

黄土塬区不同地膜覆盖度下土壤水热状况研究

刘春芬¹, 刘文兆^{1,2}, 林文², 韩晓阳², 李超³

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所

黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为进一步优化覆膜种植模式、了解作物增产机制,比较了黄土塬区无作物种植的旱作农田垄沟条件下土壤水热状况对不同地膜覆盖度(30%, 50%, 70%, 85%, 100%, CK即0%)的响应特征。结果表明:(1)地膜覆盖保水效果(Y, 4—9月土壤贮水增量)与覆盖度(X)呈正相关关系,拟合方程为 $Y=1.65X+42.60$,相关系数 $R=0.98$;地膜覆盖度越大,5 m土层内有效蓄积降水量越多;覆膜条件下降水入渗土壤的深度已到3 m以下。(2)土壤表层温度随覆盖度的增大而升高,有助于低温季节作物出苗;85%膜地温与全膜基本相近。地膜覆盖度从30%增加到85%过程中,白天地温达到峰值的速度加快,峰值加大。(3)综合考虑农田覆膜栽培的土壤水热状况及经济效益,以85%地膜覆盖为最佳选择。

关键词:黄土塬区; 地膜; 不同覆盖度; 土壤水分; 土壤温度

中图分类号:S316

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)06-0062-06

Soil Hydrothermal Status Under Different Degrees of Film Mulching Coverage on the Loess Tableland

LIU Chunfen¹, LIU Wenzhao^{1,2}, LIN Wen², HAN Xiaoyang², LI Chao³

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to further optimize film planting patterns and understand crop production mechanisms, responsive characteristics of soil hydrothermal status to different degrees of film mulching coverage (30%, 50%, 70%, 85%, 100%, and CK or 0%) were studied under the condition of dry farmland furrows with no crops on the loess tableland. The results showed that: (1) the water conservation effects (Y, the increment of soil water storage from April to September) were correlated with film coverage (X), the fitted equation was expressed as $Y=1.65X+42.60$, with a correlation coefficient of $R=0.98$; the greater film coverage was, the more validness of precipitation accumulation in 5 m soil profile was, the depth of rainfall infiltration under the film mulching condition was 3 m below the soil surface; (2) soil temperature increased with the increment of film coverage, which was good for crop emergence in low temperature season; soil temperature for the 85% mulching was almost the same as the whole-film mulching, ground temperature reached a maximum faster, with a higher peak value from the 30% of film mulching to 85%; (3) the 85% of film-covering was best pattern in terms of soil hydrothermal status under film mulching cultivation and economic benefits in farmland.

Keywords: loess tableland; film; different degrees of coverage; soil moisture; soil temperature

在黄土高原旱作农业区,地膜覆盖种植玉米已得到大面积推广,在土壤蓄水量、叶绿素含量、净光合速

率、蒸腾速率、水分利用效率以及产量性状等指标上均较传统种植表现优越^[1-2]。但由于气候和管理方式

的差异,采用的地膜覆盖度参差不齐。地膜覆盖宽度把握不当易影响作物生产力;而合适的薄膜宽度一方面能最大限度地增温保水,另一方面还可以节约成本,提高覆膜的经济性,因此不同地膜覆盖度的研究对于该区域粮食生产尤为必要^[3-7]。实际生产中人们在玉米地膜覆盖方面不断创新,将地膜与垄沟有效结合,由最初的半膜平铺逐渐发展为垄沟半膜、垄沟全膜等,同时研究者们也进行了覆膜结合垄沟的多种尝试。李小雁等^[8]的试验结果发现,玉米在株高、产量、穗粒重、水分利用效率和耗水量方面,均呈现垄沟全膜>垄沟半膜>单纯垄沟>平地裸种的趋势。针对垄沟覆膜集雨系统,王晓凌等^[9]指出,60 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨种植的玉米产量和水分利用效率高于30 cm 垄宽。另有研究表明,并非覆膜垄宽越大,沟中所集降雨越多、作物产量越高,例如,王俊鹏等^[10]在宁南的研究发现,垄沟宽均为60 cm 的覆膜集雨明显比垄沟宽均为75 cm 的效果好,在春小麦和玉米作物上,60 cm 垄宽比75 cm 垄宽分别增产24%,18%。Li等^[11]发现,在沟宽为60 cm,垄宽分别为60 cm 和120 cm 的模式下种植玉米时,120 cm 垄宽的产量显著低于60 cm 垄宽。

