

不同磁化水处理下盐渍化土壤脱盐效果研究

徐莉^{1,2,3,4},唐金⁵,陈淑英⁵

(1.新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046;2.中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆乌鲁木齐 830011;
3.中国科学院大学,北京 100049;4.伊犁师范大学生物与地理科学学院,新疆伊宁 835000;
5.伊犁哈萨克自治州林业科学研究院,新疆伊宁 835000)

摘要:为了探究不同磁化强度的磁化水处理对土壤的脱盐效果及最佳磁感应强度,通过田间小区试验,设置了1 000 mT(T_1)、2 000 mT(T_2)、3 000 mT(T_3)、3 600 mT(T_4)、对照(CK)等5组处理。各处理下盐渍土壤的脱盐效果表明:与灌前未磁化相比较,磁化水滴灌下各土层平均盐分含量均明显下降,其中,土壤含盐量、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量分别降低了32.83%、54.35%和31.82%,表明磁化水滴灌能够有效增强对土壤盐分的淋洗作用。不同磁化强度处理下0~60 cm土壤盐分变化特征不一: T_2 处理下土壤含盐量和 Cl^- 含量在10~20 cm和0~10 cm处变化最为明显,分别降低了71.68%和84.76%; T_4 处理下 SO_4^{2-} 含量在20~40 cm降幅最大,下降76.47%;不同磁化强度处理下土壤脱盐效果均高于对照处理,且磁化强度与土壤脱盐效果不成比例; T_1 处理下土壤含盐量的脱盐率达到了57.47%,较CK提高了46.1%,明显高于其他处理。因此,在本试验条件下1 000 mT磁化效果较佳。综上所述,磁化水滴灌能明显降低土壤中的盐分含量,提高土壤脱盐率,对改良新疆地区中、轻度盐渍化土壤是一种行之有效的办法。

关键词:磁化水;土壤脱盐;磁化强度;新疆

中图分类号:S156 **文献标志码:**A

Effects of different magnetized-water treatments on soil desalinization

XU Li^{1,2,3,4}, TANG Jin⁵, CHEN Shu-ying⁵

(1. College of Resource and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;
2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
4. College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China;
5. Yili Academy of Forestry Sciences, Yining, Xinjiang 835000, China)

Abstract: To explore desalination effects of soil under different magnetized water treatments, and to find the best of magnetic induction intensity on soil desalting effect, a field plot experiment was conducted to investigate effect of soil desalination under different magnetization treatments. Under field plot experiment, the treatments included 1 000 mT (T_1), 2 000 mT (T_2), 3 000 mT (T_3), 3 600 mT (T_4) and CK (control treatment), respectively. The results showed that magnetized water improved the leaching of Cl^- and SO_4^{2-} and decreased soil salinity under drip irrigation, in which the soil salinity, Cl^- and SO_4^{2-} decreased by 32.83%, 54.35% and 31.82%, respectively. There were different characteristics of soil salinity under different magnetization treatments in different soil layers. Under T_2 treatment, soil salinity and Cl^- dramatically decreased by 71.68% and 84.76%, which were at the depth of 10~20 cm and 0~10 cm, respectively. The contents of SO_4^{2-} significantly decreased by 76.47% at the depth of 20~40 cm under T_4 treatment. Desalination effect on soil by different magnetization treatments was significantly greater than control treatment but desalination effect of soil was not proportional with magnetic intensity. The

收稿日期:2018-04-24

修回日期:2019-08-09

基金项目:新疆维吾尔自治区教育厅高校科研计划项目青年教师科研培育基金(自然科学类)(XJEDU2016S078);新疆维吾尔自治区科技厅科技支疆项目“果园磁化灌溉技术应用与示范”(2016E02042)

作者简介:徐莉(1986-),女,新疆博乐人,博士研究生,讲师,研究方向为干旱区气候与环境。E-mail: xuli1986317@126.com

通信作者:唐金(1987-),女,湖南人,工程师,主要从事林果业技术研究与推广。E-mail: balonhn@126.com

desalination rate of soil was at 57.47% under T_1 treatment, compared to CK, which was 46.1% higher. The T_1 treatment had higher desalination effect than other treatments, therefore, 1000mT magnetic field intensity was optimal treatment in this experiment. To sum up, magnetized water with drip irrigation can be used to lower salt content and thus reduce soil salinity. Additionally, it could be an effective method for improving medium and light saline soil.

