

不同地膜覆盖对土壤水温及谷子水分利用和产量构成的影响

郭大辛 郭平毅* 原向阳 董淑琦 王东明 李永虎

(山西农业大学 农学院,山西 太谷 030801)

摘要 为研究不同地膜覆盖材料对旱区谷子的增产效果和机理,利用田间试验研究不同地膜覆盖(白色聚乙烯地膜(WP)、白色可降解地膜(WD)和黑色可降解地膜(BD))对土壤水温、谷子叶片和群体水分利用效率及产量构成的影响。结果表明:1)与对照(CK,露地)相比,各覆膜处理均使0~20 cm土层土壤温度和土壤含水量显著提高,0~100 cm土层的蓄水保墒能力有所增加。其中WP处理的地温日较差最大,增温效应最明显,WD、BD处理依次减弱。WP处理的0~20 cm土层保水效果最好。各覆膜处理均使谷子生育前期0~100 cm土层的蓄水保墒能力提高,为谷子的需水关键期提供了保障。2)各覆膜处理均较CK使谷子水分利用效率显著提高。其中,BD处理的叶片和群体水分利用效率表现最佳,WD较WP处理水分利用表现略差。3)各覆膜处理较CK均使谷子产量显著提高。BD处理产量最高,WP与WD处理产量相当。4)各覆膜处理中,BD处理的杂草防除效果最优,WP与WD处理效果相当。综上,在谷子田间生产中,黑色、白色可降解地膜具有替代普通聚乙烯地膜的可行性,黑色可降解地膜在水分利用和杂草防除方面表现更优。

关键词 地膜覆盖;可降解;土壤水温;谷子;水分利用效率;产量构成

中图分类号 S152;S515

文章编号 1007-4333(2017)10-0056-09

文献标志码 A

Effects of different film mulching on soil moisture, temperature and water use efficiency, yield components of millet

GUO Daxin, GUO Pingyi*, YUAN Xiangyang, DONG Shuqi, WANG Dongming, LI Yonghu

(College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract A field experiment was conducted to study the effects of different film mulching on the soil temperature, moisture and leaf, crop water use efficiency and yield components of millet. The results showed that: 1) All treatments significantly increased soil temperature and moisture at 0–20 cm layer, and water storage capacity of 0–100 cm soil layer compared with open filed (CK). White plastic film mulching displayed the maximum daily range of soil temperature and the most noticeable warming followed by white degradable film mulching and then blacked degradable film mulching. White plastic film mulching treatment had the best water holding effects in 0–20 cm soil layer. All mulching treatments increased the water storage capacity in 0–100 cm soil layer, and guaranteed the water consumption at later key water requirement period. 2) All mulching treatments significantly increased water use efficiency of millet compared with CK treatment. Blacked degradable film mulching treatment had better performance in both leaf and crop water use efficiency than those in other treatment. The water use performance of white degradable film mulching was slightly worse than that of white plastic film mulching. 3) All mulching treatments increased the yield of millet significantly compared with CK treatment. Blacked degradable film mulching treatment had the highest yield, white degradable film mulching had the same yield as white plastic film mulching treatment. 4) Blacked degradable film mulching had the best performance on weeds control effect in all treatment. White degradable film mulching had the same performance on

收稿日期: 2016-10-19

基金项目: 国家自然科学基金(31301269); 国家科技支撑计划(2014BAD07B01-09); 山西省科技攻关项目(20150311016-2); 山西省重点研发项目(2015-TN-09); 山西省谷子产业技术体系 2015-06

第一作者: 郭大辛, 硕士研究生, E-mail: guodaxin126@126.com

通讯作者: 郭平毅, 教授, 主要从事作物栽培及现代杂粮生产研究, E-mail: pyguo126@126.com

weeds control effect compared with white plastic film mulching treatment. In summary, white and black degradable film mulching had production feasibility to replace polyethylene mulching film. Black degradable film mulching had better yield performance especially in the area with serious weed problem.

Keywords film mulching; degradable; soil moisture and temperature; millet; water use efficiency; yield components

地膜覆盖是一项重要的增温保墒、节水增产的农艺措施,在我国干旱半干旱地区应用非常广泛。谷子是北方重要的粮食作物,具有耐贫瘠、耐干旱和营养价值高等特点,有着很高的经济效益。而在北方春播常遇到的低温、干旱等不利环境中,生产中常用的聚乙烯地膜覆盖有效地解决了此类问题,同时明显提高了作物水分利用效率、产量以及耕层土壤的含水量和有效积温,并且具有一定的杂草防除效果^[1]。然而聚乙烯这样极难降解材料的长期使用导致的农田土壤污染和生态问题不断凸显^[2]。近年来可降解塑料产业发展迅速,可降解地膜成本不断下降,并且研制出了不同颜色、不同降解速度使之可以适应不同作物生育期的全生物可降解地膜(PBAT)。此类地膜与普通聚乙烯地膜具有相似的增温保墒作用和初始性能^[3-4],在使用后可以完全降解为水和二氧化碳,具有代替普通地膜使用的可行性。此外,谷子田间的杂草防除问题也限制了谷子产量的进一步增加。张小叶等^[5]研究发现高粱田间黑色地膜的除草效果要优于白色地膜。而白色、黑色可降解地膜可以较好地解决以上问题,目前关于白色、黑色可降解地膜与普通地膜之间对土壤水温环境、作物水分利用、产量构成和杂草防除影响的区

