

# 地布—地膜覆盖对渭北旱塬区土壤水分的影响

苏凤梅<sup>1,2</sup>, 贾志峰<sup>1,2,3</sup>, 王智<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 长安大学  
水与发展研究院, 陕西 西安 710054; 4. 美国加州州立大学 弗雷斯诺分校地球与环境科学系, 美国 加州 93740)

**摘要:** [目的] 研究地布—地膜覆盖法的保湿效果及其耐久性, 为渭北旱塬地区节水农业技术的进一步发展提供科学依据。[方法] 针对地膜易风化, 耐用性差, 使用寿命短, 残膜碎片对环境危害较大, 而防草编织地布强度高, 耐风化, 但保水性差等优缺点, 采用地布—地膜相结合(地膜在下, 地布在上)的覆盖方式, 开展为期 1 a 的浅层土壤水分动态原位监测试验。[结果] ①无论地布—地膜覆盖区还是裸地区, 其土壤含水量随深度的增加呈现出高一低一高的变化趋势。②地布—地膜覆盖区地面以下 15, 30, 50 cm 土层的土壤水分比不覆膜处理区日平均提高 11.2%, 8.0%, 5.3%。③有限的降雨对裸地土壤含水率的影响主要反映在表层 15 cm 深度范围内, 对覆盖条件下土壤含水率的影响则扩展到 30 cm 深度。④试验期内, 地布性能保存完好, 地膜除了边缘外露处部分风化外, 地布覆盖部分基本保持试验初期的完好状态。[结论] 地布—地膜覆盖方式不但具有良好的保水防草效果, 同时有效延长了地膜的使用寿命。

**关键词:** 土壤水分; 地布—地膜覆盖; 降雨入渗; 渭北旱塬区

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)05-0097-06

**中图分类号:** P426.68

**文献参数:** 苏凤梅, 贾志峰, 王智. 地布—地膜覆盖对渭北旱塬区土壤水分的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 97-102. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.016. Su Fengmei, Jia Zhifeng, Wang Zhi. Effects of geotextile plus plastic film mulching on soil moisture in Weibei dryland[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 97-102.

## Effects of Geotextile Plus Plastic Film Mulching on Soil Moisture in Weibei Dryland

SU Fengmei<sup>1,2</sup>, JIA Zhifeng<sup>1,2,3</sup>, WANG Zhi<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an,

Shaanxi 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects  
in Arid Region, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

3. Research Institute of Water and Development, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

4. Department of Earth And Environmental Sciences, California State University, Fresno, California 93740, USA)

**Abstract:** [Objective] We studied the effects of geotextile plus plastic film mulching method on soil moisture conservation and its durability in order to provide a scientific reference for further development of water-saving agricultural technologies in Weibei dryland regions of Shaanxi Province. [Methods] Due to the fact that plastic film is easy to weathering, poor durability, short service life, and the residual debris is harmful to the environment, while weed-blocking geotextile is high strength, weathering resistance, but poor water penetration, this study used a combination of geotextile plus plastic film mulching (plastic film below the geotextile) to monitor soil moisture in-situ for one year. [Results] ① Under both mulching and non-mulching

收稿日期: 2018-03-28

修回日期: 2018-04-24

资助项目: 高等学校学科创新引智计划“111”项目“干旱半干旱地区水文生态与水安全学科创新引智计划项目”(B08039); 中央高校基本科研业务专项(310829161003); 西安市建设科技计划项目(SJW2017-11)

第一作者: 苏凤梅(1994—), 女(满族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为气态水, 从事水文学研究。E-mail: Sufengmei@163.com。

通讯作者: 王智(1962—), 男(汉族), 美国加利福尼亚州人, 博士, 教授, 从事土壤物理和水文学研究。E-mail: zwang@csufresno.edu。

conditions, the variations of soil moisture content showed a high-low-high trend with the increase of soil depth. ② Under geotextile plus plastic film mulching conditions, the daily average soil moisture at 15, 30, and 50 cm depths increased by 11.2%, 8.0%, and 5.3%, respectively, compared to the bare soil area. ③ The impacts of limited rainfall on soil moisture were mainly reflected in the top 15 cm depth in the bare soil area, but extended to 30 cm depth in the mulched area. ④ During the experimental period, the properties of the geotextile was well preserved. The plastic film covered by the geotextile was also intact, similar to its initial state, except for the exposed edge areas that was fragmented due to weathering. [Conclusion] The geotextile plastic film mulching method not only showed advantages in water conservation and weed control, but also effectively extended the life of plastic film.