以往的研究大多侧重于薄膜平铺、垄沟半膜、垄沟全膜等某一固定模式的研究,不同地膜覆盖度间的效应对比涉及不多,作物种植方式也有所区别。为了更明确地比较旱作农田地膜覆盖度间的土壤水热效应差异,本研究在相同垄沟的基础上设置了不同地膜覆盖度,对玉米生长季内的土壤水分和土壤温度变化特征进行了分析,以期优化覆膜种植作物提供指导,也可为水热运移模型提供相关的数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验于中国科学院长武农业生态试验站进行,该站地处黄土高原南部的陕甘交界处,北纬35°14',东经107°41',海拔1 200 m,属暖温带大陆性季风气候。1月平均气温5.1℃,7月平均气温22.4℃,年均气温9.1℃,≥10℃年积温2 994℃,年日照时数2 218 h,无霜期171 d。年均降水量584 mm,多分布在7—9月份,地下水埋深50~80 m,农田生产全部依靠自然降水,属典型的旱作农业区。土壤属黑垆土,pH值为8.4,土质均匀疏松。试验期间降水量及月均气温见图1。

1.2 试验材料与设计

试验在2015年4月至9月进行,未种植作物,小区面积4 m×6 m,各小区垄、沟宽均为50 cm,垄高15 cm。

垄上覆膜,共设置了6个薄膜覆盖度,分别为0%(CK),30%(T₁),50%(T₂),70%(T₃),85%(T₄),100%(T₅),重复3次,18个小区完全随机排列,其他管理措施一致。为减少杂草蒸腾耗水对试验带来的影响,试验期间定期除草。试验采用无色透明的聚乙烯塑料薄膜,厚度0.015 mm,增温、保湿性能好。

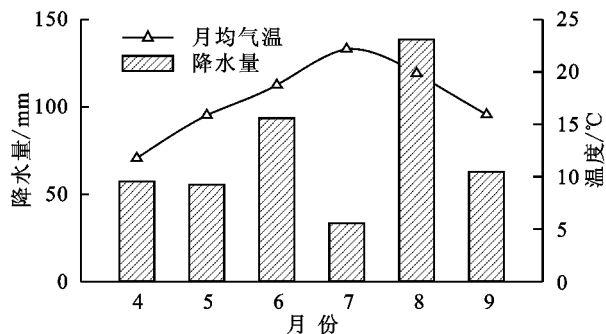


图1 2015年4—9月长武气温及降雨量

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分 2015年4月至9月期间,采用土钻法测定各小区沟中的土壤含水量,试验开始和结束两次的取样深度为0—500 cm,试验期间每10 d一次,深度为0—500 cm,试验期间为0—200 cm;1 m以上取样间隔10 cm,1 m以下间隔20 cm,每个处理相同测定指标3次重复。所取土壤样品放在105℃的烘箱中烘至恒重,测定土壤的含水量并按公式(1)计算土壤贮水量:

$$E=C \times \rho \times H \quad (1)$$

式中: E 表示贮水量(mm); C 表示土壤质量含水量(%); ρ 表示土壤容重(g/cm³); H 表示土层深度(mm)。

土壤贮水增量,为相应土层厚度内试验后与试验前土壤贮水量的差值。

1.3.2 土壤温度 采用JM624地温计测定土壤温度,主要包括:(1)15 cm地温连续观测:在春玉米生长季(4—9月)内测定垄、沟15 cm土层的温度,测定时间为每天的8:00,14:00,20:00。

(2)15 cm地温日变化:每10 d左右进行一次,测定时间为每天的8:00,10:00,12:00,14:00,16:00,18:00,20:00;(3)5 cm,10 cm地温:分别测定垄、沟各土层的温度,每10 d左右进行一次,测定时间为每天的8:00,14:00,20:00。

1.4 数据分析与处理

采用Microsoft Excel 2010,IBM SPSS Statistics 20和SigmaPlot 12.5软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 对土壤水分的影响