别以及田间生产应用可行性的相关研究十分有限,于谷子上应用的田间试验更是缺乏,因此本研究设置了普通白色聚乙烯地膜、白色可降解地膜、黑色可降解地膜、露地 4 个处理,通过大田试验比较可降解地膜对土壤温度、水分,对谷子叶片水平、群体水平水分利用效率,产量构成以及杂草防除的影响。以期为谷子地膜覆盖栽培技术的优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 5—10 月在山西中部的山西农业大学创新园区(北纬 37°23', 东经 112°29')进行。该区海拔 790 m,属暖温带半湿润季风气候区,大于 10℃ 的积温 3 500~3 600℃,年平均降水量 460 mm,无霜期 160~190 d。试验地土壤为碳酸盐褐土,1 m 深土体平均田间持水率为 23%~25%,地下水埋深为 3~9 m。0~20 cm 耕层土壤平均有机质含量 23.79 g/kg,速效氮 57.21 mg/kg,速效磷 9.45 mg/kg,速效钾 190.2 mg/kg,pH 8.12。2016 年谷子生育期内降雨量为 399.3 mm,日均温度 22.26℃。图 1 为试验期间日均温度变化和降雨分布情况。

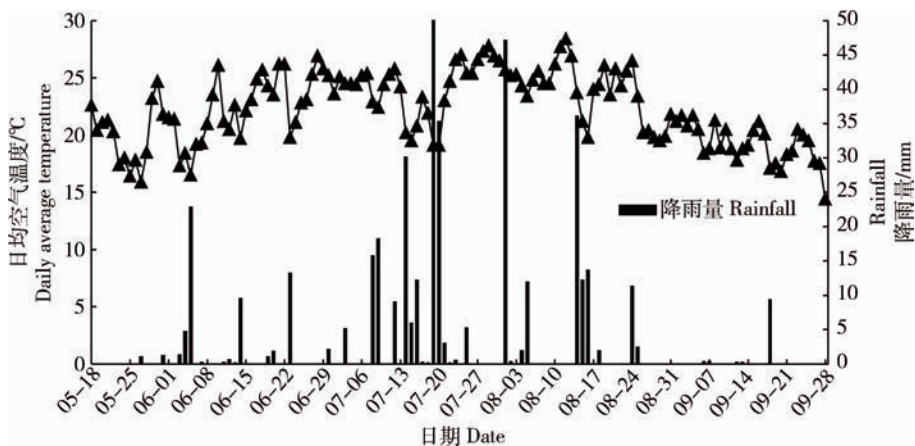


图 1 2016 年试验期内地点日均温度变化和降雨分布

Fig. 1 Daily average air temperature and rainfall distribution during the experimental stage in 2016

1.2 试验设计

试验于 2016 年 5 月 19 日播种,9 月 28 日收

获。试验设置 4 个处理: 1) 白色聚乙烯地膜(WP); 2) 白色可降解地膜(WD); 3) 黑色可降解地膜

(BD); 4) 对照, 即露地 (CK)。小区面积 28 m^2 ($14 \text{ m} \times 2 \text{ m}$), 采用随机区组设计, 各处理重复 3 次。各处理留苗密度一致, 为 $25.6 \text{ 万株}/\text{hm}^2$ 。膜宽均为 70 cm , 厚度 0.01 mm 。可降解地膜由广州金发科技公司提供的 PBAT(聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯)生物降解材料制成, 起始降解时间约为 120 d 。供试谷子品种为张杂谷 10 号。于播前施入底肥(N : P_2O_5 : K_2O 质量比为 $18 : 18 : 18$, 总养分 $\geq 54\%$, 用量为 $750 \text{ kg}/\text{hm}^2$)。

1.2.1 土壤水温环境测定

1) 土壤含水量: 在生育期的各阶段采用烘干法, 测定 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层土壤含水量。土壤蓄水量: 在生育期各阶段采用烘干法测定 $0 \sim 100 \text{ cm}$ 深度(每 20 cm 为测定单元)土壤蓄水量。土壤蓄水量/ $\text{mm} =$ 土壤含水量 \times 土壤容重 \times 土层厚度。

2) 土壤温度: 在生育期各阶段利用地温计在 $8:00 \sim 18:00$ 每隔 2 h 测定 $5, 10, 15$ 和 20 cm 深度的土壤温度, 每点读数 3 次, 取平均值, 此时段内平均值作为土壤日平均温度。苗期、拔节期和孕穗期每 7 d 测定 1 次, 抽穗灌浆期、成熟期每 14 d 测定 1 次。

