

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.029

不同地膜覆盖对不同时间尺度地温与玉米产量的影响

李仙岳 郭宇 丁宗江 冷旭 田彤 胡琦
(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 针对北方干旱地区白色塑料地膜覆盖导致的农膜残留及作物生长后期地温过高等问题, 筛选适合当地的环保型地膜。设置了白色、黑色快速(WO1、BO1)、中速(WO2、BO2)、慢速(WO3、BO3)降解膜, 并以白色、黑色塑料地膜(WP、BP)和无膜覆盖(CK)作为对照, 共计9个处理, 研究不同地膜覆盖地膜破损特征及作物产量效应, 并基于红外成像和自动连续传感技术探索不同处理瞬时地表温度、逐时和逐日土壤不同深度温度的变化规律。结果表明: 黑色降解膜的破损占比大于白色降解膜, 覆膜130 d后黑色降解膜平均破损占比高于白色降解膜8.4%。在瞬时尺度地表温度由大到小顺序为: 黑膜处理、白膜处理、无膜处理(CK), 且生育期平均温度分别为34.10、32.34、29.12℃($P < 0.05$)。在逐时和逐日尺度, 不同颜色地膜覆盖土壤温度由大到小顺序为: 白膜处理、黑膜处理、无膜处理; 且与白色地膜覆盖相比, 在日最高温时刻, 黑色地膜覆盖0~15 cm土层土壤温度平均降低1.1℃。在玉米生长初期和末期(5月、9月), 黑白地膜覆盖下平均温差达1.13℃($P < 0.05$), 而生育中期(6—8月), 平均温差为0.45℃($P > 0.05$)。地膜降解速率影响破损占比, 从而影响土壤温度的空间变异性和地膜保温效果; 慢速降解膜破损小, 故保温效果与塑料地膜覆盖相近, 在9月0~15 cm土层WP、WO3、WO2与WO1处理(快速降解膜)的温差分别达到3.03、2.70、1.05℃($P < 0.05$), 而对应的黑色降解膜覆盖温差分别为3.00、2.57、1.01℃($P < 0.05$)。白色和黑色慢速降解膜覆盖与对应的塑料地膜覆盖相比, 产量无显著差异($P > 0.05$), 但同颜色不同降解速率的降解膜覆盖下产量呈显著差异($P < 0.05$), 不同降解速率的降解膜覆盖产量由大到小顺序为: 慢速处理、中速处理、快速处理。可见, 黑色地膜处理保温效果好、产量高, 且在作物生长后期可降低土壤表层温度; 而黑色慢速降解膜与黑色塑料地膜覆盖保温、增产效应相近, 且绿色环保, 在北方干旱区农业生产中替代白色塑料地膜覆盖具有一定的可行性。

关键词: 地温; 玉米产量; 不同颜色地膜; 降解地膜; 红外热成像

中图分类号: S152.8; S626.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)09-0247-10

Influence of Different Film Mulchings on Soil Temperature at Different Time Scales and Maize Yield

LI Xianyue GUO Yu DING Zongjiang LENG Xu TIAN Tong HU Qi
(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huihot 010018, China)

Abstract: The residue of plastic mulching and premature aging due to high soil temperature at late stage of crop growth would be caused by white plastic film mulching at arid area in northern China, so the main object was choosing the optimal green film mulching. The nine treatments were experimented, including the white and black rapid (WO1 and BO1), medium (WO2 and BO2), low (WO3 and BO3) degradation film and white and black plastic film (WP and BP), no mulching (CK) to study the effects of different film mulchings on the film damaging and maize yield, and explore instant surface temperature, soil temperature for every hour and every day based on infrared imaging and continuous monitoring technique. The result showed that the proportion of film damaging for black degradation film was higher than that of white degradation film, which was 8.4% after 130 d mulching. The higher rank of instant surface temperature was in the order of black film, white film and no film, and the average soil temperature in growth stage was 34.10℃, 32.34℃ and 29.12℃, respectively ($P < 0.05$). The higher

rank of soil temperature for every hour and every day was in the order of white film, black film and no film, and black film mulching could reduce soil temperature by 1.1°C of $0 \sim 15$ cm soil layer at daily highest temperature time compared with white film mulching. The average soil temperature difference reached 1.13°C ($P < 0.05$) between white and black film mulching at the maize early and late growth stages (May and September), however, it was just 0.45°C at the maize middle growth stages (from June to August). The proportion of film damaging was influenced by film degradation rate, and it would influence the variability of temperature distribution in space and heat preservation effect. Therefore, lower film degradation rate, less film damaging, and the close heat preservation effect between plastic film and low degradation film mulching. The soil temperature difference for WP, WO3 and WO2 treatments compared with WO1 treatment, respectively, was 3.03°C , 2.70°C and 1.05°C ($P < 0.05$), and 3.00°C , 2.57°C and 1.01°C ($P < 0.05$) for corresponding black film mulch. There was no difference for maize yield between low degradation film and plastic film whether black or white film mulching. However, there was significant difference among different degradation rates film mulching under same color film mulching ($P < 0.05$). The higher rank of maize yield for different degradation rates film mulching was in the order of low, middle and rapid degradation film mulching. So, the black film mulching with the best heat preservation effect and higher yield could reduce surface soil temperature at late growth stages, and there were close heat preservation and yield-increasing effect between black low degradation film and plastic film mulching. It was feasible for developing agriculture in arid areas, northern China to replace white plastic film mulching with black low degradation film mulching.

Key words: ground temperature; maize yield; different film mulchs; degradation film; infrared thermal imaging

0 引言

因地膜覆盖具有增温、增产、控盐等功能^[1],在减少土壤水分蒸发、提高农田作物水分利用效率、防止土壤盐渍化等方面发挥着重要作用^[2-3]。自1978年我国引入地膜覆盖以来,得到了大规模推广应用,仅在内蒙古河套灌区近10年地膜使用量和覆膜面积分别增长了125.81%和147.62%^[4],且在干旱寒冷地区,地膜覆盖的保温保水优势更为明显。然而目前农用地膜主要以透明的白色塑料为主^[5],经过大量学者研究,得出白色地膜覆盖下由于作物生长前期水肥消耗大,容易出现脱水、脱肥现象^[6-7],特别是在作物生长后期随着气温升高会伴随着地温过高现象出现,从而导致抽雄前后的重伏旱^[8],甚至出现作物减产等负面效应^[8-9]。因此探索既能实现作物生长前期保温又能在作物生长后期有效控制土壤温度的最佳覆膜技术对于作物增产具有重要意义。黑色地膜透光率低,辐射热透过少,覆膜后地温比白色地膜略低^[10],大量研究表明黑色地膜覆盖比白色地膜覆盖增产效应更明显^[11-12],且较白色地膜更能改善玉米根区土壤温度,可见筛选适合的地膜,对当地作物生长及农业高产具有重要意义^[12]。

