

脱硫废弃物对碱化土壤改良效果的评价方法研究

田野¹, 刘善江¹, 冯浩杰^{1,2}

(1. 北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271000)

摘要:我国碱化土壤改良的面积不断增加,但是缺乏全面评价碱化土壤改良效果的方法。根据国内外研究现状,从脱硫废弃物成分测定、土壤质量评价以及农作物安全性评价3个方面对碱化土壤改良效果进行了分析研究,提出了一种评价脱硫废弃物应用于碱化土壤改良效果的方法体系,以期对碱化土壤改良效果评价的定量化和改良工程的评价提供参考。

关键词:脱硫废弃物;碱化土壤;评价方法

中图分类号:S 156.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0157-04

近年来,各地火电厂相继安装了脱硫装置以降低向大气中 SO₂ 的排放量。烟气脱硫过程中产生了大量的燃煤烟气脱硫废弃物,如果处理不当会造成二次污染^[1-2]。脱硫废弃物的主要成分为 CaSO₄ 和 CaSO₃,性质与天然石膏相似^[3-5];利用燃煤烟气脱硫废弃物改良碱化土壤,是近 20 年提出的一种改良方法^[6],对工业废弃物的再利用和碱化土壤改良,均具有深远的现实意义。

根据农业部组织的第二次全国土壤普查资料统计,我国盐渍土面积为 3 467 万 hm² (不包括滨海滩涂),其中碱土 86.67 万 hm²,各类盐化、碱化土壤面积为 1 800 万 hm²^[7]。面对城市化、经济发展带来的强劲土地需求,数以千百万公顷计的碱土及碱化土壤的巨大开发潜力,是保障 1.2 亿 hm² 耕地和粮食安全的重要途径^[8]。目前,脱硫废弃物改良碱化土壤的理论和整套改良碱化土壤的技术及工艺已基本完善,但如何有效评价施用脱硫废弃物改良碱化土壤的效果,尚未形成统一的评价方法。因此,该文拟从脱硫废弃物成分分析、土壤质量评价、农作物安全评价 3 个方面对国内外的评价方法进行分析,以建立一套适应我国国情的、系统的、标准化的评价体系,为脱硫废弃物对碱化土壤的改良效果评价提供科学依据。

第一作者简介:田野(1982-),男,硕士,助理研究员,现主要从事土壤与肥料及农产品安全等研究工作。E-mail:82tianye@sina.com.

责任作者:刘善江(1965-),男,硕士,研究员,现主要从事土壤改良及肥料与农产品安全等研究工作。E-mail:liushanjiang@263.net.

基金项目:国家现代农业科技成果惠民科技示范工程资助项目(Z131100003113004)。

收稿日期:2014-11-19

1 脱硫废弃物成分的检测

脱硫废弃物成分检测是脱硫废弃物对碱化土壤改良效果评价的前提条件,也是确定脱硫废弃物对碱化土壤改良施用量的基础数据。不同燃煤电厂由于脱硫装置、燃煤种类、处理工艺等因素不同,脱硫废弃物在外观呈现不同的颜色,常见的颜色是灰黄色或灰白色^[2]。脱硫废弃物的主要成分是结晶硫酸钙,不同产地的脱硫废弃物中硫酸钙的含量不尽相同,但含量大都在 85% 以上^[9]。脱硫废弃物中除结晶硫酸钙外,其杂质较为复杂,主要是可溶性盐^[10]和重金属^[11],其中重金属是国内外一直关注的对象。燃煤电站消耗的煤中的重金属会通过飞灰迁移到脱硫废弃物中,施入土壤可能导致个别重金属含量接近或高于土壤环境标准,引起重金属在土壤中的累积,所以脱硫废弃物中重金属对土壤环境的影响是被关注的重要课题。