Keywords: magnetized water; soil desalination; magnetization intensity; Xinjiang

目前,全球约有 7% 的土地受到盐渍化的威胁。我国是全球盐渍化程度较高的区域之一,盐渍化土壤总面积约为 $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 约占全国可利用土地面积的 4.88%^[1]。干旱、半干旱地区受土壤成土母质含盐、蒸降比大等因素的影响,土壤盐渍化及次生盐渍化普遍存在^[2],严重制约了干旱区绿洲农业的可持续发展。

自 20 世纪 60 年代,磁化水处理技术开始受到国内外学者的关注,并广泛应用于农林业生产。磁化水是指静置于磁场中的水和以一定的流速垂直或水平经过具有一定强度磁场的水^[3]。一般而言,被磁化后的水,其多种物理化学性质都发生了有益的变化^[4]。由于盐渍化土不能被任何化学试剂、机械或肥料直接而有效地改良,只能依靠淡水淋洗^[5],而磁化水对盐离子具有特殊的淋洗作用,能够有效促进盐分在土壤中的淋溶^[6-7],促使土壤理化性质发生有益变化^[8],增加作物产量^[9-10]。因此,不少学者对其进行了研究。Maheshwari 等^[11]对不同灌溉水进行磁化处理,发现磁化水处理后土壤理化性质发生了改变,且经磁化水浇灌的作物产量明显较高;Mostafazadeh-Fard 等^[12]研究认为磁化水可以有效降低土壤中的 SO_4^{2-} 离子含量;谢君^[13]通过磁化水滴灌棉田对照试验得出,2 次磁化水处理区土层全盐量降低迅速,且土壤脱盐率可达 39.3%;卜东升等^[14]研究了磁化水膜下滴灌对土壤脱盐效果的影响,表明磁化水的纯脱盐率能够达到 20%~30%,且土壤中的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 含量明显降低;张瑞喜等^[15]研究表明磁化水灌溉可以加速土壤盐向下运移,提高土壤渗漏量和增强对 Cl^- 、 Na^+ 的淋洗。

近年来,关于磁化水的研究不断取得进展,在浸种、灌溉、水培幼苗等方面均取得了一定成果^[16]。随着研究的深入,有研究表明不同磁化强度下磁化效果亦不相同,而且并不是磁场越大,磁化效果就会越明显^[17],而是在一定的磁场强度范围内,磁化水才能起到最佳效果^[18-20]。目前关于磁化水滴灌盐渍化土壤的研究以室内模拟试验和田间小区试验为主,研究多采用单一磁化强度或二次磁化^[7,15,18-19],然而比较不同磁化强度对土壤脱盐效

果的研究报道相对较少。因此,本文借助磁化水滴灌技术,设置 1 000、2 000、3 000、3 600 mT、对照组(CK)5 组不同磁化强度的对比试验,分析不同磁化强度下土壤盐分含量的变化特征,进一步对比分析不同强度的磁化水滴灌对盐渍化农田土壤的脱盐效果,旨在为节水灌溉条件下改善和利用盐碱土的新方法提供理论依据,最终为绿洲农业的可持续发展提供相关决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆伊犁河南岸察布查尔县的伊犁州林科院试验示范基地($43^\circ 44' 34'' \text{N}$, $81^\circ 10' 30'' \text{E}$),属于大陆性北温带温和干旱气候,冬春季长且冬季寒冷,夏秋季短且夏季炎热,年均气温 7.9°C ,极端最高气温 39.5°C ,极端最低气温 -43.2°C ;年均降水量 222 mm,年蒸发量 1 630 mm,蒸发量为降水量的 6~15 倍;年平均日照时数 2 846 h, $\geq 10^\circ \text{C}$ 的积温 3 389.1 $^\circ \text{C}$,无霜期 169 d;土壤类型以灰钙土为主,局部为盐化灰钙土或草甸盐土。该区由于干旱,降水少,气温高,地表蒸发强烈,地下水矿化度高,导致盐分在土层上部积累,易形成盐渍化和次生盐渍化。土壤含盐量为 0.55%~0.8%,属于中度盐渍土;盐渍化类型主要为硫酸盐盐渍土,氯化物盐渍土分布较少,阳离子以 Na^+ 含量最高, Na_2SO_4 和 NaCl 是主要的次生盐渍化盐分,pH 平均值大于 8.3^[21]。