1.2.2 谷子水分利用测定

1) 叶片水分利用效率 (WUE_l): 利用 CI-340 光合仪测定净光合速率及蒸腾速率: 分别在谷子拔节期、孕穗期、抽穗灌浆期和成熟期选择典型晴朗天气, 于 $9:00 \sim 11:00$ 测定植株旗叶, 各小区选取 3 株测定, 取其平均值使用。测得的净光合速率 (P_n) 与蒸腾速率 (E) 之比表示叶片水分利用效率: $\text{WUE}_l = P_n/E$, 得到各生育期叶片水分利用效率。

2) 群体水分利用效率 (WUE_c): 表示为 $\text{WUE}_c = Y/ET$ 。Y 为谷子产量, ET 为作物生育期内总耗水量。ET 利用农田水分平衡方程计算: $ET = P - (W_1 - W_0) - F - R + I$, 其中 W_0, W_1 分别为播种和收获时 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 土层的平均含水量, 测定时从土壤表面向下每 20 cm 取 1 个土样, 采用烘干法测定含水量; P 为生育期内降雨量; F 为 200 cm 以下土层与以上土层的水分交换量, 由于 200 cm 以下土体含水量变化不明显, 且试验期间灌水定额、降水强度和降水总量都不大, 故 F 计为零, I 为灌溉用水量, R 为小区与外部土壤的地面水分交换量, 由于试验区域地势平坦, 小区筑有较高的埂保护, 故 R 计为零。这样, 计算作物生育期内总耗水量可简化为: $ET = P + (W_1 - W_0)$ 。

1.2.3 谷子产量构成及杂草防效测定

1) 谷子成熟后, 在各小区随机采集 10 株样本, 测定其穗长、穗粒重和千粒重; 产量按各小区脱粒晒干后称取重量获得。

2) 于谷子拔节期调查杂草防效, 相对株防效 = (对照区杂草株数 - 处理区杂草株数) / 对照区杂草株数 $\times 100\%$ 。

采用 Microsoft Excel 2007 对数据进行处理和绘图, 采用 DPS 7.5 统计分析软件对数据进行差异显著性检验 (LSD 法, $\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

