文章编号:1000-7601(2020)02-0001-09 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.02.01

可降解膜覆盖对土壤水分蒸发特性的影响

贾 浩[1,2],李文昊[1,2],王振华[1,2],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 832000;2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘 要:于 2017 年 5—11 月开展室内土柱蒸发试验,研究了 5 种覆盖层(无膜:CK;普通地膜:PE;A 型完全生物降解地膜:BD1;B 型完全生物降解地膜:BD2;C 型生物降解地膜:BD3)在 2 种辐射方式(连续、间断)、3 种光照环境(近光、中间光、远光)下对土壤水分蒸发特性的影响。结果表明:红外灯光连续和间断辐射方式下的各处理累积蒸发量曲线分别呈对数形和震荡波形。2 种辐射方式下,各阶段蒸发量的变化关系都是近光>中间光>远光,且近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 72%、50%(连续辐射)和 70.5%、48.9%(间断辐射)。同样,连续和间断辐射方式下,与 CK 相比 PE、BD1、BD2、BD3 处理的抑蒸率分别为 32.5%、16.51%、14.34%、16.35%和 26.74%、16.69%、15.74%、17.18%。综合分析来看,覆膜可有效减小土壤水分蒸发,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。在相同的辐射情况下,B 型完全生物降解膜处理的累积蒸发量 Rose 模型的拟合效果优于其他处理。

关键词:土壤水分;蒸发特性;可降解膜;辐射方式;光照环境;Rose 蒸发模型

中图分类号:S157.3;S34 **文献标志码**:A

Effects of biodegradable mulching film on soil water evaporation characteristics

JIA Hao[1,2], LI Wenhao[1,2], WANG Zhenhua[1,2], DING Hongwei[1], XU Hu[1]

(1. *College of Water & Architectural Engineering*, *Shihezi University*, *Shihezi*, *Xinjiang* 832000, *China*;
2. *Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group*, *Shihezi*, *Xinjiang* 832000, *China*)

Abstract: An indoor soil column evaporation experiment was carried out from May-November of 2017 with 5 treatments of covering layers (without film: CK, ordinary film: PE, type A fully biodegradable film: BD1, type B fully biodegradable film: BD2, and C type biodegradable mulch film: BD3) and two types of radiation (continuous, intermittent) and three types of light environment (low light, middle light, and high light) on soil water evaporation characteristics. The results showed that the cumulative evaporation curve of each process under the continuous and intermittent radiation mode of infrared light was logarithmic and oscillating (waveform). Under the two radiation modes, the relationship between the changes in evaporation at each stage was low light > middle light > high light. The cumulative evaporation under low light and intermediate light conditions was 72%, 50% (continuous radiation) and 70.5%, 48.9% (intermittent radiation) higher than that under high light conditions, respectively. Under continuous and discontinuous radiation, compared with CK, the steam suppression rate of PE, BD1, BD2, and BD3 treatments were 32.5%, 16.51%, 14.34%, 16.35%, and 26.74%, 16.69%, 15.74%, 17.18%, respectively. Comprehensive analysis showed that mulching effectively reduced soil moisture evaporation, and the inhibition effect of the same covering layer on soil cumulative evaporation was arranged from large to small: PE > BD2 > BD1 > BD3 > CK. Under the same radiation condition, the fitting effect of the Rose model of the cumulative evaporation of type B completely biodegradable membrane treatment was better than that of the other treatments.

收稿日期:2019-06-17 **修回日期**:2020-01-22

基金项目:国家自然科学基金(51869028,51869027);新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目(XJ2019G100)

作者简介:贾浩(1993-),男,甘肃山丹人,硕士,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: jh931117@163.com

通信作者:李文昊(1988-),男,内蒙古赤峰人,实验师,主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: Lwh8510012@163.com

Keywords: soil water; evaporation characteristics; degradable film; radiation mode; light environment; Rose evaporation model

干旱半干旱地区的土壤蒸发导致了大量水分的损失,从而限制了旱作农业的作物产量[1]。在这种环境条件下,人们采用农业措施来减少土壤水分的损失。覆膜保墒技术与节水灌溉技术的有机结合在我国北方干旱区广泛应用,不仅提高了灌溉水利用效率,还可实现农业高效用水[2-3]。农膜覆盖耕作具有明显的节水、保温、增产、控盐等特点[4-5],但覆膜保墒技术的广泛应用,使得我国地膜使用量和覆膜面积不断增加[6],目前我国农膜使用量累计达 1.362×10^6 t,覆膜面积已达 17 657.0 万 hm^2[7]。农膜残留回收机制不健全,每年农膜残留量占总使用量的 30%以上[4],而普通塑料地膜在土壤中可残留百年之久,极难在自然条件下降解[8]。多年农膜覆盖耕作将导致土壤中农膜残留不断累积,会致使土壤过水孔隙堵塞,土壤总孔隙度减小,土壤团聚体结构破坏,土壤入渗阻力增加[9-12],也会使土壤密度降低、田间蓄水量减少[13],最终导致作物减产[14]。从长远角度看,由塑料地膜造成的污染所导致的减产幅度将逐步达到和超过其保温、保湿等作用带来的增产幅度。