**Keywords:** soil moisture; geotextile plastic film mulching; rainfall infiltration; Weibei dryland

中国干旱半干旱地区降雨量少,蒸发强烈,水资源短缺,农业用水缺乏,发展节水农业是当前高效利用水资源的重要方式<sup>[1-2]</sup>。土壤水分是水资源形成、转化与消耗的循环过程的重要参数,对农业科学领域的研究有着非常重要的作用<sup>[3-4]</sup>。地膜覆盖技术能够有效降低土壤蒸发<sup>[5]</sup>,提高农作物对水分和养分的吸收利用率<sup>[6-7]</sup>,成为目前节水农业发展的重要方向<sup>[8]</sup>。然而传统的地膜耐用性差,残膜碎片对环境危害大<sup>[9]</sup>。为此,本文拟引入防草地布材料,将地布与地膜相结合,在渭北旱塬区选取典型试验点,开展地布—地膜覆盖条件下土壤水分原位监测试验。研究地布—地膜覆盖的保湿效果及其耐久性,以期为该地区节水农业技术的发展提供参考依据。

## 1 研究地区及研究方法

### 1.1 研究区概况

中国科学院长武黄土高原农业生态试验站(34°12'N,107°40'E)位于陕西省咸阳市长武县王东村,塬川相间,沟谷发育,是典型的黄土旱塬区,平均海拔 1 200 m。该区气候属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均日照 2 226.5 h,年无霜期 171 d,年均降水 580 mm,年内分布呈现夏秋多、冬春少。最高气温 36.9 °C,最低气温 -24.9 °C,年均气温 9.1 °C。研究区土壤为黑垆土,母质是深厚的中壤质马兰黄土<sup>[10]</sup>。试验地 0—50 cm 土质为粉质壤土,土壤颗粒

分析结果见表 1。其中,黏粒(<0.002 mm)含量为 16.2%~25.5%,粉粒(0.05~0.002 mm)含量为 70%~74.1%,砂粒(>0.05 mm)含量为 3%~9.7%。平均容重为 1.4 g/cm<sup>3</sup>,地下水位埋深在 40 m 左右。

表 1 长武县王东村不同土壤颗粒含量 %

土层深度/ cm	%		
	砂粒 >0.05 mm	粉粒 0.05~0.002 mm	黏粒 <0.002 mm
0—15	9.7	74.1	16.2
15—30	3.0	71.9	25.1
30—50	4.5	70.0	25.5

### 1.2 研究方法

在试验站选取两块裸地,一块为地布—地膜覆盖区,一块为裸地区。在两块裸地分别挖 50 cm 土坑,修平土壤垂直剖面,在地面以下 15,30,50 cm 处采用垂直剖面法<sup>[11]</sup>安装土壤水分传感器,用原土回填土坑,传感器外接数据采集器进行数据采集。覆盖区土壤表层采用双层膜覆盖(黑色地膜在下,黑色地布在上),并使用地钉对双层膜进行固定,裸地区不做处理,定期清理杂草。在地表上不同高度安装有大气湿度仪(20 cm)、雨量计(160 cm)、风速风向仪(200 cm),数据采集器(100 cm)<sup>[12]</sup>,试验所用仪器型号及精度见表 2。测定时间步长为 0.5 h,试验时间为 2014 年 11 月 15 日至 2015 年 11 月 15 日。

