

磁化水灌溉对土壤水盐分布和春玉米产量的影响

盛统民^{1,2}, 张胜江^{1,2}, 肖兵^{1,2}

(1.新疆水利水电科学研究院, 乌鲁木齐 830049; 2.新疆农业节水工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830049)

摘要:以春玉米为研究对象,通过磁化水灌溉试验,研究磁化水灌溉条件下不同灌水量(4 200, 4 800, 5 400 m³/hm²)对土壤水盐分布、玉米干物质质量积累、产量及生长特性的影响,以探寻 3 500 Gs 磁化强度磁化水灌溉条件下适宜的灌水量,为促进塔里木盆地农业资源高效利用提供相关数据支持。结果表明:不同灌水量下磁化水灌溉均能提高土壤含水量,40—60 cm 土层土壤盐分淋洗效果优于 0—20 cm 土层;磁化水灌溉可促进玉米植株生长及产量增加,各处理磁化水灌溉玉米产量较非磁化处理增加了 2.11%~19.31%;磁化水 3 500 Gs 磁化强度灌溉 4 800 m³/hm²处理产量均最佳,水分利用效率及灌溉水利用效率均达到最大,分别为 2.64, 2.86 kg/m³。因此,与非磁化灌溉相比,适宜的磁化水灌溉量可改善玉米穗部干物质积累,有利于提高玉米的产量及水分利用效率。

关键词: 春玉米; 磁化水; 灌水量; 干物质质量积累; 生长特性; 水分利用效率

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)05-0289-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.05.039

Effect of Magnetized Water Irrigation on Soil Water and Salt Distribution and Spring Corn Yield

SHENG Tongmin^{1,2}, ZHANG Shengjiang^{1,2}, XIAO Bing^{1,2}

(1.Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830049;

2.Xinjiang Agriculture Water-Saving Engineering Technology Research Center, Urumqi 830049)

Abstract: Taked spring corn as the research object, through magnetized water irrigation experiments, the effects of different irrigation amounts (4 200, 4 800, 5 400 m³/hm²) on the distribution characteristics of soil water and salt, dry matter accumulation, yield and growth of maize under the conditions of magnetized water irrigation were studied. The impact of characteristics, to explore the appropriate irrigation volume under the conditions of 3 500 Gs magnetized water, to provide relevant data support for promoting the efficient use of agricultural resources in the Tarim Basin. The results show that magnetized water irrigation could increase soil water content under different irrigation amounts. The soil salt leached effect of 40—60 cm soil layer was better than that of 0—20 cm soil layer. Magnetized water irrigation could promoted corn plant growth and increased yield. Each treatment of magnetized water Irrigated corn yield increased by 2.11%~19.31% compared with non-magnetized treatment; magnetized water 3 500Gs magnetization intensity irrigation 4 800 m³/hm² treatment yields the best, water use efficiency and irrigation water use efficiency reached the maximum, respectively 2.64 and 2.86 kg/m³. Therefore, compared with non-magnetized irrigation, the appropriate amount of magnetized water irrigation could improved the dry matter accumulation of corn ears, which was beneficial to increased the yield and water used efficiency of corn.

Keywords: spring corn; magnetized water; irrigation amount; dry matter accumulation; growth characteristics; water use efficiency

土地盐碱化是制约干旱半干旱地区土地资源开发利用和农业生产的核心问题之一。新疆又被国际上誉为世界盐碱地博物馆,盐碱地约有 0.2 亿 hm²,

约占新疆土地面积的 1/8、平原地区的 1/4^[1]。新疆盐碱地大多分布于南疆地区,盐碱耕地占耕地的 49.6%^[2]。盐碱地的生态治理与土壤次生盐渍化的防治对促进

收稿日期:2021-03-23

资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0501405);新疆水利科技专项(TG2020-5, XSKJ-2021-08);自治区公益性科研院所基本业务项目(KY2020076, KY2021086)