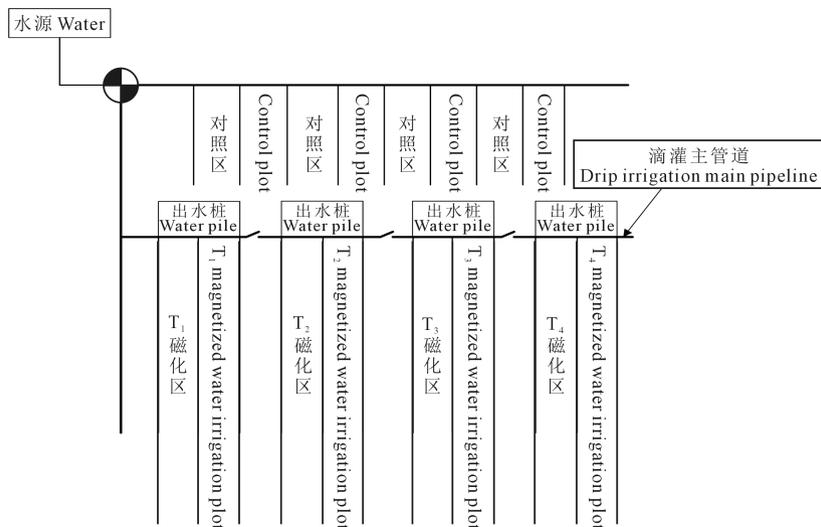
试验材料为种植 2 a 苹果所在地的盐渍化土壤,占地面积 1.4 hm^2 。试验区土壤有机质为 10.83 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮为 109.81 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 139.31 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷为 9.49 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。此外,试验区行间实行果园生草,草类种植以黑麦草和高羊茅为主,树盘覆盖锯末、玉米秸秆。

1.2 试验设计

2017 年 5 月 15 日在试验区安装磁化器,供试磁化器为包头市鑫达磁性材料厂生产的农灌注水磁化器,直径为 90 mm。试验设普通水灌溉(CK)、磁化强度为 1 000 mT(mT 为磁感应强度单位,豪特)(T_1)、磁化强度为 2 000 mT(T_2)、磁化强度为

3 000 mT(T_3)、磁化强度为 3 600 mT(T_4)等 5 组。灌水前将磁化器与主管道相连接,将磁化器置于出水桩内,2 个磁化器间相互独立,互不影响,且间距约为 25 m,当滴灌水经流磁化器即被磁化,具体见

图 1。磁化水处理与未磁化水处理(CK),其他田间管理措施和大田一致。灌溉定额 $2\ 700\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水定额均为 $300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,灌水周期均为 20 d,每次滴水 6~8 h。



注: $T_1 \sim T_4$ 磁化区分别为 1 000、2 000、3 000、3 600 mT 磁化水灌溉;对照区为普通水灌溉。下同。

Note: $T_1 \sim T_4$ magnetized water irrigation plots were irrigated with magnetized water of 1 000, 2 000, 3 000 and 3 600 mT, respectively. Control plot was irrigated with ordinary water. The same below.

图 1 试验设计示意图

Fig.1 Schematic of the experiment of drip irrigation

1.3 采样及测定方法

1.3.1 样品采集 于 2017 年 5 月、10 月分别进行野外采样。试验区采用滴灌方式,每隔 20 d 灌水 1 次,每次灌水 6~8 h,试验期间灌水次数为 6 次,实际灌水量为 $1\ 800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在试验区随机取样,每行选取 3~4 个采样点,每个采样点沿一侧滴灌带方向正下方同一水平线上按不同垂直深度 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 进行分层取样,每层重复取 3 个样品,混合为一个样品。采好后放入密封袋中,在密封袋内外附上标签,包括样品名称、土层深度、经纬度等。将野外采集的土壤样品带回实验室,在实验室内去除细根和石块等杂质,自然风干,过 2 mm 孔筛,用于测定不同土层的土壤含盐量、土壤可溶性盐离子组成等。此外,在首次滴灌前一天,按上述采样层次采集组成混合土壤样品测定基础盐分含量。

1.3.2 试验测定方法 土壤样品测定参照《土壤农化分析(第三版)》^[22]。土壤全盐量测定采用水土比(5:1)烘干残渣法,重复 3 次;土壤浸提液中 Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法, SO_4^{2-} 采用 EDTA 容量法。

1.4 数据处理与分析

所有试验数据用 Excel 2017 进行整理,利用

SPSS 19.0 对土壤含盐量、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 进行统计学分析,并使用 Origin 8.0 软件对其数据作图。土壤脱盐效果借助土壤脱盐率来反映,其计算公式如下:

$$Z = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100$$

其中, Z 为土壤脱盐率(%); X_1 为未经磁化水滴灌前土壤盐分初始值($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); X_2 为磁化水滴灌后土壤盐分终值($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

2 结果分析

2.1 不同磁化水处理下土壤剖面的含盐量变化

不同磁化水处理下各土层含盐量的变化见表 1。由表 1 可知,未经磁化处理水灌溉的土壤盐分变化范围在 $1.605 \sim 3.682\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均含量约为 $2.649\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从垂直方向上看, T_1 、 T_2 、 T_3 表现出 0~10 cm 的土壤含盐量均低于 40~60 cm,在 20~40 cm 处最高,且随着土壤深度的增加呈现出先增加再降低的趋势; T_4 、CK 则表现出表层土壤含盐量高于底层,且随着土壤深度的增加呈现出逐渐降低的趋势。经不同磁化强度的水灌溉后土壤含盐量发生明显变化。灌后土壤含盐量变化范围在 $0.810 \sim 3.142\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均含盐量为 $1.785\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与

