

膜下微润带埋深对温室番茄土壤水盐运移的影响*

张子卓¹ 牛文全^{2,3**} 许 健³ 张珂萌¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所 杨凌 712100;
3. 中国科学院水利部水土保持研究所 杨凌 712100)

摘 要 为探讨微润灌溉对温室轻度盐碱地番茄土壤水盐的影响,通过设置3种不同埋深(10 cm、15 cm、20 cm),探究了不同微润带埋设深度下,膜内(番茄种植行)、膜间(番茄行间)土壤含水量和含盐量的变化特征。结果表明,膜内、膜间土壤水盐的变化规律在不同埋深下保持一致,膜内土壤水分随时间推移先增大后减小,盐分随时间推移逐渐减小;膜间土壤水分、盐分均随时间推移逐渐增大。膜间土壤含水量始终小于膜内,随着土层深度增加,膜内、膜间土壤含水量差距减小;表层土壤膜内、膜间土壤含水量差距最大,50~60 cm 土层膜间与膜内土壤含水量基本趋于一致。微润带埋深大时,土壤含水量较高,开花结果期,20 cm、15 cm、10 cm 埋深的土壤含水量分别为 23.31%、24.46%及 22.42%;且微润带埋深为 10 cm 时,膜内、膜间土壤含水量差值小于埋深为 15 cm 和 20 cm。膜内土壤含盐量始终小于膜间,微润带埋深越小,膜内、膜间土壤含盐量差异也越小;全生育期内,膜内 0~40 cm 土层处于脱盐状态,脱盐率随深度增加逐渐降低,离微润带越近,脱盐效果越明显;40~60 cm 土层土壤含水量少,盐分含量也较小,为轻微积盐状态。10~20 cm 土层水分含量最大、盐分含量最小、脱盐率最高。膜间 0~60 cm 土层始终处于积盐状态,积盐率随深度增加逐渐降低,0~20 cm 土层积盐率最高。开花结果期,20 cm、15 cm 和 10 cm 埋深下,膜内 10~20 cm 土层平均最大脱盐率分别为 24.66%、32.28%和 14.71%,15 cm 埋深下脱盐率最高;苗期和结果末期 15 cm 埋深处理脱盐率也达最高,平均最大脱盐率分别为 27.42%、24.67%。研究结果充分说明微润带埋深对不同土层深度的洗盐效果具有显著影响。综合来看,微润带埋深 15 cm 时土层平均脱盐率和土壤平均含水率均最高,分别达到 26.05%和 25.1%,为番茄生长创造了一个良好的水盐环境,最有利于番茄生长发育,为最佳埋深。

关键词 膜下微润灌溉 埋深 水盐运移 膜内 膜间 积盐率 温室番茄

中图分类号: S275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2015)09-1112-10

Effect of tube depth of moistube-irrigation under plastic film mulching on soil water and salt transports of greenhouse tomato

ZHANG Zizhuo¹, NIU Wenquan^{2,3}, XU Jian³, ZHANG Kemeng¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences / Ministry of Water, Yangling 712100, China)

Abstract In order to verify the effect of moistube-irrigation under plastic film mulching on water and salt transport in tomato in slight alkaline soils under greenhouse conditions, three buried depths (10 cm, 15 cm, 20 cm) of moistubes of moistube-irrigation under plastic film mulching were designed and the effects of the moistube depths on water content and salinity of soils under (in tomato planting row) and between (between tomato rows) plastic films investigated. The results showed that the change trends in soil water content and salinity were consistent for different moistube depths under and between the plastic films. Under plastic film, soil water content increased initially and then decreased, whereas salinity decreased with time. Between plastic films, soil water content and salinity increased over time. The soil water content between plastic films was less

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2011AA100507)资助

** 通讯作者:牛文全,研究方向为水土资源高效利用与节水灌溉理论研究。E-mail: nwq@vip.sina.com

张子卓,研究方向为节水灌溉。E-mail: xiaohaizizzz655@163.com

收稿日期: 2015-01-09 接受日期: 2015-06-29

than that under plastic film. With increasing soil depth, the difference in soil water content between under-film and between-films reduced. The difference of soil water content between under-film and between-films was maximal in surface soil. In 50–60 cm soil layer, water contents under plastic film and between plastic films were tend to be consistent. The deeper the moisture was, the higher the soil water content was. At fruiting stage of tomato, soil water contents were 23.31%, 24.46% and 22.42% for moisture depths of 20 cm, 15 cm and 10 cm, respectively. The difference in soil water content between under-film and between-films for 10 cm depth of moisture was less those for 15 cm and 20 cm depths of moistures. Soil salinity under plastic film was less than that between plastic films, and with the increase of buried depth of moisture, the difference between under-film and between-films increased. In 0–40 cm layer under plastic film, soil was desalinated during the whole growth period of tomato, though the relative desalination rate decreased with increasing soil depth. Also in 0–40 cm soil layer, the nearer to the moisture, the more obvious the effect of desalination. The soil layer of 40–60 cm was in slight salification due to less soil water content and salinity. The 10–20 cm soil layer had maximal soil water content, minimum salinity and highest salt desalination rate. However, between plastic films, the soil with depth of 0–60 cm was in salt deposition state, and the salt deposition rate decreased with the increase of soil depth. Salt deposition rate was highest for the 0–20 cm soil depth. At fruiting stage of tomato, average maximal desalination rates of 10–20 soil layer under plastic film were 24.66%, 32.28% and 14.71% for moisture depths of 20 cm, 15 cm and 10 cm. At seedling and last fruiting stages of tomato, the desalination rates of 10–20 soil layer were also highest for 15 cm moisture depth among three buried depths, which were 27.42% and 24.67%. The results showed a significant effect of tube depth of moisture-irrigation under plastic film mulching on salt-leaching of soil in tomato root area. In summary, the buried depth of 15 cm of moisture had the highest average desalination rate of 26.05% and the highest average soil water content of 25.1%, which created an appropriate soil water-salt environment for tomato growth. 15 cm was the best moisture depth of moisture-irrigation under plastic film mulching.