表 2 测量仪器参数

仪器	型号	公司	精度
土壤水分传感器	GS3	Decagon, USA	含水率:±0.03;
大气湿度仪	VP-3	Decagon, USA	最小相对湿度:±2% 温度:±0.1 °C
雨量计	ECRN-100	Decagon, USA	±0.02 mm
风速仪	Davis Cup	Decagon, USA	风速:±0.45 m/s

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件对数据进行

统计分析,采用单因素分析法和 PCA 法进行方差分析  $\alpha=0.01$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分的空间变化特征

对监测期内裸地及地布—地膜覆盖区 15, 30, 50 cm 处土壤含水率数据进行统计, 统计结果见表 3, 各层土壤平均含水率的空间变化见图 1。从表 3 可以看出, 无论是覆盖还是裸地, 标准差随着土层深度的增加均呈现出减小趋势, 说明随着深度的增加, 土壤水分受气象因素的影响逐渐减弱。通过比对覆盖和不覆盖两种方式的变异系数发现, 覆盖条件下各层土壤水分的变异系数均低于裸地区, 说明覆盖条件土壤含水率年内变化幅度较小。

由图 1 可以看出, 在地布—地膜覆盖区各层平均

表 3 长武县王东村土壤水分变化分析( $\alpha=0.01$ )

覆盖条件	深度 cm	最大值/%	最小值/%	平均值/%	标准差	变异系数/%
裸地区	15	36.6	20.1	25.3	3.0	11.8
	30	31.1	13.7	18.6	2.6	14.1
	50	36.7	20.5	26.3	2.1	7.9
覆盖区	15	35.9	22.4	28.1	3.1	11.0
	30	26.2	15.5	20.1	2.7	13.4
	50	34.7	23.2	27.7	2.1	7.6

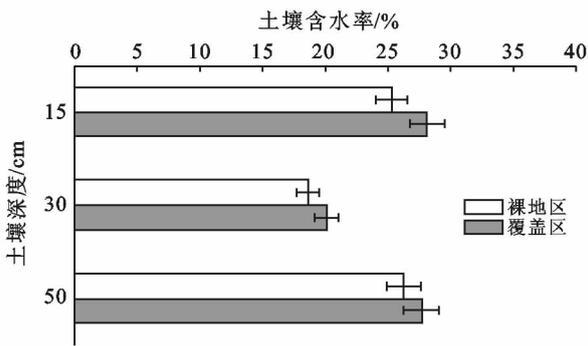


图 1 长武县王东村土壤水分空间变化

### 2.2 土壤水分的时间变化特征

不同深度(15, 30, 50 cm)土层的土壤水分时间变化过程见图 2。15 cm 深度土层土壤水分时间变化见图 2a, 该层受降雨、蒸发等气象因素的影响最大, 裸地区土壤水分年内变化范围为 19.7%~46.1%(日平均含水率), 变幅为 26.4%, 土壤年平均含水率为 25.3%, 覆盖区土壤水分年内变化范围为 21.4%~36.9%(日平均含水率), 变幅为 15.5%, 土壤年平均含水率为 28.1%。30 cm 深度土层土壤水分时间变化见图 2b, 该层受降雨、蒸发等气象因素的影响减弱, 裸地区土壤水分年内变化范围为 13.5%~38.9%(日平均含水率), 变幅为 25.4%, 土壤年平均含水率为 18.6%, 覆盖区土壤水分年内变化范围为 15.3%~28.0%(日平均含水率), 变幅为 12.7%, 土

壤含水率均高于裸地区, 由浅至深分别提高了 11.2%, 8.0%, 5.3%, 这是由于地布—地膜的覆盖有效地收集了降雨和露水并抑制了杂草生长和土壤表层水分的蒸发, 具有集水保水作用。通过显著性分析表明, 裸地及覆盖区各层土壤含水率均具有极显著性差异(LSD 检验,  $p<0.01$ ), 说明地布—地膜覆盖对各层土壤水分的影响极为显著。另外, 裸地和覆盖区土壤含水率随深度增加呈现高一低—高变化趋势, 在距地表 30 cm 处的土壤平均含水率都明显低于其他各层土壤, 这是由于降雨量较小时, 蒸发作用和径流作用导致雨水无法入渗到 30 cm 处, 无降雨时, 在白天强烈蒸发以及夜间温度驱动下, 30 cm 处土壤水分向表层土壤运移。