使用可降解地膜是解决普通地膜“白色污染”的一种有效途径。目前大量研究结果表明,可降解膜覆盖具有普通地膜覆盖的相同效果,比如减少土壤蒸发、保墒蓄水、平衡地温等[15-18],亦有改善土壤结构、提高土壤肥力、减轻土壤盐渍化等综合效应[15,19-21]。而国内外专家学者主要对光解膜、生物/光降解地膜和生物降解地膜等 3 种类型地膜进行研究,其中光降解地膜最早进行研究应用[22-23]。赵岩等[24]认为可降解地膜最终会代替普通不可降解地膜,但目前可降解地膜和普通塑料地膜会长期共存。对不同厚度和不同材料可降解地膜以及其土壤水分入渗蒸发特性进行了研究[25-26],发现塑料地膜更易于阻断水流入渗通道,降低土壤导水率,改变土壤过水能力,试验结果显示水分下渗速度与土壤中地膜残留量呈对数关系,当残留量达到一定量时,水分运移速度将明显减慢[23],将导致水分入渗速率显著降低[27]。另外,不同残膜埋深对土壤水分入渗也产生一定影响,总体上农膜残留会阻滞土壤水分迁移[28]。但随着土壤中残膜持续增加,也可能导致残膜区土壤大孔隙比例增加,产生优势流,如李元桥等[29]研究发现,当残膜达到 720 kg · hm^{-2} 时,残膜区产生优势流。

目前对于农膜残留影响土壤水迁移的机理研究较多,对于可降解地膜的研究则主要涉及可降解膜增产、增效以及不同种类和厚度等方面,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有限,更缺乏可降解地膜在强烈蒸发、稀缺降雨和强紫外线环境的新疆地区的应用研究。本文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裸地土壤水分蒸发,探索可降解膜覆盖对土壤水分蒸发的影响,研究可降解膜覆盖下土壤水分蒸发的机理,为可降解膜覆膜滴灌技术的应用提供理论基础,并筛选适合干旱区、绿洲灌区应用的完全生物降解地膜类型,为进一步推广应用可降解地膜提供参考,以期解决残膜污染问题,保障绿洲灌区农业生态和经济可持续发展。

1 材料与方法

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为采自石河子市 121 团的土壤,其土壤物理参数见表 1。试验所用马氏瓶高 65 cm,容积 5 102.5 cm^3;土柱为 5 mm 厚有机玻璃管制作而成,半径 10 cm,高 35 cm;远红外灯为 275 W;蒸发皿半径与土柱相同;精密台秤型号为 FG-30KAM(精度 0.0001 kg);供试完全生物降解地膜(广州金发科技股份有限公司)均已在新疆地区市场销售且大面积应用,聚乙烯普通塑料地膜由新疆天业公司生产。

表 1 供试土壤物理参数

Table 1 Physical parameters of the tested soil

土壤质地 Soil texture	风干体积含水率 Airdrying volume moisture content /(cm^3 · cm^{-3})	试验容重 Test weight /(g · cm^{-3})	<0.002 mm 黏粒含量 Clay content/%	0.002~0.05mm 粉粒含量 Silt content/%	0.05~0.25 mm 沙粒含量 Sand content/%
沙壤土 Sandy loam soil	0.024	1.48	15	23	62

为使土壤中的水分减少散失,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[30]。本文设计 5 种覆盖层:无膜、PE、3 种可降解膜,见表 2;同时设计 2 种辐射方式(连续辐射和间断辐射),在该两种辐射方式下,各设计 3 种光照高度(20 cm 近光照、40 cm 中间光照和 60 cm 远光照),研究各种膜覆盖的土壤在不同光照环境下的水分蒸发特性。试验共 30 个处理,每个处理重复 3 次,共计 90 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、碾压并过 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。其入渗试验装置如图 1(a)所示,利用马氏瓶稳压供水,灌水量均为 4.8 L,平均滴头流量 0.48 L · h^{-1},入渗结束重分布 48 h,立即覆盖供试地膜,打开红外线灯作为光源进行蒸发试验,其试验装置如图 1(b)所示。蒸发试验中用 275 W 远红外灯作为增强光源,为隔断土柱与外界环境间温度交换,在土柱外围包有一层 2 cm 厚橡塑海绵,再加一层反射膜。采用称量法测定土柱蒸发质量,测定时间分别为蒸发开始后的第 0、4、8、12、16、24、28、32、36、40、44、48、56、64、72、80、88、96、108 、120、132、144、168、192 h。同步测量蒸发皿的水面蒸发,蒸发试验期间室温在 18~23℃且不进行通风,日平均相对湿度约为 35%,平均水面蒸发量为 1.75 mm · h^{-1}。所有数据采用 MATLAB、SPSS20.0、Origin 9.0 进行数据统计分析,对不同处理的土柱累积蒸发量进行方差分析,并采用 Rose 蒸发模型进行拟合。

$$E = \alpha\sqrt{t} + \beta t$$

式中,E 为土壤水分累积蒸发量(mm);α 为水分扩散参数;β 为稳定蒸发参数;t 为蒸发时间(h)。

2　结果与分析

2.1　红外灯光连续辐射方式下的蒸发过程

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裸地土壤水分蒸发,同时通过红外灯距土柱的距离,来模拟不同的高温环境,研究其蒸发特性,分析其土壤水分分布情况,探究覆盖不同可降解膜对土壤水分蒸发过程的影响。

2.1.1　蒸发时间对连续辐射下累积蒸发量的影响

经过分析,对连续辐射不同光照强度、不同可降解膜覆膜处理的累积蒸发量采用 Rose 蒸发模型[31]进行拟合(表 3),可见各试验方案的 R^2 均在 0.97 以上,说明用 Rose 蒸发模型拟合效果较好。

