

半干旱黄土丘陵区植物休眠期覆盖对土壤水热变化的影响

吴贤忠^{1,2}, 李毅¹, 汪有科^{3,4}

(1. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070; 2. 甘肃民族师范学院物理与水电工程系, 甘肃 合作 747000;

3. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过对半干旱黄土丘陵区植物休眠期内不同地膜覆盖下土壤水分与温度的野外试验观测, 研究覆膜下土壤水分运移规律与温度变化差异。于2014年10月—2015年4月在西北农林科技大学米脂试验站远志山同一水平阶地上, 观测裸地(CK)与透明薄膜覆盖(TF)2种处理下0—400 cm深度内土壤水分与裸地(CK)与透明薄膜覆盖(TF)、黑色薄膜覆盖(BF)3种处理下0—50 cm(15, 30, 50 cm)深度内土壤温度。结果表明: 在植物休眠期, 0—400 cm土壤储水量TF较CK高51.9%, 差异显著($p < 0.05$); 0—20 cm土壤储水量变幅最大, 20—60 cm的土壤储水量由上层54.9%降至26.3%; 在典型晴天, 非冻结阶段CK、TF与BF处理最值温差区间为2.25~2.7℃, 3.45~3.5℃, 1.5~1.8℃, 而在冻结阶段为1.65, 2.1, 1.2℃, 土壤冻结时覆膜保温效应不显著; 覆膜保温深度可达15 cm, BF处理保温效果优于TF处理。总体来看, 在植物休眠期覆膜可以提高0—20 cm深度范围的土壤含水量和土壤温度, 减少土壤水分损失并促进水分向深层入渗, BF处理较TF处理更加有利于增温与稳定温度变化。

关键词: 植物休眠期; 含水量; 温度; 典型覆盖; 半干旱黄土丘陵区

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0182-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.03.031

Effects of Film Mulching on Soil Moisture and Temperature Changes during Plant Dormancy Period in Semiarid Loess Hilly Region

WU Xianzhong^{1,2}, LI Yi¹, WANG Youke^{3,4}

(1. Forestry Institute, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2. Department of Physics and Hydraulic Engineering, Gansu Normal University for Nationalities, Hezuo, Gansu 747000;

3. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, CAS&ME, Yangling, Shaanxi 712100;

4. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: A field test was conducted at the Mizhi Experimental Station of Northwest A & F University from October 2014 to April 2015, to research the soil moisture movement law and temperature difference under different plastic film mulching in plant dormancy period in semiarid loess hilly region. No plastic film mulching (CK) and transparent film mulching (TF) treatments were set up at the same level of terraces at the depth of 0—400 cm to observe soil moisture movement. Three treatments, including CK, TF, and black film covering (BF) were designed at the same level at the depth of 0—50 cm (15 cm, 30 cm, 50 cm) to observe soil temperature. The results showed that soil water storage capacity of TF was 51.9% higher than that of CK at the depth of 0—400 cm in the dormancy period, and the difference was significant ($p < 0.05$). The maximum amplitude of soil water storage appeared at the depth of 0—20 cm, and soil water storage at the depth of 20—60 cm decreased from 54.9% to 26.3%. In typical sunny days, the maximum temperature difference between the three treatments of CK, TF, and BF was 2.25—2.7℃, 3.45—3.5℃, and 1.5—1.8℃ at the non-freezing stage. Whereas the difference was 1.65℃, 2.1℃ and 1.2℃ at the freezing stage, and the effect of film insulation was not obvious when the soil was frozen. The depth of film insulation was up to 15 cm, the warming effect of BF treatment was better than that of TF. The above evidences suggested that the plastic film mulching in plant dormancy period could increase soil moisture and soil temperature, reduce soil water loss and promote water deep infiltration in the 0—20 cm soil layer. Furthermore, BF treatment might be more favorable for warming and stabilizing temperature change than TF treatment.

