排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2020 年 8 月 Aug. 2020 | 第 38 卷 第 8 期 Vol.38 No.8

可降解膜覆盖对一维土柱水分蒸发的影响


贾浩

贾浩[1,2],李文昊[1,2*],王振华[1,2],张金珠[1,2],
王久龙[1],丁宏伟[1],许虎[1]
(1. 石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832003; 2. 现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘要: 为解决残膜污染问题、探讨降解膜覆盖对土壤水分蒸发过程的影响规律,开展室内土柱蒸发试验,研究了在 2 种辐射方式(连续、间断)下 5 种覆盖层——CK(无膜);PE(普通地膜厚 0.008 mm);BD1(A 型降解地膜厚 0.010 mm,诱导期 45 d);BD2(B 型降解地膜厚 0.010 mm,诱导期 60 d);BD3(C 型降解地膜厚 0.012 mm,诱导期 60 d)对土壤水分蒸发特性的影响.结果表明:地膜覆盖对土壤水分蒸发影响显著,连续辐射蒸发下,处理 CK 的累积蒸发量为 34.2 mm,与 CK 相比处理 PE,BD1,BD2,BD3 的抑蒸率分别为 31.22%,15.61%,15.94%和 15.35%;间断辐射蒸发下,处理 CK 的累积蒸发量为 32.5 mm,与 CK 相比处理 PE,BD1,BD2,BD3 的抑蒸率分别为 25.84%,15.69%,16.74%和 12. 15%,抑制作用从大到小依次为 PE,BD2,BD1,BD3,CK.在相同的辐射方式下,降解膜处理累积蒸发量的 Rose 模型拟合效果优于其他处理.从 2 种辐射方式下降解膜的蒸发特性和其拟合效果得出,B 型完全生物降解地膜相对于 A,C 型完全生物降解地膜,能更有效地抑制水分的蒸发散失,其模型拟合效果更好.

关键词: 可降解膜;水分蒸发;累积蒸发量;Rose 蒸发模型
中图分类号: S152.7;X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2020)08-0835-06
Doi: 10.3969/j.issn.1674-8530.19.0248

贾浩,李文昊,王振华,等. 可降解膜覆盖对一维土柱水分蒸发的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(8):835-840,854.
JIA Hao, LI Wenhao, WANG Zhenhua, et al. Effect of degradable film covering on water evaporation of one-dimensional soil column [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2020, 38(8):835-840,854.(in Chinese)

Effect of degradable film covering on water evaporation of one-dimensional soil column

JIA Hao[1,2], *LI Wenhao*[1,2*], *WANG Zhenhua*[1,2], *ZHANG Jinzhu*[1,2],
WANG Jiulong[1], *DING Hongwei*[1], *XU Hu*[1]
(1. College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 2. Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation Corps, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: In order to solve the problem of residual film pollution and explore the influence law of degradable film coverage on the soil water evaporation process, the indoor soil column evaporation test was carried out, and the effects of five types of cover layers—CK(no film), PE(ordinary ground film thickness 0.008 mm), BD1(type A degradation film thickness 0.010 mm, 45 d of induction period), BD2(type B degradation film thickness 0.010 mm, 60 d of induction period) and BD3(type C degradation film thickness 0.012 mm, 60 d of induction period) on soil water evaporation characteristics in

收稿日期: 2019-09-20; **修回日期:** 2019-11-26; **网络出版时间:** 2019-12-27
网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20191226.1730.002.html
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51869027,51869028);自治区研究生科研创新资助项目(XJ2019G100)
第一作者简介: 贾浩(1993—),男,甘肃山丹人,硕士研究生(jh931117@163.com),主要从事节水灌溉理论与技术研究.
通信作者简介: 李文昊(1988—),男,内蒙古赤峰人,实验师(Lwh8510012@163.com),主要从事节水灌溉理论与技术研究.

