

微润灌溉定额及微润带埋深对农田水盐动态及向日葵水分利用效率的影响

贾腾月¹, 姬宝霖¹, 李仙岳¹, 田德龙², 张金丁¹

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020)

摘要: 为探明微润灌溉对盐渍化土壤水盐变化及向日葵产量的影响, 以河套灌区中度盐渍化向日葵农田为研究对象, 设置了2种微润带埋设深度分别是20 cm(T1~T4), 10 cm(T5~T8), 4种灌溉定额(充分灌溉: T1, T5; 轻度缺水: T2, T6; 中度缺水: T3, T7; 重度缺水: T4, T8)共8个处理。研究不同微润带埋设深度与灌溉定额对土壤水分、盐分分布, 向日葵产量以及水分利用效率(WUE)的影响。结果表明: 微润带埋深相同, 灌溉定额越大, 土壤含水率越高, 土壤盐分越低。微润带埋深是影响土壤水盐分布的重要因素。灌溉定额相同, 与微润带埋深为10 cm的处理相比, 埋深为20 cm的处理在20—30 cm内土壤含水率更大, 在10—60 cm内土壤含水率变异系数较小, 且含盐量显著降低。微润带埋深20 cm条件下, 充分灌溉有利于抑制向日葵根区土壤盐分累积。在2015年向日葵成熟收获后, T1处理0—60 cm土层内土壤相对积盐率为9.3%, 比T2, T5处理降低53.3%, 45.9%。而2016年向日葵成熟收获后, 0—60 cm土层内土壤呈现脱盐现象且相对脱盐量随着灌溉定额减少而减少, 随着埋深增加而增大。在相同埋深下, 产量随着灌溉水量的增多呈逐渐递增的趋势; 在相同灌溉定额下, 微润带埋深为20 cm与10 cm各对应处理(T1与T5对应, 依次类推)产量相比具有增加趋势, 且差异显著。综合来看, 埋深为20 cm时, 充分灌溉的处理, 在0—60 cm土层内土壤积盐率最小为9.3%, 并且作物产量最高, WUE较高。推荐河套地区种植向日葵农田的微润带布置埋深为20 cm, 进行充分灌溉的应用模式, 并进行秋浇将土壤表层盐分淋洗。该研究为微润灌溉在盐渍化地区的应用提供参考。

关键词: 微润灌溉; 相对含盐积累量; 土壤水分; 向日葵产量; 水分利用效率(WUE)

中图分类号: S275

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)03-0283-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.03.042

Effects of Moistube-Irrigation Quota and Buried Depth on Soil Water and Salt Dynamics of Farmland and Water Use Efficiency of Sunflower

JIA Tengyue¹, JI Baolin¹, LI Xianye¹, TIAN Delong², ZHANG Jinding¹

(1. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018;

2. China's Scientific Research Institute in the Pastoral Areas of Water Conservancy, Hohhot 010020)

Abstract: Moderately salinized sunflower field in Hetao Irrigation District were used to explore the effects of moistube-irrigation on the changes of soil water and salt distribution and crop yield to support the generalization and application of moistube-irrigation technology. Two soil buried depths (10, 20 cm) and four irrigation quotas (Full irrigation: T1, T5, mild water shortage: T2, T6, moderate water shortage: T3, T7, severe water shortage: T4, T8) were set up to study the changes of soil water and salt distribution and sunflower yield and water use efficiency (WUE). The results showed that in the same depth of moistube, as the irrigation quotas increased, the soil moisture was the higher and soil salinity was lower. The buried depth of moistube was an important factor affecting the distribution of soil water and salt. In the same irrigation quota, compared with the buried depth of 20 cm, The soil moisture contents with the buried depth of 10 cm was larger in 20—30 cm, the coefficient of variation of soil water content was less in 10—60 cm, and the salt content was significantly reduced. Under the condition of full irrigation and moistube buried depth of 20 cm, it

收稿日期: 2018-12-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(51409174, 51469022, 51669020); 内蒙古科技计划项目(201602049)

第一作者: 贾腾月(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: 1652173972@qq.com

通信作者: 李仙岳(1980—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉原理及应用研究。E-mail: lixianye80@126.com

was beneficial to inhibit the accumulation of soil salt in the root zone of sunflower. After the ripening of sunflower in 2015, the average relative salt accumulation rate of 0—60 cm treated by T1 was 9.3%, which was respectively lower than those of T2 and T5 treatment by 53.3% and 45.9% respectively. After the ripening of sunflower in 2016, the soil of 0—60 cm showed desalting and the amount of desalination decreased with the decrease of irrigation quotas, and increased with the increase of buried depth. At the same burial depth, the yield gradually increased with the increase of irrigation water volume. Under the same irrigation quota, moisture with buried depth of 20 cm had an increasing trend and the difference was significant compared with the depth of 10 cm. In summary, in the case of sufficient irrigation and moisture buried depth of 20 cm, the soil salt accumulation rate of 0—60 cm was 9.3%, and the crop yield was the highest, and the WUE was higher. It is recommended that the moisture buried depth of 20 cm and sufficient irrigation should be carried out in the sunflower field, and the soil should be leached by autumn flooding to decrease salt of surface layer in the Hetao area. This study provides a reference for the application of moisture-irrigation in moderately salinized areas.

Keywords: moisture irrigation; relative salt accumulation; soil moisture; sunflower yield; water use efficiency

微润灌溉是利用微润带半透膜技术的一种节水灌溉方式,以膜内外水势梯度为驱动,水分通过微润带壁微孔向外呈发汗状渗水灌溉。此种灌溉方式由于靠半透膜水势差为驱动力,无需借用外来动力,降低运行费用^[1-2]。另外,微润灌溉一般为地下灌溉,水肥直接达到作物根部,无需经过地表,减少地面蒸发与地表径流,提高水肥利用效率^[3]。有研究^[2]表明,微润灌较滴灌更为节水,如在温室番茄试验中,单位面积产量和水分利用效率(WUE)均高于滴灌处理;与畦灌对比,微润灌处理作物产量提高了 10%~69%,WUE 提高了 30%~79%^[4]。

