

咸水灌溉对塔里木沙漠公路防护林外缘 土壤水盐环境的影响

孙聪^{1,2}, 徐新文¹, 范敬龙¹, 李生字¹, 孙旭伟^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了更好地维持塔里木沙漠公路防护林的可持续性, 监测了在现有灌水制度一个完整灌水周期内防护林外缘土壤水盐环境的变化。研究结果表明: (1) 林带外缘的土壤含水量在灌水结束后开始减少, 在灌水周期的第6 d 林带外缘 90 cm 范围内的土壤水分逐渐的减小, 大于 90 cm 的范围达到基本平衡; (2) 在咸水灌水淋洗和蒸散等因素的综合影响下, 防护林带外缘土壤盐分表现出向林带外 120 cm 土壤层和表层聚积, 根系层土壤有所减少; (3) 防护林外缘地下水盐分相对变化表现出“V”型变化, 在距林带 90 cm 处变化最弱, 地下水各参数距离林带越近变化越大。

关键词: 咸水灌溉; 林带外缘; 土壤水盐环境

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0091-05

中图分类号: X53

Impacts of Saline Water Irrigation on Soil Water-salt Environment of Outer Edge of Tarim Desert Highway

SUN Cong^{1,2}, XU Xin-wen¹, FAN Jing-long¹, LI Sheng-yu¹, SUN Xu-wei^{1,2}

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi,*

Xinjiang 830011, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to maintain the sustainability of Tarim Desert Highway shelterbelts, the change of soil water-salt environment of the outer edge of the shelterbelts in a complete irrigation cycle was monitored. Results showed that (1) soil water content on the outer edge of the shelterbelts began to decline when irrigation finished. After the sixth day in the irrigation cycle, it gradually decreased within 90 cm outside of the outer edge and reached a basic balance beyond 90 cm outside of the edge. (2) Because of a comprehensive influence of saline water irrigation and evapotranspiration, soil salt outside of the edge was accumulated in soil surface and 120 cm soil layer and the accumulation decreased in root layer. (3) The relative change of salt content in groundwater on the outer edge presented a V-type change and the change was the weakest 90 cm outside of the edge. Groundwater parameters had a greater change with decreased distance to shelterbelts.

Keywords: saline water irrigation; outer edge of shelterbelt; soil water-salt environment

开发利用咸水灌溉是解决干旱区、半干旱区水资源短缺的重要途径之一, 但是如果利用不当、管理不善也会带来一系列问题, 尤其是会引起土壤次生盐渍化、碱化等土壤退化问题, 这方面已有大量的研究^[1-2]。Beltran^[3]分析了咸水灌溉可能在区域尺度上带来的环境问题; Ali Kerem Sayisal^[4]以作物根系土壤的水盐平衡方程为基础建立了灌溉、排水、作物耗水等各项水盐平衡要素之间的动态关系。对于咸水灌溉的原则在于能够控制土壤含盐量不超过作物的

耐盐极限, 盐分在根系层土壤中不发生积累, 并且应当结合地区特点采用适宜的灌水方法和耐盐作物^[5-7]。塔里木沙漠公路南北横贯塔克拉玛干沙漠, 对于加快塔里木油气资源的勘探开发, 推动南疆地区发展具有重要意义。为确保塔里木沙漠公路的畅通并使其沿线生态环境得以全面改善, 1997—2004年间沿沙漠公路全线建设了沙漠公路防护林。由于沙漠腹地没有淡水资源, 塔里木沙漠公路防护林长期使用矿化度为 3~30 g/L 的咸水进行灌溉, 灌溉水携带

收稿日期: 2010-02-22

修回日期: 2010-04-28

资助项目: 中国科学院西部行动计划项目“我国北方盐碱地节水灌溉种稻治理技术与示范”(KZCX2-XB2-13); 新疆维吾尔自治区重大科技专项(200733144-3); 国家自然科学基金项目(40701098); 塔里木油田公司科研项目(971008090016; 971008090017)

