

# 磷石膏改善苏打碱土理化性质效果分析

迟春明<sup>1,2</sup>, 王志春<sup>1\*</sup>

1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要:** 分析了磷石膏对苏打碱土团聚体稳定性、饱和导水率和盐分淋洗效果的影响。结果表明: 水稳定大团聚体质量分数和饱和导水率均随磷石膏施用量的逐渐增加而不断提高, 磷石膏施用量达到 100%GR 时, 水稳性大团聚体质量分数从对照的 0.03% 增加到 33.31%, 饱和导水率从对照的 0.13 mm·d<sup>-1</sup> 提高到 3.14 mm·d<sup>-1</sup>; 出流液电导率和 pH 均随磷石膏施用量的增加而降低, 磷石膏施用量达到 100%GR 时, 出流液电导率和 pH 分别从对照的 8.85 mS·cm<sup>-1</sup> 和 10.26 降低到 3.46 mS·cm<sup>-1</sup> 和 9.83。因此, 磷石膏对苏打碱土理化性质的改良效果十分显著。

**关键词:** 水稳性团聚体; 饱和导水率; 盐分淋洗; 电导率; pH

**中图分类号:** S156.4; S151.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2009) 06-2373-03

盐渍土是一系列受土体中盐碱成分作用的, 包括各种盐土和碱土以及其他不同程度盐化和碱化的各种类型土壤的统称, 也称盐碱土<sup>[1]</sup>。土壤盐渍化是一个世界性农业生态环境问题<sup>[2-4]</sup>, 据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)不完全统计, 全世界盐渍土面积约为 9.5 亿 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 约占全球可耕作土地面积的 10%, 分布于 100 多个国家<sup>[3]</sup>。在这些土壤中, 碱土总面积约为 5.6 亿 hm<sup>2</sup>, 占全球盐渍土总面积的 58.9%<sup>[3]</sup>。碱土由于土壤物理性质恶化<sup>[4-5]</sup>, 其对生态环境的破坏作用和对农业生产的阻碍作用远远大于盐土。

中国是土壤盐渍化较为严重的国家之一, 盐渍土总面积约为 1 亿 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。松嫩平原是我国盐渍土集中分布区域之一<sup>[1,6]</sup>, 其盐渍土总面积约为 342 万 hm<sup>2</sup>, 约占全区总面积的 19.40%<sup>[7]</sup>。土壤盐分以 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 为主, 属典型苏打碱土<sup>[8]</sup>。由于含有大量苏打, 土壤胶体呈高度分散状态, 地表湿时泥泞, 干时收缩板结坚硬, 常形成棱柱状或柱状构造的碱化层, 有的在地表形成结皮或结壳, 致使土壤物理性质极度恶化, 土壤通透性和可耕性极差, 对一般作物生长发育极为不利<sup>[1]</sup>。土壤盐渍化已经成为限制该区农业可持续发展的基本因素之一。

土壤团聚体稳定性差、饱和导水率低是苏打碱土物理性质恶化的标志性特征<sup>[9-10]</sup>。由于物理性质恶化, 土壤盐分淋洗受到严重阻碍<sup>[11-12]</sup>。因此, 改善土壤物理性质是碱土改良的基本前提之一<sup>[13]</sup>, 亦是松嫩平原苏打碱土改良过程中必须解决的关键性问题。磷石膏常见的盐碱土改良剂, 深入研究磷

石膏对苏打碱土理化性质的影响对该区盐碱土改良利用具有十分重要的意义。本文以该区典型苏打碱土为研究对象, 测定分析了磷石膏对水稳性大团聚体质量分数、饱和导水率和盐分淋洗效果的影响, 以期对松嫩平原苏打碱土改良研究提供理论支持和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土样

供试土样采自中国科学院大安碱地生态实验站(N45°35'58"~N45°36'28", E123°50'27"~123°51'31")。采样点为典型的碱斑地, 俗称光板地。取样深度为 20 cm。土样带回室内后自然风干。采用吸管法对土壤颗粒进行分析, 根据国际土壤颗粒质地分类标准, 供试土样为粘土。土壤容重为 1.51 g·cm<sup>-3</sup>, 碱化度为 64.87%; 土水比 1:5 浸提液的电导率(EC<sub>1:5</sub>)为 2.17 mS·cm<sup>-1</sup>, pH 值为 10.29, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>浓度占阴离子总浓度的比例为 84.38%。因此, 供试土壤为苏打碱土。

