

# 不同覆膜种植对土壤水热和冬小麦产量的影响

曹 寒<sup>1</sup>, 吴淑芳<sup>1,2</sup>, 冯 浩<sup>2</sup>, 张 延<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 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:**为探索不同地膜颜色和种植方式对土壤水热及冬小麦产量的影响,设置黑、白两种地膜颜色及平作和垄作两种种植方式。通过使用 TRIME-TDR 及地温计对不同覆膜处理整个生育期内土壤水分和温度的监测,探究不同覆膜种植对农田土壤水热动态变化和冬小麦产量的影响。结果表明:(1) 在作物越冬期—返青期,覆膜处理增温效果最为显著,较对照该时期增加了 1.3℃,在作物拔节期—灌浆期,覆膜受植株茂密遮阳影响,增温效果不显著;无论是平作还是垄作,黑膜处理其表层 5 cm 土壤温度均高于白色覆膜和对照不覆膜处理;一天内,黑、白覆膜处理表层 5 cm 土壤温度最高值较对照分别增加 4.9℃和 5.7℃。(2) 整个生育期,0—20 cm 耕层内土壤含水率变化波动最显著,起垄覆膜处理耕层土壤含水率平均较平作覆膜处理和对照处理分别提高 5.04%和 14.82%。在起垄覆黑膜处理作物生育期内,抽穗期 0—100 cm 土层蓄水量处理提高最为显著,较对照增加 45.2 mm。(3) 起垄覆黑膜增产节水效果最显著,产量较对照处理增加 658.7 kg/hm<sup>2</sup>;水分利用效率较对照提高 16.3%。在丰水型年,由于降水充沛,不同种植方式间土壤水分利用效率差异不显著。该结果对于覆膜种植技术的改进有一定的指导意义。

**关键词:**垄作;覆膜;表层土壤温度;土壤蓄水量;水分利用效率

**中图分类号:**S157.1;S157.4<sup>+</sup>1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)06-0110-06

## Effects of Different Film Mulches on Soil Water and Heat as Well as the Yield of Winter Wheat

CAO Han<sup>1</sup>, WU Shufang<sup>1,2</sup>, FENG Hao<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F

University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Water Saving Agriculture in

Arid and Semi-arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The films in two colors (black and white) were used combined with two planting patterns (ridge culture and traditional tillage) to explore the effects of different film mulches on soil water and heat as well as the growth of winter wheat. TRIME-TDR and thermometers were used to monitor soil moisture and temperature under different mulch treatments during the entire growth period of winter wheat. The object of this study is to reveal the effects of different film mulches on the dynamic of soil water and temperature and the yield of the winter wheat. Results showed that: (1) warming effect of film mulching was the most significant from the winter stage to reviving stage; compared with control, the temperature increased by 1.3℃; the soil temperatures in 5 cm depth of both two planting methods with black film were higher than those of white film and control; at the jointing-filling stage, warming effect of mulching was not significant; during the day, changes in surface soil temperature underwent two stages; increasing stages and decreasing stages; (2) throughout the growing period, topsoil soil water content changed most significantly in 0—20 cm depth; compared with treatments of white film with ridge culture and control, the mean soil water contents under black film (BL) increased by 5.04% and 14.82%, respectively; at the heading stage, BL had the significant soil water storage capacity in 0—100 cm depth, increased by 45.2 mm compared with the control; (3) the BL treatments had the most significant effect on increasing winter wheat yield and water use efficiency; compared with the control, the wheat yield under BL treatment increased by 658.7 kg/hm<sup>2</sup>; water use efficiency increased by 16.3%; in the wetting year, due to the abundant rainfall, soil water use efficiency among different mulching treatments had no significant difference. These results are of a certain guiding

significance for improving film mulching techniques.