two radiation modes (continuous and intermittent) were studied. The results show that film mulching has a significant effect on soil water evaporation. Under continuous radiation evaporation, the cumulative evaporation of CK treatment is 34.2 mm. Compared with CK, the evaporation inhibition rates of PE, BD1, BD2, and BD3 treatments are 31.22%, 15.61%, 15.94%, and 15.35%, respectively. Under intermittent radiation evaporation, the cumulative evaporation of CK treatment is 32.5 mm. Compared with CK, the evaporation inhibition rates of PE, BD1, BD2, and BD3 treatments are 25.84%, 15.69%, 16.74%, and 12.15%, respectively. The inhibitory effect is as follows from large to small: PE, BD2, BD1, BD3, CK. In the same radiation method, the Rose model's fitting effect of the cumulative evaporation of the degraded film treatment is better than that of other treatments. From the evaporation characteristics of the degraded film in the two radiation modes and its fitting effect, it can be concluded that the B-type completely biodegradable film is more effective in inhibiting water evaporation loss than the A- and C-type completely biodegradable film, and its model fitting effect is better.

Key words: degradable film; water evaporation; cumulative evaporation; Rose's evaporation model

随着覆膜保墒技术的广泛应用,农膜覆盖耕作带来良好的社会和经济效益,具有明显的节水、保温、增产、控盐等特点[1],同时也引发了残膜污染的问题.目前中国农膜使用量达136.2万t,覆膜面积达17 657.0万hm^2,但残膜回收率低,导致残留在耕作层的地膜超过覆膜总量的30%.而这些残膜极难在自然条件下降解[2],在土壤中会存在100 a以上.残膜随多年耕作而累积,致使土壤入渗阻力增加[3]、田间蓄水量减少[4].李元桥等[5]研究发现,当残膜达到720 kg/hm^2时,残膜区产生优势流.从可持续发展的角度,由覆膜引起的"白色污染"所导致的减产幅度将等于或超过其增产幅度.

为了解决普通地膜带来的"白色污染",研究使用可降解地膜是一种有效途径.目前大量研究结果表明,可降解膜覆盖能发挥保温保墒、提肥增效、减轻土壤盐渍化等综合效应.而国内外专家学者对可降解地膜在田间进行研究,赵岩等[6]认为可降解地膜最终会代替普通地膜.其他学者对不同厚度和不同材料的可降解地膜也进行了详细研究.而对于可降解膜覆盖下的土柱水分入渗、蒸发的研究较少,韩胜强等[7]对可降解膜覆盖下一维土柱的水分蒸发进行直观性分析.学者对土柱水分入渗蒸发进行相关研究,王志超等[8]通过室内试验研究不同残膜量对砂壤土和砂土水分入渗及累积蒸发量等相关方面的影响,得出Rose蒸发模型更适用于农膜残留土壤累积蒸发量的估算.

目前对于农膜残留影响土壤水迁移机理的研究较多,同时对于可降解地膜研究虽多,但主要涉及可降解膜增产、增效以及不同种类和厚度等方面.而对于可降解地膜覆盖对土壤蒸发速率与蒸发量以及蒸发过程中水分再分布的研究相对较少;同时针对可降解地膜在新疆绿洲区应用研究很少.因此,文中通过室内土柱进行可降解地膜对土壤水分蒸发特性影响的研究,设置红外灯光连续和间断照射来模拟持续高温和昼夜交替状况下的土壤水分蒸发,研究可降解膜覆盖下土壤水分蒸发的机理,旨在为可降解膜覆膜滴灌和推广应用提供理论基础,保障绿洲灌区农业生态和经济可持续发展.

