

脱硫渣不同施用量对盐碱地水稻水分利用效率的影响

周晓燕¹, 杨 涓²

(1. 宁夏大学, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:为探究在盐碱地中种植水稻所需要的脱硫渣的最适施用量, 采用拉丁方设计, 研究了水稻不同生长时期的各项水分生理指标以及在不同脱硫渣施用量条件下的变化情况。结果表明: 脱硫渣的施用对盐碱地水稻的根系活力、叶片含水量、水分利用效率等指标均有一定的影响, 而且能显著提高水稻的水分利用效率; 施用效果并不与脱硫渣施用量呈正相关, 脱硫渣施用量过大反而会造成水稻根系活力下降, 水分利用效率降低, 当脱硫渣施用量在 22.50~33.75 t·hm⁻² 处理下水稻生长较好, 水稻的各项水分生理指标有较大提高。

关键词:水稻; 脱硫渣; 盐碱地; 水分利用效率

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2016)02-0035-05 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2016.02.0035

据估计, 全球盐碱地每年以 $1 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6$ hm² 的速度在增加。目前全球盐碱地的面积已达 9.5 亿 hm²。我国盐碱地的面积位居全球第三位, 达 3.6658×10^7 hm²。在人口不断增长、耕地逐渐减少的情况下, 改良利用盐碱地具有十分重要的意义^[1]。宁夏现有盐渍化耕地 14.8 万 hm², 占耕地总面积的 33.54%, 急需改造治理。改良盐碱地的方法有很多, 主要有培肥土壤、水利改良、化学改良、压砂改良、种稻改良等等。其中的化学改良法, 可将石膏作为基肥施入盐碱地中, 也可结合当地实际情况重点施在耕地碱斑和草原碱斑上^[2]。对于盐碱地, 由于土壤胶体中含有过量的代换性钠离子、可溶性碳酸盐(以 NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 形式存在), 土壤的 pH 较高, 土壤粘粒扩散, 土壤对水和空气的渗透性降低, 脱硫石膏改良盐碱地的关键是通过提供 Ca²⁺、Mg²⁺ 来置换土壤胶体中的 Na⁺, 降低碱化土壤的碱化度、pH 等, 并使土壤溶液中 Ca²⁺ 浓度增加, 从而起到改良的作用^[3]。

脱硫渣主要成分为 CaSO₄ 和 CaSO₃ 的混合物, 并富含 S、Ca、Si 等植物必需或有益的矿质营养, 钙是排在 N、P、K、S 之后的第 5 种营养元素, 它可以增强作物对病虫害的抵抗能力, 使作物茎叶粗壮、籽粒饱满, 增施钙肥可以显著提高作物的

产量与品质^[4]。脱硫渣在一定程度上能够松土、保湿、改良土壤理化性质, 促进植物对养分和水分的吸收, 经过洗涤和滤水处理的脱硫物含有 10%~20% 的游离水, 颗粒细小、松散、均匀, 粒径为 30~60 μm, 纯度为 90%~95%, 含碱量低, 有害杂质少^[5], 因此, 脱硫渣用于碱化土壤的改良有广泛的应用前景。

国外利用脱硫渣改良土壤的研究主要集中在酸性土壤方面^[6-8], 利用脱硫渣改良碱化土壤是从 20 世纪 90 年代后期开始的, 研究还处于起步阶段^[9]。国内的研究主要是针对东北及内蒙一带碱性土壤进行改良, 以达到作物增产目的^[10]。“十一·五”以来, 清华大学、内蒙古农业大学、宁夏大学等^[11-15] 单位在黄河河套地区的宁夏西大滩开展了利用燃煤电厂脱硫渣改良盐碱地的田间试验研究, 结果表明脱硫渣不仅大大降低了土壤中的碱化度、pH、可溶性 Na⁺, 而且对提高作物的产量具有显著的效果。水稻是一种需水较多的作物, 所需水分除一部分消耗于叶面蒸腾和田面蒸发外, 绝大部分成为渗漏水或地表明水被不断地排洗出土体或渗入土壤底层而使土体脱盐^[16], 而且水稻还兼有一定的耐盐性, 所以种稻是改良利用盐碱地的有效途径之一^[17]。

