著,第 5 年与土壤背景值相比,土壤 Cd 含量有所升高,但仍远低于 GB 15618—2018 中的 Cd 含量限量(0.6 mg/kg)。

随着复垦年限的增加,土壤 Cr 含量先降低后升高,第 1 年和第 3 年连续显著降低,第 5 年土壤中 Cr 含量显著升高,高于土壤背景值,通过连续 5 年检测,土壤 Cr 含量远低于 GB 15618—2018 中的 Cr 含量限量(250 mg/kg)。

土壤 Cu 含量在施用脱硫石膏后第 1、第 3 年有

所降低,但第 1 年和第 3 年差异不显著,第 5 年土壤铜含量显著升高,且高于土壤背景值,但连续 5 年后土壤 Cu 含量仍远低于 GB 15618—2018 中的 Cu 含量限量 100 mg/kg)。

土壤中 Hg 含量未检出。

土壤中 Pb 含量在第 1、第 3 年相较于土壤背景值降低,第 5 年土壤中 Pb 含量显著升高,5 年后土壤中 Pb 含量仍远低于 GB 15618—2018 中的限量 (170 mg/kg)。

3 讨论

本研究表明,施用脱硫石膏能明显降低表层土壤 pH 值^[13],这是由于脱硫石膏中的 CaSO_4 与土壤中的 Na_2CO_3 或 NaHCO_3 反应代换出土壤中的 Na^+ , 导致土壤 pH 值降低^[14-15]。并且脱硫石膏中的 Ca^{2+} 被置换后留下的 SO_4^{2-} 是强酸离子,酸碱中和也能使土壤 pH 值下降^[16]。土壤盐分对土壤电导率有显著影响,电导率能够反映土壤盐分浓度,本研究对施用脱硫石膏后连续 5 年的 EC 检测结果,施用脱硫石膏后 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤电导率低于未施用处理,但 40~60 cm 土层土壤电导率有所升高。前人研究表明,施用脱硫石膏后改变了 0~40 cm 土层土壤的孔隙度和土壤的通透性,导致盐分向下运移,在 40~60 cm 土层积累^[17-19]。同时,脱硫石膏是一种盐,导致土壤含盐量增加,虽然施用脱硫石膏能够置换出土壤中的 Na^+ ,但是脱硫石膏同时置换出来的钙离子也会形成钙盐,由于淋溶作用导致表层土壤含盐量降低,逐渐向下富集。总体来看,0~60 cm 土层施用脱硫石膏第 5 年的土壤 pH 值低于未施用处理,EC 高于未施用处理,这与邹璐等的研究结果^[20]是不一致的,说明脱硫石膏在不同土层深度中 pH 值降低效果存在差异^[21]。

脱硫石膏中含有砷、镉、铬、铜、镍(Ni)、铅等污染元素^[22]。本研究针对脱硫石膏中含有的重金属进行长期检测,分析土壤重金属含量变化,表明脱硫石膏改良盐碱土壤 5 年后重金属含量仍低于 GB 15618—2018 标准中的限量,并未引起土壤重金属污染。可能由于脱硫石膏能抑制土壤对 Cd、Cu、Ni、Zn、Pb、Cr 的吸附作用^[23]。

4 结论

施用脱硫石膏对耕层土壤 pH 值和 EC 具有明

显影响,施用 5 年后,土壤 pH 值仍然低于未施用处理。施用脱硫石膏能够降低土壤 pH 值,提升土壤有机质含量,脱硫石膏一次性施入对盐碱土壤长期改良效果明显。

对试验地进行连续 5 年重金属定位检测,土壤重金属含量在 5 年内均未超过 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》中的限量,不会造成土壤重金属污染。

参考文献:

- [1]李 彬,王志春,孙志高,等. 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]何文义,于 涛,蔡玉梅. 盐碱地的治理与利用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2010,29(增刊1):158-160.
- [3]杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报,2008,45(5):837-845.
- [4]李建国,濮励杰,朱 明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [5]王金满,杨培岭,石 懿,等. 脱硫副产物对改良碱化土壤的理化性质与作物生长的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(3):34-37.
- [6]李跃进,乌力更,芦永兴,等. 燃煤烟气脱硫副产物改良碱化土壤田间试验研究[J]. 华北农学报,2004,19(增刊1):10-15.
- [7]李淑仪,蓝佩玲,徐胜光,等. 燃煤烟气脱硫副产物在酸性土壤的农业资源化利用[J]. 生态科学,2003,22(3):222-226.
- [8]王淑娟,陈 群,李 彦,等. 重金属在燃煤烟气脱硫石膏改良盐碱土壤中迁移的实验研究[J]. 环境科学学报,2013,22(5):851-856.
- [9]姜同轩,陈 虹,张玉龙,等. 脱硫石膏不同施用量对盐碱地改良安全性评价[J]. 新疆农业科学,2019,56(3):438-445.
- [10]毛玉梅,李小平. 烟气脱硫石膏改良围垦滩涂盐碱土的安全性评价[C]//2016 中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷). 中国环境科学学会,2016:747-752.
- [11]王 静,肖国举,许 兴. 脱硫石膏对植物和土壤的影响[J]. 农学报,2015,5(11):44-48.
- [12]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13]石 婧,黄 超,刘 娟,等. 脱硫石膏不同施用量对新疆盐碱土壤改良效果及作物产量的影响[J]. 环境工程学报,2018,12(6):1800-1807.
- [14]Clark R B, Ritchey K D, Baligar V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land [J]. Fuel,2001,80(6):821-828.
- [15]Sakal Y, Matsunoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of mental content in corn grains [J]. Soil Sediment Contamination,2004,13(1):65-80.
- [16]Sharma B M, Yadav J S P. Removal during leaching and availability of iron and manganese in pyrite and farmyard-manure-treated alkali soil[J]. Soil Science,1989,147(1):17-22.

