

不同排水措施对青海高寒区盐碱地改良效果的研究

张震中¹, 张金旭², 黄佳盛², 张 潭¹, 唐 达¹, 贺康宁^{1*}, 李润杰²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 水土保持国家林业局重点实验室/北京市水土保持工程技术研究中心/林业生态工程教育部工程研究中心, 北京 100083; 2. 青海省水利水电科技发展有限公司, 西宁 810001)

摘 要:【目的】解决青海高寒区盐碱地治理的问题。【方法】采取在青海柴达木盆地德令哈(中度盐渍化)与诺木洪(重度盐渍化)2处试验区建设排盐工程与田间试验的方法,在中度和重度盐渍化土地安装毛细透排水带与暗管进行排水,分析了毛细透排水带降盐技术对中度和重度盐渍化土壤盐分变化规律的影响。【结果】①中度和重度盐渍化土壤表层(0~10 cm)盐分下降最快,其他土层盐分量呈现显著下降,中度和重度土壤最高脱盐率分别为81.19%和96.62%,重度盐渍化土壤盐分可降低至中度水平;②2处试验区0~10 cm土壤盐分中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 K^+ 量较原始土样明显下降,毛细透排水带对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 K^+ 有显著的淋洗作用;③毛细透排水带降盐技术在青海高寒区中度盐渍化地区土壤脱盐率可达98.61%,重度盐渍化地区淋盐定额土壤脱盐率可达94.41%。在1 500 m^3/hm^2 灌水量、灌水次数4次的淋盐定额下,中度盐渍化土壤的改良效果最好;在1 650 m^3/hm^2 灌水量,灌水次数4次的淋盐定额下,重度盐渍化土壤的改良效果最好。【结论】毛细透排水带可以有效治理盐碱土壤,中度盐渍化地区改善土壤性质,恢复耕地,提高土地生产力。

关 键 词:盐碱地治理;波纹管;毛细透排水带;淋盐定额;土壤盐分

中图分类号:S276

文献标志码:A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2017.0582

张震中,张金旭,黄佳盛,等. 不同排水措施对青海高寒区盐碱地改良效果的研究[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):78-85.

0 引 言

土壤盐渍化改良已成为一个全球性的问题^[1]。青海柴达木盆地地处青藏高原东北部,属典型的高寒大陆性气候,盆地面积25万 km^2 。由于该地区气候干旱、降雨量稀少、地表蒸发强以及灌区灌溉不合理^[2]等自然和人为因素综合影响,使得盆地绿洲次生盐渍化发展迅速,其面积已达近330 km^2 ^[3]。盐碱土的改良措施包括客土改良^[4]、深松土壤^[5]、种植耐盐作物^[6-10]、化学改良剂^[3]、修筑条田^[11]、井灌井排^[12]、暗管排水技术^[13-15]等,其中尤以暗管灌溉淋洗和排水改良效果较佳^[16-17]。研究表明^[18-20],暗管淋盐可以有效改良以 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等离子为主的盐碱土,暗管排水还具有排水排盐和控制地下水位的功效,但在长期使用过程中暗管存在管道淤积^[21]造成盐碱重返表土的现象,导致排水洗盐的效果下降,土壤盐渍化再次发生。

近年来,从台湾引进的新型毛细透排水带被广泛用于土坝反滤排水^[22]、衬砌防排水^[23]等工程中。新型毛细透排水带沟槽呈内大外小型。毛细透排水带利用毛细吸水的原理进入毛细导水管,水流中的土壤颗粒因重力作用自然沉降,形成水土分离,能够有效减少淤积。同时,毛细排水带还能够利用表面张力,在窄沟槽上形成封闭水膜,阻止水流外漏。毛细透排水带特殊构造的毛细和虹吸作用,能够不断抽吸土壤中的过饱和水,大幅增加吸排水效率^[24]。与传统的暗管排水相比,毛细透排水带排水效率更高,且不会造成管道淤积,但毛细透排水带在盐碱地治理中尚未有应用。为此,在青海柴达木盆地诺木洪和德令哈试验区进行大田试验,探索毛细透排水带淋盐技术配套的淋盐灌溉定额及其淋盐效果,以期能为高寒区盐碱地的治理提供新的思路与技术参考。

收稿日期:2017-09-22

基金项目:柴达木盆地盐碱地造林技术与示范(2014-NK-A4-4)

作者简介:张震中(1993-),男。硕士研究生,主要从事水土保持、盐碱地改良的研究。E-mail: castortroy@163.com

通信作者:贺康宁(1962-),男。教授,主要从事水土保持、盐碱地改良的研究。E-mail: hkn@bjfu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验区概况

