

干旱区膜下滴灌条件下膜孔蒸发特征研究

王春霞¹, 王全九^{1,2}, 庄亮³, 单鱼洋², 张明³

(1. 西安理工大学水资源研究所, 陕西 西安 710048; 2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049)

摘要: 模拟不同覆膜开孔率下的蒸发试验, 研究了蒸发过程中不同覆膜开孔率下土体湿润锋及水盐运移情况的动态分布特征。结果表明: 随蒸发历时的延长垂直湿润距离增大, 在蒸发1 d后垂直湿润距离的增加量最大, 蒸发结束时随覆膜开孔率的增大垂直湿润距离减小; 随蒸发历时的延长土体剖面内的含水量在减小, 表层减小最快, 剖面底部边缘含水量有所增加; 盐分则呈现向表层和底部范围增加, 剖面中部的含盐量相对减小的动态变化; 蒸发结束时土体剖面上同一位置处含水量随开孔率的增大在减小, 盐分则表现随开孔率增加表层返盐明显, 土体剖面中下部的盐分向远离滴头的斜下方运移, 在湿润锋处聚集。而各覆膜开孔率下累积蒸发量与蒸发时间的开平方呈线性关系, 累积蒸发量的增量与开孔率呈幂函数关系。

关键词: 覆膜开孔率; 湿润锋; 累积蒸发量; 返盐量

中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0014-08

土壤蒸发是发生于土壤-大气界面上的水分散失过程, 包括水分在土壤中的迁移和地表的汽化过程^[1], 土壤蒸发越强烈, 土壤中散失的水量就越多, 尤其在含盐土壤中随散失的水分迁移到地表的盐分也增多, 土壤的次生盐碱化就越严重, 所以在水资源短缺的今天, 减少或者是抑制土面蒸发是发展节水农业的重要方面。地膜覆盖土表则减少了土壤与大气间的热交换和蒸发, 改善了土壤的水、热状况, 活化了土壤养分, 起到增温保墒、抑盐、提高土壤养分有效性和水分利用效率的作用^[2-5]。

新疆地处内陆干旱区, 年均降水量少、蒸发量大, 且有约占灌区面积三分之一的次生盐渍化区, 由此新疆特色农业资源的开发必须建立在节约水资源的基础之上。膜下滴灌技术是覆膜种植及滴灌相结合的节水灌溉技术, 该技术在新疆发展应用起来后, 已取得良好效果并得以大面积推广。但是在田间覆膜情况下, 出苗孔及人为等因素的存在使薄膜覆盖率不能达到100%, 这就使原先全覆膜阻断大气-土壤之间水分连续性的性能改变, 土壤水分则通过膜孔向大气中散失。薄膜上有孔实际上提供了土壤-大气之间水分连接的通道, 并且这一通道与膜孔的面积及数量密切相关, 膜孔的面积一定, 数量增多, 则薄膜上的膜孔总面积增大, 在年均蒸发量大的条件下水分经由膜孔散失入大气的水分就多, 土壤

的蒸发量增大, 引起土体内水分及盐分的运移特征发生改变。假设膜孔总面积与相应的薄膜截面积之比为覆膜开孔率, 田间实践中则不同的行距和株距中形成的出苗孔也会形成田间的不同覆膜开孔率, 相应的覆膜开孔率对土面蒸发影响不同, 随之变化的土壤的水分及盐分也不同。

国内外学者对全覆膜蒸发及裸土蒸发研究较多^[6-9], 针对覆膜开孔条件下蒸发的研究, 李毅等^[10-14]研究了一维蒸发实验系统下的不同覆膜开孔率条件下的蒸发实验, 进行了不同覆膜开孔下的土壤蒸发、水热及水盐运移规律研究, 为覆膜灌溉及灌后蒸发的水热运动提供参考。门旗等研究了不同土壤含水量及覆膜开孔率对土壤蒸发的影响, 并在田间进行验证^[15]。膜下滴灌以节水抑盐、增温保墒、减少裸间蒸发及深层渗漏等特点成为干旱绿洲区节水农业的关键技术^[16]。该技术下土壤中的水盐运移情况属于三维空间运动, 滴灌结束后至下一次滴灌开始, 期间由于地膜的透光性及严密性随着蒸发时间的延长, 土壤蒸发的水分只能在膜下形成内循环, 影响着土体内部的水盐分布; 但是由实践知, 薄膜开孔的存在, 致使田间达不到全覆膜状态, 蒸发条件下则土体内会出现与全覆膜状态不同的水盐动态分布特征。本文在有机玻璃土箱中模拟田间滴灌试验, 在滴灌结束后立即在土表覆盖具有不同

收稿日期: 2010-03-27

基金项目: 国家科技支撑计划课题“干旱区膜下滴灌农田盐分调控与微咸水利用技术研究”(2007BAD38B01); 新疆自治区重大科技专项课题(20073117-1); 国家863项目“水盐调控精准灌溉技术”(2006AA100207); 陕西省重点学科建设专项资金资助项目

