

有机硅功能肥对盐碱土壤水分运移的影响

宋福如¹ 宋利强¹ 曹子库^{2*} 康莲薇³ 李东霞⁴

(1.河北省农业科学研究院 河北硅谷肥业有限公司 邯郸 057151; 2.河北省永年区农业农村局 邯郸 057151; 3.河北工程大学材料科学与工程学院 邯郸 056038; 4.河北工程大学园林与生态工程学院 邯郸 056038)

摘 要:【目的】明确纳米活性硅酸钙、有机硅功能肥对土壤持水、保水、渗水等水盐运移规律的影响。【方法】以普通耕层土和配制盐碱土(CK)为样本,实验设置 8 个处理:CK(耕层土)、G+F(耕层土+复合肥)、G+5%(耕层土+5%有机硅肥)、G+10%(耕层土+10%有机硅肥)、Y(盐碱土)、Y+F(盐碱土+复合肥)、Y+5%(盐碱土+5%有机硅肥)、Y+10%(盐碱土+10%有机硅肥),每个处理做三个平行实验。5%代表一亩地加入 5kg 的有机硅肥,10%代表一亩地加入 10kg 的有机硅肥。采取室内一维垂直土柱入渗实验,论文的主要研究内容如下:(1)不同条件处理下土壤的入渗湿润锋、含水率通过土柱入渗实验,探究不同处理条件下土壤在垂直入渗中水分运移的影响,进而判断对土壤湿润锋、累计入渗量、入渗后土壤含水率的影响。(2)不同处理条件下土壤的盐分含量、理化性质对入渗后的土壤进行取样,检测其中盐分浓度、pH、含水率,研究不同条件对土壤中盐分、含水率与 pH 之间的影响。【结果】结果表明,在耕层土中,加入 5%和 10%的有机硅肥、复合肥和 A 型活性硅肥时,土壤入渗速率加快,其中加入 5%的有机硅肥入渗速率最快。对于土壤的保水性而言,加入 5%有机硅肥的土壤比加入 10%有机硅肥的土壤效果更好,对于配置的盐碱土而言,加入 10%的有机硅肥才会加快水分的入渗速率,反而加入 5%有机硅肥和复合肥会减缓水分的运移,这两种的保水性也是最好的,其中加入 5%有机硅肥的效果更明显。【结论】在耕层土中,5%和 10%的有机硅肥、复合肥和 A 型活性硅肥促进土壤水分入渗,其中加入 5%的有机硅肥时土壤中水分入渗速率最快,加入 B 型活性硅肥反而会减缓土壤入渗速率;对于土壤的保水性而言,5%有机硅肥的土壤比 10%有机硅肥的土壤效果好,并不是加入有机硅肥的量越多越好。对于配置的盐碱土而言,加入 10%的有机硅肥会加快水分的入渗速率,反而加入 5%有机硅肥和复合肥会减缓水分的运移;保水性而言有机硅肥的保水性也是最好的,其中加入 5%有机硅肥的效果更显著。

关键词: 盐碱土壤; 有机硅功能肥; 活性硅酸钙; 水盐运移;

中图分类号 Q958.15; S154.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7488 () -0000-00

Effect of organosilicon functional fertilizer on water transport in saline soil

SONG Fu-ru¹, SONG Li-qiang¹, CAO Zi-ku², KANG Lian-wei³, LI Dong-xia⁴

(1. Hebei Silicon Valley Academy of Agricultural Sciences, Yongnian Handan 057151; 2. Yongnian District Agriculture and Rural Bureau of Handan City, Yongnian Handan 057151; 3. School of Materials Science and Engineering/Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038; 4. School of Landscape and Ecological Engineering Handan Hebei 056038)

