

梭梭和沙拐枣对风沙土壤水热盐动态的影响

刘海东^{1,2}, 刘娇³, 赵英^{1,3}, 李生字¹, 王永东¹, 雷加强¹, 张建国³

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为揭示塔克拉玛干沙漠公路防护林不同植物类型下土壤水热盐运移规律, 于2015年5—9月采用CS656土壤水热盐三参数传感器对防护林内梭梭和沙拐枣根区土壤水分、盐分和温度进行实时监测, 分析了气温与土壤温度的相互关系和土壤水盐动态变化规律。结果表明: (1) 梭梭和沙拐枣根区土壤温度基本一致, 气温与土壤温度呈极显著相关($p < 0.01$), 各土层间土壤温度相关性随深度的增加逐渐减弱; (2) 受灌溉制度影响, 防护林土壤水盐呈现出明显的周期性变化规律, 梭梭和沙拐枣根区土壤水盐动态变化趋势相似。在垂直方向上呈单峰曲线, 其峰值分别位于30, 10 cm土层处。其中, 梭梭林下土壤可分为水分速变层、弱变层和稳定层3个土壤层次, 而沙拐枣林下土壤可分为水分速变层和弱变层2个土壤层次; (3) 灌溉后土壤湿润体均呈“半椭球形”分布, 梭梭和沙拐枣根区土壤灌溉水影响深度分别为60, 150 cm, 而土壤盐分呈“表聚型”分布, 但尚未造成土壤盐渍化(< 1.0 mS/cm); (4) 6—9月份梭梭根区土壤平均贮水量(116.34 mm)略大于沙拐枣(100.99 mm), 土壤水分亏缺明显, 都大于270 mm。

关键词: 塔克拉玛干沙漠; 人工防护林; 咸水滴灌; 水热盐动态

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0169-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.029

Effects of *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* on Water-heat-salt Dynamics in Sandy Soil

LIU Haidong^{1,2}, LIU jiao³, ZHAO Ying^{1,3}, LI Shengyu¹,

WANG Yongdong¹, LEI Jiaqiang¹, ZHANG Jianguo³

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Water-heat-salt dynamics in sandy soil are essential to design a reasonable irrigation schedule in the Taklimakan Desert Highway Shelterbelt. In order to reveal spatial and temporal rules of the water-heat-salt dynamic changes under different plant types in the region, based on the field investigation and real-time monitoring between May and September in 2015, we discussed the correlation between air temperature and soil temperature in the shelterbelt, and also analyzed the spatial and temporal dynamics of soil water and salt under different plant types. The results showed that: (1) Soil temperature was basically consistent under different plant types, and air temperature was significantly correlated with soil temperature ($p < 0.01$). Meanwhile, the correlation of soil temperatures in different soil layers decreased as the soil depth increased. (2) In the soil of artificial shelterbelt, the dynamics of soil water and salt displayed an obvious periodic rule. With respect to *Haloxylon ammodendron*, the distribution of soil water and salt displayed a single-peak curve with the peak appeared at a depth of 30 cm, while the distribution of soil water and salt in the soil under *Calligonum mongolicum* showed a single-peak curve with the peak occurred at a depth of 10 cm. In the 0—200 cm soil profiles, soil moisture was divided into an active layer, a weak layer, and a stable layer in the soil under *Haloxylon ammodendron*, but only an active layer and a weak layer in the soil under *Calligonum mongolicum*. (3) The soil wetting front was a semi-ellipsoid shape after drip irrigation. The affected depth of irrigation water was 0.6 m in the soil under *Haloxylon ammodendron*, and 1.5 m in the soil under *Calligonum*

收稿日期: 2016-11-29

资助项目: 国家千人计划新疆项目(Y472241001); 国家自然科学基金项目(41471222, 31300449)

第一作者: 刘海东(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: liu_hducas@163.com

通信作者: 赵英(1979—), 男, 博士, 研究员, 主要从事土壤与生态水文过程研究。E-mail: zhaosoils@gmail.com

mongolicum. The soil salt was concentrated in the upper layer. However, soil salinization did not exist (EC was less than 1.0 mS/cm). (4) During the growing season, soil pondage was 116.34 mm in the soil under *Haloxylon ammodendron*, but 100.99 mm in the soil under *Calligonum mongolicum*. All the soil water deficit ullage was more than 270 mm. Plant types had minor influences on soil temperature. The irrigation of *Calligonum mongolicum* should be properly increased to maintain the health of the shelterbelt system. Our study is beneficial to provide a suitable irrigation system and approach, which can ensure the sustainable development of the shelterbelt system in the Taklimakan Desert.

