

农田覆膜对冬小麦土壤水热的影响

马雪琴¹, 吴淑芳², 郭妮妮²

(1. 杨凌职业技术学院 水利工程分院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:针对以往在不同覆膜栽培方式下冬小麦土壤水热效应规律的研究不足,探究了不同覆膜方式冬小麦土壤水分效应和温度变化规律。试验共设计宽窄行垄膜(WLR)、宽窄行平膜(WPR)、等行距垄膜(DLR)、等行距平膜(DPR)、等行距平作裸地(CK)、全膜平作(PM)6个处理,采用 TRIME-TDR 和 ECH2O 水分传感器进行分别测定 0—200 cm 土壤含水率以及 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm 的土层地温的动态监测,以探索不同覆膜方式对土壤水热的影响。结果表明:(1)冬小麦全生育期内,0—200 cm 土层,PM, WLR 处理的平均土壤贮水量分别比 CK 增加了 8.52%, 6.81%, 其他处理差异不显著;在冬小麦生长阶段 4 月和 5 月降雨充沛时期,所有覆膜处理土壤含水率较对照处理分别减少 2%~12%。(2)降雨对覆膜条件下的土壤水热影响较大,雨后覆膜处理的土壤含水量较不覆膜低,土壤表层温度急剧下降,25 cm 以下深层土壤温度下降相对缓慢。(3)土壤温度日变化随土层深度呈“锥形”,5—25 cm 土层深度每增加 5 cm,土壤温度随气温的变化滞后 0.8 h 左右。在干旱少雨时,宽行起垄覆膜能显著增加土壤贮水量,调节膜下土壤温度。

关键词:不同覆盖栽培; 冬小麦; 土壤水分; 土壤温度

中图分类号: 157.4; S513

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)06-0342-06

Effects of Film Mulch on Soil Water Content and Temperature in Winter Wheat Field

MA Xueqin¹, WU Shufang², GUO Nini²

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of

Water-Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to explore the effects of ridge and different plastic film mulch on soil water content and soil temperature, we studied soil moisture content and soil temperature in winter wheat field. Six treatments including flat plot without mulch(CK), ridge with plastic film mulch (DLR), flat plot with plastic film mulch (DPR), wide-narrow row ridge and furrow with plastic film-mulched (WLR), wide-narrow raw flat and furrow with film mulch (WPR), flat plot with plastic film mulch (PM) were set to measure soil moisture below the soil surface 200 cm and soil ground temperature at surface 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm and 25 cm, respectively, using the water sensor of TRIME-TDR and ECH₂O. The results showed that: (1) compared with CK, the average amounts of soil water with the treatments of PM and WLR increased by 38.52% and 6.81% in the whole growth stage of winter wheat and the differences of water amounts in other treatments were not significant; during the period of abundant rainfall in April and May, the water contents of all mulch treatments decreased by 2%~12% compared with control treatment; compared with other treatments, the treatment of WLR significantly increased the amount of surface soil water during the drought; (2) rainfall had the significant effect on soil water and temperature under the condition of much, the soil water content under mulch was lower than no-mulch after rainfall; the surface temperature of soil decreased drastically and the temperature of the soil below 25 cm decreased slowly; (3) the daily temperature of soil changed with the depth of soil, which presented the cone-

收稿日期: 2017-12-19

修回日期: 2018-04-19

资助项目: 国家重点研发计划“内陆河源区—灌区水资源挖潜与高效利用研究示范(2017YFC0403605)”

第一作者: 马雪琴(1982—), 女, 宁夏同心人, 硕士, 讲师, 主要从事水文水力方面的教研工作。E-mail: maxueqin1982@163.com

通信作者: 吴淑芳(1977—), 女, 宁夏灵武人, 博士, 副研究员, 主要从事农田土壤水分高效利用工作。E-mail: wsfsjs@163.com

shape, the soil temperature was lagged with lag 0.8 h behind the air temperature while the soil depth increased by 5 cm between 5 cm and 25 cm, when it was dry due to little rainfall, wide ridges and furrows could significantly increase soil water storage and adjust soil temperature under the film.