收稿日期: 2016-11-30

资助项目: 国家林业公益项目“山地红枣生态经济林增效关键技术研究示范”(201404709); 国家支撑计划项目“陕北水蚀区植被功能调控技术与示范”(2015BAC01B03); 陕西统筹项目“红枣优质高效生产关键技术集成与示范”(2014KTCG01-03)

第一作者: 吴贤忠(1980—), 男, 博士研究生, 主要从事水资源高效利用研究。E-mail: wxz315@163.com

通信作者: 李毅(1962—), 男, 教授, 博士研究生导师, 主要从事水土保持方面的研究。E-mail: liyi@gsau.edu.cn

Keywords: plant dormancy period; water storage capacity; temperature; typical film mulching; semiarid loess hilly region

黄土高原地区干旱少雨、生态脆弱,严重威胁区域农业生产的发展。为减少土表蒸发,储水保墒,生产中常采用地膜覆盖的方法。地膜覆盖技术是中国农业生产中最重要的技术措施之一。国内外大量研究表明,地膜覆盖技术在提高地温^[1-2]、增加土壤储水量^[3-4],调节地面吸热和水分蒸发,改善土壤水肥气热条件^[5-7]等方面具有显著效应。大量研究多集中探讨植物生育期内土壤水热情况^[8-10],对于黄土高原地区较为重要的植物休眠期的已有研究也仅限于土壤水分损失^[11-12],而土壤水热变化过程相互耦合研究甚少^[13],因此探讨地膜覆盖下植物休眠期土壤水分与温度变化具有重要的研究意义。

本文以陕西省米脂县枣树休眠期地膜覆盖下土壤为研究对象,将枣树休眠期按大气温度变化分段、分时段研究 0—400 cm 每 20 cm 处土壤水分与 0—50 cm (15, 30, 50 cm 处) 土层温度变化,探讨地膜覆盖下土壤水分温度变化规律,为该地区农业生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2014 年 10 月—2015 年 4 月在陕西省米脂县远志山西北农林科技大学试验基地 (37°40′—38°06′N, 100°15′—110°16′E) 进行,样地海拔 890 m。根据米脂县多年气象数据,该区年均气温 8.5℃,积温 3 281℃,年辐射总量 582.7 kJ/cm²,年日照时数 2 372.7 h,无霜期 165 d,年均降水量 451.6 mm,主要集中在 7—9 月,年潜在蒸发量为 1 600 mm 左右,属中温带半干旱气候。

试验区土壤为黄绵土,土壤容重 1.29~1.31 g/cm³,0—2 m 土层有效氮、磷、钾平均质量比依次为 30.12, 1.56, 89.33 mg/kg,有机质质量比 2.1 g/kg, pH 值为 8.6,饱和持水量 39.8%,田间持水量 23.4%,地下水埋深超过 50 m。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 土壤水分与温度观测试验布设在同一水平阶地上,深层土壤水分观测试验小区为直径 0.8 m、深 10 m 的大型土柱,为避免水分向土柱内扩散以及周围植物根系对水分的影响,土柱人工开挖后内壁用防水塑料膜与周围土层隔开。土柱选用透明薄膜覆盖,2 个重复,并以裸地为对照(CK),透明薄膜选用厚度为 0.015 mm 的无色透明聚乙烯塑料膜,双层覆盖,在上下层薄膜上设有若干不对称直径约 2~3 mm 的小孔以便雨水进入,上下膜间距为 30 cm。土壤温度覆膜观测试验选取白色薄膜(TF)和黑色薄膜(BF)覆盖 2 种处理,以裸地无覆盖作为对照(CK),每个处理重复 3 次,9

个小区随机区组排列。试验地周边挖 1 m 深槽,埋设厚塑料布将周边土壤隔离,以防止周边土壤水分及根系对试验小区产生影响。

1.2.2 数据采集 深层土壤水分数据采集为在每个土柱的中间位置安置 10 m 长铝合金套管,利用 CNC-503DR 型中子土壤水分仪观测,测定深度为 0—10 m。本文选取 0—400 cm 的土壤水分数据。

浅层土壤温度数据采集在 2 种覆膜地及裸地距地表 15, 30, 50 cm 处埋设由美国 Decagon 公司生产的 GS3 土壤水分传感器,利用 Em50 数据采集器,以 30 min 为步长采集土壤不同深度的温度(T ,℃)和含水量(θ , cm³/cm³)。本文只选用温度数据。

距试验地 100 m 处布设有小型自动气象站,监测步长为 10 min,用于测定降水量(mm)、气温(℃)、净辐射(w/m²)、相对湿度(%)、风速(m/s)等。