**Keywords:** ridge culture; film mulching; surface soil temperature; soil water storage capacity; water use efficiency

水分作为作物产量的限制因子<sup>[1]</sup>,对于作物生长影响重大。但在我国干旱半干旱地区,由于气候环境的影响,降雨较少,通过有效的节水措施,提高天然降雨的高效利用是解决该地区农业发展的有效途径之一<sup>[2]</sup>。地膜覆盖技术因其良好的增温增产<sup>[3-4]</sup>,蓄水保墒<sup>[5]</sup>和有效提高水分利用效率<sup>[6-8]</sup>的特点被广泛应用到干旱半干旱地区。垄沟覆膜集雨技术通过修筑沟垄,垄面覆膜,将更多的降雨汇集到沟内,减少无效降雨,延长水分有效期限<sup>[9]</sup>。Li等<sup>[10]</sup>研究表明,沟垄覆膜种植玉米产量较传统耕作增加108%~143%。王彩荣等<sup>[11]</sup>研究发现起垄覆膜沟播较传统平播增产显著,水分利用效率较平播提高5.06%。纪晓玲等<sup>[12]</sup>通过对陕北地区不同覆膜种植下绿豆生长的研究发现,垄膜覆盖较全膜覆盖能提高水分利用效率,增加绿豆产量。买自珍等<sup>[13]</sup>研究发现与裸地相比,黑、白覆膜均能增加土壤水分,提高马铃薯产量。林团荣等<sup>[14]</sup>对不同覆膜条件下马铃薯产量的研究发现,降雨较多条件下黑膜覆盖下马铃薯的产量高于白膜覆盖,比不覆膜产量增幅达19.84%。李尚中等<sup>[15]</sup>在对覆膜玉米的研究中发现,覆膜耕层平均地温较露地高2.4℃。针对上述研究现状,笔者发现目前关于覆膜种植对土壤水热影响的研究多集中在不同种植方式或地膜颜色单一因素条件下的研究,对于不同颜色地膜和不同种植模式双重因素影响下土壤水热分层动态变化以及对作物水分利用效率的改善效应缺乏系统的研究。本文旨在通过设置平作和垄作条件下黑膜与白膜覆盖,研究不同的覆膜种植在不同土层对土壤水热动态变化和冬小麦产量的影响,系统分析不同覆膜种植对土壤水热效应的影响,为覆膜技术的进一步发展应用提供理论依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2013—2014年在陕西杨凌西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院中进行。试验地区位于34°16′56″N,108°4′30″E,海拔高521 m,属于暖湿带季风半湿润气候区,多年平均降水量为635.1 mm,年均蒸发量为1 440 mm,全年降雨量受气候影响分配不均匀,主要集中在7,8,9个月。该地区年昼夜温差平均为11.5℃,年平均温度为12.9℃,其中全年无霜期为169~200 d。

### 1.2 试验设计

为探究覆膜对土壤水热动态变化和冬小麦产量

的影响,试验共设置5个处理,分别为平作覆黑膜处理(BP)、平作覆白膜处理(WP)、起垄覆黑膜处理(BL)、起垄覆白膜处理(WL)和平作不覆膜处理(CK)。试验处理采用随机区组设计,各处理重复3次,每个小区面积为18 m<sup>2</sup>(4.5 m×4 m)。试验区周围布设1 m宽的作物保护带。

试验地土壤为中壤土,田间持水量为23%~25%,凋萎含水率为8.5%。供试冬小麦品种为小偃22号,播种量为167.5 kg/hm<sup>2</sup>,行距为30 cm。冬小麦于2013年10月中旬播种,2014年6月上旬收获,全生育期为237 d。播种前施加氮肥210 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥160 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥90 kg/hm<sup>2</sup>;所有肥料于播种前撒施,生育期内不追肥。

### 1.3 观测指标

试验所需气象资料由西北农林科技大学灌溉试验站提供,试验主要观测的内容包括气象资料、土壤温度、土壤水分、地上部分生物量以及冬小麦产量。

1.3.1 气象数据 气象数据见图1,冬小麦生育期内(2013年10月—2014年6月)总的降雨量为288.1 mm,该年季降雨充沛,为丰水年型<sup>[16]</sup>。受气候条件的影响,全年降雨量分布不均匀,尤其在冬季干旱月份(2013年11月—2014年1月),降雨量仅为16 mm;在降雨充沛月份(2014年3月—2014年5月),降雨量达到209.1 mm。

