

Analysis of the Control Conditions in the Improvement of Saline Alkaline Soil in Inner Mongolia

Shukai Liu¹, Zirui Xie^{2*}, Chao Huang², Yuqing Liu²

¹Southwest Forestry University National Plateau Wetland Research Center, Kunming Yunnan

²Hubei University of Resources and Environment, Wuhan Hubei

Email: ¹zhaojh2004@hubu.edu.cn

Received: Sep. 30th, 2017; accepted: Oct. 20th, 2017; published: Oct. 23rd, 2017

Abstract

In order to make more effective use of gypsum modified alkaline earth, combined with the content of field capacity, alkalinity, alkaline salt, optimal irrigation, gypsum conversion, gypsum and soil treatment, improvement depth and other factors, this paper, through the soil column experiments, designed 27 kinds of processing methods. The ions in the filtrate were analyzed and converted into salt. Comparing the soluble salt in filtrate with the salt before improvement, the effect of gypsum on improving alkaline soil was calculated by inferential calculation method. The results showed that: 1) with the increase of irrigation amount, the dissolution and transformation amount of gypsum increased, and the alkalization degree decreased correspondingly. However, when the linear relationship reaches to a certain extent, the correlation will become less obvious. Therefore, various water treatments should be controlled to achieve reasonable utilization; 2) the upper 20 cm part mixed this treatment, and compared with the other two, the best treatment scheme of gypsum to improve the alkaline soil can be achieved from top to bottom gradually de alkali. Moreover, the mixing of gypsum and shallow soil is feasible in production.

Keywords

Gypsum, Modified Alkaline Soil, Irrigation, Fertilization Method

内蒙古地区盐碱土改良过程中的控制性条件分析

刘书楷¹, 谢子瑞^{2*}, 黄超², 刘玉青²

*通讯作者。

¹西南林业大学国家高原湿地研究中心, 云南 昆明

²湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉

Email: zhaojh2004@hubu.edu.cn

收稿日期: 2017年9月30日; 录用日期: 2017年10月20日; 发布日期: 2017年10月23日

摘要

为了更有效地使用石膏改良碱土, 结合田间持水量、碱化度、碱性盐的含量, 考虑最佳灌水量、石膏转化率、石膏与土的处理方式、改良深度等因素, 本文通过室内土柱模拟实验, 设计了27种处理方式。对所得滤液的离子进行分析后换算成盐分。将滤液中的可溶盐与改良前的盐分相比, 运用推理计算方法求得石膏改良碱土的不同效果。结果表明: 1) 随着灌水量的增加, 石膏的溶解量、转化量都有所增加, 碱化度也相应地降低。但是这种线性关系达到一定程度后, 相关关系将会逐渐变得不明显。因而, 对各种处理要控制不同的水量, 达到合理利用。2) 上部20 cm部分混匀这一处理, 经过与其他两者的对比, 石膏改良碱化土壤的最优处理方案能够达到自上而下逐步脱碱。而且石膏与浅层土壤混匀在生产上比较切实可行。

关键词

石膏, 改良碱土, 灌水量, 施用方式

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

盐碱土是在气候干旱、蒸发强烈、地势低洼、含盐地下潜水位高的条件下, 土壤表层及土体中积聚过多的可溶性盐类及致碱物质, 以可溶性碳酸盐(以 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 形式存在)、代换性钠离子为主, pH 值较高, 导致土壤的粘粒含量大, 土壤的透水透气性能差。许多学者从生物措施、物理措施、化学措施等方面对盐碱土改良进行了尝试, 取得了许多成功经验[1]-[6]。其基本思路是: 首先提供二价阳离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+})来置换交换性 Na^+ (土壤胶体中)和可溶性碳酸盐, 达到降低 pH 值、钠吸附比的目的, 进而降低碱化度, 起到改良碱化土壤的作用; 其次是要考虑灌溉水量的问题, 洗盐排盐是改良盐碱土的外界支撑条件[7]。