随着国家绿色农业发展战略的推进,对于主要由聚乙烯塑料制成白色地膜产生的“白色污染”受到越来越多学者的关注^[13-15]。研究表明,随着农膜残留增加,会明显影响土壤入渗和作物根系发育,使

土壤理化性质恶化,影响土壤微生物的多样性,最终影响作物生长并导致作物减产^[16-18]。目前主要解决措施是推广生物可降解地膜覆盖技术^[19],已有研究表明生物可降解地膜在自然状况下会自降解成 CO_2 和 H_2O ,如覆膜200d后可降解地膜的降解残留物已经非常少,对环境影响很小^[20],同时降解地膜的保水、保温、增产效应与塑料地膜相近^[21-22]。与塑料地膜相比生物降解地膜甚至提高了土壤有机质质量分数,降低了土壤硝态氮累积量^[23],还有效降低油菜籽粒中对人体健康不利的芥酸和硫苷含量^[24]。可降解地膜的降解快慢是影响土壤水热效应、作物产量以及感官接受度的重要因素,降解过快会导致地膜破损严重,致使生长后期保水效果减弱;而降解过慢,除了制造成本增加外也会导致农民认为与塑料地膜一样是不可降解的,故针对干旱区筛选出适合当地的降解膜及降解速率是可降解地膜推广的关键技术。其中不同降解速率的降解膜之间最重要和明显的差异是代表地膜降解快慢的破损占比以及对地表温度和土壤温度的影响程度。研究显示0.005 mm厚可降解地膜的降解速率及强度均优于0.008 mm厚地膜,但0.008 mm厚膜覆盖玉米的保温效果、出苗率及生长性状等均稍优于前者^[25]。一般地膜越薄或降解速率越快保温效果相对越差,比如0.010 mm和0.012 mm厚完全生物可降解地膜处理下棉花苗期土壤 $0 \sim 25$ cm平均温度较对照处理分别低 0.94°C 和 1.34°C ($P < 0.05$),但随着作物的生长两者差异逐渐减小^[26]。目前地膜覆盖对地

温的影响,主要采用曲管水银地温计测量土壤耕层的土壤温度,但无法测量地表温度和地膜表面温度,而红外成像技术已被大量用于叶表面温度监测^[27],其结果可用于作物水分胁迫指数^[28]、叶片病变程度等^[29]方面的研究,利用该技术能准确监测地膜覆盖下地表温度的分布规律,是用于地膜破损程度和蒸发模拟研究的关键。可见针对地膜覆盖下地表和土壤温度的系统研究对于地膜筛选具有重要意义,然而对于不同颜色和不同降解速率的可降解地膜覆盖下地表和土壤温度的综合影响效应的研究目前鲜见报道。

本研究主要针对北方干旱寒冷地区,基于红外成像技术和自动连续传感技术探索不同颜色及不同降解速率的可降解地膜覆盖下地膜的破损特征,以及对地表和土壤温度的影响,并综合保温效应以及对作物产量的影响,筛选适合该地区环保、高产的降解地膜,旨为我国绿色农业发展和作物高效高产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概括

试验于2017年在内蒙古河套灌区磴口县木垒滩节水试验区(40°31'48"N,106°56'30"E,海拔1 059 m)进行。该区域属温带大陆性季风气候,热量充足,年均日照3 200 h,10℃以上活动积温2 950℃,无霜期135 d,雨量稀少,年均降水量143.9 mm,蒸发量达2 400 mm。地下水埋深在3 m以下,水质符合灌溉水质标准。供试土壤质地为粘性土壤,2017年生育期日均气温为23.18℃,日均太阳辐射为22.64 MJ/(m²·d)(图1)。

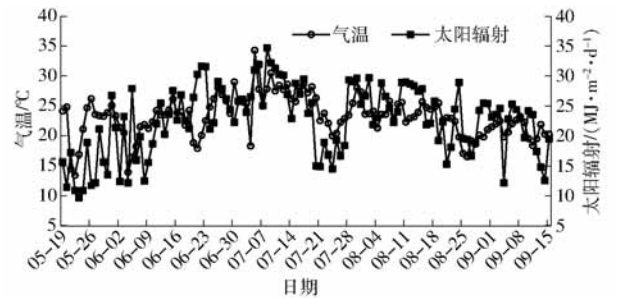


图1 作物生育期气温和太阳辐射

Fig. 1 Temperature and solar radiation during crop growth stage

1.2 试验材料与设计

本试验供试作物为玉米(品种:先锋32D22),是当地的主要品种,采用一膜两行种植方式,行距为60 cm,株距为50 cm,种植密度3.3株/m²。试验所用黑色和白色塑料地膜为磴口县大众塑料厂生产,黑色和白色氧化生物双降解膜为山东天壮环保有限

公司生产,膜宽均为80 cm,厚度均为0.008 mm。试验基肥为复合肥料(N含量大于等于28%,P₂O₅含量大于等于18%,K₂O含量大于等于5%)200 kg/hm²,追肥采用尿素(N含量大于等于46%)500 kg/hm²,在拔节期和抽雄期分两次施入。利用水泵抽地下水进行畦灌,用水表计量水量,生育期分别于6月2日、7月5日、7月20日、8月11日灌水4次。试验设置白色塑料膜(WP)、黑色塑料膜(BP),白色生物降解膜快速(WO1)、中速(WO2)、慢速(WO3),黑色生物降解膜快速(BO1)、中速(BO2)、慢速(BO3)8种地膜覆盖处理(可降解地膜根据所添加降解助剂含量设计诱导期为快速60 d、中速80 d、慢速100 d),以不覆膜(CK)作为对照,共9个处理,每个处理重复3次,各小区随机分布,每个处理小区面积60 m²(6 m×10 m)。

1.3 观测项目与方法

气象数据:在试验区中间设置自动气象站(HOBO-U30型),每小时自动记录降水量、太阳辐射、空气温度、空气湿度、风速等。

土壤地表温度:采用Fluck公司生产的热成像仪(Ti45型,测量范围为-20~600℃,热敏感度:≤0.08℃(80 mK),30℃时,分辨率:0.1℃;最小聚焦距离:0.15 m)。覆膜后在每个小区随机选取3处设定固定观测区(覆膜株间),用铁丝圈定范围,面积为30 cm×30 cm,于覆膜后1、30、60、90、130 d的10:00—12:00期间,在设定的固定区域拍摄热成像图,每个区域拍摄至少3次以上,利用SmartView软件对热成像图进行处理,并导出不同区域地膜表面温度数据。