Keywords: Taklimakan Desert; artificial shelterbelt; saline water drip-irrigation; water-heat-salt dynamics

塔克拉玛干沙漠公路是世界上最长的连续穿越流动沙漠的公路,自公路建成以来,频繁、强烈的风沙作用对其造成了巨大的危害。为了确保沙漠公路的持久畅通和改善沿线生态环境,2003 年建立了全长 436 km,总体宽度 72~78 m,总面积 3 128 hm² 的防护林生态工程,防护林树种以抗逆性极强的怪柳(*Tamarix chinensis*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)等防风固沙灌木为主。

了解土壤水热盐的运移规律,从而制定合理的灌溉制度,是实现咸水滴灌林地土壤水盐调控的关键。针对土壤水热盐运移问题,国内外进行了大量的定位试验和模型研究。许多学者通过模型模拟^[1-2]和田间调查^[3-4]研究了膜下滴灌条件下土壤水盐运移及分布特征,讨论和分析了盐碱地膜下滴灌的技术参数。沙漠公路防护林的可持续性和稳定性一直受到科研人员的广泛关注。王永东等^[5]研究发现由于长期采用高矿化度水进行灌溉,伴随着强烈的蒸发作用,防护林土壤盐分表聚性强,表层土壤盐分明显高于下部土层。张建国等^[6]研究也表明,高矿化度水滴灌下,土壤水分和盐分向地表运动,水分蒸发散失,而盐分则在地表积聚与土壤颗粒胶结形成盐结皮。土壤盐分的运移与水分的运动密不可分,但盐分的运移还和土壤温度密切相关,当灌水量一定时,各种盐离子受灌水温度影响在湿润体附近出现聚集现象^[7]。众多学者对不同灌水定额^[8]、灌溉水质^[9]、灌溉方式^[10]、灌溉周期^[11]、土壤质地^[12]等多种因素影响下的土壤水盐运移与再分布,以及温度对土壤水分运动过程的影响展开研究,且取得了不少成果^[13-18]。但这些成果数据的连续性较差,且多在典型日进行,代表性不强。尤其是缺乏不同植被条件下土壤水热盐运移过程的区别研究。

本文以塔克拉玛干沙漠腹地防护林带梭梭和沙拐枣林地对象,通过在梭梭和沙拐枣根区不同土层布设传感器获取土壤水热盐数据,体现了原位监测,保证了数据的时效性和完整性。由此,可以系统分析防护林不同植物生长季土壤水热盐时空动态,区别主要的防护林树种梭梭和沙拐枣土壤水热盐连续性动态规律,阐明植被对土壤水热盐过程的影响。研究结果可为区域当前

灌溉制度进一步优化、沙漠公路防护林生态工程的长期稳定性和水土资源可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地的中国科学院塔克拉玛干沙漠研究站(塔中植物园)附近的防护林(39°01'N,83°36'E,平均海拔 1 100 m)。该区域气候极端干旱,日照充足、降雨稀少、蒸发剧烈。年降雨量 24.6 mm,年潜在蒸发量高达 3 639 mm,年均气温 12.4 ℃,最高地面温度达 75.3 ℃,其中 7 月日平均气温 28.2 ℃,12 月日平均气温 -8.1 ℃,极端最高气温 45.6 ℃,极端最低气温 -22.2 ℃。平均相对湿度 29.4%,年均风速 2.5 m/s,瞬时最大风速 20 m/s。研究区自然植被极端匮乏,群落结构简单,植被盖度极低,绝大多数地区几乎无植被分布。研究区防护林树种主要以抗逆性极强的怪柳(*Tamarix chinensis*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)等优良防风固沙灌木为主,采用行间混交,行间距为 1 m×1 m。用矿化度为 4.04 g/L 地下水进行滴灌,灌溉周期为 10 d,灌溉量为 20 L/(株·次),冬季(自 11 月至次年 2 月)免灌。

1.2 研究方法

选取试验地内梭梭和沙拐枣各 15 株,对其植株冠幅、株高进行测定,梭梭株高平均值 1.7±0.4 m,冠幅平均值(1.5×1.6±0.4×0.2)m;沙拐枣株高平均值 1.5±0.3 m,冠幅平均值(1.2×1.5±0.3×0.2)m。分别选取长势良好的梭梭(株高 1.6 m,冠幅 1.5 m×1.5 m)和沙拐枣(株高 1.4 m,冠幅 1.4 m×1.3 m)各 1 株,布设监测仪器测定土壤体积含水率、土壤温度和土壤电导率。

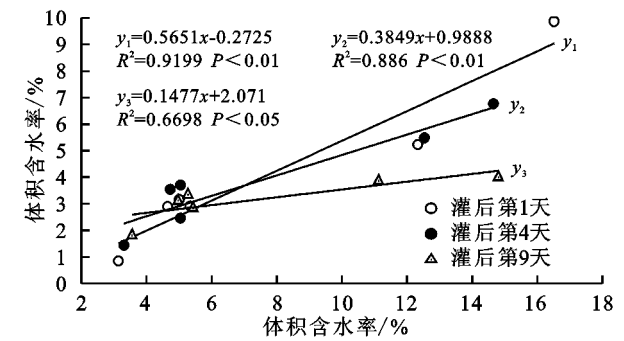
1.2.1 土壤水热盐动态监测 于 2015 年 4 月份,在防护林梭梭和沙拐枣周围沙地安装土壤水热盐监测系统(Campbell 公司,美国),该系统包括 CR3000 数据采集器和 CS656 土壤水热盐三参数传感器。监测系统距梭梭和沙拐枣主干水平距离 20 cm 处,探头安装深度为 10,30,60,100,150,200 cm,同时在裸沙地地面下 5 cm 处埋设温度探头。监测系统设置每 30 min 自动采集 1 次

数据,传感器的测量范围:0~100% VWC, (−40)~50 ℃, 0~23 ds/m, 测量精度±1%~2%。布设仪器时在各土层取样,测定容重及机械组成(表 1), 试验地土壤质地为粉砂土。为减小剖面挖掘对原状土的扰动影响, 本试验选择仪器安装 1 个月以后(2015 年 6 月—2015 年 9 月)的数据进行水盐分析。