2.1.2　可降解膜覆盖对土壤水分蒸发量与累积蒸发量的影响

地膜覆盖改变了土壤与大气之间的交换界面,阻断了空气能量向下的“热通道”和蒸发

表 2　供试地膜的特性

Table 2　Characteristics of test film

处理 Treatment	供试地膜种类及成分 Test film type and composition
PE	普通塑料地膜(厚 0.008 mm)主要成分聚乙烯 Polyethylene plastic film (thickness 0.008 mm)
BD1	A 型完全生物降解地膜(厚 0.010 mm)主要成分 PBAT,降解诱导期 45 d; Type A fully biodegradable mulch (thickness 0.010mm), the main component of PBAT, 45 days of degradation induction period
BD2	B 型完全生物降解地膜(厚 0.010 mm)主要成分 PBAT,降解诱导期 60 d Type B fully biodegradable mulch (thickness 0.010mm), the main component of PBAT, 60 days of degradation induction period
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 Type C biodegradable mulch (thickness 0.012mm), the main component of PBAT, 60 days of degradation induction period
CK	无膜 No film

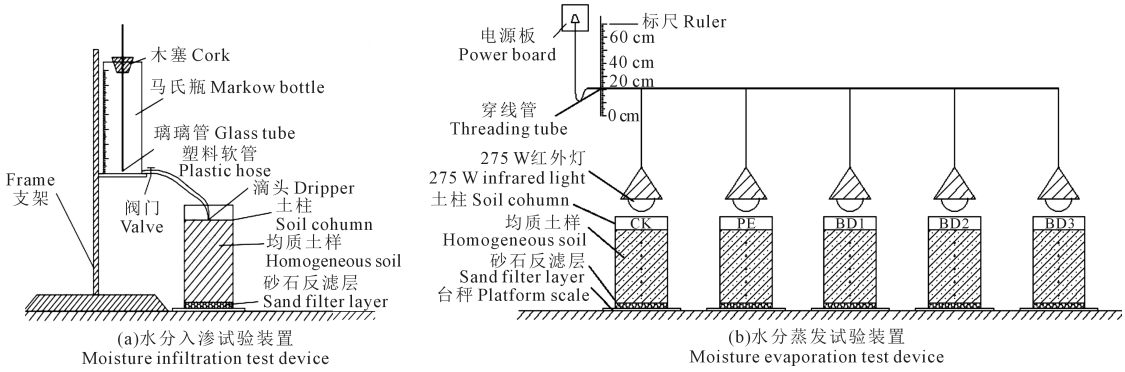

图 1　试验装置

Fig.1　Test device

表3 连续辐射下各处理Rose蒸发模型拟合参数

Table 3 Rose evaporation model fitting parameters of each treatment under continuous radiation

处理 Treatment	近光照 Near illumination			中间光照 Intermediate illumination			远光照 Far illumination		
	α	β	R^2	α	β	R^2	α	β	R^2
CK	3.4007	−0.0194	0.9941	3.5520	−0.0256	0.9721	3.6263	−0.0156	0.9825
PE	1.2564	0.04084	0.9718	2.3254	0.07651	0.9991	1.9231	0.08524	0.9895
BD1	2.6929	−0.0501	0.9812	2.8815	−0.0554	0.9893	2.6365	−0.0853	0.9896
BD2	2.5095	−0.0697	0.9796	2.5541	−0.0662	0.9892	2.5482	−0.0954	0.9894
BD3	2.9529	−0.0408	0.9885	2.9946	−0.0476	0.9812	2.6987	−0.0731	0.9892

水分向上传输的“水通道”,地膜减缓了外加热源的热量向膜下传递,所以土壤表面的覆膜种类不同对“热交换”的阻碍作用就不同,即不同覆膜对土壤水分不同时刻的蒸发量和累积蒸发量影响不同,日蒸发量、累积蒸发量都是衡量土壤水分蒸发强弱的重要指标,因此对不同覆膜处理下的蒸发量、累积蒸发量进行对比分析。

不同可降解膜覆膜处理对土壤水分蒸发量和累积蒸发量的影响见图2,由此可知,各个覆膜处理下,随时间的推移,土壤水分蒸发量和累积蒸发量存在很大差异。由图2(a)CK处理可知,随着时间的推移,蒸发量总体呈下降趋势,其中在蒸发前期近光辐射下蒸发量变化幅度较大;在远光辐射条件下蒸发量随时间的推移出现了较大波动。无覆盖处理的累积蒸发量随时间的推移总体呈上升趋势,在蒸发试验的36 h之前,3种辐射条件下的累积蒸发量曲线几乎处于相互平行状态,随着时间的推移,3条累积蒸发量曲线之间的差异越来越小,并且曲线上升的趋势变缓,但是整个试验周期不同条件下的累积蒸发量表现为:近光辐射>中间光辐射>远光辐射。由图2(b)PE处理可知,覆盖普通塑料地膜使得此处理与CK组明显不同,但是与其他可降解膜覆膜处理具有相同点,各辐射条件下累积蒸发量都呈现上升趋势,且之间的差异随时间的推移越来越明显,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高72%、50%;而蒸发量曲线的变化则是先高后降低之后升高,总体呈现“V”型趋势。PE处理中随着时间的推进,其各种光照下累积蒸发量的增长趋势是近光辐射>中间光辐射>远光辐射;针对每段时间的蒸发量曲线,近光辐射曲线在中间光辐射曲线之上,远光辐射在最下部。由图2(c)BD1、(d)BD2、(e)BD3处理可知,累积蒸发量曲线在蒸发试验初期,中间光辐射与远光辐射曲线有交叉,这说明蒸发4~8 h之内,由于覆膜的作用,远光辐射条件下的土柱土壤水分的蒸发强度大于中间光辐射下的蒸发强度。其3种可降解膜覆膜处理累积蒸发量曲线与PE处理中各辐射条件下趋势相同,但也有不同,可降解膜处理的近光辐射下的累积蒸发量曲线大致呈对数形式,同时这与CK对照组中累积蒸发量曲线完全不同。在同一辐射条件下,图2(d)BD2处理中的3条累积蒸发量曲线的增长趋势明显弱于其他两种可降解膜处理。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,所以切线斜率越大此刻的蒸发速率就越大。由图2(c)BD1处理中可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高63.6%、56.5%;图2(d)BD2处理可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高64.3%、50%;图2(e)BD3处理可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高37.9%、28%。