### 1.2 磷石膏添加量

实验中磷石膏添加量由石膏需要量(GR)计算求得<sup>[14-15]</sup>:

$$GR=1.25 \times CEC \times (ESP_i - ESP_f) \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中, GR——石膏需要量, mol·kg<sup>-1</sup>; CEC——阳离子交换量, cmol·kg<sup>-1</sup>; ESP<sub>i</sub>——土壤初始碱化度; ESP<sub>f</sub>——目标碱化度, 本实验中为 15。实验中石膏需要量为 100%GR。实验所用磷石膏为辽宁黑山化肥厂的工业副产品, 其石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)质量分数为: 560 g·kg<sup>-1</sup>。经计算, 实验土样 100%GR 的磷石膏添加量约为 30.0 g·kg<sup>-1</sup>。

**基金项目:** 中科院知识创新试点项目(09B1023001); 中科院东北地理与农业生态研究所前沿领域项目(KZCX3-SWNA3-41)

**作者简介:** 迟春明(1978年生), 男, 博士研究生, 主要从事土壤盐碱化研究。E-mail: chichunming@126.com

\*通讯作者, 王志春, E-mail: wangzhichun@neigae.ac.cn

**收稿日期:** 2009-09-10

### 1.3 团聚体稳定性实验

称取 50 g 过 0.25 mm 筛的风干土样, 分别加入 0.75 g 和 1.5 g 磷石膏, 充分混合。采用湿筛法测定 >0.25 mm 水稳性团聚体的质量<sup>[16]</sup>。无磷石膏处理为对照。4 次重复。水稳性大团聚体质量分数采用公式计算:

$$w=100 \times m' / m \quad (2)$$

式中,  $w$ ——水稳性大团聚体质量分数, %;  
 $m'$ ——大于 0.25 mm 水稳性团聚体的风干质量, g;  
 $m$ ——风干土质量, g。

### 1.4 饱和导水率实验

饱和导水率应用南京土壤仪器厂生产的 TST-55 型渗透率仪(常水头法)测定。将 50%GR 和 100%GR 施用量的磷石膏与土样充分混合, 按田间扰动土容重  $1.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  装入渗透率仪。以不加磷石膏的碱土作为对照, 按相同容重装土, 4 次重复。土样饱和后, 用广口瓶收集出流液。对实验所用土壤而言, 24 h 后出流液流速可以达到完全稳定状态, 此时换用小三角瓶收集出流液, 每 30 min 测量 1 次出流液体积, 共测定 8 次, 即实验耗时 28 h。饱和导水率采用达西定律计算:

$$K_s = \frac{\Delta Q \times L}{A \times t \times H} \quad (3)$$

式中,  $K_s$ ——饱和导水率( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\Delta Q$ ——出溜液体积(mL),  $A$ ——渗透横截面积( $\text{cm}^2$ ),  $t$ ——渗透时间(s),  $L$ ——土柱长度(cm),  $H$ ——水头(cm)。为了消除温度的影响, 将测定的饱和导水率换算成 10 °C 下的饱和导水率, 公式如下:

$$K_{10} = \frac{K_s}{0.7 + 0.03T} \quad (4)$$

式中,  $K_s$ ——某一水温下的饱和导水率( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $K_{10}$ ——10 °C 时的饱和导水率( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $T$ ——水的温度(°C)。

### 1.5 盐分淋洗效果测定

盐分淋洗效果通过流液的电导率和 pH 表示。在饱和导水率试验中, 实验开始 28 h 后, 收集 24 h 内的出流液, 用于测定化学性质。电导率(EC)采用 DDS-307 型电导率仪(上海精密仪器厂)测定, pH 用 PHS-3B 型 pH 计(上海雷磁科学仪器厂)测定。由于实验测定的是流速稳定后出流液的电导率和 pH 值, 因此该电导率和 pH 值可以在一定程度上反映苏打碱土淋洗后的化学性质。即, 稳定出流液的电导率和 pH 值越低, 先前被淋洗的盐分就越多, 盐分淋洗的效果越好。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稳性大团聚体质量分数