表 1 研究区防护林地土壤性质

土层 深度/cm	容重/ (g·cm ⁻³)	颗粒组成含量/%			PH
		粘粒	粉粒	沙粒	
0—20	1.59	0	63.50	36.50	7.66
20—40	1.57	0	56.15	43.85	7.55
40—80	1.50	0	61.37	38.63	7.53
80—120	1.46	0	58.47	41.53	7.94
120—160	1.44	0	60.70	39.30	7.68
160—200	1.53	0	55.97	44.03	7.85

为了对仪器测定进行标定,在 8 月份利用土钻采集土壤样品(分别在灌溉后第 1 天、第 4 天、第 9 天,即 8 月 10 日、8 月 13 日、8 月 18 日),通过质量法获得土壤体积含水率,分别将其与仪器监测数据进行对比(图 1)。可看出其决定系数均相对较高,完成监测结果的校正。



注:图中横轴表示仪器监测数据,纵轴表示烘干法测定数据; y_1 , y_2 , y_3 分别表示灌溉后第 1, 4, 9 天数据。

图 1 探针法和烘干法测定土壤水分含量回归关系

1.2.2 土壤贮水量及土壤水分平衡计算 根据梭梭和沙拐枣根系分布范围^[19], 计算 0—200 cm 深度的土壤贮水量, 土壤水分平衡计算为 6—9 月份。参照土壤水分平衡方程, 具体分析土壤水分各收支项。土壤贮水量计算公式为:

$$W_i = \theta_i \times D_i \times h \quad (i = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

式中: W_i 为某土层贮水量(mm); θ_i 为该层土壤质量含水量(%); D_i 为该层土壤容重; h 为土层厚度(mm); i 为土层序列。

土壤水分亏缺量(mm) = 土壤田间持水量(mm) - 土壤贮水量(mm)^[20]。

本研究采用环刀法室内测定土壤田间持水量。

1.2.3 数据处理 采用 6—9 月份所有灌溉周期土壤水盐同期数据的平均值, 绘制一个灌溉周期内土壤水盐动态图。数据处理使用 Excel 软件, 利用统计分析软件 SPSS 19.0 做 Pearson 相关分析, 同时结合

Surfer 12.0 和 Origin 8.0 制图。

2 结果与分析

2.1 不同植物类型下土壤温度与气温变化特征

分析不同植物类型下土壤温度与气温相互关系时,发现梭梭和沙拐枣林土壤温度相当一致,说明植物类型差异对土壤温度变化影响较弱,故取梭梭植株下的土壤温度数据进行分析。由图 2 可知,梭梭林下土壤温度与气温变化趋势基本一致,随气温变化剧烈,变幅随土层深度增加而减弱^[21-22]。浅层 5—30 cm 土壤温度受气温影响变化明显,尤其是裸地 5 cm,该土层温度变化幅度比气温大,60 cm 以下土层温度变化趋于平缓。表层土壤温度变化随气温波动较大,5, 10 cm 深度土壤温度变幅分别为 29.9, 18.8 ℃, 而深层 100, 150, 200 cm 土层深处变幅分别为 7.6, 7.2, 7.2 ℃, 深层土壤温度变化幅度明显小于浅层。

热量的传输需要一定的过程,因此具有一定的滞后性,且随着土壤深度的增加滞后时间逐渐延长。日最高气温在 7 月 27 日达到 34.8 ℃, 而 200 cm 土壤温度在 9 月 4 日才达到最高值 23.2 ℃, 滞后时间超过了一个月。

此外,5 月 20 日—7 月 30 日的气温和各层土壤温度随时间呈逐渐上升趋势,气温波动对深层土壤温度影响较小,随着气温的持续升高,各层土壤温度上升趋势明显,表层 10—30 cm 土壤温度达到最大,60—200 cm 处土壤温度持续上升,地温自上而下呈递减分布。7 月 30 日—8 月 23 日,受气温降低影响,表层土壤温度随之减小,深层土壤温度波动较小,但土壤温度从上至下仍呈递减分布,到 9 月 24 日,各层土壤温度相差不大,维持在 24 ℃左右。9 月 24 日—10 月 25 日,随着气温的持续降低,上层土壤温度降低幅度超过下层,使得下层土壤温度逐渐高于上层,土壤温度从上至下呈递增分布。

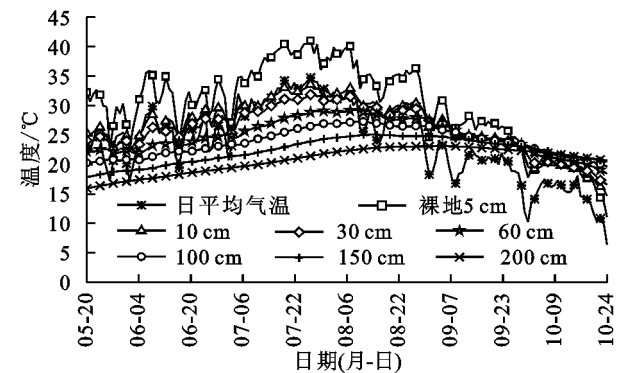


图 2 气温与不同土层温度的变化

由表 2 可知,日均气温与各土层温度间的相关关系呈随深度增加而减弱的趋势,即随着土层深度的增加气温对土壤温度的影响逐渐减弱。各土层呈极显著相关 ($p < 0.01$), 其中较浅土层 0—30 cm 的相关系数都保持