1.3 数据处理

数据整理和统计分析采用 Excel 2010 与 SPSS 23.0 进行,方差分析使用最小显著差异 LSD 法进行,采用 Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 休眠期气象及时段划分

由图 1 可知,2014 年 10 月—2015 年 4 月,期间降水量为 62.4 mm,其中 10, 11, 2, 4 月降水量大于 10 mm,4 月最高温度 32.2℃,1 月最低温度 -19.4℃,按照气温及太阳辐射强度的变化,结合以往研究^[12, 14-15],将休眠期分为 5 个阶段:2014 年 10 月 1 日—11 月 1 日,此阶段大气温度在零度以上,土壤无冻结现象,为未冻结阶段;2014 年 11 月 2 日—11 月 29 日,日最低温度出现零度,土壤呈昼融夜冻状态,为区别后阶段,此阶段为渐冻结阶段;2014 年 11 月 30 日—2015 年 2 月 13 日,该时间段日平均温度在连续零度以下,为冻结阶段;2015 年 2 月 14 日—3 月 10 日,气温渐回升,土壤又呈昼融夜冻状态,为消融解冻阶段;2015 年 3 月 11 日—4 月 30 日,日平均温度连续在零度以上,该阶段为完全解冻阶段。

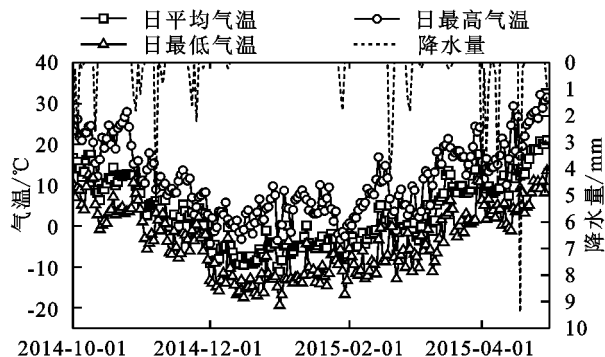


图1 休眠期降水量及气温

2.2 典型覆盖下土壤含水率

从土壤体积含水率变化来看(图 2),休眠期不同处理的土壤水分在不同的时段有不同的变化,具有一定的层次性和阶段性。结合图 1 可知,未冻结阶段(2014 年 10 月 1 日—11 月 1 日),覆膜下土壤含水率较裸地高,土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 48.9%,360 cm 处覆膜与 CK 接近。渐冻结阶段(2014 年 11 月 2 日—11 月 29 日),覆膜与裸地土壤含水率相对于未冻结阶段都有降低,但裸地更甚,变化范围在 0—120 cm 之间,其中 0—60 cm 变化最大,变幅为 30.3%~15.9%,TF 处理在 0—280 cm 土壤含水率略有下降,降幅平均值为 8.5%,在 300—400 cm 土壤含水率增幅平均值达 39.6%,这可能是因覆膜导致土壤水分下渗,400 cm 处覆膜与 CK 接近,土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 53.6%,覆膜保墒的效应进一步得到体现。

冻结阶段(2014 年 11 月 30 日—2015 年 2 月 13 日),0—200 cm 土层的土壤含水率较上阶段 CK 呈降低趋势,220 cm 以下的土壤含水率基本不变。TF 处理下 0—340 cm 土层的土壤含水率出现降低趋势,较上阶段深度增加 60 cm,340—400 cm 土层的土壤含水率呈增加趋势。土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 51.9%。

消融解冻阶段(2015 年 2 月 14 日—3 月 10 日),CK 在 0—200 cm 土层的土壤含水率依然下降,降至 12.1%,其中 0—40 cm 下降最多。土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 51.6%,其值小于上阶段,这与该阶段的降水补充有关。完全解冻阶段(2015 年 3 月 11 日—4 月 30 日),0—20 cm 土层的土壤含水率覆盖及裸地都出现降低趋势,200—400 cm 土层土壤含水率覆膜处理较上阶段出现增加趋势。土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 53.4%。