脱硫废弃物的产地不同,其重金属含量差异较大,许多学者对脱硫废弃物中重金属的含量进行了检测和分析。其中,李彦等^[12]对 10 个燃煤电厂脱硫废弃物的化学成分的分析发现,脱硫废弃物中的重金属含量基本等于适用于耕地的国家土壤环境二级标准(GB15618-1995),但个别样品中镉元素的含量超过土壤标准;徐胜光等^[13]研究脱硫废弃物的土壤重金属行为时,检测了 3 个电厂脱硫废弃物的重金属含量,发现总 Cr、Cd、Pb、As、Se、Ni、Cu 等指标普遍高于土壤自然背景值。因此,不同来源的脱硫废弃物用于碱化土壤改良时,对脱硫废弃物成分进行分析尤其是重对金属含量进行分析,是保证土壤环境质量和农作物生长环境安全的必要环节。

2 土壤质量评价

土壤质量评价是综合土壤的不同功能,包括保持生

产力、维持环境质量和保证动物健康的属性,对这些属性进行时间尺度或空间尺度上的衡量^[14]。土壤质量评价是脱硫废弃物对碱化土壤改良效果评价体系的核心,但土壤质量是不能直接测定的指标,需要通过测定不同的土壤性状反映土壤质量,所以评价土壤质量必须借助一定的评价指标体系通过合适的评价方法或评价模型来实现^[15]。该文拟借鉴 Parr 等^[16]、Larson 等^[17]提出的土壤质量评价的方法将土壤质量评价体系引入碱化土壤改良效果评价中,客观公正的评价脱硫石膏对碱化土壤的改良效果。

2.1 土壤质量评价指标的选择

土壤质量评价首先要确定敏感、可接受的指标^[18],但土壤指标具有复杂的时空变异性,选取时必须遵循土壤质量评价指标的主导性、实用性、可比性等原则^[14],选择最能反映碱化土壤改良后土壤质量的指标。土壤质量评价的基本定量指标体系中,一般包括土壤物理、土壤化学、土壤生物 3 方面的指标^[19-21],其中物理指标使用的频率约为 34.7%,包括土壤质地和结构、土壤容重和渗透率、田间持水量、团聚稳定性等;化学指标使用的频率约为 61.3%,包括盐基饱和度、有机碳、全 N、有效 P、交换性 K、pH 值、电导率、重金属等;生物学指标使用的频率约为 4.0%,包括微生物量 C 和 N、土壤呼吸量、生物量 C/总有机 C、酶等^[18,22-24]。

碱化土壤改良的土壤质量评价应从碱化土壤特性和改良效果选择合适的评价指标。碱化土壤的主要特性是交换性钠的水解以及微生物数量和酶活性较低,土壤肥力较低^[25]。根据 Larson 等^[17]等评价土壤质量建立最小数据集(Minimum Data Set, MDS)概括的最优指标,设定了碱化土壤改良后土壤质量评价指标的最小数据集,包括土壤理化性质及肥力质量参数、土壤重金属及环境质量参数、土壤生物学参数 3 个方面。在专家建议和前人工作基础上,对使用频率较高的碱化土壤质量指标进行了初步筛选,其中土壤理化性质及肥力质量参数包括土壤团粒结构、容重、pH 值、碱化度、全 N、有效 P、交换性 K 等 7 个指标;土壤重金属及环境质量参数包括重金属 Cr、Cd、Pb、As、Se、Ni、Cu 等 7 个指标;土壤生物学参数包括土壤酶活性和微生物碳量 2 个指标。对初步筛选的 16 个土壤质量指标通过主成分分析和结合 Norm 值的方法筛选出改良后碱化土壤质量评价的限制因子,建立碱化土壤改良后土壤质量评价最小数据集(MDS)。

2.2 土壤质量评价方法

在已有的土壤质量评价方法的研究中^[26-27],使用较为广泛的评价方法有土壤质量综合指数评分法、土壤相

对质量法、土壤质量动力学方法、动态计量经济学方法等。国内外学者认为现有的土壤质量评价方法各有优点,应根据不同的问题、不同的土壤和不同的评价目的,来确定合适的评价方法。Trasar-Cepeda 等^[28]对西班牙的天然性土壤质量评价中采用指数和法,将微生物的生物碳量、矿化氮等分别计算权重,相乘后得到的总氮作为土壤生物化学质量评价指数。吴志峰等^[29]利用修正后的内梅罗公式,选择有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾、容重、pH 值等 7 项指标对广州苗圃三大区块的土壤质量进行评价。王效举等^[30-32]采用土壤相对质量评价方法研究了红壤小区土壤质量变化,定量的评价了红壤不同土地利用类型的土壤质量。