壤年平均含水率为 20.1%。50 cm 深度土层土壤水分时间变化见图 2c, 该层受降雨、蒸发等气象因素的影响最弱, 裸地区土壤水分年内变化范围为 20.5%~37.5%(日平均含水率), 变幅为 17.0%, 土壤年平均含水率为 26.3%, 覆盖区土壤水分年内变化范围为 23.1%~38.1%(日平均含水率), 变幅为 15.0%, 土壤年平均含水率为 27.7%。

根据其年内变化程度, 可以概括为 5 个时期, 分别为相对稳定期、缓慢上升期、缓慢下降期、增失交替期、恢复期, 不同时期土壤水分变化特征如下:

(1) 相对稳定期(11 月下旬—次年 2 月上旬)。该时期气温较低, 降雨少, 蒸发小, 降雨量为 12 mm, 占全年降雨量的 2.4%, 日最大降雨量达 3.2 mm。12 月末土壤水分出现低谷, 是由于温度骤减, 1—2 月上旬地面温度低于零度, 土壤由表层向下层冻结, 由于传感器测量的是土壤的非冻结含水量, 土壤水分冻结致使土壤非冻结含水量减小。整体上, 土壤水分处于自调节阶段, 变化较为缓慢。除了土壤冻结期, 在整个稳定期内, 覆盖区土壤含水率显著高于裸地区, 在 15, 30, 50 cm 土层覆盖区平均含水率比裸地区分别高出 7.10%, 4.42%, 5.26%。

(2) 缓慢上升期(2 月中旬至 3 月下旬)。该时期降雨量为 58.2 mm, 占全年降雨量的 11.4%, 日最大降雨量达 15 mm。2 月中旬以后气温回升, 土壤由表

层开始解冻,土壤蒸发较小,土壤水分缓慢持续增加,3月中旬后降雨频次增加,强度增大,土壤水分骤增。比对覆盖区与裸地区发现,前期覆盖区土壤含水率高于裸地区,后期相反,主要因为,前期土壤解冻,土壤含水率增加,覆盖区覆膜减少了土壤蒸发,土壤水分相对较高,后期降雨频率增加,覆盖区减少了降雨的直接入渗,水分含量略低于裸地区。在整个缓慢上升期内,在 15,30,50 cm 土层覆盖区平均含水率比裸地区分别高出 4.61%,1.27%,4.47%。