表 1 不同磁化水处理下土壤剖面含盐量变化

Table 1 Change of soil salinity before and after drip irrigation under different magnetization water treatments

土层/cm Soil depth	处理 Treatment	土壤含盐量/(g·kg ⁻¹) Soil salinity		脱盐率/% Desalination rate
		灌前 Before irrigation	灌后 After irrigation	
0~10	T ₁	1.605	0.953	40.55
	T ₂	2.369	1.110	53.14
	T ₃	2.013	1.107	45.03
	T ₄	2.092	1.650	21.13
	CK	3.682	3.142	14.66
10~20	T ₁	2.146	1.020	52.46
	T ₂	2.860	0.810	71.68
	T ₃	2.052	1.587	22.67
	T ₄	1.784	1.260	29.36
	CK	2.866	2.592	9.57
20~40	T ₁	3.505	1.227	65.00
	T ₂	3.485	2.833	18.69
	T ₃	3.361	2.800	16.69
	T ₄	1.749	1.255	28.24
	CK	3.375	3.058	9.38
40~60	T ₁	3.201	1.247	61.05
	T ₂	3.314	2.707	18.33
	T ₃	2.151	1.100	48.87
	T ₄	1.950	1.210	37.95
	CK	3.417	3.031	11.30

灌溉前相比,灌后被磁化的各土层含盐量均明显降低,且平均各土层土壤含盐量降低了约 32.83%。垂直方向上不同深度土壤含盐量变化不一。T₁处理下 0~60 cm 土壤含盐量降低值均较大,其中在 20~40 cm 降低最为明显,下降了 65%;T₂在 0~20 cm 处土壤含盐量明显减少,约平均降低了 62.41%;T₃、T₄在 40~60 cm 处土壤含盐量明显减少,分别降低了 48.87%和 37.95%;CK 土壤含盐量降低幅度相对较小,且明显降幅低于磁化水滴灌处理。由此表明,磁化水滴灌能降低土壤中的盐分含量,较普通水更易使得盐分淋出土体。此外,与灌前未经磁化水处理相比较,随着土层深度的增加土壤含盐量的变化规律也发生了明显变化,表层含量明显低于底层,即随土层深度的增加表现为增加趋势,表明磁化水滴灌对表层土壤盐分含量的淋洗效果更加明显,能够使土壤盐分不断向下运移。

2.2 不同磁化水处理下土壤剖面 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 含量变化

盐随水走,灌溉水可将可溶性盐分带到土壤深层,从而起到淋盐作用^[15]。Cl⁻、SO₄²⁻ 是干旱区绿洲农田主要的可溶性盐离子。因此,研究不同磁化水处理下土壤 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 组成对了解土壤盐分特征具有重要作用。

不同磁化水处理下土壤 Cl⁻、SO₄²⁻ 含量组成变

化见图 2。图 2a 为未经磁化水灌溉土壤 Cl⁻ 含量剖面分布图。土壤 Cl⁻ 含量变化范围在 0.012~0.092 g·kg⁻¹ 之间,平均含量为 0.046 g·kg⁻¹。从垂直方向上看,T₁ 表层 Cl⁻ 含量明显低于底层,且随着土壤深度的增加呈现出增加趋势;T₂、T₃、T₄、CK 在 0~10 cm 处 Cl⁻ 含量明显高于 40~60 cm,且随着土壤深度的增加呈现先增加再降低的趋势。图 2b 为不同磁化处理水灌溉后土壤 Cl⁻ 含量剖面分布图。土壤 Cl⁻ 含量范围在 0.004~0.053 g·kg⁻¹ 之间,平均含量为 0.021 g·kg⁻¹。与灌前相比较,被磁化水灌溉后各土层 Cl⁻ 含量显著下降,平均各土层 Cl⁻ 约降低了 54.35%。从垂直方向上看,T₁ 在 40~60 cm 变化最为显著,Cl⁻ 含量较灌前约降低了 43.64%;T₂ 在 0~40 cm 处变化较为显著,其中在 0~10 cm 处变化最大,且较灌前约降低了 84.76%;T₃、T₄ 在 10~40 cm 处显著下降,且随着土壤深度的增加呈现出逐渐降低的趋势;CK 在 20~40 cm 处变化较为明显,较灌前约降低了 23.27%。由此表明,磁化水滴灌对土壤 Cl⁻ 的淋洗效果较为显著,能够使得更多的 Cl⁻ 从土壤中析出。