Keywords Moisture-irrigation under film; Burying depth; Water and salt transport; Under plastic film; Between plastic films; Salt deposition rate; Greenhouse tomato

(Received Jan. 9, 2015; accepted Jun. 29, 2015)

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^[1]。在灌溉过程中土壤盐分的淋洗作用为作物生长创造适宜的根区土壤盐分状况。不同的灌水方式形成不同的作物根区土壤水盐分布状况。地膜覆盖阻隔了土壤水分向大气蒸发的通道,减弱了土壤盐分上行运动;覆膜滴灌在作物生育期内可以较大程度调节水分盐分在根系层土壤剖面中的分布,使根系层土壤保持适宜作物生长的水分盐分平衡状态,能够在作物根区长时间维持较高的土壤总水势^[2]。

吕殿青、马东豪等^[3-4]研究了灌水量、滴头流量、土壤初始含水量、土壤初始含盐量、灌水水质等因素对点源入渗土壤水盐运移特征的影响,结果表明,水平湿润锋和积水锋面随时间的推进符合幂函数关系,增加灌水量有利于形成作物正常生长的淡化区,增加滴头流量和土壤初始含水量不利于形成作物正常生长的淡化区,增加土壤初始含盐量会使达标脱盐系数减小。郑旭荣等^[5]认为土壤含水量在50%~80%田间持水率可得到较理想的棉花(*Gossypium hirsutum* L.)耗水分布。Karlberg等^[6]观测结果表明,0~40 cm根系层含水量的电导率为 $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$,小滴头流量时膜下根系层含水量显著高于膜间,而大滴头流量时膜下和膜间根系层的含水量差异很小。对于

不同的埋深,在距滴头一定距离内,埋深越大,含水量越高,且随滴灌带埋深的增加,湿润体饱和区域不断增大^[7]。研究认为膜下滴灌棉花土壤水分与盐分呈负相关关系,生育期内膜间盐分在0~40 cm强烈聚集,生育期结束后,田间0~60 cm土层随膜下滴灌应用年限增加处于积盐态势^[8-13];且随滴灌年限的延长,对土壤的淋洗作用减弱^[14-22]。王全九等^[23-24]进一步研究了膜下滴灌条件下水盐运移特征及盐碱地膜下滴灌参数,并将滴灌后土壤划分为达标脱盐区、未达标脱盐区以及积盐区;张琼等^[25]对膜下番茄滴灌试验结果表明,在灌水量一定的情况下,高频率灌溉可以有效降低土体内的盐分,提高产量。膜下滴灌技术在众多盐碱地上的应用显现了强大生命力和影响力,既节水增产又便于管理,还提高了经济效益^[26]。前人对于灌水量、滴头流量、土壤初始含水盐量等影响因素的研究较多,而针对不同条件下滴灌管适宜的埋设深度等研究较少。另外,作为连续灌溉的微润灌溉^[27-28]技术在我国西北及南方山丘区使用面积逐渐扩大,在这种小流量长期连续灌溉条件下,土壤盐分如何累积和运移,尚鲜见相关研究报道。为此,本试验将覆膜和微润灌溉相结合,探讨了微润带埋深对膜下微润灌溉番茄膜内外土壤水盐运移的影响,为轻度盐碱土微润灌

<http://www.ecoagri.ac.cn>

溉技术的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于2013年9月19日至2014年4月27日在陕西省杨凌区西北农林科技大学南校区温室内进行。温室结构为房脊型,长8 m,宽3.5 m,高3.8 m。温室位于东经108°04',北纬34°20',所处地理位置属暖温带季风半湿润气候区,年均日照时数2 163.8 h,无霜期210 d;试验土壤为壤土,其中粒径0.050~1.000 mm的砂粒占27%,粒径0.050~0.005 mm的粉砂颗粒占32%,粒径≤0.005 mm的黏粒占41.7%。60 cm土层内土壤平均容重为1.38 g·cm⁻³,田间持水率为25%(质量含水量),饱和含水量为50.7%,土壤平均含盐量为1.4 g·kg⁻¹。种植前测得土壤养分状况:有机质含量16.11 g·kg⁻¹,全氮含量1.85 g·kg⁻¹,全磷含量1.21 g·kg⁻¹,全钾含量20.13 g·kg⁻¹,土壤肥力中等,土壤各层含盐量和初始含水量见表1。

表1 试验地不同深度土壤含盐量和初始含水量
Table 1 Salinities and initial moisture contents of different soil layers of the experiment site

土层深度 Soil depth (cm)	含盐量 Salinity (g·kg ⁻¹)	初始含水量 Initial moisture content (%)
0~10	1.9	16.22
10~20	1.7	15.23
20~30	1.4	15.66
30~40	1.3	13.71
40~50	1.2	11.76
50~60	1.1	12.13

1.2 试验材料与试验设计

供试蔬菜为番茄(*Lycopersicon esculentum* Miller),品种为‘荷兰普罗旺斯’,属中晚熟品种。定植时间为2013年9月19日,试验结束时间为2014年4月27日。起垄种植,垄宽50 cm,高15 cm,长3.6 m,垄顶为平顶,垄间距40 cm,株距35 cm,行距40 cm,每行种植10棵,每个处理理论种植番茄20棵。微润带埋入垄上两行作物中心位置,垄上采用覆膜微润灌溉,膜长3.6 m,宽50 cm,垄间为裸地,膜间距为40 cm。

2013年9月19日—2014年4月27日期间温室内的最高温度为38.0℃,最低温度为11.5℃,番茄生育期内平均温度为22.0℃。本试验将番茄全生育期划分为苗期、开花结果期、结果末期3个阶段。