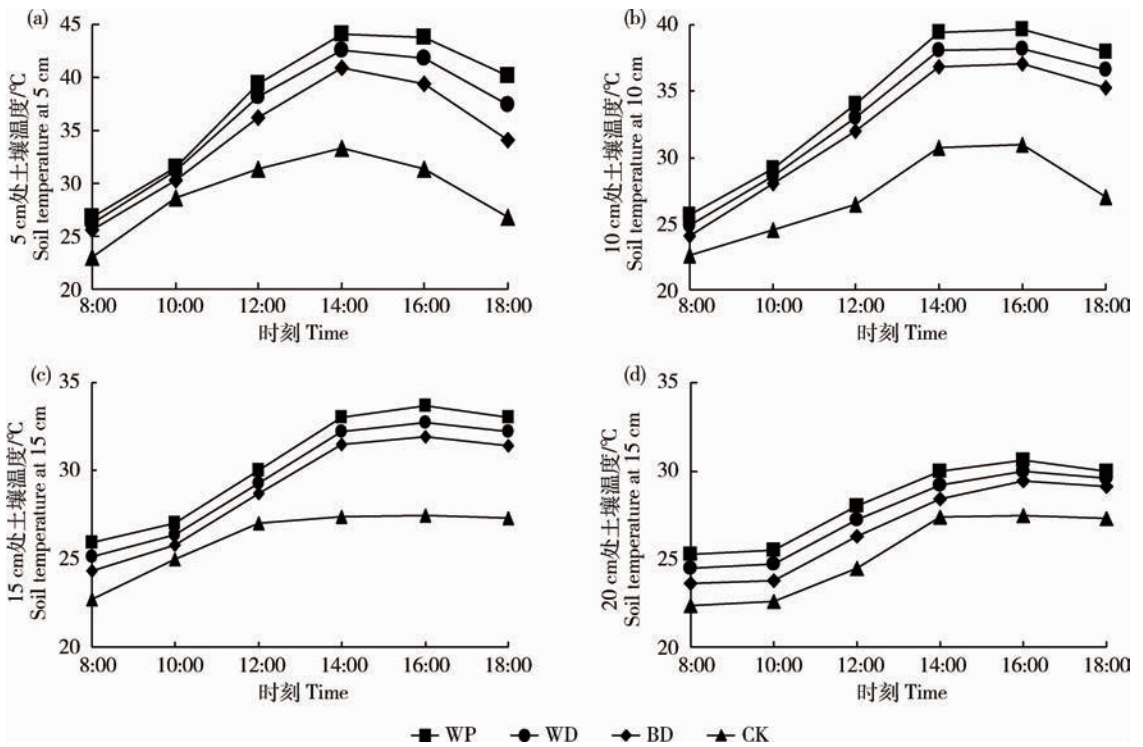
2.1 不同地膜覆盖对土壤温度的影响

2.1.1 不同地膜覆盖对土壤日间温度变化的影响

由图 2 可知, 6 月 16 日地膜覆盖增温的典型日期, 各覆膜处理较 CK 升温速度更快、保温时间更长, 各土层日间所达到的最高温度从 WP、WD、BD、CK 依次逐渐减小。5 cm 土层中, WP 处理日间最高温度达到 $44 \text{ }^\circ\text{C}$, 日较差为 $17.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 分别高出 WD $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$, BD $3.8 \text{ }^\circ\text{C}$, CK $7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。10 cm 土层中, WP 日较差为 $13.9 \text{ }^\circ\text{C}$, 分别高出 WD $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$, BD $1.4 \text{ }^\circ\text{C}$, CK $4.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。随着土层加深, 土壤增温表现滞后性, 各处理间日较差差异不断减少。20 cm 土层, 各处理间的日较差差异不显著。

2.1.2 不同地膜覆盖对土壤平均温度的影响

由图 3 可知, 苗期 (5 月 26 日) WP、WD、BD 较 CK, $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层平均地温分别增加 $3.01, 2.3$ 和 $1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。拔节期 (6 月 27 日) WP、WD 和 BD 较 CK 处理 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层平均地温分别增加 $4.25, 3.17$ 和 $2.14 \text{ }^\circ\text{C}$ 。苗期和拔节期, 降水少、植被覆盖度小, 各处理土壤温度随气温变化不断升高。孕穗期 (7 月 25 日), WP、WD 和 BD 较 CK 的 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层平均地温分别增加 $2.92, 2.43$ 和 $2.03 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由于 7 月份连续降雨, 加之植被覆盖度逐渐增大, 孕穗期各处理土壤温度略有下降。抽穗灌浆期 (8 月 25 日), WP、WD 和 BD 较 CK 的 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层平均地温分别增加 $2.46, 2.21$ 和 $1.89 \text{ }^\circ\text{C}$ 。至抽穗灌浆期, 植被覆盖度继续增大, 降雨仍然偏多, 各处理土壤温度继续下降。成熟期, WD 和 BD 处理地膜已大面积破裂降解, WD、BD 和 CK 之间差异不显著。生育期内 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土壤平均积温 WP、WD、BD 较 CK 分别高出 $159.3, 135.6$ 和 $105.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 以 CK 日均地温估算各处理生育期, WP、WD、BD 各处理生育期



WP, 白色聚乙烯地膜; WD, 白色可降解地膜; BD, 黑色可降解地膜; CK, 对照。下同。

WP, White plastic film; WD, White degradable plastic film; BD, Black degradable plastic film; CK, Control. The same below.

图 2 不同地膜覆盖在 5 cm(a)、10 cm(b)、15 cm(c)、20 cm(d) 各土层日间土壤温度变化(6 月 16 日)

Fig. 2 Change of soil diurnal temperature on 16th June in 5 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c) and 20 cm (d) under different film mulching.

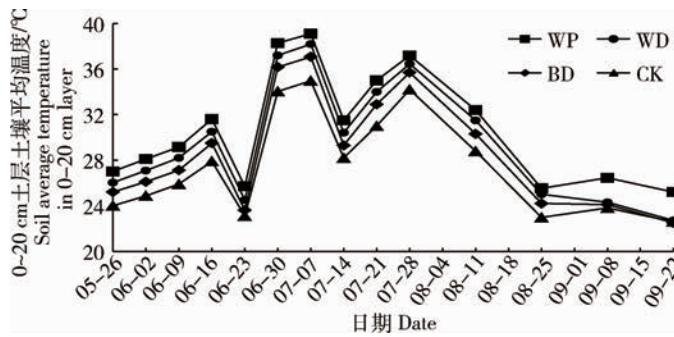


图 3 不同地膜覆盖对 0~20 cm 土层土壤平均温度的影响

Fig. 3 Effects of different film mulching on soil average temperature in 0~20 cm layer

分别较 CK 提前 7.4、6.3 和 4.9 d。

2.2 不同地膜覆盖对土壤水分的影响

2.2.1 不同地膜覆盖对土壤表层含水量的影响

由表 1 可知,在谷子苗期、拔节期、孕穗期和抽穗灌浆期,WP、WD 和 BD 较 CK 0~20 cm 土层土壤含水量均达到显著差异,分别平均高出 24.89%、13.14%和 9.94%。WP 处理在生育期各阶段均显著高于 WD 和 BD,分别平均高出 9.09%和

12.15%。BD 较 WD 处理在苗期、拔节期、孕穗期和抽穗灌浆期的生育阶段内平均高出 3.45%,两处理间的差异随着谷子的生育进程逐渐减小。至灌浆末期 WD、BD 处理的地膜开始破裂降解,成熟期地膜完全降解消失,两处理与 CK 间 0~20 cm 土层土壤含水量差异不显著。

