

覆膜开孔蒸发条件下斥水土壤水盐变化规律*

陈世平¹ 李 毅² 高金芳³

(1. 广西梧州水利电力设计院,梧州 543002; 2. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3. 西藏农牧学院水利土木学院,林芝 860000)

【摘要】 通过不同斥水度土壤覆膜开孔下的室内蒸发试验,分析了3种土壤不同斥水度和覆膜开孔影响下,土壤水分和盐分的运动特征。试验结果表明,覆膜开孔条件下不同斥水度土壤累积蒸发量与时间平方根呈正比,土壤斥水性抑制土壤水分蒸发;单位膜孔面积的单位深度累积蒸发量(E_r)随覆膜开孔率增大而急剧减小,与覆膜开孔率的变化关系可以用幂函数表示;随着土壤斥水度增大,剖面水分蒸发幅度减小;开孔率越大,剖面含盐量变化幅度越大,而斥水度对剖面含盐量影响不明显。

关键词: 土壤斥水性 覆膜开孔率 累积蒸发量 水盐运移

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)05-0086-06

Evaporation Experiment on Different Water Repellent Soils
under Perforated Plastic Mulch

Chen Shiping¹ Li Yi² Gao Jinfang³

(1. Guangxi Wuzhou Design Institute of Water Conservancy and Electric Power, Wuzhou 543002, China

2. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3. Institute of Water Resources and Civil Engineering, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China)

Abstract

Three different soil textures, soil water and salt movement characteristics under the different water repellencies and open hole ratios of plastic mulch conditions were studied by evaporation experiment on different water repellent soils under perforated plastic mulch. The results showed that cumulative evaporation was proportional to square root of time on different water repellent soils under perforated plastic mulch; evaporation of soil was inhibited by the soil water repellency; cumulative evaporation per unit hole area film(E_r) rapidly decreased when the open hole ratios increased, power function of E_r and the open hole ratios were established; variation rate of soil evaporation on vertical profile decreased when soil water repellency increased; the more open holes ratio was, the more variation rate of salt on vertical profile would be, and the degree of soil water repellency had weak effect on soil salt.

Key words Soil water repellency, Open holes ratio of plastic mulch, Cumulative evaporation, Transport of soil water and solute

引言

土壤斥水性是指水分不能或很难湿润土壤颗粒表面的物理现象。具有斥水性的土壤称为斥水土

壤^[1]。土壤斥水性会延缓或阻止土壤水分入渗,降低土壤持水能力,产生土壤表面径流,造成土壤侵蚀,影响水盐运移机制,最终导致土地生产力降低。国外对土壤斥水性的研究早在1917年就有记

收稿日期: 2010-04-20 修回日期: 2010-07-14
* 国家自然科学基金资助项目(50709028)
作者简介: 陈世平,助理工程师,主要从事农业水土工程研究,E-mail: spenser2@163.com

录,但直到 20 世纪 60 年代才开始围绕由火引发的土壤斥水性问题,以及管理和改良斥水土壤的策略问题进行研究^[2]。20 世纪 70 年代土壤斥水性引起普遍关注,特别是斥水性对作物生长的影响^[3~4]。20 世纪 80 年代对斥水性的研究不仅集中关注斥水性本身,而且在描述难湿润土壤的水分运动方面获得了重大进展。20 世纪 90 年代在澳大利亚阿德莱德举行的地区性会议和佩思举行的国家研讨会上全面总结了土壤斥水性产生的原因、物理化学性质和改良措施,探讨了斥水性分级指标、生物方法控制斥水性、土壤添加剂改善斥水性、使用沟种技术改善入渗、农民管理斥水土壤的经验和斥水性对农场经营的经济影响等问题。

国内关于土壤斥水性问题的研究不多^[5~7]。国内外对斥水土壤的研究中还未涉及覆膜开孔条件下土壤斥水性对水盐运移影响的研究。本文以十八烷基伯胺为斥水材料,对盐碱土、砂土和壤土进行处理形成不同斥水度土样,进行覆膜开孔蒸发试验。分析不同斥水程度土壤斥水性对水分、盐分运移的定量和定性关系,不同覆膜开孔率和土体剖面的含盐量分布规律,综合分析斥水性和覆膜开孔率两因素对土壤水分、盐分的运移影响特征。