土壤耕层温度:采用北京惠泽农科技有限公司生产的温度传感器(HZR-8T型,测量范围为-40~60℃,精度为±(0.2~0.5)℃,分辨率为0.1℃)进行连续传感监测,分别在每个小区膜上及膜间0~15 cm、15~30 cm土层垂直埋设温度传感探头,每5 min测量1次,每2 h进行平均并自动记录。

地膜破损率:每个生育期将相机固定在设定的地膜观测区(与热成像区域一致)正上方40 cm处,在区域边界放置直尺作为参考物,每次拍摄3张照片,筛选最清晰的一张导入AutoCAD 2008(Autodesk, Inc.)中,以参考直尺为标准将图片标准化,再利用多段线命令勾描破损处以形成闭环区域,辅以面积统计命令逐个统计研究区域破损面积,用以计算地膜破损占比,计算公式为

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \times 100\%$$

式中 D ——地膜破损占比, %
 S_i ——研究区第 i 个破损面积
 S ——研究区总面积

产量:收获时每个小区随机选取 5 株作物测量叶、茎、花盘的干物质量及籽粒数、百粒质量和籽实的干质量,最后折算为每公顷产量。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据处理和制图,SPSS 20.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同地膜覆盖下不同生育期观测区瞬时地表温度变化特征

基于热成像仪对不同生育期不同覆膜处理的不同区域地表温度采样分析可知(表 1),不同生育期黑白地膜表面温度大小顺序为:黑膜处理、白膜处

理、无膜处理(CK),且破损面积占比在不同生育期均为黑色降解膜略大于白色降解膜,但均远大于普通塑料地膜($P<0.05$)。覆膜 60 d 后快速降解地膜进入降解期,中速和慢速也开始逐渐发生破损,由表 1 可知覆膜 90 d 和 130 d 后,黑色降解膜平均破损占比达到 21.54%、47.40%,白色降解膜为 18.58%、43.74%,黑色降解膜平均破损占比是白色降解膜破损占比的 1.2 倍和 1.1 倍,且从生育期破损监测结果看,白色和黑色降解膜平均破损占比分别为 24.12% 和 27.37%,黑色降解膜破损占比高于白色降解膜 3.25 个百分点。不同降解速率降解膜破损占比差异显著,生育期快、中、慢 3 种降解速率的白色降解膜平均破损占比分别为 30.17%、22.21% 和 17.91%,而 3 种黑色降解膜平均破损占比则分别为 35.15%、24.65% 和 19.79%。

表 1 不同生育期不同处理地膜破损区和覆盖区瞬时表面温度特征

Tab.1 Surface temperature characteristics of damaged and undamaged mulching areas at different growth stages											
位置	处理	覆膜后 1 d		覆膜后 30 d		覆膜后 60 d		覆膜后 90 d		覆膜后 130 d	
		温度	破损	温度	破损	温度	破损	温度	破损	温度	破损
		均值/℃	占比/%	均值/℃	占比/%	均值/℃	占比/%	均值/℃	占比/%	均值/℃	占比/%
地膜破损区	CK		0		0		0		0		0
	WP		0		0		0	28.5±0.95	0.22	17.1±0.44	1.25
	BP		0		0		0	29.1±1.21	0.20	17.4±0.51	1.56
	WO1		0		0	38.9±1.52	3.87	33.8±1.48	27.01	9.9±0.40	59.63
	WO2		0		0	34.1±1.46	2.13	27.6±1.24	18.87	17.6±0.51	45.62
	WO3		0		0		0	29.7±1.26	9.86	13.6±0.59	25.96
	BO1		0		0	42.0±1.67	9.68	34.7±1.37	31.52	10.0±0.48	64.25
	BO2		0		0	38.5±1.50	2.45	31.6±1.34	21.86	17.3±0.60	49.63
	BO3		0		0		0	28.6±1.30	11.25	19.6±0.64	28.33
地膜覆盖区	CK	43.8±1.04	100	36.2±1.01	100	29.5±0.91	100	26.8±0.75	100	9.3±0.34	100
	WP	44.1±1.21	100	39.3±1.42	100	32.9±1.21	100	27.5±0.77	99.78	17.9±0.57	97.95
	BP	49.5±1.11	100	41.8±1.66	100	33.6±1.29	100	28.5±0.85	99.80	17.1±0.58	97.14
	WO1	44.5±1.54	100	44.4±1.75	100	36.6±1.41	96.13	34.4±1.28	72.99	10.8±0.49	40.37
	WO2	48.6±1.88	100	40.1±1.58	100	33.5±1.32	97.87	28.0±0.88	81.13	17.8±0.51	54.38
	WO3	48.5±1.54	100	39.4±1.60	100	31.9±1.28	100	29.9±1.17	90.14	13.7±0.52	74.04
	BO1	58.0±1.41	100	61.0±2.54	100	42.0±1.48	90.32	38.3±1.42	68.48	11.5±0.47	35.75
	BO2	52.4±1.65	100	50.2±1.52	100	39.0±1.43	97.55	33.1±1.51	78.14	18.5±0.61	50.37
	BO3	48.6±2.01	100	45.5±1.68	100	34.8±1.37	100	29.1±1.11	88.75	20.4±0.67	71.67

对 5—9 月地表温度进行平均,得到不同处理逐月平均值(表 1),由于 5 个生育阶段环境温度不同,不同处理地表温度从最高温度 58.0℃ 逐渐下降到最低温度 9.3℃。覆膜能明显提高地表温度(表 1,图 2),而白色地膜由于部分能量反射,地表瞬时温度低于黑色地膜,生育期黑色塑料地膜(BP)、白色塑料地膜(WP)和无膜(CK)平均温度分别为 34.10、32.34、29.12℃ ($P<0.05$)。同样,降解膜处理的覆盖区地表温度平均大于破损区,如覆膜 90 d

后,白色和黑色降解膜覆盖区地表温度分别比其破损区高 0.4℃ 和 1.9℃,覆膜 130 d 后,黑色降解膜覆盖区比破损区高 1.2℃,所以随着破损加大会明显影响区域的保温效果。而不同降解速率的降解膜对地表温度没有明显影响,不同降解速率的降解膜对地表温度的影响主要通过破损占比影响区域保温效果,如覆盖 90 d 后,白色降解膜快速(WO1)、中速(WO2)、慢速(WO3)的破损占比分别为 27.01%、18.87% 和 9.86%,破损区地表温度分别降低 0.3、

0.2、0.1℃,从而导致整个区域地表温度下降0.88%、0.72%和0.33%,而覆膜130 d后,W01、W02、W03降解膜地表温度下降了4.35%、0.56%和0.37%,而黑色降解膜在覆膜90 d后,分别下降4.93%、2.32%和0.87%,覆膜130 d后,分别下降6.98%、3.35%和2.00%。从表1可以看出,在不