盐碱土壤的改良的实质是关注溶质在土壤中的移动规律, 调节水盐运动[1], 其中对流-弥散方程模型、可动水-不动水体模型、黑箱模型[8]应用最广。我国学者利用这些相关模型, 深入研究了土壤改良盐碱问题, 陈丽湘等通过模拟盐渍土壤的水盐运动状态, 得出忽略水分迁移速度的情况下, 盐分迁移的主要形式是水动力弥散[9]。土壤积盐与潜水平深呈负相关[10]。

一般进行农田实验时, 石膏施用量按着 30 t/hm^2 来确定[11][12][13][14]。肖国举通过分析表明, 采用犁翻后再旋耕, 将有利于提高改良效果[15][16]; 在松嫩平原、宁夏西大滩内蒙古西部, 秋季作物收获后对土壤进行 25 cm 的深耕, 施用脱硫石膏, 并进行冬灌[17][18][19]。

本文基于上述思路的启发, 结合当地实际条件, 设计了室内土柱模拟盐碱土改良实验, 主要针对石

膏的施用方式、灌水量等主要因素进行对比,运用质量守恒定律指导下的盐分配对法,分析改良内蒙古地区盐碱土的温度、灌水量、混合方式等关键因素。

2. 数据来源与研究方法

土样采自内蒙古呼和浩特市托克托县伍十家乡毡匠营村村西的苏打化-硫酸盐氯化物轻度盐化草甸碱土,经过采集处理土壤样品、制作实验土柱、分析滤液物质组成[20],进而得到改良效率的差异。

2.1. 改良控制条件的设计

1) 含钙物质需求量的确定

英国科学家 V. Valles 等人进行了耕作的钠质土壤石膏需求量的地球化学测定,模拟灌溉水—土壤化学反应研制了热力学模型 GYPOSL [7]。能够快速计算和评价钠质土壤的石膏需求量,以及预测施入土壤中的石膏量所表现的行为。

本文根据土样内 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 、交换性钠、交换性镁的总量(将所有碱性物质作为石膏需要量的参考值)计算石膏的施用量。

2) 施用方式

结合农业耕作上的犁翻、旋耕等方式,本文设计了三种施用方法的处理,分别用字母 A、B、C 表示。

A 处理[21]是将石膏与 60 cm 土柱内土壤全部混匀。施用 5.85 克石膏,与 906.9 克的土充分混匀,装入 70 cm 管内,按着 1.4 g/cm^3 的容重制成 60 cm 的土柱。

B 处理[22]是将同量的石膏与表层 20 cm 的土混匀,40~60 cm 不加石膏所制成的土柱。

C 处理[23]是将同量的石膏撒在 60 cm 土层的表面。

3) 灌水量的三种处理

经过测定,该碱化土壤的田间持水量为 29%,按改良层的深度为 60 cm 计算,本次试验进行三种灌水量的处理[24],其灌水量分别是 828 ml、1278 ml 和 1736 ml,分别用 a、b、c 表示。

4) 改良深度的三种处理

本实验增加了 0~20 cm、0~40 cm 两种柱长同时观测其理化性质的变化,可以进一步推断 60 cm 土柱内各层次所发生的变化。

2.2. 数据分析方法

在土柱内加入定量的土壤和石膏,经过定量的灌水后接取滤液。对滤液进行化验后得到滤液的离子数量,并计算出各种盐分的数量,将这些数据分别与原土的各盐分数量对比,推断滤液在土柱内所发生的各种化学变化[20],判断各种措施的效果。

3. 结果与分析

3.1. 各指标的相关性分析

以石膏作用后碱化度为因变量,其它指标作为自变量,运用 SPSS 软件 Pearson 相关分析,可以得到如下各变量之间的相关系数,见表 1。

分别用 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O 代表石膏作用后碱化度、石膏溶解率、石膏残留率、石膏渗漏率、石膏转化率、石膏与碱性盐作用量、石膏与交换性 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 作用量、石膏与交换性 Mg 作用量、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、通量、灌水至渗出的时间、渗出液体积。

