

Changes of Soil Water and Heat during Plant Dormancy in the Semi-arid Loess Hilly Region under Film Mulching

Xianzhong Wu¹, Youke Wang^{2, 3*}, Zhitong Wang⁴ and Zhihua Gao⁴

(1. Department of physics and Hydraulic engineering of Gansu Normal University for Nationalities, Gansu, hezuo 747000; 2. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, CAS & ME, Shaanxi, Yangling 712100, China; 3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Shaanxi, Yangling 712100, China; 4. Alxa Left Banner Agriculture and Animal Husbandry Bureau of Inner Mongolia, Inner Mongolia, Alxa Left Banner 750300)

Abstract. purpose: to study changes of soil moisture and temperature during plant dormancy under different film covering conditions. Method: observe the soil water content and temperature under the condition of bare land (CK), transparent film covering (TF) and black film covering (BF) in the wild. Result: during the dormant period, the average soil moisture content under TF condition is 48.9%~53.6%, higher than that under CK condition, which means that water is better conserved under film covering; soil temperature under the depth of 15cm has no significant difference between TF and BF condition, which means the effect of film covering lasts for 15cm. Conclusion: Film can increase soil water and temperature within the depth from 0 to 20cm, and promote deep water infiltration. Compared with TF condition, BF condition is more favorable to the increase of temperature and to stable temperature.

Keywords: Plant dormancy; Moisture; Temperature; Typical mulching; Semi-Arid loess hilly region

薄膜覆盖下半干旱黄土丘陵区植物休眠期土壤水热变化

吴贤忠¹, 汪有科^{2, 3*}, 王治同⁴ 高志华⁴

(1. 甘肃民族师范学院 物理与水电工程系, 甘肃 合作 747000; 2. 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; 3. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 内蒙阿拉善左旗农牧局, 内蒙古 阿拉善左旗 750300)

摘要: 目的: 研究区域内植物休眠期不同薄膜覆盖下土壤水分与温度变化差异。方法: 野外观测裸地 (CK) 与透明薄膜覆盖 (TF)、黑色薄膜覆盖 (BF) 三种处理土壤水分与温度。结果: 在植物休眠期, 土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高出 48.9%~53.6%, 覆膜较裸地土壤水分损失少; 15cm 土壤温度 TF 与 BF 处理差异不显著, 土壤覆膜保温效应影响深度为 15cm。结论: 覆膜可以提高 0~20cm 深度范围的土壤水分温度, 促进深层水分入渗, 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

引言

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, 国内外大量研究结

果表明^[1-4]，其在提高地温、增加土壤储水量，调节地面吸热和水分蒸发，改善土壤水肥气热条件等方面具有显著效应。然大量研究多集中探讨植物生育期内土壤水热情况^[5-7]，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^[8-9]，而土壤水热变化过程相互耦合^[10]，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植物休眠期地膜覆盖下土壤为研究对象，将植物休眠期按大气温度变化分段，分时段研究 0~400cm 每 20cm 处土壤水分与 0~50cm（15、30、50cm 处）土层温度变化，探讨地膜覆盖下土壤水分温度变化规律，为地区开展农业生产实践提高理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

试验于 2015 年 7 月-2016 年 7 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，属于中温带半干旱性气候区。根据米脂县多年气象数据，该区年均气温 8.5℃，积温 3281℃，年辐射总量 582.7 kJ/cm²，年日照时数 2372.7h，年均无霜期 165d，年均降雨量 451.6mm，主要集中在 7~9 三个月，年潜在蒸发量为 1600mm 左右，属中温带半干旱气候。

试验区土壤为黄绵土，土壤容重 1.29~1.31g/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 2.1g/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 试验设计与数据采集

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，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，两个重复，并以裸地为对照（CK），数据采集为在每个土柱的中间位置安置 4m 长铝合金套管，利用 CNC-503DR 型中子土壤水分仪观测；土壤温度覆膜观测试验选取白色薄膜（TF）和黑色薄膜（BF）覆盖两种处理，以裸地无覆盖作为对照（CK），每个处理重复三次，9 个小区随机区组排列。试验地周边挖 1m 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。数据采集埋设由美国 Decagon 公司生产的 GS3 土壤水分传感器，利用 Em50 数据采集器，以 30min 为步长采集土壤不同深度的温度（T，℃）。距试验地 100 米处布设有小型自动气象站，监测步长为 10 min，用于测定降雨（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（Least significant difference）法进行；采用 Origin 8.5 作图。