本试验通过测定脱硫渣的不同施用量对水稻含水量、根系活力、光合速率、蒸腾速率及水分利用效率等生长指标的影响, 来探究在盐碱地中种植水稻所需要的脱硫渣的最适施用量, 为盐碱地水稻的栽培提供一定的理论依据。

收稿日期: 2015-04-23

基金项目: 宁夏大学大学生创新创业训练计划资助项目(2015ZHB33)

第一作者简介: 周晓燕(1987-), 女, 宁夏回族自治区银川市人, 硕士, 助教, 从事植物分子生物学研究。E-mail: shux-ian1231@163.com。

1 方法 with 处理

1.1 试验概况

试验于 2014 年在宁夏平罗前进农场进行。土壤类型为碱化土壤,土壤 pH 为 8.66 ,全盐含量为 10.8 g·kg⁻¹,有机质 13.00 g·kg⁻¹,全磷 0.57 g·kg⁻¹,全钾 21.30 g·kg⁻¹。

1.2 材料

供试材料为大田水稻;脱硫渣取自内蒙古海渤湾电厂。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用拉丁方设计,小区面积 60 m²,总面积 1 260 m²,共设 5 个处理:A 处理(CK),不施脱硫渣;B 处理,施脱硫渣 11.25 t·hm⁻²;C 处理,施脱硫渣 22.5 t·hm⁻²;D 处理,施脱硫渣 33.75 t·hm⁻²;E 处理,施脱硫渣 45.0 t·hm⁻²;每个处理 5 次重复。播前结合整地 将脱硫渣一次性均匀施于地表,旋耕深翻 20 cm,将它们与土壤充分混匀。4 月底播种,撒播,播种量为 375 kg·hm⁻²。各小区单排单灌,其它田间管理按常规进行。

1.3.2 测定项目及方法 根系活力采用可见光分光光度计测定,叶片含水量、根系含水量采用烘干法进行测定,光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、单叶水分利用效率(WUE)(瞬时)采用光合仪测定法进行测定。

2 结果与分析

2.1 脱硫渣不同施用量对水稻水分生理的影响

本试验研究不同施量脱硫渣对前进农场水稻不同时期的含水量、根系活力、光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响,通过各项指标的测定,结果表明一定量的脱硫渣的施用对水稻的生长有促进的作用,从而显示脱硫渣的施用对盐碱地有一定的改良作用。

2.1.1 不同施用量脱硫渣对水稻苗期水分利用效率的影响 由图 1 可知,在苗期,叶片含水量 D 处理最高,根系含水量 C 处理最大;由图 2 可知,根系活力对照组最大,其它各处理间 C 处理最高;由表 1 可知,光合速率 C 处理最大且与其它组均达到极显著差异水平;蒸腾速率 C 处理最低,各组之间差异不显著;水分利用效率 C 处理最高而且与其它处理组达到极显著差异水平,各处理组均高于对照组,说明脱硫渣的施用对水稻的生长有一定的影响。

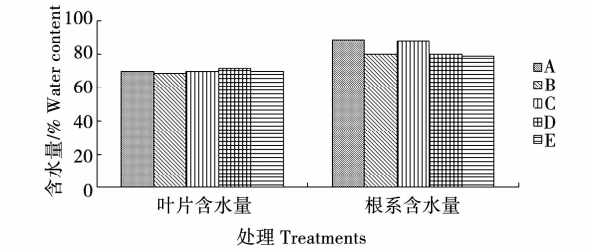


图 1 不同施量脱硫废弃物对水稻苗期叶片含水量和根系含水量的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on leaf water content and root water content of rice seedling

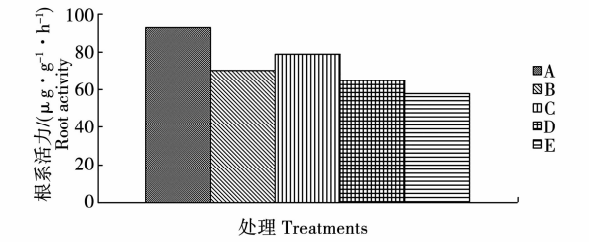


图 2 不同施量脱硫废弃物对水稻苗期叶片根系活力的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on root activity of rice seedling