作者简介: 王春霞(1979-), 女, 山东郓城人, 博士生, 从事节水灌溉方面的研究。E-mail: wangchunxia-79@sina.com。

通讯作者: 王全九(1964-), 男, 内蒙古丰镇人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理与溶质运移研究。E-mail: wqquanjiu@163.com。

覆膜开孔率的塑料薄膜,在不同的蒸发时间内研究半无限土体上土壤湿润体及土体内水盐二维空间分布状况,对了解膜孔蒸发对土体水盐运移的影响及田间株、行距的选择提供一定的参考。

1 材料与方 法

本文主要进行一定滴头流量和一定灌水量下的滴灌入渗试验,以及滴灌结束后不同蒸发历时下覆膜开孔率对蒸发过程中水分及盐分的影响的试验研究。

1.1 试验材料

试验在新疆库尔勒重点灌溉试验站进行,该站位于塔里木盆地北缘,干燥少雨、蒸发量大、日照长、光照充足,属典型的大陆性气候。试验站内主要种植棉花,其土壤质地差异性较大,土壤盐碱程度也不一致。为使试验过程中结果明显,供试土样的采集于试验站内高盐碱地块6号田0~20 cm土层,土样经碾压、粉碎、风干、过筛,通过颗粒组成分析,供试土壤为粘土,容重 1.45 g/cm^3 ,饱和含水量 31.93% (g/g),初始土壤含水量 1.72% (g/g);含盐量用电导值表示(下文同),为 13.12 ds/cm 。

试验系统包括3部分,即供水系统、试验土箱及覆膜材料。供水装置为内直径为19 cm的马氏瓶,可以对系统进行稳压的供给。试验土箱用透明的有机玻璃制成,尺寸为 $40\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 55\text{ cm}$ 。覆膜材料为厚2 mm的塑料薄膜,膜上开孔。

1.2 试验方案与过程

试验土壤经风干和碾碎后,经孔为2 mm筛子筛选,按容重每5 cm一层装入有机玻璃土箱内,总厚度为50 cm,用磨刀把土表磨平。模拟试验的滴头流量设计 2 L/h ,灌水量为8 L。灌水为渠水,矿化度为 0.47 g/L 的淡水。在试验过程中,先将滴头放置于土箱40 cm边的中心处(即试验观察到的是半个湿润体),如图1所示。利用医用输液管模拟滴头,输液管与马氏瓶相连,通过调节输液管阀门的开度来调节滴头流量,在试验开始前先用100 ml的量筒来标定滴头流量。滴水结束后,在土表覆盖塑料薄膜,塑料薄膜上开直径为8 mm的孔,根据膜孔间距的不同,设计不同的覆膜开孔率,分别为0%、6.45%、14.07%、53.17%,其中覆膜开孔率0%为全覆膜。蒸发时间设计为0(滴水结束时)、1、3、5 d。试验土箱放置在上部无遮蔽的室外,土箱四周堆土袋,防止四周蒸发;同时为了维持试验条件的相对稳定,试验期间天气连续晴朗,最高气温 $36.6\text{ }^\circ\text{C}$,最低气温 $16.8\text{ }^\circ\text{C}$,平均蒸发量为 11.2 mm/d 。

在蒸发0、1、3 d和5 d的同一时间段内在有机玻璃土箱壁上沿湿润锋位置描出湿润锋的轮廓,然后定出坐标绘出不同蒸发历时下各覆膜开孔率下湿润锋运移位置;同时,分别在蒸发0、1、3、5 d,用直径为1 cm的土钻从滴头正下方开始,水平方向每4 cm,垂直方向表层每3 cm取土,以下则每5 cm一层取土;每一蒸发时间下取样点位置均在上次取样点附近,取样完毕后用大致与土箱内含水量一致的湿土回填。土壤剖面含水量用烘干法测定,土壤盐分用DDS-307型电导率仪,测定土水比为1:5土壤水浸提液的电导率值。取样布置见图1。

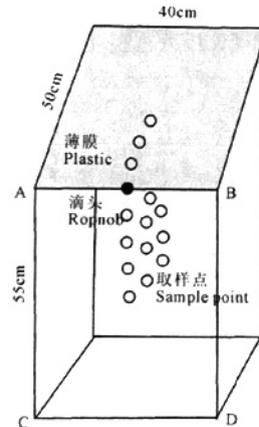


图1 膜孔蒸发试验取样

Fig.1 Experimental sampling for evaporation from perforated plastic film

2 结果与分析

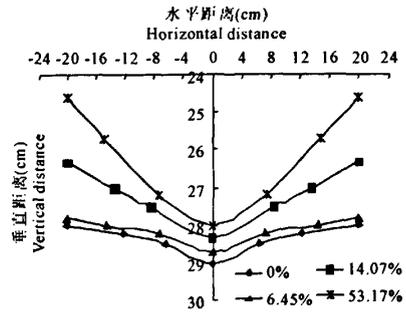
2.1 不同覆膜开孔率下滴灌土壤湿润锋运移特征分析

水分滴入土壤,以滴头下方为中心向四周扩散形成干湿土的交界面,即湿润锋界面;滴水结束后土壤水分在蒸发及重力的作用下进行再分布,相应的湿润锋形状随之发生变化。对不同蒸发历时下不同覆膜开孔率土体湿润锋的变化情况进行分析,为进一步掌握蒸发过程对不同覆膜开孔率下土壤水分的影响提供基础性依据。