Keywords: different plastic mulch; winter wheat; soil water; soil temperature

土壤水分是植物生存的基础,土壤水分受到耕作方式、农田形式、降雨分布等因素的影响。土壤温度在作物生长发育^[1]、土壤中水盐运移^[2]、农田温室气体排放^[3]、土壤碳平衡^[4]等方面有很重要的意义。农田地膜覆盖具有保水提墒,减少蒸发,提升地温的效果。刘匣等^[5]通过 AquCrop 模型加之实测数据表明,覆膜均提高了水分利用效率和产量。Chen 等^[6]研究表明,在冬小麦生长季,垄沟覆膜栽培可以提供更好的土壤温度状况,进而显著地提升作物产量。而宽窄行种植有利于优化群体结构^[7]、根系分布^[8]等优点而被广泛应用。陈光杰^[9]通过 HYDRUS-2D 模型模拟不同的覆膜垄沟比的农田水分消耗表明覆膜减少蒸发,可提高土壤的贮水量,提升农田可持续性。王庆杰等^[10]的研究表明宽窄行种植能够改善玉米的群体结构,促进个体生长发育,提高玉米产量。在冬小麦生育期内,土壤温度变化经历“降温—持续低温—升温—持续高温”的过程,土壤温度变化相对比较复杂^[11]。因此,结合冬小麦生育期,系统研究不同覆膜方式麦田土壤水分效应和温度变化,探索覆膜方式下农田土壤水热变化规律,为完善覆膜集雨栽培技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在陕西省杨凌西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室灌溉试验站进行,试验站位于黄土高原南部旱作区(34°20'N,108°24'E),海拔 521 m,位于暖湿带季风半湿润气候区,年平均气温 13℃,年平均降雨量为 635.1~635.9 mm,年均蒸发量 1 440 mm,降水量季节分配不均,主要集中在 7 月、8 月、9 月,气候干旱,年昼夜温差平均为 11.5℃,无霜期 169~200 d。土壤为中壤土,1 m 土层的平均田间持水率为 23%~25%,凋萎含水率为 8.5%,平均干体积质量为 1.44 g/cm³。该站地下水埋深 50 m 以下,其向上补给量可忽略不计。

冬小麦生育期内(2014 年 10 月—2015 年 6 月)总的降雨量为 232.8 mm,降雨分布很不均匀,在 12 月份(越冬期)降雨量为 0.2 mm;在 3—4 月份(拔节期)降雨量达 146.6 mm。冬小麦生育期内的气温平均值为 9.32℃,但不同月份之间温度变化差异明显。12 月份平均温度低到 0.8℃,5 月份平均温度则升高到 19.8℃(图 1)。