2.1.3 光照辐射对土壤水分累积蒸发量的影响

由图3可知,在连续近光辐射下,各个处理的累积蒸发量都随时间的推移逐渐增加,其趋势几乎相同,但是PE处理累积蒸发曲线与其他处理有差距,整个蒸发过程中,平均累积蒸发量较其他处理低5 mm,这主要是普通塑料地膜对强光的反射作用强,导致吸收的光热略少,土柱温度低,蒸发不太强烈;在连续中间光和远光辐射条件下,各个处理的累积蒸发量曲线变化趋势大致相同,其中远光辐射下的各覆膜处理蒸发强度低于中间光辐射。由于对照组未进行覆膜,所以其蒸发曲线增长速度大于其他处理。

2.2 红外灯光间断辐射方式下的蒸发过程

以红外灯为热源加快蒸发,采用红外灯光间断照射来模拟昼夜交替状况下的裸地土壤水分蒸发,同时通过红外灯距土柱的距离来模拟不同的温度环境,研究其蒸发特性,分析其土壤水分分布情况,探究覆盖不同可降解膜对土壤水分蒸发过程的影响。

2.2.1 蒸发时间对间断辐射下累积蒸发量的影响

经过分析,对间断辐射下不同光照强度、不同可降解膜覆膜处理的累积蒸发量同样采用Rose蒸发

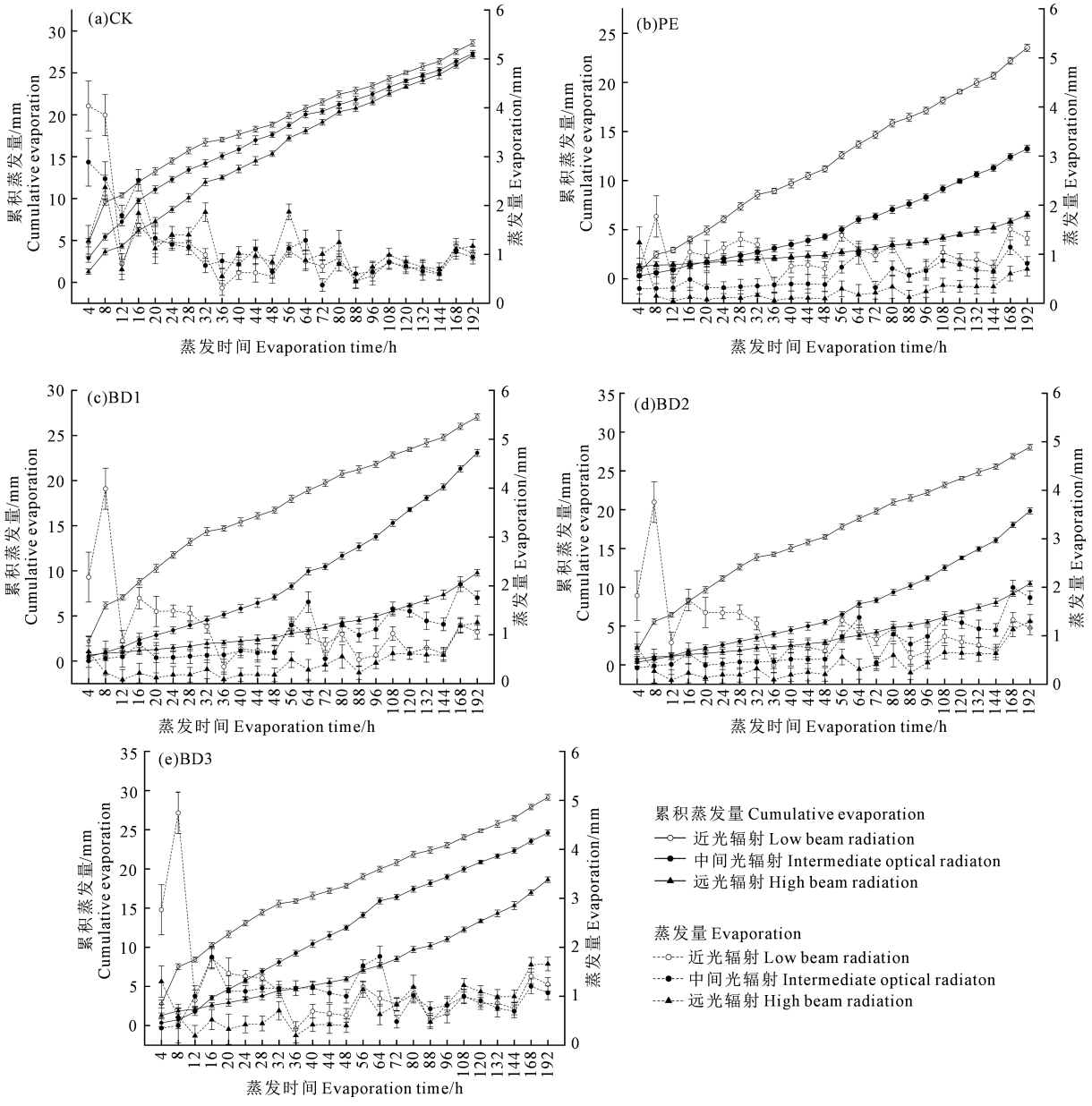

图 2　各处理土壤水分蒸发量(虚线)和累积蒸发量(实线)随时间变化曲线

Fig.2　Changes in soil water evaporation (dotted line) and cumulative evaporation (solid line) with time under different treatments