2.1.1 薄膜覆盖度与土壤保水效果的关系 本研究

中,土壤的保水效果用 4 月和 9 月(当地玉米播种前和收获后)的 0~5 m 土层贮水量的差值表示。覆盖度与贮水增量的关系见图 2,以薄膜覆盖度($X, \%$)为横坐标,以贮水增量(Y, mm)为纵坐标,拟合覆盖度与贮水增量的关系式为 $Y=1.65X+42.60$,相关系数 $R=0.98$,达到极显著水平。从该关系式可以看出,试验后贮水增量随覆盖度的增大呈增加趋势,以全膜覆盖的贮水增量最大,为 213.94 mm,显著高于 CK 和 T_1 ($p<0.05$)。 T_2, T_3, T_4 和 T_5 的贮水增量均无显著差异。

从图 3 可看出,试验前各处理沟中土壤含水量的垂直变化规律基本一致,0—60 cm,100—280 cm 土层水分逐渐减少;60—100 cm,300—500 cm 土层水分逐渐增加,且 300 cm 以下土壤含水量增加不明显。经过 4 个多月的不同覆膜处理,土壤含水量呈现明显的差异,其中不覆膜处理(CK)在整个 0—500 cm 土

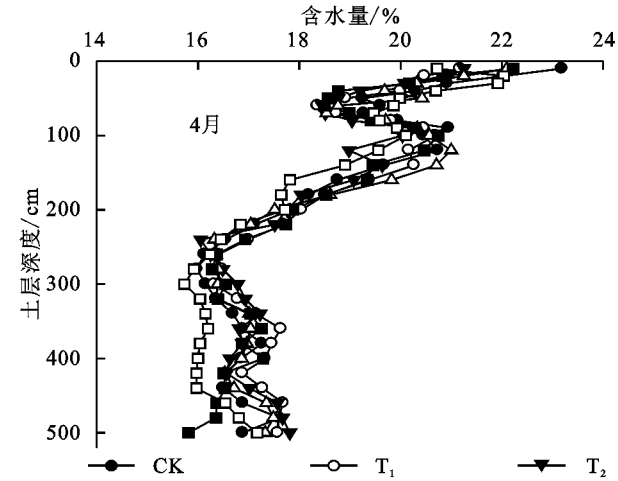


图 3 试验前、后各处理 5 m 土层内土壤含水量

2.1.2 试验前后沟中 5 m 土层贮水增量占降水量的比重 表 1 为试验前后沟中 5 m 土层贮水增量占当地降水量的百分率,试验期总降水量为 384.2 mm。可看出,试验后 5 m 土层内无膜处理(CK)只吸收了降水量的 11%, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 覆膜处理利用降水量的比值依次为 23%,37%,36%,48%,56%。薄膜覆盖度越大,试验期间 5 m 土层对降水的利用率越高。若以地膜覆盖度($X, \%$)为横坐标,以贮水增量占降水量的百分率($Y, \%$)为纵坐标,拟合关系式为 $Y=0.43X+11.09$,相关系数 $R=0.98$ 。

因此可推出,土壤蒸发量随覆盖度的增大呈减小趋势,说明薄膜覆盖度的增大有利于提高土壤贮水量,抑制土壤水分的无效蒸发,起到良好的保水保墒效果。

2.1.3 各覆膜条件下的土壤含水量剖面分析 图 4 为各覆膜处理 2 m 土层含水量的动态变化,受降雨

层的含水量均低于其他覆膜处理。与覆膜前相比,在 0—100 cm 土层,CK 减小, T_2, T_3, T_4, T_5 增大, T_1 先减小后增大;所有覆膜处理在 100 cm 以下土层的水分含量较覆膜前均有所增加,且 300 cm 以下土层差异明显,以 T_4 和 T_5 的保水效果最好。分析整个土层可知保水效果依次为 $T_5>T_4>T_3>T_2>T_1>CK$, T_5 与 T_4, T_3 与 T_2 的含水量变化基本相近。