表 1 不同施量脱硫渣对水稻苗期光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 1 Effect of different treatments on photosynthetic rate,transpiration rate and water use efficiency of rice seedling

处理 Treatments	光合速率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Photosynthetic rate	蒸腾速率/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Transpiration rate	水分利用效率/ (μmol CO ₂ ·mmol ⁻¹ H ₂ O) Water use efficiency
A	11.5±1.123 dD	6.444±1.068	1.896±0.180 cB
B	20.26±0.941 bB	6.764±0.514	2.917±0.328 bcB
C	24.407±1.393 aA	5.478±0.735	5.369±0.995 aA
D	14.74±0.370 cC	6.36±0.659	2.448±0.501 bcB
E	9.76±0.555 eD	5.571±0.998	3.331±0.999 bB

不标字母者表示差异不显著,小写字母不同者差异显著(P<0.05),大写字母不同者差异极显著(P<0.01)。下同。
Lowercases indicate significant difference at 0.05 level, capital letters indicate significant difference at 0.01 level. No letters mean no significant difference. The sance below.

2.1.2 不同施用量脱硫渣对水稻分蘖期水分利用效率的影响 由图 3 可知:分蘖期叶片含水量 C 处理最高,E 处理最低,表明脱硫渣的施用量过大反而会对叶片含水量造成负面影响,根系含水量 D 处理最大,各处理间差异不明显;由图 4 可

知,分蘖期根系活力 D 处理最小,E 处理最大;由表 2 得出,蒸腾速率,C 处理最弱,各处理间差异不显著;光合速率 B 处理最高,其次是 C 处理,E 处理最低,分别与 C 组达到差异显著、与 B 处理达到极显著差异水平,这说明脱硫渣施用量的不同对水稻光合速率有较大的影响;瞬时水分利用效率 B 处理的最高,C 处理次之,各处理间差异不显著。

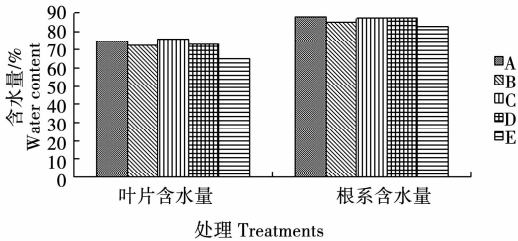


图 3 不同施量脱硫废弃物对水稻分蘖期叶片含水量和根系含水量的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on leaf water content and root water content of rice tillering

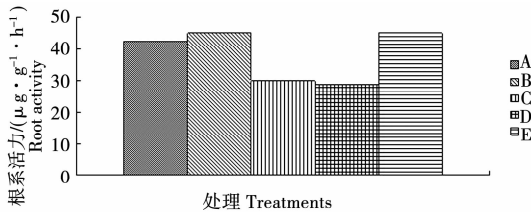


图 4 不同施量脱硫废弃物对水稻分蘖期叶片根系活力的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on root activity of rice tillering

表 2 不同施量脱硫渣对水稻分蘖期光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 2 Effect of different treatments on photosynthetic rate,transpiration rate and water use efficiency of rice tillering

处理 Treatments	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic rate	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Transpiration rate	水分利用效率/ ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$) Water use efficiency
A	19.31±0.974 bAB	14.075±0.950	1.390±0.394
B	20.897±0.756 aA	13.37±0.604	1.584±0.569
C	19.39±0.732 abAB	12.923±0.808	1.461±0.213
D	18.383±0.741 bcB	14.207±0.396	1.293±0.043
E	17.60±0.625 cB	12.976±0.866	1.381±0.071

2.1.3 不同施用量脱硫渣对水稻抽穗期水分利用效率的影响 由图 5 可知:在抽穗期叶片含水

量 D 处理最高,各处理间差异较明显;根系含水量 E 处理最大;由图 6 可知,根系活力 B 处理最强,其它各处理差异较明显,D 处理最低;从表 3 中可以看出抽穗期光合速率 E 最大而且与各处理差异显著;蒸腾速率 D 处理最大且与对照组达到极显著差异;水分利用效率与根系含水量一样也表现为 E 处理最高,这可能是在抽穗期脱硫渣施用量多反而会提高水稻瞬时的水分利用效率。