1 材料与方法

1.1 供试土壤与地膜

室内土柱试验于2017年5—11月在现代节水灌溉兵团重点实验室暨石河子大学节水灌溉试验站进行.土柱试验所需的材料有采自石河子市121团农田表层0~30 cm土壤,其物理参数见表1,表中ω为质量分数,θ为风干体积含水率,γ为容重.试验装置包括马氏瓶(高65 cm,容积5 102.5 cm^3);5 mm厚有机玻璃管制作而成的土柱(半径10 cm,高35 cm);支架和滤纸;275 W远红外灯、蒸发皿(半径与土柱相同)和型号为FG-30KAM精密台秤(精度0.000 1 kg);供试完全生物降解地膜(广州金发科技股份有限公司)均采用新疆地区市场销售且大面积应用的聚乙烯塑料地膜,由新疆天业公司生产.

表1 供试土壤物理参数

Tab.1 Physical parameters of tested soil

ω/%			土壤质地	θ/($cm^3 \cdot cm^{-3}$)	γ/($g \cdot cm^{-3}$)
<0.002 mm 黏粒	[0.002,0.050] mm 粉粒	(0.050,0.250] mm 沙粒			
15	23	62	砂壤土	0.024	1.48

1.2 试验设计及装置

为减少土壤中的水分散失,通过一些措施阻断

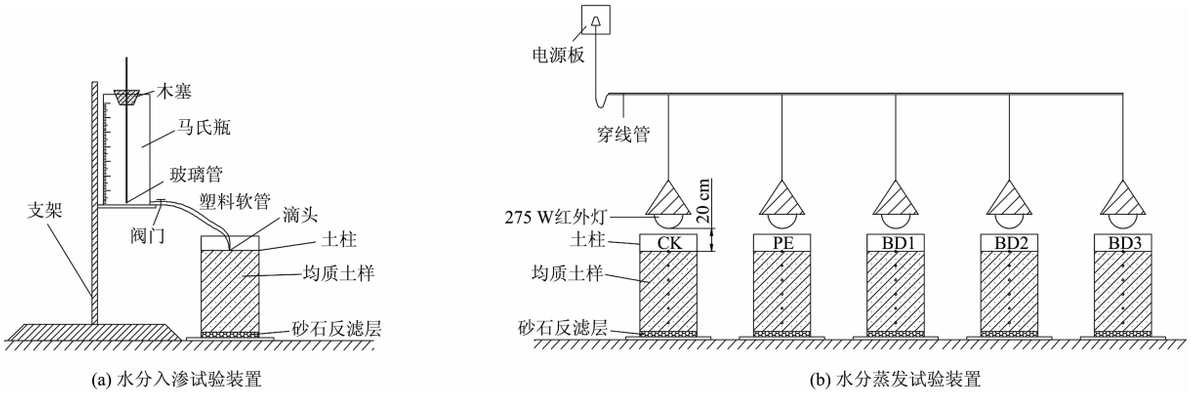
土壤与大气的“热通道”,比如在土壤表面覆盖薄膜、秸秆,覆盖层材料通过阻隔太阳的辐射来抑制土壤水分蒸发.文中设计 5 种覆盖层——无膜(CK)、PE 地膜(主要成分聚乙烯,厚 0.008 mm)、3 种可降解膜[BD1(A 型完全生物降解地膜厚 0.010 mm,主要成分 PBAT 设计降解诱导期 45 d);BD2(B 型完全生物降解地膜厚 0.010 mm,主要成分 PBAT 设计降解诱导期60 d);BD3(C 型生物降解地膜厚 0.012 mm,主要成分 PBAT 降解诱导期 60 d)]和 2 种辐射方式(昼夜连续照射、昼夜交替照射)模拟不同温度势下的土壤蒸发,共 10 个处理,每个处理重复 3 次,共 30 个土柱.