王 红,徐 静,谢晓金,等.南京市绿地土壤养分特征及空间分布[J].江苏农业科学,2021,49(6):212-218.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.038

南京市绿地土壤养分特征及空间分布

王 红¹,徐 静¹,谢晓金²,李仁英²,邵 京¹,沈 嘉²,央 宗²,简 静²,阿克居里·乌尔曼²

[1.南京市园林和林业科学研究院(南京市园林绿化指导站),江苏南京 210037;2.南京信息工程大学应用气象学院,江苏南京 210044]

摘要:基于实地调查和室内分析,分析江苏省南京市主城区绿地表层土壤的 pH 值、电导率、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量以及有机质含量,并基于 ArcGIS 10.4 运用反距离权重法进行空间插值模拟土壤养分空间分布。结果表明,南京市各类型城市绿地的 pH 值为中性偏弱碱性,差异性较小。除个别采样点出现极值外,绝大部分样点电导率在 100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间,各样点间无显著差异。从养分含量分析来看,公园绿地类型的有效磷和有机质含量较低,居住绿地类型的碱解氮含量较低。总体来讲,南京市主城区绿地土壤的碱解氮含量偏低,有机质含量中等,有效磷含量和速效钾含量偏高。南京市绿地土壤综合肥力指数偏小,大部分区域处于土壤养分较低水平。

关键词:城市绿地;土壤养分;空间分布;南京市;土壤类型

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)06-0212-07

城市绿地是指用以栽植树木花草和布置的配套设施,基本上由绿色植物所覆盖,并赋以一定的功能与用途的场地^[1]。城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,在改善环境质量、调节系统平衡、美化城市景观等方面起着重要作用^[2-3]。目前关于城市绿地的报道,多集中于城市景观规划^[4-5]、绿地生态系统结构和功能^[6-7]等方面,而针对城市绿地土壤的研究^[8-10]颇少。城市绿地土壤质量直接涉及人们的健康与安全,因此,掌握城市绿地土壤的理化特性及养分状况,对加强城市绿地管理、改善城市绿地质量和环境健康、增进城市生态可持续发展具有重要意义^[11]。

本研究以江苏省南京市主城区为研究对象,采

用网格与 CJJ/T 85—2017《城市绿地分类标准》,结合南京市绿地实际情况,在南京主城区布设 230 个样点;其中,道路绿地样点 55 个、公园绿地样点 119 个、居住绿地类样点 31 个和其他附属绿地样点(大学、产业园等)25 个。通过研究南京市绿地土壤的理化性质,分析其养分状况和空间分布特征,以期对南京市土壤改良和园林绿化建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区状况

南京市(31°14'~32°37'N,118°22'~119°14'E)位于长江下游的宁镇丘陵地区,东临长江三角洲,西靠皖南丘陵,南连太湖水网,北接江淮平原,“黄金水道”长江穿越境域。南京市共辖 11 个区,包括鼓楼区、玄武区、秦淮区、建邺区、雨花台区、栖霞区、六合区、浦口区、江宁区、溧水区和高淳区,共计 94 条街道,6 个镇,总面积 6 622.45 km²。南京市水

收稿日期:2020-05-28

基金项目:南京市园林绿化行业科技计划(编号:YLKJ201818ZB)。

作者简介:王 红(1979—),女,江苏句容人,硕士,高级工程师,主要从事园林植物和绿化技术研究。E-mail:25560247@qq.com。

[17]金梦野,黄 娟,侯 嫔,等.三种环境材料及其复合施用对盐碱化土壤的改良效果研究[J].农业环境科学学报,2020,39(1):118-124.

[18]王 丹,黄 超,李小东,等.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[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):34-40.

[19]孙兆军,赵秀海,王 静,等.脱硫石膏改良龟裂碱土对枸杞根际土壤理化性质及根系生长的影响[J].林业科学研究,2012,25(1):107-110.

[20]邹 璐,范秀华,孙兆军,等.盐碱地施用脱硫石膏对土壤养分

及油葵光合特性的影响[J].应用与环境生物学报,2012,18(4):575-581.

[21]刘东洋,黄 超,刘 娟,等.脱硫石膏不同施用深度对盐碱土壤改良效果的影响[J].新疆农业大学学报,2017,40(4):301-307.

[22]王小彬,闫 湘,李秀英,等.燃煤烟气脱硫石膏农用的环境安全风险[J].中国农业科学,2018,51(5):926-939.

[23]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.