根据土壤盐渍化程度划分标准,将德令哈试验区划分为中度盐渍化区,诺木洪试验区划分为重度盐渍化区,中度盐渍化试验区与重度盐渍化区分别位于青海柴达木盆地德令哈市尕斯库勒镇和诺木洪农场,尕斯库勒镇位于柴达木盆地东北部,德令哈市工业园区东北部,东经97°20',北纬37°12'。总面积1 954 km²,海拔2 870 m,年平均降水量仅120 mm,年平均蒸发量高达2 439 mm。诺木洪农场位于柴达木盆地东南缘,海西州都兰县宗加镇境内,东经96°35',北纬36°30',农场占地面积91.3 km²,年平均降雨量58.51 mm,年平均蒸发量高达2 849.7 mm。2个试验区土壤类型为典型的氯化物—硫酸盐型盐土,盐分主要分布在地下0~30 cm处。试验区土壤地下水埋深为1.2~1.5 m,地下水矿化度3.5~6 g/L。试验区土壤理化性质见表1。

表1 试验区土壤理化性质

地点	土层深度/cm	pH值	Cl ⁻ 量/%	SO ₄ ²⁻ 量/%	含盐量/%	含盐量加权平均/%
德令哈	0~10	8.3	1.7	0.63	7.72	2.18
	10~30	8.1	0.67	0.6	3.2	
	30~50	7.8	0.4	0.2	1.42	
	50~70	8.9	0.21	0.42	1.5	
	70~100	8.8	0.07	0.31	0.6	
诺木洪	0~10	8.5	6.67	1.61	33.15	9.92
	10~30	8.7	5.11	1.46	19.7	
	30~50	8.4	2.76	0.32	7.8	
	50~70	8.3	0.76	0.57	2.96	
	70~100	7.7	2.13	0.53	1.7	

1.2 试验设计

1.2.1 排水管网的布设

将试验地分为波纹管排水系统与毛细透排水带排水系统2个处理,以集水管Ⅲ作为2个处理的分界线,波纹管排水系统采用外缠纱网的波纹管作为吸水管Ⅰ,长度为80~110 m,并布置1条长度为450 m的集水管Ⅰ,吸水管Ⅰ与集水管Ⅰ呈60°夹角;毛细透排水带排水系统采用在PVC管上布设毛细透排水带进行排水,PVC管上开槽后将毛细透排水带插入槽孔,用硅胶将毛细透排水带背面与PVC管黏合,接口处铺设200 mm厚细砂垫层并对接口进行包裹,组成吸水管Ⅱ。吸水管Ⅱ长度为80~110 m,毛细透排水带长度为20~30 cm,集水管Ⅱ采用PVC材质,长度为470 m,与吸水管Ⅱ呈60°夹角以观测暗管流量及水流情况。2组排水系统之间采取防渗措施。另外根据试验区现状布设处水量观测井,水位观测孔和排水控制闸阀。试验区排水管网布设示意图见图1。

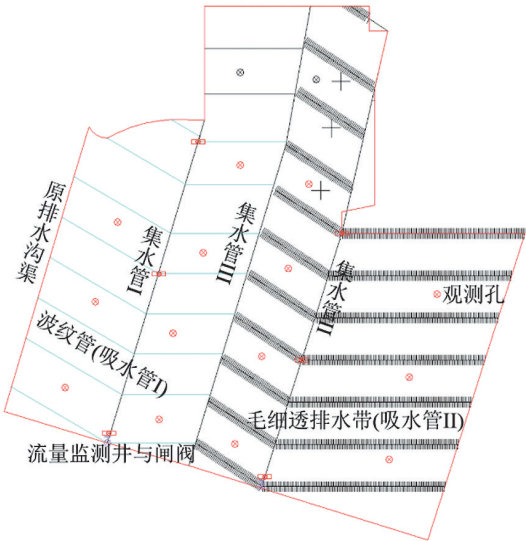


图1 试验区排水管网布设示意图

1.2.2 田间试验设计

灌溉淋洗采用漫灌方式,灌溉用水为中水,矿化度大约为1.5 g/L。本试验将试验区划分为6行,每行含5块面积约为2 000 m²的格田共30块,原排水沟渠以北前4行格田长40 m,宽50 m,下一行格田长40 m,宽60 m,最后1行格田长宽分别为40、50 m,格田之间埋设有1 m深的隔板,防止水分横向侧渗,6行格田分别采取1 650、1 500、1 350、1 200、1 050、900 m³/hm²的灌水量,共进行5次淋洗。灌水冲洗方法采用间歇冲洗的方式,每次冲洗结束后,等到地下水位降至距离地面0.3~0.5 m后,进行下一次灌水冲洗,本试验每4 d为1次淋洗间歇期,第1次淋洗从2016年5月1日开始。同时,每次灌水后第4天进行分层取土(0~10、10~30、30~50、50~70、70~100 cm),共6次重复,并分析每层土样的盐碱变化情况,以总含盐量≤1.0 g为准,进行数据的汇总分析。