1 材料与方法

1.1 试验系统

蒸发试验系统主要包括有机玻璃土柱、加热系

统和称量系统,试验装置如图 1 所示。有机玻璃土柱内直径为 8.4 cm,壁厚 0.2 cm,高度为 50 cm。加热系统采用 250 W 远红外灯,蒸发试验过程中土表与供热源间距为 25 cm。选定 6 个不同的覆膜开孔率同时进行蒸发试验,土表覆膜开孔率为覆膜开孔总面积与土体横截表面积之比^[8~10],选定的表土覆膜开孔率分别为 0 (全覆膜)、0.69%、2.78%、7.71%、18.7% 和 100% (不覆膜),其中开孔率为 0.69% 时孔径为 1 mm,2.78%、7.71% 和 18.7% 时孔径均为 2 mm,膜孔呈梅花状等间距分布。

1.2 供试土样的基本性质

供试土壤分别取自陕西杨凌壤土、陕西杨凌渭河砂土和新疆玛纳斯县的盐碱土。取样深度均为表层 0~30 cm。土样取回后经风干、碾压、粉碎后过 2 mm 筛。土样基本物理性质如表 1 所示。

1.3 试验方法

试验在西北农林科技大学农业水土工程教育部重点实验室进行。土壤斥水性测定方法采用滴水穿透时间法,即用 一个标准的滴定管将 6 滴蒸馏水(每

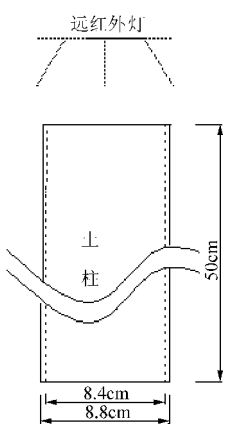


图 1 蒸发试验装置
Fig.1 Experimental system graph

表 1 供试土壤的基本物理化学性质
Tab.1 Basic properties of the experimental soil

土壤	质量分数/%			土壤质地 (国际制)	容积密度 /g·cm ⁻³
	黏粒(<0.002 mm)	粉粒(0.002~0.02 mm)	砂粒(0.02~2 mm)		
砂土	5.00	81.77	13.23	砂土	1.65
壤土	16.12	40.74	43.14	黏壤土	1.40
盐碱土	14.07	46.92	39.01	粉砂质壤土	1.45

滴约 0.05 mL)滴到光滑的土壤样本表面,测定水滴渗入土壤所需要的时间,取 6 滴蒸馏水入渗时间的算术平均值作为每个样品的最终滴水穿透时间。土壤斥水性分级标准采用 Dekker^[11~12]提出的斥水性分类标准,将斥水性分为 5 个等级:不斥水(滴水穿透时间小于 5 s);1 级,轻微斥水性(5~60 s);2 级,强烈斥水性(60~600 s);3 级,严重斥水性(600~3 600 s);4 级,极度斥水性(大于 3 600 s)。

试验采用了不斥水、1 级(轻微斥水性)、3 级(严重斥水性)和 4 级(极度斥水性)4 个等级的斥水度。通过添加斥水材料获得土样的 4 个等级斥水度,斥水材料采用十八烷基伯胺(Octadecylamine),

该斥水材料为白色蜡状固体结晶,具有碱性,纯度为 95%。土样配置方法是:对于陕西杨凌渭河砂土,称取 35 kg 砂土分别配置 7、21、35 g 十八烷基伯胺和适量蒸馏水充分搅拌混匀,然后放到 75℃ 恒温箱干燥 24 h,形成稳定的 1 级、3 级和 4 级斥水度;对于陕西杨凌壤土和新疆玛纳斯县的盐碱土,各称取 30 kg 土样分别配置 20、30、60 g 十八烷基伯胺和适量蒸馏水充分搅拌混匀,然后放到 75℃ 恒温箱干燥 24 h,形成稳定的 1 级、3 级和 4 级斥水度。不斥水土样为不添加斥水材料的土壤。

将土样配置成近饱和状态,装入土柱,并沿土表覆膜。打开远红外灯立即开始加热蒸发试验。每天

在固定的时刻对土柱进行称量,测定其累积蒸发量。蒸发试验历时 15 d,蒸发结束后,沿土柱垂直剖面在土柱不同深度处取土,用干燥法测定土样含水率。对于盐碱土,取烘干土样 10 g,以土水比 1:5 配制浸提液,振荡 30 min 后静置 24 h,用移液管抽取 20 mL 溶液后,采用水浴干燥后,称量,可得出土壤含盐量。

