

北疆膜下滴灌棉田冻融过程中土壤水盐运移研究

朱海清, 虎胆·吐马尔白, 赵永成, 由国栋, 吴永涛
(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为研究非生育期北疆膜下滴灌棉田在冻融过程中的土壤水盐运移规律,在石河子 121 团试验地开展了常规水分、盐分和温度监测试验。研究结果表明:气温对土壤温度的影响很大,随着土层深度的增加,各土层温度逐渐减小,气温对各土层的影响也逐渐变小。冻结前期,各层土壤水分随深度的增加而增加,水分主要集中在 40 ~ 100 cm 土层,盐分主要分布在 80 ~ 100 cm 土层。冻结期,水分波动较盐分剧烈,盐分大部分都集中在 100 cm 层。融解期,由于多次的冻融循环作用,各土层的水分含量变化比较大,而盐分在 10 ~ 80 cm 层变化不大,80 ~ 100 cm 层盐分累积比较大。经过一个冬季,盐分主要分布在 80 ~ 100 cm 土层。

关键词: 膜下滴灌; 土壤冻融; 水盐运移

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)04-0223-05

Study on movement of soil moisture and salinity in cotton field of drip irrigation under mulch in process of freezing and thawing

ZHU Haiqing, HUDan · Tumaerbai, ZHAO Yongcheng, YOU Guodong, WU Yongtao

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to study the soil water and salt movement rule of cotton field of drip irrigation under mulch in non-growth period in the process of freezing and thawing in northern Xinjiang, the paper carried out monitoring test about water, salt and temperature in Shihezi. The results showed that air temperature has a great influence on soil temperature. With the increase of soil depth, the temperature each soil layer gradually decreases. The impact of temperature on each soil layer gradually becomes smaller. In the early stage of freezing, the soil moisture each layer increases with the increase of depth, water is mainly concentrated in 40 ~ 100 cm soil layer, salt mainly distributes in 80 to 100 cm soil layer. In the stage of freezing, the change of water is bigger than that of salt, salt are mostly concentrated in 100 cm layer. In melting period, due to the influence of multiple freeze-thaw, the change of soil moisture content is relatively large, while the salt of 10 ~ 80 cm layer changes little. The salt of 80 to 100 cm layer accumulates relatively large. Through a winter, salt is mainly distributed in soil layer of 80 to 100 cm.

Key words: drip irrigation under mulch; soil freezing and thawing; water and salt transport

膜下滴灌已成为干旱新疆农业高效节水的主要发展模式,随着膜下滴灌大面积应用^[1-2],田间土壤盐渍化及其消长问题引起业界高度关注^[3-5]。目前,国内外学者对膜下滴灌棉田生育期的土壤水盐运移研究比较多^[6-12],而对非生育期冻融条件下的水盐运移研究较少。雷志栋等^[13]研究了冻融条件

下的水热迁移方程和相关模拟,吴谋松等^[14]在室内对不同地下水补给条件下的土壤冻融过程进行了模拟和研究,认为地下水埋深对冻融条件下的土壤水分分布影响很大。樊贵盛等^[15-16]基于季节性冻土地区冻融期间自然冻融土壤的大田入渗试验,得出在不同的冻融阶段,土壤冻层的形态、厚度、层数和

收稿日期:2015-04-30; 修回日期:2015-05-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51469033);新疆维吾尔自治区“十二五”重大专项(201130103-3);新疆水利水电重点学科资助项目

作者简介:朱海清(1989-),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向:地下水及土壤水盐运移理论。

通讯作者:虎胆·吐马尔白(1961-),男,新疆乌鲁木齐人,教授,博士生导师,主要从事地下水土壤水盐运移理论及节水灌溉理论。

层位不同,对人渗水流的控制和影响不同的结论。刘帅等^[17]以冻融过程中的蒙古高原中部草地土壤为研究对象,认为冻融日循环主要发生在表层 0 ~ 5 cm, 0 ~ 30 cm 土层的土壤含水量变化剧烈,与地温有较好的一致性。