在 0.9 以上。将相邻 2 土层间的相关系数对比发现,整个植物生长期其保持高度的相关性,其相关系数(和主对角线相邻的对角线的值)都保持在 0.9 以上,且各土层间的相关性随深度的增加逐渐减弱。

表 2 日平均气温与土壤温度 Pearson 相关系数分析表

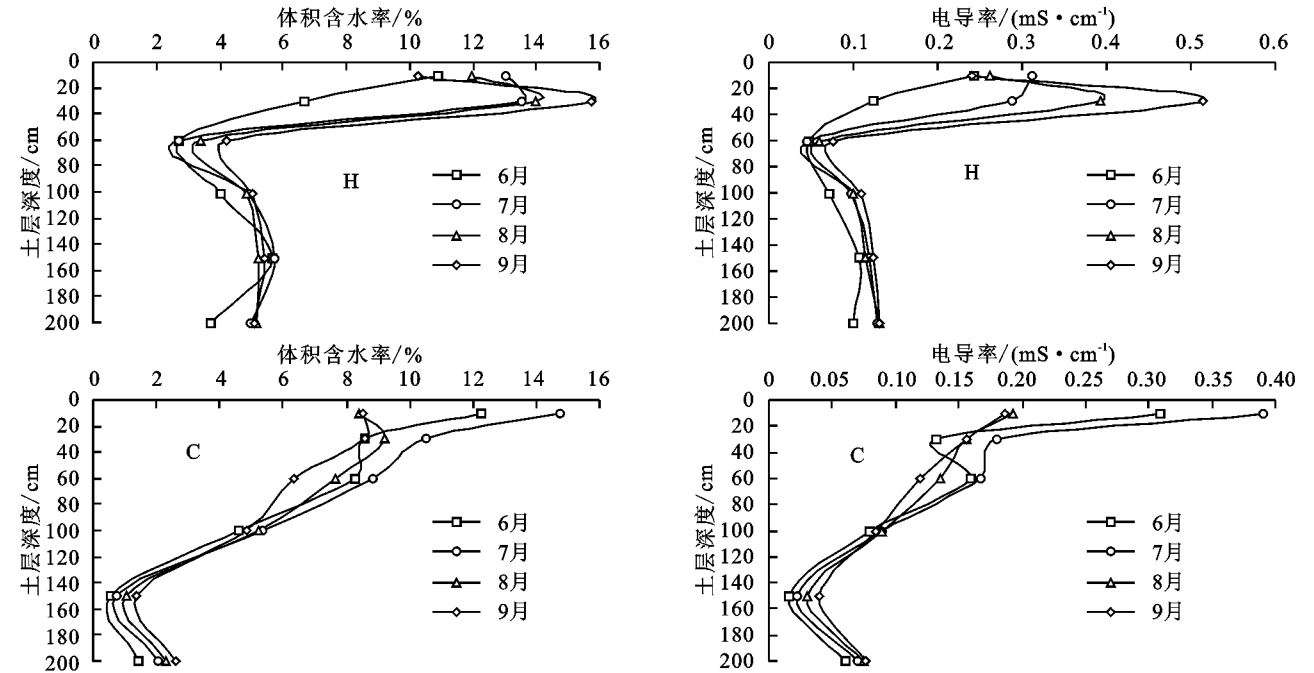
项目	气温	5 cm 土层	10 cm 土层	30 cm 土层	60 cm 土层	100 cm 土层	150 cm 土层	200 cm 土层
气温	1							
5 cm 土层	0.978**	1						
10 cm 土层	0.955**	0.971**	1					
30 cm 土层	0.908**	0.929**	0.986**	1				
60 cm 土层	0.777**	0.810**	0.892**	0.947**	1			
100 cm 土层	0.584**	0.614**	0.713**	0.799**	0.945**	1		
150 cm 土层	0.253**	0.269**	0.375**	0.486**	0.721**	0.906**	1	
200 cm 土层	-0.054	-0.054	0.044	0.161*	0.435**	0.699**	0.936**	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.2 梭梭和沙拐枣根区土壤水盐时间动态

塔克拉玛干沙漠公路防护林 6—9 月份咸水滴灌试验过程中土壤水盐动态变化特征如图 3 所示。从整体上看,防护林土壤水盐呈现出明显的周期性变化规律。6—9 月份梭梭植株下 0—200 cm 土壤剖面逐月平均体积含水率分别为 5.62%,7.48%,7.45%,7.63%,平均电导率依次为 0.12,0.17,0.18,0.20 mS/cm。沙拐枣植株下同期土壤剖面 0—200 cm 平均体积含水率分别为 5.96%,7.04%,5.64%,5.38%,平均电导率依次为 0.13,0.15,0.12,0.11 mS/cm。6—7 月份(图 2),沙漠气温快速升高,土壤蒸发和植物蒸腾作用不断增强,加剧了浅层土壤水分的耗散,这就致使较深土层水分逐渐向上运动,且在该过程中携带深层土壤盐分一同向上转移并逐渐积累在较浅土层。从整体

