

北疆土壤温度变化对滴灌棉田水盐运移规律的影响研究

虎胆·吐马尔白¹, 靳志锋², 李文娟¹, 马合木江¹

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆伊犁州移民管理局, 新疆 伊宁 835000)

摘要: 以北疆常年膜下滴灌棉田为研究对象, 分析棉花整个生育过程中土壤温度变化对棉田水盐运移规律的影响, 并对灌溉制度进行优化调整。研究表明: 土壤温度随着气温的升高而升高, 降低而降低, 气温影响作用随着土壤深度的增加而减弱, 滞后时间随着深度的增加而延长; 8 月份之前, 土壤温度自上而下呈递减分布, 随着土壤温度的升高, 土壤水分扩散率不断增大, 土壤持水能力不断降低, 造成 5~60 cm 处土壤含水率降低, 而 90~150 cm 处土壤含水率增高, 导致 5 cm 和 90~150 cm 处土壤盐分相对增高; 8 月份之后, 随着土壤温度的降低, 土壤温度分布发生变化, 土壤水分扩散率不断减小, 土壤持水能力不断增强, 土壤水分蒸腾降低, 渗漏减小, 各层土壤含水率相对保持较高, 各层土壤含盐率相对保持较低; 在灌溉定额不变的条件下, 在 5、6 月份相对减小灌水定额, 7 月和 8 月份相对减小灌水周期、增加灌水定额, 8 月之后相对增加灌水周期、减小灌水定额, 在生育期末, 通过穿插灌水, 加大灌水定额, 对土壤洗盐、抑盐有着明显的作用。

关键词: 气温; 土壤温度; 水盐运移; 北疆棉田

中图分类号: S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0217-05

Study on the effects of soil temperature change to water and salt moving rule in cotton field by drip irrigation

Hudan·Tumarbay¹, JIN Zhi-feng², LI Wen-juan¹, Mahemujiang·Aihemaiti¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Imitation Department of Yili Region Xinjiang, Yining, Xinjiang 835000, China)

Abstract: In this paper taking the cotton field in northern Xinjiang under perennial drip irrigation below membrane as the research object, has discussed the effects of the soil temperature change to the soil water and salt moving rule in cotton field during whole growth period, also carried out the optimal adjustment for the irrigation schedule. The research results showed that: The soil temperature will be increased with the air temperature rise, reduced with the air temperature decrease. But the air temperature impacting function will be attenuated with the soil depth increasing, also the lag time will be extended with the depth increases. Before August, the soil temperature showed a decreasing distribution from top to bottom, with the increase of soil temperature, the soil water diffusivity kept a unceasing increase, the soil water-holding capacity kept a unceasing decrease, so caused the soil water content decrease at 5 to 60 cm, while the soil water content increased at 90 to 150 cm, resulted in the soil salinity was relatively higher at 5 cm and 90 to 150 cm. After August, with the decrease of the soil temperature, the distribution of soil temperature occurred change. The soil water diffusivity kept unceasing decrease and the soil water-holding capacity kept unceasing increase. The transpiration of soil moisture reduced and deep percolation decreased. The moisture content in each soil layer was kept relatively higher and the soil salinity in each soil layer was kept relatively lower. Under the condition of unchanged irrigation quota, in May and June, relatively reduce the irrigation quota, but in July and August, relatively diminish the irrigation interval and increase the irrigation quota. After August, relatively increase the irrigation interval, reduce the irrigation quota, at the end of growth

收稿日期: 2013-10-20

基金项目: 新疆自治区“十二五”重大专项(201130103-3); 国家自然科学基金(51069015); 新疆水文学及水资源重点学科(20101202); 新疆水利水电重点学科

作者简介: 虎胆·吐马尔白(1961—), 男, 哈萨克族, 教授, 博导, 主要从事地下水及土壤水盐运移理论及节水灌溉理论研究。E-mail: 577739104@qq.com。

period, increase the irrigation quota, which has a significant role for washing soil's salt and suppression of soil salinity.