将供试土样按取土次序分层填装(土样去除根系枯枝落叶及大粒径杂质后,自然风干、碾压过 2 mm 筛备用),装土完成后在土柱土面覆盖滤纸,在土面分别进行滴水入渗和蒸发试验.水分入渗试验装置如图 1a 所示,利用马氏瓶稳压供水,用医用针头代替滴灌器用于模拟滴灌,灌水量均为 4.8 L,平均滴头流量 0.48 L/h.蒸发试验在入渗结束后的土柱上进行,静置 48 h 后的 10 组土柱(共 30 个),其试验装置如图 1b 所示,为了使试验周期变短,在蒸发试验中采用 275 W 远红外灯作为增强光源,并调节其与土柱表土的距离,均设置为 20 cm[8],同时使用与土柱等径蒸发皿来测定水面蒸发量.为减少土柱与外界环境间的温度交换,附 1 层 2 cm 厚橡塑海绵在土柱外围,再加 1 层反射膜.采用称量法测定土柱蒸发质量,自蒸发开始每隔12 h测定 1 次,共监测 8 d.试验期间平均室温为(25.5±1.5)℃,蒸发试验期间停止通风.每天 9:00 用电子秤称量土柱日均蒸发损失量 ΔM 和水面日均蒸发量 ΔM_0,将 ΔM 和 ΔM_0转化为标准土柱日均蒸发量 W 和水面日均蒸发量 W_0,转换公式[9]为

$$W = 10 \times \Delta M/(\pi \cdot r^2 \cdot \rho), \tag{1}$$

$$W_0 = 10 \times \Delta M_0/(\pi \cdot r^2 \cdot \rho), \tag{2}$$

式中:r 为土柱半径和蒸发皿半径,文中为 10 cm;ρ 为水分密度,文中为 1 g/cm^3.



(a) 水分入渗试验装置　　(b) 水分蒸发试验装置

图 1　试验装置

Fig.1　Test devices

1.3　评价模型与指标

1.3.1　蒸发模型

采用 Rose 模型描述累积蒸发量的变化趋势.Rose 模型[10]为

$$E = c \cdot \sqrt{t_e} + d \cdot t_e, \tag{3}$$

式中:E 为土壤水分累积蒸发量,mm;t_e 为土壤水分蒸发天数,d;c 为水分扩散参数;d 为稳定蒸发参数.

1.3.2　评价指标

采用相对均方根误差(relative root mean square error, RRMSE)、整群剩余系数(coefficient of residual mass, CRM)、效率系数(coefficient of efficiency, CE)作为评价 Rose 模型模拟蒸发过程效果的指标,计算公式分别为

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} (S_i - M_e)}}{\overline{M_e}}, \tag{4}$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_e - \sum_{i=1}^{n} S_i}{\sum_{i=1}^{n} M_e}, \tag{5}$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i - M_e)^2}{\sum_{i=1}^{n} (M_e - \overline{M_e})^2}, \tag{6}$$

式中:n 为样本个数;S_i 为模型模拟值;M_e 为实测数据;$\overline{M_e}$ 为 M_e 的平均值.$RRMSE$ 值越小,说明其模型拟合效果越好;CRM 值越接近 0,说明其模型拟合效

果越好;*CE* 值越趋近 1,表明其模型拟合效果越好.

1.4 数据处理与分析

文中试验数据均取 3 次重复的平均值,用 Origin Pro 2018C 软件绘图和进行函数拟合,AutoCAD 2018 软件绘制装置示意图,SPSS 20.0 进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 红外灯光连续照射方式下的蒸发过程分析

以红外灯为热源加快蒸发,采用红外灯光连续照射来模拟持续高温状况下的土壤水分蒸发,研究其蒸发特性,探究覆盖不同可降解膜对土壤水分蒸发过程的影响.

