

文章编号:1673-9469(2023)01-0035-06

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2023.01.006

新型水溶性保水剂改良盐渍土保水特性试验研究

郝社锋^{1,2}, 葛礼强^{1,2}, 任静华^{1,2}, 喻永祥^{1,2}, 刘瑾³, 蒋磊⁴, 卜凡³

(1. 自然资源部国土(耕地)生态监测与修复工程技术创新中心, 江苏 南京 210018; 2. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018; 3. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 211100; 4. 中国地质调查局乌鲁木齐自然资源综合调查中心, 新疆 乌鲁木齐 830057)

摘要: 针对我国西部存在的水资源匮乏及高强度蒸发作用而导致的土地盐渍化问题, 现选择一种新型水溶性保水剂对盐渍土进行生态改良, 提升其水分保持能力。开展室内保水性试验, 并根据试验结果, 选择适宜的新型水溶性保水剂浓度应用于现场试验; 同时监测、分析土壤湿度、温度以及电导率变化, 探究新型水溶性保水剂对盐渍土壤水分保持能力的影响。结果表明: (1) 新型水溶性保水剂溶液与土颗粒反应形成乳白色的弹性黏膜, 可存储土壤中的部分水分, 达到延缓蒸发作用的目的。 (2) 保水剂溶液浓度为 0.5% 时即可显著提升土壤的保水能力, 且土壤保水能力与保水剂溶液的浓度呈正比。 (3) 新型水溶性保水剂溶液可在一定程度上提升盐渍土的温度与湿度, 减少土层表面盐分的析出。

关键词: 盐渍土; 新型水溶性保水剂; 含水率; 保水能力

中图分类号: TU443

文献标识码: A

Experimental Study on Water Retention Characteristics of New Water-Soluble Water-Retention Agent for Improving Saline Soils

HAO Shefeng^{1,2}, GE Liqiang^{1,2}, REN Jinghua^{1,2}, YU Yongxiang^{1,2},
LIU Jin³, JIANG Lei⁴, BU Fan³

(1. Technology Innovation Center of Land (Cultivated Land) Ecological Monitoring and Restoration Project of the Ministry of Natural Resources, Nanjing, Jiangsu 210018, China; 2. Geological Survey Institute of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210018, China; 3. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 211100, China; 4. China Geological Survey Urumqi Natural Resources Integrated Survey Center, Urumqi, Xinjiang 830057, China)

Abstract: In view of the salinization problem caused by water scarcity and high evaporation in western China, a new water-soluble water-retaining agent is selected for the ecological improvement of saline soils, aiming to enhance their water retention capacity. This paper carries out indoor water retention tests and selects the appropriate concentration of new water-soluble water-retaining agent to be applied in field tests according to the water retention test results. Meanwhile, the soil moisture, temperature and conductivity changes are monitored and analyzed to investigate the effect of the new water-soluble water-retention agent on the water retention capacity of saline soils. The result shows that: (1) the new type of water-soluble water retaining solution reacts with soil particles to form a milky elastic mucosa, which makes part of the water to be stored between the membrane structure and soil particles, and the existence of the membrane structure also changes the time of water movement upward and delays the evaporation effect; (2) when the concentration of water retaining solution is 0.5%, the water retention capacity of the soil is significantly improved, and, the soil water retention capacity is gradually en-

收稿日期: 2022-09-19

基金项目: 自然资源部国土(耕地)生态监测与修复工程技术创新中心开放课题(GTST2021-006); 江苏省省级耕地污染防治项目(苏财建[2017]123号); 国家自然科学基金资助项目(41877212)

作者简介: 郝社锋(1977-), 男, 陕西西安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事土体改良、环境治理等研究。

hanced with the concentration of water retaining solution; (3) The use of new water-soluble water retaining solution can improve the temperature and humidity of soil in salinized areas to a certain extent, reduce the salt separation on the surface of soil layer. The results can provide some references for improving soil water conservation in saline soil area under strong evaporation.