盐分是影响作物生长的重要因子,盐分分布与水分入渗、作物蒸腾和土壤蒸发作用有着密切的关系^[5]。微润灌在土壤中形成以微润带为中心的近似圆状湿润体,并随灌水时间延长,湿润体不断向周围扩大,基于“盐随水动”理论,可持续淡化植物根系层盐分,较滴灌和畦灌更有利于降低土壤盐分,促进作物生长,达到节水抑盐的效果^[6-8]。吕殿青等^[9]研究了膜下滴灌滴头流量、灌水量、土壤初始含水量、土壤初始含盐量等因素对土壤水盐运移的影响,结果表明灌水量的增加导致湿润体增大,同时有利于作物正常生长的淡化区的形成。Karlberg 等^[10]研究表明,在距滴头一定的距离内,埋深越大,含水量越高,则随滴灌带埋深的增加,湿润体饱和区域不断增大。李朝阳等^[11]研究表明,不同水头压力下微润灌均表现以微润带为中心,形成有效土壤脱盐区,土壤脱盐区面积及脱盐率与水头压力呈正相关关系。张子卓等^[12]研究表明,膜下微润带埋深 15 cm 时,土层平均脱盐率与平均含水率达到最高。尽管目前针对不同微润灌压力,不同微润带埋深,不同微润灌水量都做了系列

研究^[7,11,13],然而研究主要集中在室内试验,或单因素变化条件下开展,而对于综合微润带埋深和灌溉定额双因素影响研究报道较少。对于盐渍化地区,优化灌水模式需要考虑水盐迁移过程,微润带埋深以及灌溉定额是影响土壤盐分和水分运动的主要因素,故综合微润带埋深和灌溉定额双因素影响研究对于盐渍化滴灌微润灌技术的推广具有重要意义。

本文主要考虑微润带埋深和灌溉定额 2 个因素,研究不同微润带埋深和微润灌溉定额对向日葵盐渍化农田土壤水分、盐分分布,土壤盐分平衡以及作物产量和水分利用效率等的影响,以确定盐渍化地区向日葵农田节水、控盐、高效的微润带埋深及微润灌溉定额的技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2015 年 6 月至 2016 年 10 月在内蒙古河套灌区磴口县坝楞节水综合试验站(107°02′19″ E, 40°24′32″ N,海拔 1 072 m)开展,该地区为中温带大陆性季风气候,年平均气温 7.6℃,冬季严寒少雪,夏季少雨干旱,多年平均无霜期 133~140 d,年均日照时间 3 210 h,年均降水量为 138.2 mm,且主要集中在 7—9 月;年均蒸发量 2 343 mm;年均风速 2.5~3.0 m/s。由 2015 年和 2016 年试验田中气象站监测的数据绘制参考作物蒸散量(ET_0)和降水量(图 1)。根据 USDA 分类方法对土壤质地进行分类,试验地 0—60 cm 土壤质地为壤土,平均容重为 1.48 g/cm³,土壤田间持水率是 21.4%。0—60 cm 土层剖面平均含盐量为 2.336 g/kg,pH 为 7.90。该试验小区生育期平均地下水埋深为 1.9 m。

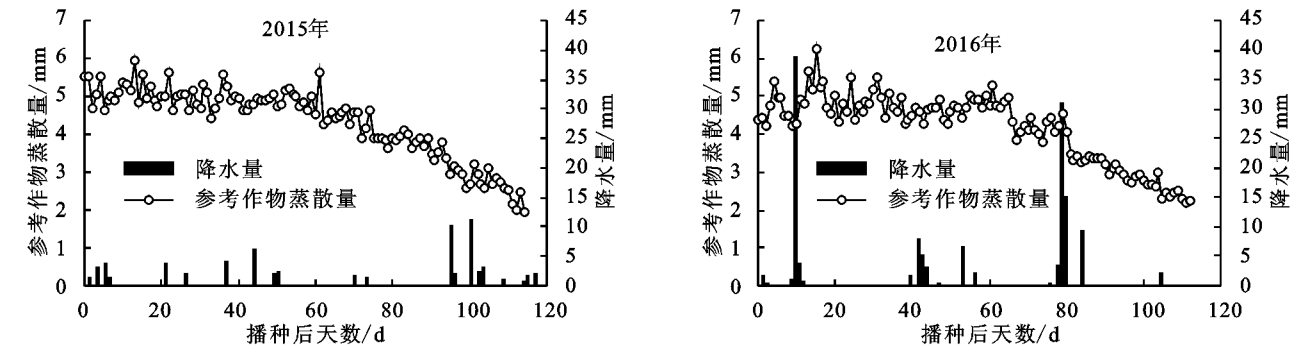


图 1 生育期内参考作物蒸散量(ET₀)和降水量

1.2 试验设计

供试作物为中晚熟品种向日葵(品种为“美葵909”)。供试微润带直径为 16 mm,为双层结构,内层采用 0.06 mm 的特质半透膜,膜上均匀而密集分布微孔,密度为 10 个/cm²,外层包裹无纺布保护层以增加微润带的强度。种植模式为一带两行,行距 40 cm,株距 26 cm。

试验考虑灌溉定额、微润带埋深 2 个因素(表 1),其中灌溉定额设 4 个水平,包括充分灌溉(80%~100%θ_{FC})、轻度亏缺(70%~90%θ_{FC})、中度亏缺(60%~80%θ_{FC})和重度亏缺(50%~70%θ_{FC})4 种灌溉处理,2015 年灌溉定额分别为 78,52,35,23 mm;2016 年分别为 97,48,24,16 mm。微润带埋深设 2 个水平,分别埋在 10,20 cm;共计 8 个处理,3 次重复。各小区东西宽约 4 m,南北长 6 m,为避免试验小区的边行效应,在小区东西两侧各设 1 m 宽,南北各设 0.4 m 的保护带,在试验区的两端设置宽度为 2.5 m 的保护区。二铵作为底肥一次性全部施入,450 kg/hm²。尿素作为追肥,500 kg/hm²,(含氮量 46.4%)分别在现蕾前期(50%、10 kg/(667 m²))、开花期(50%、10 kg/(667 m²)),试验时将其溶解在水中并且搅拌均匀与灌水一块施入,在进入地块管道的入口处设有微型过滤装置,防止残渣进入微润带发生堵塞,肥液中的养分离子能够透过微润管半透膜管壁。尿素一般在 6~8 h 施用完毕。各处理其他耕作措施均一致。