Keywords: air temperature; soil temperature; water and salt movement; cotton field in northern Xinjiang

近年来,随着全球淡水资源紧缺和土壤次生盐碱化问题的持续严重化,如何合理高效地利用有限的水资源并保持农业可持续发展成为相关领域中亟待解决的重大问题^[1]。研究表明,土壤水盐运移受诸如作物灌溉制度、作物种植模式,土壤植被状况、土壤理化性质以及气候等众多因素^[2-11]影响,其中温度作为重要的气候因子之一,其变化对土壤水分运动有着重要的影响^[12]。近些年,国内外一些学者就温度变化对土壤水分运动过程及其影响机理开展了大量研究:冻融条件下,温度是导致土壤中水分与盐分迁移的驱动力^[13-15];气温的降低引起了土壤温度的降低,从而引起水分和盐分的迁移^[16];温度影响了土壤的水分运移参数,进而也影响了土壤水分运移,温度对土壤导水率 K_s , 土壤扩散率 $D(\theta)$, 水粘滞系数 η 等都有着影响^[17];土壤水分运动过程中由于温度条件的改变所引起的土壤水分运动粘度的改变作用于土壤水分的动能,而土壤水分表面张力和土壤结构性质的改变主要作用于土壤水分的势能,并且两方面存在相互作用,从而改变土壤水分运动状态^[18];生育期, SO_2^{4-} 、 Na^+ 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 4 种盐分离子在湿润土体中均受到灌水温度的影响^[19];膜下滴灌有效起到保温保墒作用,克服土壤高地温低含水率或低地温高含水率的矛盾,可为作物生长创造较好的土壤水热条件^[20]。新疆干旱少雨蒸发强烈的条件,决定了土壤中上升水流占绝对优势,淋溶和脱盐过程十分微弱,造成土壤积盐形成大面积盐碱化^[21]。本研究基于新疆石河子 121 团膜下滴灌种植年限为 11 年的棉田(2001 年开始进行膜下滴灌)生育期实测资料,通过分析探讨生育过程中土壤温度变化对土壤水盐运移规律的影响,从而优化调整作物灌溉制度,为新疆膜下滴灌棉田盐碱化防治提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本试验地位于新疆北疆地区石河子农八师 121 团炮台试验站,该团位于天山北麓,准噶尔盆地南缘,地处欧亚大陆腹地($44^{\circ}46'55''\text{N}$, $85^{\circ}32'50''\text{E}$, 平均海拔 337.1 m)。该地区光照充足,热量丰富,夏季炎热,年降雨量为 141.8 mm,年蒸发量为 1 826.2 mm,降水稀少,蒸发强烈,具有典型的大陆性荒漠气候特点。本试验地土壤质地为粉沙壤土、粘土和砂

粘壤土,0 ~ 30 cm 为粉沙壤土,土层平均容重 $1.40 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,30 ~ 90 cm 土层为粘土,平均容重为 $1.27 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,90 ~ 150 cm 土层为砂粘壤土,平均容重为 $1.33 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,地下水位埋深在 3m 左右。试验地播种时间为 4 月 15 日,生育期灌溉定额约为 $5\,000 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌水周期约为 10 天,总共灌水 14 次,出苗灌水量和穿插灌水量(捡完第一遍棉花灌水)约为 $450 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,其他灌水量平均约为 $340 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.2 试验方法

本试验从 2012 年 4 月至 2012 年 10 月在 121 团对常年膜下滴灌棉田(种植 11 年)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、30、50、70、90、150 cm 七个土层,从 2011 年 4 月 1 日开始监测,到 2012 年 10 月 25 日监测完毕(每两个小时记录一次数据)。取土观测 5、20、40、60、90、120、150 cm 七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 4 月 15 日、5 月 19 日、6 月 24 日、7 月 25 日、8 月 21 日、9 月 25 日和 10 月 25 日,共 7 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 混合搅拌浸泡,搅拌均匀后沉淀,利用上海雷磁仪器厂 DDS-307 电导率仪测定溶液的电导率,然后换算成土壤的总含盐率。

2 结果与分析

2.1 不同生育阶段气温与土壤温度变化

气温对土壤温度有着重要的影响,在整个生育期(图 1),播种出苗期(4 月 1 日至 5 月 5 日)的气温和土壤温度相对低于其他阶段,且随时间呈上升趋势,各层土壤温度受气温波动影响较小。到苗期末(6 月 5 日),受作物遮阴影响,气温对深层土壤温度影响减弱,30 ~ 150 cm 土壤温度达到最大,土壤温度自上而下呈递减分布。蕾期和花铃期(6 月 30 日至 8 月 10 日),10 ~ 30 cm 处土壤温度受气温影响继续上升,且受气温的波动较大,到花铃期 10 ~ 30 cm 处土壤温度达到最大。吐絮期(8 月 10 日至 9 月 20 日),气温开始降低,各层土壤温度随之降低,但土壤温度自上而下仍呈递减分布。到了生育末期(9 月 20 日至 10 月 25 日),随着气温的继续降低,上层土壤温度降低速度大于下层,造成上层土壤温度开始低于下层,土壤温度自上而下呈递增分布。由此可