作者简介: 孙聪(1985—), 男(汉族), 山东省枣庄市人, 硕士研究生, 主要从事水土资源及荒漠化防治研究。E-mail: suncong4708@163.com。

通信作者: 徐新文(1963—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: sm s@ms.xjb.ac.cn。

的大量盐分进入土壤,土壤盐分含量增加是否会出现次生盐渍化等林带土壤水盐环境已成为人们关注的焦点^[8-12]。本研究立足于塔里木沙漠公路防护林 K182+200 m 处潜水浅埋区林带外缘,针对春季咸水灌溉条件下一个灌水周期内的土壤水盐及地下水质的变化,总结出咸水灌溉对沙漠公路防护林外缘土壤水盐环境的影响。

1 研究区概况

塔里木沙漠公路纵贯塔克拉玛干沙漠,北起 314 国道,南抵 315 国道,全长约 562 km,其中 446 km 穿行于流动沙漠中,是目前世界穿越流动沙漠最长的等级公路。为了防止风沙对公路的危害,2003 年 8 月,在原有机械防沙体系的基础上,建立了宽约 72~78 m 的生物防沙体系,林带树种组成为柽柳、梭梭、沙拐枣等优良防风固沙灌木。防护林采用就地采水,并利用管道供水、分散供水和滴灌技术,满足了防护林灌溉用水的需要。沙漠公路沿线经过的地貌单元主要有塔河冲击推挤平原复合型横向沙垄区,穹状复合型风沙土区,中部垄岗地貌高大复合型纵向沙垄区,牙通古斯和下游干三角洲复合型纵向沙垄中害区,尼雅河下游三角洲与北民丰垄起复合型沙垄区^[13]。本试验选择位于穹状复合型风沙土区的塔里木沙漠公路沿线 K182+200 m 处的外围阻沙带防护林作为试验场地,该处的地下水埋深为 1.81 m,防护林灌溉水的矿化度为:8.67 g/L,林带外缘土壤容重为 1.43 g/cm³,土壤孔隙度为 45.55%,灌水定额为 165 m³/(hm²·次),灌水周期为 12 d。

2 材料与方法

本试验与 2009 年在塔里木沙漠公路防护林的阻沙带防护林最外层的毛管选择间隔为 15 m 的两个滴头,从滴头处向自然区采用间隔 30 cm 分别布设中子仪监测管和地下水取样井。用 CNC-503 中子仪每天早晨 9:00 测量土壤含水量并测量灌水当天 2, 4, 8 和 10 h 的土壤含水量。在防护林带外的滴头处向外间隔 30 cm 进行土壤盐分的测定。在灌水前和灌溉周期末取地下水水样,并在灌水周期内的每天取滴头处的地下水水样。

试验中的土壤含水量采用 CNC-503 中子仪测得。土壤电导率:水土比 5:1,用电导仪(型号为 DDB-303)测得。由于土壤盐分含量与水土比为 5:1 的浸提液的电导率有显著的相关性,因此采用土壤电导的统计特性来说明土壤盐分含量的统计特征。pH 值采用型号 pH S-2C 的 pH 计通过电位测定法测得。矿化度采用残渣烘干一质量法。碳酸根和碳酸氢根采用双指示剂中和法。钙和镁采用 EDTA 络合滴定法。氯离子采用 AgNO₃ 滴定法。钾和钠采用火焰光度法,火焰光度计型号为 6410。硫酸根离子采用 EDTA 间接滴定法测定。