Key words: saline soil; new water-soluble water-retaining agent; moisture content; water retention

土壤的盐渍化是由于强烈的蒸发作用导致其表层积聚过多的可溶性盐,造成土壤密实度提升,同时弱化了通气、透水性,破坏了耕层结构,进而对农作物的生长、发育产生巨大的危害^[1-3]。据统计,我国盐渍化土地面积约为 $34.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (不包含滨海滩涂),且土地盐渍化的范围跨度较大,自沿海湿润地区到内陆干旱荒漠区,均存在大量的盐渍化区域^[4-5]。因此,针对盐渍土的综合改良与治理,对我国的生态环境保护以及农业的可持续发展具有重要的现实意义。

目前,对于盐渍土改良较为普遍且有效的方法是通过添加化学改良剂,以离子交换的方式达到降低土壤盐碱度,提升土壤水土保持的能力。例如,采用脱硫石膏、风化煤等可提升盐碱土的水分入渗速率,对土壤脱盐产生积极的影响^[6-7]。相关研究表明,脱硫石膏的掺入可降低盐碱土中的粘粒占比,以提升土壤孔隙度,加速脱盐过程,且对于高粘粒含量盐碱土的改良效果更佳^[8]。同时,土壤碱化程度降低,农作物生长效率提高,也可在一定程度上延缓了盐碱化胁迫程度^[9-10]。除化学改良外,研究人员还通过开展生物手段对盐渍土进行改良^[11-12]。景宇鹏等^[13]发现,种植田菁可有效提升盐渍土壤的总孔隙度、毛管孔隙度等,并降低其碱化度与全盐量,逐渐恢复土壤肥力。于英钊等^[14]则利用蚯蚓与丛枝菌根真菌的互作方式对滨海盐碱地进行改良,结果显示添加蚯蚓和接种菌根真菌在改良土壤盐渍化的同时,还可提高农作物对于营养元素的吸收率,进而提升其产量。然而,上述改良方法虽能够有效地缓解土壤盐渍化的趋势,但仍存在部分不足,如易产生其他形式的二次污染、治理成本较高等,难以达到可持续的治理效果^[15-16]。

综合以上研究,本文采用一种新型水溶性保水剂对盐渍土进行改良。通过室内蒸发试验获得新型水溶性保水剂的适宜添加浓度;并基于此开展现场植被种植试验,监测、分析土壤的湿度、温度以及电导率,从而探究新型水溶性保水剂对盐渍土壤水分保持能力的影响,以期改良我国强蒸发作用盐渍土地地区土壤的水分保持能力提供参

考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本次试验所用盐渍土均取自于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州尉犁县农二师三十三团,室内测得其基本物理性质如表1所示。所用新型水溶性保水剂是以多羟基化合物与多异氰酸经一系列化学反应制得,在自然状态下呈浅黄色粘稠状液体(图1(a)),并能与任意比例水混合形成乳白色溶液(图1(b))。

表1 试验盐渍土的基本物理性质

Tab. 1 Basic physical properties of tested saline soil

比重	最优含水率/%	最大干密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	液限/%	塑限/%	塑性指数
2.72	14.13	1.73	24.55	15.34	9.21

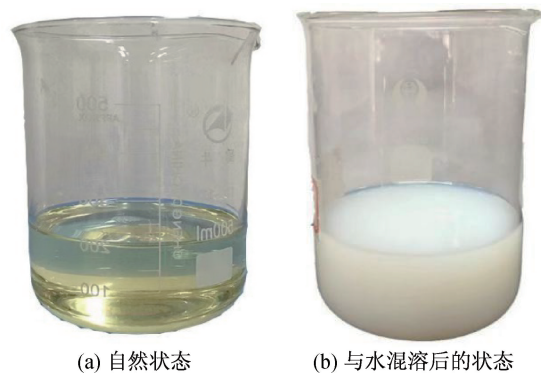


图1 新型水溶性保水剂

Fig. 1 New water-soluble water-retaining agent

1.2 试验方法

1.2.1 室内保水性试验

室内保水性试验选择的盛装样品的容器为尺寸 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的亚克力盒;新型水溶性保水剂溶液的浓度(P_c)设置分别为 0、0.5%、1.5%、2.5%、3.5%,溶液浓度的计算方法如公式(1)所示;试样的初始含水率(w_i)设置为 30%,初始含水率计算方法如公式(2)所示。试样制备过程如下:首先将盐渍土进行烘干、研磨并过 2 mm 的筛,随后称取 300 g 盐渍土置于亚克力盒中,并