室内土箱模拟试验研究表明,在0.2~2.0 m 水头范围内,微润带流量与压力水头近乎呈线性关

系,适宜的埋深为15~20 cm^[29]。综合考虑番茄生长的需水特性,本试验压力水头设置为180 cm,埋深设置3个水平,分别为10 cm、15 cm和20 cm,每个处理重复3次,每个处理为1个小区,共9个小区,3个处理均覆膜种植,总灌溉量为实际灌水量(3个处理的总灌水量分别为202.87 mm、220.37 mm、264.24 mm)。试验供水装置为马氏瓶,每两行埋设一条微润带(深圳市微润灌溉技术有限公司生产)。

微润带长度为400 cm,进口端连接供水系统,出口端封闭,试验微润带与马氏瓶由橡皮软管连接。整个生育期(从番茄定植到拉秧)连续灌水;为防止各小区间水分相互渗透,相邻小区间用埋深为60 cm的塑料布隔开(温室内土层60 cm以下为地表土)。定植后8 d开始,每隔30 d采样1次,水平方向设置2个取土点,分别在膜中央(距微润带5 cm)和膜间(距微润带35 cm)裸地处取样,垂直方向按照0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm和50~60 cm 6个土层进行取样,共取样8次。

土壤含水量:采用烘干法测定,土样含水量的平均值代表该地块的含水量。

土壤电导率:将烘干土样进行研磨,按照土水比1:5的质量比进行浸泡,沉淀过滤后的溶液采用意大利哈纳多参数分析仪测定其电导率(EC_{1:5}, dS·m⁻¹)。

土壤含盐量的测定:试验前,任意选取代表土样15个,测定其电导率,将测定过电导率的土溶液进行烘干,称量盐分质量。所获得盐分数据与电导率进行曲线拟合,见图1,拟合所得公式为: $y=0.973 1x+0.007 2$ ($r^2=0.973 1$),试验所得土壤含盐量均由此公式标定所得。由于试验地不同深度含盐量本底值不同,以相对脱盐率分析不同时期土壤含盐量的变化:

$$S=(S_f-S_e)/S_e \times 100\% \quad (1)$$

式中: S 为相对脱盐率,%; S_f 为生育期末期土壤含盐量,g·kg⁻¹; S_e 为生育期初期土壤含盐量,g·kg⁻¹。当 $S>0$ 时,表示积盐, $S<0$ 时,表示脱盐。

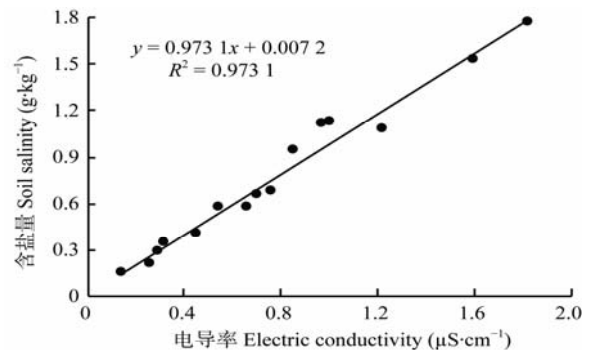


图1 供试土壤含盐量与电导率值的关系

Fig. 1 Relationship between salinity and electric conductivity

<http://www.ecoagri.ac.cn>

of the tested soil

2 结果与分析

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 作图并用 SPSS 22 软件中的 Duncan 多重比较法进行数据分析, 各图表中的数据均为平均值。