3 结果及分析

3.1 灌溉对土壤水分的影响

采用 SPSS 软件中的成对样本检验 (paired-samples test) 对土壤含水量进行成对样本检验,具体值如表 1 所示。

表 1 灌水周期内土壤含水量成对样本检验

灌水时段	中值	标准差	标准平均 误差	95% 置信区间		t 值	显著性 (双尾)
				下限	上限		
未灌水至灌水后 2 h	-0.011 525	0.019 050	0.002 245	-0.016 001	-0.007 048	-5.134	0.000
灌水后 2 h 至灌水后 4 h	-0.002 905	0.019 753	0.002 328	-0.007 547	0.001 736	-1.248	0.216
灌水后 4 h 至灌水后 8 h	-0.010 423	0.023 341	0.002 751	-0.015 908	-0.004 939	-3.789	0.000
灌水后 8 h 至灌水后 10 h	0.009 583	0.021 964	0.002 588	0.004 422	0.014 745	3.702	0.000
灌水后 10 h 至 4 月 12 日	0.008 865	0.019 605	0.002 310	0.004 258	0.013 472	3.837	0.000
4 月 12 日至 4 月 13 日	-0.001 339	0.017 963	0.002 117	-0.005 560	0.002 882	-0.633	0.529
4 月 13 日至 4 月 14 日	0.003 606	0.011 816	0.001 393	0.000 829	0.006 383	2.589	0.012
4 月 14 日至 4 月 15 日	0.001 649	0.014 063	0.001 657	-0.001 656	0.004 953	0.995	0.323
4 月 15 日至 4 月 16 日	-0.004 013	0.017 642	0.002 079	-0.008 159	0.000 133	-1.930	0.058
4 月 16 日至 4 月 17 日	0.000 357	0.021 037	0.002 479	-0.004 586	0.005 301	0.144	0.886
4 月 17 日至 4 月 18 日	-0.001 076	0.019 359	0.002 282	-0.005 625	0.003 473	-0.472	0.639
4 月 18 日至 4 月 19 日	0.012 163	0.013 629	0.001 606	0.008 960	0.015 366	7.572	0.000
4 月 19 日至 4 月 20 日	-0.003 325	0.013 577	0.001 600	-0.006 516	-0.000 134	-2.078	0.041
4 月 21 日至 4 月 22 日	-0.004 708	0.016 842	0.001 985	-0.008 665	-0.000 750	-2.372	0.020
4 月 22 日至 4 月 23 日	0.006 360	0.015 035	0.001 772	0.002 827	0.009 893	3.589	0.001

从表1中看出,未灌水至灌水后2h,灌水后4h至灌水后8h,灌水后8h至灌水后10h,灌水后10h至4月12日,4月18日至4月19日,4月22日至4月23日的差异性很显著;4月13日至4月14日,4月19日至4月20日,4月20日至4月21日的差异性显著。在灌水的开始阶段林带土壤含水量在逐渐的增加,从灌水结束到4月16日土壤含水量在逐渐的减少,4月17日后土壤含水量各有增减。灌溉周期内距林带不同位置的土壤含水量变化趋势如图1所示。

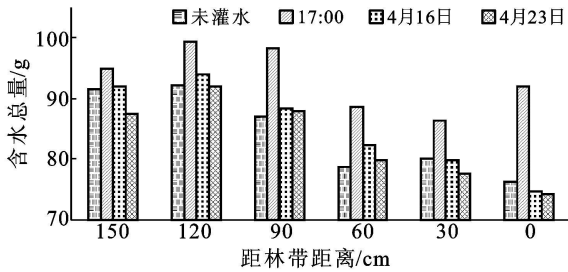


图1 林带外缘不同位置土壤剖面含水总量在灌水周期内的变化

从图1可以看出,距离林带近的土壤含水量总体上低于林带外的土壤含水量,120和150 cm处的土壤含水量大致一致,原因是防护林植物的对土壤水分的利用影响了90 cm内土壤的水分含量。在灌水当天的17:00时林带边缘0 cm处的土壤含水量较未灌