第一作者:盛统民(1989—),男,研究生,工程师,主要从事节水灌溉技术应用研究。E-mail: xjxndstm@163.com

通信作者:张胜江(1969—),男,本科,高级工程师,主要从事节水灌溉、水资源规划研究。E-mail: zhsh1104@163.com

我国耕地占补平衡、农业可持续发展及社会保障具有重要意义。盐碱地的改良和修复措施包括物理、化学、生物及水利工程等^[3-4],化学、生物及水利工程等部分改良措施存在投资高、土壤结构破坏大等不足,随着磁技术的发展,磁化水灌溉在农业领域展现了巨大的应用前景^[5]。已有研究^[6-10]表明,将微咸水以适当的速度垂直通过带有磁场分布的管道后,水的物理及化学性质会发生改变,如表面张力、缔合度及黏度系数降低,浸润能力提高,pH、电导率、溶解氧量及光化学性能均发生改变。同时,王全九等^[11]研究结果表明,磁化水灌溉可有效降低土壤的盐分含量。近年来,主要研究方向集中在磁化水膜下滴灌的理化性能、盐分运移、种子萌发、幼苗生长及作物增产等方面。丁振瑞等^[12]研究表明,磁化水的效果与水体的组成成分关系密切。卜东升等^[13]通过对新疆棉田磁化水灌溉的土壤脱盐效果研究表明,膜下滴灌磁化水灌溉可显著的降低土壤含盐量,提高土壤脱盐率20%~30%。周先容等^[14]探讨磁化水对玉米、大豆种子萌发的影响研究表明,低磁化强度可促进大豆、玉米种子萌发和早期生长。陈胜文等^[15]研究磁化水对番茄种子萌发及幼苗生长的影响发现,采用磁化水浸种提高了幼苗体内的过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性,增强了幼苗的抗逆性。彭遥等^[16]研究磁化水灌溉对棉花的生长影响表明,棉花在3 000 Gs 处理下棉花有效结铃数及单铃重达到最大,进而获得高产量。王洪波等^[17]研究不同磁化强度对玉米产量的影响表明,磁化水灌溉可有效促进玉米产量的增加。综上所述,磁化水灌溉在水稻、大豆、番茄及棉花等作物应用后均有明显的增产效果,玉米磁化水灌溉仅有出苗及幼苗生长等方面的研究,有关玉米在磁化水灌溉条件下不同灌水量方面的研究鲜有报道,本文意在研究微咸水灌溉条件下磁化不同灌水处理对土壤盐分淋洗、玉米生长及产量的影响,探索磁化微咸水灌溉条件下适宜的灌水量,以期全疆盐碱地资源改良与利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在新疆水科院库尔勒灌排试验基地进行,该基地位于新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局水利科研所(41°33'N,83°12'E),试验站属于巴州库尔勒市西尼尔镇,处于天山南麓塔里木盆地边缘孔雀河冲积平原带,属暖温带大陆性荒漠气候。地区干旱少雨而蒸发强烈,气候干燥,昼夜温差大,差幅10~20℃。多年平均降水量32.7~53.3 mm,潜在蒸发量2 273~2 788 mm,蒸降比达43.3,日照时间3 033.2 h,年平均气温11.48℃,≥10℃积温4 121.2℃,无霜期191天。

1.2 试验设计

试验春玉米春灌为4月30日,播种日期为5月7日,所有处理均采用的种植模式为:一膜一管两行,覆膜宽度为70 cm(宽膜),行距为40 cm+60 cm;株距为20 cm,滴灌带间距为100 cm,滴灌带采用内镶贴片为2.2 L/h,滴头间距为30 cm(图1)。

在试验区挖取100 cm深的土壤剖面测定土壤含水率、土壤初始盐分含量及土壤颗粒组成等^[18],取3个重复,利用200 cm³环刀测定土壤容重,采用DDS-308型电导率仪(上海雷磁仪器有限公司)测定土壤电导率,利用Masterszer 2000激光粒度仪测定土壤颗粒组成。利用Hydrus-1D模型通过土壤容重和颗粒级配反推土壤的水分特征曲线,具体土壤物理性质土壤类型粉沙壤土,容重为1.54 g/cm³,田间含水率为0.424 cm³/cm³,初始平均含盐量为1.2 g/kg。

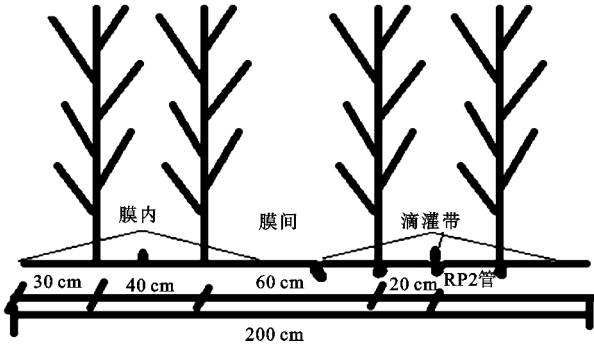


图 1 玉米田间布置示意

开展不同灌水量磁化水灌溉试验,试验磁化器磁化强度以王俊花等^[19]研究磁化水对甜玉米增产效果推荐的3 500 Gs 磁化强度为主,灌水梯度分别设置为52.5,60.0,67.5 mm^[20],灌水次数均为8次,开展3种灌水梯度磁化与无磁化对比分析,试验设置6个处理,每个处理设置3个重复,共计18个小区,试验小区采用有底测坑,底部设置排水管,测坑面积为2.0 m×3.3 m=6.6 m²,基施底肥300 kg/hm²二胺,150 kg/hm²复合肥,74 kg/hm²硫酸钾,测坑灌水通过称重法进行灌溉,灌水日期分别为5月27日,6月20日,6月30日,7月9日,7月17日,7月25日,8月4日,8月15日。详细试验方案见表1。

表 1 玉米试验设计

处理 编号	磁化 类型	灌水量/ mm	施肥量/ (kg·hm ⁻²)	重复/ 次
T1	不磁化	52.5	900	3
T2	不磁化	60.0	900	3
T3	不磁化	67.5	900	3
T4	3500Gs	52.5	900	3
T5	3500Gs	60.0	900	3
T6	3500Gs	67.5	900	3

