

脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究

肖国举¹, 罗成科¹, 白海波², 张峰举¹, 秦萍¹, 孙兆军¹

1. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021

摘要: 选择具有典型代表性的宁夏西大滩碱化土壤, 采用拉丁方田间试验设计进行脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻(*Oryza sativa*)的施用量研究。试验研究表明施用脱硫石膏能够降低土壤碱化度、总碱度和 pH 值, 提高水稻的出苗率和产量。但是, 脱硫石膏施用量不同, 土壤碱化度、总碱度和 pH 值降低的值不同。根据脱硫石膏施用量与土壤碱化度、总碱度、pH 值降低的模拟曲线关系, 当脱硫石膏施用量为 2.8~3.1 kg·m⁻²时, 土壤碱化度、总碱度、pH 值降低的值达到最大。同时, 根据脱硫石膏施用量与水稻出苗率和产量的模拟曲线关系, 当脱硫石膏施用量为 2.86 kg·m⁻², 水稻出苗率达到最大, 为 84.7%; 当脱硫石膏施用量为 2.79 kg·m⁻²时, 水稻产量达到最大, 为 0.75 kg·m⁻²。因此, 建议脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻的施用量为 2.8~3.1 kg·m⁻²。

关键词: 脱硫石膏; 碱化土壤; 施用量; 水稻

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2376-05

在国际上用石膏改造碱化土壤已有 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^[1]。近年来燃煤电厂引入烟气脱硫技术以减少 SO₂ 排放。现行的脱硫技术绝大多数以钙基物质作为吸收剂, 最终生成一种脱硫副产物(脱硫石膏)^[2]。预计到 2010 年我国脱硫石膏的量将达到 3.0×10⁹ kg 以上^[3], 对生态环境造成潜在的污染威胁。

2000 年以来, 我国在黄河河套地区的内蒙古土默川平原, 宁夏西大滩等地开展了利用脱硫石膏改良盐碱地施用技术的田间试验研究, 取得了初步成果。研究发现脱硫石膏能够显著降低土壤中的 pH 值、碱化度、可溶性 Na⁺, 提高了作物的产量^[4-8]。但是利用脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻的施用量问题, 目前还没有一个明确的研究结果。为此, 在 2007—2008 年, 选择具有典型代表性的宁夏西大滩试验基地, 进行脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻的施用量研究, 目的是为脱硫石膏改良盐碱地的大面积示范推广提供理论依据。

1 试验设计

1.1 试验区概况

西大滩位于宁夏贺兰山东麓洪积扇边缘, 属于黄河中上游灌溉地区, 地势平缓低洼, 境内分布有典型代表性的碱化土壤(俗称白僵土)^[9]。一般地下水埋深 1.5 m 左右, 地下水主要含硫酸盐、氯化物, 并且普遍含有苏打。土壤碱化度在 15~60% 之间, 总碱度在 0.20~0.65 cmol·kg⁻¹ 之间, pH 值在 8.0~10.4 之间, 全盐在 2.5~6.5 g·kg⁻¹ 之间, 盐分类型主要有 NaCl、Na₂SO₄、Na₂CO₃。

1.2 试验设计

试验采用单因素拉丁方设计。设 5 个处理: T1 (CK, 对照), 施脱硫石膏 0 kg·m⁻²; T2, 施脱硫石膏 1.12 kg·m⁻²; T3, 施脱硫石膏 2.24 kg·m⁻²; T4, 施脱硫石膏 3.36 kg·m⁻²; T5, 施脱硫石膏 4.48 kg·m⁻²。每个处理 5 次重复。田间小区长 12 m, 宽 8 m, 面积 96 m²。小区间距 2 m, 保护行宽度 5 m。

根据试验设计的要求, 播前结合整地将脱硫石膏一次性人工均匀施于地表, 深翻 20 cm, 保证与土壤充分混匀。试验采用内蒙古自治区海勃湾电厂的脱硫石膏。2007 年 4 月 30 日采取人工撒播种植, 品种是 D10, 播种量 0.7 g·m⁻²。10 月 21 日按小区人工收获, 测定水稻产量。