张殿发等^[18-19]发现,冻融条件下土壤中盐分迁移是水分对流、浓度梯度、温度梯度、不同溶质、土壤结构及质地等因素作用下的综合结果。本文以新疆石河子 121 团棉花膜下滴灌棉田(种植年限为 13a 的试验地)为研究对象,通过定时定点取样监测土壤水盐运移情况,在此基础上,结合相关的气象数据,研究了北疆非生育期冻融条件下的土壤水盐运移规律,以期在当地春季播种前的盐渍化处理和棉田的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在新疆石河子农八师 121 团炮台试验站进行。该团位于天山北麓,准噶尔盆地南缘(44°46'55"N, 85°32'50"E, 平均海拔 337.1 m)。夏季炎热,冬季寒冷,温差较大,干旱缺水,蒸发强烈,年降雨量为 141.8 mm,年蒸发量为 1826.2 mm。试验地土壤质地为粉砂壤土、黏土和砂黏壤土,0 ~ 30 cm 为粉砂壤土,土层平均容重 1.40 g/cm³, 30 ~ 100 cm 土层为黏土,平均容重为 1.27 g/cm³,地下水位埋深在 3 m 左右。

1.2 试验方法

本试验从 2014 年 11 月 - 2015 年 3 月在 121 团 6 连对常年膜下滴灌棉田(种植年限为 13a)进行土壤温度、土壤水盐取样监测。在垂直方向将地温计布置在 0、10、20、40、60、80、100 cm 7 个土层,从 2014 年 11 月 13 日开始监测,到 2015 年 3 月 19 日监测完毕(每两个小时记录一次数据)。取土观测 10、20、40、60、80、100、120、140 cm 8 个土层的含水率和含盐率。每次取土 3 个重复,取土时间分别为 2014 年 11 月 13 日、2014 年 11 月 25 日、2014 年 12 月 23 日、2015 年 1 月 19 日、2015 年 3 月 9 日和 2015 年 3 月 19 日,共 6 次。取土时利用 GPS 定位,以后每次取样均在同一定点处。每次取样后利用烘干法测出土壤的质量含水率,然后将烘干土样粉碎,取 18 g 土和 90 g 蒸馏水按土水比为 1:5 混合搅拌均匀后沉淀,利用上海雷磁仪器厂生产的 DDSJ-308A 电导率仪测定溶液电导率,然后换算成土壤的总含盐率。

2 结果与分析

2.1 冻融期气温与土壤温度的变化关系

图 1 为冻融期气温和不同深度土层温度变化关系,各层土壤温度都是一天内土壤温度的平均值,0 cm 层温度为一天内气温温度的平均值。可以看出,2014 年 11 月 14 日土壤开始冻结,2015 年 3 月 24 日土壤完全解冻,冻融期长达 131 d。将冻融过程分为冻结前期、冻结期和融解期 3 个阶段^[19],冻结前期为 2014 年 11 月 14 日 - 12 月 1 日,地表温度快速降低并形成一定厚度的冻土层;冻结期为 2014 年 12 月 1 日 - 2015 年 1 月 19 日,土壤冻融深度逐渐加深到最大位置,直至不再增加为止;融解期为 2015 年 1 月 19 日 - 3 月 24 日,土壤冻融深度位置逐渐减小,并且地表也开始逐渐向下解冻。

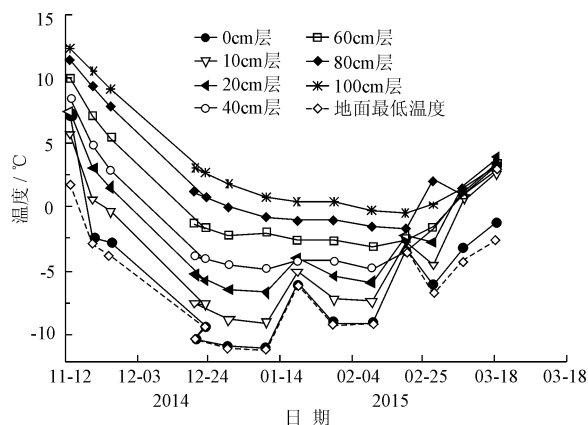


图 1 冻融期气温和土壤温度变化关系曲线

在整个冻融过程中,各土层温度变化趋势基本一致,都是先减小后增大。其中 2014 年 11 月 13 日 - 12 月 23 日的土壤温度和 2015 年 1 月 10 日 - 1 月 19 日的比其他阶段的土壤温度变化快,后者温度变化更快些。0 cm 层土壤温度(气温)变化最快,波动也比较大,其温度曲线与地面最低温度曲线重合度比较高,10 ~ 40 cm 土层温度受气温(0 cm 层温度)影响剧烈,而深层土壤(40 cm 以下)受气温影响逐渐减弱。冻融期内气温最低温度出现在 2015 年 1 月 10 日,为 -11.1℃。