2.3 典型覆盖下土壤储水量

土壤储水量 W 计算公式为:

$$W = \sum (\Delta\theta_i \times Z_i)$$

式中: $\Delta\theta_i$ 为土壤某一层次体积含水量(%); Z_i 为土壤层次厚度(mm); i 为土壤层次。

由图 3 可知,在 0—20,20—60 cm,TF 处理显著高于 CK,平均土壤储水量较对照分别高 54.9%,26.3% ($p < 0.05$)。相对于 0—20 cm,覆盖对土壤储水量的影响大为降低。60—120 cm 土壤储水量变化表明,在该深度,二者变化趋势相近,TF 较 CK 差异显著 ($p < 0.05$),120—200 cm 与 200—300 cm 土层 TF 较 CK 差异显著 ($p < 0.05$),对照在 200—300 cm 土层土壤储水量在休眠期有增大的趋势,这可能与表层温度逐渐下降,而该层温度相对保持不变,形成的温度梯度导致的上层土壤水分向下运移造成的。在 0—400 cm 土壤储

水量 TF 较 CK 高 51.9%,差异显著 ($p < 0.05$)。

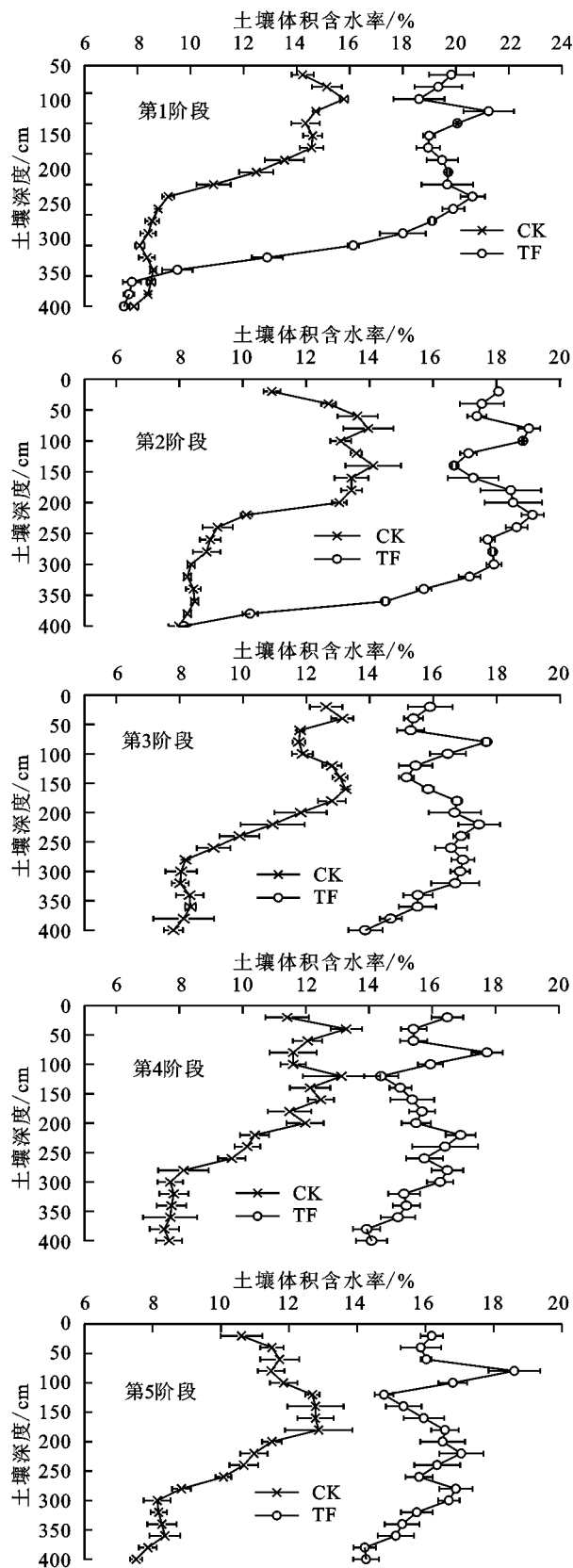
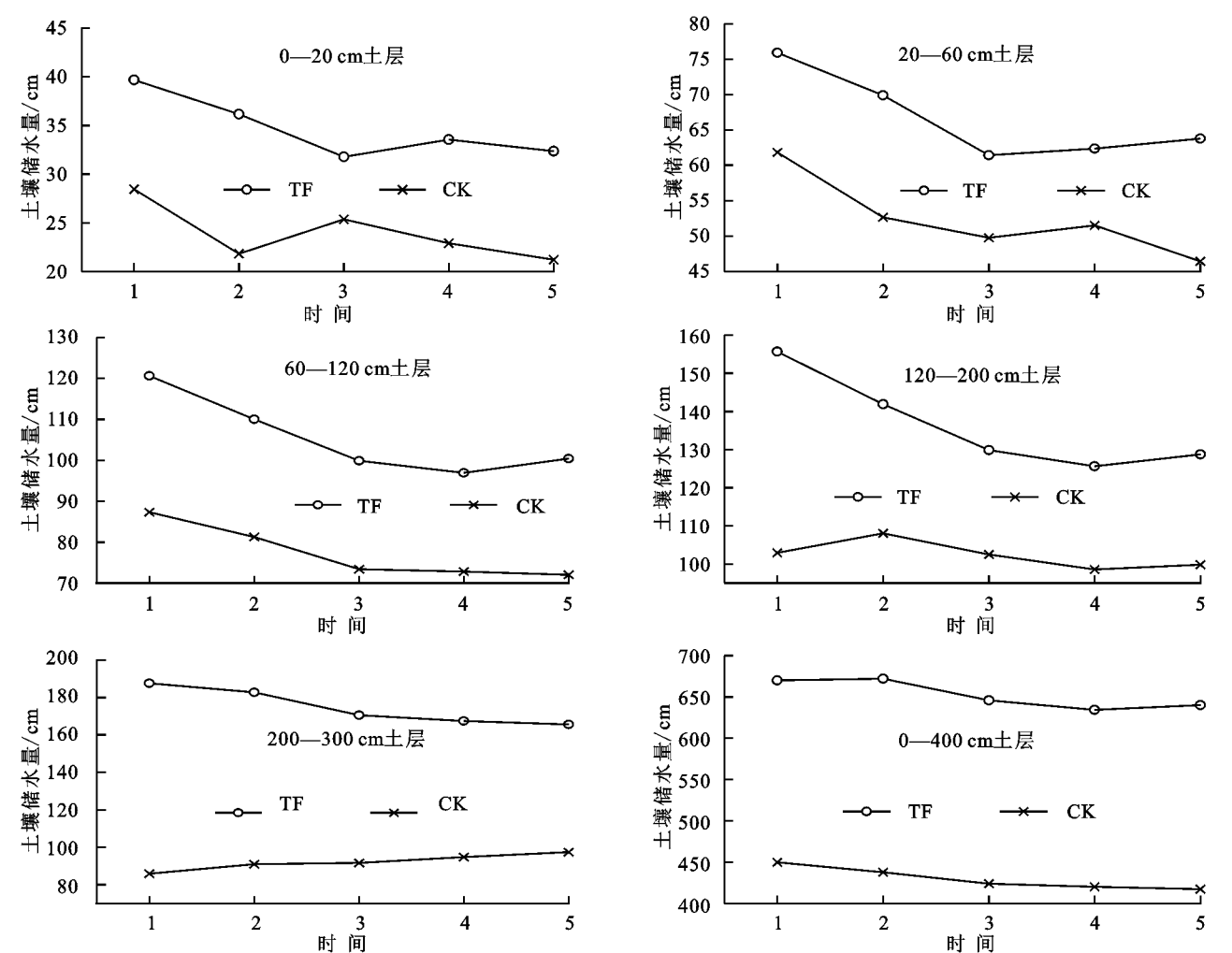