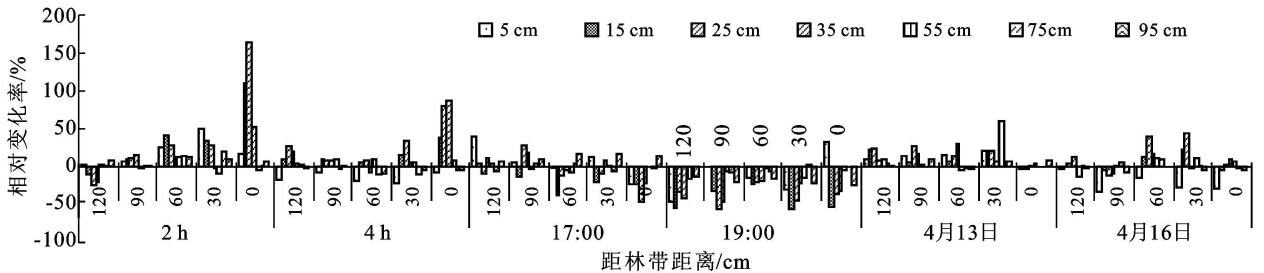


图2 灌溉当天不同深度土壤含水量的相对变化率

3.2 灌溉对土壤盐分的影响

采用 Surfer 8.0 对测得的林带外缘不同位置的土壤电导率做等值线图(图3)。

从图3中可以得出上个周期末盐分在土壤表层聚集,特别是在滴头处和距林带120 cm的表层土壤,在4月13日表层的盐分的变化较大,出现了盐分向下向外转移的现象,在滴头处此种盐分运移现象最为明显,同时在滴头处深度为80 cm的土壤层内出现了盐分增加的现象,从4月13日和4月11日未灌水时的土壤盐分分布的比较中可以看出,咸水灌溉对林带外缘土壤剖面盐分随着灌溉湿润体的形状分布^[14]。图3中的等值线图描述了土壤中盐分在咸水灌溉的

水之前的变化最为剧烈,150 cm处的土壤含水量在整个过程中只有轻微的变化。

图2表示林带外缘各层的含水量相对其前一个观测值的变化率,从表中可以看出,在灌水刚开始的2h后滴头处的25,35,55 cm深土壤含水量变化较为剧烈,最大的变化为35 cm处的168%;在距林带30 cm处深度为25,35 cm深的土壤层含水量发生了减少的现象,在55,75,95 cm深的土壤层中含水量有较大增加;在距林带60 cm处的35 cm深土壤的土壤含水量没有增大,其它深度层的土壤含水量均有所增加;在距林带90 cm处下层土壤的含水量有少许增加;在距林带120 cm处的各层含水量则随着外界的一些因素发生了减少。灌水开始的4h后滴头处5,15 cm深度的土壤含水量没有继续增加,但是25,35,55,75 cm深度的土壤层含水量还在继续增加;距林带30 cm处55,75 cm深的土壤层含水量还是有较大的增加,此时距离带120 cm处的下层土壤的含水量有所增加。在17:00时滴头处的土壤含水量发生了较大幅度的减少;距离带30 cm处的各层土壤含水量有增有减,但变化幅度很小;距离带120 cm处的土壤含水量还在继续随着灌水的运移而增大。19:00时防护林外缘的土壤各层含水量一致性的较少。从图2可以看出4月13日早晨林带外缘的各层含水量较12日19:00时的土壤含水量均有所增加。

淋洗作用后受蒸散等作用在土壤层中重新分布的过程。在塔里木沙漠公路防护林的外缘土壤中由于植被对土壤中水分的吸收,使得根系层内的土壤水势低于其它区域,从而使水分向根系区运动,同时携带的盐分在根系层土壤中发生累积,图3中4月15日的林带外缘土壤盐分分布等值线图可以清楚的看出这种现象。在4月17日的土壤盐分等值线图中可以看出滴头处下层土壤的盐分含量继续减少,距离带120 cm以外的区域的表层土壤的盐分继续聚积。在灌水周期的最后几天内,林带外缘土壤的盐分基本达到了一种平衡,变化较为缓慢。对比图3中上一个灌水周期末和这个周期末的盐分分布等值线图可以得出在