1.2.3 田间排水工程措施

暗管的埋深与间距的确定:试验田间排水采用波纹管,与试验区外排水沟连通,组成明暗结合的田间工程^[28-29]。波纹管埋深一般要满足脱盐深度的要求,其计算式为:

$$D = \Delta H + \Delta h \quad , \quad (1)$$

式中:Δ*H*为作物主要根系层深度(m);Δ*h*为剩余水头(m),一般情况下,Δ*h*取0.2 m。参考试验区水文地质资料,当地的地下水安全深度为0.8~1.3 m,考虑滞流水头0.2 m,确定吸水管埋深为1.0~1.5 m。

波纹管间距的确定首先采用《灌溉与排水工程设计规范 GB 50288—1999》建议的暗管间距^[25],然后根据试验观测,修正间距,选择最优方案。试验区土壤属于轻壤土和沙壤土,吸水管埋深1.2 m左右,根据规范,吸水管间距取40 m,通过观测井地下水位数据进一步分析确定最优的吸水管间距为40 m。

波纹管排水设计流量,根据规范设计流量公式计算,即:

$$Q = C \cdot q \cdot A \quad , \quad (2)$$

式中:*Q*为设计排水流量(m³/d);*C*为与面积有关的流量系数,此处*C*=0.90;*q*为设计排水模数(m/d),根据公式计算为0.005 6 m/d;*A*为波纹管的排水控制面积(m²)。根据式(2)计算得出各管道类型对应的设计流量,详见表2。

表2 波纹管与毛细透排水带设计排水流量

类型	排水控制面积/m ²	流量系数	排水模数/(m·d ⁻¹)	设计流量/(m ³ ·d ⁻¹)
波纹管(吸水管 I)	5 000	0.90	0.005 6	25.20
毛细透排水带(吸水管 II)	5 000	0.90	0.005 6	25.20
集水管 I	64 741	0.90	0.005 6	326.29
集水管 II	84 604	0.90	0.005 6	426.40

波纹管比降与管径:依据规范排水波纹管的比降应满足管内最小流速不低于0.3 m/s的要求。试验区吸水管排水比降取1/250,集水管排水比降取6.4/1 000、6.5/1 000。

吸水管管径:

$$d_1 = 2 \left(\frac{nQ}{\alpha \sqrt{3i}} \right)^{3/8} \quad . \quad (3)$$

集水管管径:

$$d_2 = 2 \left(\frac{nQ}{\alpha \sqrt{i}} \right)^{3/8} \quad . \quad (4)$$

式中:*d*为排水波纹管管径(m);*Q*为设计排水流量(m³/d);*i*为排水比降;*α*为与管内充盈度相关的系数,根据规范此处取值为1.80;*n*为管内糙率,根据规范,波纹管管内糙率宜取0.016,光壁塑料管管内糙率宜取0.011。根据式(3)、式(4)计算得出各管道类型管径,详见表3。

表3 波纹管与毛细透排水带不同吸水管内径

类型	设计流量/(m ³ ·d ⁻¹)	排水比降	相关系数	管内糙率	管径/mm
波纹管(吸水管 I)	25.20	0.004 0	0.80	0.016	76
毛细透排水带(吸水管 II)	25.20	0.004 0	0.80	0.011	72
集水管 I	326.29	0.006 4	0.80	0.011	734
集水管 II	426.40	0.006 5	0.80	0.011	810

与实际管材现有型号校准后,最终确定吸水管管径为75 mm,集水管管径为800 mm。

1.2.4 测定指标及方法

土样pH值测定采用pH计进行测定,水土质量比为5:1。土壤全盐量采用称质量法进行测定,土壤离子量采用常规分析方法测定^[26],土壤脱盐率=(土壤初始全盐量-灌水后土壤全盐量)/土壤初始全盐量。

2 结果与分析

2.1 不同排水措施下不同程度盐渍化土壤盐分变化

表4与表5为不同洗盐定额下每次淋洗后,德令哈中度盐渍化试验区和诺木洪重度盐渍化试验区0~30 m土层土壤全盐量与脱盐率。由表4可知,德令哈试区土壤整体盐分呈下降趋势,中度盐渍化土壤相同淋洗次数不同灌水量下,毛细透排水带排水下土壤脱盐率明显高于波纹管,以5次淋洗为例,毛细透排水带排水后土壤脱盐率较波纹管高出了5.03%~26.96%;而相同灌水量不同淋洗次数下,毛细透排水带排水下土壤脱盐率也明显高于波纹管,以1 500 m³/hm²为例,毛细透排水带排水后土壤脱盐率较波纹管高出了20.5%~26.96%。毛细透排水带在灌水量1 500 m³/hm²、4次淋洗的淋盐定额下,土壤脱盐率最高,达到98.61%,在此淋盐定额下,毛细透排水带排水洗盐效果最好。