Table 1. Table of correlation coefficients of each variable**表 1.** 各变量相关系数一览表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A	1	-0.3	0.27	-0.37	-0.1	0.57	-0.55	-0.08	-0.66	0.44	-0.37	-0.63	-0.33	0.51	-0.22
B		1	-0.97	0.75	0.72	-0.23	0.3	0.62	0.53	-0.64	0.42	0.47	0.66	-0.55	0.53
C			1	-0.76	-0.72	0.23	-0.21	-0.62	-0.55	0.68	-0.46	-0.5	-0.73	0.6	-0.56
D				1	0.25	-0.51	-0.01	0.23	0.85	-0.64	0.58	0.83	0.76	-0.69	0.5
E					1	0.16	0.43	0.76	0.09	-0.42	0.2	0.02	0.24	-0.16	0.41
F						1	0.25	0.18	-0.64	0.61	-0.58	-0.66	-0.59	0.78	-0.18
G							1	0.38	0.06	-0.09	-0.06	0.04	-0.11	0.03	0.08
H								1	0.15	-0.61	0.37	0.11	0.2	-0.17	0.47
I									1	-0.64	0.51	0.89	0.69	-0.7	0.4
J										1	-0.77	-0.63	-0.58	0.69	-0.53
K											1	0.62	0.31	-0.52	0.54
L												1	0.58	-0.65	0.57
M													1	-0.85	0.24
N														1	0.15
O															1

从表中可见,石膏作用后碱化度与石膏与碱性盐作用量、灌水至渗出的时间(小时)呈中度正相关;与石膏与交换性 $K^+ + Na^+$ 作用量、 Ca^{2+}/Mg^{2+} 、 $Ca^{2+}/K^+ + Na^+$ 呈中度负相关,相关系数分别为 0.571、0.506、-0.554、-0.657、-0.626,其波动规律见图 1 所示。其他指标均与石膏作用后碱化度呈现相关性,可用于下文的推理分析。

3.2. 石膏溶解效率的对比与分析

现以 60 cm 处理为例(见表 2),介绍石膏的溶解效率。

1) 石膏的溶解

根据计算,原土中的 SO_4^{2-} 全部以 Na_2SO_4 的形式存在。而在滤液里若有超过该量的 SO_4^{2-} ,是由石膏溶解和反应而来。由表 2 可以看出, $A > B > C$ 。

2) 石膏的残留

石膏的残留量可以用石膏施入量减去滤液中石膏溶解量求得, $C > B > A$ 。

3) 石膏的渗漏

由滤液中计算出来的 $CaSO_4$,未与碱性物质发生化学反应,其含量就是石膏的渗漏损失量。

A 处理的渗漏损失量为 11.59 me,占石膏施入量的 17.03%。B、C 处理的渗漏损失为 0。

4) 交换性镁与石膏的化学作用

在原始土壤溶液中没 $MgSO_4$,但滤液中出现了大量的 $MgSO_4$ 。这其中一部分是与 $Mg(HCO_3)_2$ 作用生成的,另一部分是与交换性镁作用生成的。