1.3.2 土壤水分 土壤水分的观测采用TRIME-TDR进行观测,测量深度为200 cm,每20 cm为一个测量深度间隔。土壤蓄水量是指一定土层厚度的土壤总的含水量,根据不同土层的厚度和土壤体积含水率换算出不同土层的土壤蓄水量(mm)。

$$W = \sum_{i=1}^n w_i H_i \times 10 \quad (1)$$

式中:W——土层总的蓄水量(mm); $w_i$ ——第*i*层土壤体积含水率(cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>); $H_i$ ——各土层厚度(cm);生育期内耗水量(ET):采用农田水分平衡法测定计算,其中水分平衡方程为:

$$ET = P + I + W_{前} - W_{后} + W_g - D - D_f \quad (2)$$

式中: $P$ ——降雨量; $I$ ——灌水量; $W_{前}$ , $W_{后}$ ——测定时间段前、后测定土层深度的土壤蓄水量; $W_g$ ——毛管上升水量; $D$ ——土壤的水的深层渗漏量; $D_f$ ——径流损失量。该地区地下水埋深为10 m, $W_g$ 可以忽略。本试验中不考虑地下深层渗漏和地表径流损失。

1.3.3 土壤温度 本试验采用曲管地温计进行温度

观测。试验地温测定深度为 5, 10, 15, 20, 25 cm, 观测间隔为 7 d, 每次的观测时间为早上 8:00 到下午

18:00, 每隔 2 h 观测记录一次, 取每日观测值的平均值作为该天的日平均值。

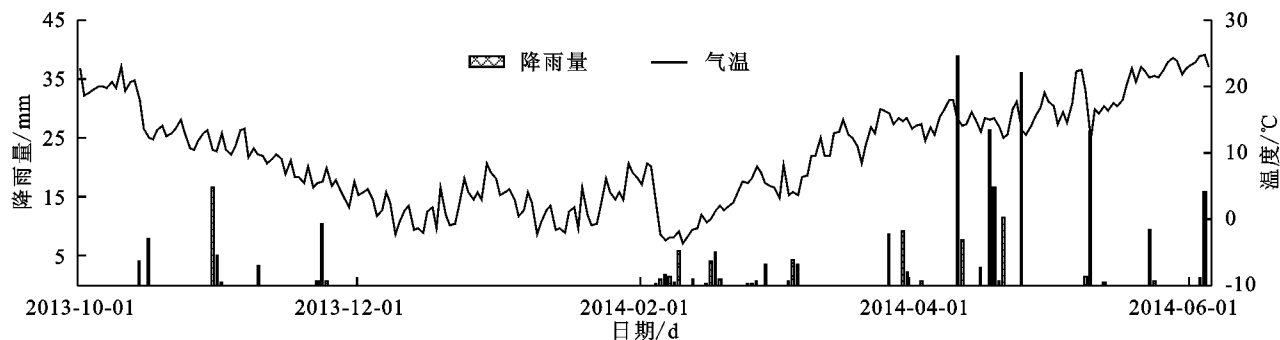


图 1 2013—2014 年杨陵地区冬小麦生长季每日气象数据

1.3.4 作物产量 冬小麦成熟时各小区单独收获, 风干后进行产量测定, 每一处理小麦产量均以 3 次重复产量的平均值作为该处理的实际产量。

1.3.5 试验数据处理 试验数据采用 Sigmaplot 12.5 制图, 用 SPSS 16.0 软件进行数据统计分析和样本方差分析。试验中所有处理的显著性检验均在  $p < 0.05$  下进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬小麦全生育期表层土壤温度变化

冬小麦全生育期表层 5 cm 土壤温度见图 2。由图可知, 出苗期—拔节期, 不同覆膜处理增温效果均高于对照处理。尤其在越冬后期—拔节期, 各处理增温效果由低到高依次为起垄覆黑膜处理、起垄覆白膜处理、平作覆黑膜处理、平作覆白膜处理和对照处理。起垄覆膜处理土壤温度高于平作覆膜处理, 黑色覆膜处理高于白色覆膜处理。返青期, 起垄覆黑膜处理土壤表层温度较起垄覆白膜处理和对照处理分别增加 8.19% 和 34.38%。平作覆黑膜处理表层土壤温度较平作覆白膜处理和对照处理分别增加 5.59% 和 20.87%。返青期起垄覆膜处理表层土壤温度平均值较平作覆膜处理增加 1.2°C/d。拔节期—灌浆期, 覆膜增温效应受到抑制, 这可能与冬小麦叶面积增大, 造成对太阳辐射的拦截和地面的遮荫作用有关。