平整其表面;根据公式(1)配置各浓度的保水剂溶液;最后按所设试样的初始含水率,利用喷壶将保水剂溶液均匀、等量地喷洒于盐渍土表面即可。

在试验过程中,控制环境温度与相对湿度分别为 25 ℃ 与 50%。定时称量样品的质量,且不同浓度保水剂溶液均设置 2 个对照样品。最后根据各时间段样品水分散失情况,评估不同浓度保水剂溶液对于盐渍土保水性能的影响,计算结果取各对照样品的平均值。

$$P_c = \frac{m_p}{m_w} \tag{1}$$

式中, P_c 表示保水剂溶液的浓度(%); m_p 表示保水剂的质量(g); m_w 表示所用水的质量(g)。

$$w_i = \frac{m_w}{m_s} \tag{2}$$

式中, w_i 表示样品的初始含水率(%); m_w 表示所用水的质量(g); m_s 表示所用盐渍土的质量(g)。

1.2.2 现场种植试验

现场试验选择盐地碱蓬作为试验作物,且种植时表面无薄膜覆盖。通过布设 Watchdog 2400 监测探头对土壤温度、湿度以及电导率进行监测与采集。以试验组 A 为例,在植被种植带一侧设置滴灌带,并于滴灌点处进行监测仪器的布设(图 2)。设置 4 级监测深度,监测探头的埋藏深度(d)分别为 7、14、21、28 cm。此外,两试验地的浇灌量均相等,当撒种完毕后,即可于试验组 B 进行保水剂溶液的喷洒,溶液喷洒量设置为 1 L/m²,而试验组 A 则以等量水进行浇灌。

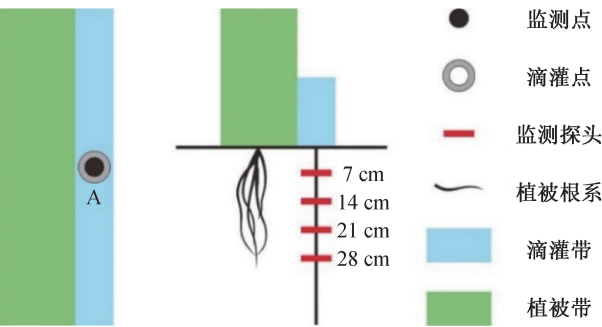


图 2 现场试验监测仪器布设示意图

Fig. 2 Schematic diagram of monitoring instrument layout in field tests

同时,根据室内保水试验的结果显示,当新型水溶性保水剂溶液的浓度为 0.5% 时,即可使盐渍土的保水能力获得有效地提升。并且考虑经济效益,故在现场试验中设置保水剂溶液的浓度为 0.5%,具体参数设定如表 2 所示。

表 2 现场试验参数设定

Tab. 2 Field test parameter setting

试验组	试验地面积 S/m^2	保水剂溶液浓度 $P_c/\%$
A	13 333	0.00
B	13 333	0.5

2 结果与讨论

2.1 不同浓度保水剂的效果

图 3 所示为添加不同浓度保水剂溶液样品的含水率变化曲线。从图中可知,当样品中所添加保水剂溶液的浓度越高,其含水率的下降趋势越缓慢。

在干燥初期(约进行 80 h),各样品之间的含水率下降幅度无明显差异(图 3(a)阶段)。而随着干燥过程的持续进行,约至 130 h 时,在该蒸发时段内(80~130 h)各样品的含水率均大幅下降。其中,素土样品的含水率呈现“断崖式”的下降趋势;相反,添加保水剂溶液的样品,其保水能力随着溶液浓度的提升逐渐增强,尽可能地保留了土壤内部水分不被蒸发(图 3(b)阶段)。值得关注的是,当干燥时间超过 130 h 时,素土样品内部的含水率仍持续下降,而添加保水剂溶液样品的含水率曲线则基本稳定,蒸发作用停止(图 3(c)阶段)。