1.3 测定指标

在 4 月 30 日取土样测定土壤 0~60 cm 碱化度为 31.8%, 总碱度为 0.87 cmol·kg⁻¹, pH 值为 9.2, 全盐为 8.9 g·kg⁻¹, 属于典型的碱化土壤^[10]。在水稻苗期、开花期和收获期, 分别对每个试验小区测定土壤 0~60 cm 碱化度、总碱度、pH 和全盐。记录水稻出苗率, 收获时按小区实测产量。

2 试验结果分析

2.1 对土壤碱化度、总碱度和 pH 值的影响

利用脱硫石膏改良碱化土壤的原理, 就是利用脱硫石膏中含有的 Ca²⁺ 对土壤胶体吸附的 Na⁺ 进行置换, 并通过淋洗将其排出土体, 以达到治碱改土的目的^[11-12]。土壤碱化度、总碱度和 pH 值是评价土壤结构恶化和影响作物生长的关键指标, 也是反应土壤碱化性质的重要指标。土壤碱化度、总碱度和 pH

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC08B01)

作者简介: 肖国举(1972 年生), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农业生态学、环境生态学等方面的教学与研究工作。E-mail: xiaoguoju1972@163.com

收稿日期: 2009-10-18

越高,土壤碱性越强,作物越难生长。碱化度15%、总碱度 $0.3\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和pH值8.5被作为是引起土壤结构恶化和影响作物生长的关键值^[4]。试验研究表明施用脱硫石膏改良碱化土壤可以显著降低土壤碱化度、总碱度和pH。图1说明当脱硫石膏施用量为 $1.12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $2.24\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $3.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $4.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤碱化度都可以降到15%以下。图2说明当脱硫石膏施用量为 $1.12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $2.24\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $3.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $4.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤总碱度都可以降到 $0.3\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的水平。图3说明当脱硫石膏施用量为 $1.12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $2.24\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $3.36\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $4.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤pH值都可以降到8.5以下。

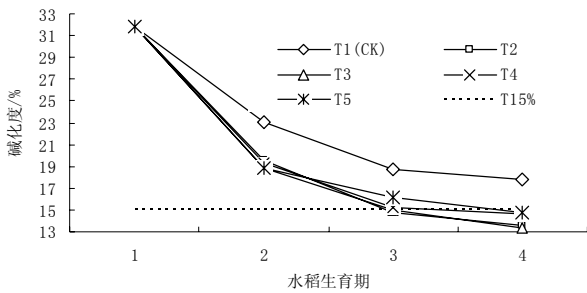


图1 水稻生育期土壤碱化度的变化曲线
Fig. 1 Curve for the variation of soil ESP in the growing period of paddy rice

1 代表水稻播种时(4月30日)测定的土壤碱化度;2 代表水稻苗期(5月20日)测定的土壤碱化度;3 代表水稻孕穗期(8月20日)测定的土壤碱化度;4 代表水稻收获时(10月21日)测定的土壤碱化度。

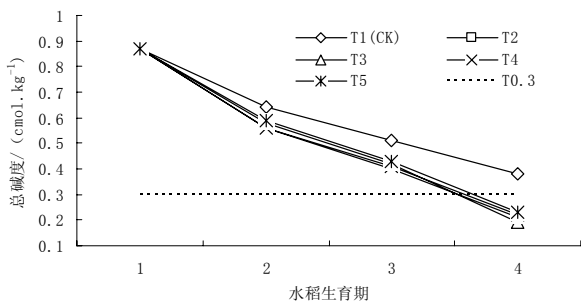


图2 水稻生育期土壤总碱度的变化曲线
Fig. 2 Curve for the variation of soil total alkalinity in the growing period of paddy rice

1 代表水稻播种时(4月30日)测定的土壤总碱度;2 代表水稻苗期(5月20日)测定的土壤总碱度;3 代表水稻开花期(8月20日)测定的土壤总碱度;4 代表水稻收获时(10月21日)测定的土壤总碱度。

脱硫石膏施用量不同,土壤碱化度、总碱度和pH值降低的值不同。根据脱硫石膏施用量与土壤碱化度降低的动态模拟曲线关系研究表明,当脱硫石膏施用量为 $3.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤碱化度降低的值达到最大为18.98%(图4);根据脱硫石膏施用量与降低