1.3 试验方法

1.3.1 土壤水分测定 采用PR2-6土壤水分剖面

测定仪(北京英驰有限公司)测定土壤水分^[21],测定前使用烘干法对土壤水分测定仪 PR2—6 进行率定校核。所有处理均布置 5 根水分测定管,布置方式以滴管带为起点按 20 cm 间距向两边布置,左右两边各布置 2 根水分测定管,试验开始每次灌前及玉米收获前测定土壤含水率。

1.3.2 土壤含盐量测定 采用雷磁 DDS—308 型电导率仪根据水土质量比 1 : 5^[15],测量土壤水浸提液的电导率,再结合电导率与盐分含量关系,计算得出土壤含盐量。

1.3.3 生长指标测定 第 1 次灌水前每个处理选择 1 膜长势均匀作为观测区,在区域内选取 6 株(内外行各 3 株),定株监测,测定项目含株高、茎粗、穗位高、地面茎节数、叶面积等。茎粗测定以地面为基础向上 5 cm 为标准测定,每个指标 10~15 天测定 1 次,当生长停止后再复核 1 次,结束生长指标的测定^[17]。

1.3.4 干物质量测定 在春玉米各个主要生育时期进行田间采样,即拔节期、抽雄吐丝期、灌浆期、乳熟期,每个时期从指定小区采集长势大小均匀的玉米 3 株,并按叶、茎、籽粒各器官进行分类,装袋烘干后称重备用,烘干时先进行 105 ℃ 杀青 0.5 h,再调至 75 ℃ 进行烘干。

1.3.5 产量及水分利用效率测定 收获每个测坑所有玉米穗,随机选取 10 株玉米穗分别测定,包括穗长、穗重、穗粒重、百粒重等,将玉米穗晾晒至水分含量 15% 测算小区产量,从而换算单位面积产量。

水分利用效率(WUE)=单位经济产量/耗水量
灌溉水利用效率(IWUE)=单位经济产量/灌水量

1.4 统计分析

利用 Excel 2016、IBM Statistics SPSS 20.0 和

Origin 18.0 等软件进行数据整理、方差分析及作图。

2 结果与分析

2.1 磁化水对玉米生育期土层水分分布的影响

磁化水不同灌水量处理(4 200,4 800,5 400 m³/hm²) 0—40 cm 土层各阶段土层平均含水率变化规律基本一致,呈现先减小后增大再减小的趋势(图 2),由于播种前土壤进行春灌用以保水保墒及淋洗压盐,因此苗期头水前的土壤含水量较高。随着生育期推进,气温不断升高,玉米拔节期土壤蒸发量较大,加之玉米处于营养生长快速增长期,玉米耗水能力增强,耗水量增加,土层含水率达到最低值,随着灌水量的增加,灌水频率的增大,土层含水率呈逐渐增加的趋势,灌浆期达到最大值。玉米进入吐絮期,作物的需水量逐渐降低,灌水量及灌水频次随之降低,土层含水率呈逐渐较小的变化趋势。

0—40,0—60 cm 土层 2 种深度磁化处理土层含水率均大于非磁化处理,当磁化强度为 3 500 Gs 时,5 400 m³/hm² 生育期内土层含水率最大,当磁化强度为 0 Gs 时,4 200 m³/hm² 生育期内土层含水率最小,土层含水率受灌水量的影响较大,说明灌水量越大土层含水率受灌水量影响峰值越大。同一灌水量不同磁化强度分析,磁化水灌溉可提高玉米灌前土壤含水率,生育期灌前土层平均含水量 0—40 cm 耕层低于 0—60 cm 土层深度,随着灌水量的增加,0—60 cm 土层深度生育期灌前土层含水率越大。4 800 m³/hm² 处理 3 500 Gs 磁化处理相比 0 Gs 磁化处理,生育期灌前含水率差幅最大,说明磁化水灌溉适宜的灌水量可显著提升土壤的保水性,该处理生育阶段土层含水率分别为苗期 15.80%,拔节期 12.76%,抽雄期 16.08%,灌浆期 17.22%,乳熟期 13.90%。