2.1.1 不同覆膜开孔率下滴头下方垂直剖面湿润锋运移特征 图2给出的是不同覆膜开孔率在蒸发5 d时的滴头下方垂直剖面(即ABCD面)上的湿润锋分布情况,坐标0点是滴头所在的位置。在垂直剖面上滴头正下方的人渗深度最大,距离滴头水平方向越远,垂直入渗深度越小,整个的湿润锋形状呈现一个椎体。随着覆膜开孔率的增大,在长40 cm、深30 cm的剖面上同一深度处椎体的底面半径减

小,说明在相同的滴灌条件下,全覆膜状态土壤水分与大气被薄膜阻断,土壤中的水分散失较少,滴灌进入土壤中的水分在土体内部再分布的较多,相同的蒸发天数下湿润锋下移的距离就大;覆膜开孔率大的则是相反。开孔率为 6.45% 与全覆膜(覆膜开孔率为 0%)的相差不是很大,当覆膜开孔率大于 6.45% 时,垂直湿润锋的运移变化较明显。

2.1.2 不同蒸发历时下滴头下方垂直剖面湿润锋运移特征 不同入渗时间的垂直剖面湿润锋的位置也不相同,在垂直剖面内的湿润锋随着蒸发时间的增大,湿润锋距离下移,这是水分再分布的结果,不同覆膜开孔率下均表现出类似规律,因此仅将全覆膜(0%)和试验设计最大覆膜开孔率(53.17%)的湿润锋垂直剖面绘于图 3。



注:“0”点为滴头位置处。下同。

Note: The “0” point is spot of roprob. The same is in the following.

图 2 蒸发结束时不同开孔率下垂直剖面湿润锋分布
Fig.2 Distribution of vertical section wetness van with different hole opening ratio at the end of evaporation

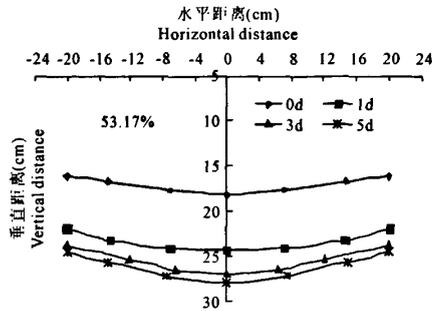
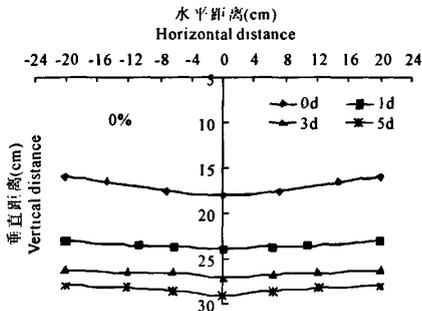


图 3 不同蒸发时间下垂直剖面湿润锋分布

Fig.3 Distribution of vertical section wetness van in different evaporation time

由图 3 看出,全覆膜情况湿润锋曲线较平滑,而在覆膜开孔率为 53.17% 时蒸发 1 d 后的湿润锋曲线变化较大;各覆膜开孔率下均表现出蒸发 1 d 时,土壤垂直剖面湿润体内的湿润锋下移距离最大,随着蒸发时间的再延长,湿润深度增加幅度逐渐降低,并且随覆膜开孔率的增加,增加幅度降低,如全覆膜状态下蒸发 1 d 时的湿润锋距离增加幅度为 38.24%,5 d 时则为 6.76%,覆膜开孔率为 53.17% 时 1 d 和 5 d 时的湿润锋增加幅度分别为 36.52%、3.61%。这说明随着覆膜开孔率的增大从膜孔散失的水量较大,引起了土体内水分的变化较剧烈。这也提示我们在大田滴灌结束后,1 d 后或更长时间取样则会使土壤水分进行较大的再分布过程,一定程度上影响试验结果,建议在条件允许的情况下应在灌后较短时间内取样。