结合碱化土壤改良土壤质量评价的实际情况,参照复垦土壤质量评价指数^[33]、修正后的内梅罗公式、土壤相对质量评价方法,按照上述土壤质量评价指标将改良土壤质量评价分为 3 个部分:土壤生产力评价、土壤环境质量评价、土壤生物学性质评价,按照上述的主成分分析方法从这 3 个方面确定土壤质量评价最小数据集(MDS)。按照上述土壤质量评价的 3 个方面将最小数据集中各指标的作用分值与权重相乘,再将各乘积值分别相加,即得到土壤生产力评价、土壤环境质量评价、土壤生物学性质评价的分值及土壤质量评价总分值。改良后碱化土壤的土壤质量评价总分值与当地正常农田的土壤质量评价总分值的比值称为改良土壤质量评价指数,这种方法可以反映碱化土壤质量达到当地正常农田土壤质量的水平或程度^[34],为指导政府进行碱化土壤改良工程评价和管理提供支持。

3 农作物安全评价

脱硫废弃物用于碱化土壤改良,是否带来潜在的环境和农作物污染危害,是脱硫废弃物对碱化土壤改良效果评价的关键。脱硫废弃物改良碱化土壤必然带入土壤一些重金属,这些重金属是否会对农作物的质量产生危害是农作物安全评价的重要内容;此外,施用脱硫废弃物对农作物生长发育和品质的影响也是农作物安全评价的必要内容。

3.1 脱硫废弃物对农作物生长发育及品质的影响

我国碱化土壤改良后种植的农作物主要有油菜、苜蓿、水稻、玉米、枸杞等种类,国内外相关脱硫废弃物施用对农作物安全影响的研究也主要集中这几种作物上。孙兆军等^[35]对脱硫废弃物改良碱化土壤研究中,以水稻出苗率、千粒重、产量等指标作为脱硫废弃物不同施用量改良效果的评价指标。王金满等^[36]研究脱硫废弃物改良碱化土施用量时,将向日葵出苗率和出苗时间作为

衡量向日葵生长发育的标准。张玉勤^[37]通过盆栽试验研究了脱硫废弃物对枸杞生长及果实品质的影响,得出脱硫废弃物对提高枸杞叶绿素含量和净光合速率效果显著,而果实多糖含量随脱硫废弃物施用量增加呈先增加后下降的趋势。在研究脱硫废弃物对农作物生长发育和品质影响中,需要根据农作物的种类设计不同的评价指标,这样才能真正反映农作物质量的原貌。

3.2 脱硫废弃物对农作物重金属含量的影响

脱硫废弃物中的总 Cr、Cd、Pb、As、Se、Ni、Cu 等指标的含量符合国家控制标准,但普遍高于土壤自然背景值^[13]。农作物对土壤中重金属具有累积作用,是否会导致农作物重金属残留污染必须进行重金属含量检测。国内研究表明施用脱硫废弃物未导致萝卜、花生籽粒重金属的生物富集,不影响农产品安全性^[38-39]。目前关于脱硫废弃物对农作物重金属影响的试验数据较少,在不同土壤、不用作物、不同脱硫废弃物用量农作物重金属的累积作用是否明显,缺少可支撑的大量的关键试验数据。根据我国食品重金属含量标准,农作物中重金属 Cr、Cd、Pb、As、Se 含量是必须评价的指标;并且结合脱硫废弃物成分分析,增添重金属 Ni、Cu 指标是不可或缺的。