实验结果表明, 磷石膏能够显著提高苏打碱土团聚体稳定性。不施用磷石膏时, 苏打碱土水稳性

大团聚体质量分数仅为 0.03%, 磷石膏施用量达到 50%GR 和 100%GR 时, 水稳性大团聚体质量分数分别为 29.54% 和 33.31%, 提高了 984.67 倍和 1110.33 倍。

### 2.2 饱和导水率

磷石膏对碱土饱和导水率的影响如图 1 所示。由图 1 可见, 磷石膏能显著( $\alpha=0.05$ )提高碱土饱和导水率, 并且随着磷石膏施用量的增加, 饱和导水率逐渐提高。当磷石膏施用量达到 100%GR 时, 土壤饱和导水率从对照的  $0.13 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  增加到  $3.14 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ , 提高了 23.05 倍。

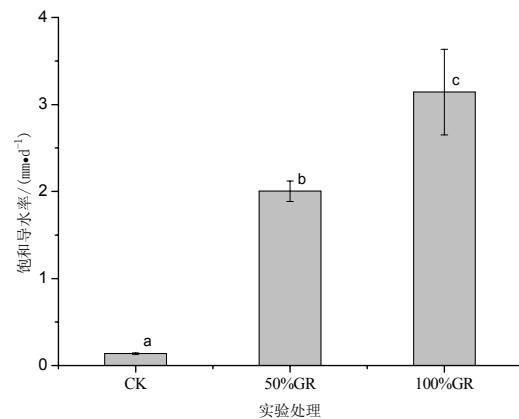


图 1 磷石膏对苏打碱土饱和导水率的影响  
 Fig.1 Effects of phosphogypsum on saturated hydraulic conductivity of sodic soil

### 2.3 盐分淋洗效果

实验结果显示, 施用磷石膏能够显著提高苏打碱土的盐分淋洗效果。由图 2 可知, 出流液电导率和 pH 值均随磷石膏施用量的增加而降低。例如, 当磷石膏用量达到 100%GR 时, 出流液的电导率从对照的  $8.85 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$  降低到  $3.46 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 出流液 pH 值从对照的 10.26 降低到 9.83。这表明盐分淋洗效果随磷石膏施用量的增加而增强。

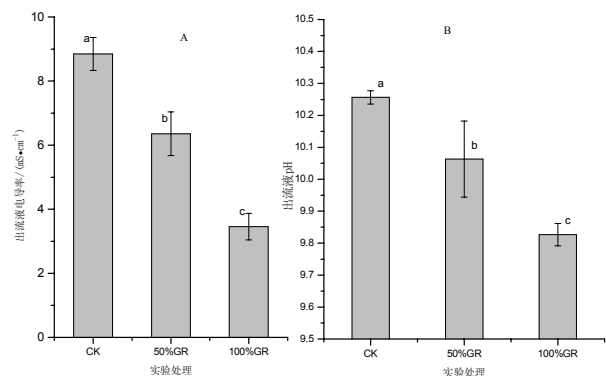


图 2 磷石膏对出流液电导率(A)和 pH(B)的影响  
 Fig.2 Effects of phosphogypsum on electrical conductivity (A) and pH (B) of leachates