2 结果与分析

2.1 累积蒸发量的变化规律

土面蒸发直接影响土体水分的变化,在没有地下水位或者地下水位埋藏很深不能对蒸发产生影响的情况下,蒸发使土壤水不断减少。由于蒸发主要

受控于大气蒸发能力和土壤供水能力,在不同的覆膜或开孔条件下,地表土壤水蒸气与大气之间的交换过程有所不同,与覆膜开孔率存在一定关系,因此不同覆膜开孔的土壤蒸发存在差异。研究证实,累积蒸发量与时间平方根呈正比^[13~15],计算公式为

$$E = \alpha t^{1/2}$$
(1)

式中 E ——累积蒸发量,cm

α ——蒸发系数

经分析,覆膜开孔条件下不同斥水度土壤累积蒸发量随时间变化趋势符合上述关系。砂土在 4 个斥水度下累积蒸发量随时间平方根变化趋势,如图 2 所示。

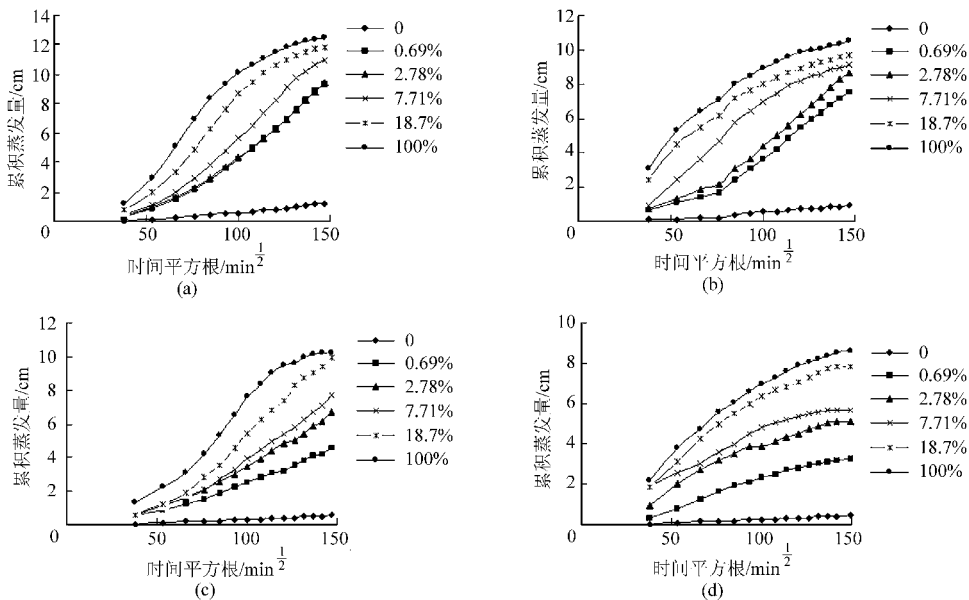


图 2 砂土在 4 个斥水度下累积蒸发量随时间平方根变化

Fig. 2 Cumulative evaporation variation with time square root of sandy soil under four repellency degrees
(a) 不斥水 (b) 1 级斥水度 (c) 3 级斥水度 (d) 4 级斥水度

由图 2 可见,不同覆膜开孔率下的累积蒸发量随开孔率的增大而增大,随蒸发持续时间增长而增大。不覆膜土柱累积蒸发量最大,全覆膜土柱的累积蒸发量一直保持在一个较小值,变化不大。不同斥水度条件下土壤在不同覆膜开孔率条件下的累积蒸发量随时间变化趋势基本一致,斥水度越大,蒸发系数增加幅度越小。对于不同斥水度和覆膜开孔率,蒸发系数不同。根据实测资料计算得出的覆膜开孔率和斥水度影响下的蒸发系数 α 如表 2 所示。