来看,随着时间的延长,灌水量的增大,梭梭植株下土壤剖面盐分含量增加,逐渐积累。土壤温度随着气温的降低而降低,从而引起了水分和盐分的动态迁移^[23]。8 月份之后,随着气温和土壤温度的逐渐降低,土壤水分蒸发量和植物蒸腾量也随着不断减小,因此土壤含水量逐渐增加。由于地表蒸发和蒸腾作用对土壤水分运动影响减弱,再加上前期的盐分积累,使得该时段土壤盐分保持在较高水平。6—9 月份沙拐枣植株下土壤剖面盐分呈“先增大后减小”的趋势,其中 7 月份盐分含量最高,8 月份以后,土壤盐分含量逐渐降低,即随着时间的延长,土壤盐分并未积累在植株根区,水分下渗可能是影响盐分迁移的重要原因,使得部分盐分随土壤水分淋溶到深层土壤难以返回。



注: H 表示梭梭; C 表示沙拐枣。下同。

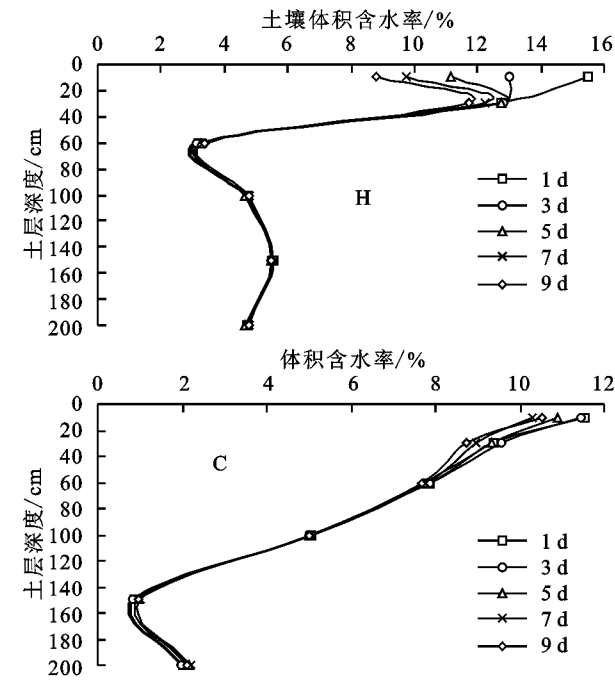
图 3 防护林不同深度土壤水盐动态

梭梭和沙拐枣根区土壤一个灌水周期内(1~9 d)土壤水盐动态变化趋势相当一致(图 4),土壤含盐量随着土壤含水量的升高而升高。在灌溉后第 1 天

梭梭和沙拐枣根区浅层土壤含水量显著增加,盐分显著降低,灌溉后随着天数的递增,梭梭和沙拐枣根区土壤含水量和盐分含量逐渐降低,因为土壤水分除了

蒸散发消耗,还存在较明显的下渗,使得土壤盐分随水分淋溶到深层土壤,部分水分下渗到 200 cm 以下,导致淋溶到下层的盐分难以返回^[24]。

总体来看,梭梭根区土壤水分随垂直距离变化呈单峰曲线,且峰值在 30 cm 土层处,均值约为 6.7%~



15.8%;盐分也表现出相同的变化特征,均值为0.12~0.51 mS/cm。沙拐枣根区土壤水分和盐分随垂直距离变化也近似呈单峰曲线,其峰值在 10 cm 土层处,水分均值约为 8.4%~14.7%,盐分均值约为 0.19~0.39 mS/cm。

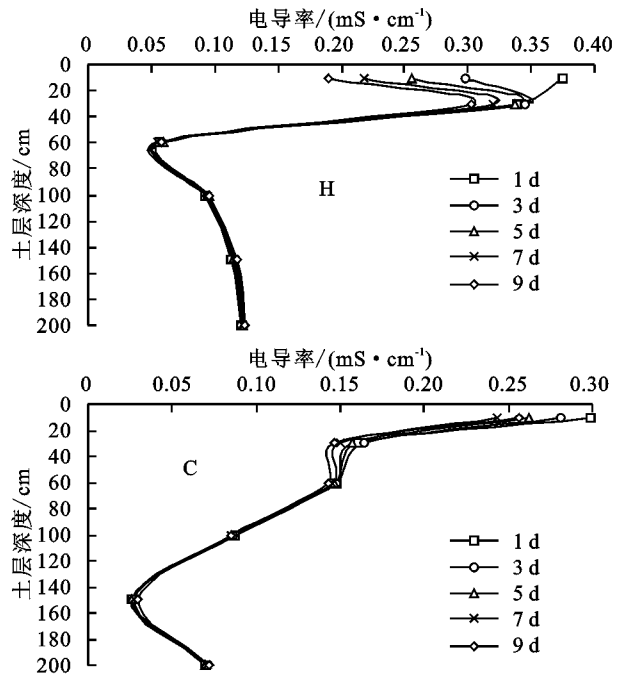


图 4 一个灌溉周期内(1~9 d)土壤水盐动态

2.3 梭梭和沙拐枣根区土壤水盐空间分布动态

灌溉后梭梭和沙拐枣植株下剖面土壤水分均呈“半椭球形”分布(图 5)。风沙土渗透能力强,梭梭和沙拐枣植株下土壤湿润峰分别可达到 60,150 cm,即不同防护林带土壤水分受灌溉水影响深度存在差异。李从娟等^[19]研究表明,梭梭和沙拐枣植株根系的 87%分布在 0—80 cm 土层,深度均可达到 150 cm,且沙拐枣吸收根生物量显著高于梭梭。因此在当前灌溉制度下,基本可满足防护林相应植物根系生长需求。