知,土壤温度随着气温的升高而升高,降低而降低,随着深度的增加而延长。且影响作用随着土壤深度的增加而减弱,滞后时间

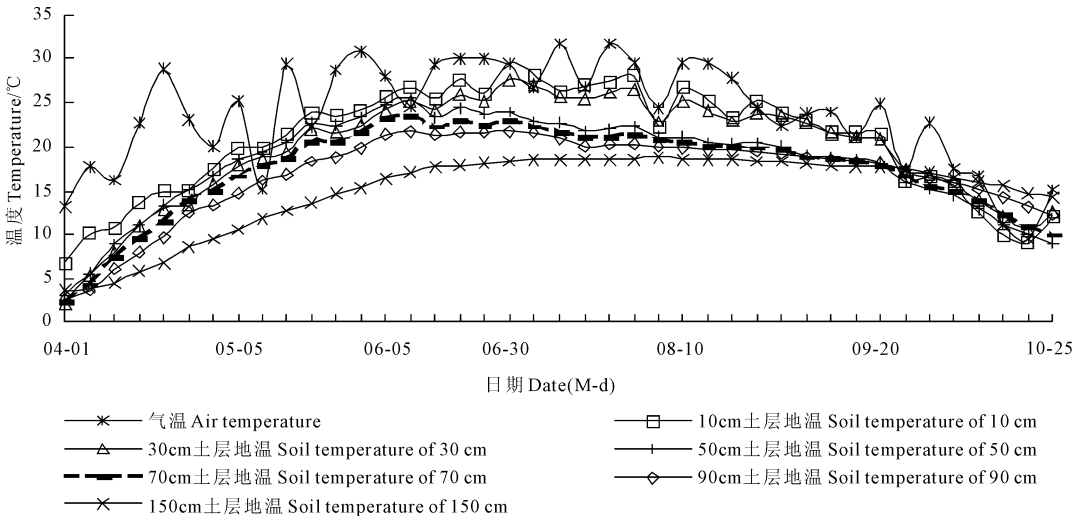


图 1 不同生育期气温与土壤温度变化关系

Fig.1 The change relation of air temperature at different growth stage with soil temperature

2.2 土壤温度与土壤含水率、土壤含盐率的关系

2.2.1 土壤温度与土壤含水率的关系 由土壤温度与土壤含水率的变化关系可知(图 2),在整个生育期,土壤水分主要集中在 90~150 cm 处,并且 5~60 cm 处土壤含水率在 18% 以下波动,90~150 cm 处土壤含水率在 16% 以上波动。在 8 月份之前,土壤温度自上而下呈递增分布,且随时间各层土壤温度呈增大趋势。受土壤温度的影响,5~20 cm 和 120~150 cm 处土壤含水率先升高再降低,在 6 月份达到最大,而 40~90 cm 处土壤含水率随时间不断降低,其中 40 cm 和 120 cm 处土壤含水率在 7 月份达到最低,其他各层在 8 月份达到最低。8 月份之后,各层土壤温度开始降低,且表层土壤温度降低速度快于深层,到 9 月份上层土壤温度开始低于下层。受土壤温度的影响,40 cm 和 120 cm 处土壤含水率随时间不断降低,其他各层土壤含水率先升高后降低。通过分析可知:随着土壤温度的升高土壤水分扩散率不断增大,土壤持水能力不断降低,土壤水分一部分向上蒸腾,另一部分向下渗漏,导致 5~60 cm 处土壤含水率较低,90~150 cm 处土壤含水率较高,并且随着土壤温度的升高,各层土壤含水率不断降低。反之,随着土壤温度的降低,土壤水分扩散率不断减小,土壤持水能力不断增强,土壤水分蒸腾降低,渗漏减小,各层土壤含水率相对保持较高。