2.1 微润带埋深对膜内、膜间土壤含水量的影响

图 2 是不同微润带埋深下膜内外 0~60 cm 土层土壤含水量随时间变化过程。

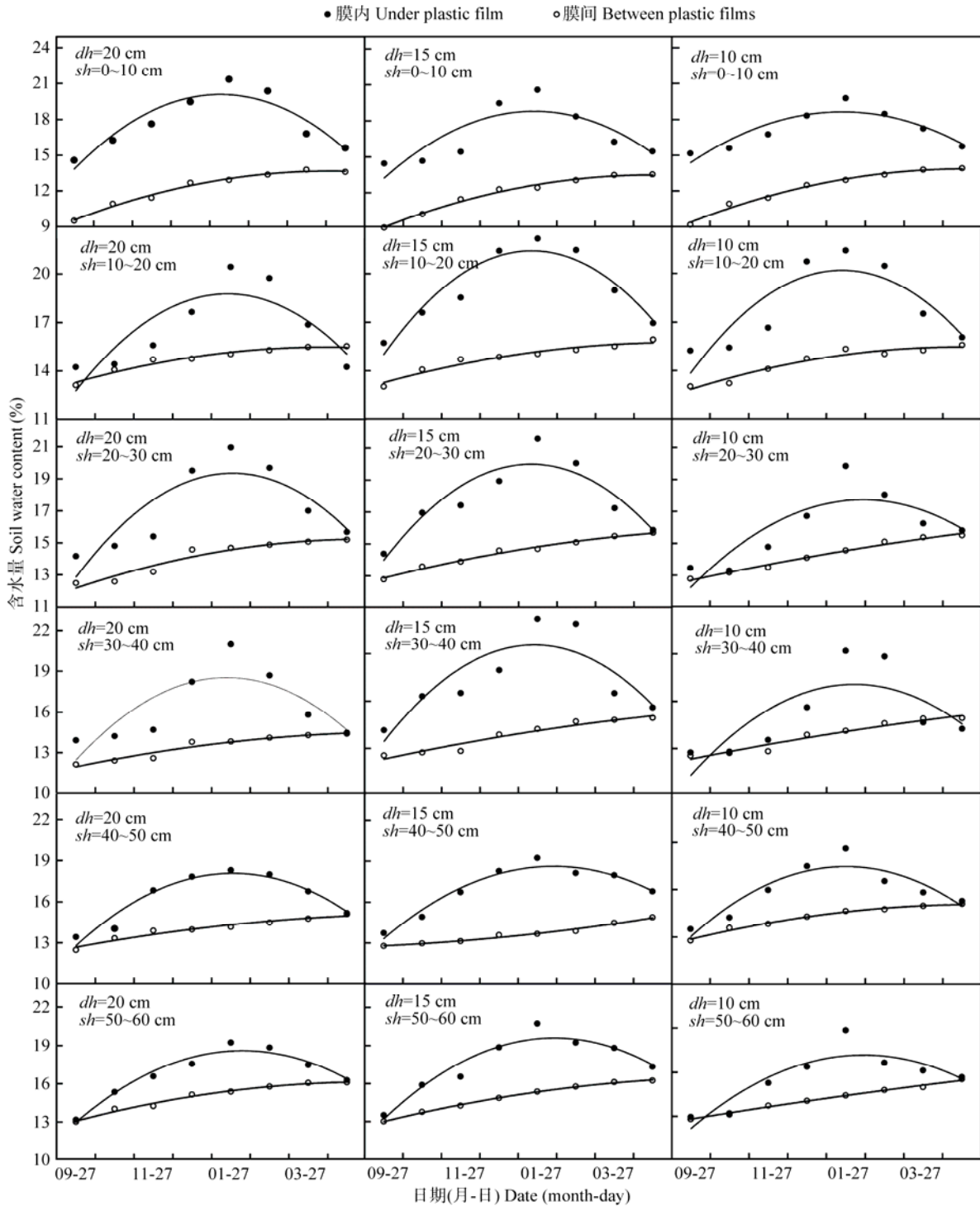


图 2 不同微润带埋深对膜内、膜间土壤含水量随时间变化的影响

Fig. 2 Temporal variations of water contents of 0~60 cm soil under film and between films with different moisture depths of moisture-irrigation under plastic film mulching

图中 dh 为微润带埋深, sh 为土层深度, 下同。“ dh ” is depth of moisture; “ sh ” is soil depth. The same below.

如图 2 所示,在微润灌溉持续供水条件下,温室番茄膜内、膜间不同土层土壤含水量在整个生育期呈抛物线状先增大后减小趋势。整个番茄生育期内膜内土壤含水量高于膜间,土壤含水量的最大值出现在微润带埋设区域 10~20 cm 土层。不同埋深膜内和膜间的土壤含水率差异随土层深度的增加逐渐减小,表层土壤膜内、膜间土壤含水量差距最大,50~60 cm 土层膜间与膜内土壤含水量基本趋于一致。在垂直方向上,不同生育阶段膜内土壤含水量随土层深度增大大致呈递减趋势,膜间由于表层土壤蒸发,土壤含水量随深度增加呈递增趋势。

苗期(10—12 月)土壤含水量低,该阶段番茄根系吸水较少,番茄需水量较小,土壤耗水量小于供水量,随着微润带的持续供水,膜内土壤含水量呈持续上升状态。在花期初期(1 月末)膜内土壤含水量达到最大,花期和结果末期(1—4 月),番茄需水量增大,土壤耗水量大于供水量,膜内土壤含水量逐渐减小。不同微润带埋深下,不同土层深度土壤含水量随时间、不同生育阶段的变化趋势均基本一致,说明微润带埋深对不同土层深度土壤含水量随时间的变化趋势及不同生育阶段土壤含水量随土层深度的变化趋势影响较小。

开花结果期(12 月—翌年 3 月)是番茄需水关键期,土壤含水量在 1 月达到高峰,经计算,此时 20 cm、15 cm、10 cm 埋深的土壤含水量分别达 23.31%、24.46% 及 22.42%,分别占田间持水量的 85.64%、88.64% 及 81.58%,15 cm 埋深土壤含水量达最高,20 cm 埋深次之。且微润带埋深为 10 cm 时,膜内、膜间土壤含水量差值小于埋深为 15 cm 和 20 cm 处理。

2.2 微润带埋深对膜内、膜间土壤含盐量的影响

图 3 是微润灌溉番茄苗期—结果末期时不同埋深处理 0~60 cm 土层土壤含盐量随时间的变化情况。由图 3 可知,不同土层膜内土壤含盐量随时间呈幂函数逐渐降低,膜间含盐量随时间呈幂函数逐渐增大,且膜内土壤含盐量总低于膜间土壤含盐量。微润带埋深对膜内和膜间土壤含盐量差异影响较小,但微润带埋深越小,膜内、膜间土壤含盐量差异也越小。

微润灌溉水分在水平方向上缓缓向四周扩散,圆柱形浸润体内不同位置的含盐量不同,膜内土壤保持较高的含水量,从而含盐量较低;膜间远离微润带,盐分随水分扩散速度减慢而逐步积累,膜间土壤含盐量高于膜内,表明水分在水平扩散过程中,

将盐分输送到湿润区最边缘的土层。

经过番茄整个生育期 218 d 的连续灌水和消耗,以及脱盐与积盐交替作用,微润带不同埋深处理的番茄苗期(2013 年 9 月 27 日至 12 月 27 日)、开花结果期(2013 年 12 月 28 日至 2014 年 3 月 27 日)和结果末期(2014 年 3 月 28 日至 4 月 27 日)膜内外垂直方向土壤含盐量变化特征见图 4。

由图 4 可知,土壤盐分随水移动而被淋洗到浸润体湿润土体外缘,起到“驱盐”的作用^[30],从而使主根系层土壤形成了一个低盐区或淡化区。不同埋深膜内、膜间土壤含盐量均在 10~20 cm 土层达到最低值,为盐分淡化区;在 30~40 cm 土层处含盐量逐步加大积累程度。表明在水分下渗过程中,盐分被带入湿润区底部,该区域是盐分的聚集区;在 40~60 cm 土层内含盐量出现递减趋势,由于湿润土壤在 0~40 cm 范围内,40 cm 以下土壤含水量少,盐分含量也较小。微润带埋深对不同土层深度的洗盐效果具有明显的影响。