各种处理被交换性镁消耗的石膏量排序为 $A > B > C$ 。

5) 交换性钠与石膏的作用

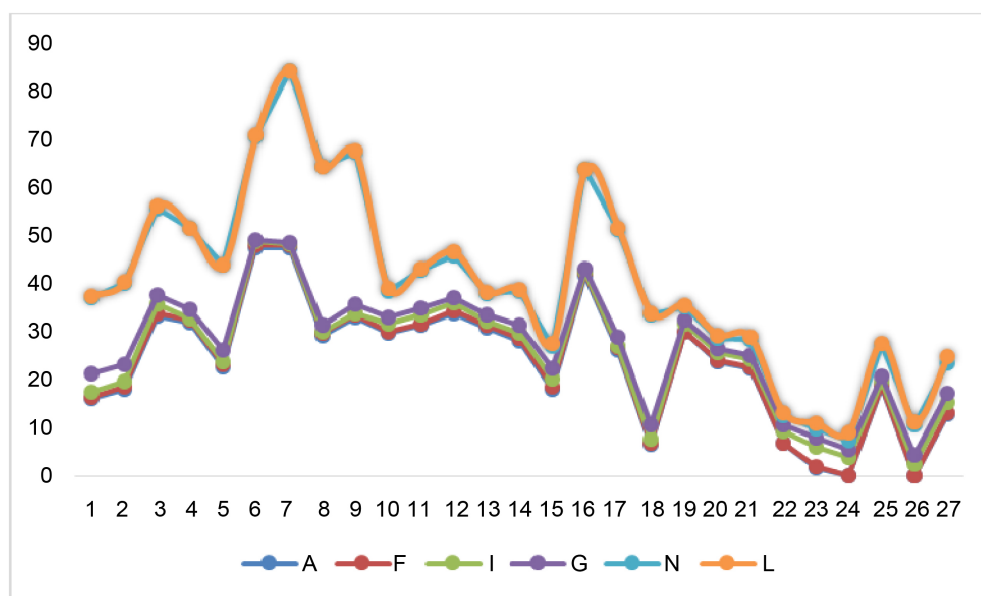


Figure 1. Variation trend of alkalization and 5 related indexes after gypsum action
图 1. 石膏作用后碱化度与 5 个相关指标的变化趋势图

Table 2. The transformation parameters of gypsum in each treatment filtrate
表 2. 各处理滤液中石膏的转化参数

处理代号	石膏溶解量 (cmol)、溶解率 (%)	石膏残余量 (cmol)、残留率 (%)	石膏渗漏量 (cmol)、渗漏率 (%)	石膏转化量 (cmol)、转化率 (%)	石膏与碱性盐作用量 (cmol)	石膏与交换性 $K^+ + Na$ 作用量 (cmol)	石膏与交换性 Mg 作用量 (cmol)	石膏作用后碱化度 (%)
60A-a	5.819/85.52	2.640/38.80	0.665/9.77	5.154/48.57	0.534	3.683	0.936	16.11
60A-b	6.408/94.19	0.395/5.81	1.159/17.04	5.249/77.15	0.534	3.474	1.241	18.04
60A-c	5.701/83.79	1.103/16.21	2.090/30.72	3.611/53.07	0.534	1.825	1.251	33.27
60B-a	2.494/36.68	4.310/63.32	0/0	2.494/36.68	0.534	1.960	0	32.03
60B-b	4.166/61.23	2.638/38.77	0/0	4.166/61.23	0.534	2.464	1.167	22.76
60B-c	4.549/66.86	2.255/33.14	0.393/5.78	4.156/61.08	0.534	0.284	1.515	47.50
60C-a	0.814/11.96	5.990/88.04	0/0	0.814/11.96	0.534	0.28	0	47.54
60C-b	1.954/28.71	4.850/71.28	0/0	1.954/28.71	0.534	1.420	0	29.32
60C-c	2.988/43.92	3.816/56.08	0/0	2.988/43.92	0.534	1.841	0.612	33.11

用滤液中的 Na_2SO_4 数量, 减去原土含有的 Na_2SO_4 数量, 再减去 Na_2CO_3 、 $Na(HCO_3)$ 与石膏作用生成的 Na_2SO_4 , 剩余的 Na_2SO_4 就是石膏与交换性钠作用后生成的 Na_2SO_4 。由表 2 可以看出, $A > B > C$ 。说明 A 处理的碱化度最低, 改良效果最好。

6) 三种处理对下渗通量的影响

原土壤的通量为 0.078 mm/小时, 经过改良后 A 处理的通量为 4.97 mm/小时, B 处理的通量为 3.30 mm/小时, C 处理的通量为 1.41 mm/小时, 显然 $A > B > C$ 。说明经过改良后, 土壤胶体发生凝聚, 极大地加快了下渗水流的通量。下渗通量的差别与改良效率相一致。