2 结果与讨论

2.1 植物休眠期时段划分

2014 年 10 月—2015 年 4 月，期间降雨量为 62.4mm，其中 10、11、2、4 月降雨量 P>10mm，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，将休眠期分为五个阶段，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。

典型覆盖下土壤含水率

从土壤体积含水率变化来看（图1），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 高出 48.9%，360cm 处覆膜与 CK 接近。渐冻阶段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 0~120cm 之间，在 300~400cm 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，400cm 处覆膜与 CK 接近，覆膜保墒的效应进一步得到体现。冻结阶段 0~200cm 土层的土壤含水率较上阶段 CK 呈降低趋势，220cm 以下的土壤含水率基本不变。TF 处理下 0~340cm 土层的土壤含水率出现降低趋势，>340~400cm 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 高出 51.9%。消融解冻阶段 CK 在 0~200cm 土层的土壤含水率依然下降，降至 12.1%，其中 0~40cm 下降最多。土壤含水率平均值 TF 处理较 CK 高出 51.6%，其值小于上阶段，这与该阶段的降雨补充有关。完全解冻阶段 0~20cm 土层的土壤含水率覆盖及裸地都出现降低趋势，>200~400cm 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 高出 53.4%。

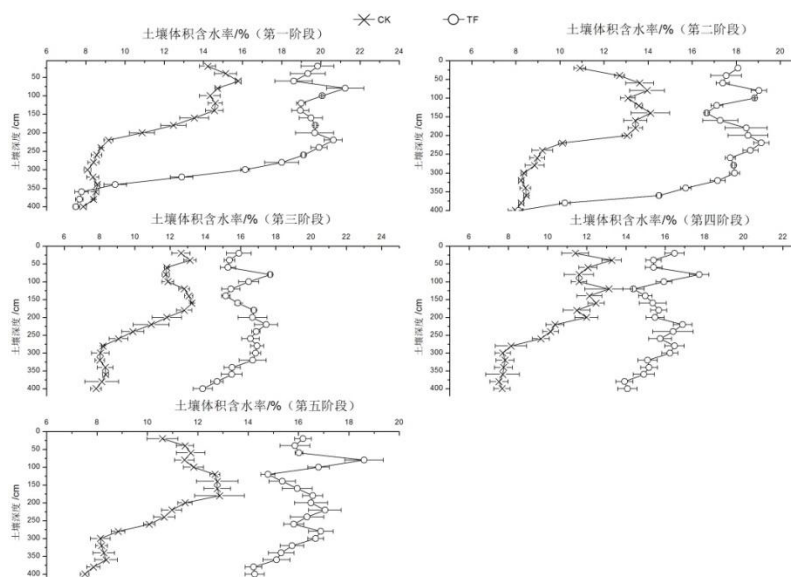


图1 休眠期不同时段各处理下土壤体积含水率变化

2.2 典型覆盖下土壤日平均温度的变化

从表1可看出，在植物休眠期，15cm 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 处理除渐冻及冻结两个阶段外较 CK 差异显著，首末两个阶段，土壤平均温度 $TF > BF > CK$ ，TF 与 BF 处理分别较 CK 高 $1.17 \sim 1.62^\circ\text{C}$ 和 $1.13 \sim 1.51^\circ\text{C}$ ，土壤完全冻结及前后三个阶段内，土壤平均温度 $BF > TF > CK$ ；30cm 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，15cm 深度内影响显著，30~50cm 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。

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	12.7a
	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

3 结论

植物休眠期覆膜处理的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 高出 48.9%~53.6%。覆膜与裸地对土壤水分都有不同程度的损失，但裸地对土壤水分损失最多，覆膜处理下土壤水分损失深度随时间不断增加，由 0~280cm 增加至 0~340cm，深层土壤入渗深度不断增加，>340~400cm 土壤含水率增加。