图 2 是土壤累积蒸发量 E 随蒸发时间 t 的变化情况.由图可知,连续蒸发 192 h 后,处理 CK,PE,BD1,BD2,BD3 的累积蒸发量依次为 34.20,23.52,28.86,28.75,28.95 mm;土壤累积蒸发量随覆膜种类的不同而出现差异.蒸发 24 h 后,各处理土壤累积蒸发量差异较小;连续蒸发 192 h 后,BD1,BD2,BD3 降解膜处理的累积蒸发量均值相对处理 CK 分别降低了 15.61%,15.94% 和 15.35%,与 CK 相比,可降解膜处理的累积蒸发量显著降低($P<0.05$).在连续辐射下,各个处理的累积蒸发量都随时间的推移逐渐增加,其趋势大致相同,处理 BD1,BD2,BD3 相较于 PE 的抑蒸率分别为 -18.50%,-18.19%,-18.76%.

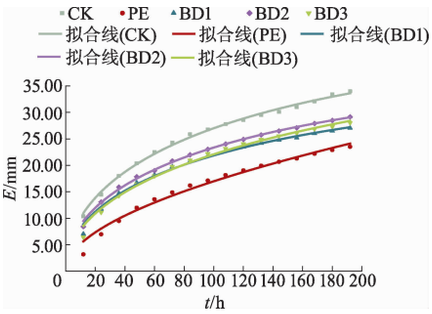


图 2 不同处理累积蒸发量变化

Fig.2 Cumulative evaporation changes under different treatments

图 3 是不同处理间的蒸发系数变化趋势,因蒸发前土壤初始含水率不同,为消除由此引起的累积蒸发量差异,文中引入蒸发系数 μ(μ = 累积蒸发量 E/累积入渗量 I).蒸发系数越大,土壤蒸发损失比例就越大,保水能力也就越弱.由图 3 可知,各处理的蒸发系数 μ 随覆膜种类的不同而变化,3 种可降解膜的蒸发系数变化幅度小,从大到小依次为 μ_{BD3},μ_{BD1},μ_{BD2}.

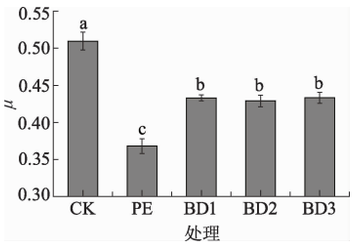


图 3 不同处理蒸发系数变化

Fig.3 Variation of evaporation coefficient under different treatments

不同处理的累积蒸发量 E 与蒸发时间 t 符合 Rose 蒸发模型,拟合结果如表 2 所示.

表 2 累积蒸发量与蒸发时间拟合参数

Tab.2 Cumulative parameters of cumulative evaporation and evaporation time

处理	c	d	R^2	*RRMSE*	*CRM*	*CE*
CK	3.415 60	−0.071 43	0.996 43	0.008 4	0.000 2	0.998 54
PE	1.591 80	0.010 76	0.981 10	0.142 9	0.003 5	0.984 56
BD1	2.770 01	−0.058 21	0.990 95	0.015 8	0.000 6	0.991 28
BD2	2.954 22	−0.061 78	0.997 10	0.007 2	0.000 4	0.994 28
BD3	2.619 32	−0.041 06	0.988 73	0.117 8	0.001 8	0.987 58

由表 2 可知,不同覆膜处理的 *RRMSE*,*CRM* 和 *CE* 值不同,随着 *RRMSE* 值逐渐增大,*CRM* 值偏离 0 和 *CE* 偏离 1,说明不同覆膜处理的 Rose 模型拟合效果变差.通过非线性曲线拟合结果分析得出,水分扩散参数 c 随着覆膜处理的不同而变化,总体变现为 $c_{CK}>c_{BD2}>c_{BD1}>c_{BD3}>c_{PE}$;稳定蒸发参数 d 也有类似变化,表现为 $d_{CK}<d_{BD2}<d_{BD1}<d_{BD3}<d_{PE}$.BD1,BD2 和 BD3 的 c,d 差异不具有统计学意义($P>0.05$),而 CK 和 PE 的 c,d 差异具有统计学意义($P<0.05$).通过分析可以得出,可降解膜处理中 BD2 的拟合效果最好.