膜内各生育阶段土壤含盐量随土层深度的增加而发生变化。一般浅层土壤差异较大,且在开花结果期(12 月至翌年 3 月)不同生育阶段土壤含盐量差异达到最大值。膜间各生育阶段土壤含盐量受土层深度的影响较小。从表 2 可知,灌水过程中,微润带埋深对膜内不同土层土壤含盐量的影响不显著,离微润带越近,土壤脱盐率越大,离微润带越远,土壤脱盐率越小,并在 10~20 cm 土层脱盐率达到最大值。开花结果期,20 cm、15 cm 和 10 cm 埋深下,膜内 10~20 cm 土层土壤平均最大脱盐率分别为 24.66%、32.28% 和 14.71%,15 cm 埋深下脱盐率最高。苗期和结果末期 15 cm 埋深处理脱盐率也达最高,平均最大脱盐率分别为 27.42%、24.67%。整个生育期内,膜间始终处于积盐状态。

由表 2 可知,开花结果期,不同埋深番茄初期膜内不同深度土壤含盐量差异不显著,而末期不同深度土壤含盐量差异显著。膜内 0~40 cm 土层呈相对脱盐状态,但大于 40 cm 土层土壤为相对积盐状态。随着土层深度的增加,积盐率逐渐减小。膜间裸地接纳了膜内和番茄根区的盐分始终处于积盐状态,膜间 0~20 cm 土层土壤积盐最明显。

膜内各层土壤盐分含量低于膜间,充分说明覆膜不仅具有减轻盐分在表层累积的作用,还具有使盐分侧移至膜间的功能,从而减小了盐分对番茄的危害,保证了番茄对水分和养分的吸收。由于番茄

根系主要分布在膜内, 膜间积累的盐分不会对番茄 生长产生影响。

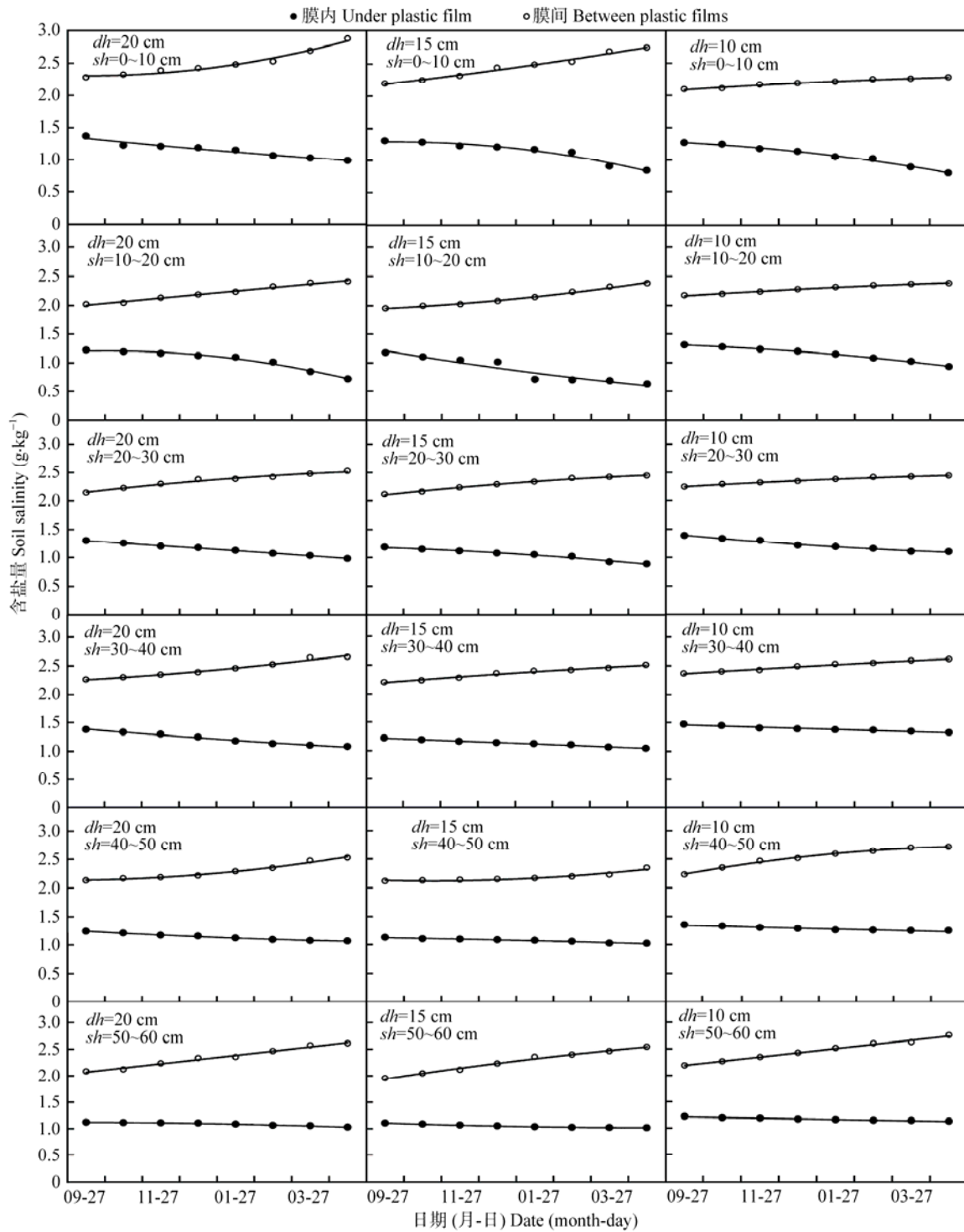


图 3 不同微润带埋深对膜内、膜间土壤含盐量动态变化的影响

Fig. 3 Temporal variations of salinities of 0–60 cm soil under film and between films with different moistube depths of moistube-irrigation under plastic film mulching