2.2 不同覆膜开孔率下土壤剖面含水量分布特征分析

2.2.1 不同蒸发历时下土壤剖面内含水量的变化 在近似的大气蒸发能力和土壤供水条件下,土壤

与大气之间的水分交换直接受上边界覆膜开孔率条件控制,显然不同覆膜开孔率下的蒸发土壤水分特征存在差异^[13]。由于实验在土箱内进行,蒸发过程中没有外来水量补给,故而在土体剖面上随着蒸发量的加大,土体内的含水量将逐渐降低,这必在覆膜开孔率大的土体剖面内表现明显。图 4 给出的是在覆膜开孔率为 53.17% 时土体剖面内含水量随蒸发时间的延长的变化过程。由图 4 看出,各时间内剖面含水量的等值线以滴头下为最大,向四周逐渐推移减小,至于土交界面上含水量最小;不同蒸发历时下在土体剖面的上部含水量变化较大,尤其是表层变化量最大,滴头下方 3 cm 处的含水量由入渗结束时接近饱和含水量至蒸发 1 d、3 d、5 d 下的 17.49%、13.63% 和 10.39%,垂直方向 25 cm 以下土层含水量变化小,稍大于初始值;从蒸发 0 d 至 5 d 剖面内含水量等值线逐渐向四周推移,剖面底部边侧的含水量有增加,内部含水量在减小,在蒸发 5 d 时效果更明显,这是由于土壤水分在土体内的即有上升的蒸发过程又有向下的人渗过程。

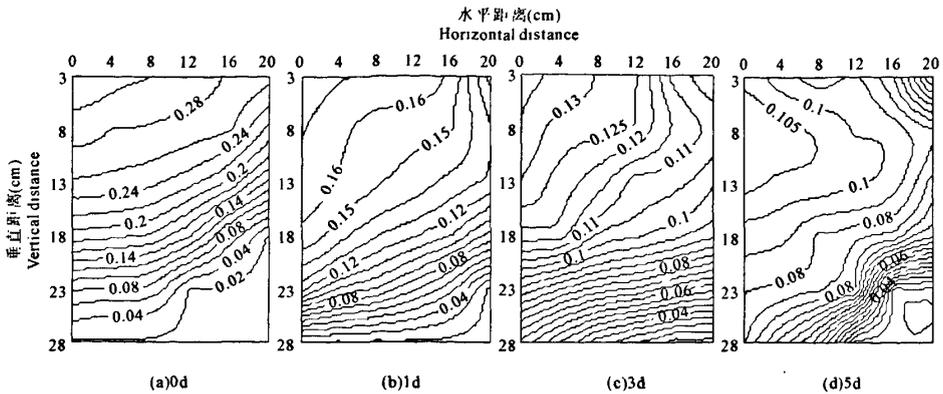


图 4 不同蒸发时间含水量 (%) 剖面分布

Fig.4 Distribution of soil water profile in different evaporation time

2.2.2 蒸发结束时不同覆膜开孔率下土壤剖面含水量分布 覆膜开孔率的大小改变着薄膜上膜孔的多少,膜孔联通了大气与土体的界面,进而影响到土壤的蒸发速率,从而改变了土体内含水量的分布。图 5 给出的是蒸发结束时(5 d)不同覆膜开孔率下土体剖面上含水量的等值线分布,由图 5 可知,土体剖面同一位置处等值线随着膜孔覆盖度的增大在减

小,覆膜开孔率大,蒸发的水量越多,土体内含水量就越小;在土体剖面的底部距离滴头较远的外侧等值线稍有增大,是土体内水分在重力势作用下向外入渗的结果;当膜孔覆盖度达到 53.17%时,剖面内平均含水量较全覆膜时降低了 39.86%,结果表现明显,说明覆膜开孔率越大,土壤的保水性就越差。

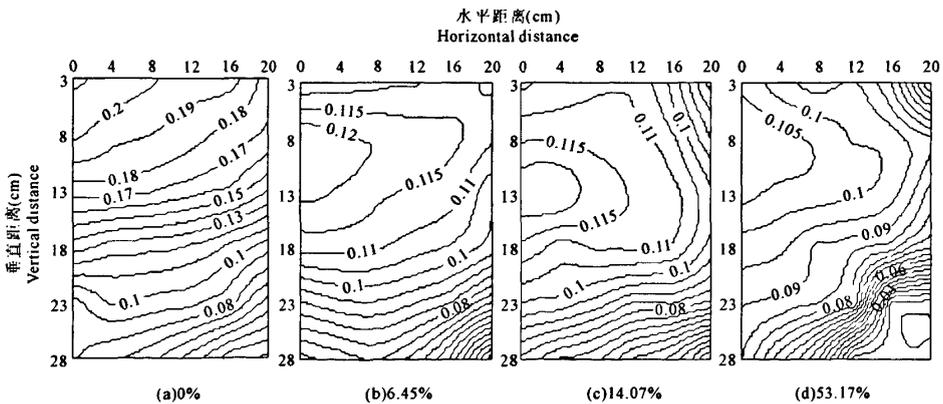


图 5 试验结束时含水量 (%) 剖面分布

Fig.5 Distribution of soil water profile at the end of experiment

2.3 不同覆膜开孔率下蒸发特征分析

2.3.1 累积蒸发量与蒸发时间的关系 根据土体剖面含水量累加计算出各覆膜开孔率下每个蒸发结束时间的剖面含水量的变化,进而计算出累积蒸发量。全覆膜情况下,从土壤蒸发的水分受到薄膜的阻挡,不能散失到空气中,在高温的情况下土壤和薄膜之间形成水汽,水汽则一部分从边壁逸出,一部分经过昼夜温差的变化,冷凝呈水滴回土壤,如此循环下覆膜则起到一定的保水作用。然而由于水汽一部分从土箱边壁逸出,一部分在揭膜取土时,从薄