4 脱硫废弃物对碱化土壤改良效果综合评价

该研究提出了一种基于定量分析的脱硫石膏对碱化土壤的改良效果评价流程,以对脱硫废弃物改良碱化土壤的效果进行完整的、系统的评价。

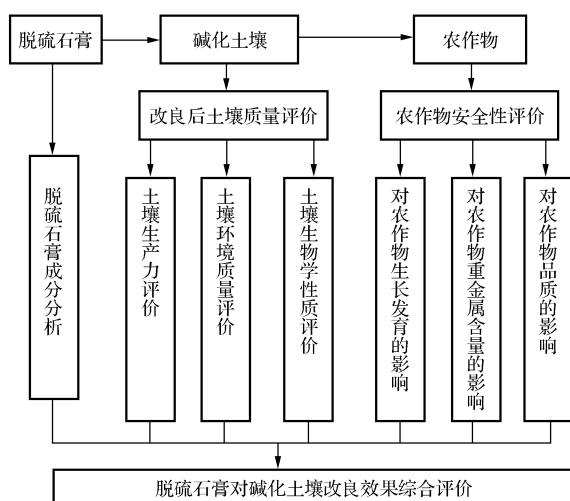


图1 脱硫石膏对碱化土壤的改良效果评价流程

Fig. 1 Evaluation process on improvement effect of desulfurized gypsum on alkali soil

5 研究展望

目前,土壤改良评价从土壤、农作物种植、改良措施

等诸多方面进行评价,但未考虑影响土壤改良效果的社会和经济因素;同时在指标选择和评价方法选定国内尚未形成统一的标准,不同尺度层次的指标无法衔接。因此碱化土壤改良效果评价体系的建立应注重以下几个方面。

碱化土壤改良效果评价是一项综合性很强的工作,目前评价工作多集中在土壤生产力、土壤环境质量等方面,很少从土地利用、土壤管理措施等社会经济状况的角度全方面的综合评价,这是未来土壤改良效果评价的一个发展方向。

碱化土壤改良效果评价的各种评价方法都有一定的局限性,不可能通过一种方法快速得到全面的评价,要针对碱化土壤改良后的不同使用功能,可以借助 GIS 技术或其它信息技术,对改良效果的动态变化进行准确监测,达到针对性、准确性、可靠性的评价结果。

碱化土壤改良效果评价是为了正确、全面的了解碱化土壤改良以后的土壤状况,除运用于科学研究外,更应该设计易操作、易理解的评价方法,可以被管理者、决策者甚至一线生产者快速接受,在经济生产活动中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 王方群,原永涛. 脱硫石膏性能及其综合利用[J]. 粉煤灰综合利用, 2004(1): 41.
- [2] 耿春女,钱华,李小平,等. 脱硫石膏农业利用研究进展与展望[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(12): 15-19.
- [3] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等. 烟气脱硫石膏在碱化土壤改良中的应用及效果[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 38-42.
- [4] 唐旭博. 不同含钙化合物制备电石的影响因素分析[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [5] 黄晓明. 脱硫石膏对碱化土壤改良的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009.
- [6] 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种的应用研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1682-1685.
- [7] 王占武. 盐生和中生两种不同环境下加杨和旱柳的演化结构比较研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [8] 王艳萍,李松龄,徐国峰. 脱硫废弃物与有机肥配合对盐碱地的改良效果[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2138-2140.
- [9] 李凤霞,杨涓,许兴,等. 烟气脱硫废弃物在盐碱地土壤改良中的应用研究进展[J]. 土壤, 2010, 42(3): 352-357.
- [10] 丛钢,邢世健,张沪. 脱硫石膏性能研究[J]. 新型建筑材料, 1997(12): 10-12.
- [11] 王英,段鹏举,张晔. 烟气脱硫石膏的基本性能研究[J]. 中国水泥, 2009(1): 60-63.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 黄勇,杨忠芳. 土壤质量评价国外研究进展[J]. 地质通报, 2009, 28