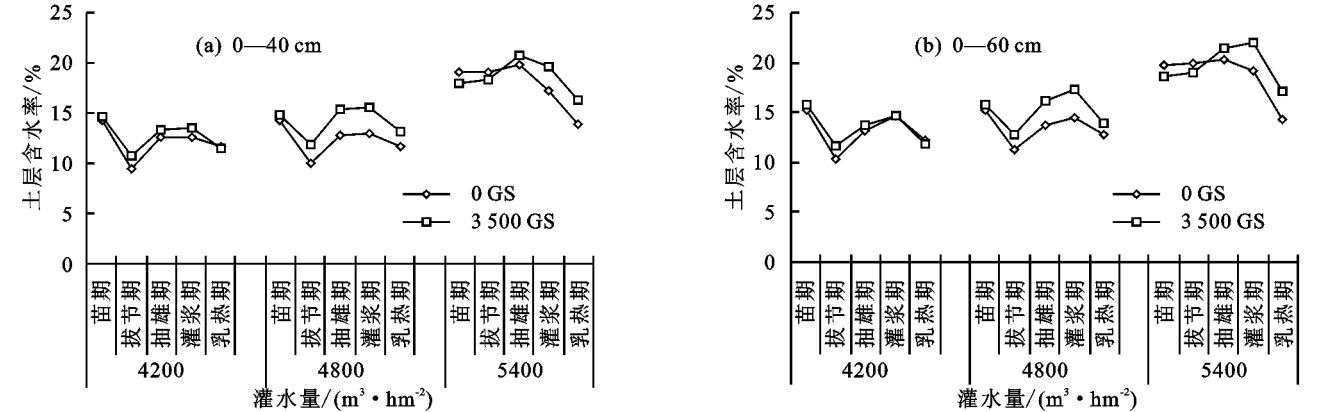


图 2 不同磁化水处理阶段土层含水率

2.2 磁化水对玉米生育期土层盐分分布的影响

为了研究磁化水灌溉条件下不同灌水量下玉米生育期土层平均含盐量的空间垂直分布情况,各处理选择膜间、株间及滴头下方横剖面 3 个点,由图 3 可

知,3 种水灌水水平膜间、株间及滴头下方玉米土层平均含盐量,4 800,5 400 m³/hm² 处理 3 500 Gs 磁化强度相比不磁化灌溉对土壤洗盐效果更明显,盐分垂向随土层深度增加变化规律基本一致,深度越深土

层盐分含量越小,灌水量越大深层土壤洗盐效果越明显。从膜间及株间及滴头下方不同土层分析来看,玉米不同灌水量垂向分布特征基本一致,4 200 m³/hm²处理 3 500 Gs 磁化强度磁化水灌溉与 0 Gs 磁化强度灌溉土壤盐分含量均随着土层深度的增加而逐渐减小,由于受灌溉水量的影响,磁化水对膜间及株间垂向土壤盐分含量的影响程度较低,3 500 Gs 稍高于 0 Gs,而滴头下方受磁化水灌溉的影响程度较大,3 500 Gs 磁化灌溉 20—60 cm 土层含盐量均低于 0 Gs。4 800,5 400 m³/hm²磁化与无磁化灌溉处理相比,0 Gs 磁化强度垂向盐分含量分布特征基本一致,呈逐渐减小的变化趋势,3 500 GS 磁化强度 10—20 cm 垂向盐分含量分布呈逐渐增大,3 500 Gs 磁化灌溉土层深度 20—60 cm 垂向盐分含量分布均随土层深度逐渐减小,减幅随着灌水量的增加而增大,3 500 Gs 磁化灌溉土层含盐量均低于 0 Gs 磁化灌溉。结果说明,土层盐分含量与灌水量的关系较为密切,灌水量越大深层土壤盐分淋洗效果越明显。从横向剖面分析可知,土层盐分含量滴头下方小于株间及膜间,膜间土层盐分含量最大,说明膜间具有一定的积盐效果,滴头正下方土壤含盐量最小,说明此处属于充分湿润区,盐分淋洗效果较好,株间及膜间随着水分扩散程度的减弱,表层 10—20 cm 土壤由于蒸发量较大,土层含盐量较大,盐分淋洗效果较差,随着土层增加,深层土壤盐分含量逐渐减小,3 500 Gs 磁化灌溉土层含盐量低于 0 Gs 磁化灌溉,说明磁化水灌溉对于深层土壤脱盐效果较好。

2.3 磁化水灌溉对玉米生长发育的影响

由图 4 可知,不同灌水量磁化水灌溉玉米株高及叶面积指数随着生育期的推进变化趋势基本一致。玉米苗期株高 0~32 天生长较为缓慢,各处理差异不大,处理 1、处理 4、处理 2、处理 5、处理 3、处理 6 日增长量分别为 1.23,1.14,1.15,1.19,1.06,1.05 cm/d,此阶段玉米苗期以蹲苗为主,控制水、肥、中耕等措施,保证幼苗根系下扎,提高植株抗倒伏能力;增强后期根系活力和养分、水分的吸收能力,抑制营养生长,促进生殖生长。32~48 天苗期至拔节期呈快速生长期,株高日增长量涨幅均较大,不同灌水量日增长量 3 500 Gs 处理均高于 0 GS 处理,日增长量随着灌水量的增加而增加,处理 1、处理 4、处理 2、处理 5、处理 3、处理 6 日增长量分别为 6.94,7.44,7.22,7.42,7.47,7.95 m/d。48~63 天拔节至抽穗期玉米株高进入缓慢生长期,处理 1、处理 4、处理 2、处理 5、处理 3、处理 6 日增长量分别为 2.57,3.44,3.18,3.12,3.06,