Abstract: [Objective] To clarify the effect of nano-active calcium silicate and organosilicon functional fertilizer on soil water retention, water retention, water seepage and other water and salt transport rules. **[Method]** With the samples of common topsoil and salt-alkali soil (CK), the experiment set up 8 treatments: CK (topsoil), G+F(topsoil +compound fertilizer), G+5%(topsoil +5% organic silicon fertilizer), G+10% (topsoil +10% organic silicon fertilizer), Y(saline alkali soil), Y+F (saline alkali soil +compound fertilizer), Y+5% (saline alkali soil +5% silicone fertilizer), Y+10%(saline alkali soil +10% silicone fertilizer), and three parallel experiments were performed for each treatment. 5% represents the addition of 5kg of silicone fertilizer to one acre, and 10% represents the addition of 10kg of silicone fertilizer to one acre. The main research contents of this paper are as follows: (1) Through soil column infiltration experiment, the influence of soil moisture transport under different treatment conditions in vertical infiltration is explored, and then the influence on soil wetting front, cumulative infiltration amount and soil moisture content after infiltration is judged. (2) The soil after infiltration was sampled to detect the soil salt content and physical and chemical properties under different treatment conditions. And the influence of different conditions on soil salt, moisture content and pH were studied. **[Result]** The results show that soil infiltration rate was accelerated when 5% and 10% organic silicon fertilized the infiltration rate of 5% organic silicon fertilizer was the fastest. For soil water, compound fertilizer and type A active silicon fertilizer were added to the topsoil, water retention

on, the effect of two kinds of active silicon fertilizer was the best, and the soil with 5% organic silicon fertilizer is better than the soil with 10% organic silicon fertilizer. But for the configuration of saline alkali soil, adding 10% organic silicon fertilizer will accelerate the water infiltration rate. On the other hand, adding 5% organic silicon fertilizer and compound fertilizer will slow down the migration of water. The water retention of these two kinds is also the best, and the effect of adding 5% organic silicon fertilizer is more obvious. **[Conclusion]** In the topsoil, 5% and 10% organic silicon fertilizer, The rate of soil water infiltration was the fastest when adding 5% organic silicon fertilizer, but the rate of soil water infiltration was slowed down when adding type B active silicon fertilizer. For soil water retention, the effect of active silicon fertilizer is the best. The soil of 5% organic silicon fertilizer is better than the soil of 10% organic silicon fertilizer, but the more the amount of organic silicon fertilizer is added, the better. For the saline-alkali soil, adding 10% organic silicon fertilizer will accelerate the water infiltration rate, while adding 5% organic silicon fertilizer and compound fertilizer will slow down the water migration. In terms of water retention, the water retention of organic silicon fertilizer is also the best, and the effect of adding 5% organic silicon fertilizer is more significant.

Key words: saline-alkali soil; Silicone functional fertilizer; Active calcium silicate; Water and salt transport;

盐碱地的一般特性是:土壤层容易积水,土壤透气透水能力较弱,土壤中酶活力低,天然有机质变化缓慢,土壤肥力较低,压实性好,渗透系数较小^[1]。盐碱化土壤的主要危害是影响植物的生长发育,造成作物减产^[2]。它影响植物对矿物质的吸收、利用和积累,抑制植物的生长发育,影响作物的产量和质量。它还降低土壤的保肥能力、破坏土壤结构,抑制土壤中微生物的活性和繁殖。其次,由于土壤理化性质差,在一些盐碱地地区,除生长少数耐盐植物外,基本上寸草不生,造成大面积森林和草原退化,进一步加剧了温室效应,严重影响了当地及周边地区的生态环境^[1]。土壤水是土壤中重要的组成部分,土壤水的运移直接影响植物和农作物的生长,影响地表径流的产生和洪水等自然灾害,从而直接影响生态环境和人类生存,因此土壤水一直是研究的热点^[3]。土壤水分运移主要包括土壤水分入渗、田间持水量和水分蒸发三个部分,其直接影响农作物的生长及田间的水分利用率,土壤中的水分不仅在植物生长期间对植物进行水分补给,还是地下水、植物水、大气水之间相互转换的桥梁^[4]。土壤水分渗透是指水从土壤表面向土壤渗透土壤水分运移的重要过程,而土壤水分蒸发是指土壤中的水分以蒸汽的形式进入大气。入渗决定了进入土壤的水量,蒸发量决定了从土壤流出的水量。两者都是土壤水分循环的重要影响因素。因此,土壤水分的渗透和蒸发得到了广泛的研究。它不仅影响土壤的理化性质,而且还会对植物的生长起着很重要的作用。。1856 年达西定律的提出开启了土壤水分运动理论的篇章^[5],之后关于土壤水分运移的研究进入了快车道,1907 年 Buckingham 将能量引入了土壤水分运移的研究当中,1931 年 Richards 提出了多孔介质中水流运动的基本方程,1960 年 Nielson 提出土壤溶质运移的对流—弥散方程,开创了土壤溶质运移的新局面^[6]。土壤水分迁移主要受土壤结构、土壤质地、气候条件、初始含水量和耕作方式的影响,进而影响土壤含水量和土地利用率^[7]。本研究通过有机硅功能肥和纳米活性无机硅肥对盐碱土壤的水分入渗实验发现,能够有效提高土壤水分入渗速率,增加土壤入渗总量。有机硅功能肥具有能够改善土壤的理化性质,提高土壤的持水能力、保水保肥能力。