模型进行拟合(表 4),可见各试验方案的 R^2 均在 0.97以上,说明用 Rose 蒸发模型拟合效果较好。

2.2.2　可降解膜覆盖对土壤水分蒸发量与累积蒸发量的影响　不同覆膜处理、不同光照环境下的土壤水分蒸发量和累积蒸发量变化趋势如图 4。由图 4(a)CK 处理可知,随着蒸发时间的推移,各种光照辐射条件下的累积蒸发量曲线以波形(震荡)呈递增趋势增大,且累积蒸发量曲线的斜率几乎同步变化,但曲线斜率由陡变缓,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高17.8%、11.5%;而各时间段的蒸发量总体呈现下降趋势,且各曲线之间的交叉明显、波动较大。由图 4(b)PE 处理可知,此处理的累积蒸发量与未覆盖塑料地膜处理对照组对比明显,在近光辐射条件下,其累积蒸发量曲线以波形(震荡)逐渐上升,到蒸发后期曲线斜率几乎为零;在中间光辐射条件下,累积蒸发量曲线的增长趋势明显弱于近光辐射条件,且此曲线的“波形”增长趋势不太明显;在远光辐射条件下,其累积蒸发量小于 5 mm,这是因为覆膜对热量的传递有阻碍作用,同时间断照射使得热量不能够持续向土壤中传递。整个试验周期的各阶段蒸发量的变化关系是近光辐射>中间光辐射>远光辐射,近光、中间光条

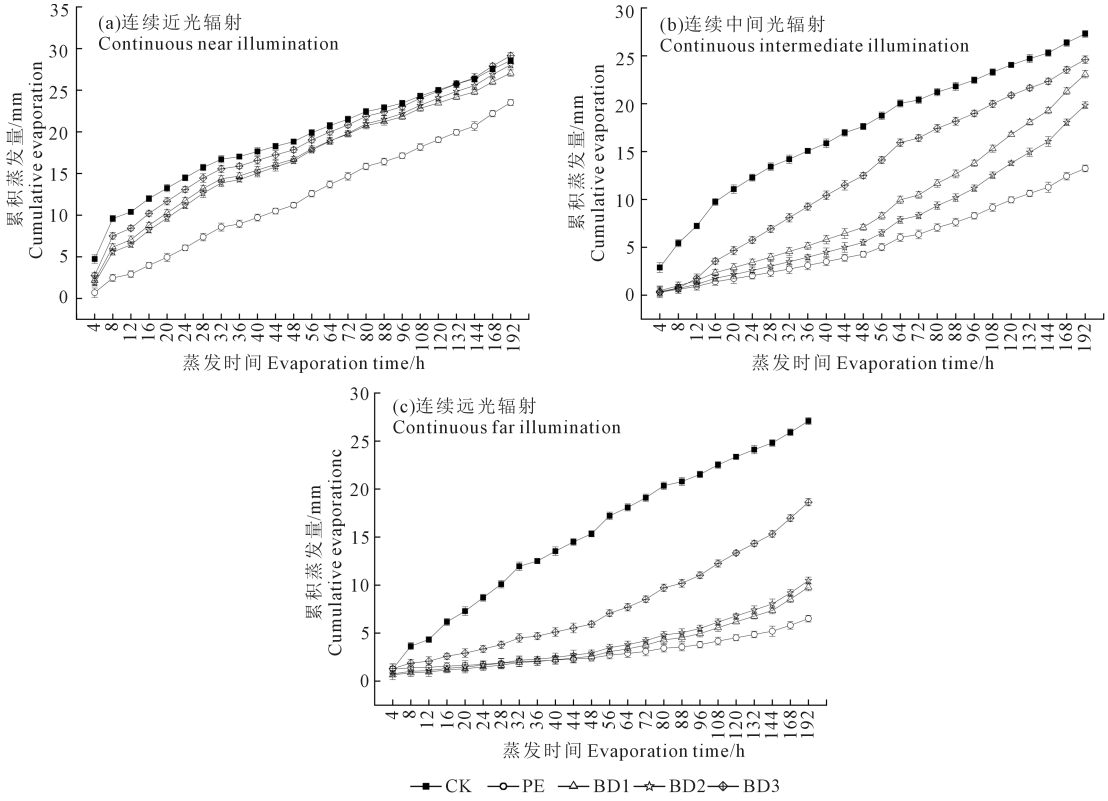

图 3 连续辐射下光照环境对各处理土壤水分累积蒸发量的影响

Fig.3 Effects of light environment on soil moisture accumulated evaporation under continuous radiation for each treatment

表 4 间断辐射下各处理 Rose 蒸发模型拟合参数

Table 4 Rose evaporation model fitting parameters of each treatment under intermittent radiation

处理 Treatment	近光照 Near illumination			中间光照 Intermediate illumination			远光照 Far illumination		
	α	β	R^2	α	β	R^2	α	β	R^2
CK	3.5637	−0.0197	0.9859	3.2650	−0.0146	0.9821	3.4563	−0.0166	0.9825
PE	1.4574	0.05084	0.9786	1.5554	0.08551	0.9745	1.8451	0.0942	0.9785
BD1	2.6529	−0.0624	0.9918	2.7615	−0.0954	0.9836	2.5625	−0.0953	0.9878
BD2	2.5795	−0.0716	0.9845	2.5541	−0.0962	0.9887	2.5462	−0.0964	0.9742
BD3	2.8929	−0.0528	0.9853	2.9646	−0.0876	0.9762	2.6587	−0.0881	0.9749