3.22 m/d,此阶段玉米进入抽雄期,营养生长减缓,逐渐进入生殖生长期,日增长量逐渐下降,不同灌水量 3 500 Gs 磁化水灌溉处理显著高于 0 Gs 磁化水灌溉处理($P<0.05$)。63~76 天玉米进入乳熟期,生长逐渐放缓,株高达到了营养生长的峰值,处理 1、处理 4、处理 2、处理 5、处理 3、处理 6 玉米株高最大值分别为 216.11,231.06,229.56,232.75,231.00,242.33 cm,各处理表现为处理 6>处理 5>处理 4>处理 3>处理 2>处理 1,说明株高随着灌水量的增加而增加,不同灌水量条件下 3 500 Gs 磁化水灌溉处理玉米株高均高于 0 Gs 磁化灌溉处理。

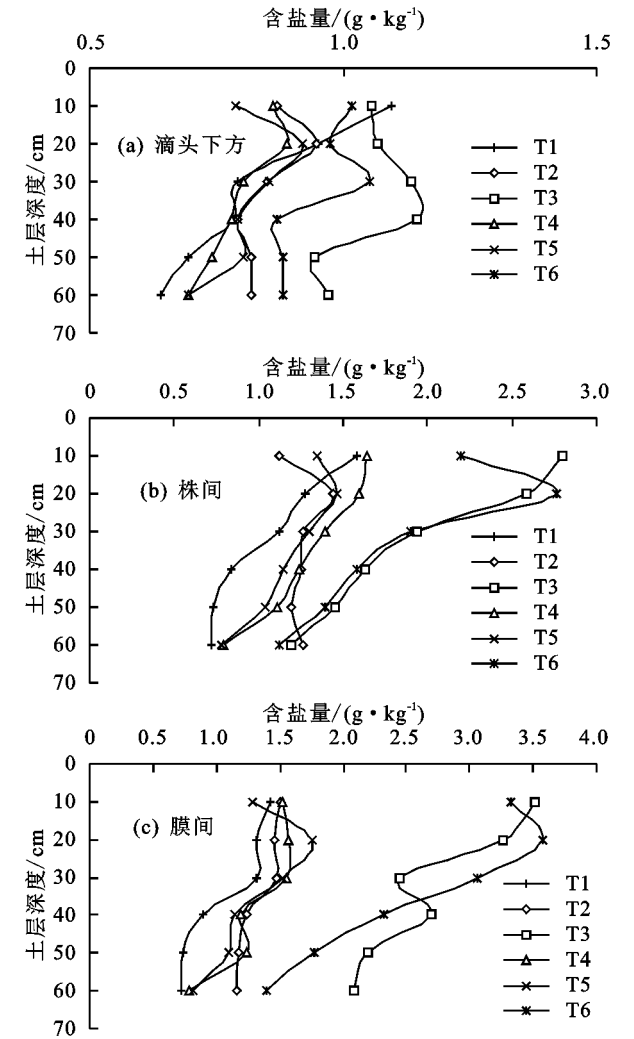
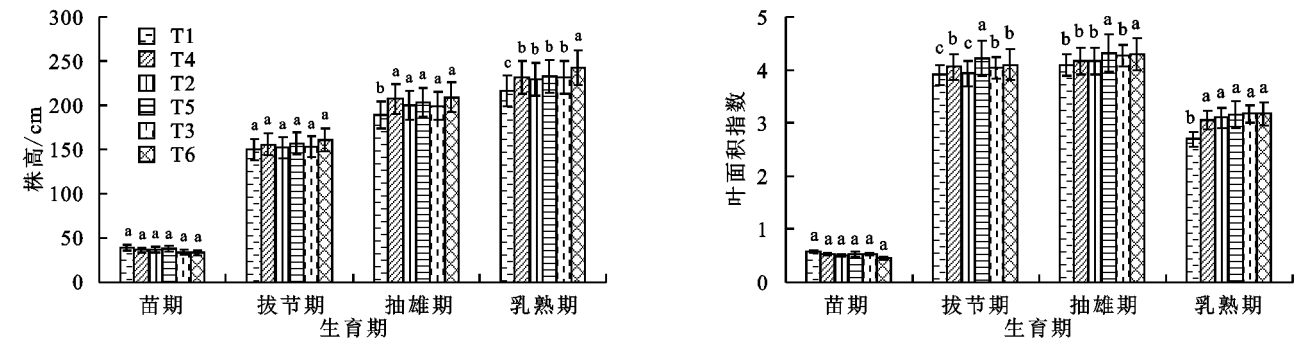


图 3 不同磁化水处理土层盐分垂向分布

玉米叶面积指数(LAI)与玉米产量有着密切的关系,在一定程度上,叶面积指数与产量呈正相关关系,灌水量超过一定范围后,叶面积指数与产量呈负相关关系。图 4 为不同灌水量下(4 200,4 800,5 400 m³/hm²)磁化水灌溉玉米叶面积指数生育期变化情况,从生育期分析来看,各处理叶面积指数变化规律基本一致,呈先增大后减小的变化,在抽雄期叶面积达到了顶峰,抽穗期至乳熟期逐渐降低,说明拔节至

抽雄期玉米进入营养生长期的顶峰,随着生育期的推进,玉米抽穗至乳熟期逐渐进入生殖生长期,叶面积指数缓慢下降,乳熟期玉米叶片逐渐萎缩,叶面积指数逐渐降至最低值,说明进入生殖生长期叶片数及叶片生长基本停滞,部分叶片开始凋谢,叶面积指数逐渐减小,乳熟期叶片开始枯萎,部分叶片掉落且叶面积指数降低的主要原因。不同灌水量叶面积指