1 研究区概况

研究区位于吉林省白城市大安市两家子镇、龙沼镇和新平安。地处白城——扶余冲积洪积扇平原与冲积平原区,地势呈波状起伏,境内河道属霍林河流域,流域面积 240 平方千米,占霍林河流域面积的 49%,河流总长度 15 千米,河网密度 1.2 千米/平方千米,较大湖泊有两家泡、小西米泡 属半干旱向半湿润的过渡地带^[8]。根据第二次全国土地调查数据显示,大安市耕地 212.22 万亩、林地 66.55 万亩、草原(人工草地、天然草地) 38.67 万亩、盐碱地 164.61 万亩、其他草地和裸土地 115.69 万亩^[9]。大安市耕地

后备资源丰富,未利用地总面积 186 万亩,占总幅员 24.5%。具有可靠地表水资源的未利用地面积约 53.5 万亩,其中龙海片区内未利用地 37.2 万亩,小西米片区内未利用地 16.35 万亩^[10]。

2 研究方法

2.1 试验材料

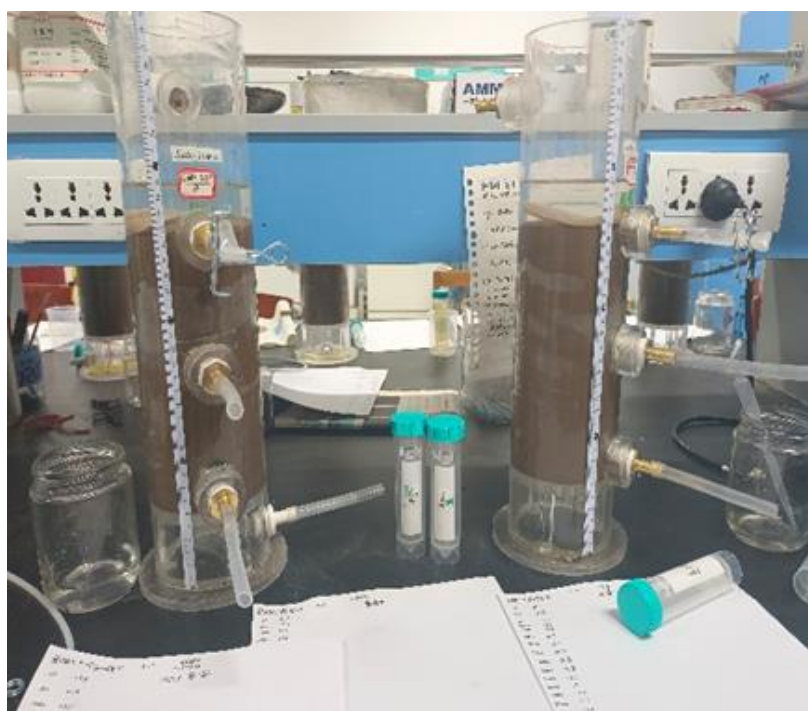
耕层土 取自河北工程大学大学生试验基地,采集深度为 0~20cm,土壤去除石子等杂质,进行研磨,过 2mm 筛,确保土壤均一。用 50.46×50mm 的环刀取土样进行土壤容重的测定^[11]。