2.2.2 土壤温度与土壤含盐率的关系 由土壤温度与土壤含盐率的变化关系可知(图 3),在整个生育期,土壤盐分主要集中在 120 cm 处,且 5~60 cm

处土壤含盐率变化波动较小,而 90~150 cm 处土壤含盐率变化波动较大,并呈先增加后减小的趋势。在 8 月份之前,随着土壤温度的上升,土壤水分扩散率不断增大,土壤持水能力不断降低,土壤水分一部分向上蒸腾,另一部分向下渗漏,造成 5 cm 和 90~150 cm 处土壤盐分不断增加,到 7 月份,土壤水分上移趋势较大,土壤盐分不断上移,造成各层土壤含盐率达到最高,土壤积盐从 120 cm 处上移到 90 cm 处,威胁棉花根系。8 月份之后,随着土壤温度的降低,土壤水分扩散率不断减小,土壤持水能力不断增强,土壤水分受蒸腾影响减弱,9 月 22 日,通过穿插灌水,各层土壤水分不断向下运移,导致各层土壤含盐率不断降低,到 10 月份各层土壤含盐率达到整个生育期最低。

2.2.3 平均土壤温度与平均土壤含水率、含盐率的关系 土壤温度对土壤水盐运移有着重要的影响(图 4),通过分析土壤温度对土壤水盐运移的影响,可以对作物灌溉制度进行优化调整。随着生育期,平均土壤温度呈先增加后减小趋势,平均土壤含水率呈先减小后增加趋势,而平均土壤含盐率呈波动变化。在 6 月份之前,平均土壤温度相对较低且处于上升趋势,平均土壤含水率相对较高且变化不明显,而平均土壤含盐率先增加后减小,故在 5 月、6 月期间可以相对减小灌水定额。7 月和 8 月份,土壤温度达到生育期最高,土壤水分明显降低,而土壤盐分明显增加,由此可以通过缩短灌水周期增加灌水定额使作物保持良好的水盐环境,抑制土壤盐分