3.3. 石膏的施用方式对改良效果的影响

比较不同的石膏施用量和施用方式的改良效果, 见表 2 数据。

1) 将定量石膏施在碱化土壤表面的系列处理

此处理的石膏不与土壤混合, 其改良能力全靠上部灌溉水分的溶解, 各处理石膏的溶解量(20 cm > 40 cm > 60 cm)很少, 但其渗漏量(60 cm 处理、40 cm 处理没有渗漏)、交换性镁消耗石膏的数量都很小, 导致它的转化量大, 脱碱率高, 随着时间的延续, 改良效果理想[10]。

2) 石膏-土全部混匀的土柱系列

取不同深度的碱化土与石膏混匀制成石膏-土混匀柱[11], 对石膏的利用很充分, 石膏的溶解量大、转化量大、改良碱化土壤的效率高、经过改良后土壤的碱化率低。尤其是 0~20 cm 石膏已经消耗完毕, 但是碱化度依然很高; 60 cm 柱长处理的综合效果虽然最好, 但其渗漏损失量多, 脱出的交换性镁也比较多; 40~60 cm 的脱碱效果最好。

3) 石膏与土柱上部 20 cm 混匀的系列

20 cm 这一处理[12]石膏的溶解率高, 改良后土壤的整体碱化度最低但渗漏损失率也最大; 60 cm 这一处理石膏的溶解率相对较高, 改良后碱化度不是很高, 没有渗漏损失, 改良后土壤的整体改良效果相对较好; 40 cm 这一处理石膏的溶解率最低, 再加上渗漏损失一部分, 改良后碱化度最高, 改良效果相对其他二者来说是最差的。

3.4. 灌水量对改良效果的影响

依据计算, 供试地区石膏需求量达到每亩地 1000~3000 公斤, 如果按石膏在蒸馏水中的溶解度(2 克/升)来看, 要把这些石膏全部溶解掉就需要灌水 500~1500 方。如此大的水量会迅速地抬高地下水位, 即使得到改良的碱化土壤也会重新发生返盐, 导致再度碱化。因此改良过程中的灌水量仍需进一步研究。

1) 0~60 cm 柱长的效果比较

从溶解量来看, B 处理的效果是灌水量小时转化量大。从施入量的转化率来看, A 处理的灌水量为 b 处理时, 转化率大; B 处理和 C 处理是灌水量大时转化率也大。

2) 0~40 cm 各柱长的改良效果比较

对于 A 处理, 灌水量越多其改良效果越差。而 B、C 处理的改良效率大致随着灌水量的增加而增加, 处理的改良效率与灌水量无多大的影响。

从交换性钠消耗的石膏数量看, A 处理是在灌水量小的情况下交换性钠的消耗石膏量大; B、C 处理是灌水量大交换性钠的消耗石膏量也大, 相应地, 碱化度随着灌水量的增加而减少, 但是二者之间并不成比例。

3) 0~20 cm 各柱长的改良效果比较

从石膏的溶解量[13]来看, A 处理中 b、c 两种灌水量对石膏的溶解率都将近 100%, 石膏溶解数量与灌水量的成倍增加没有关系; B 处理中石膏的溶解数量受灌水量的影响比较明显; C 处理中石膏的溶解数量受灌水量的影响更为明显。B、C 处理的改良效率大致随着灌水量的增加而增加。

从交换性钠消耗的石膏数量看, A 处理是在灌水量小的情况下交换性钠的消耗石膏量小; B、C 处理是灌水量大交换性钠的消耗石膏量也大, 相应地, 碱化度随着灌水量的增加而减少, 但是二者之间并不成比例。