由表 2 可见:对不同斥水度的土壤,开孔率为零的蒸发系数 α 都不为零,其原因在于土表温度较高使土壤水气化,而随着蒸发时间的延长水蒸气含量在不断增加,在蒸发过程和取土时水蒸气向外散失引起误差;当覆膜开孔率由零增至 100% 时,不同斥水度土壤的蒸发系数逐渐增加。在相同覆膜开孔率

条件下,同一种土壤随斥水度增大蒸发系数逐渐减小,这说明土壤斥水性抑制土壤水分蒸发,这一结论与 Bachmann 等^[14]的结论是一致的。在相同斥水度和同一覆膜开孔率条件下,蒸发系数由大到小为砂土、壤土、盐碱土。

以全覆膜蒸发系数 α_0 为基础值,将表 2 中不同斥水度土壤在不同覆膜开孔率蒸发条件下得出的蒸发系数与 α_0 相减,可得 $\alpha - \alpha_0$,不同斥水度土壤的 $\alpha - \alpha_0$ 同样随覆膜开孔率的增大而增大。不同斥水度的 $\alpha - \alpha_0$ 与覆膜开孔率 u 的关系可以用对数关系表示,对表 2 的数据作相关分析,得出的曲线关系方程如表 3 所示。

由表 3 可见,不同斥水度土壤的 $\alpha - \alpha_0$ 随 u 的变化趋势呈对数关系,且相关系数均大于 0.851 7,土壤斥水性越大, $\alpha - \alpha_0$ 随开孔率的变化幅度越小。

表 2 不同覆膜开孔率和斥水度影响下的蒸发系数 α

Tab. 2 Evaporation coefficients α influenced by open hole ratios and water repellent soils							
土壤	斥水度/级	开孔率/%					
		0	0. 69	2. 78	7. 71	18. 70	100
砂土	不斥水	0. 006 8	0. 051 6	0. 051 7	0. 065 1	0. 081 6	0. 091 5
	1	0. 005 5	0. 043 2	0. 050 1	0. 064 9	0. 070 3	0. 080 6
	3	0. 003 2	0. 027 1	0. 038 7	0. 043 7	0. 059 2	0. 071 9
	4	0. 002 7	0. 022 5	0. 037 5	0. 043 5	0. 058 5	0. 064 5
壤土	不斥水	0. 021 9	0. 028 8	0. 047 5	0. 053 0	0. 061 4	0. 066 5
	1	0. 021 0	0. 033 1	0. 047 3	0. 051 7	0. 059 3	0. 063 4
	3	0. 020 1	0. 037 0	0. 046 6	0. 048 5	0. 054 6	0. 056 6
	4	0. 010 7	0. 024 5	0. 031 9	0. 047 5	0. 050 5	0. 056 3
盐碱土	不斥水	0. 008 9	0. 027 8	0. 040 9	0. 049 3	0. 059 6	0. 067 1
	1	0. 007 9	0. 025 1	0. 030 3	0. 035 9	0. 037 6	0. 040 4
	3	0. 006 2	0. 026 6	0. 028 5	0. 032 2	0. 035 8	0. 039 6
	4	0. 004 7	0. 021 1	0. 025 7	0. 030 6	0. 032 5	0. 033 4

表 3 覆膜开孔率 u 与 $\alpha - \alpha_0$ 的相关关系
Tab.3 Relation between open hole ratios u and $(\alpha - \alpha_0)$

土壤	斥水度/级	$\alpha - \alpha_0 = A \ln u + B$		
		A	B	R^2
砂土	不斥水	0. 009 0	0. 045 3	0. 907 1
	1	0. 008 8	0. 040 2	0. 981 0
	3	0. 008 7	0. 024 7	0. 976 1
	4	0. 008 7	0. 022 9	0. 958 0
壤土	不斥水	0. 006 5	0. 020 8	0. 959 3
	1	0. 006 1	0. 020 1	0. 935 9
	3	0. 005 0	0. 018 7	0. 851 7
	4	0. 005 0	0. 008 7	0. 970 7
盐碱土	不斥水	0. 008 1	0. 025 4	0. 977 4
	1	0. 003 2	0. 020 5	0. 941 0
	3	0. 002 8	0. 019 9	0. 975 1
	4	0. 002 6	0. 016 4	0. 891 8