表 1 试验处理

处理	微润带埋深/cm	灌溉定额
T1	20	充分灌溉
T2	20	轻度亏缺
T3	20	中度亏缺
T4	20	重度亏缺
T5	10	充分灌溉
T6	10	轻度亏缺
T7	10	中度亏缺
T8	10	重度亏缺

1.3 观测项目及方法

(1)基本指标的测定。气象数据测定:在试验田

中设自动气象站(HOBO—U30),每 1 h 自动记录 1 次降水量、太阳辐射、空气温度、空气湿度、风速等。

土壤含水率测定:每 7 天测 1 次,灌前灌后加测 1 次,每个小区取 3 个测点,分别距离微润带 5,20,50 cm,每个测点距向日葵植株 15 cm。取样深度为 0—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm。

土壤电导率测定:在播种前,收获后及每个生育期进行取样,土壤取样点与测含水率取样点相同,土样采用 1:5 土水混合提取液速测 EC 值。

产量及产量构成因素的测定:收获时每个处理随机选取 5 株向日葵测量花盘直径、花盘干物质质量,以及百粒重(干重)。最后折算为单位面积产量。

(2)计算方法。土壤含盐量:采用该试验区含盐量与电导率关系^[14]将土壤电导率(mS/cm)换算为土壤水溶性全盐质量分数(g/kg)。

$$S=1.687L+0.038$$
 (1)

式中:S 为土壤盐分质量分数(g/kg);L 为土壤电导率(mS/cm)。

相对含盐累积量:

$$S_R=\frac{(S_{\text{播后}nd}-S_{\text{播前}})}{S_{\text{播前}}}$$
 (2)

式中:S_R 为相对含盐累积量(%);S_{播前} 为播前 0—60 cm 土壤含盐量(g/kg);S_{播后nd} 为播后 n 天土壤含盐量(g/kg)。当 S_R>0 表示积盐;S_R<0 表示脱盐。

作物水分利用效率:

$$WUE=Y/ET_a$$
 (3)

式中:WUE 为作物水分利用效率(kg/(hm²·mm));Y 为作物籽粒产量(kg/hm²);ET_a 为作物生育期耗水量(mm)。

$$ET_a=P+I+K-RO-D-\Delta W$$
 (4)

式中:P 为作物生育期降雨量(mm);I 为作物生育期灌溉定额(mm);ΔW 为 0—60 cm 土壤贮水量的变化量(mm);K 为地下水补给量(mm);RO 为地表径流量(mm);D 为深层渗漏量(mm);生育期内忽略地表径流量,在田间土壤土壤剖面中选择 60 cm 处为根层的下边界,在边界上下即 50,70 cm 处分别安装负压计,运用达西定律计算地下水补给量和深层渗漏量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 软件进行数据处理,利用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同微润带埋深及灌溉定额对土壤水分的影响

由于 2016 年受降水影响较大,因而以 2015 年进行分析土壤水分、盐分动态变化,下文不再赘述。由图 2 可知,不同微润灌处理土壤水分随时间的变化趋

势较一致。从播种开始,土壤含水率逐渐升高,在播种后 37 天达到最大,之后呈现波动下降趋势,从播种后 55~80 天,10—20,20—30 cm 土壤含水率下降迅速,这可能是由于向日葵的主要根系层分布在 10—30 cm 土层内,吸收 10—30 cm 土层中的水分,导致该层土壤含水率发生锐减;加之在播后 55~80 天,持续高温,作物蒸发蒸腾量大,降雨量不足 4 mm,土壤含水率出现降低情况。在播种后 85~100 天左右,土壤表层含水率迅速升高。