对于 B 处理和 C 处理的改良效率大致随着灌水量的增加而增加。A 处理是刚开始随着灌水量的增加其改良效率也增加, 然后趋于恒定。

3.5. 改良季节的影响

对比两种季节各处理的石膏效率问题,发现石膏的溶解率夏季的普遍比冬季的高,各处理中被石膏改良后土壤的碱化度一般也是冬季比夏季的高,这定量地说明了改良的最适宜季节应该选择在夏季。

4. 讨论

4.1. 灌水量的确定

从整体上说,随着灌水量的增加,石膏的溶解量、转化量都有所增加,碱化度也相应地降低。但是这种线性关系达到一定程度后,相关关系将会逐渐变得不明显。这时加入过大的水量,会造成大量的渗漏损失,同时交换性镁也大量地消耗石膏,石膏用于消耗交换性钠的数量减少,因而改良效果也较差。

对于 A 处理的各段柱长,随着灌水量的增加石膏所起到的改良作用未见显著增加,但是其渗透量却大量增加。浪费了大量溶解的石膏、水量,造成无谓损失;但是 B 处理和 C 处理的改良效率大致随着灌水量的增加而增加。说明 A 处理,灌水量越多其改良效果越差,大量溶解的石膏还未发生改良反应就被下渗水流带到计划层以下;而 B 处理和 C 处理的改良效率大致随着灌水量的增加而增加。

因此,对各种处理要控制不同的水量,达到合理利用,应将灌水量控制在不超过 1278 ml (即 791 方/亩)为宜。

4.2. 石膏施用方式

对石膏与土全部混匀这一处理对石膏的利用很充分,石膏的溶解量大,转化量大,改良碱化土壤的效率高,经过改良后土壤的碱化率低,但是存在的问题是计划改良层存在石膏的渗漏问题,不能完成预定深度的改良计划。

把定量的石膏施在碱化土壤的表面这个处理,因其不与土壤混合,全靠上部灌溉水分的一次性溶解,使得石膏的溶解量很少,但随着时间的延续,改良效率十分理想。因其渗漏量、交换性镁消耗石膏的数量都很小,导致它的转化量大,脱碱率高,利于改良;而且 60 cm 处理的石膏发生改良反应后,降低了 pH 值,使得固相 CaCO_3 发生溶解, CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 与交换性钠发生化学反应,也利于碱化土壤的改良工作。

利用石膏与不同深度土柱的上部 20 cm 部分混匀这一系列处理,揭示石膏改良碱化土壤的最优方案。各处理的改良效果特点是自上而下逐步脱碱。究其原因一是“石膏的再溶解作用”使得改良向正反应方向进行;二是土柱下部 1/2 或 2/3 深度的大量碱化土壤对 0~20 cm 土层的下渗石膏不饱和溶液起到顶托作用,相当于延长反应时间,相对增加石膏的溶解量,利于改良过程的进行。而且石膏与浅层土壤混匀在生产上比较切实可行。

4.3. 温度的影响

高温比低温时,石膏的溶解量增加 1.47~1.50 倍,这是因为分子热运动增强,石膏的活化能提高所致。高温比低温时,交换性钠的脱出量高出 2.98~4.7 倍,交换性镁的脱出量高出 2.07~2.9 倍。这是因为交换性钠处在胶体的扩散层位置,易于活化又易于发生反应;交换性镁处于胶体的非活性离子层,不易活化又不易于发生反应。因此温度升高时,交换性钠的脱出量比交换性镁的脱出量高。土壤中的碱性盐存在于液相中,并且含量极低,石膏在短时间内足以与其全部反应。因此,温度的变化不能显示这些化学反应的变化;然而交换性钠、交换性镁的数量很大,与石膏发生的化学反应比较缓慢,当温度升高时,交换性钠和交换性镁的活化能都显著提高,有利于石膏的交换反应的进行;同时生成物又不断被下渗水流带走,也使化学反应正向进行速度加快。