膜上带出,所以在全覆膜情况下经过不同的蒸发时间仍有一部分水量散失。

Gardner 及其他学者的理论和实验研究表明,裸土蒸发的累积蒸发量与时间平方根成正比^[17,8]。本文通过试验数据分析在膜孔直径相同膜孔数量不同的情况下土体的累积蒸发量也符合这一关系式:

$$E = a \times t^{1/2}$$

式中, E 为累积蒸发量 (cm); a 为斜率。图 6 给出了不同覆膜开孔率下累积蒸发量随时间的平方根的变化,由图可知随着覆膜开孔率的增加该关系式的斜

率 a 在增大,说明覆膜开孔率大在近似相同的蒸发条件下土体剖面内的累积蒸发量在增大。

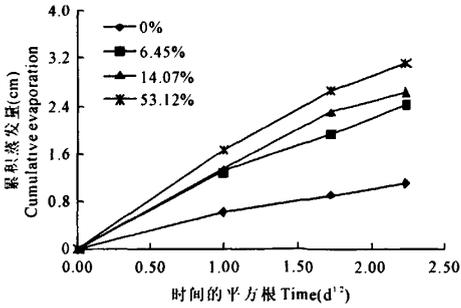


图 6 不同覆膜开孔率下累积蒸发量随时间的变化
Fig.6 Cumulative evaporation varying with evaporation time under different hole opening ratio

2.3.2 累积蒸发量与覆膜开孔率之间的关系 以上分析知道累积蒸发量随覆膜开孔率增大而升高,由于在全覆膜下仍有一部分蒸发,但是相对开孔率 > 0 的覆膜状态,全覆膜下的蒸发较小。为能更清楚地描述这种关系,采用文献[13]的分析方法,用各覆膜开孔率与全覆膜下累积蒸发量的差值(简称累积蒸发量增量)与覆膜开孔率进行拟合,分析蒸发结束(5 d)时两者的关系,发现二者呈幂函数关系,关系式为: $\Delta E = 2.2601u^{0.2019}$ ($R^2 = 0.9945$),故各覆膜开孔率累积蒸发量的增量随开孔率的增大呈幂函数增加。

2.4 不同覆膜开孔率下土壤剖面盐分分布特征分析

2.4.1 不同蒸发历时下土壤剖面含盐量的变化

“盐随水走”是土壤中溶质迁移的特性,随着水分不断滴入土体,土壤中的盐分将被带入土体剖面的深层,滴头下方一定距离内形成远低于土壤盐分初始

值的区域,盐分在湿润锋处累积;滴灌结束后随着蒸发时间的延长,土体剖面上层的含盐量随蒸发水分的向上运动有积累,下层含盐量随土壤水分的继续入渗前一蒸发时段湿润锋处积累的盐分降低,向更深的土层运输。各覆膜开孔率下剖面内盐分随蒸发时间的延长运移趋势基本一致,只是覆膜开孔率越大,水分变化越显著,土体剖面内的盐分的这种运移趋势越明显,图 7 给出了覆膜开孔率为 53.17% 下土体剖面内盐分随蒸发时间的动态变化等值线图。由图 7 可知:随着蒸发时间的延长土体剖面内的盐分呈现向表层和向底部范围增加,剖面中部的含盐量相对在减小的动态变化,这是受土壤剖面内水分的运动所致,原因是土壤的蒸发过程中土壤水分有在温度势梯度作用下的上升过程,也有在自身重力势作用下的继续下渗过程;垂直 8 cm 以上土体剖面内盐分等值线随蒸发时间的延长逐渐外推增大,盐分积聚的较明显,蒸发结束时(5 d)此层剖面内平均盐分电导值比入渗结束时(0 d)增加了 3.32 ds/cm;在垂直方向小于 13 cm 和水平方向小于 16 cm 以内剖面上盐分值均低于初始值,属于脱盐区,随着蒸发时间的延长这一区域有增加,虽然蒸发使得这一层内的盐分升高,但是滴灌入渗后这一区域的盐分很低,即使经过了长时间的蒸发此区域的含盐量值还是低于初始值;相应的在垂直 13 cm 土层以下土层剖面内则属于积盐区,蒸发 3 d 时在底部垂直土层 23 cm 土层剖面上盐分平均值达到最大值 23.18 ds/cm,根据盐分平衡在蒸发 5 d 时上部剖面上的盐分较高,致使此剖面上的盐分值较低,为 16.64 ds/cm,不是剖面内盐分的最高值;综合比较知随蒸发历时的增加盐分在剖面底部积聚最多。