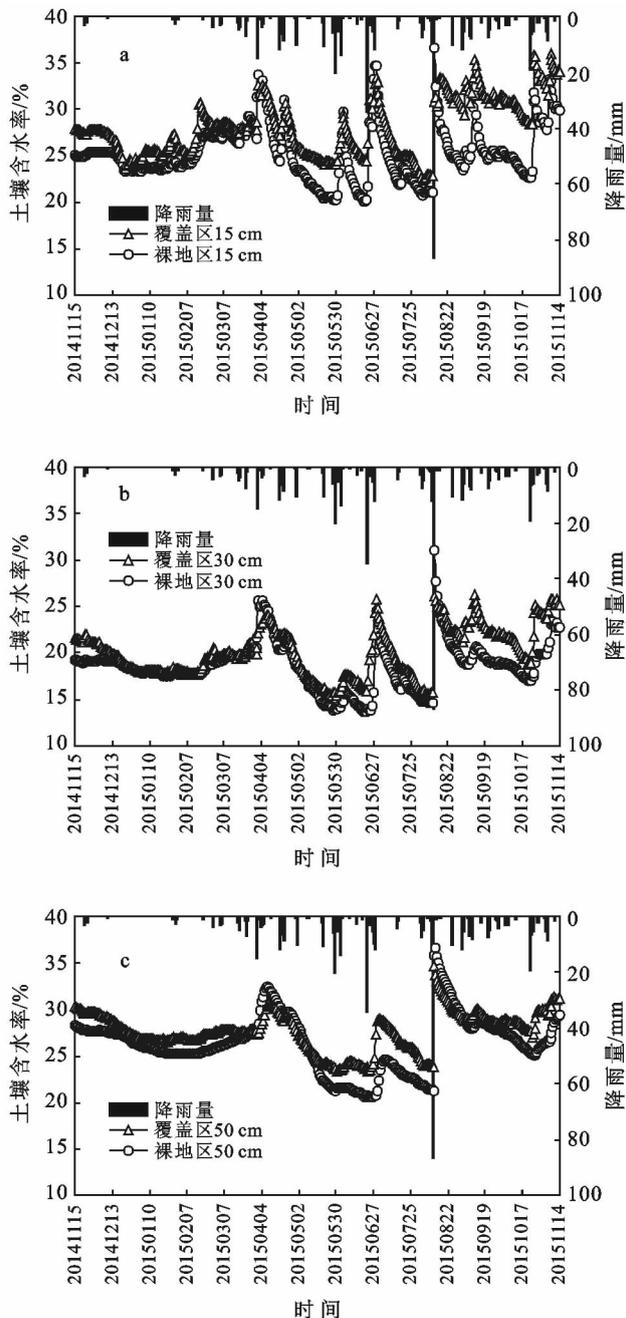


图 2 不同深度土层含水率的时间变化过程

(3) 缓慢下降期(4月上旬至5月下旬)。该时期降雨量为 56 mm,占全年降雨量的 11.0%,日最大降

雨量达 11.6 mm。4月气温持续回升,土壤蒸发强度逐渐增大,土壤水分开始减小。在4月中旬有连续降雨,土壤水分有增加趋势,但整体上处于下降期。比对覆盖区与裸地区发现,除4月中旬降雨期间,覆盖区土壤含水率下降趋势存在一定的滞后性,同时刻,覆盖区土壤含水率高于裸地区。在整个缓慢下降期内,在 15,30,50 cm 土层覆盖区平均含水率比裸地区分别高出 10.86%,4.14%,0.40%。

(4) 增生交替期(6月上旬至9月下旬)。该时期气温最高,降雨频次及强度最大,蒸发强烈,降雨量为 322 mm,占全年降雨量的 63.3%,日最大降雨量达 86.6 mm。强降雨条件下,土壤水分急剧上升,雨后蒸发强烈,土壤水分迅速下降,土壤水分变化剧烈。在这个时期内,裸地区的土壤水分变化幅度明显大于覆盖区,降雨期间裸地区土壤含水率增幅大,其他时段裸地区土壤含水率降幅也大,说明覆盖区通过覆膜虽然减少了降雨对土壤的直接入渗,但减少了土壤蒸发,其保水性明显优于裸地区。在整个增生交替期内,在 15,30,50 cm 土层覆盖区平均含水率比裸地区分别高出 15.11%,13.11%,8.56%。

(5) 恢复期(10月上旬至11月中旬)。该时期降雨量为 60.2 mm,占全年降雨量 11.8%,日最大降雨量达 19 mm。10月以后气温逐渐降低,降雨强度减小,蒸发较强,10月末降雨作用下,土壤水分开始增加。该时期覆盖区土壤含水率均高于裸地区,在 15,30,50 cm 土层覆盖区平均含水率比裸地区分别高出 19.35%,16.36%,9.17%。