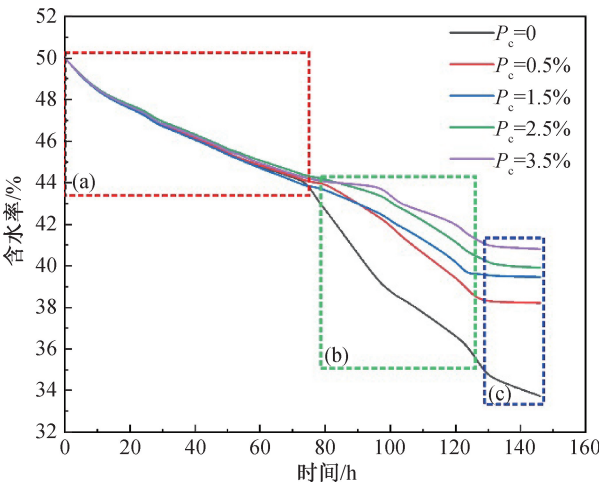


图 3 添加不同浓度保水剂试样的含水率变化曲线

Fig. 3 Curves of water content of samples with different concentrations water retaining agents

图 4 为保水剂溶液对于提升盐渍土保水能力的作用机理示意图。如图 4(a) 所示,未添加保水剂的土壤经持续蒸发作用,仅有较少的水分残留在内部。而将新型水溶性保水剂溶液喷洒至土壤表面,且在逐渐下渗的过程中,溶液与土颗粒之间将逐渐形成乳白色的弹性黏膜(图 4(b))直至稳定。当土壤外部持续提供热能,内部水分子有克

服液体间分子力、逃逸至大气的趋势。然而,由于弹性黏膜的存在,部分水分运移通道被拦截,由此即可达到提升盐渍土保水能力的作用。

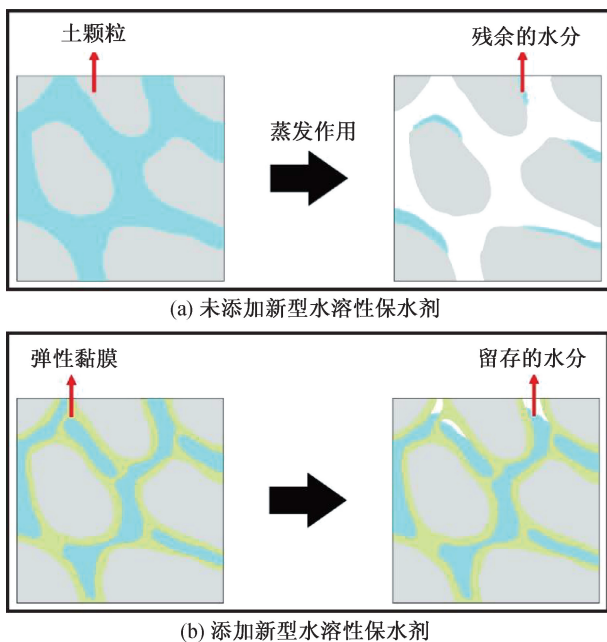


图4 新型水溶性保水剂提升盐渍土保水能力机理示意图
Fig.4 Diagram of mechanism of new water-soluble water-retaining agent improving water retention capacity of saline soil

2.2 现场试验应用效果

图5为试验A、B两组5—7月连续监测得到的各深度土壤湿度的变化情况。由图5(a)可知,随着滴灌作业的持续进行,土壤深度为7 cm处,对照试验地(A)经监测得到土壤湿度于20%处上下波动;而试验B组的监测结果则显示土壤湿度一直处于较高水平的状态(60%~70%),形成大量的富水区域。土壤深度14 cm处,试验A、B两组的监测结果的趋势均未发生明显的变化,前者土壤湿度于30%处上下浮动,后者则仍处于较高的湿度水平。分析21 cm监测深度的数据发现,监测初期至中期(5—6月)A、B区域土壤湿度较为接近且变化平稳,但A区的土壤湿度仍略高于B区;在监测初期—中期,试验区A、B的土壤湿度逐步上升,且后者较后者的上升幅度更大。