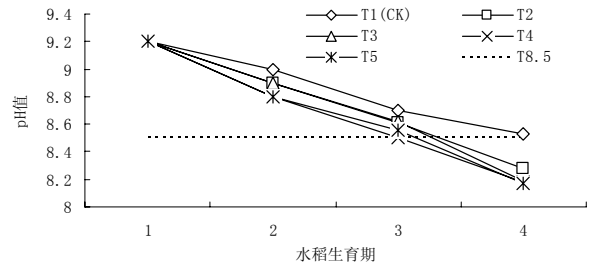


图3 水稻生育期土壤pH值的变化曲线
Fig. 3 Curve for the variation of soil pH value in the growing period of paddy rice

1 代表水稻播种时(4月30日)测定的土壤pH;2 代表水稻苗期(5月20日)测定的土壤pH;3 代表水稻开花期(8月20日)测定的土壤pH;4 代表水稻收获时(10月21日)测定的土壤pH。

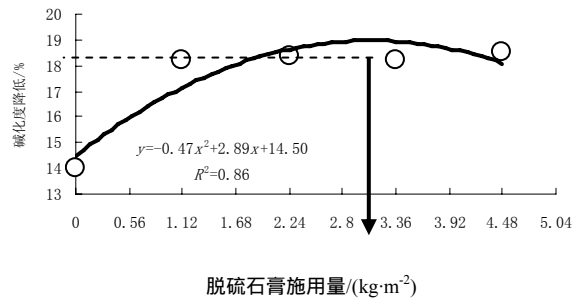


图4 土壤碱化度降低与脱硫石膏施用量的关系
Fig. 4 Correlation between the decrease of soil ESP and the amount of desulfurized gypsum applied

土壤总碱度的模拟曲线关系表明,当脱硫石膏施用量为 $2.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤总碱度降低的值达到最大为 $0.69\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图5);根据脱硫石膏施用量与降低土壤pH的曲线关系表明,当脱硫石膏施用量为 $3.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤pH降低的值达到最大为1.06(图6)。
2.2 对土壤全盐的影响

王金满等^[13]研究认为随着脱硫石膏施用量的增加,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。因此,碱化土壤的改良效果并不和脱硫石膏用量呈正相关关系,必须选择适宜的脱硫石膏的用量。因此,在施用脱硫石膏最大限度地降低土壤碱化度、总碱度和pH的同时,必须考虑全盐的变化。一般认为土壤全盐超过 $3.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,将引起土壤结构恶化,影响作物生长发育^[10]。试验研究表明尽管施用脱硫石膏种植水稻,由于水的作用土壤全盐降低(图7)。但是当脱硫石膏施用量为 $3.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $4.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,土壤全盐难以降到 $3.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下。通过脱硫石膏施用量和土壤全盐变化的动态变化关系表明,土壤全盐跟脱硫石膏施用量成明显的正相关关系(图8)。

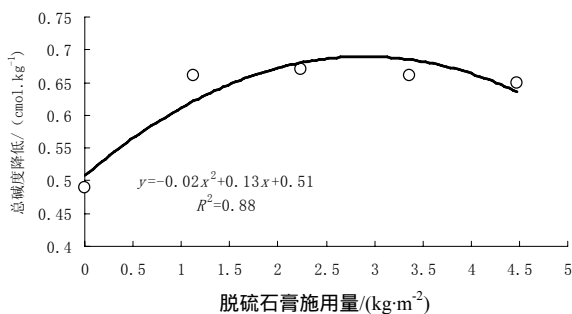


图 5 土壤总碱度降低与脱硫石膏施用量的关系

Fig. 5 Correlation between the decrease of soil total alkalinity and the amount of desulfurized gypsum applied

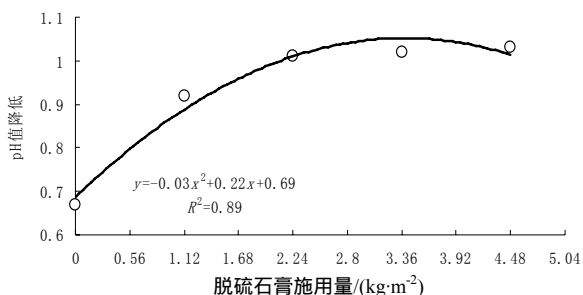


图 6 土壤 pH 值降低与脱硫石膏施用量的关系

Fig. 6 Correlation between the decrease of soil pH value and the amount of desulfurized gypsum applied