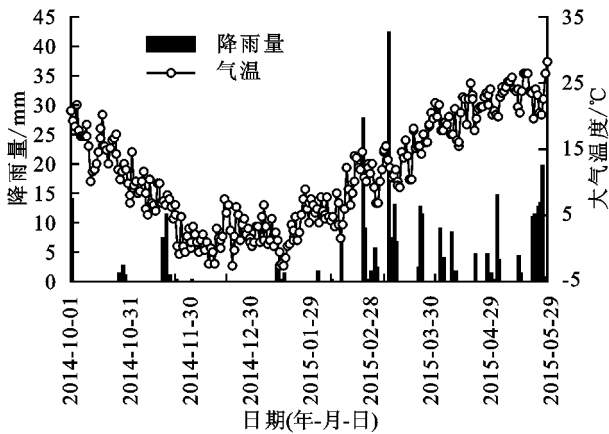


图 1 2014—2015 年杨陵地区冬小麦生长季每日气象数据

1.2 试验设计

试验所用地膜为普通聚乙烯塑料薄膜,膜厚为 0.01 mm。试验共设 6 个处理,具体见表 1。图 2 为不同覆膜试验处理示意图,其中图 2A 为对照处理,行距均为 30 cm;图 2B 为宽窄行平作栽培种植,宽行 40 cm,窄行 20 cm,宽窄行交替排列;图 2C 为宽行垄作处理,宽行起垄,垄高为 15 cm,垄宽 40 cm,窄行为 20 cm,宽窄行交替排列。每个处理 3 重复次,小区面积 18 m²。供试冬小麦品种为“小偃 22 号”,播种量为 167.5 kg/hm²,南北行种植,人工穴播,小麦种于膜两侧,生育期内无灌水,根据实际情况进行除草杀虫等农田管理,播种前施加氮肥 210 kg/hm²,磷肥 160 kg/hm²,钾肥 90 kg/hm²;生育期内不追肥。小麦于 2014 年 10 月 16 日播种,2015 年 06 月 08 日收获,全生育期为 235 d。

表 1 试验处理设置

代码	处理	具体措施
CK	不覆盖	平作,不覆盖
DLR	等行垄作	垄作,行距 60 cm,沟垄宽均为 60 cm,垄高 15 cm,垄上覆膜
DPR	等行平作	平作,行距 60 cm,隔行覆膜
WLR	宽行垄作	垄作,宽行 80 cm,窄行 40 cm,垄宽 80 cm,垄高 15 cm,沟宽 40 cm,垄上覆膜
WPR	宽行平作	平作,宽行 80 cm,窄行 40 cm,宽行覆膜
PM	薄膜覆盖	平作,全地面覆膜

1.3 测定指标与方法

该试验中土壤水分的观测采用 TRIME-TDR 和 ECH₂O 水分传感器进行动态监测,其中,TRIME-TDR 的测量深度为 200 cm,0—100 cm 是每 10 cm

为一个测量深度间隔,100—200 cm 以 20 cm 为间隔。用曲管地温计从播种到收获测定 0—25 cm 处的土壤温度,每次的观测时间为 8:00 到 18:00,每 3 h 观测记录 1 次,每次间隔 7 d。四次读数的平均值作为日均土壤温度。冬小麦的种植时间为 2014 年 10 月 16 日,收获日期为 2015 年 6 月 8 日。冬小麦生育期包括出苗、越冬、返青、拔节、开花、灌浆及成熟期。

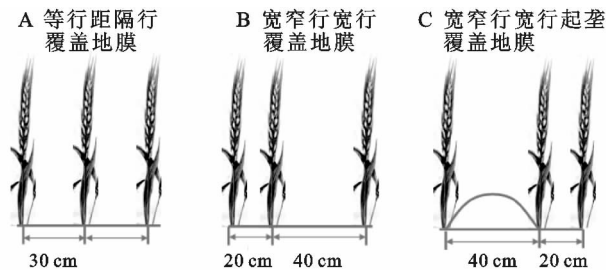
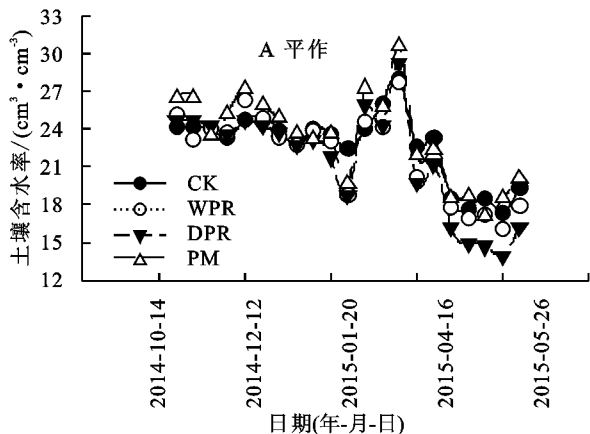


图2 不同覆膜处理下冬小麦试验图

对于 0—25 cm 土壤表层的时间温度变化,呈现“锥形”分布^[12]。采用指数去拟合能够更好地刻画不同深度土壤温度的大小和变化幅度。公式为: $y = Ae^{Bx}$, 其中: A, B 为拟合的经验参数; x 为土层深度; y 为土壤温度。