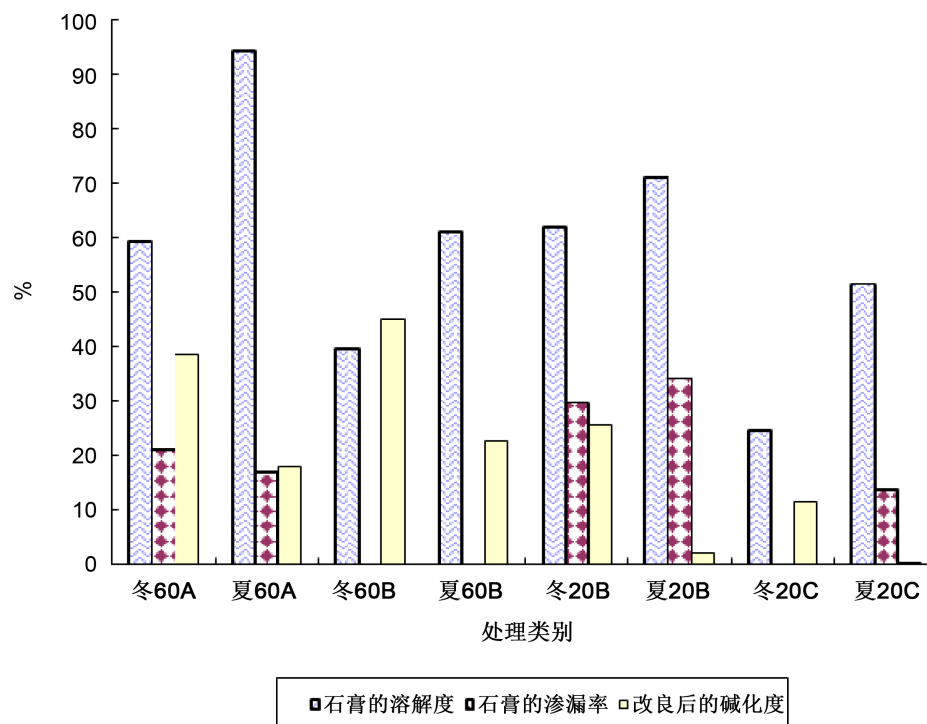


Figure 2. The effect of seasonal differences on gypsum improvement
图 2. 季节差异对石膏改良的影响

夏季各处理发生了大量的渗漏损失, 石膏溶解后, 还未来得及与碱性物质发生化学反应, 便以 CaSO_4 的形式被淋洗到计划层以下的现象。石膏溶解量大, 碱化土壤得到改良的机会就会多一些, 其物理、化学性质就会得到改善。透水性能加强, 使水流的下行速度很大, 溶解的石膏未能充分发生代换反应, 便被水流带到计划层以下, 造成无益损失(图 2)。

5. 结论

对比两季节各处理的石膏效率问题, 发现石膏的溶解率夏季的普遍比冬季的高, 各处理中被石膏改良后土壤的碱化度一般也是冬季比夏季的高, 这定量地说明了改良的最适宜季节应该选择在夏季。

本次试验土柱中作为重力水的运行通道, 只有 6.4% 的空间。石膏溶解后扩散到胶体表面需要一定的时间, 同时 Na_2SO_4 和 MgSO_4 扩散到重力水运行通道上也需要时间, 这就决定了交换反应是一个缓慢的过程。若滤液下渗过快, 就会造成反应速度小于下渗速度, 当计划改良层比较深时, 就避免了这种情况, 所以计划层越深越利于改良。计划层越深越利于改良是室内模拟的理想状态, 但在野外耕作无法保证 0~60 cm 深度范围内石膏与土能够全部混匀, 因而针对本处理石膏改良碱化土壤的效果, 确定计划改良层深度的至关重要。

因此, 为了达到既要改良碱化土壤的效果好, 又要节约水的目的, 可将 A、B 处理的灌水量控制在 198 ml (头二份滤液 100 ml, 再加上测得的土壤持水量 98 ml), 即 134.47 方/hm²。三种处理方式各有特点。因此建议将其优化组合, 先将一定量的石膏混匀的方式施入表层土壤, 灌入 134.47 方/hm² 的水, 然后采用将剩余的石膏表施于地表、灌水的方式, 比较经济。