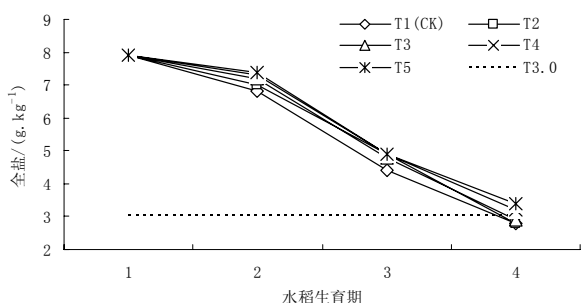


图 7 水稻生育期土壤全盐的变化曲线

Fig. 7 Curve for the variation of soil total salt in the growing period of paddy rice

1 代表水稻播种时 (4 月 30 日) 测定的土壤全盐值; 2 代表水稻苗期 (5 月 20 日) 测定的土壤全盐值; 3 代表水稻开花期 (8 月 20 日) 测定的土壤全盐值; 4 代表水稻收获时 (10 月 21 日) 测定的土壤全盐值。

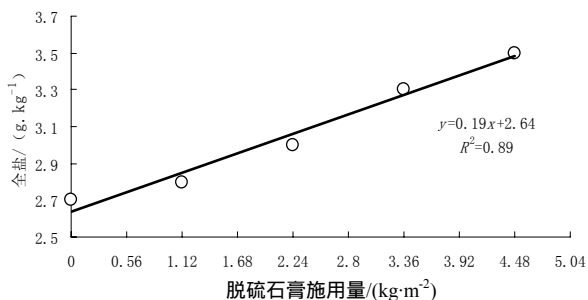


图 8 土壤全盐与脱硫石膏施用量的关系

Fig. 8 Correlation between the soil total salt and the amount of desulfurized gypsum applied

2.3 对水稻出苗率和产量的影响

脱硫石膏为 CaSO_4 和 CaSO_3 的混合物, 其性质与天然石膏相类似, 含有丰富的 S、Ca、Si 等植物必需或有益的矿质营养。因此, 施用脱硫石膏改良碱化土壤可以有效增强植物抗逆性^[14]。脱硫石膏在降低土壤碱化度和 pH 的同时, 其所含高价离子的介入可降低土壤胶体表面由于负电荷相互排斥而产生的电位势, 促进土壤胶体由于相互吸附而凝聚, 有利于土壤团粒结构的生成, 增加孔隙度, 降低土壤容重, 提高土壤持水性能, 改善作物根系的生长环境, 促进了作物的生长发育^[15-16]。例如, 施用脱硫石膏改良碱化土壤后种植甜高粱, 其出苗率达到 78.4%, 产量 (包括籽粒和秸秆鲜重) 达到 $28.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ^[17]。

研究表明脱硫石膏施用量不同, 对水稻出苗率的效果不同。根据水稻出苗率与脱硫石膏施用量的模拟曲线关系 (图 9), 当脱硫石膏施用量为 $2.86 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时, 水稻的出苗率达到最大值 84.7%。

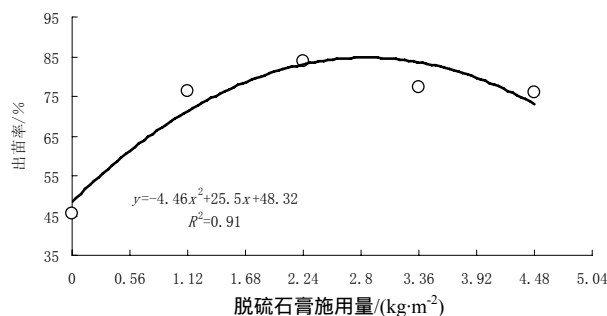


图 9 水稻出苗率与脱硫石膏施用量的关系

Fig. 9 Correlation between the seedling rate of paddy rice and the amount of desulfurized gypsum applied