综合上述监测结果分析可知,喷洒保水剂溶液的区域(试验地B),各深度的土壤湿度一直处于较高水平。原因可参考室内试验所得结论,即保水剂溶液喷洒至土壤表面后,不断下渗且在下渗过程中与土颗粒之间产生胶结作用,形成具有弹性的网状黏膜,阻断了部分的水分运移通道(图4(b)),能够有效地减少新疆地区强蒸发作用而造

成的土壤内部水分流失现象,为植被的生长、发育提供了良好的水分环境。相反地,由于新疆地区高强度的日照作用,未经保水剂溶液处理的试验地A中水分持续地被抽离,进而导致土壤湿度一直处于较低水平。此外,大量的水分蒸发的同时也伴随着盐分的析出,导致土壤盐渍化问题进一步加剧。

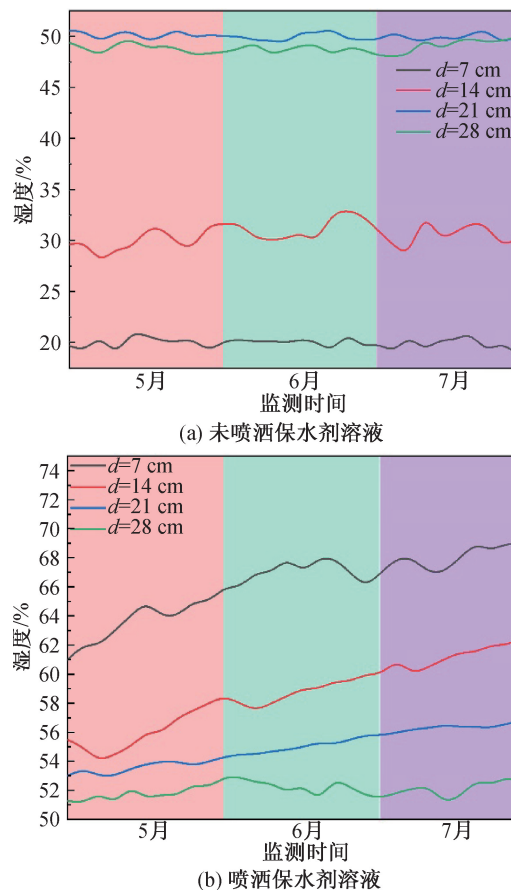


图5 不同监测深度土壤湿度-时间变化曲线
Fig.5 Curves of soil moisture and time at different monitoring depths

对于土壤温度的调控,其内部水分含量起着至关重要的作用。图6为A、B试验地各深度之间土壤温度的变化曲线。在监测初期—中期,试验区A、B的土壤温度逐步上升,且后者较前者的上升幅度更大;当监测进入中后期,由于气候变化,外部气温升高,提升了蒸发作用的强度,两试验区的土壤温度均出现了下降,而试验区B的下降幅度较为平缓,监测结果显示土壤温度逐渐回升并趋于稳定。整体而言,各深度土壤温度随时间的推移均呈逐渐上升的趋势,相同深度条件下,B区土壤温度均略高于A区。产生上述现象的原因是由于水的比热容较土体更高,喷洒保水剂溶液有效地延缓了试验地土壤的蒸发作用,使各深度土