表4 德令哈(中度盐渍化)试验区不同淋洗定额后0~30 m土壤全盐量与脱盐率

灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	排水措施	原始土样	1次淋洗		2次淋洗	
		全盐量/(g·kg ⁻¹)	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%
1 650	毛细透排水带	4.26±0.21a	3.47±0.18ab	18.74	1.26±0.07c	70.45
	波纹管	4.41±0.23a	1.45±0.08c	67.12	2.05±0.10b	53.63
1 500	毛细透排水带	3.59±0.19a	3.53±0.19a	1.73	0.19±0.01d	94.85
	波纹管	2.75±0.15b	1.37±0.07c	50.24	3.21±0.17a	-16.60
1 350	毛细透排水带	3.39±0.17b	2.57±0.14b	24.25	0.54±0.03d	84.20
	波纹管	2.70±0.15b	1.76±0.10c	35.02	3.18±0.16a	-17.60
1 200	毛细透排水带	2.46±0.13bc	3.01±0.16b	-22.30	0.42±0.03d	83.14
	波纹管	1.62±0.09c	1.71±0.09c	-5.30	2.27±0.12b	-39.80
1 050	毛细透排水带	2.09±0.10bc	2.58±0.14b	-23.20	0.47±0.03d	77.52
	波纹管	1.76±0.09c	4.20±0.21a	-139	2.86±0.14a	-62.40
900	毛细透排水带	1.06±0.06d	2.53±0.14b	-137	0.26±0.02d	75.52
	波纹管	1.62±0.09c	1.31±0.08c	19.54	2.92±0.15a	-79.70

灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	排水措施	3次淋洗		4次淋洗		5次淋洗	
		全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%
1 650	毛细透排水带	0.85±0.04a	80.07	0.73±0.04b	82.88	0.48±0.02bc	88.86
	波纹管	0.73±0.05a	83.56	1.65±0.08a	62.89	0.71±0.04b	83.83
1 500	毛细透排水带	0.49±0.02b	86.36	0.05±0.00d	98.61	0.18±0.01c	94.99
	波纹管	0.94±0.06a	65.86	0.63±0.03b	77.30	0.88±0.04a	68.03
1 350	毛细透排水带	0.76±0.05a	77.70	0.13±0.01d	96.31	0.29±0.01c	91.58
	波纹管	0.9±0.054a	66.68	0.68±0.03b	74.82	0.83±0.04a	69.27
1 200	排水带	1.19±0.01b	51.87	1.32±0.07b	46.59	0.25±0.01c	89.85
	波纹管	0.76±0.05a	53.51	1.50±0.08a	7.64	1.04±0.05a	36.27
1 050	毛细透排水带	0.32±0.03b	84.70	0.22±0.01c	89.48	0.65±0.03b	69.15
	波纹管	0.63±0.03ab	64.16	1.70±0.09a	3.30	0.94±0.05a	46.53
900	毛细透排水带	0.72±0.05a	32.67	0.47±0.02c	55.74	0.43±0.02	59.98
	波纹管	0.85±0.04a	47.90	1.83±0.09a	-12.50	0.83±0.41a	49.14

注 图中不同小写字母表示各处理之间差异在P<0.05水平显著,下同。

由表5可知,诺木洪试区土壤盐分整体呈下降趋势,不同排盐措施不同灌水量下土壤盐分的变化特征也明显不同。重度盐渍化土壤相同淋洗次数不同灌水量下,毛细透排水带排水土壤脱盐率与波纹管排水土壤脱盐率差异明显,5次淋洗后,毛细透排水带排水后土壤脱盐率较波纹管分别高出了3.59%、25.88%、14.4%、5.25%、48.43%和12.27%;而相同灌水量不同淋洗次数下,毛细透排水带排水下土壤脱盐率也明显高于波纹

管,以1 650 m³/hm²为例,毛细透排水带排水后土壤脱盐率较波纹管高出了2.24%~12.42%。毛细透排水带在灌水量1 650 m³/hm²、4次淋洗的淋盐定额下,土壤脱盐率最高,达到94.41%,在此淋盐定额下,毛细透排水带排水洗盐效果最好。

表5 诺木洪(重度盐渍化)试验区不同淋洗定额淋洗后0~30 m土壤全盐量与脱盐率

灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	排水措施	原始土样	1次淋洗		2次淋洗	
		全盐量/(g·kg ⁻¹)	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%
1 650	毛细透排水带	9.92±0.50a	0.83±0.04b	91.65	4.66±0.23b	53.08
	波纹管	9.65±0.48a	2.00±0.10b	79.23	2.43±0.12b	74.86
1 500	毛细透排水带	2.60±0.13c	1.89±0.10b	27.06	1.50±0.75a	42.37
	波纹管	1.65±0.08c	6.32±0.32a	-283%	2.72±0.14b	-65.10
1 350	毛细透排水带	6.53±0.33b	4.34±0.22a	33.56	1.45±0.07a	77.80
	波纹管	5.16±0.26b	5.71±0.29a	-10.50	3.72±0.19b	28.06
1 200	毛细透排水带	4.27±0.21bc	2.24±0.11b	47.48	0.47±0.02c	89.11
	波纹管	5.68±0.28b	2.72±0.14b	52.18	2.59±0.13b	54.52
1 050	毛细透排水带	2.22±0.11c	1.35±0.07b	38.96	5.34±0.27b	-141
	波纹管	1.26±0.06c	4.99±0.25a	-295	2.34±0.12b	-85.10
900	毛细透排水带	6.13±0.31b	5.58±0.28a	9.03	2.21±0.11b	64.05
	波纹管	5.49±0.27b	2.16±0.11b	60.70	3.96±0.20b	27.91

灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	排水措施	3次淋洗		4次淋洗		5次淋洗	
		全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%	全盐量/(g·kg ⁻¹)	脱盐率/%
1 650	毛细透排水带	0.56±0.03b	94.36	0.56±0.03c	94.41	0.56±0.03c	94.36
	波纹管	0.76±0.04b	92.12	1.25±0.07b	87.04	0.89±0.05b	90.77
1 500	毛细透排水带	0.68±0.03b	73.98	1.14±0.06b	56.05	0.95±0.05b	63.38
	波纹管	2.28±0.11a	-38.40	2.55±0.13a	-54.70	1.03±0.05ab	37.50
1 350	毛细透排水带	0.89±0.05b	86.37	0.89±0.04bc	86.45	0.78±0.04b	88.06
	波纹管	2.75±0.14a	46.75	2.84±0.14a	45.10	1.36±0.07a	73.66
1 200	毛细透排水带	0.93±0.05b	78.22	0.76±0.04bc	82.20	0.67±0.03bc	84.31
	波纹管	3.71±0.19a	34.82	2.66±0.13a	53.20	1.19±0.06a	79.06
1 050	毛细透排水带	3.11±0.16a	-40.40	1.86±0.09a	16.25	0.96±0.05b	56.66
	波纹管	2.95±0.15a	-133.40	1.83±0.09a	-44.40	1.16±0.06a	8.23
900	毛细透排水带	2.55±0.13a	58.51	1.95±0.10a	68.21	0.98±0.05b	84.02
	波纹管	2.16±0.11a	60.72	2.72±0.14a	50.51	1.55±0.08a	71.75

不同排水措施灌排改良盐渍土的土壤盐分变化特征表明,相同灌水量不同淋洗次数下,毛细透排水带排水下土壤脱盐率更高;而相同淋洗次数不同灌水量下,毛细透排水带灌排改良盐渍土的土壤脱盐率更高,土壤盐分的淋洗更有效。2处试区在灌水淋洗过程中,土壤均出现了不同程度的返盐现象,尤其以诺木洪试区更为严重,土壤返盐现象是由于试区气候干旱少雨,蒸发量大,导致土壤中的盐分随着水分的蒸发被带到土壤表层。2处试区均具有干旱、少雨、蒸发大的气候特点,这也是土壤返盐的主要原因。而从表4和表5可以看出,波纹管排水过程中返盐次数多于毛细透排水带,且返盐程度更严重。

2.2 毛细透排水带排水中不同土层盐分变化

盐渍土壤改良中,土壤全盐量的变化可以反映土壤盐渍状况和盐分运移动态。毛细透排水带排水淋盐处理下,德令哈试区与诺木洪试区在最优灌水量下土壤不同层次盐分变化情况如图2所示。由图2可知,与淋洗前相比,德令哈试区0~10、10~30、30~50、50~70、70~100 cm土层土壤全盐量分别下降了81.19%、63.8%、67.23%、60.14%和62.2%,诺木洪试区0~10、10~30、30~50、50~70、70~100 cm土层土壤全盐量分别下降了96.62%、93.55%、87.56%、66.89%、39.41%,随土层深度的增加土壤脱盐效果逐渐降低。随着淋洗次数的增加,土壤盐分量呈现出表层降盐、中部积盐的趋势。德令哈试验区2次淋洗后,各层土壤盐分变化差异明显,特别是表层土壤,0~10 cm土层的土壤全盐量降低了76.41%;而诺木洪试验区仅1次淋洗后,各层土壤盐分便已出现明显下降,特别是0~10 cm与10~30 cm土层,这2层土壤全盐量分别降低了82.11%和76.14%。这