同阶段破损明显较小的白色塑料地膜和黑色塑料地膜处理在不同阶段温度变异较小,而降解膜则由于在不同位置发生局部破损导致区域温度变异性增大,同时在作物生长中后期,破损较大,从地表温度二维图的温度差异变化能在一定程度看出地膜快速降解期的破损情况(图2)。

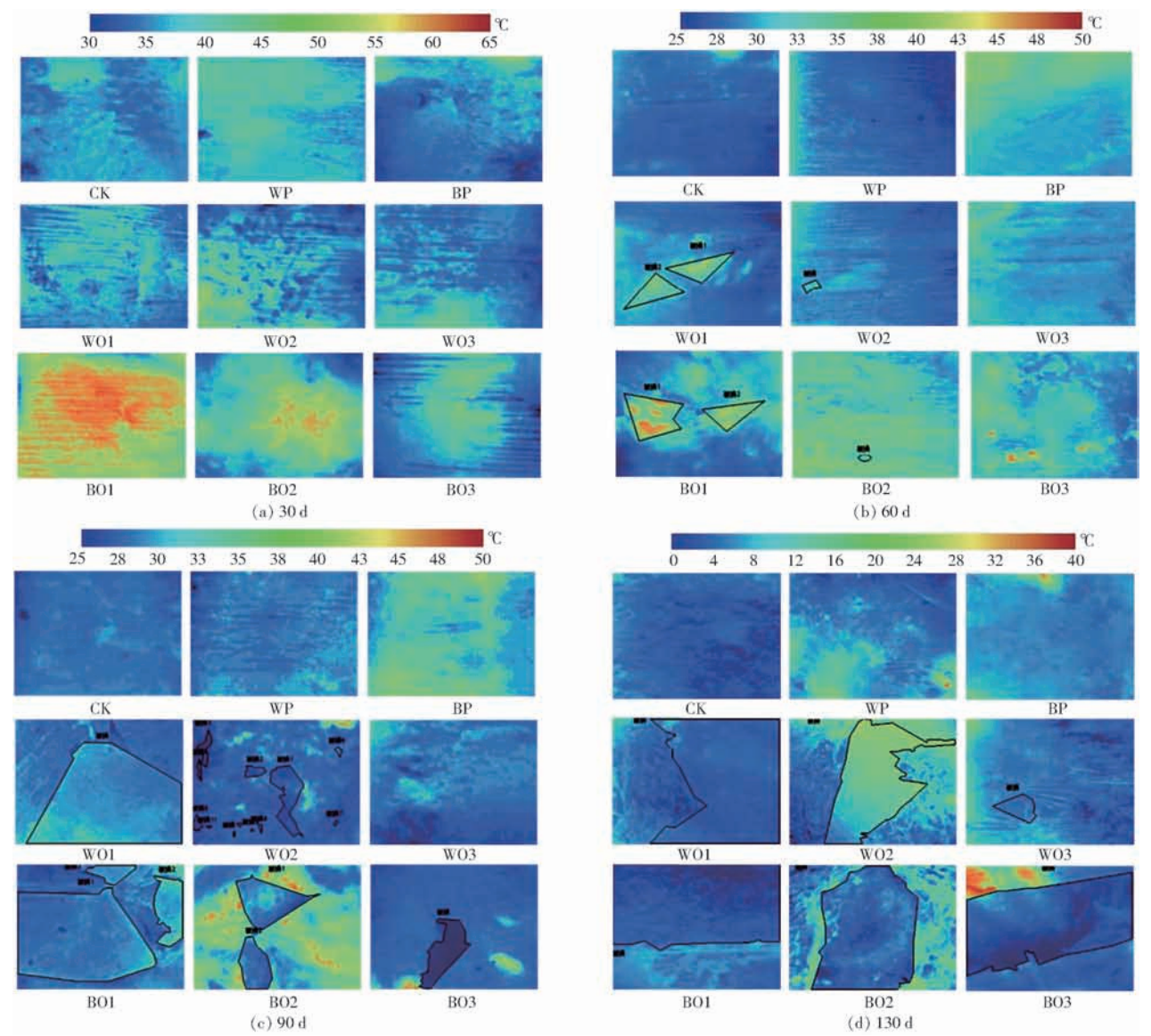


图2 不同地膜覆盖下地表温度变化规律

Fig.2 Surface soil temperature changing rules under different film mulchings

2.2 不同地膜覆盖下不同土层地温逐时变化规律

总体上地温逐时变化曲线呈“S”型(图3),最低温度在7:00,最高温度在15:00。0~15 cm 土层地温日内变幅较大,平均最高和最低温差达10.44℃,15~30 cm 土层地温变幅相对较小,平均为3.74℃,且15~30 cm 土层地温有滞后现象,最高温在17:00(图4)。地膜覆盖能明显提高土壤上层(0~15 cm)土壤温度,白色塑料地膜覆盖日最高地温和最低地温分别比裸地处理高4.51℃和4.11℃,黑色塑料地膜覆盖则为3.14℃和2.79℃。而在土

壤下层(15~30 cm),不同处理地温差异减小,白色和黑色塑料地膜处理日最高地温分别比裸地处理高3.20℃和2.44℃。白色地膜处理在不同时刻地温均高于黑色地膜处理,在0~15 cm 土层,白色地膜处理日最高、最低和平均地温比黑色地膜处理分别高1.06、1.22、0.18℃,特别在日最高温度时刻(15:00),黑色地膜处理比白色地膜处理平均低1.1℃。可见,黑色地膜处理可以有效降低0~15 cm 土层的土壤温度,有利于玉米生长。而不同降解速率的降解膜处理地温在苗期和拔节-抽雄期差异较