单位深度累积蒸发量 E_{du} 为不同时刻累积蒸发量 E 与土体高度 H 的比值,将某一覆膜开孔率条件下的单位深度累积蒸发量与覆膜开孔总面积之比定义为单位膜孔面积的单位深度累积蒸发量 E_r ^[8~9,16]。实测资料分析表明, E_r 随覆膜开孔率增大而急剧减小;覆膜开孔率为 0 ~ 100% 时,不同质地土壤斥水度条件下的 E_r 数量级变化较大,对于初始水盐均匀的覆膜蒸发, E_r 随覆膜开孔率变化的关系采用乘幂关系拟合的相关系数很高。因此,仍采用该函数拟合斥水度不同的 E_r 随覆膜开孔率变化趋势

$E_r = Fu^S$

(2)

式中 F 、 S ——拟合参数
 F 为开孔率为零时的单位深度累积蒸发量; $S < 0$;不同斥水度条件下 F 、 S 的拟合值如表 4 所示。

表 4 $E_r - u$ 幂函数关系的参数随土壤斥水度变化值
Tab. 4 Parameter variations with different water repellent soils for $E_r - u$ power function

土壤	斥水度/级	$E_r = Fu^S$		
		F	S	R^2
砂土	不斥水	6. 330	-0. 461	0. 876
	1	5. 200	-0. 451	0. 866
	3	4. 134	-0. 419	0. 882
	4	3. 173	-0. 416	0. 894
壤土	不斥水	5. 548	-0. 562	0. 952
	1	5. 378	-0. 564	0. 949
	3	5. 063	-0. 570	0. 946
	4	4. 214	-0. 538	0. 946
盐碱土	不斥水	4. 609	-0. 496	0. 933
	1	3. 371	-0. 528	0. 927
	3	3. 327	-0. 523	0. 918
	4	2. 762	-0. 487	0. 902

由表 4 可见,不同斥水度土壤的 F 随土壤斥水等级的增加而减小,而参数 S 变化不大,由于式(2)中指数为负,因此开孔率在 0 ~ 100% 时,开孔率越小, E_r 越大。

2.2 覆膜开孔蒸发结束后剖面水分分布规律

蒸发主要受控于大气蒸发能力和土壤供水能力,在不同的覆膜或开孔条件下,地表土壤水蒸气与大气之间的交换过程有所不同,与覆膜开孔率存在一定关系。由于土壤斥水性一定程度上抑制土壤水