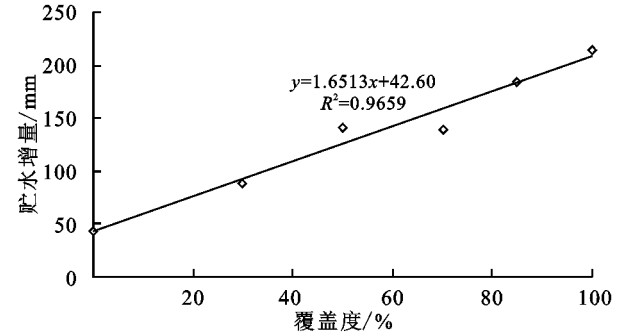
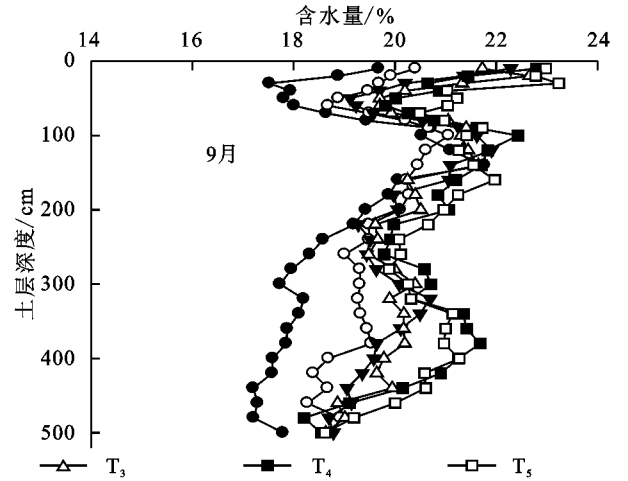


图 2 覆盖度与 5 m 土层内贮水增量的关系



和田间表土层强烈蒸发的影响,各覆膜处理沟中 0—20 cm 土层含水量随时间的推移变化剧烈;60—100 cm 土层含水量变化相对小;100—200 cm 土层含水量变化又趋于明显。

表 1 试验前后 5 m 土层贮水增量占降水量的百分率					
处理	试验前贮水量/mm	试验后贮水量/mm	贮水增量/mm	试验期总降水量/mm	百分率/%
CK	1166.16	1209.72	43.56±19.5a	384.2	11
T_1	1177.92	1265.62	87.70±41.1ab	384.2	23
T_2	1159.45	1300.06	140.61±85.6abc	384.2	37
T_3	1171.63	1310.91	139.28±94.9abc	384.2	36
T_4	1157.55	1341.26	183.71±19.9bc	384.2	48
T_5	1138.30	1352.24	213.94±33.0c	384.2	56

进一步分析图中数据可得,从 5 月 23 日到 10 月 1 日, T_1, T_2, T_3, T_4 和 T_5 覆盖处理沟中 0—20 cm 土层平均含水量分别较对照 CK 增加了 0.01%,

1.56%,1.64%,2.27%和 3.02%,可见在 0—20 cm 土层,随覆盖度的增大,土壤含水量增大。20—60 cm 土层各覆膜处理的平均含水量较 CK 依次增加 0.19%,0.90%,1.16%,1.37%,1.97%,与 0—20 cm 土层相比,增加值大体呈降低趋势。说明在 20—

60 cm 土层,含水量随覆盖度的增大依然增大,但增幅变小。与此类似,60—100 cm 和 100—200 cm 各覆膜处理含水量较 CK 的增幅随土层加深呈逐渐减小的趋势。因此增大地膜覆盖度所产生的保水效果随土层加深而减小。