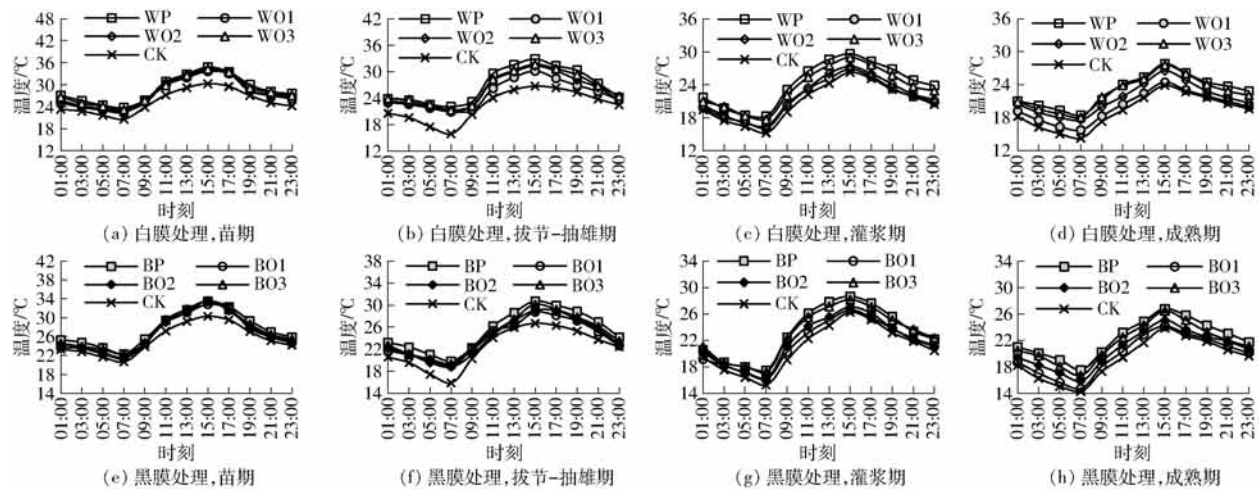


图3 不同地膜覆盖下生育期内0~15 cm 土层地温日变化规律

Fig.3 Diurnal variations of soil temperature in 0 ~ 15 cm soil layer under different film mulchings

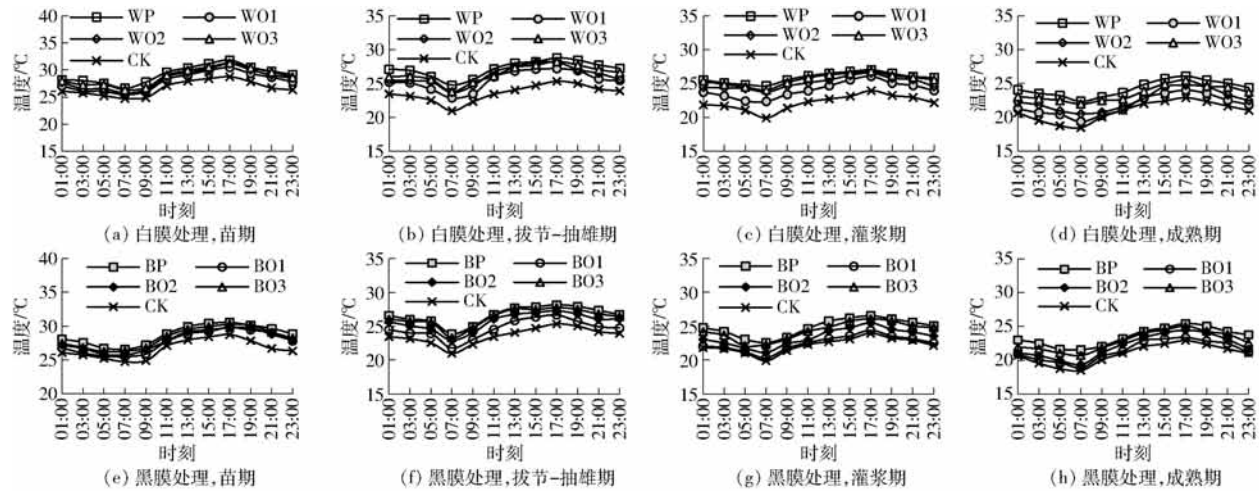


图4 不同地膜覆盖下生育期内15~30 cm 土层地温日变化规律

Fig.4 Diurnal variations of soil temperature in 15 ~ 30 cm soil layer under different film mulchings

小,在0~15 cm 土层,白色快速和慢速降解膜处理平均温差为1.05℃,对应的黑色降解膜处理平均温差为0.59℃,而15~30 cm 土层差异更小,白色和黑色降解膜处理分别为0.94℃和1.13℃。但是在生育后期特别是成熟期,随着降解地膜降解和破损加剧,不同降解速率的降解膜覆盖下土壤温差加大,在0~15 cm 土层白色快速和慢速降解膜处理平均温差为2.50℃,黑色降解膜处理为1.77℃。且不同时刻不同降解速率地膜覆盖下土壤温差呈显著差异,慢速降解膜(BO3 和 WO3)与塑料地膜(BP 和 WP)覆盖下地温无显著差异($P>0.05$)。可见,慢速降解膜覆盖保温效果与塑料地膜覆盖相当,同时,不同颜色地膜覆盖相比较,在作物生长后期黑色地膜覆盖具有一定的降温效果。

2.3 不同地膜覆盖下不同土层地温逐日变化规律

由图5可知,不同地膜覆盖下土壤温度均高于裸地对照,播种后(5月17日)至玉米生长中期(7月16日)土壤温度总体呈增长趋势,而8月以后,地

温逐渐呈下降趋势。受外界环境温度和太阳辐射影响,0~15 cm 土层温度整体高于15~30 cm 土层温度,且波动范围较大。由于在5月(出苗期)作物较小,地表受太阳直射,9月(收获期)叶片大面积凋萎,地面的透光度也增加,而白色地膜透光率大于黑色地膜,从而导致这两个月白色地膜覆盖下土壤温度显著高于黑色地膜,白色塑料膜覆盖下0~15 cm 土层平均温度显著高于黑色塑料膜覆盖($P<0.05$),平均分别高1.21℃和1.04℃(表2),在6—8月,玉米处于生育中期,枝繁叶茂,太阳透光度减弱,地面直接接收太阳辐射减弱,此时不同颜色地膜覆盖下的土壤温度差异较小,6、7、8月黑色塑料膜覆盖下0~15 cm 土层土壤平均温度分别比白色塑料地膜覆盖下低0.64、0.36、0.34℃。由图5可知,覆膜处理地温明显高于裸地处理,白色地膜处理温度高于黑色地膜处理,塑料地膜处理高于降解膜处理。WP、BP、WO、BO 处理生育期0~15 cm 土层平均地温分别比CK 处理高4.62、3.73、2.59、1.98℃,15~

30 cm 土层则分别高 3.70、3.06、1.64、1.19℃。

不同降解速率的白色降解膜处理在 0 ~ 15 cm 土层温度均高于对应的黑色降解膜处理,而在 15 ~ 30 cm 土层,则无显著差异($P>0.05$)。由于降解地膜最短诱导期为 2 个月,故同一颜色地膜在 5、6 月差异很小,而在 7—9 月差异逐渐增加,特别是 9 月由于快速降解地膜破损较大,导致 0 ~ 15 cm 土层