图 2c 为未经磁化水灌溉土壤 SO₄²⁻ 含量剖面分布图。土壤 SO₄²⁻ 含量变化范围在 0.260~1.186 g·kg⁻¹ 之间,平均含量为 0.662 g·kg⁻¹。从垂直方向上看,T₁、CK 表层 SO₄²⁻ 含量低于底层,且随着土壤深度的增加呈现先降低再增加的趋势;T₂、T₃ 在 20~40 cm 处 SO₄²⁻ 含量较高,且随着土壤深度的增加呈现先增加再降低的趋势;T₄ 在 0~10 cm 处 SO₄²⁻ 含量最高,且随着土壤深度的增加呈现出逐渐降低的趋势。图 2d 为不同磁化处理水灌溉后土壤中 SO₄²⁻ 含量剖面分布图。土壤 SO₄²⁻ 含量范围在 0.065~1.052 g·kg⁻¹ 之间,平均含量为 0.453 g·kg⁻¹。与灌前相比较,被磁化水灌溉后各土层 SO₄²⁻ 含量显著下降,平均各土层 SO₄²⁻ 约降低了 31.82%。从垂直方向上看,T₁、T₄ 底层 SO₄²⁻ 含量降低较为明显,其中在 20~40 cm 处与灌前相比较分别约降低了 57.57%和 76.47%;T₂、T₃ 在 0~10 cm 处 SO₄²⁻ 含量降低较为显著,分别较灌前约降低了 54.96%和 65.02%;CK 土壤在 20~40 cm 处较灌前变化较大,约降低了 15.55%。综上所述,磁化水滴灌可以加快土壤 SO₄²⁻ 的向下运移。此外,经磁化水滴灌的底层土壤 SO₄²⁻ 含量下降幅度仍大于对照组,表明用磁化水滴灌对底层土壤 SO₄²⁻ 的淋洗也很明显。综上所述,不同磁化强度处理对土壤 Cl⁻、SO₄²⁻ 含量的脱盐效果虽各

有特点,但较对照组来看,均能使得更多的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 淋洗出土体,降低离子含量。

2.3 不同磁化水处理对土壤脱盐率的影响

不同磁化水处理对土壤脱盐率的影响存在一定差异(表 2)。从土壤平均含盐量来看,脱盐率由低到高依次为 $\text{CK} < \text{T}_4 < \text{T}_3 < \text{T}_2 < \text{T}_1$ 。其中, T_1 处理明显高于其他处理,脱盐率为 57.47%; T_3 、 T_4 处理间脱盐率差异较小,分别为 31.16%、29.04%; CK 较 T_1 处理约低了 46.1%。从土壤 Cl^- 、 SO_4^{2-} 平均含量来看,不同磁化水处理下土壤中 Cl^- 脱除率由低到高依次为 $\text{CK} < \text{T}_1 < \text{T}_4 < \text{T}_3 < \text{T}_2$ 。其中, T_2 处理脱氯率最高达到了 81.21%, T_3 、 T_4 处理也分别达到了 75.37%、

64.69%, CK 较 T_2 处理约低了 65.37%; 不同磁化水处理下土壤中 SO_4^{2-} 脱除率由低到高依次为 $\text{CK} < \text{T}_2 < \text{T}_3 < \text{T}_1 < \text{T}_4$ 。其中, T_4 处理脱硫率较高达到了 65.67%; T_1 、 T_3 处理间脱盐率差异较小分别为 38.56%、37.75%; CK 处理脱硫率仅 3.79%。由此可知,不同强度的磁化水灌溉均优于普通水灌溉,且不同磁化强度处理对土壤含盐量、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的淋洗效果存在差异,这与不同磁场处理对离子的作用强度、起始含盐量等有关,基数不同,其脱盐效果亦不相同。综合来看, T_1 处理下对土壤含盐量、 SO_4^{2-} 的磁化脱盐效果优于 Cl^- , 因此,不考虑 Cl^- 的情况下, T_1 处理下土壤脱盐效果相对较优。