图 2 休眠期不同时段各处理下土壤体积含水率

2.4 典型晴天土壤温度日变化

土壤温度是太阳辐射平衡、土壤热量平衡和土壤热学性质共同作用的结果。地膜覆盖能显著改善土壤水热条件,是影响土壤温度的重要因素之一。



注:横坐标 1~5 代表植物休眠期划分的 5 个时段,与前文所述一致。

图 3 休眠期不同处理在不同深度土壤储水量动态变化

在休眠期各阶段分别选取时间为 2014 年 10 月 4 日、11 月 5 日、2015 年 1 月 7 日、2 月 19 日、4 月 8 日 5 个晴天,从图 4 可以看出,24 h 内,大气温度及不同处理的土壤温度大致呈现余弦函数变化,渐冻阶段变幅最大,冻结阶段变幅最小。在未冻结阶段与完全解冻阶段,CK、TF 和 BF 处理最低温度出现时间为 10:00、12:00 和 13:00,最高温度出现时间为 18:00、20:00 和 21:00,TF、BF 处理相对于 CK 处理最低、最高温度分别滞后 2 h 和 3 h,最高最低温度差大小分别为 3.45℃(TF)>2.25℃(CK)>1.8℃(BF);渐冻结阶段与消融解冻阶段较上述 2 个阶段最高、最低温度出现时间更为滞后,TF 处理最低温度出现时间跟上述 2 阶段一致,而 BF 处理最低温度出现时间延后至 14:00,TF 和 BF 处理最高温度出现时间延后至 21:00 和 23:00,最高最低温度差大小分别为 3.5℃(TF)>2.7℃(CK)>1.5℃(BF);冻结阶段最高温度为 BF>TF>CK,但三者仅相差 0.05℃,CK、TF 与 BF 处理最高最低温度差分别为 1.65、2.1、1.2℃,可见冻结阶段覆膜保温作用并不显著。综上地膜覆盖可有效提高土壤温度,土壤冻结前,BF 处理保温滞后作用明显,较 TF

处理更有利于稳定土壤温度。

表 1 不同覆膜方式下休眠期各时段土壤日平均温度变化

土壤深度/cm	覆膜方式	休眠期时段				
		未冻结阶段	渐冻阶段	冻结阶段	消融解冻阶段	完全解冻阶段
15	TF	14.90a	6.02ab	-2.16ab	0.62a	12.81a
	BF	14.86a	6.36a	-1.69a	0.84a	12.70a
	CK	13.73b	5.40b	-2.29b	0.22b	11.19b
30	TF	15.07a	7.03a	-1.06ab	0.08a	11.12a
	BF	15.11a	7.38a	-0.59a	0.09a	11.71a
	CK	14.41a	6.48a	-1.25b	0.07a	10.12a
50	TF	15.60a	8.43a	0.49a	0.22a	9.94a
	BF	15.85a	8.80a	0.88a	0.33a	10.14a
	CK	15.08a	8.11a	0.39a	0.24a	9.04a

注:同深度内同列数据后不同小写字母表示在休眠期同阶段内不同处理间差异显著($p<0.05$)。

2.5 典型覆盖下土壤日平均温度的变化

由表 1 可知,在植物休眠期,15 cm 土壤温度 TF 与 BF 处理差异不显著,BF 处理较 CK 差异显著($p<0.05$),TF 处理除渐冻及冻结 2 个阶段外其余阶段较 CK 差异显著($p<0.05$),首末 2 个阶段,土壤平均温度 TF>BF>CK,TF 与 BF 处理分别较 CK 高 1.17~1.62℃和 1.13~1.51℃,土壤完全冻结及前后 3 个阶段内,

土壤平均温度 $BF > TF > CK$; 30 cm 处土壤温度在完全冻结时段内, BF 处理较 CK 差异显著 ($p < 0.05$)。综合而言, 地膜覆盖保温效应随深度减小, 15 cm 深度内影响显著, 30—50 cm 内覆膜保温差异不显著, 在土壤完全冻结阶段内, BF 处理的保温效益优于 TF 处理。

3 讨论与结论

(1) 植物休眠期覆膜处理下土壤水分在不同的时段有不同的变化。覆膜保墒效果明显, 土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高 48.9%~53.6%。覆膜与裸地对照土壤水分都有不同程度的损失, 但裸地对照损失最多, 覆膜处理下土壤水分损失深度随时间不断增加, 由 0—280 cm 增加至 0—340 cm, 深层土壤入渗深度不断增加, 340—400 cm 土壤含水率增加, 这与靳姗姗等^[12]的研究结论一致。

(2) 休眠期 0—400 cm 土壤储水量 TF 较 CK 差异显著, 其中以 0—20 cm 土层最为显著, 20—60 cm 土壤储水量较上层由 54.9% 降至 26.3%, 变化最大。

(3) 在休眠期典型晴天, 大气温度及不同处理的土壤温度大致呈现余弦函数变化, TF 和 BF 处理最值温度滞后 2~3 h, 在完全冻结前, 滞后 3~5 h, BF 处理滞后效应更加明显。非完全冻结阶段, CK、TF 与 BF 处理最值温差区间为 2.25~2.7, 3.45~3.5, 1.5~1.8 °C, 相比而言, 冻结阶段覆膜效应并不明显, 3 种处理最值温差分别为 1.65, 2.1, 1.2 °C。