### 2.2 不同覆膜处理对不同土层深度土壤温度的影响

为了探究不同覆膜种植方式和覆膜颜色对土壤温度的影响, 选择 2014 年 3 月 4 日为典型日进行分析。不同种植方式下覆膜处理对不同土层温度的影响见图 3。由图可知, 相同种植方式下, 黑、白覆膜处理土壤温度日变化趋势一致。土壤温度日变化幅度均随着土层深度的增加逐渐减小, 表层 5 cm 土壤温度日变化幅度最大, 25 cm 土层土壤温度日变化幅度最小。两种种植方式下, 覆膜处理表层 5 cm 土壤温度日均值均高于对照处理, 25 cm 土层土壤温度日均

值均低于对照处理。

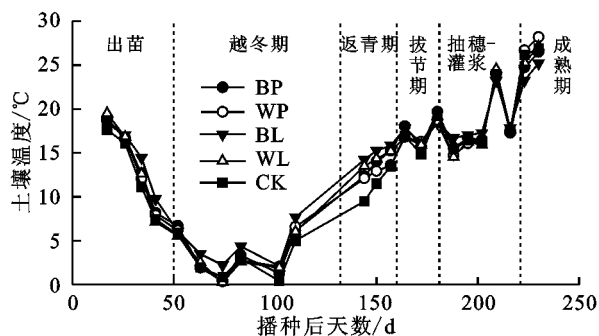


图 2 冬小麦生育期表层 5 cm 土壤温度变化

由于两种种植方式下土壤温度变化规律相同, 现以起垄覆膜种植条件下不同土层的土壤温度日变化为例。由图可以看出, 不同处理间土壤温度变化趋势相似, 土壤温度日变化幅度随土层深度的增加逐渐减小; 表层 5 cm 土壤温度日变化幅度最大, 25 cm 土层土壤温度日变化幅度最小。表层土壤温度最低值均出现在早上 8:00, 覆膜温度低于对照处理, 原因是该时刻外界温度逐渐升高, 膜下水蒸气受热液化成水滴, 致使表层土壤含水率增加, 土壤温度减小。随着外界温度的升高, 水分逐渐蒸发, 地膜有效抑制土壤热量与大气热量的交换, 表层土壤温度逐渐升高。土壤表层温度在 14:00 达到最高值。覆膜处理表层 5 cm 土壤温度最高值明显高于对照处理。黑、白覆膜处理表层 5 cm 土壤温度最高值较对照分别增加 4.9°C 和 5.7°C。

从一天时间来看, 覆膜处理表层 5 cm 土壤温度增温速度和降温速度均高于对照处理。从 8:00—14:00, 表层 5 cm 土壤温度呈递增趋势, 黑、白覆膜处理表层土壤温度每小时分别增加 3.2°C 和 3.6°C, 较对照处理分别增加 0.8°C 和 1.2°C。从 14:00—18:00, 土壤温度处于递减趋势, 黑、白覆膜处理表层土壤温度每小时分别下降 2.2°C 和 2.7°C, 较对照处理分别增加 0.3°C 和 0.8°C。随着土层深度的增加, 土壤温度最高值出现的时间不断推后。在 15 cm 土层土壤温度最高值出现在 16:00, 在 25 cm 土层土壤温度最高值出现在 18:00, 表

明温度在传递过程中随土层深度的增加有明显的滞后性。从 15 cm 土层开始,黑、白覆膜处理土壤温度最高值较对照处理增温效果降低。15—25 cm,起垄覆黑膜处理土壤温度处理较对照处理分别增加 0.1℃,0.3℃和-0.9℃;起垄覆白膜处理土壤温度较对照处理分别增加 0.8℃,0.4℃和-0.2℃。可见,在 25 cm 土层,起垄覆膜处理土壤温度低于对照处理。