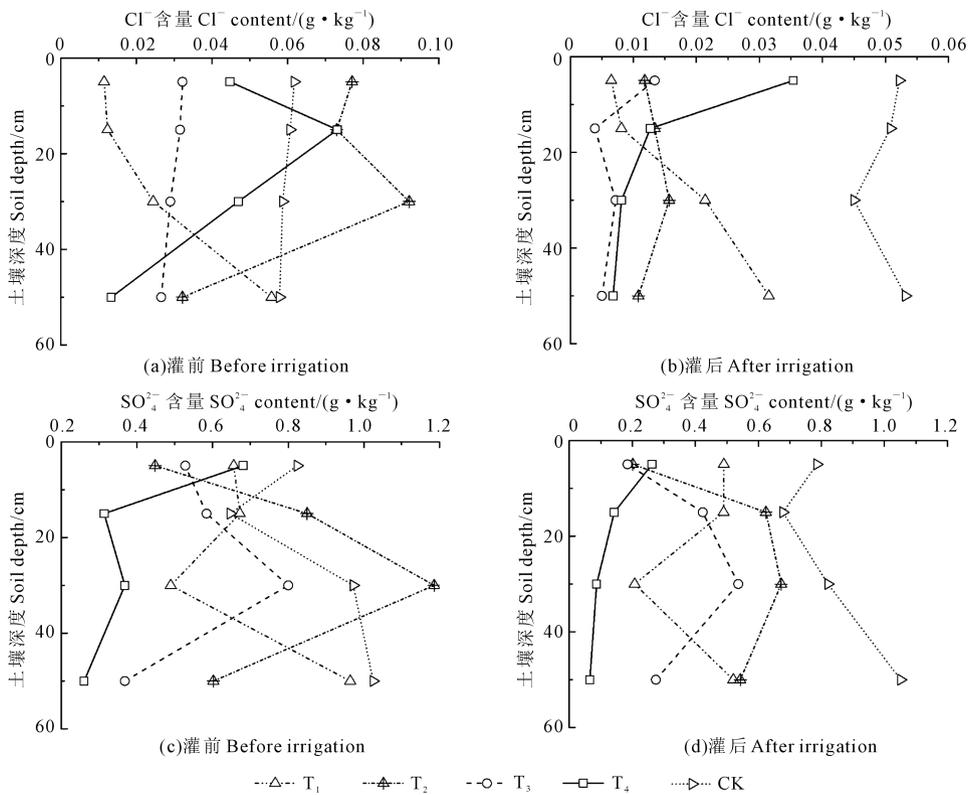


图 2 不同磁化水处理下灌前及灌后土壤剖面的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量分布

Fig.2 The profile of soil Cl^- and SO_4^{2-} contents before and after drip irrigation under different magnetization water treatments

表 2 不同磁化水处理对土壤脱盐率的影响

Table 2 Effect of different magnetization water treatments on desalination rate of soils

处理 Treatment	含盐量/(g · kg ⁻¹) Soil salinity		脱盐率/% Desalination rate	Cl ⁻ 含量/(g · kg ⁻¹) Cl ⁻ content		脱除率/% Removal rate	SO ₄ ²⁻ 含量/(g · kg ⁻¹) SO ₄ ²⁻ content		脱除率/% Removal rate
	灌前 Before irrigation	灌后 After irrigation		灌前 Before irrigation	灌后 After irrigation		灌前 Before irrigation	灌后 After irrigation	
	T ₁	2.614±0.891	1.112±0.147	57.47	0.026±0.01	0.017±0.002	35.32	0.695±0.197	0.427±0.147
T ₂	3.007±0.501	1.865±0.534	37.98	0.068±0.026	0.013±0.002	81.21	0.772±0.221	0.510±0.212	33.84
T ₃	2.394±0.647	1.648±0.801	31.16	0.029±0.003	0.007±0.004	75.37	0.570±0.179	0.355±0.156	37.75
T ₄	1.894±0.157	1.344±0.205	29.04	0.045±0.024	0.016±0.013	64.69	0.406±0.089	0.139±0.088	65.67
CK	3.335±0.341	2.956±0.247	11.37	0.060±0.002	0.050±0.004	15.84	0.867±0.170	0.834±0.157	3.79

3 讨 论

已有研究表明,利用磁化水灌溉不仅能够使得作物增产,而且能提高土壤养分利用的有效性和土壤的脱盐率^[8-10]。本研究中,通过对比分析不同磁化强度处理的水滴灌前后土壤含盐量、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量的变化特征,证明用磁化水滴灌均能够有效促进土壤脱盐,这与前人的研究结果较为一致。不同土层土壤脱盐效果不同。卜东升等^[14]研究表明磁化水灌溉时 0~40 cm 土层脱盐率较高,20~40 cm 土层脱盐效果最佳;张瑞喜等^[15]研究认为经过磁化水灌溉,0~60 cm 土层土壤含盐量下降显著,但在 60~100 cm 土层土壤含盐量磁化水处理显著高于对照;在本研究中,磁化水滴灌处理下 0~40 cm 土层含盐率下降明显,其中,0~20 cm 土层更为显著。由此可知,磁化水滴灌能够有效降低表层土壤盐分含量,究其原因,可能是水经过磁化后水分子结构发生了变化,使较大的水分子集团变成较小的水分子集团甚至单个水分子,变小的水分子更易进入土壤颗粒间隙,使得更多的水分可停留在耕作层,从而使得表层土壤盐分含量降低^[17,23]。