数抽雄期达到最大值,3 500 Gs 磁化灌溉处理均显著高于 0 Gs 磁化灌溉($P<0.05$),4 200,4 800,5 400 m^3/hm^2 叶面积指数磁化水处理较无磁化处理分别增长了 2.03%,3.60%,0.58%,各处理磁化叶面积指数表现为处理 5>处理 6>处理 3>处理 2>处理 4>处理 1,最大值为灌水量 4 800 m^3/hm^2 磁化强度 3 500 Gs 处理叶面指数 4.32。



注:图柱上方不同小写字母表示相同生育期不同处理间差异显著($P<0.05$)。

图 4 不同磁化水处理玉米植株生长变化

2.4 磁化水灌溉对玉米干物质质量的影响

干物质质量是反映玉米产量的重要因素,对玉米生育期干物质质量进行分析,探明不同灌水量(4 200,4 800,5 400 m^3/hm^2)磁化水灌溉玉米营养生长及生殖生长的生长情况,提出磁化水灌溉下适宜的灌水量,有助于提高玉米的产量及品质。玉米干物质质量总量主要包括玉米的叶质量、茎质量、果穗质量。其中叶质量、茎质量统称为玉米营养器官干物质质量,果穗质量统称为玉米生殖器官干物质质量。图 5 为不同生育期磁化水灌溉玉米干物质变化情况,拔节期是玉米营养生长的关键期,同时也是营养器官干物质积累的关键时期,干物质质量的积累应当适中,过大的营养生长对后期的生殖生长有一定的阻碍,直接影响玉米产量的提高,灌浆期及乳熟期是玉米生殖器官干物质积累的阶段,此时也是玉米产量形成的重要时期,营养器官干物质质量积累逐渐放缓,生殖生长器官干物质质量逐渐占据主导地位。从图 5 可以看出,玉米生育期

营养生长器官干物质质量积累不同灌水量磁化灌溉均表现为 3 500 Gs>0 Gs。不同磁化水灌溉营养生长的干物质质量最大值表现为:处理 6>处理 5>处理 2>处理 3>处理 4>处理 1,处理 6 与处理 5 差异不显著,处理 6 与其他处理呈显著差异,营养生长器官干物质质量最大值为处理 6,为 212.93 g/株,随着时间的推移营养生长干物质质量增长率呈现增大后减小的变化趋势,营养生长器官干物质质量增长率最大值出现在拔节期至抽雄期阶段,各处理此阶段增长率分别为 20.68%,23.38%,20.58%,20.31%,25.43%,23.65%,此阶段增长率最高为处理 5,为 25.43%。不同磁化水灌溉生殖生长的干物质质量最大值表现为:处理 5>处理 6>处理 3>处理 4>处理 2>处理 1,处理 5 与处理 6 差异不显著,处理 5 与其他处理呈显著差异,各处理生殖生长干物质积累量相对于处理 1 分别增长了 1.18%,1.94%,1.34%,7.09%,4.08%,营养生长器官干物质质量最大值为处理 5,为 238.04 g/穗。