3 讨论

灌水使膜内根区盐分运移到膜间, 膜间接纳了膜内盐分形成积盐区, 表现出“盐随水动”的规律^[9,23]。由于水分在入渗过程中将土壤盐分带入土

层深处, 在番茄湿润土体范围内(0~40 cm), 随着深度增加, 膜内入渗水量逐渐减小, 盐分积累量随之逐渐增加^[1]。

微润灌溉过程中番茄全生育期内膜内和膜间土壤水盐在水平和垂直方向上有显著性的差异。与弋

鹏飞等^[31]棉田膜下滴灌土壤盐分垂直方向上变化规律 略有不同, 主要是由于棉花和番茄根系分布深度和灌

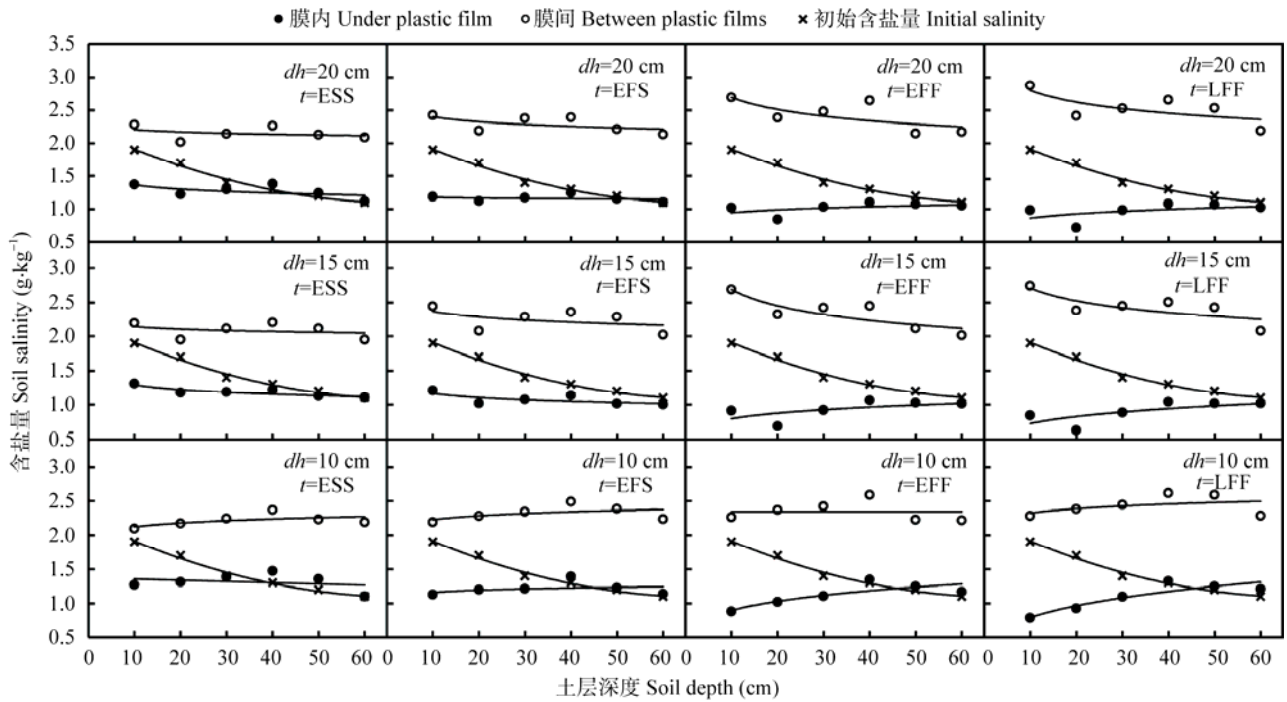


图 4 不同微润带埋深下番茄不同生育期膜内、膜间土壤含盐量随土层深度的变化

Fig. 4 Vertical variations of salinities of 0–60 cm soil under film and between films with different moistube depths of moistube-irrigation under plastic film mulching

图中 t 为取样时间; ESS 为苗期初; EFS 为花期初; EFF 为结果期初; LFF 为结果期末。 t is soil sampling time; ESS is the early seedling stage; EFS is the early flowering stage; EFF is the early fruiting stage; LFF is the last fruiting stage.

表 2 不同微润带埋深下番茄开花结果末期不同土层膜内外土壤相对脱盐率

Table 2 Relative desalination rates of 0–60 cm soil under film and between films at the last fruiting stage of tomato under different moistube depths of moistube-irrigation under plastic film mulching %

微润带埋深 Depth of moistube (cm)	相对脱盐率 Relative desalination rate											
	0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm		30~40 cm		40~50 cm		50~60 cm	
	膜内 Under film	膜间 Between films	膜内 Under film	膜间 Between films	膜内 Under film	膜间 Between films	膜内 Under film	膜间 Between films	膜内 Under film	膜间 Between films	膜内 Under film	膜间 Between films
20	-13.87b	10.89bc	-24.66a	13.60a	-12.03bc	5.89c	-11.43c	3.45cd	1.88cd	1.69d	0.85d	1.30e
15	-24.79bc	10.11bc	-32.28a	11.78a	-14.60c	5.77c	-6.77cd	3.82c	1.25d	1.03cd	1.24e	0.07d
10	-21.53a	3.20a	-14.71ab	8.28ab	-8.88bc	5.73b	-3.12c	4.31c	2.00cd	1.68c	1.88d	0.56d

表中不同字母表示在 $P=0.05$ 水平不同微润带埋深间差异显著。Different letters show significant difference among different depths of moistube at 0.05 probability level.

溉方式不同, 日光温室番茄主要根系层为 0~40 cm 范围内, 最深根层为 60 cm^[32], 滴灌棉花主要根系分布在 0~60 cm 范围内, 最深根层可达 100 cm^[33]; 滴灌是间歇灌溉方式, 本试验是连续灌溉, 因此不存在表层土壤含盐量短期积累。10~20 cm 土层膜内土壤盐分含量最小, 而水分含量在此段土层含量最高, 在番茄根区形成了相对稳定的盐分淡化区域, 这为番茄根系发育提供了一个良好的水盐环境, 但土壤盐分本身并没有排出土体, 微润灌溉多年后将会造成土壤含盐量的上升^[8-9,13-22], 因此盐碱地长期种植作物时可根据作物对水盐运移、盐分积累影响程度