土壤水分的连续实时监测结果(图 5)表明,梭梭植株下 0—60 cm 土层灌溉前后土壤水分变化程度最大,呈“先上升,后降低”的趋势,灌后土壤水分损耗速率最快,属于土壤水分速变层;60—100 cm 土层受灌溉后水分再分布和植物根系的影响,变化较为活跃,属于水分弱变层;100—200 cm 土层受环境因素和根系影响较小,属于土壤水分稳定层。沙拐枣植株下 0—150 cm 土层灌溉前后土壤水分变化幅度较大,受土壤质地、水分再分布和植物根系吸水等影响,近似呈直线下降趋势,属于土壤水分速变层;150—200 cm 土层受灌后水分再分布影响小,属于水分弱变层。

沙拐枣林地 10—20 cm 土层内,尽管其受蒸发影响水分散失,但由于初期大量的水分补给,该层土壤

水分含量相对较高。梭梭林地 10—40 cm 土层范围内水分含量较高,丁新原等^[12,25]研究表明,该土层范围内保水能力较强。此外,梭梭植株的根系分布很可能也对水分的垂直分布差异有重要影响,这是因为与其他土层相比,植株的大量根系分布于该土层^[26],根系的聚水作用使得该土层水分含量相对较高。

灌溉后梭梭和沙拐枣根区土壤表层有明显积盐现象,剖面土壤盐分在垂直方向上均呈“辐射递减”分布(图 6)。土壤盐分随水分的运动向四周迁移,6—9 月份沙拐枣植株下土壤剖面 0—30 cm 处盐分均呈逐渐下降趋势,灌后土壤盐分随着水分再分布逐渐向湿润体外围迁移。

防护林土壤盐分具有“随水来,随水去”的特点,土壤水分为盐分运移提供了载体。虽然在校梭和沙拐枣林地 0—30 cm 土层有积盐现象,但并未出现土壤盐渍化现象(<1.0 mS/cm)。从盐分的迁移特征考虑,当前灌溉制度是比较合理的。

2.4 梭梭和沙拐枣根区土壤水分动态变化

根据田间持水量,计算了梭梭和沙拐枣根区土壤水分亏缺,由表 3 可知,试验地梭梭和沙拐枣根区土壤水分亏缺量都较大,梭梭在 6—9 月份平均土壤贮水量为 116.34 mm,水分亏缺量 270.80 mm,沙拐枣平均土壤贮水量为 100.99 mm,水分亏缺量 286.14 mm。