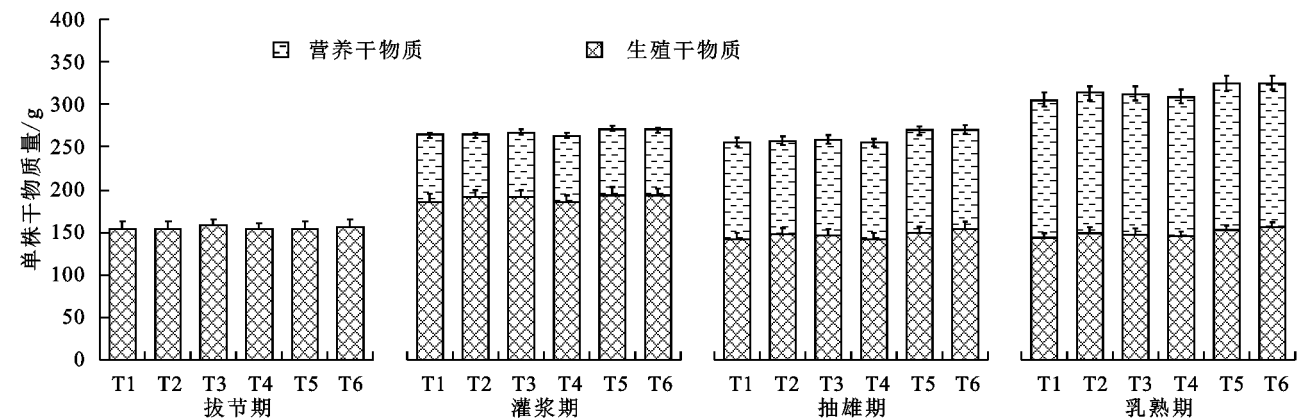


图 5 不同磁化水处理玉米干物质变化

2.5 磁化水灌溉对玉米产量及水分利用效率的影响

玉米不同灌水量条件下(4 200,4 800,5 400 m³/hm²)磁化水灌溉玉米产量情况(表 2),处理 5 与处理 6 两者产量相比差异不显著,处理 5 略高于处理 6,处理 5 与处理 6 显著高于其他处理,处理 4 与处理 1、处理 2 和处理 3 之间差异不显著($P<0.05$)。0 Gs 磁化灌溉不同灌水量产量差幅不大,各处理相比较处理 1 分别增幅为 1.5% 及 0.63%,最高产量为处理 2,为 11 186.3 kg/hm²,在 3 500 Gs 磁化强度条件下,不同灌水处理呈现波峰曲线变化,处理 5 产量最高,为 13 738.9 kg/hm²,3 500 Gs 磁化灌溉各处理间差幅较大,各处理相比较处理 4 分别增幅为 22.11% 和 17.85%,说明在 3 500 Gs 磁化水灌溉条件下,在合适的灌水量范围内,可促进玉米产量的提高。在相同灌水量不同磁化条件下,各处理 3 500 Gs 磁化水灌溉玉米产量均高于 0 Gs 磁化水灌溉处理,增幅分别为 2.11%,22.8%,19.31%,其中 4 800 m³/hm²处理 3 500 Gs 较 0 Gs 处理增幅最为明显,说明在适宜的灌水量条件下,磁化水灌溉更有助于提高玉米产量。

分析各处理水分利用效率(WUE)可知,处理 5 显著高于其他处理($P<0.05$),处理 1 和处理 4 两者差异不显著,显著高于处理 2、处理 6 和处理 3,处理 2 和处理 6 两者之间差异不显著,显著高于处理 3,其中处理 5 最高,为 2.64 kg/m³,处理 3 最低,为 1.78 kg/m³,WUE 表现为处理 5>处理 4>处理 1>处理 6>处理 2>处理 3。灌溉水利用效率(IWUE)处理显著高于其他处理,处理 4、处理 1 和处理 6 差异不显著($P<0.05$),显著高于处理 2 和处理 3,其中最高值为处理 5,为 2.86 kg/m³,最低值为处理 3,为 2.05 kg/m³,IWUE 表现为处理 5>处理 4>处理 1>处理 6>处理 2>处理 3。综合可知,处理 5 磁化灌溉条件下 WUE 及 IWUE 均为最大,说明在适宜的灌水量条件下,磁化水灌溉更有助于提高玉米水分利用效率。

表 2 不同磁化水处理玉米产量及水分利用效率

处理	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²)	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	耗水量/ mm	WUE/ (kg·m ⁻³)	IWUE/ (kg·m ⁻³)
T1	11012.1b	4200	469.35	2.35b	2.62b
T2	11186.3b	4800	522.77	2.14c	2.33c
T3	11081.1b	5400	623.80	1.78d	2.05c
T4	11250.8b	4200	474.76	2.37b	2.68b
T5	13738.9a	4800	520.56	2.64a	2.86a
T6	13220.4a	5400	595.74	2.22c	2.45b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

本试验结果表明,3 种灌溉制度条件下磁化水灌

溉相对于非磁化灌溉处理,不同灌水量磁化水灌溉均能提高土壤含水量,这与彭遥等^[16]、Khoshravesh 等^[22]研究的结果一致。其原因是磁化水灌溉后,水分子间距拉长,部分氢键断裂,缔结的大分子团变成了二聚体或者单个小分子团,增加了土壤的渗透压,使得更多的小分子团渗透到土壤孔隙中,从而增加了土壤含水量。

从磁化水灌溉盐分淋洗效果来看,3 种灌水量条件下,磁化水灌溉淋洗均比无磁化灌溉效果好,这与张瑞喜等^[23]、王泳等^[24]研究结果一致。土壤盐分淋洗随着灌水量的增加纵向土层盐分变化越显著,冬春季土壤反盐现象严重,均采用大水压盐的方法,但相比无磁化洗盐效果相比磁化水灌溉较差,因此南疆盐碱地使用磁化水灌溉淋洗可以起到十分显著的效果。说明磁化水灌溉,水分子结构发生了变化,水分子的缔合度能力减弱,对土壤盐分离离子 Cl⁻、Na⁺ 淋洗能力增强,可以降低土壤盐分对作物的危害程度,有利于增强作物根系的生理活性。

磁化水灌溉在一定程度上可以促进作物的生长,这与曹宏等^[25]研究结果一致。不同灌水量磁化水灌溉玉米株高及叶面积指数均高于无磁化灌溉处理,说明磁化水灌溉可以促进植株的 growth、叶片数的增加,有利于促进玉米的穗长、穗粗、单穗粒重生殖器官的增加^[26-27],叶片数的增加有利于叶面积指数的增加,叶面积指数有利于增加作物光能利用,可以更好地促进玉米生殖生长干物质的积累,有助于作物产量的提高。