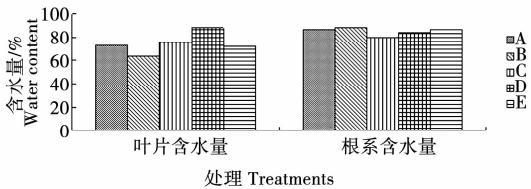


图 5 不同施量脱硫废弃物对水稻抽穗期叶片含水量和根系含水量的影响

Fig. 5 Effect of different treatments on leaf water content and root water content of rice heading

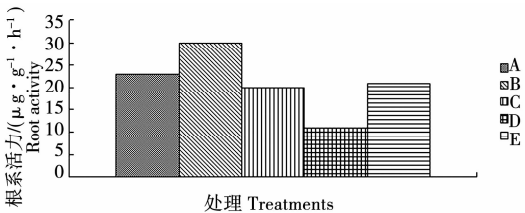


图 6 不同施量脱硫废弃物对水稻抽穗期叶片根系活力的影响

Fig. 6 Effect of different treatments on root activity of rice heading

表 3 不同施量脱硫渣对水稻抽穗期光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 3 Effect of different treatments on photosynthetic rate,transpiration rate and water use efficiency of rice heading

处理 Treatments	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic rate	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Transpiration rate	水分利用效率/ ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$) Water use efficiency
A	7.057±0.785 cBC	5.207±0.359 bB	1.726±0.093 aA
B	9.453±0.52 abAB	5.976±0.496 abAB	1.824±0.080 aA
C	6.517±0.525 cC	5.577±0.264 bAB	1.387±0.112 bB
D	8.413±0.382 bB	6.566±0.427 aA	1.31±0.108 bB
E	10.133±0.695 aA	6.156±0.342 abAB	1.934±0.205 aA

2.1.4 不同施用量脱硫渣对水稻灌浆期水分利用效率的影响 从图 7 中看出,在灌浆期水稻叶片含水量和根系含水量均是 C 处理最高,各处理

间差异不明显;图 8 中看出,与抽穗期相比根系活力有所下降,对照组最强,D 处理最低;由表 4 可知,水稻叶片光合速率呈现先上升后下降的趋势,其中 D 处理最大,与 B、C 组差异极显著;蒸腾速率 B 处理较弱,对照组最高;水分利用效率 D 处理最高,与其它组差异不显著,说明在灌浆期脱硫渣的施用量在 D 处理时对水稻的生长较好。

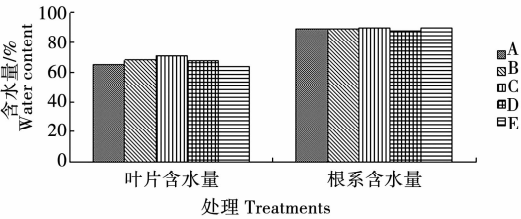


图 7 不同施量脱硫废弃物对水稻灌浆期叶片含水量和根系含水量的影响

Fig. 7 Effect of different treatments on leaf water content and root water content of rice filling

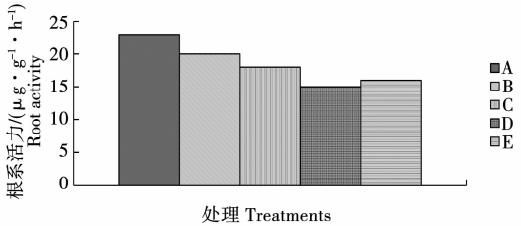


图 8 不同施量脱硫废弃物对水稻灌浆期叶片根系活力的影响

Fig. 8 Effect of different treatments on root activity of rice filling

表 4 不同施量脱硫渣对水稻灌浆期光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 4 Effect of different treatments on photosynthetic rate,transpiration rate and water use efficiency of rice filling

处理	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率/ ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)
Treatments	Photosynthetic rate	Transpiration rate	Water use efficiency
A	12.827±0.585 aAB	8.873±0.683 a	1.435±0.085
B	11.583±0.555 bB	7.677±0.709 b	1.561±0.097
C	11.163±0.795 bB	7.682±0.436 b	1.452±0.138
D	13.68±0.632 aA	8.544±0.496 a	1.593±0.087
E	13.011±0.533 aAB	8.703±0.550 a	1.487±0.038