不同磁化强度直接影响土壤的脱盐效果,张瑞喜等^[18]通过室内土柱模拟和田间小区滴灌实验,研究表明磁化水灌溉有利于将更多的盐分淋洗出土体,且 300 mT 磁处理效果最佳;李夏等^[19]探究了一次磁化、二次磁化处理水灌溉对棉田土壤脱盐效果的影响,发现二次磁化 3 600~2 000 mT 效果最佳;王洪波等^[24]通过设置 4 种磁化灌水模式,对比分析了不同磁化强度处理的水灌溉对甜菜增产效果的影响程度,研究认为以二次磁化 1 600~2 400 Gs 处理效果最佳;在本研究结果中,通过对比 4 种磁化处理方式,发现 T_1 处理土壤脱盐率相对较高,即 1 000 mT 磁化处理效果最佳。由此可以看出,不同作用对象的最佳磁感应强度亦不相同,且磁场强度的大小与脱盐效果并不成正比。此外,有研究表明磁化水的作用效果,不仅与磁感应强度、磁化时水的流速有关,而且还和它们的交互作用以及作用对象等有关^[25]。因此,不同的试验目的、试验对象及试验条件,其最佳磁感应强度都是存在差异的,所以对最佳磁感应强度的确定今后需要进一步深入探究,还需要不断地进行大田试验研究。此外,本文仅探究了不同磁化水处理对土壤脱盐效果的影响,对磁化效果的影响因素探究较少,因此,在后续的研究中,应对磁化水滴灌后土壤的物理化学性质变化原因进行更深入地探讨和研究。

磁化水处理技术具有劳动量小、操作简便快速、投入低、效率高、无污染、无危害等特点^[3,18],具有广阔的应用前景。因此,在干旱、半干旱地区,磁化水结合滴灌技术可以作为盐渍化土壤改良措施的一种可选方法,对表层土壤能够起到较好的改良效果。本文仅对比分析了不同磁化处理下土壤的脱盐效果,虽未分析其对作物生长态势及产量与经济效益等方面影响,但从土壤脱盐率来看,磁化水滴灌对改良新疆中轻度盐渍化土壤是一种行之有效的办法。

4 结 论

磁化水滴灌对土壤盐分影响显著。与未经磁化水灌溉相比较,被磁化水灌溉后各土层含盐量、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量均明显下降,且分别降低了 32.83%、54.35%和 31.82%。不同磁化水处理下各土层土壤盐分变化特征存在明显差异,0~40 cm 土层盐分变化较明显,其中,0~20 cm 处变化较大,且在 T_2 处理下变化最大,表明 T_2 处理对表层土壤盐分含量的淋洗效果明显;从土壤脱盐率来看,土壤含盐量的脱盐率由低到高依次为 $\text{CK} < T_4 < T_3 < T_2 < T_1$,其中, T_1 处理明显高于其他处理,脱盐率为 57.47%,较 CK 提高了约 46.1%; T_2 处理下土壤 Cl^- 和 T_4 处理下 SO_4^{2-} 较 CK 分别提高了约 65.37%和 61.88%;不同磁化水处理下脱盐效果均明显大于对照处理;综合来看, T_1 处理土壤脱盐效果相对较优,即 1 000 mT 磁化效果更佳。综上所述,磁化水滴灌能显著降低土壤中的盐分含量,较普通水更易使得盐分淋出土体,提高土壤脱盐率,且磁化强度与土壤脱盐效果并不成比例关系。

参 考 文 献:

- [1] 刘广明,吴亚坤,杨劲松,等.基于电磁感应技术的区域三维土壤盐分空间变异研究[J].农业机械学报,2013,44(7):78-82,66.
- [2] 马传明,靳孟贵.西北地区盐渍化土地开发中存在问题及防治对策[J].水文,2007,27(1):78-81.
- [3] 周胜,张瑞喜,褚贵新,等.磁化水在农业上的应用[J].农业工程,2012,2(6):44-48.
- [4] 余细红,向亚林.关于磁化水农业应用的综述[J].安徽农学通报,2008,14(6):50-51.
- [5] 邢军武.盐碱环境与盐碱农业[J].地球科学进展,2001,16(2):257-266.
- [6] 王艳红,杨小刚.磁化水处理技术及其在农业上的应用[J].农业工程,2014,4(5):74-77.
- [7] 乔国庆,唐诚,王卫兵,等.棉田磁化水灌溉脱盐作用及促生效果示范[J].新疆农垦科技,2014,37(6):50-52.
- [8] 王录,郭建耀,刘秀梅,等.磁化水灌溉对盐渍化土壤生化性质的影响[J].核农学报,2018,32(1):150-256.