1.4 数据处理与分析

试验中所有数据均为各重复测定的平均值,采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件对试验数据进行处理,并用 LSD 法进行多重比较 ($p < 0.05$),采用 Sigma-plot12.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜种植下表层土壤水分的动态变化

图 3A 为平作覆膜处理与对照处理 0—20 cm 土壤水分的动态变化,在整个生育期内,平作覆膜处理下的土壤水分较不覆膜处理不显著。在冬小麦苗期,地面裸露面积大,各覆膜处理的蓄墒效果显著。在越冬期(2014 年 10 月 30 日—1 月 20 日),其中 PM, DPR, WPR 处理显著高于对照 CK,平均表层土壤含水率分别较对照提高 4.95%、2.47% 和 3.68%。在冬小麦生长阶段的 4 月和 5 月降雨充沛,覆膜处理土壤含水率较对照处理分别减少 2%~12%。在平作覆膜条件下,降雨量充足时期内,覆膜处理土壤含水率小于裸地处理,这可能与平作覆膜后,部分雨水被地膜拦截,使得有效降雨入渗量减少。

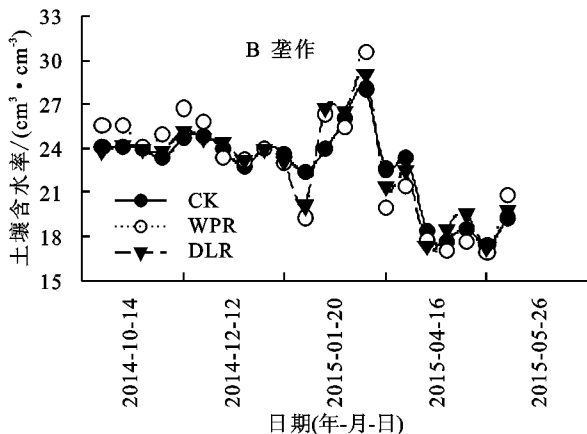


图3 冬小麦不同覆膜处理 0—20 cm 土壤水分动态变化

起垄覆膜处理与 CK 处理 0—20 cm 土壤水分变化如图 3B 所示,宽垄覆膜表层水分大于裸地处理及等行垄作。在冬小麦返青期(2015 年 3 月),降雨量较少,宽行起垄处理土壤含水率较对照处理增加 2.3%。在雨量充沛的 4 月份,CK 表层水分高于其余处理,覆膜处理较对照处理降低 2.2%,可见,对于宽行起垄覆膜处理,在干旱少雨时期,可以增加土壤表层贮水量。

2.2 不同覆膜种植下土壤贮水量的动态变化

不同覆盖处理在冬小麦不同的生育期内,土壤贮水量与对照 CK 相比都存在差异,其中 PM 全膜处理的土壤贮水量最高(图 4)。冬小麦生长前期(播种期到越冬前),该时期植株较小,对水分的消耗主要以土

壤蒸发为主,同时外界温度较低减少了土壤水分的蒸发,各处理土壤贮水量变化减小,PM 和 WLR 覆盖处理的土壤贮水量高于对照 CK,分别增加 4.49% 和 3.54%,说明覆盖处理为小麦的生长发育提供了良好的水分环境。冬小麦拔节期到成熟期,0—200 cm 土层,以 PM, WLR 处理的平均土壤贮水量最高,分别比 CK 增加 6.06%, 4.07%; DPR 和 WPR 次之,分别比 CK 增加 1.38%, 0.98%。冬小麦生长发育后期(灌浆期到成熟期),DPR, DLR, WPR 覆盖处理贮水量无明显差异。冬小麦全生育期内,0—200 cm 土层,PM, WLR 处理的平均土壤贮水量分别比 CK 增加 8.52%, 6.81%,其他处理差异不显著。可得出,宽行起垄较窄行起垄更能蓄水保墒。