不同进行作物的轮作、倒茬, 并结合制定合理的灌溉制度, 定期进行大水漫灌等使表层土壤盐分随水排除, 将盐分压入深层土壤。

本次试验中微润带埋深为 15 cm 时, 洗盐效果最佳, 各土层土壤脱盐率最大, 膜内与膜间土壤含盐量差异也最大。此结果与棉田地下滴灌土壤盐运移变化规律基本一致^[34-35]。

开花结果期是番茄需水关键期, 该时期内土壤含水量达到最高^[36-37]。微润灌溉条件下, 微润带 20 cm、15 cm 和 10 cm 埋深处理的膜内土壤平均含水量分别占田间持水率的 65.2%、67.5%和 64.1%,

处于较适合作物生长的含水量范围^[5]。说明3个埋深的土壤含水量均适合番茄生长要求。而埋深15 cm处理各土层平均脱盐率达最大,为28.12%,说明15 cm埋深时的土壤环境最有利于番茄生长,为最佳埋深。结果与牛文全等^[29]土箱模拟试验以及陈鹏等^[38]滴灌埋深结论基本一致,可为微润灌种植作物埋深的确定提供一定的理论参考。本次试验中,微润带的埋深对土壤水盐运移的影响不显著,可能是由于试验所用的轻度盐渍化土壤对试验结果影响较小,且试验所用土壤为壤土,对于不同程度盐渍化土壤以及不同土质土壤种植作物情况,需进一步研究关注。

4 结论

1)温室微润灌溉番茄膜内土壤含水量在整个生育期呈先增大后减小的趋势,膜间土壤含水量呈增加趋势;膜间土壤含水量小于膜内,随着土层深度的增加,膜内、膜间土壤含水量差距减小。微润带埋深对土壤含水量分布影响较小。

2)微润带埋深对土壤水盐含量影响不显著,3个埋深下最高土壤含水量和最低含盐量均出现在10~20 cm土层,且此土层范围内,埋深15 cm时土壤含水量最高、含盐量最低。

3)膜内土壤含盐量小于膜间,膜内0~40 cm土层处于相对脱盐状态,离微润带越近,脱盐效果越明显,40~60 cm土层为相对积盐状态;膜间土壤处于积盐状态,随着土层深度逐渐减小,积盐效果越来越明显。

4)综合看来,埋深15 cm时,各土层平均脱盐率和土壤含水率均达最大,分别达到26.05%和25.1%,为最佳埋深。

参考文献

- [1] 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: 新疆大学, 2011
Yi P F. Study on water-salt transport law under drip irrigation with film mulch of cotton[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2011
- [2] 焦艳平, 康跃虎, 万书勤, 等. 干旱区盐碱地覆膜滴灌条件下土壤基质势对糯玉米生长和灌溉水利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 144-151
Jiao Y P, Kang Y H, Wang S Q, et al. Effect of soil matrix potential on waxy corn growth and irrigation water use efficiency under mulch drip irrigation in saline soils of arid areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(6): 144-151
- [3] 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
Lü D Q, Wang Q J, Wang W Y, et al. Factors affecting soil water movement and solute transport for film drip irrigation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(6): 794-801
- [4] 马东豪, 王全九, 来剑斌, 等. 膜下滴灌条件下灌水水质和流量对土壤盐分分布影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 42-46
Ma D H, Wang Q J, Lai J B. Field experimental studies on the effects of water quality and drip rate on soil salt distribution in drip irrigation under film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3): 42-46
- [5] 郑旭荣, 胡晓棠, 李明思, 等. 棉花膜下滴灌田间耗水规律的试验研究[J]. 节水灌溉, 2000(5): 25-27
Zheng X R, Hu X T, Li M S, et al. Experimental studies on field water consumption rule of cotton with drop irrigation under membranes[J]. Water Saving Irrigation, 2000(5): 25-27
- [6] 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
- [7] 任杰, 王振华, 温新明, 等. 毛管埋深对地下滴灌线源入渗土壤水分运移影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(5): 80-82
Ren J, Wang Z H, Wen X M, et al. Effects of capillary depth on soil water transport under line source permeation of SDI[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(5): 80-82
- [8] 刘新永, 田长彦. 棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 82-85
Liu X Y, Tian C Y. Study on dynamic and balance of salt for cotton under plastic mulch in south Xinjiang[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 82-85
- [9] 张伟, 吕新, 李鲁华, 等. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 15-19
Zhang W, Lü X, Li L H, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 15-19
- [10] 周宏飞, 马金玲. 塔里木灌区棉田的水盐动态和水盐平衡问题探讨[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(6): 10-14
Zhou H F, Ma J L. Studies on water-salt dynamics and balance of cotton crops land in Tarim irrigation region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(6): 10-14
- [11] 王海江, 王开勇, 刘玉国, 等. 膜下滴灌棉田不同土层盐分变化及其对棉花生长的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2381-2385
Wang H J, Wang K Y, Liu Y G, et al. Effects on cotton growth and salinity changes in different soil depth of drip irrigation in cotton field[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(10): 2381-2385
- [12] 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
Yang P N, Dong X G, Liu L, et al. Soil salt movement and regulation of drip irrigation under plastic film in arid area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(12): 90-95