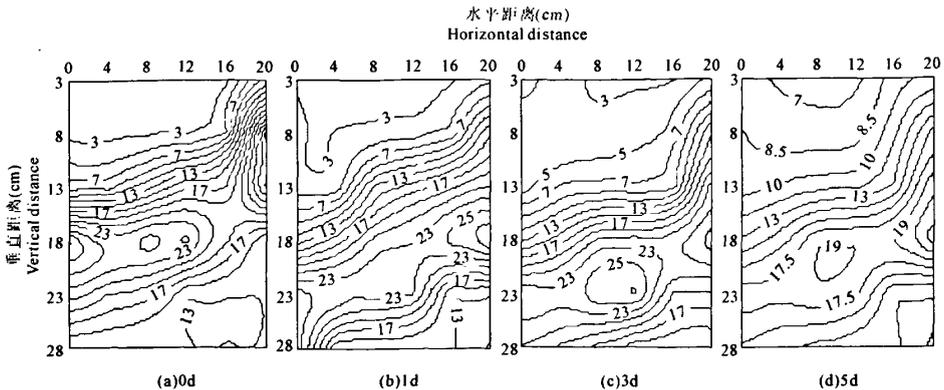


图 7 不同蒸发时间含盐量 (ds/cm) 剖面分布

Fig.7 Distribution of soil salt content profile in different evaporation time

2.4.2 蒸发结束时不同覆膜开孔率下土壤剖面含盐量分布 覆膜能起到抑制土面蒸发,相应减小地表返盐的重要作用。蒸发相同天数后(5 d),不同覆膜开孔率下剖面盐分转移的动态分布见图 8,由图 8 可知:随着覆膜开孔率的增加垂直土层 8 cm 以上剖面上盐分等值线数值增加明显,由全覆膜(0%)下的 4.5 ds/cm 的等值线变化至 53.17% 开孔率下的 8 ds/cm 的等值线;土体剖面中下部的盐分等值线随着覆膜开孔率的增加逐渐向远离滴头的斜下方转移,如 19~21 ds/cm 的等值线随着覆膜开孔率的增

加一直向剖面的深处方向转移,原因一方面是水分在土体内继续向剖面深处入渗带入盐分,另一部分是覆膜开孔率增大,表层返盐量增加,由盐分平衡土体剖面中下部的盐分就降低,同一深度处的盐分值减小,盐分则在剖面湿润锋处再积聚;土壤的含盐量初始值为 13.12 ds/cm,随着覆膜开孔率的增大,13 ds/cm 等值线的位置为降低,说明脱盐区的范围在增加,脱盐区只是相对土壤初始值来说的,脱盐区的盐分值是否适合作物的生长还得看作物的耐盐度情况。

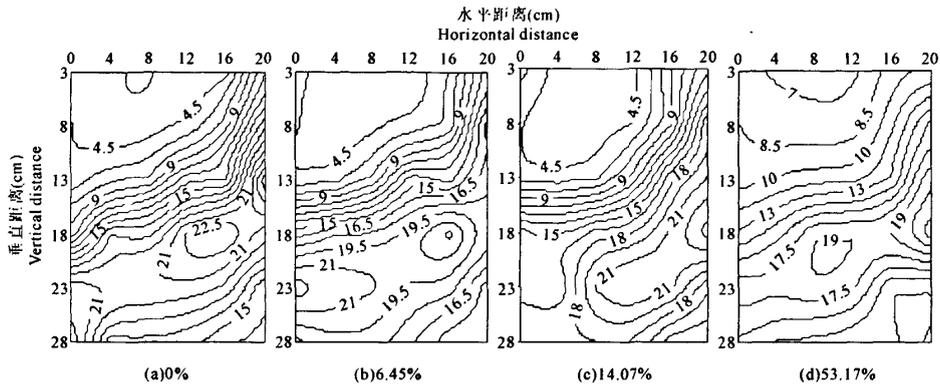


图 8 试验结束时含盐量(ds/cm)剖面分布

Fig. 8 Distribution of soil salt content profile at the end of experiment

2.5 不同覆膜开孔率下表层返盐量的变化特征

2.5.1 表层返盐量与覆膜开孔率的关系 由上分析可知不同覆膜开孔率下脱盐区在土体剖面的上层,随着开孔率增大盐分在表层的增加量加大,土体在中下部盐分减小,故在蒸发条件下表层返盐对作物生长有一定的影响,有必要对不同膜孔覆盖度下的表层返盐进行分析。由以上分析知各覆膜开孔率

下垂直 8 cm 以上土层内返盐明显,取垂直 8 cm 以上土层平均盐分在滴灌结束时盐分的增加量作为表层返盐量,图 9(a)给出了蒸发结束时(5 d)表层返盐量随覆膜开孔率的变化曲线。由 9(a)图知,随着覆膜开孔率的增加表层的返盐量增大,从折线的斜率来看,覆膜开孔率小于 14.07% 时返盐量增加速率较大,大于 14.07% 开孔率下返盐量增加速率减小。