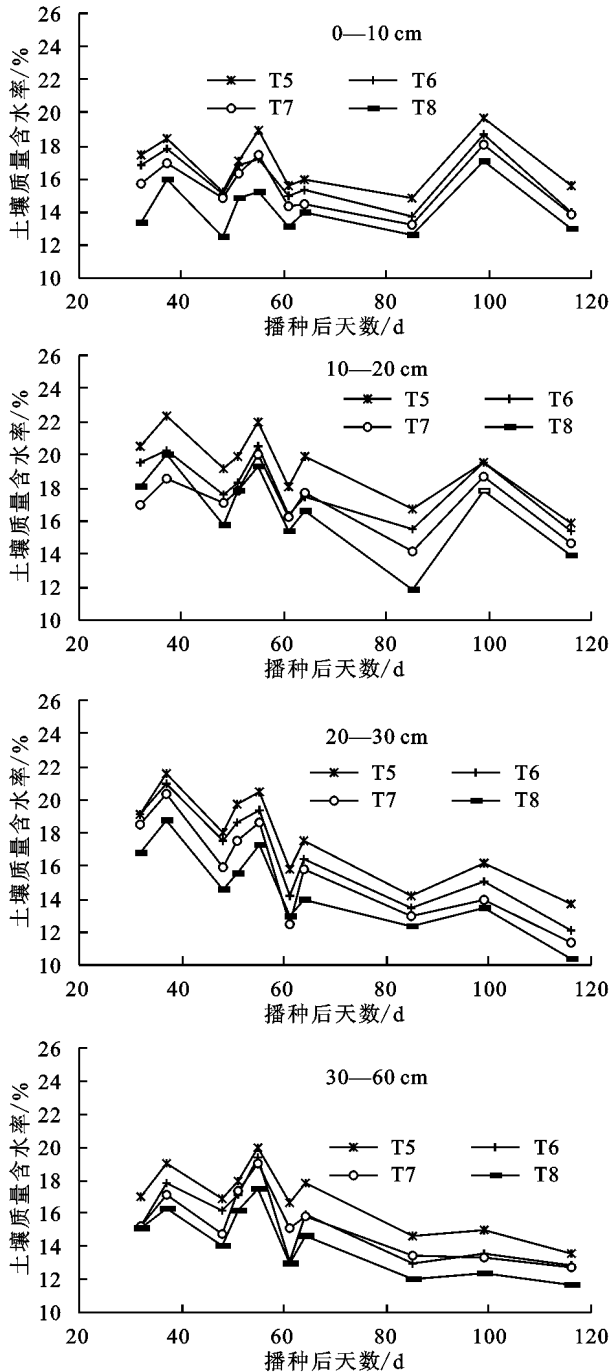
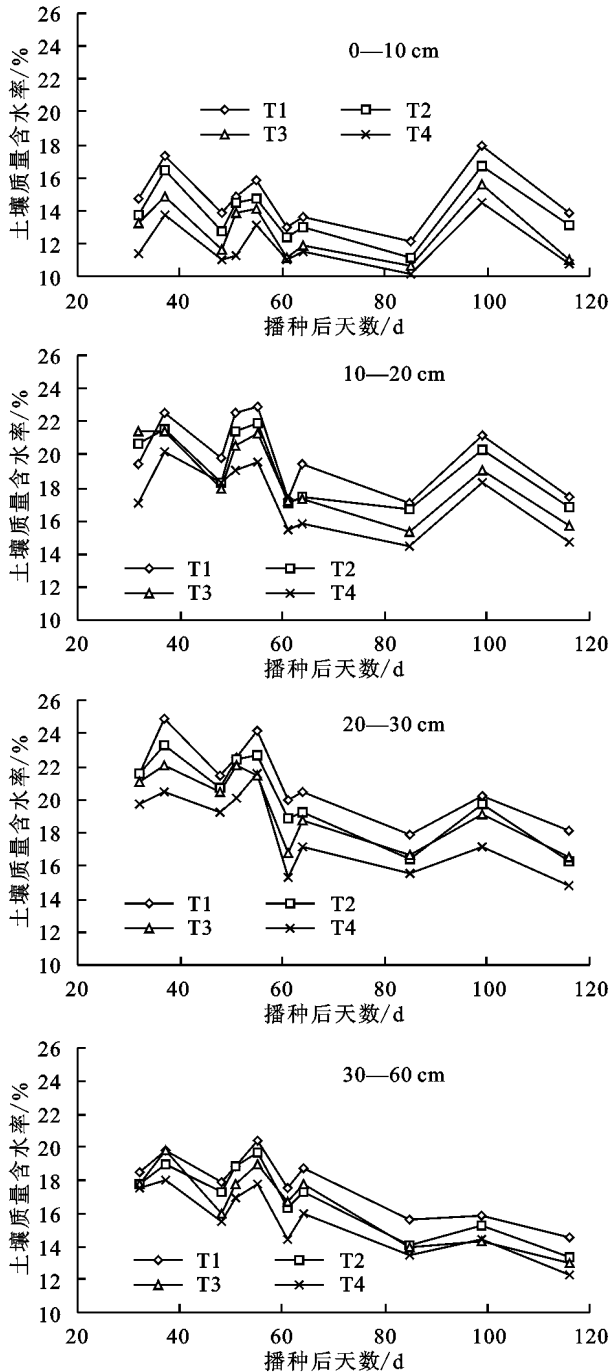


图 2 2015 年不同处理向日葵根区土壤水分动态变化

整个生育期来看,相同埋深情况下,土壤含水率随着灌溉定额增大而增大。在 0—10 cm 土层内,埋深为 20 cm 的 T1 较 T2、T3、T4 处理分别提高 6.5%,15.1%,

24.4%。相同灌溉定额情况下,在 0—10 cm 土层范围内,埋深为 10 cm 微润灌处理的土壤含水率高于埋深 20 cm 的土壤含水率。灌溉定额相同,微润带埋深为

10 cm 的 T5 处理在 0—10 cm 土层内,整个生育期含水率基本在 80%田间持水率以上变化波动,T5 处理的平均含水率高出 T1 处理 14.6%。在 10—20 cm 土层范围内,相同灌溉定额的情况下,埋深 20 cm 微润灌处理稍高于埋深 10 cm 处理的土壤含水率,且二者数值相差不大。T2、T6 的全生育期平均含水率分别是 19.21%,18.04%,T2 处理高出 T6 处理 6%。在 20—30 cm 土层范围内,埋深 20 cm 处理显著高于埋深 10 cm 处理。T1、T5 全生育期的平均含水率为 21.13%,17.62%,T1 处理高出 T5 处理 20%。在 30—60 cm 土层范围内,含水率变化较 0—30 cm 土层更为平缓,埋深 20 cm 处理高于埋深 10 cm,且差异不显著。这是由于 30—60 cm 土层内土壤水分被向日葵吸收利用较少,土壤含水率缓慢下降。整个生育期内,在 0—10 cm 土层内,埋深为 10 cm 的含水率大于埋深为 20 cm 的含水率,T4 的平均含水率最低,T5 的平均含水率最高,T5 处理比 T4 高 42%。在 10—20,20—30 cm 土层,与 0—10 cm 土层内的含水率相反,均表现为埋深为

20 cm 的微润灌处理的含水率大于埋深为 10 cm 的处理,T8 的平均含水率最低,T1 的平均含水率最高,分别高出 T8 处理的 20%,45%。

由表 2 可知,2015 年不同微润灌处理对向日葵根区土壤含水率影响显著。埋深相同时,变异系数随灌溉定额的增加而降低,灌溉定额为充分灌溉的时,变异系数最小,说明整个生育期充分灌溉的微润灌处理土壤水分分布最均匀。埋深为 10 cm 微润灌处理,0—10 cm 土层土壤变异系数最小为 0.10~0.11,在 10—20 cm 土层中变异系数稍小于埋深为 20 cm 的微润灌处理。在 20—30,30—60 cm 土层中,埋深为 20 cm 的微润灌处理,变异系数较小,土壤水分分布均匀。由方差分析结果表明,灌溉定额对不同土层土壤含水率影响均为极显著水平($P<0.01$);微润带的埋深对 10—20 cm 土层土壤含水率影响为显著水平($P<0.05$),对 0—10,20—30,30—60 cm 土层土壤含水率影响均为极显著水平($P<0.01$)。而二者交互作用对土壤含水率的影响不显著($P>0.05$)。