<http://www.ecoagri.ac.cn>

- [13] 牟洪臣, 虎胆·吐马尔白, 苏里坦, 等. 干旱地区棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 18–22
Mu H C, H D·Tumaerbai, Su L T, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under mulch in arid region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 18–22
- [14] 龚江, 赵竹青, 谢海霞, 等. 膜下滴灌棉田土壤水盐运移规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(2): 73–76
Gong J, Zhao Z Q, Xie H X, et al. Water and salt transport of cotton field under film drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(2): 73–76
- [15] 王振华, 杨培岭, 郑旭荣, 等. 膜下滴灌系统不同应用年限棉田根区盐分变化及适耕性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 90–99
Wang Z H, Yang P L, Zheng X R, et al. Soil salinity changes of root zone and arable in cotton field with drip irrigation under mulch for different years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(4): 90–99
- [16] 李玉义, 张凤华, 潘旭东, 等. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 60–64
Li Y Y, Zhang F H, Pan X D, et al. Changes of salt accumulation in soil layers with different landforms in Manas River Valley in Xinjiang Region of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(2): 60–64
- [17] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 59–63
Tan J L, Kang Y H, Jiao Y P, et al. Characteristics of soil salinity and salt ions distribution in salt-affected field under mulch-drip irrigation in different planting years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 59–63
- [18] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 滴灌条件下种植年限对大田土壤盐分及 pH 值的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 43–50
Tan J L, Kang Y H, Jiao Y P, et al. Effects of cropping years on soil salinity and pH value in fields under drip irrigation condition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9): 43–50
- [19] 殷波, 柳延涛. 膜下长期滴灌土壤盐分的空间分布特征与累积效应[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 228–231
Yin B, Liu Y T. Spatial distribution and accumulation pattern of soil salinity with long term drip irrigation under plastic mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6): 228–231
- [20] 王振华, 郑旭荣, 李朝阳. 不同滴灌年限土壤盐分分布及对棉花的影响初步研究[J]. 中国农村水利水电, 2011(6): 63–66
Wang Z H, Zheng X R, Li Z Y. Initial research on the distribution of the soil salinity with different drip irrigation years and its influence on cotton[J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(6): 63–66
- [21] 李明思, 刘洪光, 郑旭荣. 长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 82–87
Li M S, Liu H G, Zheng X R. Spatiotemporal variation for soil salinity of field land under long-term mulched drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 82–87
- [22] 孙林, 罗毅. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 186–192
Sun L, Luo Y. Study on the evolution trends of soil salinity in cotton field under long-term drip irrigation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1): 186–192
- [23] 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
Wang Q J, Wang W Y, Lü D Q, et al. Water and salt transport features for salt-affected soil through drip irrigation under film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 54–57
- [24] 王全九, 王文焰, 汪志荣, 等. 盐碱地膜下滴灌技术参数的确定[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 47–50
Wang Q J, Wang W Y, Wang Z R, et al. Determination of technique parameters for saline-alkali soil through drip irrigation under film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(2): 47–50
- [25] 张琼, 李光永, 柴付军. 棉花膜下滴灌条件下灌水频率对土壤水盐分布和棉花生长的影响[J]. 水利学报, 2004(9): 123–126
Zhang Q, Li G Y, Chai F J. Effect of mulched drip irrigation frequency on soil salt regime and cotton growth[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(9): 123–126
- [26] 顾烈烽. 新疆生产建设兵团棉花膜下滴灌技术的形成与发展[J]. 节水灌溉, 2003(1): 27–29
Gu L F. The formation and development of covered cotton under drip irrigation in Xinjiang Production and Construction Corps[J]. Water Saving Irrigation, 2003(1): 27–29
- [27] Koumanov K S, Hopmans J W, Schwankl L W. Spatial and temporal distribution of root water uptake of an almond tree under microsprinkler irrigation[J]. Irrigation Science, 2006, 24(4): 267–278
- [28] Gölcü M, Pancar Y, Sekmen Y. Energy saving in a deep well pump with splitter blade[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(5): 638–651
- [29] 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
Niu W Q, Zhang J, Zhang L L, et al. Effects of buried depth and pressure head on water movement of wetted soil during moistube-irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12): 128–134
- [30] 马鄂超. 膜下滴灌与土壤盐渍化[J]. 新疆农垦经济, 2005, 7(2): 233–240
Ma E C. Film-drip irrigation and soil salinization[J]. Xinjiang State Farms Economy, 2005, 7(2): 233–240
- [31] 弋鹏飞, 虎胆·吐马尔白, 吴争光, 等. 棉田膜下滴灌土壤盐分变化规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(1): 72–77
Yi P F, H D·Tumaerbai, Wu Z G, et al. Research on change

- law of soil-salt under film drip irrigation in cotton field[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010, 33(1): 72-77
- [32] 范凤翠, 张立峰, 李志宏, 等. 日光温室番茄控制土壤深层渗漏的灌水量指标[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 83-89
Fan F C, Zhang L F, Li Z H, et al. Tomato irrigation index for soil water leakage control in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 83-89
- [33] 李富先, 杨举芳, 张玲, 等. 棉花膜下滴灌需水规律和最大耗水时段及耗水量的研究[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(3): 43-47
Li F X, Yang J F, Zhang L, et al. The experiment report on cotton requiring water rules and the maximums water consumption periods and capacity in mulch drip irrigation[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2002, 25(3): 43-47
- [34] 郑德明, 姜益娟, 朱友娟, 等. 新疆棉田地下滴灌土壤水盐运移变化规律的研究[J]. 塔里木大学学报, 2007, 19(4): 1-5
Zheng D M, Jiang Y J, Zhu Y J, et al. The study of soil water and soil salt movement in subsurface drip irrigation of cotton field in Xinjiang[J]. Journal of Tarim University, 2007, 19(4): 1-5
- [35] 王振华, 吕德生, 温新明, 等. 新疆棉田地下滴灌土壤水盐运移规律的初步研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(5): 22-24
Wang Z H, Lü D S, Wen X M, et al. Research on regulation of soil water-salt transport under subsurface drip irrigation in cotton field in Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(5): 22-24
- [36] 张瑞美, 彭世彰, 叶澜涛. 设施栽培番茄需水规律分析及其气象因子响应模型[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(2): 25-28
Zhang R M, Peng S Z, Ye L T. Analysis of tomato evapotranspiration and response model to meteorological factors under protected cultivation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(2): 25-28
- [37] 孙磊, 孙景生, 刘浩, 等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 51-54
Sun L, Sun J S, Liu H, et al. Water requirement rules of tomato in sunlight greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(2): 51-54
- [38] 陈鹏, 苏德荣. 地下滴灌对草坪土壤水分及根系分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 48-50
Chen P, Su D R. Effects of subsurface drip irrigation on soil moisture and underground root distribution of turfgrass[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(6): 48-50