### 2.3 地布—地膜覆盖对降雨入渗的影响

选取典型降雨过程(2015年6月23日至6月29日),分析降雨前后研究区裸地和覆盖条件下土壤含水率随时间动态变化过程(见图3)。

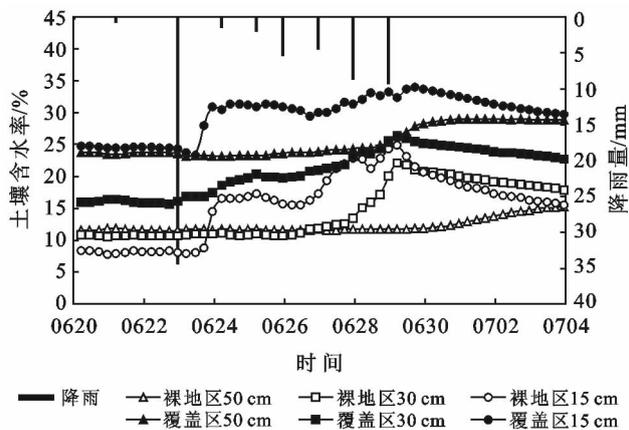


图 3 典型降雨前后土壤水分变化

由图3可以看出,无论是裸地还是覆盖条件下,随土壤深度增加,降雨对土壤含水率的影响逐渐减

小,降雨过程中不同深度土壤含水率最大值出现时间随深度的增加表现出不同程度的滞后性。裸地 15 cm 土层的土壤含水率最大值(39.9%)出现在 6 月 29 日上午 5:00,覆盖条件下 15 cm 土层土壤含水率最大值(34.0%)出现在 6 月 29 日下午 17:00 时;裸地 30 cm 土层的土壤含水率最大值(27.2%)和覆盖条件下 30 cm 土层的土壤含水率最大值(26.4%)均出现在 6 月 29 日上午 5:00;裸地 50 cm 土层的土壤含水率最大值(25.5%)出现在 7 月 4 日上午 7:00,覆盖条件下 50 cm 土层的土壤含水率最大值(29.0%)出现在 6 月 30 日晚 21:00。

降雨过程中裸地和覆盖条件下不同深度土壤含水率统计特征值见表 4。降雨过程中,裸地土壤含水率的最大值和最小值均出现在 15 cm 深度范围内,其变异系数为 49,属于中等变异强度<sup>[13]</sup>( $C_v \geq 100$  为强变异,  $40 \leq C_v < 100$  为中等变异强度,  $10 \leq C_v < 40$  为低等变异强度,  $C_v < 10$  为弱变异强度),15 cm 以下深度变异系数分别为 26,27 均小于 40,属于低等变异强度。因此,降雨过程对裸地土壤含水率的影响主要集中在 15 cm 深度范围内,对 15 cm 以下土壤水分影响较小,这是由于土壤表层最先接受降雨补给,土壤含水量迅速升高,当降雨强度足够大或降雨历时较长时,土壤表层水分将达到饱和状态并下深层入渗,降雨结束后,由于地表温度升高和地表面气流作用,土壤水分迅速蒸发。水分在表层滞留的时间相对较短,变异性也较强。覆盖条件下的土壤含水率最大值出现在 15 cm 深度范围内,最小值出现在 30 cm 深度范围内,变异系数依次是 10 及 14,均属于低等变异强度,50 cm 深度变异系数为 8,属于弱变异强度,因此,降雨过程对覆盖条件下土壤含水率的影响主要集中在 30 cm 深度范围内,这是由于覆盖地布和地膜阻碍了雨水直接入渗,雨水通过侧向入渗补给土壤,表层土壤通过侧向补给获得水分后,补给下层土壤。

表 4 典型降雨过程中不同深度土壤水分统计

深度/ cm	裸地区				
	最大值/ %	最小值/ %	平均值/ %	标准差	变异 系数/%
15	39.89	7.84	18.94	9.308	49.15
30	27.21	10.61	16.28	4.309	26.47
50	25.58	11.49	16.52	4.573	27.68
深度/ cm	覆盖区				
	最大值/ %	最小值/ %	平均值/ %	标准差	变异 系数/%
15	34.04	23.24	28.39	3.074	10.83
30	26.40	15.73	20.45	2.974	14.54
50	29.00	23.19	26.20	2.235	8.53