件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 70.5%、48.9%。图 4(c)BD1、(d)BD2、(e)BD3 处理所得的累积蒸发量曲线增长趋势相同,但是也有差异,同一处理下不同光照辐射下的累积蒸发量曲线以不同幅度的“波形”增长,BD1 处理与 BD2 处理很相似,总体上是近光辐射>中间光辐射>远光辐射,近光辐射和中间光辐射下的蒸发量增长幅度相差不大。随着试验的进行,3 种可降解膜处理在各时间段的蒸发量逐渐趋于稳定,且在 3 种光照环境下差异减小。这可能是由于温度势作用,土壤水分向上运移并散失的总量减少,同时覆膜破坏了土壤毛管的连续性,下层水分很难上移。由图 4(c)BD1 处理可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 61.5%、53.2%;由图 4(d)BD2 处理可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 62.6%、48.6%;由图 4(e)BD3 处理可知,近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 35.7%、28.0%。

2.2.3 间断光照辐射对土壤水分累积蒸发量的影响 由图 5 可知,在间断近光辐射下各个处理的累积蒸发量曲线都以“波型”增长,且增长幅度与连续近光辐射条件下大致相同,3 种可降解膜覆膜处理的累积蒸发量随光照的减弱增长趋势降低,可见随着光照辐射降低,不同覆膜处理的蒸发能力下降。虽然红外灯供热不连续,但蒸发的整体趋势与红外灯连续供热方式的趋势相似。随着红外灯辐射降低,土柱表层的土壤孔隙被不同种类地膜覆盖,从而阻断热量的传输通道,土壤蒸发减弱,土壤水分散失较慢。

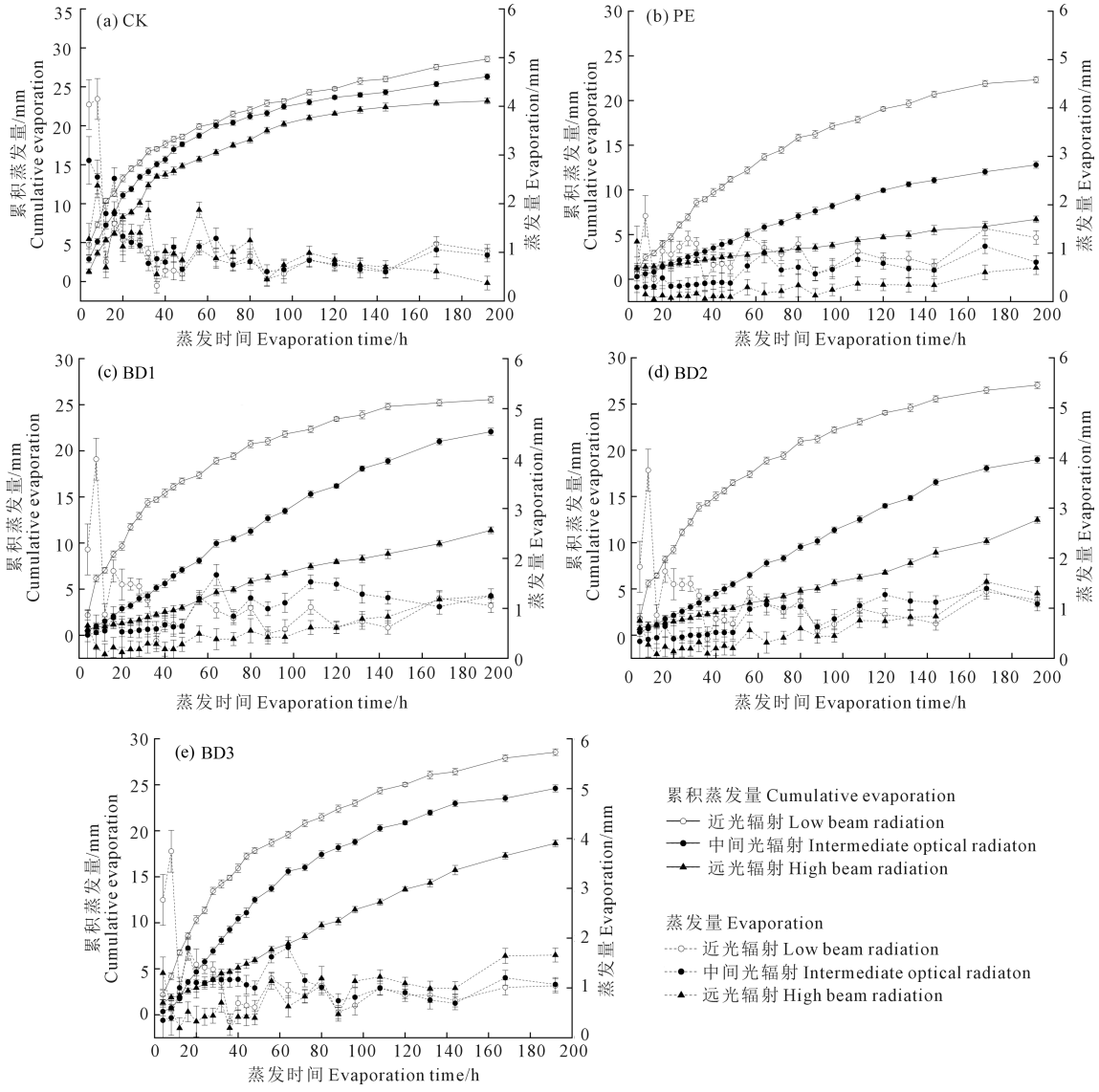

图 4　各处理不同光照环境下土壤水分蒸发量(虚线)和累积蒸发量(实线)随时间变化曲线

Fig.4　Changes in soil water evaporation (dotted line) and cumulated evaporation (solid line) under different light conditions for each treatment