2.2.2 不同地膜覆盖对土壤蓄水量的影响

由表 1 可知,苗期由于气温偏低,加之少量降

水,各处理0~100 cm 土层土壤蓄水量均有增加,WP、WD、BD 较 CK 增加量分别高出 12.04、7.02 和 10.11 mm。拔节期,降水增加,而气温不断升高,使得各处理出现较高蒸散,土壤蓄水量均有减少,WP、WD 和 BD 较 CK 分别减少 12.51、9.51 和 10.26 mm。孕穗期,平均气温较高,谷子需水量和叶面积不断增加,蒸腾加大,田间蒸散总量处于较高水平,各处理土壤蓄水量均有减少,WP、WD 和 BD

较 CK 分别减少 14.07、14.45 和 7.82 mm。抽穗灌浆期,降雨频发,谷子需水量仍然较大,作物蒸腾成为耗水主要因素,加之各覆膜处理保水作用减弱,WP、BD 较 CK 增加量仅分别高出 1.51 和 0.89 mm,WD 与 CK 间差异不显著。成熟期时,WD、BD 的地膜大部分破裂降解,保水作用显著减小,WP 较 WD、BD 和 CK 土壤蓄水量平均减少程度下降 4.55 mm。

表 1 不同地膜覆盖对 0~20 cm 土层土壤含水量和 0~100 cm 土层土壤蓄水量增量的影响

Table 1 Effects of different film mulching on soil moisture in 0-20 cm layer and increment of soil water storage in 0-100 cm layer

生育期 Growing period	各处理 0~20 cm 土层土壤含水量/% Soil moisture in 0-20 cm layer				各处理 0~100 cm 土层土壤蓄水量增量/mm Increment of soil water storage in 0-100 cm layer			
	WP	BD	WD	CK	WP	WD	BD	CK
苗期 Seedling stage	10.48 a	9.52 b	9.01 c	8.13 d	19.25 a	14.23 b	17.32 ab	7.21 c
拔节期 Jointing stage	12.27 a	11.43 b	10.95 c	10.05 d	-4.52 a	-7.52 b	-6.77 b	-17.03 c
孕穗期 Booting stage	15.61 a	14.96 b	14.63 bc	12.82 c	-26.21 c	-26.59 c	-19.96 b	-12.14 a
抽穗灌浆期 Rice heading and filling stage	11.62 a	10.12 b	9.97 bc	9.31 c	10.83 a	9.43 b	10.21 a	9.32 b
成熟期 Mature stage	13.75 a	12.63 b	12.60 b	12.55 b	-3.38 a	-7.56 b	-8.08 b	-8.17 b

注:每列数据后标相同字母表示在 0.05 水平上无差异显著(Tukey Test)。WP,白色聚乙烯地膜;WD,白色可降解地膜;BD,黑色可降解地膜;CK,对照。下同。

Note: Values followed by the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level from each other according to Tukey Test. WP, White plastic film; WD, White degradable plastic film; BD, Black degradable plastic film; CK, Control. The same below.

2.3 不同地膜覆盖对谷子水分利用的影响

2.3.1 不同地膜覆盖对谷子叶片水分利用效率的影响

由表 2 可知,拔节期至抽穗灌浆期,WP、WD 和 BD 较 CK 的 P_n 分别平均提高 22.98%、20.56% 和 22.18%。拔节期至抽穗灌浆期,WP、WD 和 BD 较 CK 的 E 分别平均提高 13.10%、9.85% 和 5.61%。拔节期至抽穗灌浆期,WP、WD 和 BD 较 CK 的 WUE_i 分别平均提高 8.39%、10.18% 和 15.60%。至成熟期,WD、BD 处理的地膜已大部分破裂分解,但两处理的 P_n 依旧显著高于 CK,而 WD、BD 和 CK 间的 E 差异不显著,所以两处理 WUE_i 仍处于

较高水平。其中 WP 较 CK, P_n 和 E 仍有显著提高,但 WUE_i 低于 WD、BD,差异显著。BD 较其他处理在生育期各阶段的叶片水分利用效率均有更好的表现。

2.3.2 不同地膜覆盖对谷子群体水分利用效率的影响

由表 3 可知,各覆膜处理较 CK, WUE_c 均显著增加。WP、WD、BD 较 CK 的 WUE_c 分别提高 17.85%、10.93% 和 26.37%。WP、BD 较 CK 耗水量分别降低 4.67% 和 3.75%。BD 与 WP 间耗水量差异不显著,BD 较 WP 的 WUE_c 的提高主要在于产量的提高。BD 较 WD,耗水量减少 12.13 mm,而

产量更高,所以 WUE_c 表现更好。WD 较 WP,材料保水性的差异导致了耗水量增加, WUE_c 下降。

WD 与 CK 间耗水量差异不显著,WD 较 CK 的 WUE_c 提高主要在于产量的提高。

表 2 不同地膜覆盖对谷子叶片水利用率(WUE_l)及光合指标的影响

Table 2 Effects of different film mulching on millet WUE_l and photosynthetic index