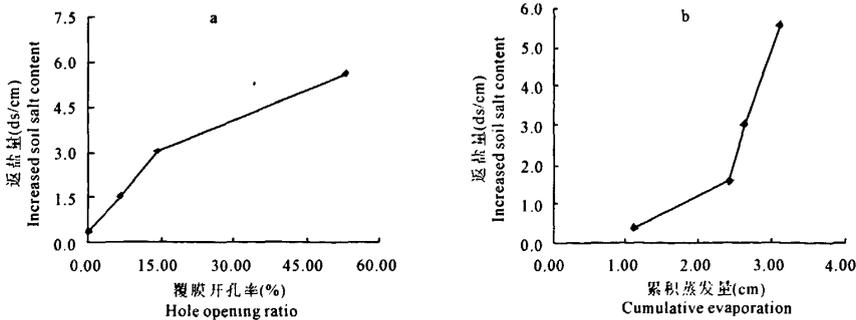


图 9 表层返盐量随覆膜开孔率与累积蒸发量的变化

Fig. 9 Change of soil salt content in surface layer varying with hole opening ratio and cumulative evaporation

2.5.2 累积蒸发量与返盐量间的关系 滴灌结束时由于水分滴入土壤使表层盐分远低于初始值,然

而在蒸发条件下随着蒸发历时的延长表层盐分较滴灌结束时又有增加,主要原因是蒸发水汽向上运动

带入一定的盐分积累在表层。图 9(b)给出了累积蒸发量与表层返盐量的关系。由 b 图知:全覆膜下累积蒸发量小,返盐量也小,随着累积蒸发量的增大土壤表层的返盐量也增大较快,但二者间无明显的线性关系。

3 结 论

覆膜开孔为一特殊的土壤水分运移的上边界,研究其在蒸发条件下湿润锋、水盐运移情况的二维变化,对了解膜孔蒸发对滴灌条件下土体水盐运移的作用提供理论参考。

1) 滴头下方垂直剖面上,蒸发结束时随着覆膜开孔率的增大湿润锋运移距离减小;同一覆膜开孔率下随着蒸发时间的延长垂直湿润距离增大,在蒸发 1 d 时湿润距离的增加量最大,此后逐渐降低。

2) 不同蒸发历时下土体剖面的上部含水量变化较大,尤其是表层变化量最大,从蒸发 0 d 至 5 d 剖面含水量等值线逐渐向四周推移,剖面底部边侧的含水量有增加,内部含水量在减小,在蒸发 5 d 时效果最明显,这是由于土壤水分在土体内的即有上升的蒸发过程又有向下的入渗过程。

3) 蒸发结束时土体剖面上同一位置处含水量随着开孔率的增大在减小,开孔率大,蒸发的水量越多,土体内含水量就越小;在土体剖面的底部距离滴头较远的外侧等值线稍有增大,是土体内水分在重力势作用下向外入渗的结果。

4) 覆膜开孔率下土体剖面上的累积蒸发量随时间的变化规律符合 Gardner 裸土蒸发理论,累积蒸发量与蒸发时间的开平方呈线性关系,随着覆膜开孔率的增大,直线的斜率在增大;累积蒸发量的增量与覆膜开孔率呈幂函数关系。

5) 同一覆膜开孔率下,随着蒸发时间延长土体剖面内的盐分呈现向表层和底部范围增加,剖面中部的含盐量相应地减小的动态变化过程;盐分在剖面底部湿润锋处累积。

6) 蒸发结束时,随着覆膜开孔率的增加垂直土层 8 cm 以上剖面上盐分等值线数值增加明显,土体剖面中下部的盐分等值线随着覆膜开孔率的增加逐渐向远离滴头的斜下方运移;脱盐区范围随着覆膜开孔率的增加也有增加。

7) 随着覆膜开孔率的增加土体表层的返盐量增大,当覆膜开孔率小于 14.07% 时返盐量增加速率较大。随着累积蒸发量的增加表层的返盐量亦增加,但二者间的相关性不显著。

参 考 文 献:

- [1] 王荣堂,张竹青,王有宁.地膜覆盖对蒸腾蒸发的影响[J].湖北农学院学报,2002,22(2):101—103.
- [2] Quezada M, Maria R, Mongolia L, et al. Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop[J]. Mexico:TERRA, 1995, 13:136—147.
- [3] Mohapatra B K, Lenka D, Naik D. Effect of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize[J]. Annals of Agric Res, 1998, 19: 210—211.
- [4] 沈荣开,邓世鹏,张瑜芳,等.不同含水率情况下透明塑膜覆盖增温效应的研究[J].水科学进展,1999,10(4):365—374.
- [5] 李新举,张志国,李永昌,等.秸秆覆盖对盐渍土水分状况影响的模拟研究[J].土壤通报,1999,30(4):176—177.
- [6] 王 康,黄介生.塑料薄膜覆盖时土壤内水热传输模拟[J].灌溉排水,1999,18(1):32—38.
- [7] 吴从林,黄介生,沈荣开.地膜覆盖条件下 SPAC 系统水热耦合运移模型的研究[J].水利学报,2000,11:89—96.
- [8] Gardner H R, Gardner W R. Relation of water Application to evaporation and storage of soil water[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1969, 33: 192—196.
- [9] Lascano R J, van Bavel C H M. Simulation and measurement of evaporation from a bare soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50:1127—1133.
- [10] 李 毅,王全九,王文焰.覆膜开孔土壤蒸发的水盐分布特征及运移规律研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):187—193.
- [11] 李 毅,王全九,王文焰.覆膜开孔土壤蒸发实验研究[J].应用生态学报,2005,16(3):445—449.
- [12] 李 毅,王文焰,王全九.等温与非等温条件下水盐运动特征的比较[J].水土保持学报,2004,18(6):16—20.
- [13] 李 毅,邵明安,王文焰.覆膜不同开孔程度蒸发条件下土壤水热变化动态研究[J].土壤学报,2004,41(3):387—393.
- [14] 李 毅,邵明安,王文焰.不同灌水定额条件下的覆膜开孔蒸发实验研究[J].水科学进展,2004,15(3):357—363.
- [15] 门 旗,李 毅,冯 广,等.地膜覆盖对土壤间蒸发影响的研究[J].灌溉排水学报,2003,22(2):17—20.
- [16] 许 萱.旱地农业覆盖栽培技术[M].北京:农业出版社,1989: 33—36.
- [17] Gardner W R. Solutions of the flow equation for the drying of soils and other porous media[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1959, 23:183—187.

Characteristics of evaporation from perforated plastic film in drip irrigation under film mulching in arid areas

WANG Chun-xia¹, WANG Quan-jiu^{1,2}, ZHUANG Liang³, SHAN Yu-yang², ZHANG Ming³

(1. Institute of Water Resources, Xi'an University Technology, Xi'an, Shanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shanxi 712100, China;

3. Xinjiang Institute of Water Conservation and Hydraulic Power, Wulumqi, Xinjiang 830049, China)

Abstract: Plastic film mulching has been widely used in crop planting in arid areas, but due to the seeding holes and other factors, entire mulching can not be performed in the field, and this must affect the distribution of soil water and salt content. Evaporation was simulated with different holes opening ratio to study the dynamic distribution characteristics of wetness van and soil water and salt transfer with different holes opening ratio in evaporation process. The results indicated that vertical wetness distances were increasing with the elongation of evaporation time, and the increment was the biggest after a day of evaporation; The vertical wetness distances were depressed with holes opening ratio increasing at the end of evaporation. The soil water content was inducing with the extension of evaporation time, it was the most rapid in the top layer, but it increased in the bottom of soil profile; The soil salt content was increasing in top and bottom layers. At the end of evaporation the soil water content was reducing with hole opening ratio increasing at the same profile position, but the increased salt content accumulated at top layer was getting higher with hole opening ratio increasing, and the soil salt content of lower profile was moving along inclined below direction, and assembled in the wetness van. There was fine linear relationship between cumulative evaporation and evaporation time, and there was also powerful function relationship between cumulative evaporation increment and open holes ratio.

Keywords: hole opening ratio; wetness van; cumulative evaporation; increased salt content accumulated

(上接第 6 页)

The dynamic change of soil water content in root zones of maize under localized supplies of water and nitrogen fertilizer

HU Tian-tian¹, ZHANG Mei-ling², KANG Shao-zhong^{1,3}

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Survey and Design of Water Conservancy and Hydropower in Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 3. Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The soil water content in different root zones under localized supplies of water and nitrogen fertilizer was studied with maize grown in split-root containers. Maize was irrigated in both halves of the pot (C) or water was alternatively supplied to two halves of the pot (alternative partial root-zone irrigation treatment, A). Urea was applied to both halves of the pot (J) or was fertilized to one half of the pot while the other half was kept without N fertilizer (partial root-zone fertilization treatment, P), all with four levels of fertilization, i. e. zero, low, medium and high. For J-fertilization, the soil water content (SWC) was the same for two root zones under C-irrigation while SWC of two root zones changed alternatively and SWC of the irrigated zone was always larger than that of the non-irrigated zone under A-irrigation, and this was more obvious after irrigation. For both C-irrigation and A-irrigation, N fertilization increased the residual SWC before irrigation. Moreover, both the increment and duration rose with N rates. For C-irrigation, the residual SWC in two root zones was equal under J-fertilization while the residual SWC of the fertilized zone was significantly larger than that of the non-fertilized zone under P-fertilization. Under A-irrigation and P-fertilization, both partial root-zone irrigation and partial root-zone fertilization caused the asymmetry of SWC in two root zones. Moreover, the effect of partial root-zone irrigation was larger than that of partial root-zone fertilization for low N rate and the early time after fertilization, and the effect of partial root-zone fertilization was larger than that of partial root-zone irrigation for medium and high N rates and the late time after fertilization. Higher N fertilization could increase the capacity of soil water conservation for both two irrigation and two fertilization methods.

Keywords: partial root-zone irrigation; partial root-zone fertilization of nitrogen; soil water content; different root zones; maize