盐碱土 用新平安万亩示范方土样,采集深度为 0~20cm,土壤去除石子等杂质,进行研磨,过 2mm 筛,确保土壤均一^[12]。

2.2 试验设计

实验设置 8 个处理:CK(耕层土)、G+F(耕层土+复合肥)、G+5%(耕层土+5%有机硅肥)、G+10%(耕层土+10%有机硅肥)、Y(盐碱土)、Y+F(盐碱土+复合肥)、Y+5%(盐碱土+5%有机硅肥)、Y+10%(盐碱土+10%有机硅肥),每个处理做三个平行实验。5%代表一亩地加入 5kg 的有机硅肥。

土样处理: 首先将土中石子等杂质去除,然后将土进行研磨后过 2mm 的筛,之后进行土柱装土,土壤容重为 1.325g/cm³,土柱内径为 9cm,高 40cm,土柱内每层土重 337g,土柱共装五层,进行入渗试验时保持定水头 3cm。入渗完成后,从土柱预留位置处取土样(最上层、中间部位、下层),如下图 2.1 所示。



土样采完后取一部分放入烘箱中进行烘干,测定入渗过后土壤的含水率,另取一部分土样等自然风干后制取土壤浸提液,用来测定土壤的电导率和 pH^[13]。

2.3 试验方法

2.3.1 土壤浸提液的制备

经过实验前查阅文献得知,大多数的土壤浸出液都是按水土比 1:1, 2:1, 5:1, 10:1 来配制的,本文选用的是按水土比 5:1 来配制土壤浸出液^[14]。

用分析天平准确称取 20g 风干土放入烧杯中，加入 100mL 去离子水，搅拌，抽滤，滤液定容于 100 mL 容量瓶中，即为 5:1 的土壤浸出液。

2.3.2 全盐量的测定

土壤中全盐量的测定方法主要是用重量法。用 10mL 移液管量取 10mL 土壤浸出液于干燥至恒重的烧杯中，放入烘箱中在 105~110℃ 烘干，冷却，称量，计算全盐量^[15]。

2.3.2 土壤 pH 和电导率（EC）值的测定

量取土壤浸提液 30mL 于小烧杯中，用梅特勒酸度计测定 pH 值，用雷磁电导率仪测定电导率。

3 结果与分析

3.1 土壤水分入渗和攀升

3.1.1 土壤水分入渗

CK（耕层土）、G+F（耕层土+复合肥）、G+5%（耕层土+5%有机硅肥）、G+10%（耕层土+10%有机硅肥）；Y（盐碱土）、Y+F（盐碱土+复合肥）、Y+5%（盐碱土+5%有机硅肥）、Y+10%（盐碱土+10%有机硅肥）；水分入渗实验：土壤容重为 1.325g/cm³，土柱内径为 9cm，高 40cm，土柱内每层土重 337g，土柱共装五层，进行入渗试验时保持定水头 3cm。数据如下：