表明毛细透排水带淋洗对表层土壤盐分有明显的淋洗效果。

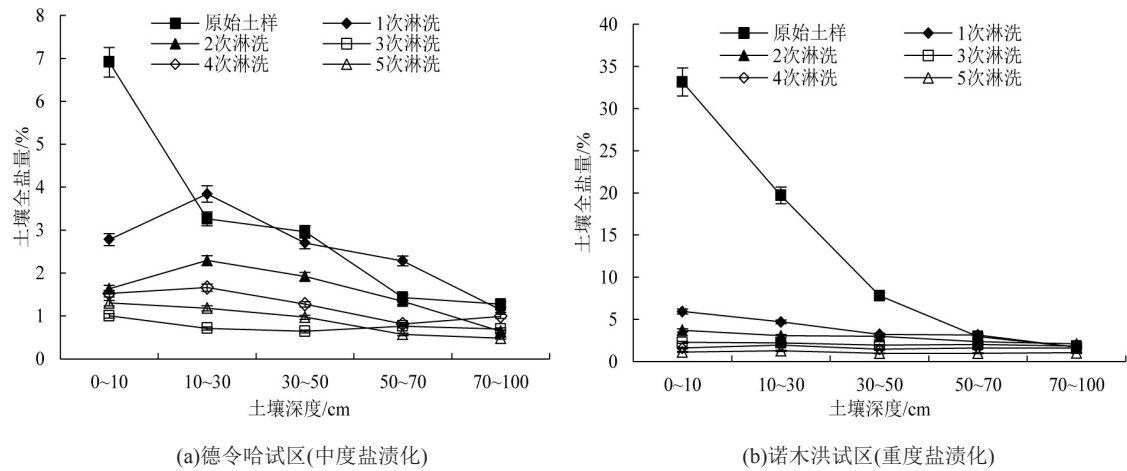


图2 毛细透排水带最优灌水量土壤盐分变化

2.3 毛细透排水带排水中0~10 cm土层土壤盐分离子的变化

柴达木盆地土壤盐渍化类型主要为氯化物-硫酸盐型,且交换性钠较高^[27]。2处试验区毛细透排水带最优脱盐率淋洗下土壤盐分离子量见表6。灌溉淋洗用水来自深层地下水,矿化度较低,平均值0.65 g/L,盐分受灌溉淋洗用水影响较低。由表6可知,2个试验区土壤主要的阴离子是Cl⁻和SO₄²⁻,主要的阳离子是Na⁺和K⁺,这与俞永科等^[28]对柴达木盆地弃耕土壤盐分的分析结果相一致。与原始土样相比,2个试验区淋洗后土壤盐分中Cl⁻和SO₄²⁻量显著下降,中度盐渍化试验区淋洗后Cl⁻和SO₄²⁻量与原始土样相比降低了63.58%和24.25%,重度盐渍化试验区淋洗后Cl⁻和SO₄²⁻量较原始土壤下降了94.21%和43.84%;这说明毛细透排水带排水冲洗盐渍土起到了良好的作用,尤其是在重度盐渍化地区。2个试区其他土壤离子量的变化并不明显,可见,毛细透排水带排水冲洗盐渍土对Na⁺、K⁺、Cl⁻和SO₄²⁻量影响较大,冲洗效果较好。

表6 毛细透排水带最优脱盐率淋洗下土壤盐分离子量 g/100g

盐渍化程度	处理	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
中度盐渍化试区	原始土样	0.161±0.041b	0.042±0.004b	0.896±0.070b	0.615±0.080b	0.433±0.020c	0.031±0.003b	0.053±0.004b
	淋洗后	0.145±0.013b	0.057±0.003b	0.427±0.050c	0.224±0.010c	0.328±0.030d	0.014±0.001b	0.074±0.003b
重度盐渍化试区	原始土样	0.384±0.025a	0.210±0.020a	3.924±0.460a	3.491±0.050a	0.901±0.080a	0.120±0.020a	0.126±0.020a
	淋洗后	0.203±0.030a	0.104±0.009ab	0.503±0.060c	0.202±0.000c	0.506±0.050b	0.017±0.001b	0.108±0.030a

注 表中不同小写字母表示各处理间差异在P<0.05水平显著。

3 讨论

研究结果表明,毛细透排水带排水可以有效降低土壤盐分,德令哈(中度盐渍化)试验区和诺木洪(重度盐渍化)试验区土壤脱盐均十分明显,德令哈试验区平均全盐量为2~4.5 g/100g,诺木洪试区平均全盐量为8~10 g/100g,其对应土壤脱盐率最高分别为98.61%和94.41%,根据试验区土壤含盐量与干旱缺水情况,考虑较优脱盐率的情况下,确定了毛细透排水带在不同程度盐渍土地区适宜的淋洗定额,中度盐渍化地区淋盐定额为1 500 m³/hm²,灌水次数4次;重度盐渍化地区淋盐定额为1 650 m³/hm²,灌水次数4次。毛细透排水带排水淋洗后土壤盐分由表聚型向脱盐型转变,且中度盐渍化土壤的脱盐效果要优于重度盐渍化,这与前人对暗管排水滴灌的研究结果^[29-31]相一致,但是前人只是对暗管铺设滴灌等方面进行了研究与探讨,并没有对毛细透排水带淋洗和淋洗后不同土层土壤的脱盐效果进行深入分析。研究^[32-33]表明,波纹管排水能将盐分向下淋洗,盐分聚集在土壤湿润锋附近,在强烈的蒸发散下土壤盐分再次转移到地表,造成次生盐渍化的发生;本试验中波纹管排水淋洗过程中出现多次地表返盐的现象,究其原因可能是试验区气候干旱,蒸发散强烈,盐分受淋洗向下聚集后在强烈的蒸发散作用下迁移到地表,造成返盐;而毛细透排水带淋洗过程中地表返盐现象出现次数较少,且返盐程度也没有暗管严重,说明毛细透排水带排水淋洗盐渍土更为稳定,不容易出现返盐现象。