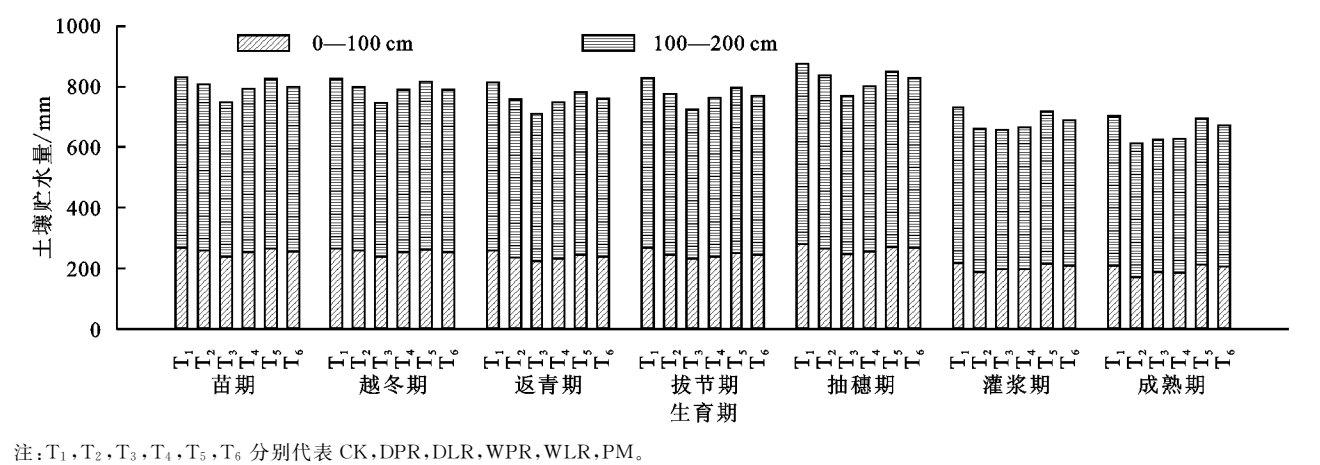


图 4 冬小麦不同生育期内 0—200 cm 土壤贮水量的变化

2.3 土壤温度随气温变化的一般特征

由于不同覆膜方式土壤温度对气温的响应趋势一致,本研究仅以全膜处理为例说明土壤温度随气温变化的一般特征。冬小麦各生育时期的土壤昼夜温差均随土层深度的增加而逐渐减小,并呈“倒锥形”状态,但各个时期地温随深度的变化幅度不一致(图 5)。各个时期 5,10,15,20,25 cm 土层土壤温度变幅依次为 2.26~

11.18℃,0.11~6.58℃,0.06~8.29℃和 1.25~13.72℃,其中以灌浆期最大,而返青期最小。土壤温度变化是太阳辐射和大气温度的影响下而进行吸收或释放能量的动态过程。随着土壤土层深度的增加,土壤温度受太阳辐射的影响逐渐减小。而在灌浆期气温较高,导致地表温度增长较大;在返青期,气温较低,对地温的影响也较小,因而在该生育期地温变化趋于稳定。