经分析可知,土壤 10 cm 深度处冻结用时 3 d,而消融却用了 5 d,这主要是由于冻结前期气温下降速率大于融解期气温上升速率。随着深度增加,冻结和消融用时逐渐增大。冻结前期,土壤中表层水分由于液化和凝华释放出热量,散逸到空气中,减缓温度下降速率,随着深度增加,下层土壤冻结速率逐渐减慢;融解期,土壤 80 cm 层以上的冰由于融化和

汽化需要消耗热量,随着气温升高,冻结层两端温度逐渐升高,从而使冻结层双向解冻,加快解冻速率。但由于整个冻融过程中,气温下降速率高于上升速率,从而使冻结速度快于消融速度。

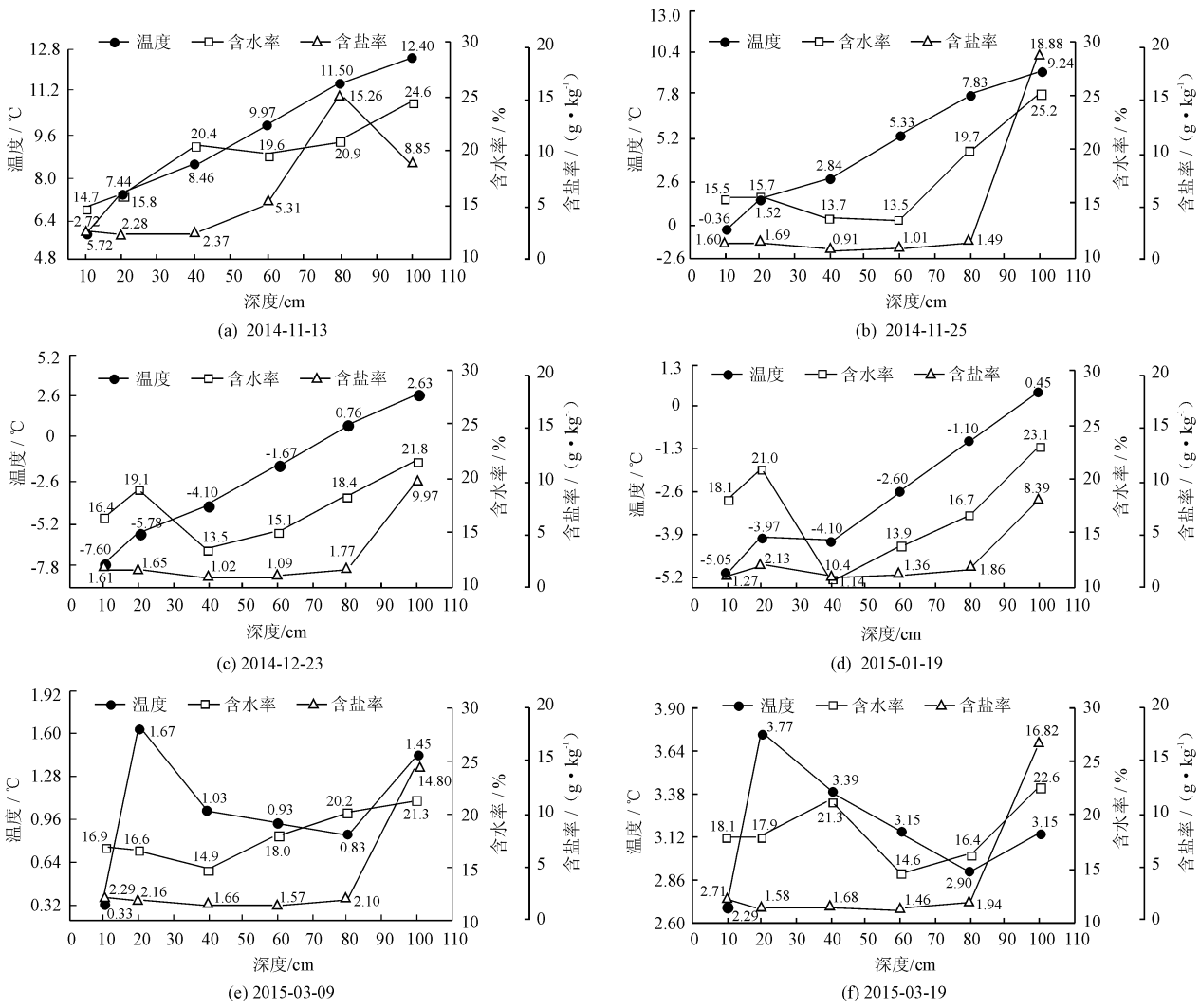
2.2 土壤温度与土壤水盐含量的关系

2.2.1 土壤温度与土壤含水率的关系 在地下水较深的条件下,土壤剖面的含水率在冻融过程中发生重新分布。由图2(a)可以看出,10~100 cm各土层温度都在零度以上,且随着土壤深度增加,各土层温度和含水率呈现增加的趋势,土壤水分主要集中在40~100 cm土层。(b)图中,2014年11月25日以后,10 cm层已经开始出现负温,土壤内形成冻结层,从而引起冻结层土水势降低,导致下层土壤水缓慢向冻结层迁移,造成20 cm以上土壤含水率高于40~70 cm层含水率,而底层土壤温度受气温影响小,80~100 cm层含水率仍处于20%左右,和(a)图中的对应土层含水率情况相似,各层含水率也随深度增加呈现增大的趋势。(c)、(d)两图中,10~80 cm土层,各层的土壤温度几乎都在0℃以下,土壤处于冻结期,10 cm土层含水率相对于冻结前期对应土层,增加了2%。含水率最大值出现在20 cm和100 cm土层,20 cm层水分状态为冰,而100 cm层水分为非固态。在水势梯度和温度梯度作用下,下层土壤水分继续向上迁移,使10~20 cm层含水率继续增加,由于低温抑制了水分的运移速率,使得10~20 cm层含水率增加速率小于20~40 cm土层。40~100 cm土层,随着温差的逐渐减小,含水率变化值越来越大,整个冻结期,随着深度逐渐增加,各层土壤含水率先增大,后减小,然后再增大。(e)、(f)两图中,土壤此时处于融解期,10~100 cm各土层土壤温度逐渐升至0℃以上。10 cm层含水率相对于冻结期有所上升,20 cm层有所下降,主要是由于雪水融化以及蒸发共同作用的结果,雪融化形成的水量大于蒸发消耗量。融解期,昼夜温差大,各土层温度波动比较大,溶解初期,2015年3月9日,10~80 cm各土层含水率变化不大,而溶解后期,2015年3月19日以后,10~80 cm各土层含水率值变化规律不明显。冻融期内,80~100 cm土层随着深度增加,温度和含水率呈现增加的趋势。含水率最大值都出现100 cm土层。