表 2 2015 年生育期内不同微润灌处理土壤垂向平均含水率及变异系数

处理	0—10 cm		10—20 cm		20—30 cm		30—60 cm	
	平均值/%	变异系数	平均值/%	变异系数	平均值/%	变异系数	平均值/%	变异系数
T1	14.72bc	0.13	19.96a	0.11	21.13a	0.11	17.76a	0.11
T2	13.82cd	0.13	19.21ab	0.11	20.13ab	0.12	16.87ab	0.13
T3	12.79de	0.14	18.73abc	0.13	19.48bc	0.11	16.6ab	0.14
T4	11.83e	0.12	17.28cd	0.12	18.10cd	0.13	15.61bc	0.13
T5	16.88a	0.10	19.39ab	0.11	17.62d	0.15	16.83ab	0.12
T6	16.03ab	0.10	18.04bcd	0.10	16.68de	0.18	15.42bc	0.15
T7	15.54b	0.10	17.18cd	0.11	15.75ef	0.19	15.39bc	0.13
T8	14.14c	0.11	16.65d	0.15	14.56f	0.17	14.27c	0.14
灌溉定额 <i>F</i> 值	16.09**		9.251**		12.17**		8.576**	
埋深 <i>F</i> 值	62.95**		6.859*		93.17**		14.04**	
灌溉定额×埋深 <i>F</i> 值	0.21		0.39		0.03		0.12	

注:同列不同小写字母表示显著差异($P<0.05$);*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。下同。

2.2 不同微润带埋深及灌溉定额对土壤盐分的影响

与水分类似,在微润灌情况下,分析 2015 年不同处理向日葵根区土壤盐分的动态变化。由图 3 可知,随着向日葵生长,0—60 cm 各层土壤含盐量大体呈现逐渐上升的趋势。在向日葵现蕾期 0—30 cm 土层土壤含盐量较苗期显著升高,这是由于在此期间追施尿素,造成 0—30 cm 土层内土壤含盐量迅速增加。在向日葵花期,10—20 cm 土层内土壤含盐量较现蕾期呈现下降趋势。由图 2 可知,在此期间(57~80 天)土壤水分下降较快,根系吸水、养分剧烈,因此造成盐分显著下降。在葵花灌浆成熟期,土壤盐分又有较大的上升,蒸发强烈,上层土壤含盐量不断积累。

在微润带埋深相同的情况下,土壤含盐量随着灌

溉水量的增加而减小,如埋深为 20 cm 微润灌处理,在 0—10 cm 土层内,T1 在整个生育期内平均土壤含盐量分别较 T2、T3、T4 减小了 9.5%,40.1%,53.3%。T3、T4 处理灌溉定额少,灌溉水分均被向日葵充分吸收利用,地下水通过毛管作用上升到根层补充土壤水分,盐分随之上移累积到土壤 0—30 cm。T1 在整个生育期中,在各层土壤盐分波动小,保持一个低盐状态,有利于向日葵生长。在相同灌溉定额下,微润带埋深对土壤含盐量有一定的影响。在 0—10,10—20,20—30,30—60 cm 土层中,T1 处理在整个生育期平均土壤含盐量较 T5 处理分别显著减少了 57.6%,62.9%,35.2%,33.9%。微润带埋深为 20 cm 的各处理在 0—60 cm 土壤内的含盐量小于微润

带埋深为 10 cm 的各处理。

在微润灌情况下,盐分出现表聚特点,0—10 cm 土层土壤盐分最大,是 20—30 cm 土层的 2 倍,30—60 cm 土层的 2 倍以上,即 30 cm 以下土层土壤盐分

向下运移不明显,经过 1 年向日葵种植 0—60 cm 土层土壤含盐量呈增加趋势,0—10 cm 增长幅度最大,说明在微润灌溉情况下,由于地埋微润带,地表土壤缺少淋洗,盐分累积持续不断。