灌排改良条件下,2个试验区土壤各土层的脱盐规律基本一致,均呈现出逐渐下降的趋势,只是下降幅度不同,表层土壤盐分下降最为明显,而其他土层的土壤盐分下降没有表层土壤下降明显,这说明毛细透排

水带排水冲洗盐渍土对土壤表层盐分具有良好的冲洗效果,这可能是因为毛细透排水带排水的原理是水流进入毛细透排水带后重力作用流向出口,在毛细作用和虹吸作用下,不断抽吸土壤中过饱和水,排出淋洗后的盐水,降低了土壤盐分。

2个试验区土壤盐分主要的阴离子为 Cl^- 和 SO_4^{2-} ,阳离子为 Na^+ 和 K^+ ,毛细透排水带淋洗对这4种离子有良好的冲洗脱除效果。中度盐渍化试区 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 量较少,冲洗脱除效果不显著;而重度盐渍化试区这4种离子冲洗脱除效果明显说明毛细透排水带淋洗盐渍土有良好的作用。2个试区淋洗后土壤 SO_4^{2-} 的降低率较低,分别为24.25%和43.84%,低于了 Cl^- 的降低率,这可能是因为硫酸盐的溶解度会随温度的增高而加大,冲洗时正值春季,气温较低,影响了硫酸根的冲洗效果,因此,冲洗应在气温较高的伏秋季节进行。

试验仅从土壤脱盐率、土壤离子量等方面探究了毛细透排水带在盐碱地淋洗方面的应用,针对土壤渗透性、有机质等方面的研究还有待进一步深入,以期更全面地探究毛细透排水带在盐碱地淋洗工程中的应用。

4 结 论

1)中度和重度盐渍化土壤表层(0~10 cm)盐分下降最快,其他土层盐分呈现显著下降,中度和重度土壤最高脱盐率分别为81.19%和96.62%,重度盐渍化土壤盐分可降低至中度水平;

2)2个试验区0~10 cm土层土壤盐分 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 K^+ 量较原始土样明显下降,毛细透排水带对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 K^+ 有显著的淋洗作用;

3)毛细透排水带排水降盐技术在青海高寒区中度盐渍化地区淋盐定额为6 000~6 750 m^3/hm^2 ,灌水量1 500 m^3/hm^2 ,灌水次数4次,土壤脱盐率可达98.61%。重度盐渍化地区淋盐定额为6 600~8 250 m^3/hm^2 ,灌水量1 650 m^3/hm^2 ,灌水次数4次,土壤脱盐率可达94.41%。

在青海高寒区盐碱地的治理过程中,毛细透排水带降盐技术对中度和重度盐渍土壤改良效果良好,优于传统的暗管排水技术,今后还需对毛细透排水带在其他地区盐碱地治理中的应用进行更深层次的研究,以期更有效的治理盐碱土壤,为盐碱土的开发利用提供新的技术。

参考文献:

- [1] 郭全恩,王益权,郭天文,等.半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J].土壤,2009,41(4):664-669.
- [2] 李世顺.青海省土地资源及其合理开发利用探讨[M].西宁:气象出版社,1995:59-66.
- [3] 马晨,马履一,刘太祥,等.盐碱地改良利用技术研究进展[J].世界林业研究,2010,23(2):28-32.
- [4] 迟春明,王志春.客土改良对碱土饱和导水率与盐分淋洗的影响[J].农业系统科学与综合研究,2011,27(1):98-101.
- [5] 曲璐,司振江,黄彦,等.振动深松技术与生化制剂在苏打盐碱土改良中的应用[J].农业工程学报,2008,24(5):95-99.
- [6] 王文杰,关宇,祖元刚,等.施加改良剂对重度盐碱地土壤盐碱动态及草本植物生长的影响[J].生态学报,2009,29(6):2 835-2 844.
- [7] BUSCH D E, SMITH S D. Effects of fire on water and salinity relations of riparian woody taxa[J]. Oecologia, 1993, 94(2):186.
- [8] 闫靖华,庞玮,张凤华.不同恢复方式下盐渍化弃耕地土壤生物学活性的变化[J].中国生态农业学报,2013,21(9):1 088-1 094.
- [9] RAI R. Strain-specific salt tolerance and chemotaxis of *Azospirillum brasilense* and their associative N-fixation with finger millet in saline calcareous soil [J]. Plant & Soil, 1991, 137(1):55-59.
- [10] ALTMAN A. The Plant and Agricultural Biotechnology Revolution: Where Do We Go from Here?[J]. Current Plant Science & Biotechnology in Agriculture, 1999, 5(38):14-18.
- [11] 赵兰坡,尚庆昌,李春林.松辽平原苏打盐碱土改良利用研究现状及问题[J].吉林农业大学学报,2000(s1):79-83, 85.
- [12] 王春娜,宫伟光.盐碱地改良的研究进展[J].防护林科技,2004(5):38-41.
- [13] 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(2):68-71.
- [14] 刘建强,毕华军,郑强.黄河三角洲盐碱地改良综合技术研究[J].山东水利,2014(2):4-7.
- [15] 张建锋,宋玉民,邢尚军,等.盐碱地改良利用与造林技术[J].东北林业大学学报,2002,30(6):124-129.
- [16] 于淑会,刘金铜,刘慧涛,等.暗管控制排水技术在近滨海盐碱地治理中的应用研究[J].灌溉排水学报,2014,33(3):42-46.
- [17] 陈阳,张展羽,冯根祥,等.滨海盐碱地暗管排水除盐效果试验研究[J].灌溉排水学报,2014,33(3):38-41.
- [18] 孟凤轩,迪力夏提,罗新湖,等.新垦盐渍化农田暗管排水技术研究[J].灌溉排水学报,2011,30(1):106-109.
- [19] 石佳,田军仓,朱磊.暗管排水对油菜地土壤脱盐及水分生产效率的影响[J].灌溉排水学报,2017(11):46-50.
- [20] 于淑会,刘金铜,李志祥,等.暗管排水排盐改良盐碱地机理与农田生态系统响应研究进展[J].中国生态农业学报,2012,20(12):1 664-1 672.
- [21] 周和平,张立新,禹锋,等.我国盐碱地改良技术综述及展望[J].现代农业科技,2007(11):159-161, 164.
- [22] 陈航,杨长岭.毛细式透排水带在整地工程中的应用[J].给水排水,2008(10):108-109.