WP、WO3、WO2 与 WO1 (快速降解)的温差分别达到 3.03、2.70、1.05℃,黑色地膜处理对应的温差也达到 3.00、2.57、1.01℃。可见不同降解膜处理在玉米生长前期与塑料地膜覆盖下的地温并无明显差异,保温效果良好,而在玉米生长中后期,由于降解地膜开始破损,保温效果开始下降,不同降解速率和不同颜色的降解膜保温效果产生差异。

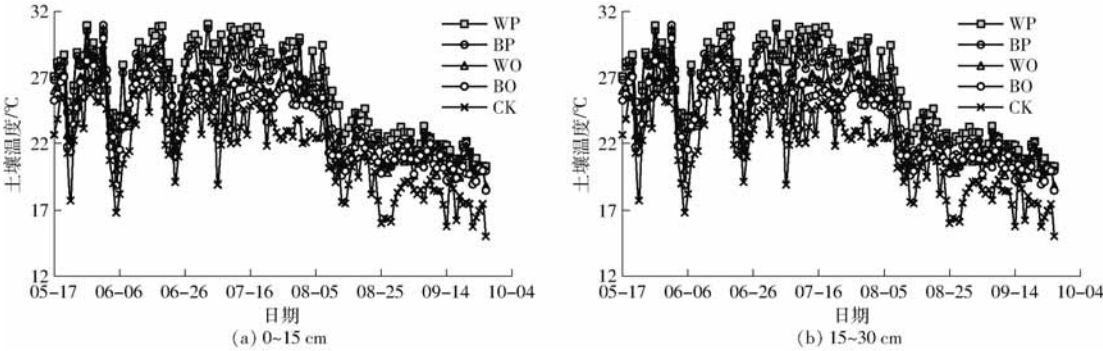


图5 不同地膜覆盖下玉米生育期0~15 cm和15~30 cm 土层地温变化规律

Fig.5 Soil temperature variations in growth stage under different film mulchings for 0 ~ 15 cm and 15 ~ 30 cm soil layers

表2 不同地膜覆盖下生育期不同月份平均地温

Tab.2 Average soil temperature of different months under different film mulchings										℃
处理	5月		6月		7月		8月		9月	
	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm
CK	24.06 ^e	23.21 ^d	23.29 ^b	23.14 ^d	21.01 ^e	22.41 ^f	20.04 ^e	19.94 ^e	17.82 ^f	18.01 ^f
WP	26.83 ^a	26.15 ^a	26.24 ^a	27.48 ^a	25.76 ^a	26.57 ^a	23.31 ^a	23.32 ^a	22.05 ^a	21.22 ^a
BP	25.62 ^b	25.85 ^{ab}	25.40 ^a	26.85 ^a	25.01 ^{ab}	25.65 ^b	22.97 ^{ab}	22.59 ^{ab}	21.01 ^{bc}	20.96 ^{ab}
BO1	25.46 ^b	24.86 ^c	25.33 ^a	24.37 ^c	22.04 ^d	23.07 ^{ef}	20.10 ^e	20.29 ^{de}	18.01 ^f	18.36 ^f
BO2	25.57 ^b	24.59 ^c	25.13 ^a	24.57 ^c	23.32 ^{bc}	23.48 ^{de}	21.49 ^{cd}	20.62 ^{cde}	19.02 ^e	18.92 ^{ef}
BO3	25.61 ^b	24.75 ^c	25.52 ^a	24.67 ^c	24.21 ^b	24.50 ^c	22.55 ^{ab}	21.55 ^c	20.58 ^{cd}	19.93 ^{cd}
WO1	26.84 ^a	24.70 ^c	25.69 ^a	24.74 ^c	22.57 ^d	23.18 ^{ef}	21.02 ^{de}	20.56 ^{cde}	19.02 ^e	18.75 ^{ef}
WO2	26.66 ^a	24.73 ^c	25.52 ^a	24.71 ^c	24.11 ^{bc}	24.24 ^d	22.12 ^{bc}	21.26 ^c	20.07 ^d	19.30 ^{de}
WO3	26.73 ^a	25.02 ^{bc}	25.73 ^a	25.76 ^b	24.52 ^b	25.10 ^{bc}	22.93 ^{ab}	21.99 ^{bc}	21.72 ^{ab}	20.21 ^{bc}

注:同列相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

不同地膜覆盖下的土壤温度差异如表 3、4 所示。各处理 0 ~ 15 cm 土壤温度变化程度均大于 15 ~ 30 cm 土层。裸地 0 ~ 15 cm 和 15 ~ 30 cm 土壤温度最大温差分别比塑料地膜覆盖下高 3.39℃,比可降解地膜覆盖下高 2.98℃。由热力学第二定律知,在自然条件下热量只能从高温物体向低温物体转移,而不能由低温物体自动向高温物体转移。在白天,气温逐渐上升,各处理土壤温度上升,此阶段热量运动主要以外界热量进入土壤为主,但各覆膜处理的土壤温度低于裸地,说明地膜覆盖对于外界热量进入土壤有阻碍作用,在夜间,气温下降,各处理土壤温度下降。该阶段热量运动主要以土壤中热量散失至空气中为主,但覆膜处理下的土壤温度却要高于裸地土壤温度,说明地膜覆盖对于土壤中热量的散失有一定的阻碍作用。可见,地膜覆盖对土壤中的热量具有一定的双向阻碍作用,故可以有效

抑制土壤温度的波动幅度。
不同类型地膜之间,降解速率较快的 BO1 和 WO1 处理在 0 ~ 15 cm 土壤温差分别为 11.80℃和 11.84℃,差异不显著($P>0.05$)。而生育期内几乎未发生破损的塑料地膜 BP 和 WP 处理 0 ~ 15 cm 土壤温差分别为 11.09℃和 10.99℃,变化幅度小于可降解膜快速处理。另外从温度方差也可知,塑料地膜处理地温变幅小于降解膜处理,可降解膜快速、中速、慢速的温度方差在 0 ~ 15 cm 土层分别比塑料地膜高 18.27%、14.30%、5.74%,比裸地对照低 7.43%、10.54%、17.24%。不同降解速率可降解膜覆盖下 0 ~ 15 cm 土壤温差由大到小为快速、中速、慢速,其中,可降解膜慢速覆盖下 0 ~ 15 cm 土壤温差为 11.18℃,与塑料地膜差异不显著($P>0.05$)。进一步说明地膜覆盖可以影响 0 ~ 15 cm 土壤温度的波动范围,地膜表面完整度越好,不同深度土壤温