- (1):130-136.
- [15] 汪媛媛,杨忠芳,余涛. 土壤质量评价研究进展[J]. 土壤质量评价研究进展,2011,39(36):22617-22622.
- [16] Parr J F, Papendie R I, Hornick S B, et al. Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture[J]. Am J Altern Agric, 1992,7:5-11.
- [17] Larson W E, Pierce F J. Conservation and enhancement of soil quality [C]//In Proc. of the Int. Workshop on evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok, Thailand; International Board for Soil Resource and Management(IBSRAM). 1991(2):123.
- [18] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境 I 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤,1997(3):113-120.
- [19] Karlen D L, Rosek M J, Gardner J C, et al. Conservation reserve program effects on soil quality indicators[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999,54(1):439-444.
- [20] Hartermink A E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea[J]. Geoderma,1998,85(4):283-306.
- [21] Lal R. Soil Quality and Soil Erosion[M]. New York: CRC Press,1999.
- [22] Schoenholtz S H, Miegroetb H V, Burger J A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities [J]. Forest Ecology and Management, 2000,138(3):335-356.
- [23] 蒋端生,曾希柏,张杨珠,等. 土壤质量管理(I)土壤功能和土壤质量[J]. 湖南农业科学,2008(5):86-89.
- [24] 严世光,廖铁军,王珂,等. 土壤质量及其时空变异[J]. 安徽农业科学,2010,38(3):1362-1365.
- [25] 俞仁培,杨道平,石万普,等. 土壤碱化及其防治[M]. 北京:农业出版社,1984:121-161.
- [26] 张贞,魏朝富,高明,等. 土壤质量评价方法进展[J]. 土壤通报,2006,37(5):999-1005.
- [27] 王博文,陈立新. 土壤质量评价方法述评[J]. 中国水土保持科学,2006,4(2):121-126.
- [28] Trasar-Cepeda C, Leirós C, Gil-Sotres F, et al. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997,26(2):100-106.
- [29] 吴志峰,文雅,张坚. 广州市彩虹苗圃的土壤质量评价[J]. 中国园林,2001(5):69-70.
- [30] Wang X J, Gong Z T. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China[J]. Geoderma, 1998,81(4):335-339.
- [31] 王效举,龚子同. 红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤变化的评价和预测[J]. 土壤学报,1998,35(1):135-139.
- [32] 王效举,龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价和分析[J]. 地理科学,1997,17(2):141-142.
- [33] 陈龙乾,邓喀中,徐黎华,等. 矿区复垦土壤质量评价方法[J]. 中国矿业大学学报,1999,28(5):449-452.
- [34] 马文明,郭鹏,鲁春阳. 煤矿塌陷地泥浆泵复垦土壤质量评价[J]. 平顶山工学院学报,2005,14(5):3-6.
- [35] 孙兆军,肖国举,罗成科,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(6):2376-2380.
- [36] 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.
- [37] 张玉勤. 脱硫废弃物对碱化土壤枸杞生长及果实品质的影响研究[J]. 现代农业科技,2010(24):270-274.
- [38] 徐胜光,李淑仪,蓝佩玲,等. 燃煤烟气脱硫副产物对花生作物营养效应及其机理[J]. 生态科学,2003,12(4):415-418.
- [39] 徐胜光,李淑仪,蓝佩玲,等. 燃煤烟气脱硫副产物对萝卜的作用及其机理研究[J]. 生态科学,2003,22(3):232-236.

Research on Evaluation Method on the Modified Effect of Desulphurization Gypsum on Alkali Soil

TIAN Ye¹, LIU Shan-jiang¹, FENG Hao-jie^{1,2}

(1. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271000)

Abstract: For the increasing reclamation area of alkaline soil in China and the lack of a comprehensive evaluation method, an evaluation system was presented which was as an example of the alkaline soil improved by a desulfurization waste. According to the existing research status, improvement effects of alkaline soil were summarized from three aspects of the desulfurization waste composition analysis, evaluation of soil quality and crop safety evaluation, then quantitative evaluation of improvement effect of alkali soil was implemented, in order to provide the reference for agricultural production, improvement of project evaluation and the agricultural environmental protection.

Keywords: desulfurized gypsum; alkali soil; evaluation method