现在的灌溉制度下,根系层土壤的盐分有所减少,表层盐分的聚积现象也比上个周期有所好转,盐分出现在距离林带 120 cm 处下层土壤中聚积的现象,由于

塔里木沙漠防护林的林带根系分布范围是 120 cm 以上^[15],所以现在的灌水制度可以很好的解决盐分在林带根系主要分布土层的影响。

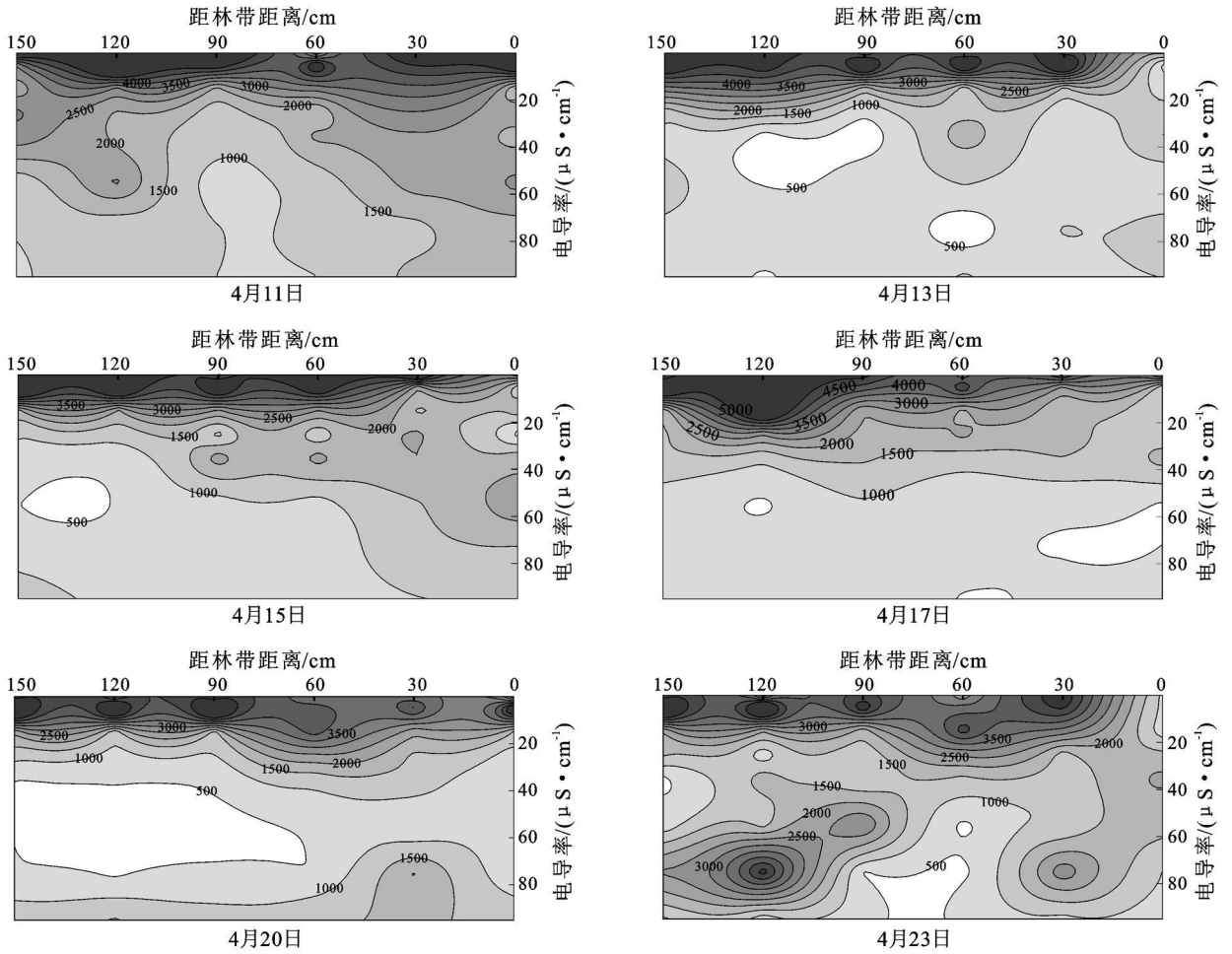


图 3 灌水周期内林带外缘不同位置土壤盐分等值线图

3.3 灌溉对地下水质的影响

3.3.1 灌水过程中的电导率变化 计算各林带外缘不同位置地下水的电导率相对对照井的相对变化率并做图 4—5。

加,这也吻合了灌水对林带外缘土壤的淋洗作用的时间性。在灌水经过一定的时间后,灌水向下向外运移时所携带的盐分随着湿润锋的运移而溶解到距离林带较远的地方。同时图中的曲线也显示出不同监测井的相对变化率伴随着时间的持续而逐渐变大,距离林带最远的 150 cm 处的监测井的数值变化最大。

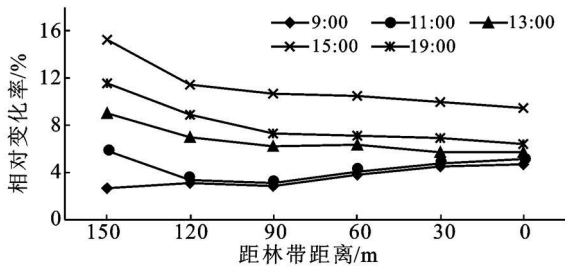


图 4 灌水当天不同位置地下水电导率的相对变化率

从图 4 中可以看出在灌水开始时的 9:00 和 11:00 时各监测井的相对变化率随着距离林带距离的增加而减小;在灌水当天的 13:00, 15:00 和 19:00 时该变化趋势发生了逆转,各监测井的电导率相对于对照井的相对变化率则随着距离林带距离的增大而增

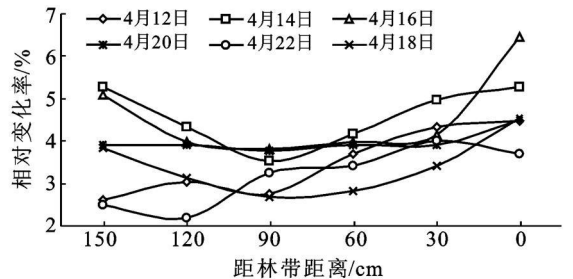


图 5 灌溉周期不同位置地下水电导率的相对变化率

从图 5 中可以看出灌水周期中的 4 月 12 日和 4 月 22 日各监测井的电导率相对变化值随着距离林带