指标 Index	处理 Treatment	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	抽穗灌浆期 Rice heading and filling stage	成熟期 Mature stage
$P_n/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	WP	14.96 a	29.12 a	24.61 a	12.07 a
	WD	14.51 a	28.79 a	24.19 a	12.13 a
	BD	14.72 a	29.11 a	24.55 a	12.10 a
	CK	11.78 b	24.09 b	20.33 b	9.94 b
$E/(\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	WP	2.13 a	3.54 a	3.25 a	1.84 a
	WD	2.08 ab	3.51 ab	3.21 ab	1.71 b
	BD	1.97 b	3.26 b	3.14 b	1.70 b
	CK	1.85 c	3.12 c	2.93 c	1.63 b
$WUE_l/(\mu\text{mol}/\text{mmol})$	WP	7.02 ab	8.23 ab	7.57 ab	6.56 b
	WD	6.98 b	8.20 b	7.54 b	7.09 a
	BD	7.47 a	8.93 a	7.82 a	7.12 a
	CK	6.37 c	7.72 c	6.94 c	6.10 c

表 3 不同地膜覆盖对谷子群体水分利用效率(WUE_c)、产量构成及杂草防效的影响

Table 3 Effects of different film mulching on millet WUE_c , yield components and weeds control effects

处理 Treatment	群体水分 利用效率/ ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$) Water use efficiency	耗水量/ mm Water consumption	产量/ (kg/hm^2) Yield	穗数/ ($10^4/\text{hm}^2$) Ear number	穗粒重/g Ear grain Weight	穗长/cm Ear length	千粒重/g 1 000-grain weight	相对株 防效 Relative stem control effect
WP	22.87 b	404.12 a	9 241.14 b	49.87 a	18.53 c	26.89 c	3.10 a	67.27 b
WD	21.52 c	419.85 b	9 036.92 b	47.31 ab	19.10 c	27.36 b	3.11 a	65.63 b
BD	24.53 a	407.72 a	9 996.76 a	40.92 b	24.43 a	31.65 a	3.14 a	85.39 a
CK	19.40 d	422.99 b	8 207.27 c	36.44 d	22.52 b	29.37 b	3.12 a	

2.4 不同地膜覆盖对谷子产量构成及杂草防除的影响

由表 3 可知, BD 处理产量最高。BD 较 WP、WD、CK 产量分别提高 8.18%、10.62%、21.80%, 穗粒重分别提高 31.84%、27.91%、8.48%, 穗长分别提高 17.70%、15.68%、7.76%。而在穗数性状

中, WP 较 BD、WD、CK 分别提高 5.41%、21.88%、36.84%。各处理间千粒重没有达到显著差异。对于杂草的防除, BD 较 WP、WD、CK 杂草相对防效分别提高 18.12%、19.76%、85.39%。BD 在杂草防效上的明显优势,使得该处理在产量、穗粒重、穗长等性状指标中有着更好的表现。

3 讨论

3.1 不同地膜覆盖对土壤温度的影响

地膜覆盖抑制了土壤与外界的热交换,减弱了土壤与外界的热交换,显著提高了耕层温度,增加了土壤有效积温^[6-7]。地膜覆盖的高额增温效应,将直接影响谷子的根系生长和土壤的蒸发强度^[7]。试验表明,覆盖处理较CK的地温日较差增大,升温速度加快、保温时间增长。其中WP较WD、BD日较差和日间地温过高,间接造成了谷子前期徒长,土壤棵间蒸发过大,水分消耗过快,影响了作物后期的产量形成。WP与WD、BD间PBAT材料与聚乙烯材料阻透性的差异^[8-9]可能是造成这种情况的主要原因,使得可降解地膜内外的气体和水分交换速率相对更快,膜内温度下降。黑色地膜透光率低、辐射热透少^[10],是BD对土壤增温效应相比WD较小的原因,这使得BD具有一定的调温作用。而处理间材料的差异性也体现在对土壤平均积温的影响中,WP、WD和BD的土壤平均积温增加量依次下降,延长生育期4.9~7.4 d。并且试验中也发现随着谷子生育进程的进行,覆膜处理的增温效应逐渐减弱,这与刘胜尧等^[7]的研究一致。

3.2 不同地膜覆盖对土壤水分的影响

地膜覆盖的抑蒸保水作用,提高了土壤表层的含水量,增强了土壤深层的蓄水能力^[6]。可降解地膜在作物生长前期具有与普通地膜类似的保水性,随着地膜的降解,保水性能逐渐减小。试验表明,各覆膜处理较CK在生育期的大部分阶段均显著提高0~20 cm土层土壤含水量,特别是出苗关键期土壤表层墒情较差时,显著提高了土壤含水量,保证谷子的顺利出苗。各覆膜处理间,WP较WD、BD土壤平均含水量更高,这主要由于WD、BD PBAT材料的阻透性更大,使得膜内水分蒸发更快、更多。BD较WD平均含水量更高,这主要由于BD的辐射热透少,地温相对更低,土壤表层蒸发相对更少。谷子成熟期,黑色、白色可降解地膜已完全破裂降解,与CK的土壤含水量差异不显著,这与赵爱琴等^[9]的研究一致。