## 2.4 地布—地膜覆盖的耐久性分析

地膜材料一般为聚乙烯,厚度变化经历了由厚变薄再逐渐增厚的过程。在 20 世纪 80 年代初期,地膜的厚度为 0.014 mm,而后为了节省成本,地膜厚度变为 0.005~0.006 mm,甚至更薄,致使地膜强度低,易老化,易破碎,回收困难<sup>[14-16]</sup>。90 年代,国标规定地膜厚度最低为 0.008 mm,较前期地膜厚度有所增大。传统覆膜方式,天气会导致地膜破坏,如暴晒,暴雨,强风等。因此,地膜使用寿命短,一般为半年至一年,且回收率低,不易降解,随着农田使用年限的增加,土壤中残留的地膜量逐渐增加,会导致地膜污染<sup>[17-19]</sup>。地布又被称为“防草布”“地面编织膜”“地面防护膜”等,材料为聚丙烯,透气渗水,质地较坚韧,不易风化和破碎,回收方便,使用寿命较长,一般为 5 a,不仅可以节省成本,还能防止杂草生长,抑制杂草种子的传播和扩散<sup>[20-21]</sup>。

本试验期内,地膜在地布的保护下,除了边缘少部分风化,整体基本上保持试验初期状态。因此,地布—地膜覆盖方式有效延长了地膜的使用寿命。

## 3 讨论

本研究选择试验地块远离人类活动区,避免人为因素干扰,利用原位定点自动监测手段,研究地布—地膜覆盖对渭北旱塬区 0—50 cm 土壤水分的影响。研究发现,地布—地膜的覆盖措施隔离了地表土壤与大气接触,使得不同深度土层的土壤水分分布、能态、水汽运动状态均发生改变,从而影响土壤水分<sup>[22]</sup>。由于覆盖处理后,有效减少了土壤蒸发,对不同深度的土壤水分保持均明显优于裸地<sup>[23-25]</sup>,降雨对覆盖措施下各个深度土层的土壤水分变化影响较小,土壤水分增加幅度明显低于裸地条件下<sup>[26-29]</sup>,但降雨过后,覆膜处理有效减少了土壤水分的蒸发,各层土壤水分减小幅度均小于裸地。

## 4 结论

(1) 无论地布—地膜覆盖区还是裸地区,其土壤含水量随深度增加而呈现出高一低一高的空间分布特征。

(2) 地布—地膜覆盖中 15,30,50 cm 土层的土壤水分比不覆膜处理中日平均提高 11.2%,8.0%,5.3%。

(3) 覆盖区域减少了降雨的直接入渗,土壤水分增加过程存在滞后性,但减少了土壤蒸发,无杂草,保水性能较好。

(4) 试验期内,地布性能保存完好,地膜除了边缘少部分风化,基本上保持试验初期状态。因此,地

布—地膜覆盖方式起到了良好的保水效果,同时有效延长了地膜的使用寿命。

本文采用15 cm处土壤水分数据来反映表层土壤水分状况。然而地表土壤水分变化强烈,在0—15 cm土层进行土壤水分的加密观测,有待进一步揭示表层土壤水分的变化规律。

与传统覆膜种植方式相比,地布—地膜覆盖的方式更有利于提高土壤水分,防止杂草,且地膜不易破损,可以多年使用,节省劳力,应根据多年综合效益与成本比较因地制宜地推广该技术。