2.1.5 不同施用量脱硫渣对水稻成熟期水分利用效率的影响 由图 9 可以看出成熟期叶片含水

量和根系含水量变化趋势一致,均是 E 处理最高,D 处理次之;由图 10 可知,根系活力 B 处理最强且与对照组差异较大;从表 5 中可以看出成熟期的光合速率对照组最高,D 处理次之;蒸腾速率 B 处理最低,对照组最高,且二者间差异极显著;水分利用效率对照组最高,D 处理次之,且 A 处理与 B、E 处理差异极显著,除了对照组外,其它处理组呈现先上升后下降的趋势,说明施用适量的脱硫渣可以提高水稻叶片的水分利用效率。

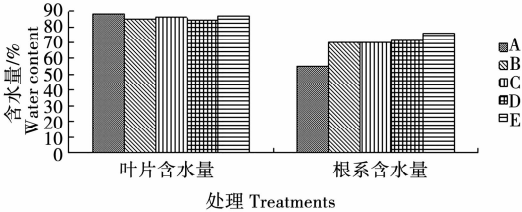


图 9 不同施量脱硫废弃物对水稻成熟期叶片含水量和根系含水量的影响

Fig. 9 Effect of different treatment on leaf water content and water content of root of rice maturing

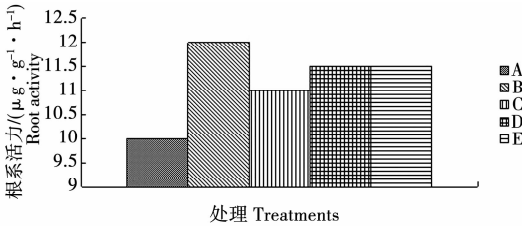


图 10 不同施量脱硫废弃物对水稻成熟期叶片根系活力的影响

Fig. 10 Effect of different treatments on root activity of rice maturing

表 5 不同施量脱硫渣对水稻成熟期光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 5 Effect of different treatments on photosynthetic rate,transpiration rate and water use efficiency of rice maturing

处理	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率/ ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)
Treatments	Photosynthetic rate	Transpiration rate	Water use efficiency
A	4.035±0.507 aA	2.966±0.503 aA	1.654±0.109 aA
B	1.747±0.580 cB	2.042±0.081 bB	1.014±0.203 cB
C	2.670±0.497 bcAB	2.392±0.389 abAB	1.358±0.089 bAB
D	3.733±0.486 aA	2.271±0.145 bAB	1.455±0.013 abAB
E	2.934±0.816 bAB	2.360±0.355 abAB	1.236±0.080 bB

3 结论与讨论

通过对宁夏西大滩碱化土壤种植大田水稻试验研究表明,盐碱地水稻在脱硫渣不同施用量的处理下水稻叶片含水量、根系含水量、根系活力、光合速率及单叶水分利用效率的变化随着脱硫渣施用量的增加呈先升高后下降的趋势,而蒸腾速率随着脱硫渣量的增加先下降后升高。说明适量的脱硫渣可以加强根系活力、提高水稻单叶水分利用效率。水分利用效率的高低与水稻的产量直接相关,推测水分利用效率的提高可能是适量的脱硫渣的施用改善了盐碱地的土壤性质及结构,而 Ca^{2+} 置换 Na^{+} 则降低了土壤盐分,从而缓解了盐分对植物的伤害。

影响碱化土壤作物生长的两个关键因素是代换性 Na^{+} 和 pH。阳离子代换性能通常是评价碱化土壤保水保肥能力的指标,碱化土壤的许多不良性质是与其含有大量的代换性 Na^{+} 密切相关的^[18]。利用脱硫渣改良碱化土壤的原理就是利用脱硫渣中含有的 Ca^{2+} 对土壤胶体吸附的 Na^{+} 进行置换,并通过淋洗将其排出土体,最大限度地降低土壤碱性,以达到治碱改土的目的^[19-20]。脱硫渣主要成分是 CaSO_4 和 CaSO_3 , CaSO_4 和 CaSO_3 可以溶解在土壤中,二价阳离子的增加有利于 Ca^{2+} 置换 Na^{+} , Na^{+} 被代换下来后形成的 Na_2SO_4 可随水移动排除出土壤,进而降低 pH,并提供了大量的 Ca、S 营养^[21]。 Ca^{2+} 不但具有稳定生物膜的作用而且还可以作为第二信使在盐胁迫的条件下参与植物生理调节,从而使植物更适应盐碱地的生长,所以施用脱硫渣不仅能改善盐碱地的结构而且能促进水稻的生长。