地膜覆盖有效地减少了作物生育前期土壤的棵间蒸发,具有明显的蓄水保墒效果^[11-12]。试验表明,谷子生育前期,各覆膜处理较CK在0~100 cm土层均有不同程度的蓄水保墒效果。其中WP与BD处理较WD蓄水能力更强,主要由于WP处理材料

保水性更强,BD处理材料辐射热透少,土壤蒸发强度更低。而两处理间蓄水保墒效果相当,主要由于BD处理因材料保水性较弱导致的水分耗损,与WP处理因过高的日较差和日间增温效应导致的水分损耗基本抵消。谷子生育中后期需水增多,气温升高,蒸发蒸腾加强,WP、BD、WD在前期储蓄的土壤水分在需水关键期被高效利用,对提高作物产量和水分利用率非常有利。WD处理由于材料特性,中后期土壤水分消耗更多,蓄水量下降明显,全生育期内与CK处理蓄水量变化相近。成熟期时,WD、BD处理的地膜大面积破裂降解,蓄水保墒效果显著下降。

3.3 不同地膜覆盖对谷子水分利用的影响

影响作物水分利用的因素可大致归纳为干物质生产和水分代谢2个系统^[13]。水分代谢系统主要是通过根系吸水能力、叶片气孔开张度与蒸腾作用相联系,与植株的叶片水分利用效率相关。试验表明,各覆膜处理较CK在不同生育阶段,均不同程度地提高了植株的 P_n 、 E 和 WUE_l 。由 $WUE_l = P_n/E$ 可知,BD处理在各生育时期 WUE_l 的表现均优于WP和WD,主要由于其 P_n 在保持较高水平时, E 并没有明显升高。根据董军等^[14]研究,地膜覆盖膜内温度和湿度的变化会引起作物根系吸水变化,进而影响到作物的蒸腾速率,BD较其他覆膜处理对土壤水分、温度的不同影响可能是导致 E 值没有明显升高的主要原因。

影响作物水分利用的另一重要因素,干物质生产系统主要是通过光合能力、呼吸作用和干物质转化效率等因素对作物产量水分利用效率产生影响^[13]。地膜覆盖将无效的土壤蒸发转为有效的植物蒸腾,使水分被谷子高效利用。试验表明,各覆膜处理较CK均显著提高了谷子群体水平水分利用效率。BD较WP、WD、CK群体水分利用效率提高的主要原因在于产量提高的同时,耗水量并没有显著增加。WP与WD处理间材料保水性的差异是造成两者耗水量差异显著、群体水分利用效率不同的主要原因。而BD处理在各生育阶段中叶片水分利用效率的更好表现,也为群体水分利用效率的提高提供了生理基础。

3.4 不同地膜覆盖对谷子产量构成及杂草防除的影响

地膜覆盖具有明显的增产效应,可降解地膜与普通地膜的增产效果相当^[15]。试验表明,各覆膜处

理较 CK 处理均显著增产。其中 BD 较 WP、WD 处理产量更高, 主要由于 BD 处理的穗粒重和穗长显著增加, 穗粒重的增产效应大于穗数的增产效应。WP、WD 处理较 BD 处理的穗数更多, 这可能与两处理的地膜增温效应更明显, 从而促进了谷子分蘖。不同地膜覆盖对谷子千粒重的影响不显著。而 BD 处理较其他处理在杂草防效上的优异表现, 使得穗粒重和穗长明显增加^[16-17], 对该处理产量的提高有很大帮助。

4 结 论

黑色和白色可降解地膜均不同程度提高了土壤的温度、含水量以及蓄水保墒能力, 与普通地膜的增温保墒效果相近。同时, 也均显著提高了谷子的叶片和群体水分利用效率, 特别是黑色可降解地膜在 3 种覆盖中表现最好。而黑色可降解地膜在杂草防除中也有着更好的效果, 增产效果更明显。综上, 黑色和白色可降解地膜具有替代普通聚乙烯地膜的可行性, 尤其对于草害严重区域, 黑色可降解地膜的增产效果更加明显。

参考文献 References

[1] Dong B D, Meng Y L, Jiang J W, Shi C H, Wang X M, Qiao Y Z, Liu Y Y, Zhao Z H, Li D X, Si F Y. Growth, grain yield, and water use efficiency of rain-fed spring hybrid millet (*Setaria italica*) in plastic-mulched and unmulched fields [J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 143(1): 93-101

[2] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 刘勤, 刘爽, 何文清. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 国外农业环境保护, 2014(2): 95-102

Yan C R, Liu E K, Shu F, Liu Q, Liu S, He W Q. Review of Agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, (2): 95-102 (in Chinese)

[3] 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜对土壤、温度水分及玉米生长发育的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 25-30

Shen L X, Wang P, Zhang L L. Effects of degradable film on soil temperature, moisture and growth of maize [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 25-30 (in Chinese)

[4] 熊凯, 焦建, 钟宇科, 徐依斌, 章明秋. 生物降解树脂 PBAT 的共混改性研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2013(5): 41-45

Xiong K, Jiao J, Zhong Y K, Xu Y B, Zhang M Q. Research progress on blending modification of PBAT [J]. *Synthetic Materials Aging and Application*, 2013 (5): 41-45 (in Chinese)