2.2 红外灯光间断照射方式下的蒸发过程分析

为探究不同温度势下土壤水分蒸发特性,通过设置红外灯光间断照射来模拟昼夜交替状况下的土壤水分蒸发,探究覆盖不同可降解膜对土壤水分蒸发过程的影响.

图 4 是土壤累积蒸发量 E 随时间 t 的变化情况.由图 4 可知,由于是先照射 12 h,关灯隔 12 h 后再照射,这样循环地间断辐射蒸发 192 h 的过程中,各个处理的累积蒸发量曲线都呈振荡(波形)增长趋势;随着时间的推移,间断辐射状态下的处理 BD1,BD2,BD3 的蒸发速率大于连续辐射状态,其中在蒸发 72 h 前后,处理 BD1,BD2 的累积蒸发量发生了显著的变化,但在完整的蒸发周期内,处理 BD2 的累积蒸发量曲线都优于 BD1,BD3;蒸发 12 h

后,3 种可降解膜处理之间土壤累积蒸发量差异不具有统计学意义.处理 PE 和 CK 差异具有统计学意义.在间断辐射蒸发下,处理 CK,PE,BD1,BD2,BD3 的累积蒸发量依次为 32.50,24.10,27.40,27.06,28.21 mm,处理 BD1,BD2,BD3 的累积蒸发量均值相对处理 CK 分别降低了 15.69%,16.74% 和 12.15%,与处理 CK 相比,可降解膜处理的累积蒸发量显著降低($P<0.05$).与连续辐射蒸发相比,间断辐射蒸发下各处理相应累积蒸发量都有显著变化,处理 CK,PE,BD1,BD2,BD3 的累积蒸发量减少率分别为 4.97%,−2.46%,2.44%,7.17%,0.14%.数据显示间断辐射蒸发下处理 PE 的抑蒸率弱于连续辐射蒸发状态,而处理 BD1,BD2,BD3 之间的抑蒸率从大到小依次为 BD2,BD1,BD3.由此可见,地膜覆盖对土壤蒸发有一定的弱化作用,其可阻断热量的传输通道,使得土壤水分散失变慢.图 5 是间断辐射下不同处理间的蒸发系数变化趋势.因蒸发前土壤初始含水率不同,为消除其引起的累积蒸发量差异,故也引入蒸发系数 μ.由图 5 可知,各处理的蒸发系数随覆膜种类而变化,3 种可降解膜的蒸发系数变化幅度小,表现为 $\mu_{BD3}>\mu_{BD1}>\mu_{BD2}$.从图 4,5 得出,随着辐射状态的变化,虽然间断辐射状态下各处理的累积蒸发量减少率高于连续辐射状态,但 2 种状态下,降解膜处理抑蒸率从大到小依次为 BD2,BD1,BD3,其中 BD2 处理最优.

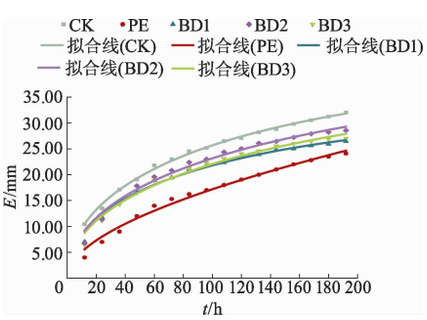


图 4 不同处理累积蒸发量变化

Fig.4　Cumulative evaporation changes under different treatments

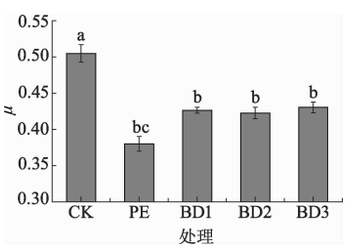


图 5　不同处理蒸发系数变化

Fig.5　Variation of evaporation coefficient under different treatments

不同处理的累积蒸发量 E 与蒸发时间 t_e 符合 Rose 蒸发模型,拟合结果见表 3.