的上移。9 月 22 日，棉田进行了一次穿插灌水，土壤水分有所增加，而土壤盐分明显降低，致使 10 月

25 日，土壤含盐率达到了生育期最低，由此可知，生育期末的穿插灌水对土壤是洗盐、抑盐有着重要的作用。

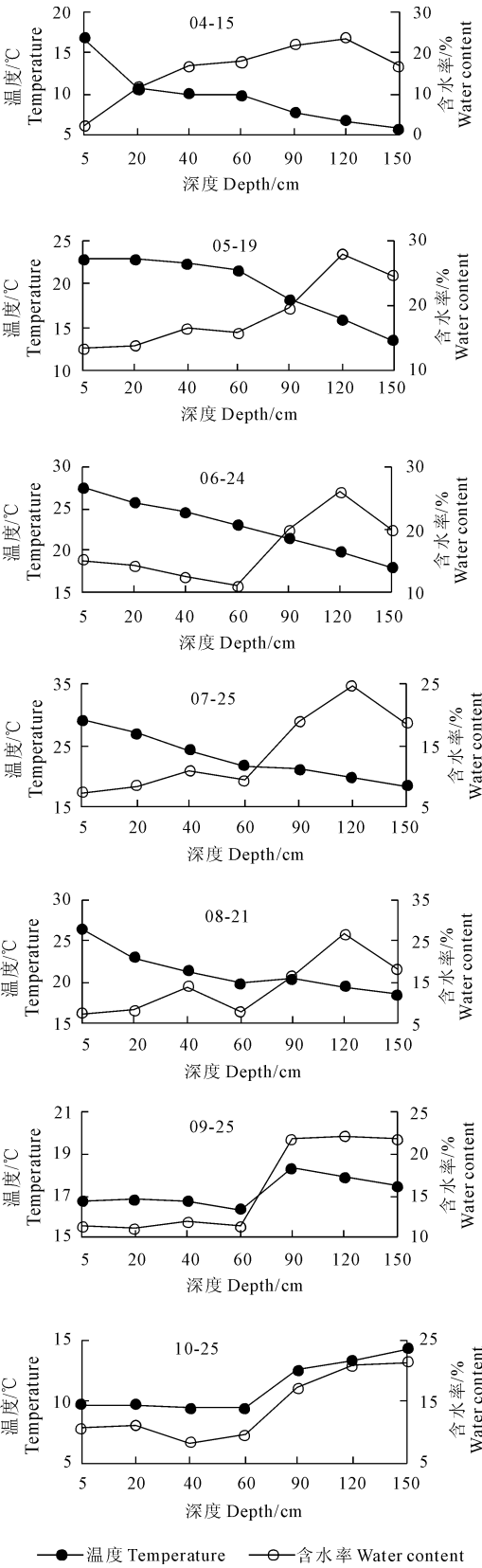


图 2 土壤温度与土壤含水率的变化关系

Fig.2 Change relation of soil temperature and soil water content

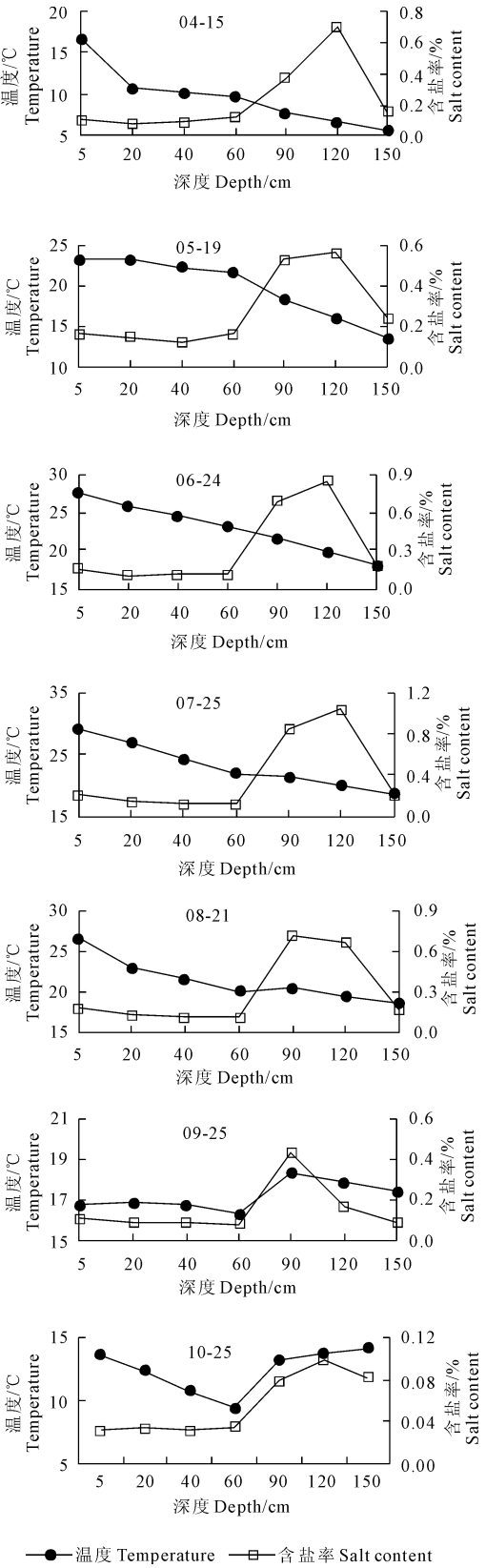


图 3 土壤温度与土壤含盐率关系曲线

Fig.3 Relationship curve of soil temperature and soil salt content

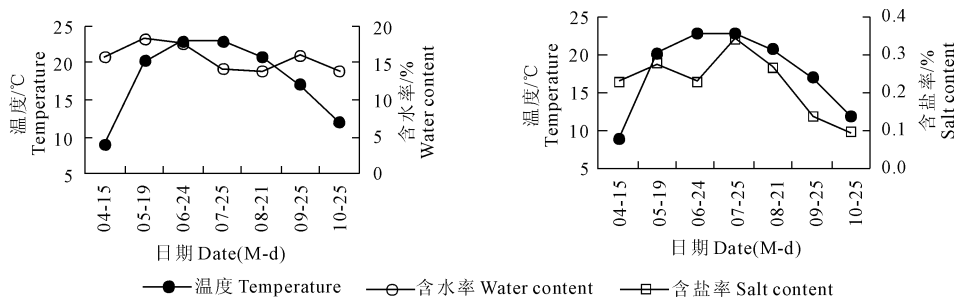


图 4 平均土壤温度与平均土壤含水率、含盐率的变化关系

Fig.4 The change relation of average soil temperature, average soil water content and salt content rate