### 3 讨论与结论

碱土中加入磷石膏能显著提高土体中  $\text{Ca}^{2+}$  含量。而土壤溶液中  $\text{Ca}^{2+}$  可压缩土壤颗粒表面扩散双电层的厚度, 减小静电排斥力, 从而促使粘粒发生凝絮作用、降低粘粒分散作用<sup>[17]</sup>。因此, 施用石膏可提高碱土水稳性大团聚体质量分数。水稳性大团聚体数量的增加可以提高土壤大孔隙数量, 增强土壤通气和透水能力<sup>[18]</sup>, 进而提高土壤饱和和导水率。苏打碱土饱和和导水率的提高可以促进土壤盐分淋洗<sup>[19]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-6  
WANG Zunqin. Salt-affected Soils in China[M]. Beijing: Science Press, 1993: 1-6.
- [2] ABROL I P, YADAV J S P, MASSOUD F I. Salt-affected Soils and their Management[M]. Roam: FAO, 1998: 3-16
- [3] TANJI K K. Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71[M]. New York: ASCE, 1990: 1-17.
- [4] SUMNER M E, NAIDU N. Sodic Soils: Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences[M]. New York: Oxford University Press, 1998: 1-17.
- [5] SUMER M E. 1993. Sodic soils: New perspectives[J]. Australian Journal of Soil Research, 31: 683-750.
- [6] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159.  
YU Renpei, CHEN Deming. Salt-affected soils and their utilizations[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(4): 158-159.
- [7] 宋长春, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐渍土壤生态地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-6.  
SONG Changchun, HE Ya, DENG Wei. Eco-Geochemistry of Salt-Affected Soils in Songnen Plain[M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-6.
- [8] 李彬, 王志春, 梁正伟, 等. 吉林省大安市苏打碱土碱化参数之间的关系[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 443-446.  
LI Bin, WANG Zhichun, LIANG Zhengwei, et al. Interrelationship

- between the primary alkalization parameters of sodic soil in the Da'an city, Jilin province, China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(3): 443-446.
- [9] MCINTYRE D S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils[J]. Australian Journal of Soil Research, 1979, 17: 115-120.
- [10] QIURK J P, SCHOFIELD P K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability[J]. Journal of Soil Science, 1955, 6(2): 163-178.
- [11] QADIR M, QURESHI R H, AHMAD N. Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 45: 119-131.
- [12] NAYAK A K, SHARMA D K, MISHRA V K, et al. Reclamation of saline-sodic soil under a rice-wheat system by horizontal surface flushing[J]. Soil Use Manage, 2008, 24(4): 337-343.
- [13] ILYAS M, QURESHI R H, QADIR M A. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping[J]. Soil Technology, 1997, 10: 247-260.
- [14] MACE J E, AMRHEIN C, OSTER J D. Comparison of gypsum and sulfuric acid for sodic soil reclamation[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1999, 13: 171-188.
- [15] AMEZKETA E, ARAGÜÉS R, GAZOL R. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation[J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 983-989.
- [16] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 7-8.  
LIU Guangsong. Soil Physical and Chemical Analysis & Description of Soil Profiles[M]. Beijing: Chinese Criteria Press, 1996: 7-8.
- [17] WARRENCE N J, BAUDER J W, PEARSON K E. Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. 2002. <http://waterquality.montana.edu/docs/methane/basics.pdf>
- [18] OADES J M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management[J]. Plant and Soil, 1984, 76: 319-337.
- [19] 迟春明, 王志春. 沙粒对碱土饱和和导水率和盐分淋洗的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 99-103.  
CHI Chunming, WANG Zhichun. Effect of sand on saturated hydraulic conductivity and salts leaching of sodic soil[J]. Journal of Soil and Water Conversation, 2009, 23(1): 99-103.

## Efficiency of Phosphogypsum on Reclaiming Sodic Soils of Songnen Plain

CHI Chunming<sup>1,2</sup>, WANG Zhichun<sup>1\*</sup>

1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Effects of phosphogypsum on water stable aggregates, saturated hydraulic conductivity and salts leaching of sodic soil were studied. The results showed that water stable macro-aggregates percentage and saturated hydraulic conductivity of sodic soils increased with the increment of phosphogypsum application. The water stable macro-aggregates percentage increased from 0.33% in the control to 33.31% in the treatment of phosphogypsum of 100%GR, and saturated hydraulic conductivity increased from 0.13  $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$  in the control to 3.14  $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$  in the treatment of phosphogypsum of 100%GR. Electrical conductivity (EC) and pH of leachates decreased with the increase of phosphogypsum application. EC of leachates decreased from 8.58  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  in the control to 3.46  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  in the treatment of phosphogypsum of 100%GR, and pH decreased from 10.26 to 9.83. Therefore, phosphogypsum is effective for improvement of poor physical and chemical properties of sodic soils.

**Key words:** water stable aggregates; saturated hydraulic conductivity; salt leaching; electrical conductivity; pH