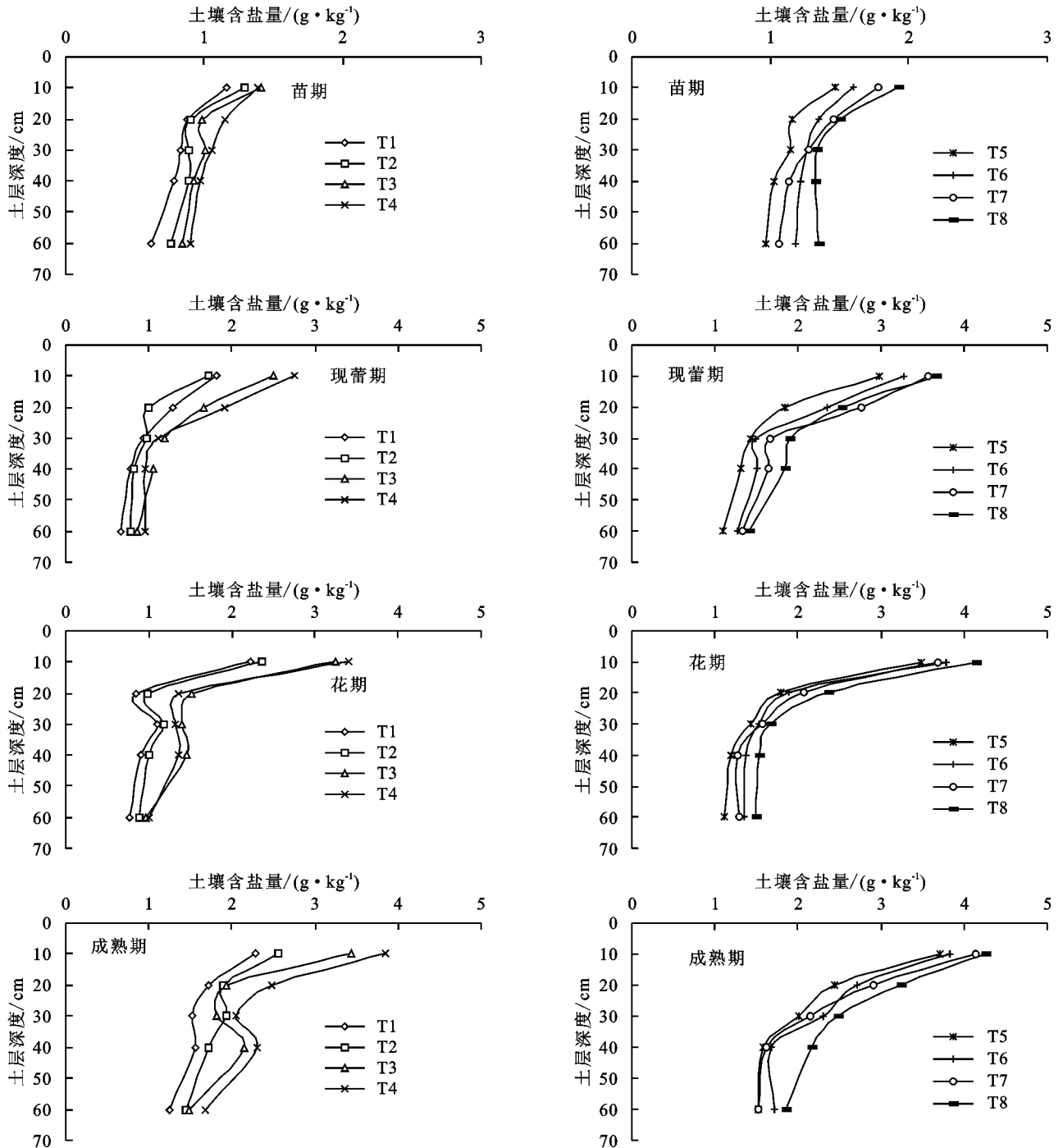


图 3 2015 年不同处理向日葵根区土壤盐分动态变化

2.3 不同微润带埋深及灌溉定额对 0—60 cm 土壤相对含盐积累量的影响

由表 3 可知,灌水过程中,微润带埋深对 0—60 cm 土壤相对含盐积累量的影响显著。盐分积累随着微润带埋深增加而减小。在 2015 年播种 112 天后(成熟期)0—60 cm 土层内,埋深为 20 cm 的微润灌处理,均呈现积盐现象。而埋深为 10 cm 的微润灌处

理出积盐现象的时间不同。T5 处理在播种后 112 天后表现出积盐现象,T6、T7、T8 在播种后 57 天开始积盐。这是由于在播后 57 天,向日葵正处于现蕾期,在此期间追施尿素,造成 0—30 cm 土层内土壤含盐量迅速增加。且在播后 57 天之后,埋深为 10 cm 的微润灌处理在 10—30 cm 土层内的含水率下降迅速且处于较低状态。因此埋深为 10 cm 的微润灌处

理在播后 57 天开始积盐。在向日葵收获后(播种后 112 天),灌溉定额相同情况下,埋深为 20 cm 较埋深为 10 cm 的微润灌处理盐分积累低,并且存在显著差异,T1 处理较 T5 积盐量降低 47%。这是因为埋深 20 cm 较 10 cm 的微润灌处理在 0—10 cm 土壤含水率小(图 2),微润带埋深浅,0—10 cm 土壤含水率大,蒸发作用强,水去盐留造成表层积盐,而埋深大,0—10 cm 土壤含水率小,蒸发作用减弱,表层盐分积累越少。0—60 cm 土层土壤含盐累积量随着灌溉定额增加而减少。在埋深为 20 cm 情况下,盐分累积量 T1 处理最小为 9.3%,比 T4 处理积盐率降低 66%。说明埋深为 20 cm,充分灌溉的微润灌处理在 0—60 cm 土层内土壤积盐量少,为向日葵生长创造适宜的环境。2016 年 0—60 cm 土壤

相对含盐累积量在向日葵不同时期均呈现负值,土壤脱盐,这是因为 2016 年降雨充沛,土壤表层盐分进行淋洗。且 0—60 cm 土层土壤脱盐量随着灌溉定额减少而减少,随着埋深增加而增大。在向日葵收获后(播种后 115 天),T1 处理在 0—60 cm 土层内土壤的脱盐率分别较 T2,T3 处理高 15.6%,53.2%,较 T5 处理高 82.9%。综上,在向日葵成熟收获后,微润带埋深为 20 cm 时,以充分灌溉 T1 处理积盐最小,轻度缺水灌溉 T2 处理次之。2 年内 0—60 cm 土层土壤相对含盐累积量方差分析结果表明,灌溉定额和微润带埋深均对土壤相对含盐累积量有极显著影响($P<0.01$),二者交互作用仅在 2015 年播后 35 天对土壤相对含盐累积量影响显著($P<0.05$)。

表 3 不同微润灌处理 0—60 cm 土层土壤相对含盐累积量 单位:%

处理	2015 年				2016 年		
	播种后 35 d	播种后 57 d	播种后 80 d	播种后 112 d	播种后 33 d	播种后 60 d	播种后 115 d
T1	−46.69a	−29.93a	−24.70a	9.30a	−48.54a	−25.73a	−45.66a
T2	−36.48b	−34.11b	−20.31b	19.90bc	−46.75a	−14.79c	−39.49b
T3	−36.70b	−18.47c	−9.98c	21.58c	−34.89c	−20.54b	−29.80c
T4	−34.01bc	−11.68d	−3.40d	27.68d	−26.30d	32.40f	8.32g
T5	−30.93c	−6.11e	−3.78d	17.16b	−39.47b	−20.66b	−24.96d
T6	−18.22d	6.86f	10.96e	41.62e	−31.58c	−3.46d	−11.20e
T7	−19.70d	25.69g	16.31f	49.29f	−39.39b	13.59e	−2.79f
T8	−22.10d	15.42h	17.82f	46.01f	−9.45e	58.40g	27.11h
埋深显著性检验	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *
灌溉定额显著性检验	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *
灌溉定额×埋深显著性检验	*	* *	* *	* *	* *	* *	* *