分蒸发,所以土壤斥水度与覆膜开孔率共同影响着土壤水分的蒸发过程。砂土、壤土、盐碱土在不斥水

和 4 级斥水条件下覆膜开孔蒸发结束后剖面含水率分布规律如图 3 所示。

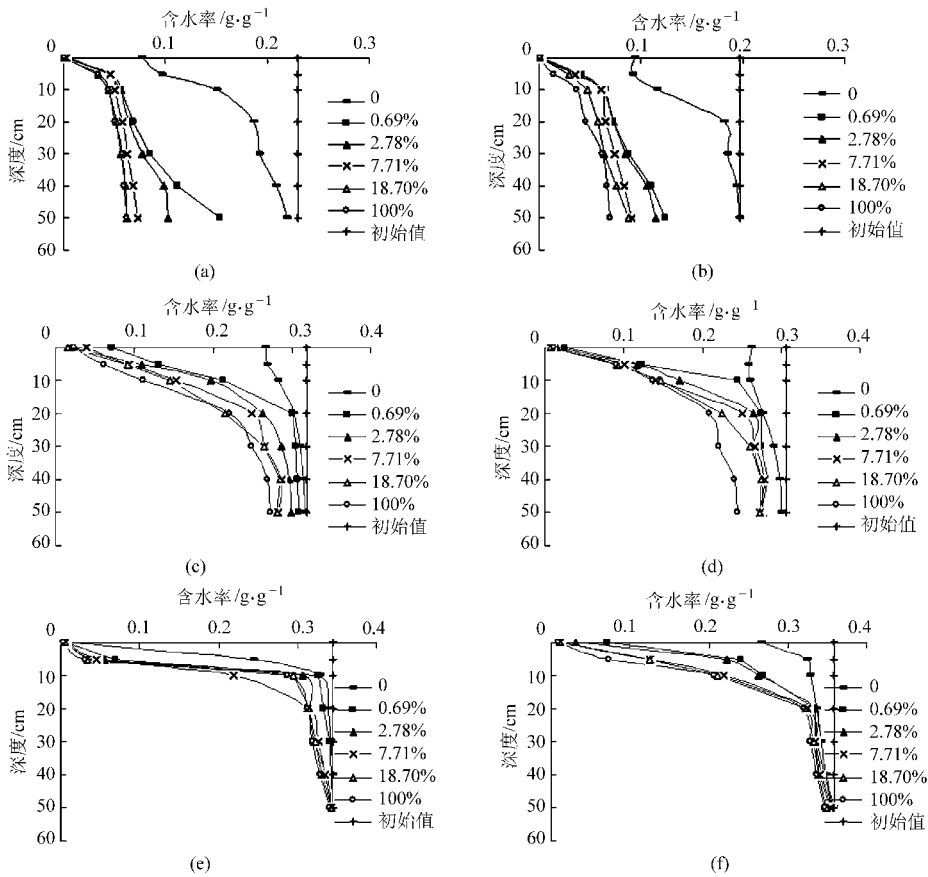


图 3 覆膜开孔蒸发含水率分布

Fig. 3 Soil water content distribution for evaporation under different aperture ratios

(a) 不斥水砂土 (b) 4 级斥水砂土 (c) 不斥水壤土 (d) 4 级斥水壤土 (e) 不斥水盐碱土 (f) 4 级斥水盐碱土

如图 3 可见,蒸发结束后,无论是覆膜开孔还是不覆膜,土壤剖面水量比初始时均有不同程度的损失,而且覆膜开孔率越大,土壤蒸发量越多;随着土壤斥水度增大,剖面水分蒸发变化幅度减小;土壤质地不同,剖面含水率随深度变化也有所不同,在开孔条件下,砂土剖面含水率变化深度为 0 ~ 50 cm,而壤土变化深度为 0 ~ 20 cm,盐碱土变化深度为 0 ~ 10 cm。

2.3 覆膜开孔蒸发结束后剖面盐分分布规律

对于强盐碱土来说,蒸发过程中水分向土表移

动将同时改变土壤盐分在剖面上的分布,在湿润的土壤中,土壤盐分溶解在水中随水分迁移,因此随着水分的上升蒸发和水分分散将导致盐分在土壤表面累积。由于剖面盐分是均匀的,因此表土盐分积累会使较深层含盐率降低,如此形成上层一定范围内盐分变化的增加和降低区。而下层土体中水分变化差异很小,盐分变化也相对较小。土柱蒸发结束后不斥水和 4 级斥水土壤剖面含盐量分布如图 4 所示。

如图 4 可知,不同覆膜开孔条件下剖面含盐量最大值均在表层 0 cm。在 0 ~ 5 cm 内随深度增加含

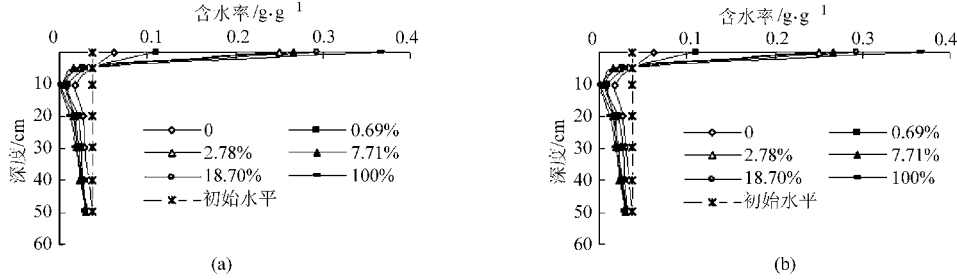


图 4 覆膜开孔蒸发含盐量分布

Fig. 4 Soil salt content distribution, soil salt concentration for evaporation under different aperture ratios

(a) 不斥水 (b) 4 级斥水度

盐量急剧减少,在 5 cm 时降至土体初始含盐水平,剖面含盐量在 10 cm 深度时降至最低,在 10 cm 以下随深度增加剖面含盐量增加缓慢,土柱底部的含盐量接近土体含盐量初始值。开孔率越大,剖面含盐量变化幅度越大,而斥水度对剖面含盐量影响较小。