的增加而减小, 说明咸水灌溉在灌水周期的起始时刻对位于滴头下的地下水水质影响较大, 而灌水周期末, 植物根系对水分利用又促使了土壤层中盐分向林带方向的聚积; 在灌水周期中的4月14日、4月16日和4月18日各监测井的电导率相对变化率随着距离林带距离的增加总体上呈现出“V”型的变化, 距离林带0和150 cm处的电导率变化幅度最大, 中间的电导率变化幅度较两端有所减弱, 在距离林带90 cm的地方达到最低值, 这说明咸水灌溉和蒸散等因素在灌水周期中的综合影响在距林带90 cm处为最弱。

3.3.2 灌水周期始末各地下水参数的相对变化率
根据灌水周期始末从各监测井采样分析的数据, 计算咸水灌溉周期的始末地下水各参数的相对变化(图6)。

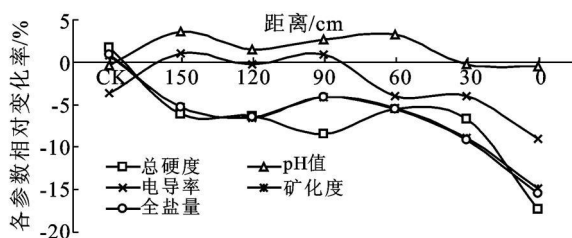


图6 灌水周期始末不同位置地下水各参数相对变化率

从图6可以看出林带外自然区内对照井的各项参数中, 只有电导率发生了一些变化, 其它参数基本保持稳定。林带外缘的地下水的pH值在距林带0和30 cm处是负变化, 而在距林带更远的监测井则是正变化; 对照井的水质总硬度发生了小的正变化, 而林带边缘的各监测井均出现了负变化, 距离林带0 cm处滴头下方的监测井的总硬度变化最大, 为-17.31%; 对照井的电导率变化了-3.67%, 林带外缘的各监测井的电导率则从林带处向外逐渐的从负变化转变为正变化, 变化值分别为-8.99%, -4%, -4%, 0.85%, -0.24%和0.97%。从图6中可以看出, 在灌水周期始末距离林带越近的监测井水质变化越大, 这种水质变化在林带外缘的滴头处表现的最为明显。