- [9] 谢君. 棉田滴灌磁化水土壤脱盐碱大田试验效果[J]. 新疆农垦科技, 2007, (5):47-48.
- [10] 郑德明, 姜益娟, 柳维扬, 等. 膜下滴灌磁化水对棉田土壤的脱盐效果研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(3):494-497.
- [11] Maheshwari B L, Grewal H S. Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(8):1229-1236.
- [12] Mostafazadeh-Fard B, Khoshravesh M, Mousavi S F, et al. Effects of magnetized water on soil sulphate ions in trickle irrigation[C]//Asia-Pacific Chemical, Biologic & Environmental Engineering Society. Proceedings of International Conference on Environmental Engineering and Applications, Singapore: IACSIT Press, 2011, 94-99.
- [13] 谢君. 棉田磁化水滴灌对土壤脱盐碱效果研究[J]. 新疆农垦科技, 2010, 33(6):70-71.
- [14] 卜东升, 奉文贵, 蔡利华, 等. 磁化水膜下滴灌对新疆棉田土壤脱盐效果的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊2):163-166.
- [15] 张瑞喜, 褚贵新, 王卫兵, 等. 滴灌条件下磁化水对土壤淋盐作用的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(9):1656-1661.
- [16] 赵黎明, 李明, 郑殿峰, 等. 磁化水在农作物上应用的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2014, (10):158-160.
- [17] 丁振瑞, 赵亚军, 陈凤玲, 等. 磁化水的磁化机理研究[J]. 物理学报, 2011, 60(6):064701-1-064701-8.
- [18] 张瑞喜, 王卫兵, 褚贵新. 磁化水在盐渍化土壤中的入渗和淋洗效应[J]. 中国农业科学, 2014, 47(8):1634-1641.
- [19] 李夏, 木乔, 周生斌. 磁化水滴灌对棉田土壤脱盐效果及棉花产量的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2):431-436.
- [20] 刘洪波, 白云岗, 张江辉. 不同磁化强度处理对苜蓿生长和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(4):742-747.
- [21] 靳建辉, 李志忠, 凌智永, 等. 新疆伊犁河谷新垦绿洲土壤盐渍化空间特征分析[J]. 土壤通报, 2011, 42(5):1057-1063.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 117-137.
- [23] Surendran U, Sandeep O, Joseph E J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics [J]. Agricultural Water Management, 2016, 178:21-29.
- [24] 王洪波, 乔木, 周生斌, 等. 土壤盐分及甜菜产量对磁化水滴灌的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(3):158-163.
- [25] 熊瑞生. 磁化水的活性及其与磁感应强度的相关性分析[J]. 江西理工大学学报, 2013, 34(5):11-16.

(上接第 199 页)

- [13] 李晓明, 韩霖昌, 李娟. 典型半干旱区土壤盐分高光谱特征反演[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(4):1081-1084.
- [14] 柴思跃, 马维玲, 刘高焕, 等. GA-PLS 方法提取土壤水盐光谱特征的精度分析[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(4):638-644.
- [15] 王爽, 丁建丽, 王璐, 等. 基于地表光谱建模的区域土壤盐渍化遥感监测研究[J]. 干旱区地理, 2016, 39(1):190-198.
- [16] Zhan X, Zhao N, Lin Z, et al. Effect of algorithms for calibration set selection on quantitatively determining asiaticoside content in Centella total glucosides by near infrared spectroscopy [J]. Spectroscopy & Spectral Analysis, 2014, 34(12):3267-3272.
- [17] 刘焕军, 张小康, 张新乐, 等. 面向土壤分类的高光谱反射特征参数模型[J]. 遥感学报, 2017, (1):105-114.
- [18] 郭熙, 谢碧裕, 叶英聪, 等. 高光谱特征辨别潜育型麻沙泥田和潮沙泥田水稻土[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21):184-191.
- [19] 张雪红, 刘绍民, 何蓓蓓. 基于包络线消除法的油菜氮素营养高光谱评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10):151-155.
- [20] 章海亮, 罗微, 刘雪梅, 等. 应用遗传算法结合连续投影算法近红外光谱检测土壤有机质研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, (2):584-587.
- [21] 刘燕德, 张光伟, 蔡丽君. 基于高光谱的 GA 和 SPA 算法对赣南脐橙叶绿素定量分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(12):3377-3380.
- [22] 李金梦, 叶旭君, 王巧男, 等. 高光谱成像技术的柑橘植株叶片含氮量预测模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, (1):212-216.
- [23] Zeng W, Huang J, Xu C, et al. Hyperspectral reflectance models for soil salt content by filtering methods and waveband selection[J]. Ecological Chemistry & Engineering S, 2016, 23(1):117-130.
- [24] Zhang D, Tiyyip T, Ding J, et al. Quantitative estimating salt content of saline soil using laboratory hyperspectral data treated by fractional derivative[J]. Journal of Spectroscopy, 2016, (1):1-11.
- [25] 于雷, 洪永胜, 耿雷, 等. 基于偏最小二乘回归的土壤有机质含量高光谱估算[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14):103-109.
- [26] Cozzolino D, Kwiatkowski M J, Parker M, et al. Prediction of phenolic compounds in red wine fermentations by visible and near infrared spectroscopy [J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 513(1):73-80.
- [27] Weng Y, Gong P, Zhu Z. Soil salt content estimation in the Yellow River delta with satellite hyperspectral data[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2008, 34(3):259-270.