3 结论

(1)覆膜开孔条件下不同斥水度土壤累积蒸发量与时间平方根呈正比。不同覆膜开孔率下的累积蒸发量随着开孔率的增大而增加,随着土壤斥水度增大,蒸发系数增加幅度减小。在相同斥水度和同一覆膜开孔率条件下,蒸发系数由大到小为砂土、壤土、盐碱土。单位膜孔面积的单位深度累积蒸发量 E_r 随覆膜开孔率增大而急剧减小, E_r 与覆膜开孔率

的关系可以用幂函数表示。

(2)土壤斥水度与覆膜开孔率共同影响土壤水分的蒸发过程,覆膜开孔率越大,蒸发量越多;随着土壤斥水度增大,剖面水分蒸发变化幅度减小;土壤质地不同,剖面含水率随深度变化也有所不同,在开孔条件下,砂土剖面含水率变化深度为 0 ~ 50 cm,而壤土变化深度为 0 ~ 20 cm,盐碱土变化深度为 0 ~ 10 cm。

(3)不同覆膜开孔条件下剖面含盐量最大值均在表层 0 cm。在 0 ~ 5 cm 内随深度增加含盐量急剧减少,在 5 cm 时降至土体初始含盐水平,剖面含盐量在 10 cm 深度时降至最低,在 10 cm 以下随深度增加剖面含盐量增加缓慢,土柱底部的含盐量接近土体含盐量初始值。开孔率越大,剖面含盐量变化幅度越大,而斥水度对剖面含盐量影响不明显。

参 考 文 献

- Mcghie D A. Water repellent soils on farms[R]. Farmnote 117/83, Western Australian Department of Agriculture, 1983.
- Debano L F. Water repellency in soils: a historical overview [J]. Journal of Hydrology, 2000, 231 ~ 232: 4 ~ 32.
- Bond R D. Germination and yield of barley when grown in a water-repellent sand [J]. Agronomy Journal, 1972, 64(3): 402 ~ 403.
- Miller R H, Wilkinson J F. Nature of the organic coating on sand grains of non-wettable golf greens [J]. Soil Science Society of America Journal, 1977, 41(6): 1 203 ~ 1 204.
- 杨邦杰, Blackwell P S, Nicholson D F. 土壤斥水性引起的土地退化、调查方法与改良措施研究[J]. 环境科学, 1993, 15(4): 88 ~ 90.
- 吴延磊, 李子忠, 龚元石. 两种常用方法测定土壤斥水性结果的相关性研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 8 ~ 13.
- 崔敏. 湿润剂对斥水性栽培基质基本理化性质和作物生长状况的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
Cui Min. The influence of wetting agents on physical and chemical properties and plant growth status of water-repellent medium [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 李毅, 邵明安, 王文焰, 等. 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.
- 李毅, 王全九, 王文焰, 等. 覆膜开孔土壤蒸发试验研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 445 ~ 449.
Li Yi, Wang Quanjiu, Wang Wenyan, et al. Soil evaporation under perforated plastic mulch [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3): 445 ~ 449. (in Chinese)
- Li Yi, Shao Ming'an, Wang Wenyan, et al. Open-hole effects of perforated plastic mulches on soil water evaporation[J]. Soil Science, 2003, 168(11): 751 ~ 758.
- Dekker L W, Jungerius P D. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands [J]. Catena, 1990, 18(Supp.): 173 ~ 183.
- Dekker L W, Doerr S H, Klass O Lstindie, et al. Water repellency and critical soil water content in a dune sand [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2001, 65(6): 1 667 ~ 1 674.
- Fritton D D, DonKirkham, Shaw R H. Soil water evaporation, isothermal diffusion, and heat and water transfer [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1970, 34: 183 ~ 189.
- Bachmann J, Horton R, vander Ploeg R R. Isothermal and nonisothermal evaporation from four sandy soils of different water repellency [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2001, 65(6): 1 599 ~ 1 607.
- 高金芳, 李毅, 陈世平. 初始湿度对覆膜开孔蒸发水盐运移的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 220 ~ 223.
- 高金芳, 李毅, 陈世平, 等. 全覆膜开孔蒸发条件下土体高度对水盐运移的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 50 ~ 55.
Gao Jinfang, Li Yi, Chen Shiping, et al. Effects of soil column heights on movement of soil water and soil salt during evaporation under perforated plastic mulch [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 50 ~ 55. (in Chinese)