表 3 白色地膜覆盖下土壤温度差异

Tab.3 Soil temperature difference under white film mulching℃

处理	土壤温度	土壤深度	
		0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm
WP	最高温度	31.02	29.80
	最低温度	20.03	18.48
	温度方差	9.29	6.53
WO1	最高温度	30.29	28.57
	最低温度	18.45	17.51
	温度方差	11.27	7.85
WO2	最高温度	30.30	28.61
	最低温度	18.97	17.89
	温度方差	10.85	6.97
WO3	最高温度	30.27	28.86
	最低温度	19.13	18.46
	温度方差	10.05	7.10
CK	最高温度	29.46	26.66
	最低温度	15.03	15.22
	温度方差	12.24	8.22

表 4 黑色地膜覆盖下土壤温度差异

Tab.4 Soil temperature difference under black film mulching℃

处理	土壤温度	土壤深度	
		0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm
BP	最高温度	30.95	29.10
	最低温度	19.86	18.73
	温度方差	9.86	6.65
BO1	最高温度	30.07	28.43
	最低温度	18.27	17.38
	温度方差	11.38	8.06
BO2	最高温度	29.73	28.87
	最低温度	18.36	18.13
	温度方差	11.04	7.13
BO3	最高温度	30.08	28.21
	最低温度	18.86	17.56
	温度方差	10.20	6.86
CK	最高温度	29.46	26.66
	最低温度	15.03	15.22
	温度方差	12.24	8.22

表 5 不同地膜覆盖下玉米产量及其构成因素

Tab.5 Effects of different mulchings on maize yield and its components

处理	穗长/cm	穗粗/cm	行数	行粒数	百粒质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)
CK	18.54	4.648	14	32	31.13	8 054.46 ^e
WP	21.26	5.104	16	38	37.54	11 944.85 ^b
BP	21.48	5.118	16	40	38.32	12 834.77 ^a
BO1	18.96	4.676	16	34	33.56	9 554.40 ^d
BO2	19.91	5.164	16	36	35.81	10 795.68 ^c
BO3	20.92	5.186	16	40	37.64	12 607.01 ^a
WO1	19.74	4.976	16	35	34.78	10 192.96 ^{cd}
WO2	19.78	4.970	16	36	34.99	10 547.49 ^c
WO3	20.82	5.090	16	36	36.23	11 621.28 ^b

度波动越小,反之则越大。不同颜色地膜覆盖下,黑色地膜覆盖下 0 ~ 15 cm 土壤温度差异为 11.37℃,与白色地膜(11.33℃)差异不显著($P>0.05$)。

2.4 不同地膜覆盖对玉米产量的影响

覆膜处理的产量均高于裸地对照(表 5)。不同颜色塑料地膜覆盖相比较,BP 处理的产量最高,为 12 834.77 kg/hm²,与 WP 处理(11 944.85 kg/hm²)差异显著($P<0.05$)。不同颜色降解地膜覆盖相比较,BO3 处理产量最高,达到 12 607.01 kg/hm²,显著高于其他处理。BO2 处理的产量大于 WO2,而 BO2、WO2 和 WO3 处理的产量差异显著($P<0.05$),各处理的产量由大到小为 BO3、WO3、BO2、WO2、WO1、BO1。BO1 和 WO1 处理因为降解速率较快,玉米生育期内保温效果不明显,产量较低,分别为 9 554.40、10 192.96 kg/hm²,差异不明显($P>0.05$)。塑料地膜与降解地膜覆盖相比较,BP 处理产量最高,与 BO3 处理差异不明显($P>0.05$),BP 较 BO1、BO2 和 BO3 处理增产 34.3%、18.9%、1.8%。BO3 处理的产量较 WP 增产 5.5%。WP 较 WO1、WO2 和 WO3 处理增产 17.2%、13.2%、2.8%。不同地膜覆盖对玉米生长环境的改变主要表现为对土壤温度影响的差异。土壤温度差异影响玉米根系生长,黑色地膜覆盖较其他处理延缓了根系的衰老,生育期延长,使得产量提高^[19]。从经济性和应用效果看,在实际应用中可采用黑色慢速降解地膜替代塑料地膜。

3 结论

(1)黑色可降解膜因为对热辐射的吸收能力强,温度升高快,促进降解助剂发挥作用,在相同覆膜时间后黑色降解膜的破损大于白色降解膜,覆膜 90 d 和 130 d 后,黑色降解膜平均破损占比是白色降解膜破损占比的 1.2 倍和 1.1 倍。基于红外热成像技术获得地表瞬时温度由大到小顺序为黑膜处理、白膜处理、无膜处理,生育期平均温度分别为

34.10、32.34、29.12℃ ($P < 0.05$)。在地膜破损期白色和黑色降解膜覆盖区平均地温比破损区高0.4℃和1.6℃,随着破损加大,地温变异也加大。不同降解速率的降解膜对地温的影响主要由破损不同所致,其中黑色快、中、慢降解膜在覆膜130 d后由于破损导致地温下降6.98%、3.35%和2.00%。

(2)0~15 cm 土层地温日内变幅较大,平均最高和最低温差达到10.44℃,明显高于15~30 cm 土层日3.74℃的地温变幅。与地表瞬时温度不同,不同颜色地膜覆盖温度由大到小顺序为:白膜处理、黑膜处理、无膜处理,且黑色地膜可以有效降低0~15 cm 土层的土壤温度,特别在每日最高温度时刻(15:00),黑色地膜覆盖比白色地膜覆盖平均低1.1℃。在生育前期不同降解速率地膜覆盖温差较小,而在破损期则差异变大,在0~15 cm 土层白色快速和慢速降解膜覆盖下平均温差达到1.05℃,黑色降解膜覆盖为0.59℃,由于慢速降解膜破损小,保温效果与普通地膜覆盖相近。

(3)逐日数据显示,在玉米生长初期(5月)和末期(9月),在0~15 cm 土层白色地膜覆盖地温比黑色地膜平均高1.13℃ ($P < 0.05$),而生育中期(6—8月),白色地膜覆盖仅比黑色地膜覆盖高0.45℃。同颜色不同降解速率地膜覆盖,地温在5、6月差异较小,而7—9月差异逐渐增加,在9月0~15 cm 土层 WP、WO3、WO2 与 WO1 处理(快速降解)的温差分别达到3.03、2.70、1.05℃ ($P < 0.05$),黑色地膜覆盖对应的温差也达到3.00、2.57、1.01℃ ($P < 0.05$)。覆膜可降低土壤温度变幅,可降解膜快速、中速、慢速的温度方差在0~15 cm 土层分别比塑料地膜高18.27%、14.30%、5.74%,比裸地对照低7.43%、10.54%、17.24%。

(4)白色和黑色慢速降解膜覆盖与对应的塑料膜覆盖相比,产量无显著差异,但同颜色不同降解速率的降解膜覆盖下产量呈显著差异 ($P < 0.05$),不同降解速率降解膜覆盖下产量由大到小顺序为:慢速处理、中速处理、快速处理。