2.2.2 土壤温度与土壤含盐率的关系 从图2中可以看出,除了(a)图以外,其余图中10~80 cm土层含盐率值基本不变,都维持在稳定的水平,而80~100 cm土层盐分变化较大,这是由于土壤水势梯度

和温度梯度影响水分运移而间接影响盐分的运移变化。从棉花收获期到2014年11月13日,试验区没有采取大水压盐措施,(a)图可以代表该试验区冻融期前的盐分分布情况。根据新疆土壤盐碱化的分级标准,将土壤分为非盐化土(土壤盐分质量分数 $<3\text{ g/kg}$)、轻盐化土(土壤盐分质量分数 $3\sim6\text{ g/kg}$)、中度盐化土(土壤盐分质量分数 $6\sim10\text{ g/kg}$)、重度盐化土(土壤盐分质量分数 $10\sim20\text{ g/kg}$)、盐土(土壤盐分质量分数 $>20\text{ g/kg}$)^[20],根据此分级标准确定含盐量级别。10~50 cm层,其含盐率均值 $<3\text{ g/kg}$,属于非盐化土;50~60 cm层,其含盐率均值 $<6\text{ g/kg}$,属于轻盐化土;80~100 cm层,其含盐率均值在 $6\sim20\text{ g/kg}$ 之间,属于中度和重度盐化土。

2014年11月13日~11月25日,试验区下过几次雪,雪水融化将上层土壤盐分逐渐淋洗至下层,从而使10~80 cm土层含盐率降低,80~100 cm土层含盐率增加。冻结期内,随着温度的持续降低,土壤冻结深度逐渐加深,最深达到80 cm层,随着冻结层的形成,在水势梯度的作用下,水分向冻结层迁移,而盐随水走,盐分也向上运动,从而使(c)、(d)图中,随时间的推后,10~80 cm各对应土层含盐率都呈现增加的趋势。在固相条件下,盐分在水中的溶解度随温度的降低而减小,并且土壤水分运移速度随温度的降低而变慢,运移范围也减小,盐分主要吸附在土壤表面或存留在土壤孔隙中。(d)图中10 cm层含盐率小于(c)图中的对应土层含盐率,这是由于温度过低形成冰冻层阻碍10 cm层盐分向表层运移并析出盐晶体所致。然而在液相条件下,盐分在水中的溶解度随温度的升高而增加,大量盐分溶解于水中随着水分的运动开始弥散运移。由冻结期到融解期,即2015年1月19日~3月9日,随着温度的逐渐升高,雪水及冰冻层开始融化,将表层及上层的盐分逐渐淋洗至下层,故(e)图各土层含盐率都比(d)图中高。随着时间的延长,这一现象更加明显。由于融雪水的淋洗作用,(f)图中10~80 cm各土层含盐率相对于(e)都有所降低,淋洗的盐分大部分都累积在100 cm土层。从(f)图中可以看出,10~80 cm土层的含盐率值分布在 $1.46\sim2.71\text{ g/kg}$,属于非盐化土,这说明经过一整个冬季的冻融循环作用,10~80 cm土层的含盐率都有所降低,并且也不需要秋季大水压盐来改善耕作前的土壤盐分分布情况。