表 3　累积蒸发量与蒸发时间拟合参数

Tab.3　Fitting parameters of cumulative evaporation and evaporation time

处理	c	d	R^2	*RRMSE*	*CRM*	*CE*
CK	3.268 92	−0.070 25	0.997 18	0.007 3	0.000 3	0.997 24
PE	1.561 07	0.015 69	0.986 83	0.142 9	0.004 3	0.986 16
BD1	2.840 68	−0.066 02	0.987 19	0.151 8	0.001 1	0.981 28
BD2	2.705 78	−0.050 06	0.983 63	0.139 2	0.000 9	0.986 38
BD3	2.844 24	−0.052 87	0.982 33	0.163 8	0.002 3	0.984 25

由表 3 可知,同样通过 Origin Pro 2018C 软件进行非线性曲线拟合,间断辐射下各处理的拟合结果中显示,水分扩散参数 c 随着覆膜处理的不同而变化,总体变现为 $c_{CK}>c_{BD2}>c_{BD1}>c_{BD3}>c_{PE}$;稳定蒸发参数 d 也随着覆膜处理的不同而变化,呈现为 $d_{CK}<d_{BD1}<d_{BD3}<d_{BD2}<d_{PE}$.BD1,BD2 和 BD3 的 c,d 差异不具有统计学意义($P>0.05$),而 CK 和 PE 的 c,d 差异具有统计学意义($P<0.05$).同样,不同的覆膜处理的 *RRMSE*,*CRM* 和 *CE* 值不同;随着 *RRMSE* 值逐渐增大,*CRM* 值偏离 0 和 *CE* 偏离 1,说明不同覆膜处理的 Rose 模型拟合效果变差;但从整体效果得出,BD2 的拟合效果最好.

3　讨　论

土壤蒸发是在气象和土壤水分的共同作用下发生的,但是不同的覆盖层也影响土面蒸发,主要是不同的覆盖层材料形成了不同的隔水层.不同的覆膜处理对累积蒸发量有显著影响,尤其是当土柱覆盖可降解膜时,在连续辐射条件下,其累积蒸发量与无膜对照处理差别具有统计学意义.文中得出不同的覆盖层在土壤水分蒸发过程对水分抑制程度不同,这是由于改变了水土气交界面,阻断了土壤中水气交换通道.FUCHS 等[11]通过室内试验得出秸秆覆盖阻力随覆盖厚度和覆盖面积指数增加均呈指数增长.李毅等[12]也指出,覆膜开孔率越大,蒸发水量损失越大.文中研究结果显示,可降解膜覆盖可降低土壤蒸发,其抑制土壤蒸发的能力随厚度而变化,诱导期相同时,厚度是关键因素;文中结果与其他学者研究结论一致[13].

外界温度对土柱的水分蒸发具有重要影响,持续升温和间断升温都对土壤水分蒸发具有显著影响.顾文兰[14]指出,红外灯光连续照射方式下,土柱的累积蒸发量曲线呈递增趋势,而红外灯在间断照

射方式下其累积蒸发量曲线呈波形递增的趋势,文中也证明了此规律.累积蒸发量曲线对应时间的点的切线代表此时刻的蒸发速率,所以切线斜率越大,表示此刻的蒸发速率就越大.文中试验得出,随着蒸发试验时间的推移,各个处理在蒸发开始后60 h内,其累积蒸发量曲线斜率由较大到逐渐平稳,说明后期蒸发不明显,不同的辐射方式下其累积蒸发量不同.但是针对可降解膜覆盖条件下土壤蒸发的研究较少,文中结合土面蒸发理论公式和试验数据揭示了可降解膜覆盖阻力和土面蒸发的关系.这些参数计算简单且具有物理意义,能够在生产实际中被广泛采用,对生产实践具有指导意义.