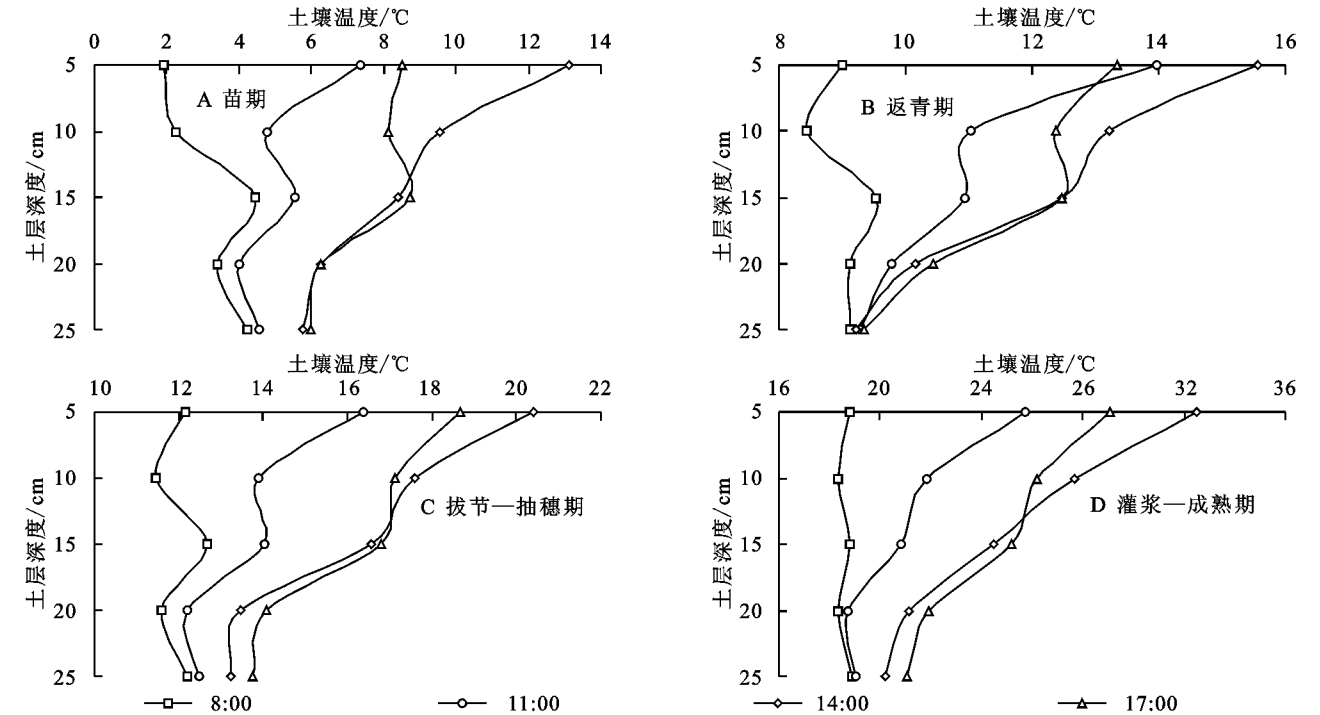


图 5 土壤温度剖面对气温变化的响应(以全膜为例)

气象条件、土壤水分、地膜覆盖等因素都影响冬小麦生育期的地温分布。如图 6 可知各处理不同土层深度的土壤温度均在降雨后出现下降趋势。5 cm 表层土壤温度受降雨影响最大,降雨后温度下降明显。地表以下深度 25 cm 土壤温度变化相对较为缓慢。以最大降雨日 4 月 1 日为例,由于降雨量较大的原因(降雨量为 42.4 mm),覆膜与裸地处理在降雨 1

周后均有所下降。其中,4 月 9 日覆膜条件下 5 cm 处地温较 4 月 1 日同处下降约 8℃,15 cm 和 25 cm 处较同处下降相对缓慢,2~4℃。常规裸地 5 cm 处地温较 4 月 1 日下降约 11℃左右,15 cm,25 cm 处较同处下降约 2℃。经过土壤热量的传输,降雨入渗对浅层土壤温度影响较为明显,而对于覆膜处理,由于雨水无法全部入渗,使得温度变化不是很明显。