资助项目

国家自然科学基金项目(41401559)、湖北省科技厅项目(2014CFB558)、湖北省教育厅项目(D20141001)

等项目共同资助。

参考文献 (References)

- [1] 徐鹏程, 冷翔鹏, 刘更森, 等. 盐碱土改良利用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 293-298.
- [2] 孙建敏. 不同耕作方式对盐碱化土壤改良效果试验[J]. 山东农业科学, 2010(5): 74.
- [3] 梁军, 田晓红, 肖俊兰, 等. 乐陵市盐碱土壤改良技术探析[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(10): 116-118.
- [4] 王新平, 赵春艳, 加孜拉, 等. 不同土壤改良剂对新疆盐碱土壤的改良效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 133-135.
- [5] 李玉波, 许清涛. 脱硫石膏对苏打盐碱土旱田的改良效果研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(1): 249-252.
- [6] 单德鑫, 黄河, 柳羽丰, 等. 改良剂组合对盐碱土的改良效果研究[J]. 安徽农业科学, 2014(35): 12491-12493.
- [7] V A 科夫达, I 沙波尔斯, 等. 中国科学院土壤研究所盐渍地球化学研究室, 译. 土地盐化和碱化过程的模拟[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 魏新平, 王文焰, 王全九, 等. 溶质运移理论的研究现状和发展趋势[J]. 灌溉排水, 1998, 17(4): 59-64.
- [9] 陈丽湘, 刘伟. 土壤次生盐渍化之水盐运动规律研究[J]. 工程热物理学报, 2006, 27(3): 466-468.
- [10] 刘亚传, 常厚春. 干旱区咸水资源利用与环境[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992.
- [11] 俞仁培, 尤文瑞. 土壤碱化的监测与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 85-90.
- [12] 孙宇男, 耿玉辉, 赵兰坡. 硫酸铝改良苏打盐碱土后各离子的变化[J]. 中国农学通报, 2011, 27(23): 255-258.
- [13] 石懿, 杨培岭, 张建国, 等. 利用 SAR 和 pH 分析脱硫石膏改良碱(化)土壤的机理[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(4): 4-10.
- [14] 任坤, 任树梅, 杨培岭, 等. CaSO_4 在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 77-79.
- [15] 肖国举, 秦萍, 罗成科, 等. 犁翻与旋耕施用脱硫石膏对改良碱化土壤的效果研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 433-437.
- [16] 肖国举, 罗成科, 张峰举, 等. 脱硫石膏施用时期和深度对改良碱化土壤效果的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 197-207.
- [17] 李取生, 李晓军, 刘长江, 等. 松嫩平原旱地碱化土壤改良与淋洗制度研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 145-148.
- [18] 黄晓明. 脱硫石膏对碱化土壤改良的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2009: 217.
- [19] 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, 2007, 28(2): 201-203.
- [20] 赵锦慧, 乌力更, 红梅, 等. 石膏改良碱化土壤中所发生的化学反应的初步研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 484-488.
- [21] 赵锦慧, 李杨, 乌力更, 等. 石膏改良碱化土壤的效果(I)——石膏土全部混匀的土柱系列[J]. 长江大学学报, 2005, 25(4): 8-11.
- [22] 赵锦慧, 李杨, 乌力更, 等. 石膏改良碱化土壤的效果(II)——石膏在土柱上部 20cm 混匀的土柱系列[J]. 长江大学学报, 2006, 3(1): 119-122.
- [23] 赵锦慧, 李杨, 乌力更, 等. 石膏改良碱化土壤的效果(III)——将定量石膏施在碱化土壤表面的系列处理[J]. 长江大学学报, 2006, 3(3): 111-114.
- [24] 赵锦慧, 乌力更, 李杨, 等. 石膏改良碱化土壤过程中最佳灌水量的确定[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 106-109.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5485，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aep@hanspub.org