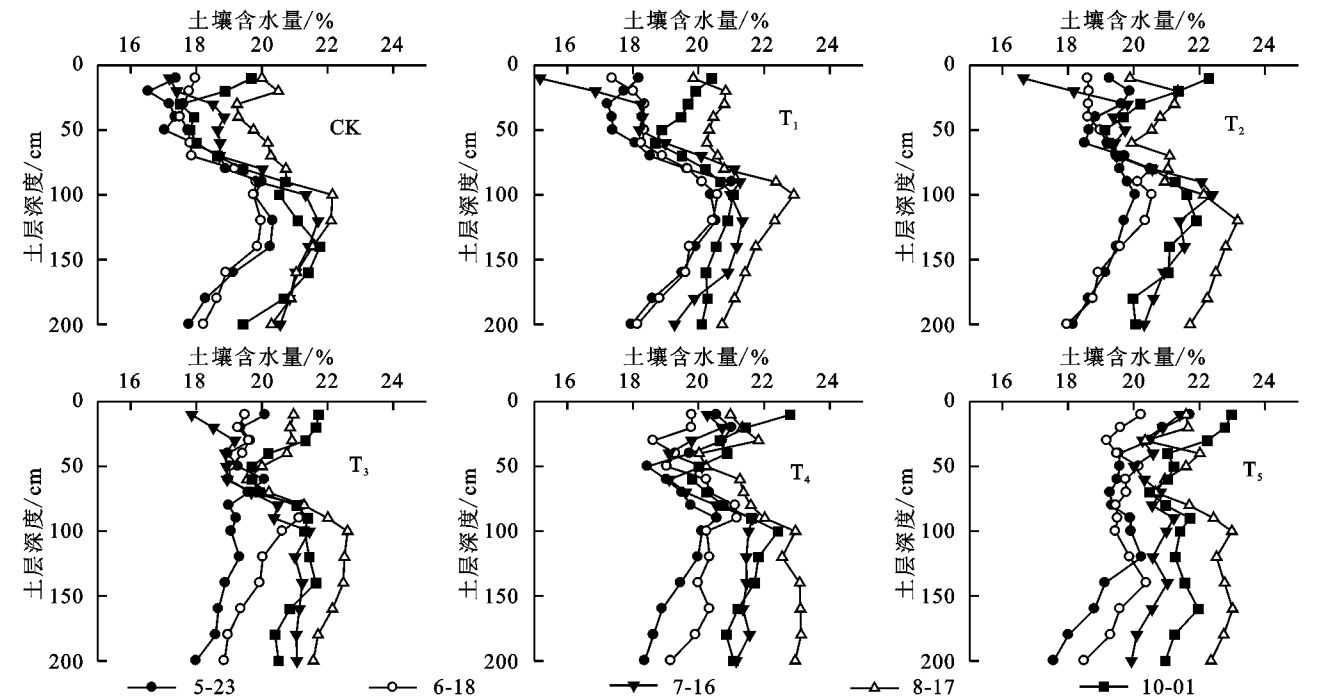


图 4 各覆膜处理 2 m 土层含水量的动态变化

2.2 土壤温度变化

2.2.1 覆膜初期土壤温度 地温是影响玉米种子出苗的重要因素,为解决春季低温导致出苗率低和苗弱的现象,提高苗期土壤温度显得尤为关键。图 5 为播种后 1 个月沟中不同土层地温随时间的变化,可看出随着土层的加深,地温总体呈下降趋势,且各覆膜处

理差异逐渐变小。 T_5 在 5 cm,10 cm 和 15 cm 土层的日均地温较 CK 分别升高 1.9~3.7℃,1.6~4.1℃,0.1~2.6℃。各覆膜处理较 CK 均有明显的增温效应,且增温效果随覆盖度增加基本呈增大趋势, T_5 与 T_4 相比差别不大。在当地玉米出苗期(4 月 27 日至 5 月 8 日),增大覆盖度明显提高了表层土壤温度。

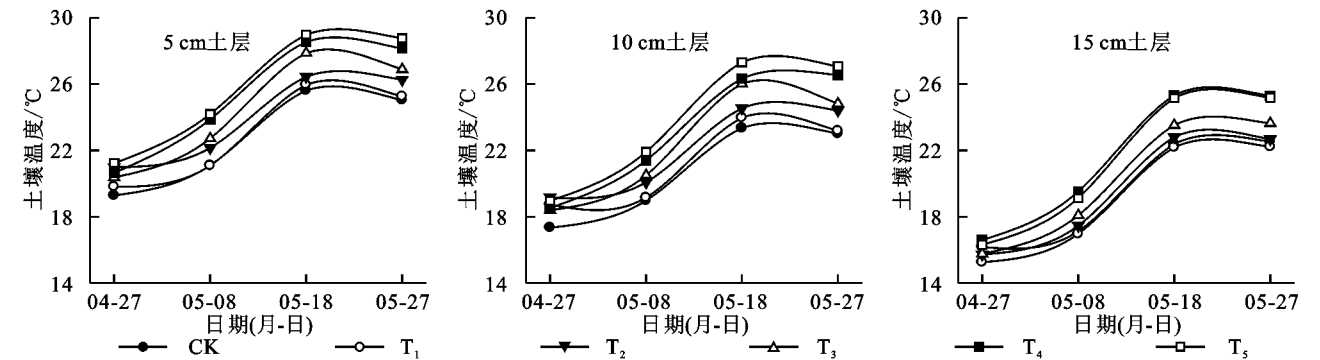


图 5 不同土层地温的动态变化

2.2.2 覆盖度与地温增量的关系 表 2 给出了薄膜覆盖度与各处理垄、沟 15 cm 土层地温增量的关系,以薄膜覆盖度($X, \%$)为横坐标,以地温增量($Y, ^\circ\text{C}$)为纵坐标,拟合方程。所有关系均构成直线方程,表明地温增量均随覆盖度的增大而增大。