**致谢:**感谢卢玉东、刘文兆、张晓萍、汪有科、李玉成、何自立、王浩对试验的关注与现场帮助;感谢长安大学研究生院、长安大学水与发展研究院、西北农林科技大学和中国科学院长武黄土高原农业生态试验站对本试验项目的支持。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 秦舒浩,代海林,张俊莲,等. 沟垄覆膜对旱作马铃薯土壤养分运移及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014,32(1):38-41.
- [2] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报, 2005,19(5):94-96.
- [3] 丁建丽,姚远. 干旱区稀疏植被覆盖条件下地表土壤水分微波遥感估算[J]. 地理科学, 2013,33(7):837-843.
- [4] Rockström J, Barron J, Fox P. Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone environments[J]. *Physics & Chemistry of the Earth*, 2002,27(11):949-959.
- [5] Brotherson J D, Rushforth S R. Influence of cryptogamic crusts on moisture relationships of soils in Navajo National Monument, Arizona[J]. *Great Basin Naturalist*, 1983,43(1):73-78.
- [6] Wang Fengxin, Feng Shaoyuan, Hou Xiaoyan, et al. Potato growth with and without plastic mulch in two typical regions of Northern China [J]. *Field Crops Research*, 2009,110(2):123-129.
- [7] Yuan Tian, Su Derong, Li Fengmin, et al. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas [J]. *Field Crops Research*, 2003,84(3):385-391.
- [8] 樊小林,廖宗文. 地膜覆盖土壤水热效应及降解特性研究初报[J]. 华南农业大学学报, 1999,20(1):121-122.
- [9] 陈东城. 我国农用地膜应用现状及展望[J]. 甘蔗糖业, 2014(4):50-54.
- [10] 程立平,刘文兆,李志. 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征[J]. 生态学报, 2014,34(8):1975-1983.
- [11] 贾志峰,朱红艳,易秀. 半湿润易旱区土壤水分时空变化特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(8):67-72.
- [12] 王浩,贾志峰,王智. 陕北黄土丘陵区露水量及影响因素[J]. 应用生态学报, 2017,28(11):3703-3710.
- [13] 高红贝,邵明安. 干旱区降雨过程对土壤水分与温度变化影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2011,30(1):40-45.
- [14] 何文清,严昌荣,赵彩霞,等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报, 2009,28(3):533-538.
- [15] 白云龙,李晓龙,张胜,等. 内蒙古地膜残留污染现状及残膜回收利用对策研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6):139-145.
- [16] 李治国,周静博,张丛,等. 农田地膜污染与防治对策[J]. 河北工业科技, 2015,32(2):177-182.
- [17] 范秀莲. “白色污染”对农业的危害及防治措施[J]. 衡水学院学报, 1999,1(4):47-49.
- [18] 梁志宏,王勇. 我国农田地膜残留危害及防治研究综述[J]. 中国棉花, 2012,39(1):3-8.
- [19] 杨彦明,傅建伟,庞彰,等. 内蒙古农田地膜残留现状分析[J]. 北方农业学报, 2010(1):10-12.
- [20] 邓真华,杜贤明,彭晓虹,等. 果桑地布覆盖栽培试验效果研究[J]. 中国蚕业, 2017,38(4):6-10.
- [21] 蓝必忠,汤庆坤,黄景滩,等. 园艺地布在桑园中的应用试验[J]. 广西蚕业, 2017,54(2):34-38.
- [22] 李虹辰,赵西宁,高晓东,等. 鱼鳞坑与覆盖组合措施对陕北旱作枣园土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2014,25(8):2297-2303.
- [23] 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.
- [24] 李儒,崔荣美,贾志宽,等. 不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2011,44(16):3312-3322.
- [25] 张淑芳,柴守玺,蔺艳春,等. 干旱年份地膜覆盖模式对春小麦土壤水分和产量的影响[J]. 中国农业气象, 2011,32(3):368-374.
- [26] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等. 不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J]. 生态学报, 2010,30(9):2424-2433.
- [27] 王琦,张恩和,李凤民. 半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较[J]. 生态学报, 2004,24(8):1816-1819.
- [28] Zhang Guosheng, Zhang Xiaoxi, Hu Xuebai. Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch patterns in vegetable field at Dianchi lake's catchment, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2013,122(2):20-27.
- [29] Hemmat A, Ahmadi I, Masoumi A. Water infiltration and clod size distribution as influenced by ploughshare type, soil water content and ploughing depth [J]. *Biosystems Engineering*, 2009,97(2):257-266.