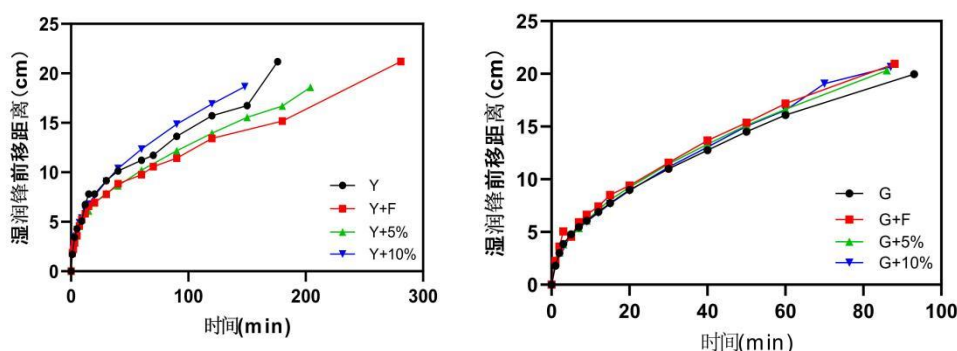


图 1 盐碱土和耕层土水分入渗比较

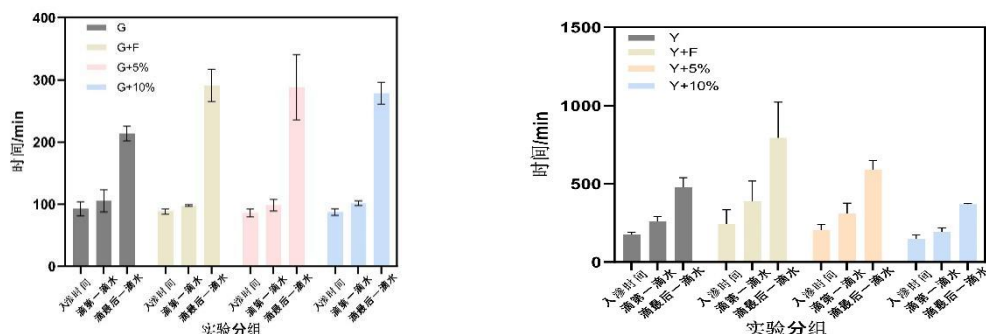


图 2 盐碱土和耕层土水分入渗总时间

3.1.2 土壤水分攀升

CK（耕层土）、G+F（耕层土+复合肥）、G+5%（耕层土+5%有机硅肥）、G+10%（耕层土+10%有机硅肥）；Y（盐碱土）、Y+F（盐碱土+复合肥）、Y+5%（盐碱土+5%有机硅肥）、Y+10%（盐碱土+10%有机硅肥）；去离子水和盐水水攀升：土柱分六层装柱，每层 3cm，土壤容重按照 1.325g/cm³，土柱内径 5cm，每层装 78g 土，用马氏瓶控制水流，数据如下：