施用脱硫石膏量可以显著提高水稻的收获穗数和千粒重 (表 1), 从而提高了水稻的产量。根据水稻产量与脱硫石膏施用量的模拟曲线关系 (图 10) 表明, 当脱硫石膏施用量为 $2.79 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 时, 水稻的产量达到最大值 $0.75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

表 1 施用脱硫石膏对水稻产量及产量组成的影响

Table 1 Desulfurized gypsum applied influencing the yield and yield composition of paddy rice

产量及组成	脱硫石膏施用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)				
	0	1.12	2.24	3.36	4.48
收获穗数/(万株· m^{-2})	0.053a	0.061b	0.062b	0.058b	0.060b
千粒/g	19.91a	23.81b	27.05b	26.14b	23.56b
每株粒数	259.3a	335.2b	484.5c	463.8c	404.0c
籽粒理论产量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	0.27a	0.49b	0.81c	0.71c	0.57bc
籽粒实际产量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	0.25a	0.51b	0.78c	0.71c	0.55bc

每行中不同大小写字母代表在 5% 下差异显著, "a" 相对于 "b" 有显著性差异。

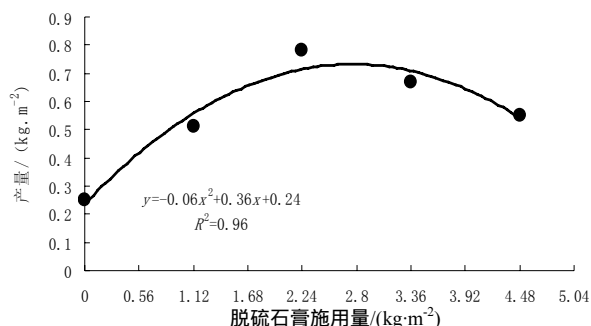


图 10 水稻产量与脱硫石膏施用量的关系

Fig. 10 Correlation between the yield of paddy rice and the amount of desulfurized gypsum applied

3 结论与建议

(1) 研究表明施用脱硫石膏改良碱化土壤可以有效降低土壤碱化度、总碱度和 pH 值,但同时也增加了土壤盐分含量。因此必需研究选择适宜的脱硫石膏施用量。

(2) 根据脱硫石膏施用量与土壤碱化度、总碱度、pH 值和全盐,以及水稻出苗率和产量的模拟曲线关系研究表明,脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻的施用量可以确定为 2.8~3.1 kg·m⁻²。

参考文献:

- 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.
LI Huanzhen, XU Yupei, YANG Weiqi, et al. Study on effect of using sulfur remarl gypsum as an amendment to the heavy soda saline alkali soil[J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(1): 25-29.
- 王方群, 原永涛, 齐立强. 脱硫石膏性能及其综合利用[J]. 粉煤灰综合利用, 2004, (1): 41-44.
WANG Fangqun, YUAN Yongtao, TI Liqiang. The properties of comprehensive utilization of desulfurization gypsum[J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2004, 1: 41-44.
- 徐旭常, 陈昌和, 王淑娟. 西部燃煤电站开发与生态环境[J]. 节能与环保, 2003, (5): 5-7.
XU Xuchang, CHENG Changhe, WANG Shujuan. The western coal-fired power plant development and ecological environment[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2003, (5): 5-7.
- 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.
LUO Chengke, XIAO Guoju, ZHANG Fengju, et al. Optimal application rate of desulfurized gypsum in ameliorating soils moderate in sodic salinity[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2009, 25(3): 44-48.
- 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2): 68-71.
LIU Yangchun, HE Wenshou, He Jinzhi, et al. Progress of improvement and utilization of saline-alkali land[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2007, 28(2): 68-71.
- 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.
- 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.
LI Yuejin WU Ligeng, LU Yongxing, et al. Amelioration of alali-soil with the by product of bum coal smoke desulphurization in the field[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2004, 19(51): 10-15.
- 陈欢, 王淑娟, 陈昌和, 等. 烟气脱硫废弃物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.
CHEN Huan, WANG Shujuan, CHEN Changhe, et al. The application and effect of desulphurized waste of flue gas in improving alkali soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(4): 38-42.
- 李茜, 孙兆军, 秦萍. 宁夏盐碱地现状及改良措施综述[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(33): 10808-10810.
LI Qian, SUN Zaojun, QIN Ping. Summary of Ningxia saline status and improved measures[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(33): 10808-10810.
- 王吉智. 宁夏土壤[M]. 宁夏人民出版社, 1990.
WANG Jizhi. Ningxia Soil[M]. Yinchuan: Ningxia People Press, 1990.
- 蓝佩玲, 廖新荣, 李淑仪, 等. 燃煤烟气脱硫副产物在酸性土上的农用价值与利用原理[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1135-1138.
LAN Peiling, LIAO Xinrong, LI Shuyi, et al. The value and principle of the application of desulfurization byproducts to acidic soils in agriculture[J]. Ecology and Environment, 2007, 16(4): 1135-1138.
- 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
WANG Zhunqing. Saline Soil in China[M]. Beijing: Science Press, 1993.
- 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.
WANG Jinman; YANG Peling; SHI Yi, et al. Effect on physical and chemical properties of soil and sunflower growth when sodic soils reclaimed with by product from flue gas desulphurization[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(3): 34-37.
- GHAZL N, AL-KARAKL M. Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil[J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25(4): 873-883.
- 赵锦慧, 李杨, 乌力更, 等. 石膏改良碱化土壤的效果(II)-石膏与土上部 20 cm 混匀的土柱系列[J]. 长江大学学报: 自科版, 2006, 3(1): 119-122.
ZHAO Jinhui, LI Yang, WU Ligeng; et al. Effect of gypsum on improving basified soil(II)-columns of mixture of gypsum with soil from top 20 cm[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2006, 3(1): 119-122.
- 肖国举, 罗成科, 张峰举, 等. 利用脱硫石膏改良碱化土壤施用时期和施用深度的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 197-203.
XIAO Guoju, LUO Chengke, ZHANG Fengju, et al. Research on the period and depth of desulfurized gypsum from coal fired power plant being applied in improving the alkalized soil[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6): 197-203.
- 秦萍, 肖国举, 罗成科, 等. 燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤种植甜高粱的施用量研究[J]. 现代农业科学, 2008, 15(12): 32-35.
QIN Ping, XIAO Guoju, LUO Chengke, et al. Study on the application amount of desulfurized gypsum from coal-fired power plant in improving alkalized soil to plant sweet sorghum[J]. Modern Agricultural Sciences, 2008, 15(12): 32-35.

Research on the amount of desulfurized gypsum from the coal-burning power plant applied to improve the alkalized soil for paddy rice

XIAO Guoju¹, LUO Chengke¹, BAI Haibo², ZHANG Fengju¹, QIN Ping¹, SUN Zhaojun

1. R&D Center for Application of New Technology, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia, 750021, China;

2. Agricultural Institute of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia, 750021, China

Abstract: A latin square field test was designed for the research on the amount of desulfurized gypsum applied to improve the alkalized soil for paddy rice. The research result has shown that the application of desulfurized gypsum can distinctly decrease the ESP (exchangeable sodium percentages), total alkalinity and pH value of the soil. A different amount of desulfurized gypsum applied will decrease the ESP, total alkalinity and pH value of the soil to different levels. The analog curve for the correlations between the amount of desulfurized gypsum applied and the decreases of ESP, total alkalinity and pH of the soil has shown that the decreases of ESP, total alkalinity and pH of the soil are the maximum, when 2.8-3.1 kg·m⁻² of desulfurized gypsum are applied. Desulfurized gypsum applied can distinctly improve the seedling rate and yield of paddy rice. The analog curve for the correlations between the amount of desulfurized gypsum applied and the seedling rate and yield of paddy rice has shown that the seedling rate and yield of paddy rice are the maximum of 84.7% and 0.75 kg·m⁻² when 2.86 kg·m⁻² and 2.79 kg·m⁻² of desulfurized gypsum are respectively applied. The amount of desulfurized gypsum applied to improve the alkalized soil for paddy rice is 2.8-3.1 kg·m⁻².

Key words: desulfurized gypsum; alkalized soil; amount applied; paddy rice

更 正

我刊 2009 年第 18 卷第 3 期刊登了《基于微藻细胞培养的水质深度净化与高价值生物质生产耦合技术》一文,图 2(b)的纵坐标“TN”应改为“TP”,特此更正,并向作者和读者表示深深的歉意。