试验期间垄上增温幅度为 1.5~7.7℃,最小值

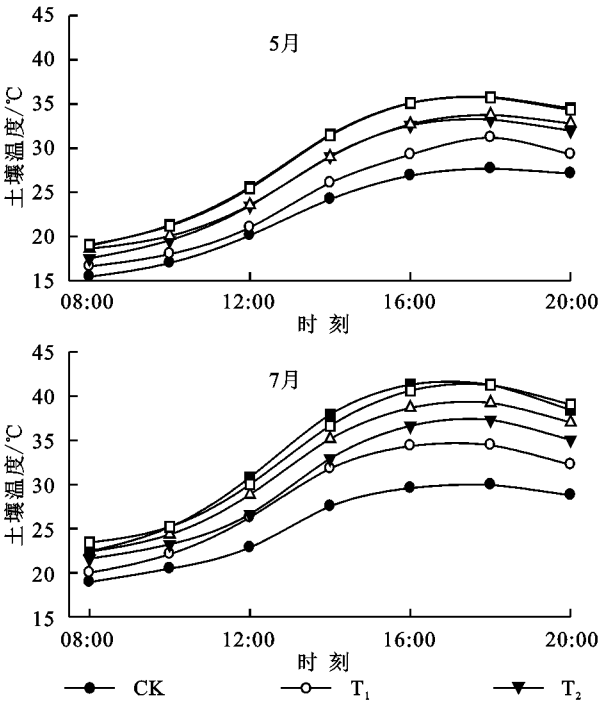
出现在 5 月的 30%覆膜处理,最大值出现在 8 月的全膜处理。整体而言,不同覆膜处理的增温效果为 $T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ (表 3)。比较各月份垄沟差异(表 2)可知,垄上地温增量随月份的推移斜率逐渐增大;沟中地温在 5 月,6 月,7 月的斜率依次增大,8 月有略降低的趋势;垄上各月增量大于沟中。

表 2 覆盖度与地温增量的关系

位置	月份	方程	R^2
垄	5 月	$y=0.0563x+0.3072$	0.9168**
	6 月	$y=0.0567x+0.5562$	0.9556**
	7 月	$y=0.0724x+0.8041$	0.9717**
	8 月	$y=0.0735x+0.8726$	0.9605**
沟	5 月	$y=0.0420x-1.4158$	0.9409**
	6 月	$y=0.0508x-1.6308$	0.9443**
	7 月	$y=0.0637x-2.0824$	0.9258**
	8 月	$y=0.0633x-1.9923$	0.9335**

注：* * 表示 $p<0.01$ 水平显著相关。

2.2.3 不同月份各处理垄上 15 cm 地温日变化特征 5—8 月间,垄上 15 cm 土层地温的日变化(图 6)表明,覆盖度越大,白天地温达到最大值的速度越快,且峰值越高;而全膜白天地温与 85%膜基本相近。另外,在较低覆盖度范围,各覆膜处理地温差异较大,T₃ 相对 T₂ 的地温增量小于 T₂ 相对 T₁ 的地温增量。6 月,



7 月的温度相对较高,覆盖处理与 CK 相比的增温幅度也较大。且气温越高,各覆膜水平地温差异越大。6 月,7 月的地温最大值分别为 40.3℃(出现在 T₄ 的 16:00)和 41.3℃(出现在 T₅ 的 18:00)。在 8 月气温降低时,最大值为 39.3℃,出现在 T₄ 的 16:00。说明在 5 月—8 月,月均气温先升后降的情况下,15 cm 土层白天温度最大值也先增大后减小,且最大值出现的时间在一天中先延后再推前。

表 3 各月份垄上日平均增温效果比较

覆膜处理	5 月	6 月	7 月	8 月	平均值/℃
T ₁	1.5	1.9	2.7	2.7	2.2
T ₂	3.6	3.7	4.7	4.8	4.2
T ₃	4.4	4.7	6.1	6.3	5.3
T ₄	5.5	5.6	7.3	7.5	6.5
T ₅	5.4	5.9	7.6	7.7	6.7