注:土壤含盐累积量前加负号表示土壤脱盐率,不加表示土壤积盐率。

2.4 不同微润带埋深及灌溉定额对向日葵产量和水分利用效率(WUE)的影响

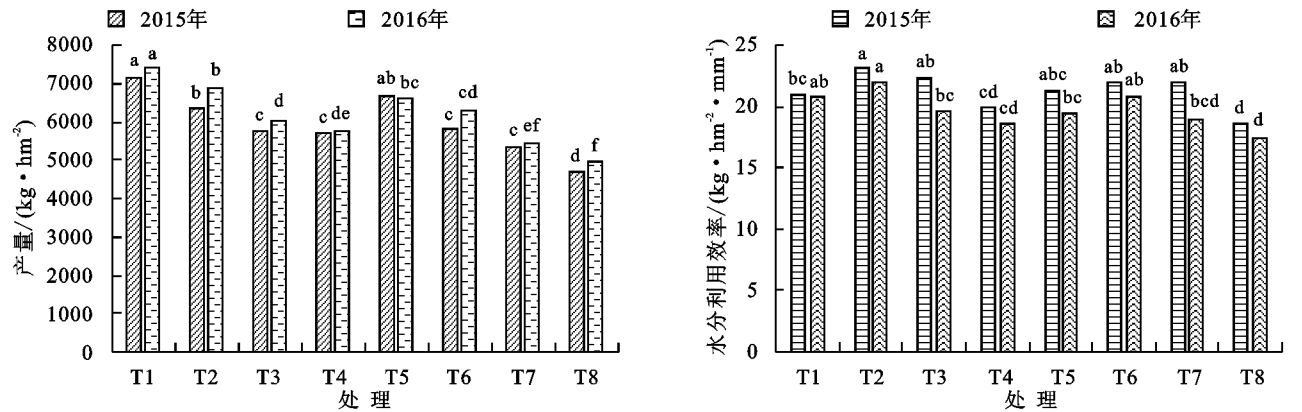
由表 4 可知,不同微润灌处理对向日葵盘径、盘重和百粒重有相似的规律。2015 年和 2016 年均以 T1 处理的单盘籽粒重最大,分别为 169.93,176.63 g。2 年均以 T8 处理盘重最小分别为 111.12,117.94 g,分别比 T1 处理显著减小 34.6%,33.2%。随着灌水减少,使单盘籽粒重、百粒重、盘径减小,严重制约向日葵生长,造成产量降低。2015 年和 2016 年 T1 处理的百粒重较 T2、T3、T4 分别显著提高 3.2%,21.6%,13.9%和 10.6%,4.4%,34.6%。在不同埋深情况下,T1 处理 2 年单盘籽粒重分别是 169.93,176.63 g,高出 T5 处理 7.4%,12.2%。微润灌处理对向日葵产量构成因素方差分析结果表明,灌溉定额在 2 年中均对各项因子具有极显著影响($P<0.01$),微润带埋深仅在 2016 年中对盘径、百粒重没有显著影响($P>0.05$),二者交互作用仅在 2016 年对盘径、百粒重有显著影响($P<0.05$)。灌溉定额和微润带埋深均会对向日葵生长产生影响,埋深为 20 cm,充

分灌溉的 T1 处理各项产量因素均为最优。

随着灌溉定额的增加,向日葵产量也呈增加趋势。由图 4 可知,微润带埋深相同情况下,2015 年和 2016 年 T1 处理分别比 T2、T3、T4 处理增产 12.50%,23.93%,24.77%和 7.59%,23.13%,28.30%,T1~T4 各处理之间产量差异性显著。在灌溉定额相同的情况下,微润带埋深为 20 cm 与 10 cm 各对应处理(T1 与 T5 对应,依次类推)产量相比有所增加,且差异性显著。2 年各处理的作物水分利用效率(WUE)均以 T2 最大,T8 最小。微润带埋深相同时,随着灌溉定额减少,作物水分利用效率呈先增加后减小的趋势。2015 年和 2016 年 T2 处理的作物水分利用效率较 T1、T3、T4 处理分别显著提高 10.5%,4.1%,15.9%和 5.8%,11.7%,18.4%。灌溉定额相同,微润带埋深为 20 cm 比 10 cm 对应处理的 WUE 有所提高,并且有显著性差异。2015 年和 2016 年向日葵 T2 较 T6 处理的 WUE 显著提高 5.1%,5.7%,T4 较 T8 处理的 WUE 显著提高 7.7%,6.5%。

表 4 不同微润灌处理对向日葵产量构成因素的影响

处理	2015 年			2016 年		
	盘径/cm	单盘籽粒重/g	百粒重/g	盘径/cm	单盘籽粒重/g	百粒重/g
T1	23.0a	169.93a	21.05a	22.3ab	176.63a	21.94a
T2	21.0ab	151.05bc	20.39ab	21.5bc	160.82ab	19.82ab
T3	20.0bc	137.12cd	17.30d	21.1bc	148.21bc	21.01a
T4	18.5bc	136.19cd	18.48cd	19.5cd	134.58cd	16.30c
T5	20.0bc	158.17ab	20.12abc	23.5a	157.38b	21.55a
T6	19.0bc	137.74cd	19.14bc	21.5bc	149.93bc	20.07ab
T7	19.5bc	126.6de	17.13d	18.3d	129.79d	18.00bc
T8	18.2c	111.12e	17.37d	19.7cd	117.94d	20.47ab
埋深 F 值	12.84**	27.34**	5.03*	0.65	29.11**	0.49
灌溉定额 F 值	10.17**	36.75**	16.40**	13.18**	35.24**	11.72**
埋深×灌溉定额 F 值	2.53	1.35	0.39	3.87*	0.39	13.59**



注:柱上不同小写字母表示同一年度相同指标不同处理间差异显著性水平($P<0.05$)。

图 4 微润灌溉对向日葵产量及水分利用效率的影响

3 讨论

研究表明,微润带埋深,灌溉水量直接影响土壤的盐分状况。埋深 20 cm 的微润灌处理 0—60 cm 土壤积盐率比埋深 10 cm 处理显著减小。王淑红等^[15]认为,渗灌管的埋深越浅,灌水周期越短,盐分积累越多;渗灌管埋深 30 cm,有利于抑制盐分积累。这与本研究结论一致。牛文全等^[16]认为,毛管浅埋有利于番茄主根区土壤(0—30 cm)盐分影响,深埋有利于次根区土壤(>30—60 cm)盐分的淋洗,本研究结果恰好与此相反,可能是由于牛文全等^[16]选择的是轻度盐渍化日光温室土壤,并且分析的是秋冬茬番茄根部土壤,而本文研究露天大田土壤,在温湿度、蒸发方面均存在较大的差异。

在相同埋深的不同灌溉定额处理情况下,充分灌溉处理的产量显著大于受不同程度缺水的微润灌处理。不同程度缺水处理的产量较小可能是由于河套灌区向日葵全生育期温度高、降雨量小、蒸发量大所导致。此外,向日葵关键期供水相对较少,使得向日葵生长受到限制,影响其产量的增加。本试验发现,在相同水分不同微润带埋设深度的微润灌处理,微润