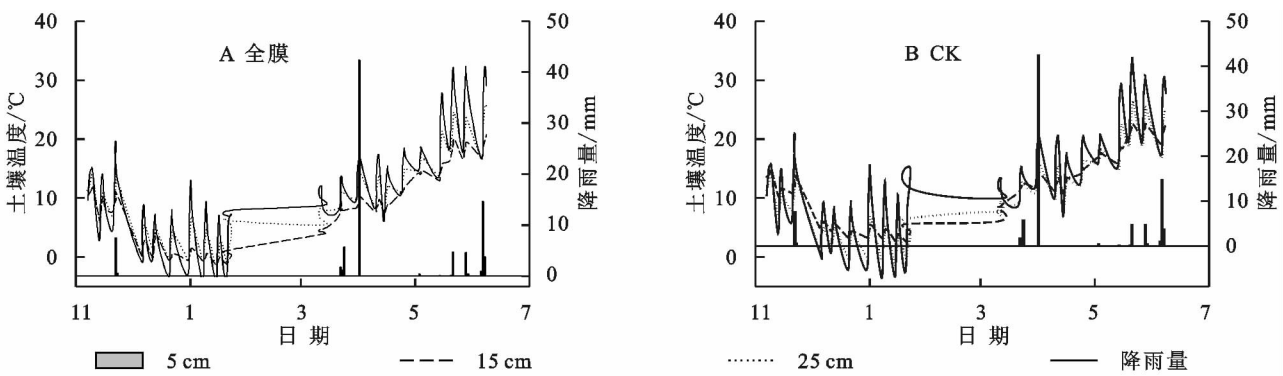


图 6 不同条件下不同土层深度土壤温度变化

2.4 覆膜栽培方式下土壤温度变幅特征

不同处理、不同土层深度和不同时刻温度变幅特征如表 2 所示。从表 2 中可以看出,对于不同土深而言,最大的温度变幅发生在土壤表层 5 cm 处,其次是深度 10 cm,15 cm,20 cm,25 cm 处;对于不同时间而言,最大变幅发生在 11:00,将各时刻不同深度与对

应深度处温度拟合成指数函数形式,发现在 14:00,17:00 时的相关系数最高,其次是 11:00,8:00,无论覆膜与否,8:00 的拟合回归公式与其他时段(递减曲线)不同,呈现出递增曲线,表明早晨温度随深度变化规律性不强,不符合指数关系,从整体上看覆膜处理的判定系数均较裸地处理高。

表 2 不同处理不同土层深度温度拟合特征

处理	时间	不同深度的土壤温度/℃					拟合公式	R ²
		5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm		
PM	8:00	7.78	7.62	9.17	8.16	8.71	$y = 7.570 e^{0.0059x}$	0.3609
	11:00	13.07	10.28	10.53	8.73	9.26	$y = 13.269 e^{-0.0171x}$	0.7595
	14:00	17.98	14.58	13.22	10.65	10.15	$y = 20.163 e^{-0.0291x}$	0.9673
	17:00	14.56	13.44	13.52	10.96	10.47	$y = 16.180 e^{-0.0173x}$	0.8944
CK	8:00	7.19	6.71	8.10	9.60	10.56	$y = 5.921 e^{0.0226x}$	0.1926
	11:00	13.22	10.12	9.45	10.27	10.98	$y = 11.943 e^{-0.0071x}$	0.8728
	14:00	18.18	14.48	12.30	11.84	11.78	$y = 18.634 e^{-0.0214x}$	0.8292
	17:00	15.13	13.48	12.75	12.48	12.15	$y = 15.362 e^{-0.0103x}$	0.8797

注: x 表示土层深度; y 表示土壤温度。

在地膜覆盖的条件下,小麦获得了较多的太阳辐射能量,膜下土壤温度升高,各个时段内各个不同深度间的温度变化率也变大,从表 3 中可以看出覆膜与裸地处理的温度变化率情况,裸地土壤表层的土壤温度变化率大于覆膜处理,主要是在土壤表层裸地地表土壤水分含量变化很大。由于水汽在土壤孔隙中的移动取决于水汽密度差,土壤温度在影响水汽密度差中占主导地位。而覆膜却能阻止水汽扩散到大气中,从而使温度变化率减少。在 5 cm 以下,覆膜处理的温度变化率都高于裸地,说明覆膜处理的水汽密度高于裸地处理,并且随着深度的增加温度变化率减少。这说明地膜覆盖有增温效应,使地表与地中之间温度变化率提高,增加了由土壤深处向地表移动的水汽数量,这些水汽由于受到地膜的阻隔,除小部分沿水平方向散失外,大部分都聚集在膜下和靠近地表附近的土壤孔隙中,从而加大了膜下的相对湿度,使得地膜覆盖有好的保墒作用。