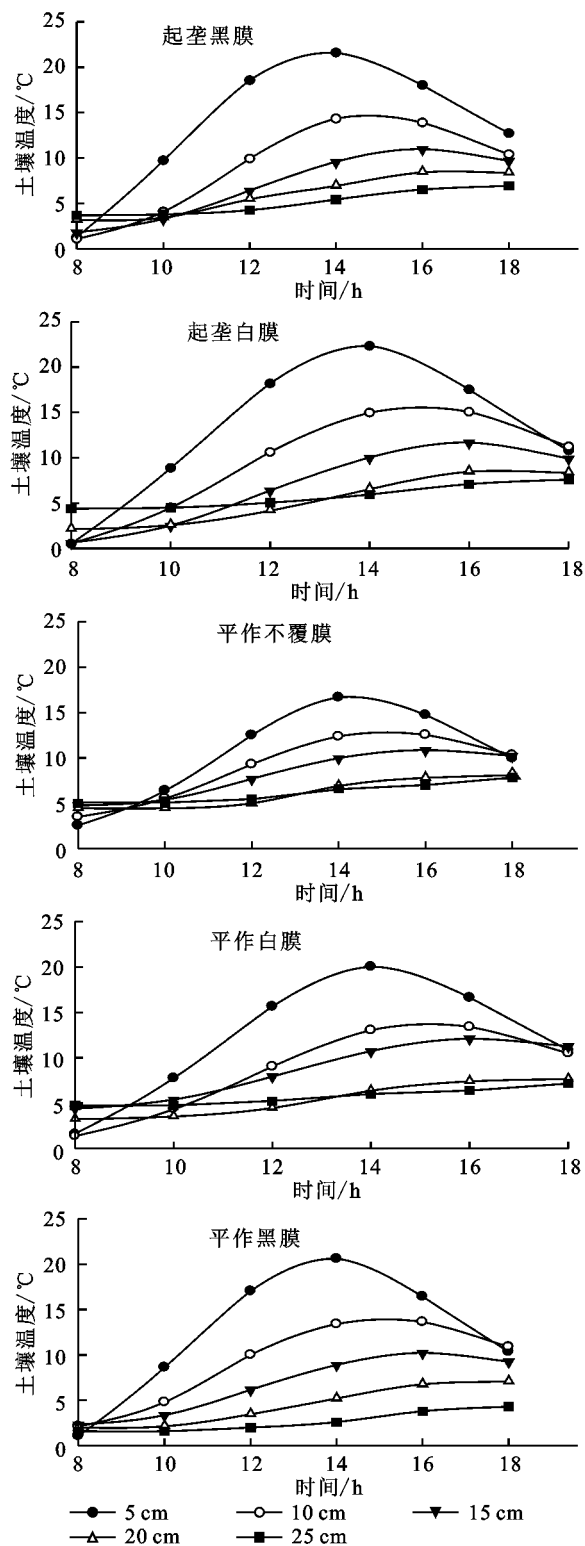


图3 不同覆膜处理 5 cm 土壤温度日变化

## 2.3 不同处理土壤水分沿土层深度变化

覆膜处理能够减少土壤水分蒸发,且不同的种植方式对雨水利用的效果不同,导致冬小麦不同生育阶段土壤水分含量不同。由图 4 可知,越冬期,起垄覆黑膜处理 0—100 cm 土层土壤蓄水量最高,较起垄覆白膜处理、平作覆黑膜处理 and 对照处理分别提高 5.0, 29.6, 39.9 mm。该生育阶段降雨量少,长期的干旱导致土壤水分蒸发严重,覆膜有效减少土壤水分的蒸发,故对照处理土壤蓄水量减少最为明显。返青期由于降雨增加,各处理 0—100 cm 土壤蓄水量均增加。拔节期,各覆膜处理 0—100 cm 土壤蓄水量较对照处理差异不显著。抽穗期,由于降雨量的增加,各处理 0—100 cm 土壤蓄水量增加,起垄覆膜处理 0—100 cm 土壤蓄水量高于平作覆膜处理,其中起垄覆黑膜处理 0—100 cm 土壤蓄水量较起垄覆白膜、平作覆黑膜处理和对照处理分别增加 10.0, 17.2, 45.2 mm。

由图 4 还可得出同一种植方式下,除冬小麦成熟期,冬小麦全生育期内,黑、白覆膜处理土壤 0—200 cm 土壤蓄水量变化差异不显著。冬小麦成熟期,垄作覆黑膜处理和平作覆黑膜处理土壤蓄水量均高于相同种植方式下的覆白膜处理。