王金满等^[22]研究认为,随着脱硫渣施用量的增加,土壤中全盐量(TDS)也随着增加,盐分增大,必然会抑制作物的出苗和生长。本试验中,水稻苗期根系活力,分蘖期和抽穗期叶片含水量、光合速率等指标在 E 处理条件下反而处于最低。其原因可能由于脱硫渣本身也是一种盐,使用量过多会使土壤中盐浓度太高加剧水稻的盐胁迫,不但起不到改良盐碱地的作用,而且对植物生长产生盐胁迫。因此,碱化土壤的改良效果与脱硫渣用量不呈正相关关系,必须选择适宜的脱硫渣用量,本试验研究结果与相关文献报道一致。

综上所述,试验结果表明,当脱硫渣施用量在 C 处理和 D 处理($2.25 \sim 33.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)时,更有利于水稻水分利用效率的提高和干物质的积累。脱硫渣的适量施用可以改良前进农场的碱化土壤,且对水稻的水分利用效率和产量形成有促进

作用。但盐碱地的改良是一项复杂的工程,如何施用脱硫渣及施用多大量仍在探索中,本次试验仅从不同施量的脱硫渣对水稻的生理影响进行了研究,以此对脱硫渣改良盐碱地提供一定的依据。

参考文献:

- [1] 李亚珍,张永胜,徐康宁,等.利用工业脱硫废弃物改良盐碱地”试验阶段性成果报告[J].河套大学学报,2008,5(2):31-34.
- [2] 杨柳青,付明鑫.糠醛渣对苏打盐渍土的改良效果研究[J].环境工程,1999,17(3):54-55.
- [3] 祁晨华,吕志远,杨培岭,等.脱硫副产物改良碱化土壤综述[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2007,28(1):201-203.
- [4] 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.
- [5] 张方,马彦涛,胡将军.国内外火电厂烟气脱硫石膏的特点利用及处置[J].粉煤灰综合利用,2003(4):50-51.
- [6] Clark, Ralph. Growth of forages legumes and grasses in acidic soil amended with flue gas desulfurization products[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34(1/2):157-180.
- [7] Wendell R. High-calcium flue gas desulfurization products reduce aluminum toxicity in an Appalachian soil[J]. Journal of Environment Quality, 1996, 25(6):1401-1410.
- [8] Stout W L. Use of flue gas desulfurization (FGD) by-product gypsum on alfalfa [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1996, 27(9/10):2419-2432.
- [9] 陈欢,王淑娟.烟气脱硫渣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.
- [10] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇.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.
- [11] Clark R B. Growth of forages legumes and grasses in acidic soil amended with flue gas desulfurization products [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34(1,2):157-180.
- [12] 张丽辉,孔东,张艺强.磷石膏在碱化土壤改良中的应用及效果[J].内蒙古农业大学学报,2001,22(2):97-100.
- [13] 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(51):10-15.
- [14] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等.烟气脱硫渣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.
- [15] 李跃进,苗青旺,陈昌和,等.土壤碱化和化学改良对土壤团粒结构的影响[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):136-139.
- [16] 马淑芬.肇源县盐碱土特性及种稻改良措施[J].黑龙江省农科院作物营养实用技术研究所,黑龙江农业科学,1999(3):27-29.
- [17] 张学军.宁夏银北地区种稻改良利用盐碱地的技术措施探讨[J].盐碱地利用,1994(4):11-12.
- [18] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [19] 龚子同.中国土壤系统分类[M].北京:科学出版社,1997.
- [20] 王吉智.宁夏土壤[M].宁夏:宁夏人民出版社,1990.
- [21] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等.烟气脱硫渣在碱化土壤改良中的应用效果[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):38-42.
- [22] 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.