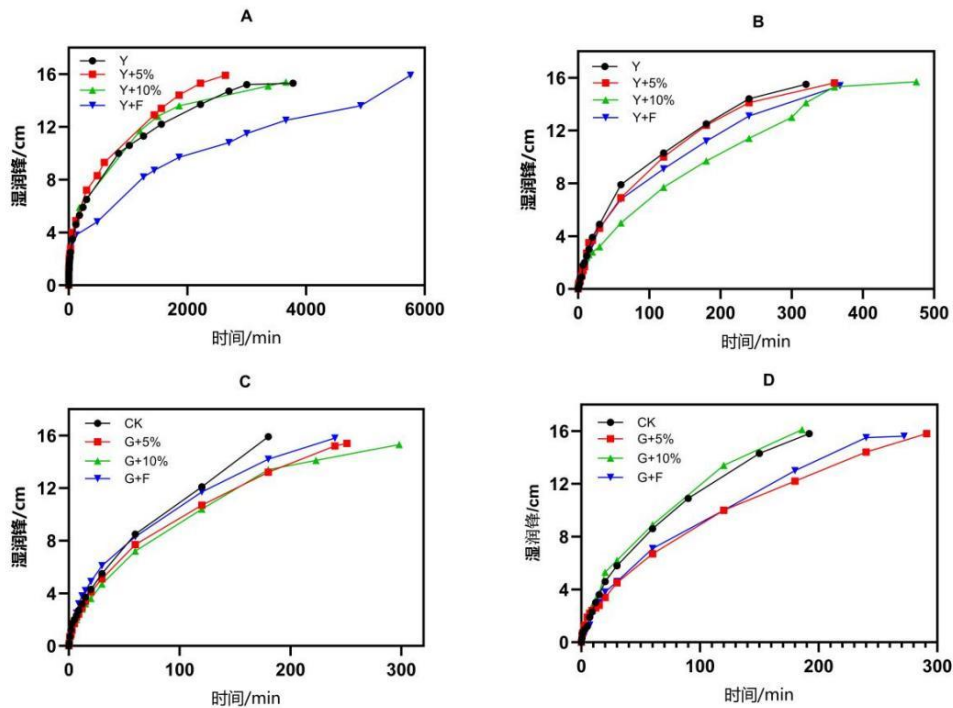


图3 盐碱土和耕层地下水攀升比较
A. 盐碱土去离子水攀升 B. 盐碱土盐水攀升
C. 耕层土去离子水攀升 D. 耕层土盐水攀升

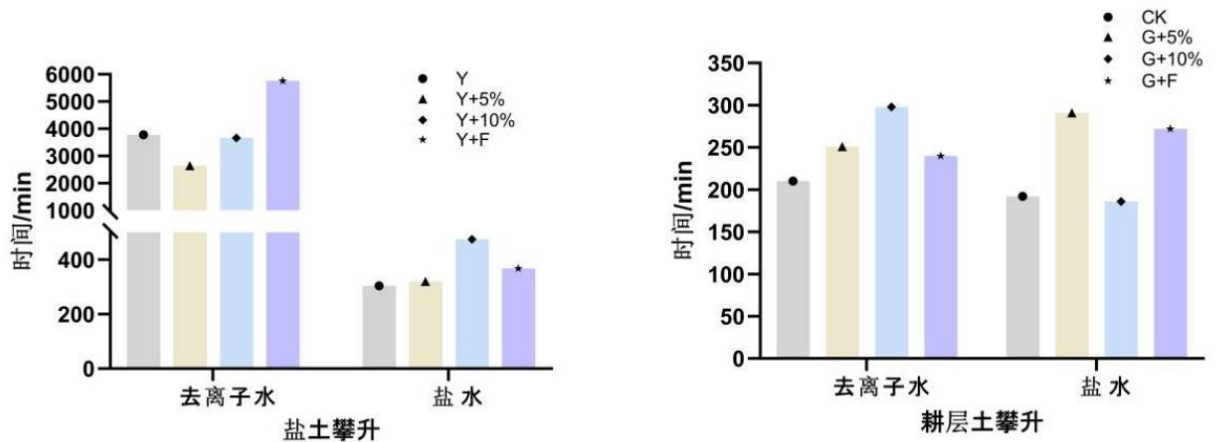


图4 盐碱土和耕层地下水攀升总时间

3.2 不同深度土壤全盐含量、电导率和 pH 值测定

准确称取 20g 风干土放入烧杯中，加入 100mL 去离子水，搅拌，抽滤，滤液定容于 100mL 容量瓶中，即为 5:1 的土壤浸出液。量取土壤浸提液 30mL 于小烧杯中，用梅特勒酸度计测定 pH 值，用雷磁电导率仪测定电导率。用 10mL 移液管量取 10mL 土壤浸出液于干燥至恒重的烧杯中，放入烘箱中在 105~110℃烘干，冷却，称量，计算全盐量。实验结果见表

表 1. 入渗后土壤含水率、全盐含量、电导率和 pH 值

样品名称	全盐含量 g/kg	土壤含水率(w/w,%)	土壤电导率	土壤 pH
CK 上	1.18	27.31%	84.6	8.23
CK 中	0.78	26.43%	85.9	8.27
CK 下	1.7	25.53%	117.36	8.42
G+F 上	0.65	28.91%	161.93	8.48
G+F 中	1.68	27.47%	91.76	8.39
G+F 下	1.8	30.18%	210.56	8
G+5%上	1.18	26.49%	110.53	7.76
G+5%中	0.72	29.06%	138.63	8.5
G+5%下	1.32	29.14%	133.6	7.86
G+10%上	0.5	26.90%	107.73	7.93
G+10%中	1.33	28.63%	132.26	7.8
G+10%下	2.06	29.57%	181.23	8.91
Y 上	0.95	34.67%	86.75	9.91
Y 中	5.75	31.46%	171.9	9.89
Y 下	7.9	37.41%	609	9.53
Y+F 上	1.52	31.42%	136.36	9.21
Y+F 中	8.32	33.83%	214.2	10.14
Y+F 下	5.03	33.72%	453	10.03
Y+5%上	0.95	33.14%	88.36	9.6
Y+5%中	6.95	33.42%	204.56	10.19
Y+5%下	3.9	35.95%	463.33	10.05
Y+10%上	1.33	31.76%	109.46	9.53
Y+10%中	6.9	33.13%	191.36	10.08
Y+10%下	4.88	28.63%	439.66	9.91