表 3 覆膜与对照处理土壤温度变化率

时刻	土层/ cm	土壤温度/℃		时段	土层/ cm	温度变化率	
		覆膜	CK			覆膜	CK
8:00	5	7.78	7.19	8:00—14:00	5	1.44	1.53
	10	7.62	6.71		10	1.18	1.16
	15	9.17	8.10		15	0.55	0.64
	20	8.16	8.07		20	0.67	0.59
	25	8.71	8.56		25	0.39	0.38
	5	18.98	18.18		5	0.23	0.17
14:00	10	16.58	14.48	14:00—17:00	10	0.19	0.07
	15	14.22	13.30		15	0.05	0.04
	20	13.65	12.84		20	-0.02	-0.05
	25	12.15	11.78		25	-0.19	-0.12
17:00	5	14.56	15.13		5	0.05	0.04
	10	13.44	13.48		10	-0.02	-0.05
	15	13.52	12.75		15	-0.19	-0.12
	20	13.96	13.48		20	-0.02	-0.05
	25	14.47	13.15		25	-0.19	-0.12

3 结论

(1) 整个冬小麦生育期内覆膜处理提高了耕层土壤表层的含水量,尤其在出苗期蓄水保墒作用明显;在干旱少雨时期,起垄覆膜对增加土壤表层贮水量显著高于其他处理,其中宽行起垄较窄行起垄更能蓄水保墒。

(2) 以往研究中得出深层土壤温度对气温的相关系数大于浅层土壤。本研究得出,土壤温度日变化的变幅随土层深度的增加而缩小,呈“锥形”。土壤温度响应气温变化随土层深度增加具有时间滞后效应,5—25 cm 土层深度每增加 5 cm,土壤温度随气温的变化滞后 0.8 h 左右。

(3) 降雨对浅层土壤温度的影响较为明显,雨后 5 cm 浅层土壤温度急剧下降,25 cm 深层土壤温度下降稍显缓慢。本试验在大田进行地膜覆盖,天气等客观因素以及试验处理相对较少导致试验产生一定的误差。温度梯度是引起水分运动的原因之一,结合土壤含水率分析水分与温度的相关性有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Kim S H, Gitz D C, Sicher R C, et al. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂ [J]. *Environmental & Experimental Botany*, 2007, 61(3): 224-236.
- [2] Cookson W R, Cornforth I S, Rowarth J S. Winter soil temperature(2-15 degrees C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils; a laboratory and field study[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34(10): 1401-1415.
- [3] Bekku Y S, Nakatsubo T, Kume A, et al. Effect of

warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. [J].

Applied Soil Ecology, 2003, 22(3): 205-210.

- [4] 李琳,张海林,陈阜,等. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2765-2770.
- [5] 刘匡,丁奠元,张浩杰,等. 覆膜条件下对 AquaCrop 模型冬小麦生长动态和土壤水分模拟效果的评价分析[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(10): 1838-1851.
- [6] Chen Y, Liu T, Tian X, et al. Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau [J]. *Field Crops Research*, 2015, 172: 53-58.
- [7] 陶媛,李前荣,陈小龙,等. 不同宽窄行配置对小麦宁春 53 号产量及其构成因素的影响[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(33): 19-20, 25.
- [8] 刘朝巍,张恩和,谢瑞芝,等. 玉米宽窄行交替休闲保护性耕作的根系和光分布特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(2): 203-209.
- [9] 陈光杰. 夏玉米宽窄行集雨覆盖种植土壤水分运移及其模拟研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [10] 王庆杰,李洪文,何进,等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 39-43.
- [11] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等. 不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(6): 29-33.
- [12] 陈继康,李素娟,张宇,等. 不同耕作方式麦田土壤温度及其对气温的响应特征: 土壤温度日变化及其对气温的响应[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2592-2600.
- [13] 秦红灵,高旺盛,李春阳. 北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(1): 40-47.