## 2.4 不同土层土壤含水率的变化

起垄覆膜处理能够有效汇集雨水,提高水资源利用效率,增加土壤含水率。图 5 为不同土层各处理土壤水分在冬小麦生育期内的变化。由图 5 可知,在 0—20 cm,土壤水分变化最剧烈,起垄覆膜处理耕层土壤含水率较平作覆膜处理和对照处理分别提高 5.04% 和 14.82%,其中起垄覆黑膜处理土壤含水率最高,较起垄覆白膜处理和对照处理分别提高 4.65% 和 17.42%。20—40 cm 土层土壤含水率变化规律与 0—20 cm 土层相同,各覆膜处理土壤含水率随时间变化的变化幅度减小。从 60—80 cm 和 80—100 cm 土层土壤含水率变化可知,随着土层深度的增加,各处理间土壤含水率差异不断减小,由 1.86~6.03 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> 减小到 1.50~4.65 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>。起垄覆膜处理 0—100 cm 土壤含水率最高,较平作覆膜处理和对照处理分别提高 6.46% 和 13.50%。

## 2.5 不同覆膜处理对产量和水分利用效率的影响

不同覆膜处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响如表 1 所示。由表 1 可知,不同覆膜处理均能有效增加冬小麦产量,起垄覆膜处理冬小麦产量较对照处理均差异显著 ( $p < 0.05$ ),其中起垄覆黑膜处理产量较对照处理增加 658.7 kg/hm<sup>2</sup>,产量增幅达到 12.0%。不同种植方式下黑色覆膜处理产量平均值