带埋设深度为 20 cm 处理的产量、灌溉水分利用效率均大于埋设深度为 10 cm 的处理。这是由于各生育期向日葵根长密度、根体积密度、根表面积密度微润带埋深为 20 cm 各处理优于埋深为 10 cm 的各处理^[4],因此微润带埋设为 20 cm 的各处理根部吸水能力较微润带埋设 10 cm 的各处理吸水能力强,产量大。

4 结论

(1)结合微润灌水分、盐分的分布的特征,在微润带埋深处土壤含水率高,且微润灌灌溉定额越多,土壤含水率越高,土壤盐分越低。即在微润带埋深 20 cm 处理中,土壤含水率和盐分由大到小分别为 T1>T2>T3>T4 和 T4>T3>T2>T1。

(2)灌溉定额相同的情况下,微润带埋深 20 cm 的处理在 20—30 cm 土层的含水率显著高于埋深为 10 cm 的微润灌处理。微润带埋深 20 cm 的处理生育期在 10—60 cm 含水率变异系数较小,土壤水分分布更为均匀,且 0—60 cm 土壤含盐量显著低于埋深 10 cm 的微润灌处理。

(3)盐分积累随着微润带埋深增加而减小,埋深为 20 cm 的微润灌处理在 2015 年播种 80 天后,0—

60 cm 呈现积盐现象,而埋深为 10 cm 的微润灌处理在播种后 57 天就已经开始积盐。2015 年在向日葵成熟收获后埋深为 20 cm,充分灌溉的 T1 处理的盐分积累较小,0—60 cm 土壤平均相对积盐率为 9.3%,比 T2、T5 处理分别低 53.3%,45.9%。2016 年在播种后不同时期 0—60 cm 土壤均呈现脱盐现象,脱盐率随着微润带埋深增加而增加,随着灌溉定额减少而减少。

(4)在相同埋深下,产量及产量构成因子随着灌溉水量的增多呈逐渐递增的趋势。2015 年和 2016 年 T1 比 T2、T3、T4 处理分别显著提高 12.50%,23.93%,24.77%和 7.59%,23.13%,28.30%。在灌溉定额相同的情况下,微润带埋深为 20 cm 比 10 cm 各对应处理(T1 与 T5 对应,依次类推)产量相比具有增加趋势,且差异显著。

(5)综合来看,埋深为 20 cm 时,充分灌溉处理在 0—60 cm 土层内土壤积盐率最小为 9.3%,作物产量最高,且 WUE 较高。推荐河套地区种植向日葵微润带布置埋深为 20 cm,进行充分灌水,并进行秋浇将土壤表层盐分淋洗。

参考文献:

- [1] 张子卓,张珂萌,牛文全,等.微润带埋深对温室番茄生长和土壤水分动态的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):122-129.
- [2] 薛万来,牛文全,张子卓,等.微润灌溉对日光温室番茄生长及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):61-66.
- [3] Li J P, Xu X X, Lin G, et al. Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain [J]. Science of the Total Environment, 2018, 643(25): 367-377.
- [4] 田德龙,郑和祥,李熙婷.微润灌溉对向日葵生长的影响研究[J].节水灌溉,2016(9):94-97,101.

(上接第 282 页)

- [34] 王绍中,章练红,徐雪林,等.环境生态条件对小麦品质的影响研究进展[J].华北农学报,1994,9(增刊1):141-144.
- [35] Wheeler T R, Batts G R, Ellis R H, et al. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature [J]. The Journal of Agricultural Science, 1996, 127(1): 37-48.
- [36] 吴东兵,曹广才,强小林,等.生育进程和气候条件对小麦品质的影响[J].应用生态学报,2003,14(8):1296-1300.
- [37] 张艳,何中虎,周桂英,等.基因型和环境对我国冬播麦区小麦品质性状的影响[J].中国粮油学报,1999,14(5):1-5.

- [5] 弋鹏飞.膜下滴灌棉田土壤水盐运移规律试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
- [6] 史丽艳,牛文全,张俊.灌水方式对轻度盐化土壤玉米生长及土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):152-156,175.
- [7] 牛文全,张俊,张琳琳,等.埋深与压力对微润灌湿润体水分运移的影响[J].农业机械学报,2013,44(12):128-134.
- [8] Meshram D T, Gorantiwar S D, Singh N V, et al. Response of micro-irrigation systems on growth, yield and WUE of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in semi-arid regions of India [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 246(4): 686-692.
- [9] 吕殿青,王全九,王文焰,等.膜下滴灌水盐运移影响因素研究[J].土壤学报,2002,39(6):794-801.
- [10] Karlberg L, Rockström J, Annandale J G, et al. Low-cost drip irrigation: A suitable technology for southern Africa: An example with tomatoes using saline irrigation water [J]. Agricultural Water Management, 2007, 89(1/2): 59-70.
- [11] 李朝阳,王兴鹏,杨玉辉,等.不同水头压力的微润灌对土壤水盐运移的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(6):22-26.
- [12] 张子卓,牛文全,许健,等.膜下微润带埋深对温室番茄土壤水盐运移的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(9):1112-1121.
- [13] Patel N, Rajput T B S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato [J]. Agricultural Water Management, 2006, 88(1): 209-223.
- [14] 梁建财,史海滨,李瑞平,等.不同覆盖方式对中度盐渍土壤的改良增产效应研究[J].中国生态农业学报,2015,23(4):416-424.
- [15] 王淑红,张玉龙,虞娜,等.保护地渗灌管的埋深对土壤水盐动态及番茄生长的影响[J].中国农业科学,2003,36(12):1508-1514.
- [16] 牛文全,吕望,古君,等.微润管埋深与间距对日光温室番茄土壤水盐运移的影响[J].农业工程学报,2017,33(19):131-140.
- [38] Cooper M, Woodruff D R, Phillips I G, et al. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat [J]. Field Crops Research, 2001, 69(1): 47-67.
- [39] Daniel J M, Gustavo A S. Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations [J]. Field Crops Research, 1995, 43(2/3): 55-66.
- [40] Daniel C, Tribouy E. Changes in wheat protein aggregation during grain development: Effects of temperatures and water stress [J]. European Journal of Agronomy, 2002, 16(1): 1-12.