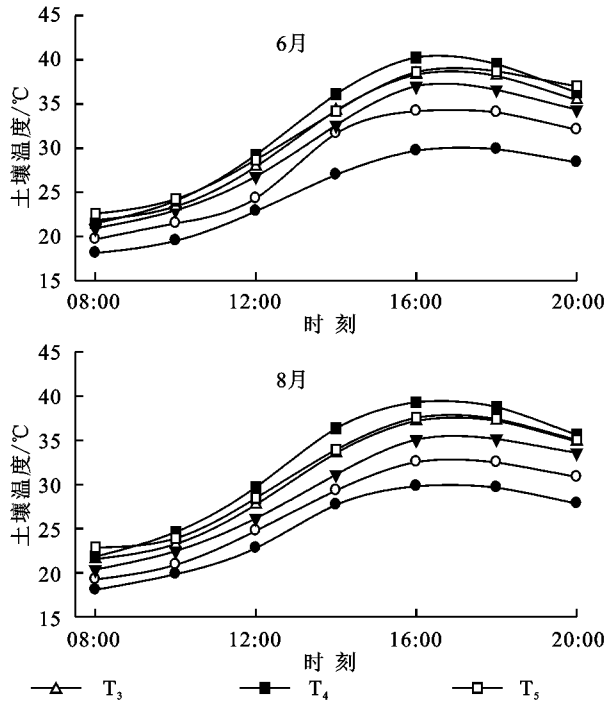


图 6 不同覆盖度下 5—8 月 15 cm 平均地温日变化

3 讨论与结论

(1) 已有研究^[12-14]证明在土壤贮水量方面,全膜垄沟>半膜垄沟>单纯垄沟,且全膜垄沟能够显著增加土壤贮水量,有效蓄积有限的降水。在此基础上,本研究给出了地膜保水效果与覆盖度的拟合方程式,为 $Y=1.65X+42.60$,相关系数 $R=0.98$,即增大地膜覆盖度有利于提高土壤贮水量。从土层贮水量、土壤剖面含水量以及有效蓄积降水量等方面对比得出保水效果以 85%膜和全膜为最佳,定量化地完善了农田覆膜机制。试验期间全膜覆盖 5 m 土层蓄积降水量达 56%,比对照 CK 高出 45 个百分点,起到了良好的保

水作用。6 个覆膜处理的含水量差异主要出现在 300 cm 以下土层,说明覆膜条件下降水入渗土壤的深度已到 3 m 以下,土壤水库得到充分补充。

(2) 在 5 cm,10 cm 和 15 cm 土层,地膜的增温效果随覆盖度的增加而增大,85%膜和全膜增温明显。据王敏^[14],李兴^[15]等研究报道,覆膜处理与不覆膜处理相比,增温最明显的时期是在玉米出苗至拔节,且在黄土高原旱作区,地膜覆盖使玉米生育前期 0—25 cm 土层的日平均温度比露地提高 2.2~3.0℃。还有研究^[16-18]指出,耕层温度在 24~31℃范围,玉米的发芽指数和活力指数明显上升,温度越高越利于出苗;而低于 20℃高于 35℃时,出苗率低。当地玉米出苗期各覆膜水平 5 cm 土层

增温明显,由 CK 的 19.3~25.0℃增大到 T₅ 的 21.2~28.8℃,增大薄膜覆盖度可通过提高表层土壤温度显著改善玉米出苗状况。从整体看,不同覆膜处理的增温效果为全膜>85%膜>70%膜>50%膜>30%膜,85%膜与全膜的增温效果相近。

2015 年的气温月均值在 5 月,6 月,7 月逐渐增大,8 月有减小的趋势。在分析覆盖度与地温增量的关系时,垄上增幅随月份增大;而沟中为先增大后减小,与气温月均值变化一致。说明与垄上相比,沟中地温与气温关系紧密。垄上增幅在 8 月气温降低的情况下略有增大,可能与积温或水热耦合效应^[19-20]有关。已有研究认为,温度升高会导致玉米生育期缩短,减少干物质积累时间,从而导致其产量下降^[21-24];刘小兰等^[25]也指出,土壤增温会加快作物根系早衰和土壤有机质的矿化及养分损失。据李兴^[15]等研究报道,覆膜处理与不覆膜处理相比,增温最明显的时期是在玉米出苗至拔节,后期增温减慢。因此如果覆膜种植玉米,土壤适当地增温不会对玉米生长后期造成太大的危害,但全膜增温最剧烈,容易产生负效应。另外全膜的经济成本最高,不应成为最佳选择。