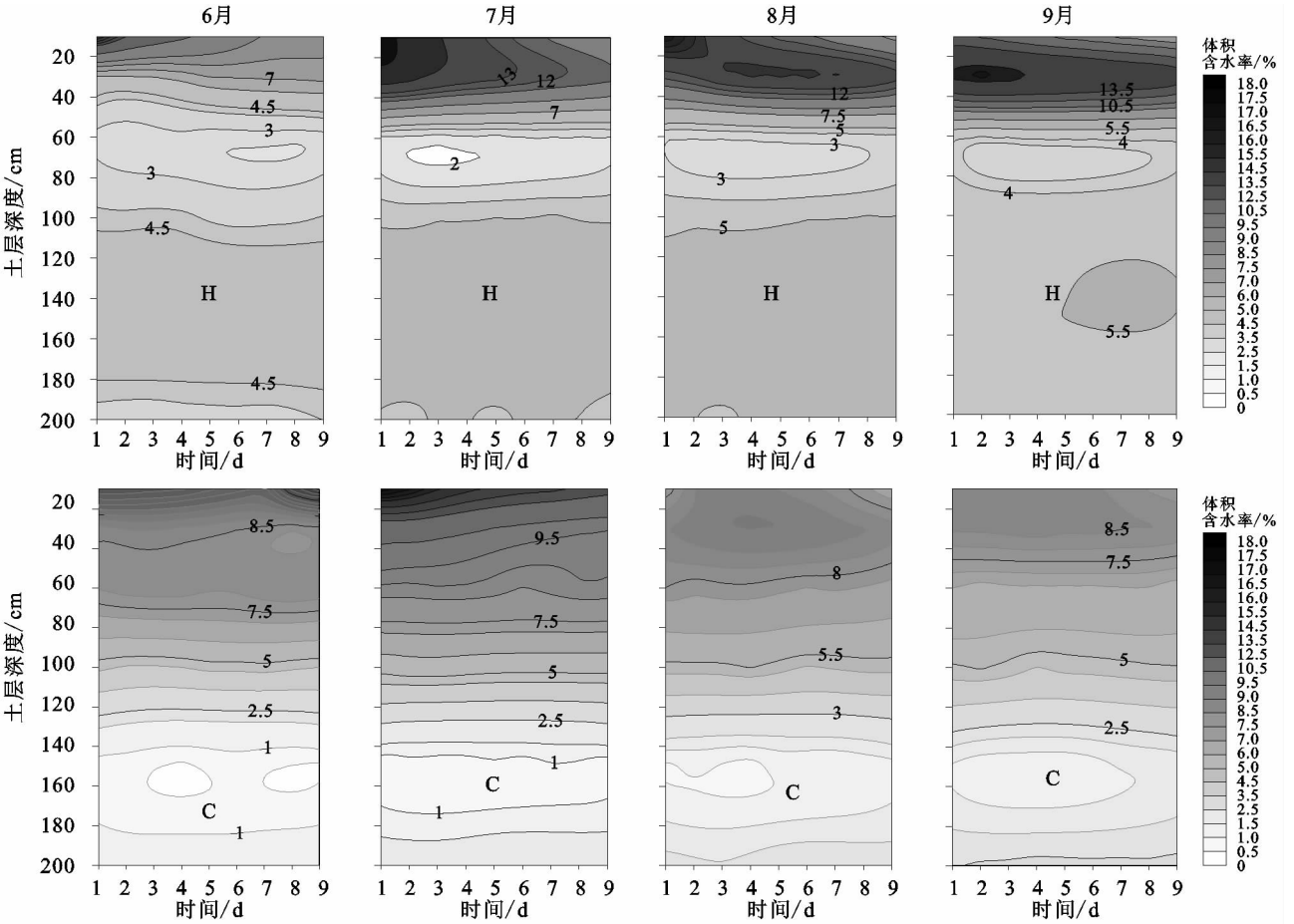


图 5 防护林土壤水分空间分布动态

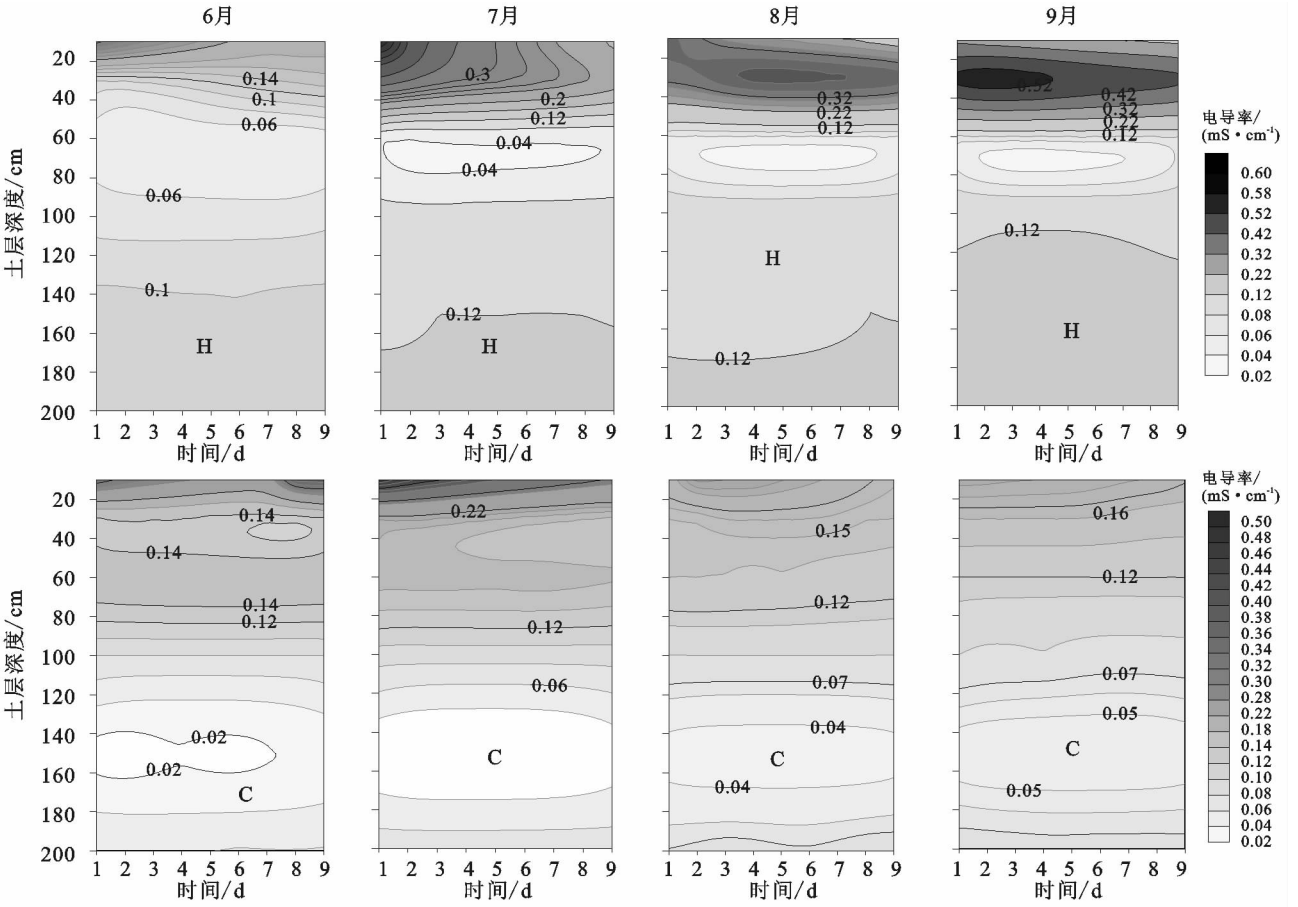


图 6 防护林土壤盐分空间分布动态

由于当前防护林采用周期性的灌溉制度,所以不同植物类型下的平均土壤贮水量相差不大。生长季末不同植物类型下的土壤贮水量变化趋势不同,梭梭根区土壤贮水量增加了 31.38 mm,沙拐枣土壤贮水量减少8.61 mm。这种土壤贮水量的差异可能与梭梭和沙拐枣蒸腾耗水量以及水分利用效率有关,沙拐枣的蒸腾耗水量大于梭梭,水分利用效率低于梭梭^[27];另一方面也与梭梭自身特性有关,杨艳凤等^[28]发现,梭梭具有很好的自集水功能,使得其根区土壤存在明显的“湿岛”。受生长季植物的蒸腾作用以及水分渗漏影响,2种植物的土壤水分亏缺量都很大,且在一般情况下很难快速恢复,同时结合测定的土壤水分数据,整个生长季6—9月沙拐枣根区土壤150 cm土层体积含水率<2%,为土壤含水量最小的土层,由于环境因素对1 m以下土层影响较小,该层土壤含水量最低应该是防护林植物消耗水分造成的,因此该土层是植物根系吸水用于植物生长和蒸腾的水分最多的土层。为了保证沙拐枣正常生长的需求,应该适当增加其灌溉量。梭梭根区土壤60 cm处为土壤水分最小的土层,其体积含水率在2%~6%之间,且丁新元等^[26]研究,发现梭梭植株的大量根系分布在20—40 cm土层内,由于根系聚水作用而使得该层土壤水分储量较高,故当前灌溉制度可保证梭梭植株的正常需求。

从沙漠水资源的有限性和防护林土壤水分供需平衡的角度考虑,若防护林无土壤水分亏缺或较轻程度的亏缺,且土壤水分能迅速恢复,则认为该防护林具有较好的适应性和稳定性^[29]。在防护林应根据不同植物类型制定不同灌溉制度,避免水分利用率低的植物供水不足。从人工林的稳定性角度分析,该区丰富的地下咸水资源确保了防护林生态工程的可持续利用,而要保证植物既能正常生长,又不浪费水资源,则有待通过长期的定位观测来深入研究。

表 3 生长季不同植物类型下土壤水文效应

单位:mm

项目	植物类型	6月	7月	8月	9月	平均
土壤贮水量	梭梭	98.51	116.63	120.33	129.89	116.34
	沙拐枣	101.05	113.85	96.62	92.44	100.99
土壤水分亏缺量	梭梭	288.63	270.51	266.81	257.24	270.80
	沙拐枣	286.08	273.28	290.51	294.70	286.14

注:土壤贮水量计算深度为200 cm。

3 结 论

(1)防护林植物类型差异对土壤温度变化影响较小,土壤温度随气温变化剧烈,防护林土壤温度相对于气温的变化表现出一定的滞后性,且该滞后作用随土层深度的增加而增强,各土层间土壤温度的相关性随深度的增加逐渐减弱。

(2)防护林土壤水盐呈现出明显的周期性变化规