(4) 15 cm 土壤温度 TF 与 BF 处理差异不显著, 在完全冻结的前后阶段, 气温较低时 TF 较 CK 差异不显著, 但在休眠期该深度内的 BF 处理较 CK 差异显著 ($p < 0.05$), BF 处理保温效应较为明显。30 cm 与 50 cm, TF 处理与 CK 差异不显著, BF 处理在冻结阶段可影响温度深度达到 30 cm, 因此, 在植物休眠期, 土壤覆膜保温效应影响深度为 15 cm, BF 处理下土壤温度变幅较小, 土壤温度更加稳定。

参考文献:

- [1] 殷涛, 何文清, 严昌荣, 等. 地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤热效应的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 78-87.
- [2] 江燕, 史春余, 王振振, 等. 地膜覆盖对耕层土壤温度水分和甘薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 627-634.
- [3] 李荣, 王敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 106-113.
- [4] 李尚中, 王勇, 樊廷录, 等. 旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 922-931.
- [5] 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.
- [6] 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.

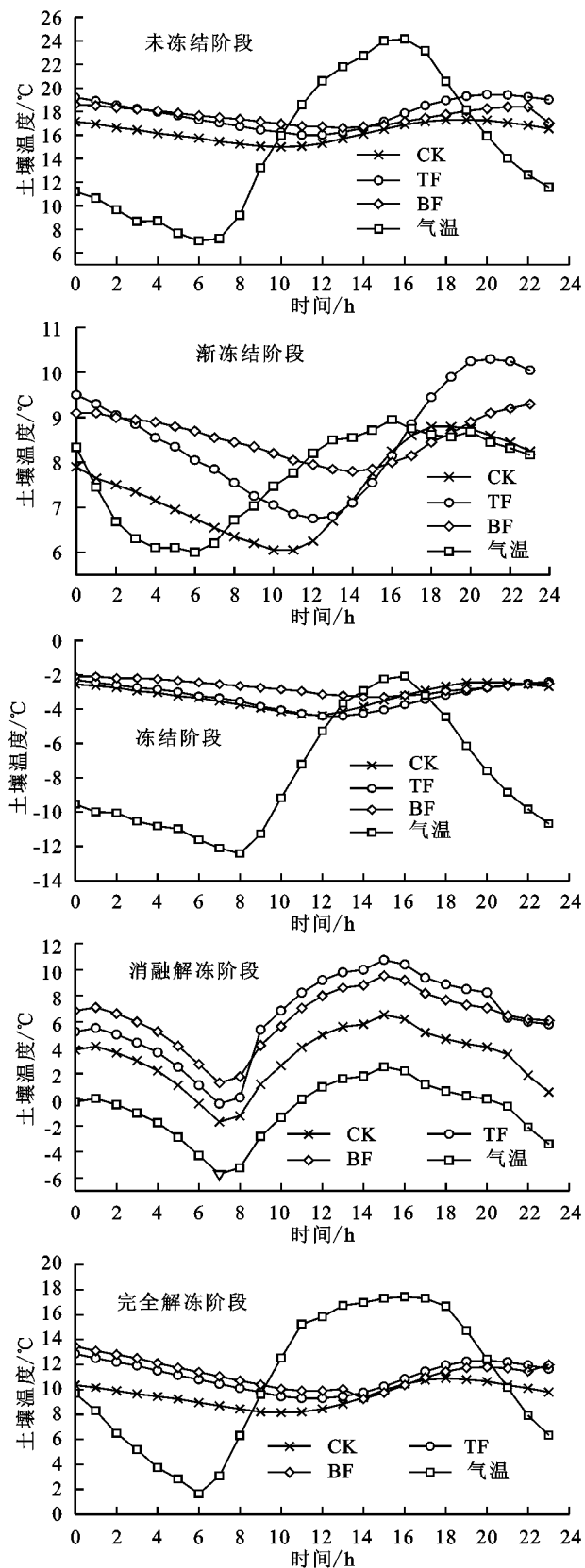


图 4 休眠期不同处理在 15 cm 深度处土壤温度日变化