4 结 论

1) 地膜覆盖对土壤蒸发影响显著,随着蒸发试验时间的推移,各个处理在红外灯辐射72 h后,其累积蒸发量曲线斜率由较大到逐渐平稳.红外灯光连续照射方式下其累积蒸发量呈对数逐渐增大的曲线,而在间断照射方式下呈振荡(波形)递增的曲线.

2) 整个试验周期,连续辐射蒸发下,处理CK的累积蒸发量为34.2 mm,与CK相比处理PE,BD1,BD2,BD3的抑蒸率分别为31.22%,15.61%,15.94%和15.35%;间断辐射蒸发下,处理CK的累积蒸发量为32.5 mm,与CK相比处理PE,BD1,BD2,BD3的抑蒸率分别为25.84%,15.69%,16.74%和12.15%.间断与连续辐射蒸发下相应各处理累积蒸发量相比,处理CK,PE,BD1,BD2,BD3的累积蒸发量减少率分别为4.97%,-2.46%,2.44%,7.17%和0.14%.综合上述分析可知,覆膜可有效减小土壤水分蒸发,可得同覆盖层对土壤累积蒸发的抑制作用由大到小排列为PE,BD2,BD1,BD3,CK.在2种辐射方式下,3种可降解膜之间对比,主要成分为PBAT设计降解诱导期60 d的B型完全生物降解地膜相对A,C型完全生物降解地膜更能有效抑制水分蒸发散失.

3) 对于5种覆盖层,在相同的辐射情况下,可降解膜处理抑制水分散失效果优于无地膜覆盖处理,弱于PE地膜;在试验周期内,可降解膜处理的累积蒸发量的Rose模型的拟合效果优于其他处理,通过比较可降解膜处理累积蒸发量的Rose模型拟合效果发现,主要成分为PBAT设计降解诱导期60 d的B型完全生物降解地膜相对A,C型完全生物降解地膜的模型拟合效果更好.

参考文献(References)

[1] ZHANG Youliang, WANG Fengxin, SHOCK C, et al. Effects of plastic mulch on the radiative and thermal conditions and potato growth under drip irrigation in arid Northwest China[J]. Soil and tillage research, 2017, 172:1-11.

[2] HE Huaijie, WANG Zhenhua, GUO Li, et al. Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem[J]. Soil and tillage research, 2018, 180:194-203.

[3] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J].农业机械学报,2015,46(5):101-106.
WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Effects of agricultural film residues on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J]. Transactions of the CSAM, 2015, 46(5): 101-106.(in Chinese)

[4] 张建军,郭天文,樊廷录,等.农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(1):100-102.
ZHANG Jianjun, GUO Tianwen, FAN Tinglu, et al. Effects of agricultural film residues on growth and soil moisture transport in maize[J].Journal of irrigation and drainage,2014,33(1):100-102.(in Chinese)

[5] 李元桥,何文清,严昌荣,等.点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响[J].农业工程学报,2015,31(6):145-149.
LI Yuanqiao,HE Wenqing,YAN Changrong, et al.Effect of residual film on soil water transport under point source water supply conditions[J].Transactions of the CSAE, 2015,31(6):145-149.(in Chinese)

[6] 赵岩,陈学庚,温浩军,等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J].农业机械学报,2017,48(6):1-14.
ZHAO Yan, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Current status and prospects of research on farmland residual film pollution control technology[J]. Transactions of the CSAM, 2017, 48(6): 1-14.(in Chinese)

[7] 韩胜强,王振华,李文昊,等.不同可降解膜覆盖对一维土柱土壤水分入渗和蒸发的影响[J].中国农村水利水电,2019(8):42-46.
HAN Shengqiang, WANG Zhenhua, LI Wenhao, et al. Effects of different degradable membranes on soil water infiltration and evaporation in one-dimensional soil column[J].China rural water and hydropower,2019(8): 42-46.(in Chinese)

(下转第854页)