3 结 论

1) 通过不同生育阶段气温与土壤温度的变化分析可知,土壤温度随着气温的升高而升高,降低而降低,影响作用随着土壤深度的增加而减弱,滞后时间随着深度的增加而延长;受作物遮阴影响,60 ~ 150 cm 处土壤温度比气温早 1 个月达顶峰而开始降低;10 月之前,土壤温度自上而下呈递减分布,而 10 月之后,土壤温度自上而下呈递增分布。

2) 土壤温度的变化对土壤水盐运移情况有着重要的影响。随着土壤温度的升高,土壤水分扩散率不断增大,土壤持水能力不断降低,造成 5 ~ 60 cm 处土壤含水率降低,而 90 ~ 150 cm 处土壤含水率增高,导致 5 cm 和 90 ~ 150 cm 处土壤盐分相对增高。反之,随着土壤温度的降低,各层土壤含水率相对保持较高,各层土壤含盐率相对保持较低。

3) 通过分析土壤温度对土壤水盐运移的影响,对作物灌溉制度进行优化调整。在灌溉定额不变的条件下,相对减小 5、6 月的灌水定额,相对减小 7 月、8 月的灌水周期或增加灌水定额,相对减小 9 月的灌水定额,使作物保持良好的水盐环境,抑制土壤盐分的上移。在生育期末,通过穿插灌水,加大灌水定额,对土壤洗盐、抑盐有着明显的作用。

参 考 文 献:

[1] 许振柱,周广胜.农业水分利用率及其对环境和管理活动的响应[J].自然资源学报,2003,18(3):294-3031.
[2] Hunsaker D J, Clemmens A J, Fangmeier D D. Cotton response to high frequency surface irrigation[J]. Agricultural Water Management, 1998, (37):55-74.
[3] Doorenbos. Effect of different irrigation methods on shedding and yield of cotton[J]. Agriculture Water Manage, 2002, (54):1-15.
[4] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出

版社,1988:36-42.
[5] 吕殿青,王全九,王文焰.滴灌条件下土壤水盐运移特性的研究现状[J].水科学进展,2001,12(1):107-112.
[6] 虎胆·吐马尔白,弋鹏飞,王一民.干旱区膜下滴灌棉田土壤盐分运移及累积特征研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):144-150.
[7] 牟洪臣,虎胆·吐马尔白,苏里坦.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.
[8] 贺 欢,田长彦,王林霞.不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影 响[J].干旱区研究,2009,26(6):826-831.
[9] 高 龙,田富强,倪广恒.膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J].水利学报,2010,41(12):1158-1165.
[10] 刘延锋,江贵荣,徐连三.干旱区膜下滴灌棉田表层土壤盐分日内动态特征[J].地质科技情报,2012,31(2):84-89.
[11] 吕殿青,邵明安.变容重土壤水分运动参数与方程研究[J].自然科学进展,2008,18(7):795-800.
[12] 冯宝平,张展羽,张建丰.温度对土壤水分运动影响的研究进展[J].水科学进展,2002,13(5):643-648.
[13] 张殿发,郑琦宏.冻融条件下土壤水盐运移规律模拟研究[J].地理科学进展,2005,24(4):46-55.
[14] 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.
[15] Oliphant, Nakano. Measurement of water migration due to a temperature gradient in frozen soil [C]//Permafrost: Fourth International Conference Proceedings. Washington D C USA: National Academy Press, 1983:951-956.
[16] 李瑞平,史海滨,赤江冈夫.冻融期气温与土壤水盐运移特征研究[J].农业工程学报,2007,23(4):70-73.
[17] Bridget R. Scanlon. Water and heat fluxes in desert soils Numerical simulations[J]. Water Resources Research, 1994,30(3):721-733.
[18] 高红贝,邵明安.温度对土壤水分运动基本参数的影响[J].水科学进展,2011,22(4):484-494.
[19] 王振华,温新明.膜下滴灌条件下温度影响盐分离子运移的试验研究[J].节水灌溉,2004,3:5-7.
[20] 张 治,田富强.新疆膜下滴灌棉田生育期地温变化规律[J].农业工程学报,2011,27(1):44-51.
[21] 谢承陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993.