较白色覆膜处理和对照处理分别提高 3.6% 和 11.8%;不同覆膜颜色条件下起垄覆膜处理产量平均值较平作覆膜处理和对照分别提高 1.4%和 10.6%。

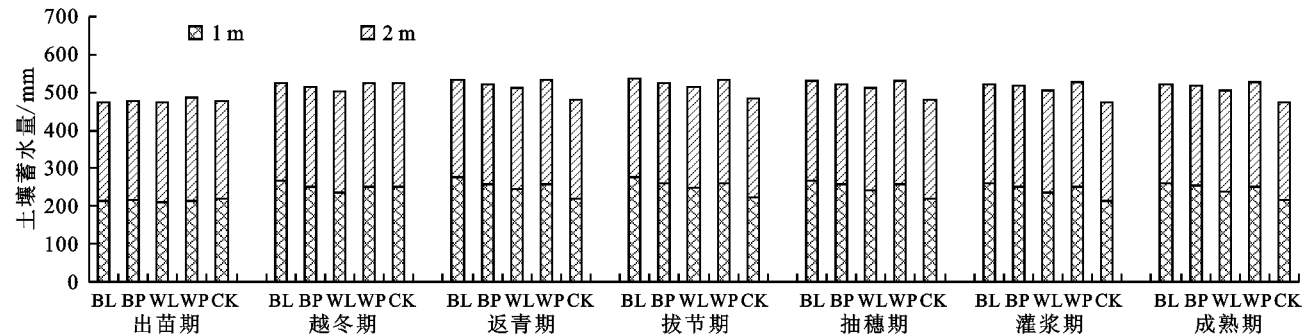


图 4 冬小麦不同生育期土壤蓄水量

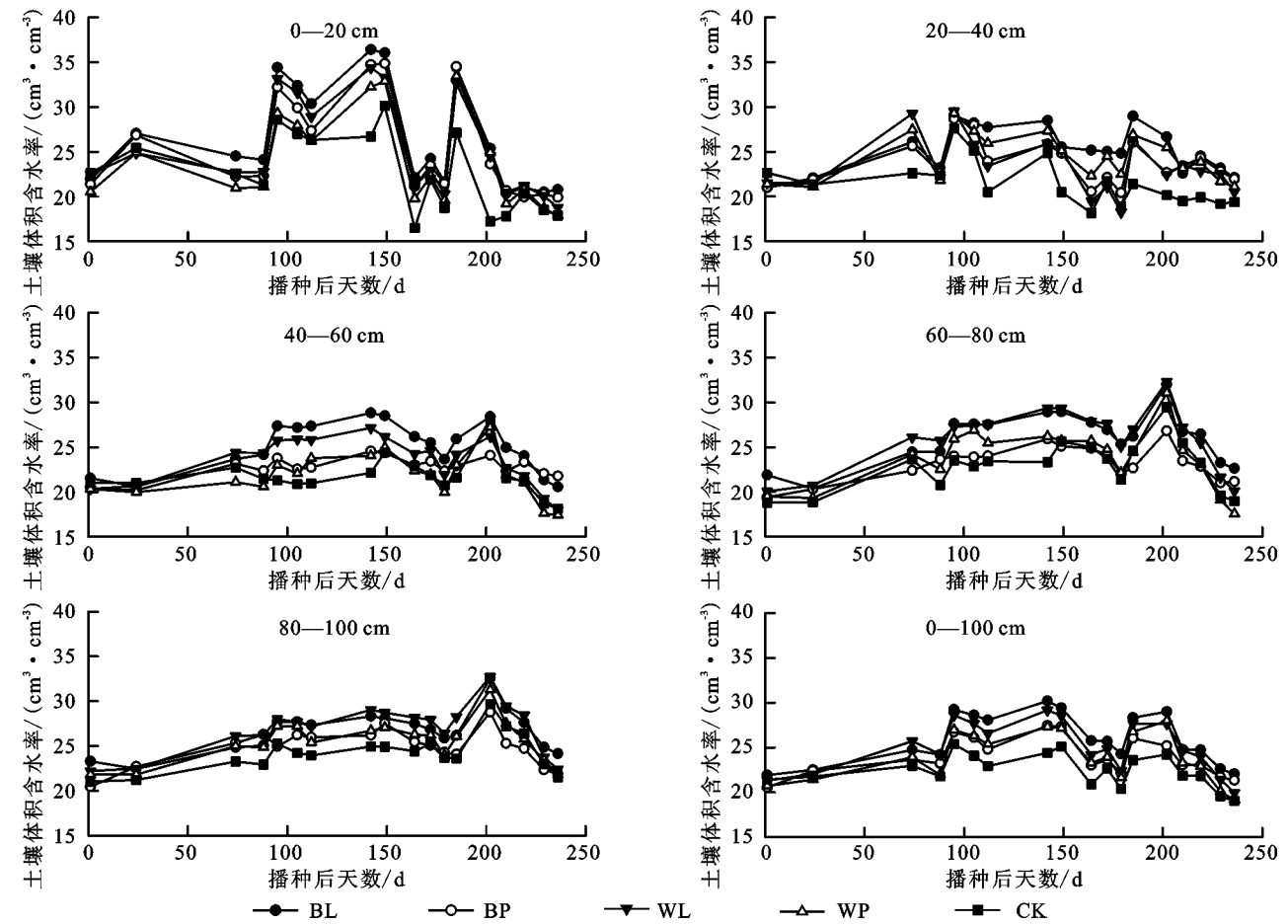


图 5 冬小麦生育期不同土层含水率变化

覆膜处理能有效提高土壤水分利用效率。起垄覆黑膜处理水分利用效率最高,较对照提高 16.3%。黑色覆膜处理水分利用效率平均值较白色覆膜处理和对照处理分别提高 5.4%和 16.1%;起垄覆膜处理水分利用效率平均值较平作覆膜处理和对照处理分别提高 2.9%和 14.7%。相同覆膜方式下,黑、白覆膜处理间水分利用效率差异显著,表明黑色覆膜处理能有效促进作物对水分的利用,提高作物水分利用效率。相同覆膜颜色条件下,不同覆膜方式土壤水分利

用效率差异不显著。相同覆膜方式下,黑、白覆膜处理间冬小麦产量差异不显著;相同覆膜颜色条件下,不同覆膜方式间冬小麦产量差异也不显著。

表 1 不同覆膜处理对产量和水分利用效率的影响

处理	籽粒产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	水分利用效率/ (kg · hm <sup>-2</sup> · mm <sup>-1</sup> )
BL	6167.5a	17.8a
BP	6149.8a	17.7a
WL	6020.6a	17.3ab
WP	5865.2ab	16.4b
CK	5508.8b	15.3c

### 3 结论

覆膜处理能够有效提高表层土壤温度<sup>[4]</sup>,但是其覆膜效应受外界温度和冬小麦生长的影响。在作物越冬期—返青期,覆膜处理增温效果最为显著,较对照该时期增加了 1.3℃,在作物拔节期—灌浆期,覆膜受植株茂密遮阳影响增温效果不显著;无论是平作还是垄作,黑膜处理其表层 5 cm 土壤温度均高于白色覆膜处理 and 对照不覆膜处理。