各层温度都是一天内对应温度的平均值
图2 土壤温度与土壤水盐关系

3 结 语

(1)气温对土壤温度的影响很大。在整个冻融过程中,各土层温度变化趋势基本一致,随着土层深度的增加,各土层温度都是先减小后增大。土壤冻结深度最深为80 cm。

(2)在整个冻融过程中,土壤中的水盐运移比较复杂。冻结前期,随着土壤深度增加,各土层含水率呈现增加的趋势,土壤中水分以非固态的形式主要集中在40~100 cm土层,盐分主要分布在80~100 cm土层。冻结期,土壤水分在负温的影响下,从表层向深层开始冻结,土壤水分从非冻结层向冻结层迁移,盐随水走,也呈现类似的趋势。随着深度的增加,各层土壤含水率先增大,后减小,然后再增大,而含盐率是先减小再增大。融解期,由于昼夜温差大,经过多次冻融循环的交替作用,水分分布规律

不明显,而盐分在10~80 cm层变化不大,80~100 cm层盐分累积比较大。

(3)对比冻融前后的土壤盐分曲线,可以看出,10~80 cm土层的含盐率值分布在1.46~2.71 g/kg,属于非盐化土,这说明经过一整个冬季的冻融循环作用,可以不需要秋季大水压盐来改善耕作前的土壤盐分分布情况。

本次试验没有对比土壤表层和更深层的土壤水盐变化情况,以及监测的融解期时间不够长,不能够具体分析降雪对表层水盐含量的影响,而又由于降雪具有随机性,致使分析结果的参考价值降低,这在以后的研究中应当加以考虑和完善,从而更系统详细地分析整个冻融期内北疆膜下滴灌棉田的水盐运移情况,为北疆膜下滴灌棉田的可持续发展提供一定的理论参考。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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.
- [4] 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,2004,35(9):123-126.
- [5] 田长彦,周宏飞,刘国庆. 21世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议[J]. 干旱区地理,2000,23(2):177-181.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 戈鹏飞,虎胆·吐马尔白,吴争光,等. 棉田膜下滴灌年限对土壤盐分累积的影响研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):118-122.
- [12] 虎胆·吐马尔白,靳志锋,李文娟,等. 北疆土壤温度变化对滴灌棉田水盐运移规律的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(2):217-221.
- [13] 雷志栋,尚松浩,杨诗秀,等. 地下水浅埋条件下越冬期土壤水热迁移的数值模拟[J]. 冰川冻土,1998,20(1):51-54.
- [14] 吴谋松,黄介生,谭霄,等. 不同地下水补给条件下非饱和砂壤土冻结试验及模拟[J]. 水科学进展,2014,25(1):60-68.
- [15] 樊贵盛,郑秀清,贾宏骥. 季节性冻融土壤的冻融特点和减渗特性的研究[J]. 土壤学报,2000,37(1):24-32.
- [16] 樊贵盛,贾宏骥,李海燕. 影响冻融土壤水分入渗特性主要因素的试验研究[J]. 农业工程学报,1999,15(4):88-94.
- [17] 刘帅,于贵瑞,浅沼顺,等. 蒙古高原中部草地土壤冻融过程及土壤含水量分布[J]. 土壤学报,2009,46(1):46-51.
- [18] 张殿发,郑琦宏. 冻融条件下土壤中水盐运移规律模拟研究[J]. 地理科学进展,2005,24(4):46-55.
- [19] 张殿发,郑琦宏,董志颖. 冻融条件下土壤中水盐运移机理探讨[J]. 水土保持通报,2005,25(6):14-18.
- [20] 新疆维吾尔自治区农业厅,新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤[M]. 北京:科学出版社,1996.