参 考 文 献

- 1 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 Deqi, LIAO Yuncheng, JIA Zhikuan. 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)
- 2 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 Lixia, WANG Pu, ZHANG Lili. Effects of degradable film on soil temperature, moisture and growth of maize[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(6):25-30. (in Chinese)
- 3 BRAUNACK M V, JOHNSTON D B, PRICE J, et al. Soil temperature and soil water potential under thin oxodegradable plastic film impact on cotton crop establishment and yield[J]. Field Crops Research,2015,184:91-103.
- 4 王志超,李仙岳,史海滨,等.覆膜年限及灌水方法对河套灌区农膜残留的影响[J].农业工程学报,2017,33(14):159-165.
WANG Zhichao, LI Xian Yue, SHI Haibin, et al. Effects of mulching years and irrigation methods on residual plastic film in Hetao Irrigation District[J]. Transactions of the CSAE,2017,33(14):159-165. (in Chinese)
- 5 FILIPOVIC V, ROMIC D, ROMIC M, et al. Plastic mulch and nitrogen fertigation in growing vegetables modify soil temperature, water and nitrate dynamic: experimental results and a modeling study[J]. Agricultural Water Management,2016,176:100-110.
- 6 ZAONGO C G L, WENDT C W, LASCAONO R J, et al. Interactions of water, mulch and nitrogen in Niger[J]. Plant and Soil, 1997,197(1):119-126.
- 7 李世清,李东方,李凤民,等.半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J].西北农林科技大学学报,2003,31(5):21-28.
LI Shiqing, LI Dongfang, LI Fengmin, et al. Soil ecological effects of plastic film mulching in semiarid agro-ecological system[J]. Journal of Northwest of A&F University,2003,31(5):21-28. (in Chinese)
- 8 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.
ZHANG Dongmei, CHI Baoliang, HUANG Xuefang, et al. Analysis of adverse effects on maize yield decrease resulted from plastic film mulching in dry land[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(4):99-102. (in Chinese)
- 9 STEINMETZ Z, WOLLMANN C, SCHAEFER M, et al. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation[J]. Science of the Total Environment,2016,550:690-705.
- 10 路海东,薛吉全,郝引川,等.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 Haidong, XUE Jiquan, HAO Yinchuan, et al. Effects 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 LOUGHRIN J H, KASPERBAUER M J. Aroma of fresh strawberries is enhanced by ripening over red versus black mulch[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2002,50(1):161-165.
- 12 路海东,薛吉全,郭东伟,等.覆黑地膜对旱作玉米根区土壤温湿度和光合特性的影响[J].农业工程学报,2017,33(5):129-135.
LU Haidong, XUE Jiquan, GUO Dongwei, et al. Effects of black plastic film mulching on soil temperature and humidity in root zone and photosynthetic characteristics of rainfed maize[J]. Transactions of the CSAE,2017,33(5):129-135. (in Chinese)
- 13 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.

- HE Wenqing, YAN Changrong, ZHAO Caixia, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(3): 533–538. (in Chinese)
- 14 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269–272.
- YAN Changrong, MEI Xurong, HE Wenqing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 269–272. (in Chinese)
- 15 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农膜残留对砂壤土和砂土水分入渗和蒸发的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 198–205. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170126&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.026.
- WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on infiltration and evaporation for sandy loam and sandy soil [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 198–205. (in Chinese)
- 16 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 101–106. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150515&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.015.
- WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 101–106. (in Chinese)
- 17 董合干, 刘彤, 李勇冠, 等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 91–99.
- DONG Hegan, LIU Tong, LI Yongguan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang [J]. Transactions of CSAE, 2013, 29(8): 91–99. (in Chinese)
- 18 WANG J, LV S, ZHANG M, et al. Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates and microbial activity in soils [J]. Chemosphere, 2016, 151: 171–177.
- 19 YANG Ning, SUN Zhanxiang, FENG Liangshan, et al. Plastic film mulching for water-efficient agricultural applications and degradable films materials development research [J]. Materials and Manufacturing Processes, 2015, 30(2): 143–154.
- 20 MORENO M M, GONZALZ-MORA S, VILLENA J, et al. Deterioration pattern of six biodegradable, potentially low-environmental impact mulches in field conditions [J]. Journal of Environmental Management, 2017, 200: 490–501.
- 21 李仙岳, 彭遵原, 史海滨, 等. 不同类型地膜覆盖对土壤水热与葵花生长的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 97–103. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150215&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.02.015.
- LI Xianyue, PENG Zunyuan, SHI Haibin, et al. Effects of different degradable films mulching on soil water potential, temperature and sunflower growth [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 97–103. (in Chinese)
- 22 张杰, 任小龙, 罗诗峰, 等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 26(6): 14–19.
- ZHANG Jie, REN Xiaolong, LUO Shifeng, et al. Influences of different covering materials mulching on soil moisture and corn yield [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 14–19. (in Chinese)
- 23 谷晓博, 李援农, 杜娅丹, 等. 生物降解膜促进冬油菜养分吸收减少土壤硝态氮累积[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 90–97.
- GU Xiaobo, LI Yuannong, DU Yadan, et al. Biodegradable film enhancing nutrient uptake of winter oil seed rape (*Brassica napus* L.) and reducing soil nitrate accumulation [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(10): 90–97. (in Chinese)
- 24 谷晓博, 李援农, 银敏华, 等. 降解膜覆盖对油菜根系、产量和水分利用效率的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 184–193. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151225&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.12.025.
- GU Xiaobo, LI Yuannong, YIN Minhua, et al. Effects of biodegradable film mulching on root distribution, yield and water use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 184–193. (in Chinese)
- 25 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 111–116.
- SHEN Lixia, WANG Pu, ZHANG Lili, et al. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 111–116. (in Chinese)
- 26 郭强, 王振华, 郑旭荣, 等. PBAT 生物降解膜覆盖对绿洲滴灌棉花土壤水热及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16): 135–143.
- WU Qiang, WANG Zhenhua, ZHENG Xurong, et al. Effects of biodegradation film mulching on soil temperature, moisture and yield of cotton under drip irrigation in typical oasis area [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(16): 135–143. (in Chinese)
- 27 LEINONEN I, JONES H G. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(401): 1423–1431.
- 28 COHEN Y, ALCHANATIS V, MERON M, et al. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis [J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 56(417): 1843–1852.
- 29 徐小龙, 蒋煊煜, 杭月兰. 热红外成像用于番茄花叶病早期检测的研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 145–149.
- XU Xiaolong, JIANG Huanyu, HANG Yuelan. Study on detection of tomato mosaic disease at early stage based on infrared thermal imaging [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(5): 145–149. (in Chinese)