律,梭梭和沙拐枣根区土壤水盐在垂直方向上近似呈单峰曲线。在垂直变化上,梭梭植株下可分为水分速变层、弱变层和稳定层3个土壤层次,沙拐枣可分为水分速变层和弱变层2个土壤层次。

(3)灌溉后梭梭和沙拐枣植株下剖面土壤水分均呈“半椭球形”分布,不同植物类型下土壤受灌溉水影响深度存在差异。防护林带盐分呈“表聚型”分布,但并未出现土壤盐渍化现象($<1.0\text{ mS/cm}$),当前防护林(风沙土)灌溉周期10 d较为合适。

(4)通过分析土壤贮水量变化和土壤水分亏缺状况,对当前灌溉制度进行优化,应根据不同植物类型制定不同灌溉制度,避免水资源的浪费或供水不足。可适当增加沙拐枣植株下灌水定额,从而保证其正常生长。

参考文献:

[1] 孙林,罗毅.膜下滴灌棉田土壤水盐运移简化模型[J].农业工程学报,2012,28(24):105-114.

[2] 吴璇,郑子成,李延轩,等.不同灌水量下设施土壤水盐运移规律及数值模拟[J].水土保持学报,2014,28(2):63-68.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 王永东,徐新文,雷加强,等.塔里木沙漠公路生态防护林沿线土壤表层盐分特征[J].干旱区研究,2010,27(1):51-56.

[6] 张建国,徐新文,雷加强,等.咸水滴灌对塔里木沙漠公路防护林土壤环境的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):34-39.

[7] 王振华,温新明,吕德生,等.膜下滴灌条件下温度影响盐离子运移的试验研究[J].节水灌溉,2004(3):5-7.

[8] 孙林,罗毅,杨传杰,等.不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征[J].土壤学报,2012,49(3):428-436.

[9] 张建国,徐新文,雷加强,等.水质对咸水滴灌土壤盐分淋洗过程的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):52-61.

[10] 陈小芹,王振华,何新林,等.北疆棉田不同冬灌方式对土壤水分、盐分和温度分布的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):132-137.

[11] 李红忠,史本林,雷加强.塔克拉玛干沙漠咸水灌溉不同周期土壤水盐变化研究[J].商丘师范学院学报,2006,22(5):152-155.

[12] 丁新原,张广宇,周智彬,等.咸水滴灌条件下塔里木沙漠公路防护林土壤水分物理性质[J].水土保持学报,2015,29(1):250-256.

[13] 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.

[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.

(下转第181页)