表 2. 水分攀升实验完成后全盐含量、电导率和 pH 值

样品名称	全盐含量 g/kg	土壤电导率(μ S/cm)	土壤 pH
G-1	0.0350	190.8	8.4
G-2	0.0425	115.3	8.51
G-3	0.0025	121.9	8.88
G-4	0.0450	114.6	8.68
G-5	0.0250	109.9	8.54
G-6	0.3019	152.3	8.42
G+F-1	0.0162	294	8.42
G+F-2	0.0013	99.3	8.88
G+F-3	0.0062	92.8	8.75
G+F-4	0.0050	91.3	8.69
G+F-5	0.0119	87.9	9.21
G+F-6	0.0699	98.4	9.47
G+5%-1	0.0262	175.4	8.36

G+5%-2	0.0250	148.8	8.19
G+5%-3	0.0169	102.4	8.17
G+5%-4	0.0150	109.7	8.43
G+5%-5	0.0618	122	8.56
G+5%-6	0.1325	131.6	8.78
G+10%-1	0.0193	301	8.66
G+10%-2	0.0269	110.4	8.84
G+10%-3	0.0194	154	8.3
G+10%-4	0.0112	127.5	8.63
G+10%-5	0.0313	124.4	8.76
G+10%-6	0.0612	125.4	9.31
Y-1	0.2643	1771	8.4
Y-2	0.0774	290	9.34
Y-3	0.1000	215	9.43
Y-4	0.1424	146.2	9.62
Y-5	0.1375	150.6	9.57
Y-6	0.1297	158	9.49
Y+F-1	0.0560	451	9.02
Y+F-2	0.1174	137.7	9.61
Y+F-3	0.0987	128.4	9.58
Y+F-4	0.1374	143.2	9.57
Y+F-5	0.1534	135.9	9.56
Y+F-6	0.1326	122.1	9.57
Y+5%-1	0.0012	304	9.28
Y+5%-2	0.1103	141.9	9.7
Y+5%-3	0.0988	153.6	9.64
Y+5%-4	0.1530	153.7	9.64
Y+5%-5	0.0194	156.7	9.65
Y+5%-6	0.0294	131.7	9.69
Y+10%-1	0.0611	445	9.06
Y+10%-2	0.0908	109	9.56
Y+10%-3	0.0536	96.9	9.56
Y+10%-4	0.0412	82.7	9.6
Y+10%-5	0.0736	96.2	9.58
Y+10%-6	0.1121	114.5	9.84

4 讨论

4.1 有机硅对土壤水分入渗的影响

由图2土壤水分入渗特征曲线可以看出盐碱土壤的润湿峰远远小于耕层土,且水分入渗的速度慢,完成入渗所用时间长。有机硅对盐碱土壤的水分入渗有较大影响,土壤加入10%的有机硅肥与对照相比其润湿峰明显较高,水分入渗速度较快,5%的有机硅肥与对照相比其润湿峰明显较低,水分入渗速度较慢。因此有机硅肥中有机硅的用量与盐碱土的水分入渗具有相关性。各样品对耕层土的水分入渗没有显著差异。