3　讨　论

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。采用红外灯光连续、间断照射来模拟持续高温、昼夜交替状况下的土壤水分蒸发,同时通过红外灯距土柱的距离来模拟不同的高温环境,得出累积蒸发量的变化规律。土壤蒸发除了受气象因素和土壤水分影响外,不同的覆盖层也影响土面蒸发,主要是覆盖层改变土壤表面热量和能量交换,土壤累积蒸发量随覆盖层不同而变化,由此可见,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,在近光照条件下其累积蒸发量与无膜对照处理很接近。不同的辐射方式和光照条件下其累积蒸发量不同。不同覆膜处理的累积蒸发量与时间拟合符合 Rose 蒸发模型。各拟合方程决定系数 R^2 均大于 0.97,且对方程和参数 α、β 的检验均达极显著水平($P<0.01$)。稳定蒸发参数 β 随着覆膜种类、光照环境、辐射方式的变化而变化,总体变现为:$\beta_{PE}>\beta_{CK}>\beta_{BD3}>\beta_{BD1}>\beta_{BD2}$。同时水分子通过覆盖层受覆盖阻力影响,当蒸发试验持续进行时,土壤主要以水汽扩散为主,通过模拟可以看出土壤水分扩散参数 α 的变化规律,也是随着覆膜种类、光照环境、辐射方式的变化而变化,总体表现为 $\alpha_{CK}>\alpha_{BD3}>\alpha_{BD1}>\alpha_{BD2}>\alpha_{PE}$,3 种可降解膜的诱导期和厚度影响了累积蒸发量的变化,随着光强减弱,其变化幅度逐渐增大。

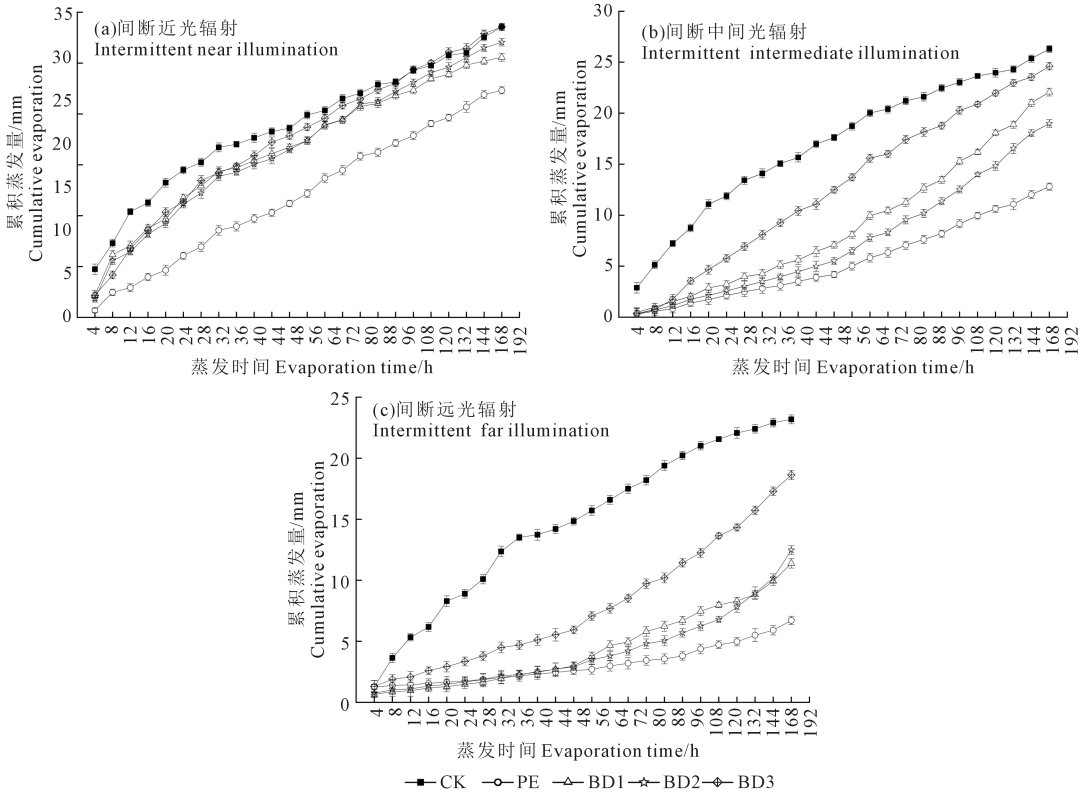

图 5 间断辐射下光照环境对各处理土壤水分累积蒸发量的影响

Fig.5 Effects of light environment on soil moisture accumulated evaporation under different intermittent radiation for each treatment

同时,顾文兰[32]指出,红外灯光连续照射方式下累积蒸发量呈递增的趋势,而红外灯间断照射方式下累积蒸发量呈波形递增的趋势;间断照射下的土壤含水率大于连续照射下的土壤含水率。本试验也证明了此规律。王慧等[33]根据模拟试验监测资料对土壤累积蒸发量、白天与夜晚累积蒸发量、日蒸发量差值、单位膜孔面积蒸发量等进行比较分析,结果表明:累积蒸发量与蒸发时间平方根之间存在一定线性关系,符合 Gardner 理论。张金珠等[30]指出,不同的表层覆盖层能明显抑制水分蒸发,不同覆盖层厚度处理间累积蒸发量差异显著。王春霞等[34]指出,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。李毅等[35]也指出,覆膜开孔率越大,蒸发水量损失越大,累积蒸发量随时间变化曲线整体越高,幂函数和对数模型描述覆盖层的累积蒸发量与时间关系较好。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,所以切线斜率越大此刻的蒸发速率就越大。本试验得出,随着蒸发时间增加,累积蒸发量在蒸发前期曲线斜率较大,后期变化逐渐平稳,说明后期蒸发不明显。李瑞平等[36]指出,根据双作物系数模型 SIM Dual-Kc 模拟了滴灌玉米棵间蒸发量占作物蒸散发的比例,覆膜滴灌较无膜滴灌少,说明覆膜能有效降低作物棵间蒸发量,具有降低作物耗水量的潜在优势。本试验也证明了覆膜对累积蒸发量的影响。