[5] 张小叶. 黑色地膜对甜高粱杂草防除及增产效果[J]. 中国糖料, 2015, 37(6): 44-46

Zhang X Y. Effect of black film mulching on weed control and yield of sweet sorghum [J]. *Sugar Crops of China*, 2015, 37 (6): 44-46 (in Chinese)

[6] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 208-213

Zhang D Q, Liao Y C, Jia Z K. Research advances and prospects of film mulching in arid and semi-arid areas [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(1): 208-213 (in Chinese)

[7] 刘胜尧, 张立峰, 李志宏, 贾建明, 范凤翠, 石玉芳. 华北旱地覆膜春玉米田水温效应及增产限制因子[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3197-3206

Liu S Y, Zhang L F, Li Z H, Jia J M, Fan F C, Shi Y F. Effects of plastic mulch on soil moisture and temperature and limiting factors to yield increase for dryland spring maize in the North China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11): 3197-3206 (in Chinese)

[8] 许思兰, 许国志, 孙辉. PBAT/PPC 多层共挤薄膜的制备及其阻透性能研究[J]. 中国塑料, 2016, 30(3): 38-42

Xu S L, Xu G Z, Sun H. Preparation and barrier behavior of multi-layer biodegradable PBAT/PPC films [J]. *China Plastics*, 2016, 30(3): 38-42 (in Chinese)

[9] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(2): 74-78

Zhao A Q, Li Z Z, Gong Y S. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10 (2): 74-78 (in Chinese)

[10] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 高杰. 黑色地膜覆盖对旱地玉米土壤环境和植株生长的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 1997-2004

Lu H D, Xue J Q, Hao Y C, Gao J. Effect of black film mulching on soil environment and maize growth in dry land [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (7): 1997-2004 (in Chinese)

[11] 郭志利, 孙常青, 卢成达. 谷豆覆膜条带种植技术及其光合水分变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 909-913

Guo Z L, Sun C Q, Lu C D. Pattern of strip-planting under film mulching of millet-soybean and changes in photosynthesis and moisture [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17 (5): 909-913 (in Chinese)

[12] 杨雪, 逢焕成, 李铁冰, 任天志, 董国豪, 郭智慧, 王湘峻. 不同耕作方法对土壤水温动态和春玉米产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(2): 29-37

Yang X, Pang H C, Li Y B, Ren T Z, Dong G H, Guo Z H, Wang X J. Effect of different tillage treatments on soil water, temperature changes and spring corn yield in high yield region in north china plain [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(2): 29-37 (in Chinese)

[13] 姜净卫, 刘孟雨, 董宝娣. 谷子及杂交种的水分利用效率以及节水技术研究思考[J]. 节水灌溉, 2013, (10): 63-70

- Jiang J W, Liu M Y, Dong B D. Study on water use efficiency and water saving technology for millet and hybrid millet[J]. *Water Saving Irrigation*, 2013, (10): 63-70 (in Chinese)
- [14] 董军, 党慧慧, 岳宁, 董阳, 魏国孝. 陇中半干旱区地膜开孔率对玉米蒸腾的影响[J]. *水资源与水工程学报*, 2015, 26(5): 235-240
- Dong J, Dang H H, Yue N, Dong Y, Wei G X. Impact of film open ratio on transpiration of maize in semi-arid area of Longzhong [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2015, 26(5): 235-240 (in Chinese)
- [15] 胡广荣, 王琦, 宋兴阳, 李富春, 张登奎, 张恩和, 刘青林, 王鹤龄. 沟覆盖材料对垄沟集雨种植土壤温度、作物产量和水分利用效率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(5): 590-599
- Hu G R, Wang Q, Song X Y, Li F C, Zhang D K, Zhang E H, Liu Q L, Wang H L. Effects of furrow-mulching materials on soil temperature, crop yield and water use efficiency in ridge-furrow rainwater harvesting systems [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(5): 590-599 (in Chinese)
- [16] 高贞攀, 郭平毅, 原向阳, 董淑琦, 刘阳, 高虹, 宁娜, 郭美俊, 解丽丽, 冯雷, 王斌强, 余凯凯. 苯磺隆和单啮磺隆对张杂谷 10 号光合特性及产量构成的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2015, 20(6): 36-45
- Gao Z P, Guo P Y, Yuan X Y, Dong S Q, Liu Y, Gao H, Ning N, Guo M J, Xie L L, Feng L, Wang B Q, Yu K K. Effects of Tribenuron-methyl and Monosulfuron application on photosynthetic characteristics and yield of Zhangza Gu 10 [J]. *Journal of China Agricultural*, 2015, 20(6): 36-45 (in Chinese)
- [17] 武继承, 管秀娟, 杨永辉. 地面覆盖和保水剂对冬小麦生长和降水利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(1): 86-92
- Wu J C, Guan X J, Yang Y H. Effects of ground cover and water-retaining agent on winter wheat growth and precipitation utilization [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(1): 86-92 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