15cm 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 处理保温效益较为明显。30cm 与 50cm，TF 处理与 CK 差异不显著，BF 处理在冻结阶段可影响温度达到 30cm，因此，在植物休眠期内，土壤覆膜保温效应影响深度为 15cm，BF 处理下土壤温度变幅较小，土壤温度更加稳定。

4 致谢

基金项目：甘肃民族师范学院院长科研基金项目：变化环境下甘南州水资源优化配置及生态建设研究 (13-10)；甘肃省高等学校科研项目：陇东黄土高原经济林主要树种耗水特性及水分生产效益研究 (2015A-154)

Acknowledgement

Fund Project: Gansu Normal University for Nationalities project: Study on Optimal Allocation of Water Resources and Ecological Construction in Gannan under Changing Environment. (13-10); Gansu Higher Education Research Project: Study on Water Consumption Characteristics and Water Production Efficiency of Main Tree Species in Economic Forest of Longdong Loess Plateau. (2015A-154)

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水热效应的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 19: 78-87.
- [2] 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, 06: 738-744.
- [3] 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.

- [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] 王红丽,张绪成,于显枫,等. 黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响[J]. 生态学报,2016,16: 5215-5226.
- [6] 黄金辉,廖允成,高茂盛,等. 耕作和覆盖对黄土高原果园土壤水分和温度的影响[J]. 应用生态学报,2009,11: 2652-2658.
- [7] 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,2014,06: 627-634.
- [8] 靳姗姗,汪星,汪有科,等. 黄土丘陵枣林休眠期土壤水分损失及其剖面气态水分析[J]. 水土保持学报,2016,03: 309-316.
- [9] 靳姗姗,汪星,汪有科,等. 不同覆盖措施对减少枣林休眠期土壤水分损失的影响[J]. 农业工程学报,2016,14: 153-160.
- [10] 翟夏斐,李强,李富翠,等. 秸秆和地膜覆盖模式下土壤水热动态分析[J]. 土壤,2014,04: 716-724.

作者简介: 吴贤忠 (1980—), 男, 研究生, 主要从事水资源高效利用研究。Email: wxz315@163.com。

作者简介: 吴贤忠 (1980—), 男, 研究生, 主要从事水资源高效利用研究。Email: wxz315@163.com。

References:

- [1] Yin Tao, He Wenqing, Yan Changrong, etc. Effects of Plastic Mulching on Surface of No-till Straw Mulching on Soil Water and Temperature [J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 19: 78-87.
- [2] LI Yi, REN Xin, SI Bingcheng. Water and Heat Movement in Layered Soils During Evaporation under Perforated Plastic Mulch [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 06: 738-744.
- [3] 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.
- [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] Wang Hongli, Zhang Xucheng, Yu Xianfeng, etc. Effect of Using Black Plastic Film as Mulch on Soil Temperature and Moisture and Potato Yield [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 16: 5215-5226.
- [6] Huang Jinhui, Liao Yuncheng, Gao Maosheng, etc. Effects of Tillage and Mulching on Orchard Soil Moisture Content and Temperature in Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 11: 2652-2658.
- [7] Jiang Yan, Shi Chunyu, Wang Zhenzhen, etc. Effects of Plastic Film Mulching on Arable Layer Soil Temperature, Moisture and Yield of Sweet Potato [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 06: 627-634.
- [8] Jin Shanshan, Wang Xing, Wang Youke, etc. Mechanism of Soil Water Loss in Period of Jujube Plantation in the Loess Non-growth Hilly Region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 03: 309-316.
- [9] Jin Shanshan, Wang Xing, Wang Youke, etc. Effects of Typical Mulching Patterns on Soil Water Loss in Jujube Land during Dormancy Period [J]. Transactions of Chinese Society of

Agricultural Engineering, 2016, 14: 153-160.

- [10]Di Xiafei, Li Qiang, Li Fucui, etc. Soil Water and Heat Dynamic Analysis under Straw and Plastic Film Mulching Modes [J]. Soils, 2014, 04: 716-724.