- [23] 李伟, 杨丹, 李庆. 毛细排水带在隧道衬砌外排水系统中的应用研究[C]// 海峡两岸隧道与地下工程学术与技术研讨会. 2013.
- [24] 张月珍, 张展羽, 张宙云, 等. 滨海盐碱地暗管工程设计参数研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(4):96-99.
- [25] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 干旱区农田灌溉前后土壤水盐时空变异性研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3):491-499.
- [26] 张得芳, 樊光辉, 马玉林. 柴达木盆地盐碱土壤类型及其盐离子相关性研究[J]. 青海农林科技, 2016(3):1-6.
- [27] 俞永科, 王玫林. 浅议柴达木盆地盐碱土成因与暗排技术的应用[J]. 青海环境, 1997(1):19-21.
- [28] MMOLAWA K, Or D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review[J]. Plant & Soil, 2000, 222(1/2):163-190.
- [29] 王全九, 王文焰, 吕殿青, 等. 膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4):54-57.
- [30] 刘玉国, 杨海昌, 王开勇, 等. 新疆浅层暗管排水降低土壤盐分提高棉花产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16):84-90.
- [31] 杨鹏年, 董新光, 刘磊, 等. 干旱区大田膜下滴灌土壤盐分运移与调控[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12):90-95.
- [32] ROBERTS T L, WHITE S A, WARRICK A W, et al. Tape depth and germination method influence patterns of salt accumulation with subsurface drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(6):669-677.
- [33] ROSS P J. Modeling Soil Water and Solute Transport: Fast, Simplified Numerical Solutions[J]. Agronomy Journal, 2003, 95(6):1 352-1 361.

Efficacy of a Drainage System in Remediating Saline-alkali Soils in the Alpine Region of Qinghai Province

ZHANG Zhenzhong¹, ZHANG Jinxu², HUANG Jiasheng², ZHANG Tan¹, TANG Da¹, HE Kangning^{1*}, LI Runjie²

(1.School of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of State Forestry Administration on Soil and Water Conservation,

Beijing Engineering Research Center of Soil and Water Conservation, Engineering Research Center of

Forestry Ecological Engineering of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2.Institute of Water Resources and Hydropower of Qinghai Province, Xining 810001, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this paper is to present a drainage system as well as test of its efficacy in remediating saline-alkali soil in alpine region of Qinghai province. 【Method】 The work is part of a soil desalination project in Delhi (moderate salinization) and Nuomhon (severe salinization) in Qaidam Basin of Qinghai province, in which we studied salt leaching from the saline-alkali soils drained by a new system consisting of capillary-drainage belts and standard subsurface drain. 【Result】 ①In both soils, salt leaching from the top 0~10 cm was faster than from the subsoil and the leaching rate from the moderate and severe salinized soils at the end of the experiment was 81.19% and 96.62% respectively. ②The results saw a significant decrease in contents of Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ and K^+ in the top 0~10 cm soil, indicating the system was effective in leaching these ions. ③Overall, the system leached 98.61% of salt in the moderate salinized soil and 94.41% of salt in the severe salinized soil. 【Conclusion】 In terms of leaching rate, irrigating 1 500 m^3/hm^2 water in four times is most efficient for the moderate salinized soil, and 1 500 m^3/hm^2 in four times most efficient for the severe salinized soil.

Key words: saline soil improvement; subsurface pipe; capillary-drainage belt; salt quota; soil salinity

责任编辑:白芳芳