4 结论

(1)磁化水灌水量条件下 5 400 m³/hm² 磁化水灌水处理深层土壤洗盐效果最好,同时可显著提升横向排盐效果。

(2)不同灌水量磁化水灌溉玉米株高随着灌水量的增加,磁化条件均能提高棉花株高生长量,4 800 m³/hm² 的磁化灌水量可显著增加于棉花叶面积指数最大值。磁化水灌溉乳熟期茎鞘和叶片干物质向生殖器官的转运比例增加,增加了对籽粒的贡献率,显著提高了玉米产量及水分利用效率。因此磁化与非磁化灌溉相比,适宜的磁化水灌溉量既能显著提高玉米干物质积累量,又能显著提高玉米产量及水分利用效率,从玉米生长特征、产量及水分利用效率等综合考虑,4 800 m³/hm² 磁化强度 3 500 Gs 为最佳处理。

不同灌水量磁化水灌溉提高了土壤的含水率,提升了土壤盐分淋洗效果,然而磁化水灌溉并不是随着灌水量的增加效果越好,在一定灌水量范围内磁化水灌溉对玉米作物生长、生殖生长的积累及最终产量的

提升作用较为明显。水的磁化机理涉及领域颇多,对水的生化性质、作物品种及土壤性质等因素条件下产生的效果必将不同。因此,在后期磁化水处理的研究中,需要对水化性质及玉米生理生长的机理进行进一步深入研究,探求磁化对灌溉水技术参数的影响,从而提出磁化水灌溉作物增产机制,为磁化水灌溉技术理论在农业生产应用提供保障。

参考文献:

- [1] 王斌,马兴旺,单娜娜.新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):111-115.
- [2] 田长彦,买文选,赵振勇.新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J].生态学报,2016,36(22):7064-7068.
- [3] Rozema J, Flowers T. Crops for a salinized world[J]. Science,2008,322(5907):1478-1480.
- [4] Darzi-Naftchali A, Mirlatifi S M, Shahnazari A, et al. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields[J].Agricultural Water Management,2013,130(4):61-68.
- [5] Ali Y, Samaneh R, Kavakebian F. Applications of magnetic water technology in farming and agriculture development: A review of recent advances[J].Current World Environment,2014,9(3):695-703.
- [6] 赵宣,韩霁昌,王欢元,等.盐渍土改良技术研究进展[J].中国农学通报,2016,32(8):113-116.
- [7] 王全九,张继红,门旗,等.磁化或电离化微咸水理化特性试验[J].农业工程学报,2016,32(10):60-66.
- [8] 和劲松,祁凡雨,裴洛伟,等.磁场处理对液态水缔合结构影响的综合评价指数[J].农业工程学报,2014,30(21):293-300.
- [9] 周胜,张瑞喜,褚贵新,等.磁化水在农业上的应用[J].农业工程学报,2012,28(6):44-48.
- [10] Ghauri S A, Ansari M S. Increase of water viscosity under the influence of magnetic field[J].Journal of Applied Physics,2006,100(6):6455-6459.
- [11] 王全九,许紫月,单鱼洋,等.磁化微咸水矿化度对土壤水盐运移的影响[J].农业机械学报,2017,48(7):198-206.
- [12] 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):432-439.
- [13] 卜东升,奉文贵,蔡利华.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.
- [14] 周先容,何士敏,向邓云.磁化水处理大豆、玉米和水稻种子的生物学效应[J].安徽农业科学,2008,36(17):7113-7115.
- [15] 陈胜文,刘士哲,肖英银.磁化水对番茄种子萌发及幼苗生长的影响[J].广西园艺,2008,19(3):3-5.
- [16] 彭遥,周蓓蓓,张继红.磁化水膜下滴灌对棉田水盐分布特征及棉花生长特性的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):334-342,357.
- [17] 王洪波,王成福,吴旭.磁化水滴灌对土壤盐分及玉米产量品质的影响[J].土壤,2018,50(4):762-768.
- [18] 周英霞.农田尺度土壤水肥盐时空分布与棉花生长特征研究[D].西安:西安理工大学,2019.
- [19] 王俊花,邵林生,宋敏丽.磁化水对甜玉米增产效果的研究[J].玉米科学,2006,15(3):110-111.
- [20] 王军政,任卫东,刘超峰.塔里木盆地东北缘区玉米需水规律与灌溉制度研究[J].陕西水利,2020,229(2):60-63.
- [21] 盛统民,张胜江,苟欢欢.不同灌溉方式对棉花根系分布的影响研究[J].节水灌溉,2020(9):100-105.
- [22] Khoshravesht M, Mostafazadeh F B, Mousavi S F, et al. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation[J].Soil Use and Management,2011,27(4):515-522.
- [23] 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.
- [24] 王淦,郭建曜,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):150-156.
- [25] 曹宏,赵国林,张承烈.生物磁学在农作物生产中的应用[J].植物生理学通讯,1999,35(2):163-168.
- [26] Surendran U P, 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.
- [27] Yusuf K O, Ogunlela A O. Impact of magnetic treatment of irrigation water on the growth and yield of tomato[J].Notulae Scientia Biologicae,2015,7(3):345-348.