4.2 有机硅对土壤水分攀升的影响

由图3土壤水分攀升特征曲线可知升有机硅对盐碱土去离子水攀升具有明显的促进作用,对盐碱土盐水攀升具有明显的减缓作用,且水分的攀升与有机硅用量具有相关性。有机硅对耕层土去离子水攀升具有减缓作用,5%的有机硅复合肥对耕层土盐水攀升具有明显的减缓作用。

4.3 有机硅对土壤持水性的影响

由图2和图4可知土壤水分攀升总时间可知有机硅可促进盐碱土水分入渗,减缓盐碱土盐水攀升。对耕层土的水分入渗和攀升没有显著影响。

4.4 有机硅对土壤性状的影响

由表1可知:耕层土10%的有机硅功能肥对全盐含量、电导率、pH和含水率的显著影响是促进土壤水分入渗的同时由上到下逐渐增大,表明盐分离子随水分的下渗从上层向下层发生迁移。盐碱土5%的有机硅肥具有相似的效果。由表2可知:有机硅功能肥对全盐含量、电导率、pH有影响,有机硅可以有效阻隔土壤盐分离子的攀升。

5 结论

有机硅功能肥可以促进土壤水分入渗,盐分离子随水分的下渗而向土壤深层迁移,有机硅功能肥可以有效阻隔盐碱土中盐分离子的攀升。且水分入渗、攀升和盐分离子的迁移与有机硅用量具有相关性。

参 考 文 献

- 王海涛 张远芳 慈军等,罗布泊盐渍土含盐量与电导率及稠度指标的关系[J].水利与建筑工程学报,2013(5):78-83.
- 曾玉霞,李兴强.盐碱地改良技术探讨[J].吉林农业,2019, 454(13):80-84
- 孙宇瑞 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J]. 中国农业大学学报,2000, 5 (4): 39~43.
- 刘娟 1 梁俊梅 2 段玉 2 有机硅土壤调理剂和功能肥对盐碱地的改良及向日葵产量的影响[J]. 农学通报, 2022, 38 (23): 77-81.
- 温晓兰, 宋福如, 石温慧有机硅功能肥对不同利用方式下土壤团聚性和抗蚀性的影响[J] 江苏农业科学, 2022, 50 (5): 218-224.
- 程东娟 1, 王利书 2, 郭海刚等有机硅对土壤水分有效性和蒸发特性的影响 北方园艺 (2023 年) 年份: 2022 期号: 第 9 期页码: P88-92
- 贾苏卿,李彦良,焦雄飞等.忻州市盐碱地资源及其改良利用[J].农业科技通讯,2015,No.519(03):183-
- 白玉峰.苏打碱土土壤水分入渗过程及水盐运移特征[D].中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2021.
- 于晗.南疆地区无膜棉土壤水分运移模拟[D].塔里木大学,2022.
- 薛万来,牛文全,张俊.膜下滴灌土壤水盐运移研究进展[J].灌溉排水学报,2013, 32(04): 114-118.
- 张钦凯.阿拉尔垦区不同盐土水盐运移试验及模拟研究[D].塔里木大学,2022.185.
- Hengliang Huang , Muhammad Rizwan ,Mei Li, et al., Comparative efficacy of organic and inorganic silicon fertilizers on antioxidant response, Cd/Pb accumulation and health risk assessment in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Environmental Pollution* , 255 (2019) : 113-1122.
-]Hamid, Y., Tang, L., Sohail, M.I., Cao, X., Hussain, B., Aziz, M.Z., Usman, M., He, Z. li, Yang, X., 2019. An explanation of soil amendments to reduce cadmium phytoavailability and transfer to food chain. *Sci. Total Environ.* 660, 80-96.
- Han, D., Xiong, S., Tu, S., Liu, J., Chen, C., 2015. Interactive effects of selenium and arsenic on growth , antioxidant system , arsenic and selenium species of *Nicotiana tabacum* L. *Environ. Exp. Bot.* 117, 12e19.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T.I., Fujita, M., 2017. Exogenous silicon attenuates cadmium-induced oxidative stress in *Brassica napus* L. By modulating AsA-GSH pathway and glyoxalase system. *Front. Plant Sci.* 81e9.