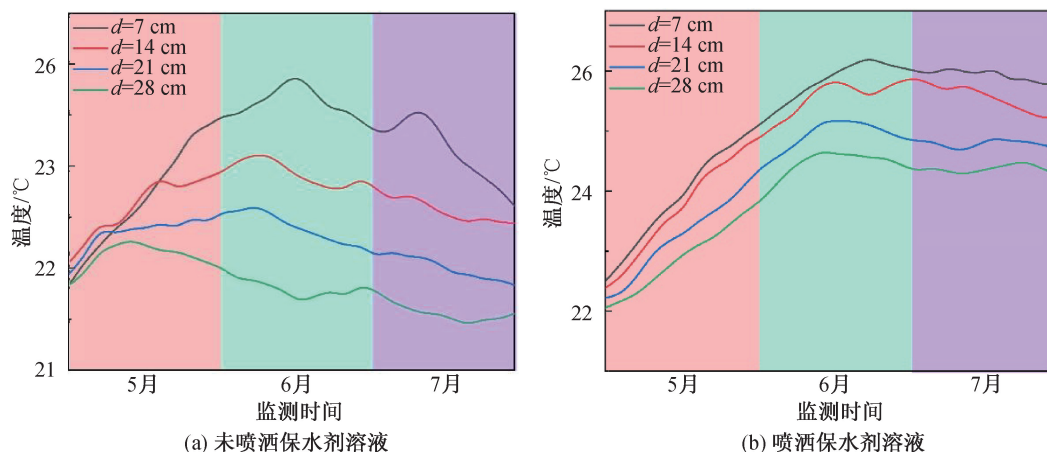


图 6 不同监测深度土壤温度-时间变化曲线

Fig. 6 Curves of soil temperature and time at different monitoring depths

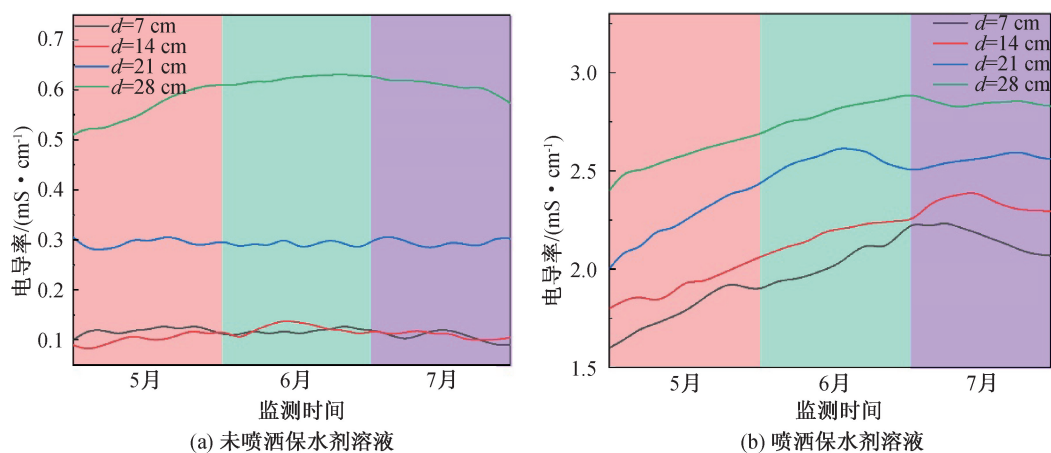


图 7 不同监测深度土壤电导率-时间变化曲线

Fig. 7 Curves of soil conductivity and time at different monitoring depths

壤湿度均高于对照试验地,因此提升了土壤温度。此外,根据图 6 可知,试验区 B 各深度之间的土壤温度随监测时间变化的差异较小,随着滴灌作业的持续进行,土壤温度于监测中后期开始基本稳定在约 24 °C ~ 27 °C。这与前文所得结论一致,即保水剂溶液与土颗粒反应而形成的网状黏膜锁住了部分水分,进而在土壤内部形成了大面积的水分“聚集区”,降低了因新疆地区早、晚间温差较大而产生的影响,以达到保持土壤温度相对稳定,促进种子萌发的目的,且这一弱化蒸发作用的有效深度可达约 30 cm。

反观试验区 A 的温度-时间曲线可知,在监测前期,外界温度较低导致土壤蒸发作用较弱,土壤可保留部分水分。然而,未经保水剂溶液养护的土壤内部水分被迅速地抽离。同时,由于强蒸发作用的持续进行,滴灌作业所提供的水分仅使得土壤表层区域维持湿润状态。

此外,对于水溶液而言,测量电导率可评估溶液内含溶质盐的浓度,因此可通过监测不同深度土壤电导率的变化,反映盐分的析出程度。图 7 为 A、B 试验区土壤不同深度的电导率变化情况。分析监测数据可知,当土壤深度为 7 ~ 28 cm 时,各深度电导率变化幅度基本一致,且呈现逐渐上升的趋势,其中深度为 28 cm 时土壤的电导率较高。然而,分析未处理区土壤的电导率监测值可知(图 7 (a)),滴灌后监测区域的浅层土壤的电导率均接近于 0,仅当深度为 21 cm 与 28 cm 处存在微弱的电信号。综合前文分析可知,产生上述现象的原因也是由于保水剂溶液与土颗粒反应而成的弹性黏膜锁住了部分水分,同时延缓了水分的蒸发作用,使得盐分难以结晶析出。而对照试验区则由于强烈的蒸发作用使得土壤内部的水分被迅速抽离,导致大量的盐分析出,故监测得到其电导率接近于 0。