4 结 论

1)地膜覆盖对土壤蒸发影响显著,3 种可降解膜处理对比发现,不同辐射方式、不同光照环境对累积蒸发量的影响不同,两种辐射方式下各阶段蒸发量的变化关系都是近光>中间光>远光,且近光、中间光条件下的累积蒸发量较远光条件下分别高 72%、50%(连续辐射)和 70.5%、48.9%(间断辐射)。同样,连续和间断辐射方式下,与 CK 相比 PE、BD1、BD2、BD3 处理的抑蒸率分别高 32.5%、16.51%、14. 34%、16. 35% 和 26.74%、16. 69%、15.74%、17.18%;3 种可降解膜中主要成分为 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。

2)红外灯光连续照射方式下的累积蒸发量呈对

数形逐渐增大的曲线,而间断照射方式下的累积蒸发量呈震荡(波形)递增的曲线。红外灯光连续照射方式下各时段的累积蒸发量大于红外灯光间断照射方式。两种照射方式下,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。

参 考 文 献:

[1] 熊立兵,杨恕,鲁地.亚洲中部干旱区水环境变迁及其生态环境效应[J].甘肃科技,2005,21(6):1-5.

[2] 康绍忠,李永杰.21 世纪我国节水农业发展趋势及其对策[J].农业工程学报,1997,13(4):32-36.

[3] 张吉祥,汪有科,贠学锋,等.不同麦秆覆盖量对夏玉米耗水量和生理性状的影响[J].灌溉排水学报,2007,26(3):69-71.

[4] Hou X Y, Wang F X , Han J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(1):115-121.

[5] 赵永敢,王婧,李玉义,等.秸秆隔层与地膜覆盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J].农业工程学报,2013,29(23):109-117.

[6] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.

[7] 张丹,胡万里,刘宏斌,等.华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J].农业工程学报,2016,32(3):1-5.

[8] 何文清,严昌荣,赵彩霞,等.我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):533-538.

[9] 刘建国,李彦斌,张伟,等.绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(2):246-250.

[10] 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.

[11] Yan C R, He W Q , Liu E K, et al. Concept and estimation of crop safety period of plastic film mulching [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9):1-4.

[12] 王志超,李仙岳,史海滨,等.残膜埋深对滴灌条件下粉砂壤土水分入渗影响的试验研究[J].土壤,2014,46(4):710-715.

[13] 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.

[14] 毕继业,王秀芬,朱道林.地膜覆盖对农作物产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(11):172-175.

[15] 邬强.可降解膜覆盖对滴灌棉花土壤水热盐及作物生长的影响及机理研究[D].石河子:石河子大学,2018.

[16] 宋玉秋,张强,陈天佑,等.可降解种膜直播对水稻生长和产量的影响[J].华中农业大学学报,2017,36(4):1-6.

[17] 任全茂.可降解膜覆盖对土壤水热状况及冬小麦生长、产量的影响研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2017.

[18] 赵沛义,康暄,妥德宝,等.降解地膜覆盖对土壤环境和旱地向日葵生长发育的影响[J].中国农学通报,2012,28(6):84-89,13.

[19] 李显溦,石建初,左强.新疆棉花膜下滴灌技术存在的问题及改进措施[J].农业工程,2012,2(10):29-35.

[20] 兰俊杰.高直链淀粉基可降解膜的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.

[21] 赵丽兰,张日平,吴威娜,等.可降解银光膜在花生上应用效果的研究[J].莱阳农学院学报,2006,23(1):27-29,33.

[22] 金维续,程桂荪,张文群,等. 光降解地膜的农业效果与降解过程[J].农业环境科学学报, 1995,(4):162-166.

[23] 南殿杰,解红娥,李燕娥,等.覆盖光降解地膜对土壤污染及棉花生育影响的研究[J].棉花学报,1994,6(2):103-108.

[24] 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.

[25] 赵爱琴,李子忠,龚元石.生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况[J].中国农业大学学报,2005,10(2):74-78.

[26] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters [J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4):241-249.

[27] 解红娥,李永山,杨淑巧,等.农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J].农业环境科学学报,2007,26(Z1):153-156.

[28] 王志超,李仙岳,史海滨,等.含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J].农业工程学报,2016, 32(14):103-109.

[29] 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.

[30] 张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白.秸秆覆盖对土柱垂直一维水分传输与蒸发的影响[J].干旱区研究,2015,32(5):861-868.

[31] 牛文全,邹小阳,刘晶晶,等.残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J].农业工程学报,2016,32(14):110-119.

[32] 顾文兰.施用腐殖酸对土壤一维入渗和蒸发的影响试验研究[D].西安:西安理工大学,2017.

[33] 王慧,李绍才,龙凤,等. 覆膜开孔率对土壤水分蒸发的影响[J].中国水土保持, 2013,(8):37-39.

[34] 王春霞,王全九,庄亮,等. 干旱区膜下滴灌条件下膜孔蒸发特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011,29(1):14-21.

[35] 李毅,任鑫,司炳成. 覆膜开孔条件下层状土壤蒸发的水热运移[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(6):738-744.

[36] 李瑞平,赵靖丹,史海滨,等. 内蒙古通辽膜下滴灌玉米棵间蒸发量 SIM Dual-Kc 模型模拟[J]. 农业工程学报,2018,34(3):127-134.