4 结论

(1) 整个灌水过程中林带外缘的整个土壤含水量在灌水结束后开始减少, 在灌水后第6 d开始含水量的变化各有增减, 基本达到平衡。林带防护林用水对外缘90 cm范围内的土壤水分影响较大, 且影响随着距离的增加而减弱。

(2) 塔里木沙漠公路防护林带外围土壤水盐在咸水灌水淋洗和蒸散等因素的综合影响下, 表现盐分向林带外120 cm土壤层和表层聚积, 根系层土壤中盐分有所减少, 现在的灌水制度可以很好地为防护林

植物的生长提供很好的土壤盐分环境。

(3) 塔里木沙漠公路防护林外缘地下水盐分在咸水灌溉和蒸散等因素的影响下在灌水周期中的相对变化率表现出“V”型变化, 在距林带90 cm处为最弱。同时地下水各参数在灌水周期的始末距离林带越近变化越大, 这种变化在林带外缘的滴头处表现的最为明显。

[参 考 文 献]

- [1] 雷廷武, 肖娟, 王建平. 微咸水滴灌对盐碱地西瓜产量品质及土壤盐渍度的影响[J]. 水利学报, 2003(4): 87-91.
- [2] 王仰仁, 康绍忠. 基于作物水盐生长函数的咸水灌溉制度确定方法[J]. 水利学报, 2004(6): 48-53.
- [3] Behran J M. Irrigation with saline water: Benefits and environmental impact[J]. Agricultural Water Management, 1999, 40: 183-194.
- [4] Ali Kerem Saysek Yaman Barlas. A dynamic model of salinization on irrigated lands[J]. Ecological Modelling, 2001, 139(2/3): 177-199.
- [5] Datta K K, Sharma V P, Sharma D P. Estimation of a production function for wheat under saline conditions[J]. Agricultural Water Management, 1998, 36: 85-94.
- [6] Feng G L, Meiri A, Letey J. Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions II: Salt distribution and rooting pattern effects[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67: 77-80.
- [7] Ben-Asher J, van Dam J, Feddes R A, et al. Irrigation of grapevines with saline water II: A mathematical simulation of vine growth and yield[J]. Agricultural Water Management, 2006, 83: 22-29.
- [8] 周智彬, 徐新文, 雷加强. 咸水灌溉下塔里木沙漠公路防护林盐分平衡及盐分运移[J]. 干旱区地理, 2006, 29(4): 470-475.
- [9] 周智彬, 徐新文, 李丙文. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地水盐动态的研究[J]. 干旱区研究, 2000, 17(1): 24-26.
- [10] 赵存玉, 陈广庭, 王涛. 塔克拉玛干沙漠腹地的生态条件及植物防沙试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 139-143.
- [11] 王晓静, 徐新文, 雷加强. 咸水滴灌下林带的盐结皮时空分布规律[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 399-404.
- [12] 黄强, 李生秀, 宋郁东. 咸水灌溉沙地后的水盐运移规律[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 547-553.
- [13] 雷加强, 王雪芹. 塔里木沙漠公路风沙危害形成研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(1): 1-6.
- [14] 李毅, 王文焰, 王全九, 等. 非充分供水条件下滴灌入渗的水盐运移特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 1-4.
- [15] 王晓静, 徐新文, 雷加强. 沙漠腹地咸水滴灌条件下沙漠公路防护林根系垂直分布特征[J]. 科学通报, 2008, 53: 1-5.