3 结论

本文采用一种新型水溶性保水剂,开展室内保水试验,通过定时记录室内试验样本的含水率,以获得保水剂溶液的适宜添加浓度;并基于此开展现场试验,通过监测、采集现场不同深度土壤湿度、温度以及电导率的变化情况,以探究新型水溶性保水剂对盐渍土保水能力的影响,得到以下结论:

1)新型水溶性保水剂溶液(以多羟基化合物与多异氰酸经一系列化学反应制得)与土颗粒反应形成乳白色的弹性黏膜,可使部分水分存储于膜结构与土颗粒之间,且膜结构的存在也改变了水分向上运移的时间,延缓了蒸发作用。

2)当添加保水剂溶液浓度为0.5%时即可显著提升土壤的保水能力,且随着添加保水剂溶液浓度的提升,土壤保水能力逐渐增强。

3)新型水溶性保水剂溶液的使用可在一定程度上提升盐渍化地区土壤的温度与湿度,并使二者处于相对恒定的状态,同时可减少土层表面盐分的析出。

参考文献:

- [1] KARIMOV A, QADIR M, NOBLE A, et al. Development of Magnesium-Dominant Soils Under Irrigated Agriculture in Southern Kazakhstan[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(3): 331-343.
- [2] 李彬,王志春,孙志高,等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2005(2): 154-158.
- [3] 高珊,杨劲松,姚荣江,等. 改良措施对苏北盐渍土盐碱障碍和作物磷素吸收的调控[J]. *土壤学报*, 2020, 57(5): 1219-1229.
- [4] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. *水土保持研究*, 2005(6): 32-34+111.
- [5] 樊丽琴,杨建国,尚红莺,等. 脱硫石膏施用下宁夏龟裂碱土水盐运移特征[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(3):

134-139.

- [6] 樊丽琴,杨建国,尚红莺,等. 脱硫石膏施用下宁夏盐化碱土水盐运移特征[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(3): 193-196.
- [7] 王洁,校亮,毕冬雪,等. 风化煤改变黄河三角洲盐渍化土壤溶液组分的过程[J]. *土壤学报*, 2018, 55(6): 1367-1376.
- [8] 张辉,陈小华,付融冰,等. 脱硫石膏对不同质地滨海盐碱土性质的改良效果[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(7): 4397-4403.
- [9] 胡慧,马帅国,田蕾,等. 脱硫石膏改良盐碱土对水稻叶绿素荧光特性的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(12): 2439-2450.
- [10] ZHAO Yonggan, WANG Shujuan, LI Yan, et al. Long-term Performance of Flue Gas Desulfurization Gypsum in a Large-scale Application in a Saline-alkali Wasteland in Northwest China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, 261: 115-124.
- [11] 何海锋,吴娜,刘吉利,等. 柳枝稷种植年限对盐碱土壤理化性质的影响[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(2): 285-292.
- [12] 林年丰,刘岩岩,汤洁,等. 俄罗斯黄花草木樨改良盐碱化土壤的试验性研究[J]. *土壤通报*, 2013, 44(5): 1198-1203.
- [13] 景宇鹏,林春野,赵沛义,等. 5种植物改良河套灌区盐渍化土壤的效果研究[J]. *土壤与作物*, 2020, 9(2): 114-125.
- [14] 于英钊,王冲,孙梦实,等. 蚯蚓-菌根互作对滨海盐碱土的改良作用[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(5): 123-129.
- [15] WANG Yugang, WANG Zhufeng, LIANG Feng, et al. Application of Flue Gas Desulfurization Gypsum Improves Multiple Functions of Saline-Sodic Soils Across China[J]. *Chemosphere*, 2021, 277.
- [16] FU Yanrong, HE Kun, ZHOU Chunliang, et al. Improvement of Saline-Alkaline Soil via Flue Gas Desulfurization Gypsum and Safety Analysis of the Associated Heavy Metals[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021.

(责任编辑 王利君)