(3) 综合考虑实际应用生产中覆膜初期的提温效果、高温季节的负效应、整个阶段的保水作用及农业生产的经济成本,试验得出 85%为最佳地膜覆盖度。基于 6 个覆膜处理的田间试验数据建立的覆盖度对土壤水分和土壤温度的差异化影响模式,为旱作农田覆膜保水提供重要依据。

参考文献:

- [1] 李永平,杨改河,冯永忠,等.黄土高原土壤风蚀区玉米起垄覆盖集水效应[J].农业工程学报,2009,25(4):59-65.
- [2] 石达金,闫飞燕,吕巨智,等.不同覆盖方式对玉米农艺性状及产量的影响[J].南方农业学报,2014,45(6):961-966.
- [3] 贾宇,徐炳成,王晓凌,等.半干旱黄土丘陵区垄沟集雨对紫花苜蓿人工草地土壤水分和产草量的影响[J].植物生态学报,2007,31(3):470-475.
- [4] 苏旺,屈洋,冯佰利,等.沟垄覆膜集水模式提高糜子光合作用和产量[J].农业工程学报,2014,30(13):137-145.
- [5] 张永玲,肖让,成自勇.膜上灌对玉米苗期土壤温度的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(4):96-98.
- [6] Li M Z, Sheng L J, Chang A L, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem [J]. Field Crops Research, 2012,126:181-188.
- [7] Liu J, Bu L, Zhu L, et al. Optimizing plant density and plastic film mulch to increase maize productivity and water-use efficiency in semiarid areas [J]. Agronomy Journal, 2014,106(4):1138-1146.
- [8] 李小雁,张瑞玲.旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J].水土保持学报,2005,19(2):45-48,52.
- [9] 王晓凌,陈明灿,易现峰,等.垄沟覆膜集雨系统垄宽和密度效应对玉米产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):40-47.
- [10] 王俊鹏,马林,蒋骏,等.宁南半干旱地区农田微集水种植技术研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,1999,27(3):22-27.
- [11] Li X Y, Gong J D. Effects of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches [J]. Agricultural Water Management, 2002, 54 (3):243-254.
- [12] 孙玉莲,边学军,黄成秀,等.全膜双垄沟播对旱区玉米田土壤水分和温度的影响[J].中国农业气象,2014,35 (5):511-515.
- [13] 冯良山,孙占祥,肖继兵,等.辽西地区微集水不同覆盖方式对玉米生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):118-121,143.
- [14] 王敏,王海霞,韩清芳,等.不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J].作物学报,2011,37(7):1249-1258.
- [15] 李兴,程满金,勾芒芒,等.黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J].生态环境学报,2010,19(1):218-222.
- [16] 陈民生,赵京岚,徐守国.玉米种子发芽特性与温度的相关性研究[J].山东农业科学,2007(2):40-43.
- [17] 王立志,王连敏,张国民,等.不同温度条件下玉米种子发芽的量化模型[J].中国农业气象,2000,21(3):36-38.
- [18] 马树庆,王琪,吕厚荃,等.水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响[J].生态学报,2012,32(11):3378-3385.
- [19] 孙福宝,杨大文,刘志雨,等.基于 Budyko 假设的黄河流域水热耦合平衡规律研究[J].水利学报,2007,38 (4):409-416.
- [20] 吴从林,黄介生,沈荣开.地膜覆盖条件下 SPAC 系统水热耦合运移模型的研究[J].水利学报,2000,31 (11):89-96.
- [21] Xiong W, Cong D, Lin E, et al. Potential impacts of climate change and climate variability on China's rice yield and production[J]. Climate Research, 2009, 40 (1):23-35.
- [22] 陈朝辉,Anle W,王娟娟,等.高温对玉米生产的危害及防御措施[J].作物杂志,2008,(4):90-92.
- [23] 王柳,熊伟,温小乐,等.温度降水等气候因子变化对中国玉米产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(21):138-146.
- [24] 熊伟,居辉,许吟隆,等.气候变化对中国农业温度阈值影响研究及其不确定性分析[J].地球科学进展,2006,21(1):70-76.
- [25] 刘小兰,李世清,王俊,等.半干旱黄土高原地区春小麦地膜覆盖研究概述[J].西北植物学报,2001,21(2):198-206.