土壤温度变化过程受外界气温影响很大,王卫华等<sup>[17]</sup>研究表明表层土壤温度受外界影响最大,波动幅度随土层深度的增加而降低。本研究通过对土壤温度日变化分析,得出黑、白覆膜处理表层 5 cm 土壤温度最高值较对照分别增加 4.9℃和 5.7℃,且土壤温度变化呈现明显先增加后降低的波动,这与前人研究结果一致<sup>[17]</sup>。在增温阶段,起垄覆白膜处理土壤温度上升速度较起垄覆黑膜处理和对照处理分别增加 0.4℃/h 和 1.2℃/h;降温阶段,起垄覆白膜处理土壤温度下降速度较起垄覆黑膜处理和对照处理分别增加 0.5℃/h 和 0.8℃/h。

覆膜处理能充分利用水资源,增加作物产量,提高水分利用效率。整个生育期,0—20 cm 耕层内土壤含水率变化波动最显著,起垄覆膜处理耕层土壤含水率较平作覆膜处理和对照处理分别提高 5.04%和 14.82%。在冬小麦抽穗期,起垄覆黑膜处理提高 0—100 cm 土层蓄水量最为显著,较对照处理增加 45.2 mm;整个生育期产量较对照处理增加 658.7 kg/hm<sup>2</sup>;水分利用效率较对照提高 16.3%。试验结果表明丰水年,不同覆膜处理均表现出良好的保水增产效果,与 Gao Zhiqiang 等<sup>[18]</sup>研究得出的地膜覆盖在丰水年份具有良好的贮水保水作用结论一致。

总体上,几种覆膜处理均能起到增温保墒的效果,在寒冷少雨的阶段,黑色覆膜增温效果最为显著。起垄覆膜处理较平作处理能增加冬小麦产量,提高土壤水分利用效率。由于试验年为丰水年,关于覆膜处理在其他降雨年型对土壤水热的影响还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. *Field Crops Research*, 1999, 63(1): 79-86.
- [2] 朱兴平,李永红. 雨水利用的理论与实践: 对干旱半干旱

区农业可持续发展之路的探索[J]. *水土保持通报*, 1997, 17(4): 32-36.

- [3] 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.
- [4] 吴从林,黄介生. 地膜覆盖在冬小麦全生育期内增温保墒作用的试验研究[J]. *中国农村水利水电*, 2001(8): 7-9.
- [5] 龙会英,郑益兴,张燕平,等. 元谋干热河谷辣木人工林地灌水后不同覆盖措施对土壤水分及辣木物候的影响[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(1): 232-235.
- [6] 王绍美,金胜利,王刚. 半干旱区全覆膜双垄沟播技术对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(4): 100-106.
- [7] 王俊,李凤民,宋秋华,等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.
- [8] 王同花,李援农. 起垄覆膜沟播对冬小麦土壤水分利用效率及土壤温度的影响[J]. *中国农村水利水电*, 2011(1): 46-49.
- [9] 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.
- [10] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 50(3): 173-183.
- [11] 王彩绒,田霄鸿,李生秀. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 208-214.
- [12] 纪晓玲,岳鹏鹏,张静,等. 绿豆不同覆膜方式高效栽培技术效果初探[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(3): 149-152.
- [13] 买自珍,余萍,买娟,等. 半干旱区不同覆膜时期,方式与膜色对土壤水分及马铃薯水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2014, 32(1): 1-10.
- [14] 林团荣,胡冰,韩素娥,等. 旱作马铃薯不同膜色不同覆膜方式对比试验研究[J]. *内蒙古农业科技*, 2014(3): 43-44.
- [15] 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.
- [16] 王文佳,冯浩. 基于 CROPWAT-DSSAT 关中地区冬小麦需水规律及灌溉制度研究[J]. 2012, 20(6): 795-802.
- [17] 王卫华,王全九,刘建军. 南疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(1): 139-145.
- [18] Zhiqiang G A O, Jun Y I N, Guoyuan M. Effects of tillage and mulch methods on soil moisture in wheat fields of Loess Plateau[J]. *China*, 1999, 9(2): 161-168.