

吴凤全, 林 涛, 祖米来提·吐尔干, 等. 降解地膜对南疆棉田土壤水热及棉花产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(12): 2793–2801.

WU Feng-quan, LIN Tao, ZUMILAITI Tuergan, et al. Effects of degradable plastic mulching film on soil moisture, temperature, and yield in cotton fields in southern Xinjiang, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(12): 2793–2801.

降解地膜对南疆棉田土壤水热及棉花产量的影响

吴凤全¹, 林 涛², 祖米来提·吐尔干¹, 邓方宁¹, 尔 晨¹, 何文清³, 汤秋香^{1*}

(1. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院经济作物研究所, 乌鲁木齐 830091; 3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要:为探讨降解地膜对南疆棉田土壤水热及棉花产量的影响,选取3种氧化-生物双降解地膜[天壮1号(T-1)、天壮2号(T-2)、天壮3号(T-3)]及一种新型生物降解地膜(HS),以PE普通地膜为对照,通过测定棉田降解地膜的降解情况及土壤水热,计算其棉田耗水及土壤生长度日,筛选适宜南疆棉田生产的降解地膜。结果表明:在棉花进入吐絮期时,T-3和HS的降解率达88.6%和58.7%,而T-1和T-2仅为15.9%和13.4%。不同降解地膜对棉田的水热状况也存在一定影响,对于生育期总耗水量而言,T-3和PE的耗水量较大,为688.6 mm和690.7 mm,但T-3的耗水模数明显高于PE处理。在土壤生长度日上,4种降解地膜在棉花全生育期土壤生长度日均低于PE地膜,其中T-3和HS的土壤生长度日比PE地膜低了294.3 °C·d和222.8 °C·d。在棉花产量和水分利用效率上,T-1比PE高6.2%和7.2%,HS明显低于PE地膜,但T-3和PE地膜差异不大。综上,T-1和T-2增温保墒效果好,产量较高,但降解效果差。T-3降解速度较好,增温保墒的性能低于PE地膜,但能够满足作物对温度和水分的需求,使棉花产量和水分利用效率接近PE地膜。因此,在南疆棉田降解地膜T-3替代PE地膜应用于棉花生产具有一定的可行性。

关键词:地膜;降解特性;耗水特性;土壤生长度日;水分利用效率

中图分类号:S562 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2018)12-2793-09 doi:10.11654/jaes.2018-0740

Effects of degradable plastic mulching film on soil moisture, temperature, and yield in cotton fields in southern Xinjiang, China

WU Feng-quan¹, LIN Tao², ZUMILAITI Tuergan¹, DENG Fang-ning¹, ER Chen¹, HE Wen-qing³, TANG Qiu-xiang^{1*}

(1.College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2.Institute of Industrial Cash Crop, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences Urumqi 830091, China; 3. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: We researched the impact of biodegradable mulching film on soil water, temperature, and cotton yield in cotton fields in southern Xinjiang. Three kinds of OXO-biodegradable mulching film (T-1, T-2, and T-3) and a new biodegradable mulching film (HS) were compared with the common polyethylene film. Based on the degradation of the film, the soil water, and the temperature in the cotton field, the water consumption and soil growing degree-days in cotton field were calculated to screen biodegradable films suitable for cotton fields in southern Xinjiang. It showed that the degradation rates for T-3 and HS reached 88.6% and 58.7% in the boll-opening stage, while T-1 and T-2 had degraded by only 15.9% and 13.4%. Different biodegradable films also had different influences on the soil water and temperature conditions in the cotton fields. The T-3 and polyethylene film used 688.6 mm and 690.7 mm of water, respectively, during the growth period; these were the highest rates. The soil growing degree-days of the four biodegradable films were lower than that of the polyethylene film;

收稿日期:2018-06-05 录用日期:2018-10-10

作者简介:吴凤全(1995—),男,新疆阿拉尔人,硕士研究生,从事农业生态方向的研究。E-mail:2814459151@qq.com

*通信作者:汤秋香 E-mail:tangqiuixiang2004_2@163.com

基金项目:新疆维吾尔自治区科技支疆项目(2016E02078);农业部西北绿洲农业环境重点实验室开放基金项目(NYBXBLZ-201802);国家自然科学基金项目(31460143,31370522);国家公益性行业(农业)科研专项(201503105)

Project supported: Project of Science and Technology Support Xinjiang (2016E02078); Department of Agriculture Northwest Oasis Key Laboratory of Agricultural Environment Open Fund Project (NYBXBLZ-201802); The National Natural Science Foundation of China (31460143, 31370522); The Special Scientific Research Fund of Agricultural Public Welfare Profession of China (201503105)

of these, the values for T-3 and HS were lower by 294.3 °C·d and 222.8 °C·d, respectively, than the values for polyethylene film. The cotton yield and water use efficiency of T-1 were 6.2% and 7.2% higher than those for polyethylene and significantly lower for HS than for polyethylene; there were no significant differences between T-3 and polyethylene film. T-1 and T-2 were better in terms of warming the soil, preserving moisture, and generating a higher yield, but the degradation effect was worse. T-3 had a better degradation rate but did not perform as well at moisture conservation than polyethylene film, although its cotton yield and water use efficiency values were close to those of polyethylene film. Therefore, it is feasible to replace polyethylene mulch film with degraded T-3 mulch film in cotton fields in southern Xinjiang.

Keywords: mulching; degradation characteristics; water consumption characteristics; soil growing degree days; water use efficiency (WUE)

地膜技术的使用极大改善了作物生长的土壤环境^[1-2],随着地膜的长期使用,“白色污染”问题也日趋严重。大量的地膜残留给农业及农田生态环境带来严重的负面影响,造成耕地质量下降、作物减产及次生环境污染等一系列问题^[3-6]。由于长期碾压以及与土壤粘合等因素,目前,机械回收残膜率很低^[7-8]。因此,生物降解地膜是解决残膜污染的理想途径。研究表明,降解膜可代替PE地膜,有效减少残膜污染的危害^[9-10],但降解地膜降解性能与作物和区域环境有直接关系。目前,降解地膜存在降解不彻底、拉伸强度不够及可控性较差等问题。前人研究表明,可降解地膜在玉米^[11-12]、棉花^[13]、马铃薯^[14]等农作物中具有广泛的应用,对作物增产、环境保护和农田的可持续发展有显著效果。降解地膜增温保墒的效果与PE地膜相当,能提高作物产量和水分利用效率^[15]。袁海涛等^[16]研究发现,降解地膜设定合理的诱导期,能使覆盖生物降解地膜的土壤水分和温度与PE地膜相当。在渭北旱塬地区,生物降解地膜与PE地膜覆盖下,冬小麦干物质、水分利用效率及产量无显著差异^[17]。此外,降解地膜亦存在许多不足。董立国等^[18]发现,降解地膜过早裂解对土壤温度有一定影响,在玉米苗期,覆盖降解地膜在25 cm内土壤温度比普通PE地膜低14.1%;在喇叭口期,降解地膜在100 cm土层内土壤水分比普通PE地膜低13.1%;降解地膜种植的玉米产量明显低于PE地膜,减产27.2%。新疆地区降解地膜方面的研究相对较晚,朱友娟等^[19]在南疆地区研究发现,覆盖可降解地膜与无覆盖地膜的棉田相比显著增加籽棉产量,而覆盖可降解地膜与普通PE地膜的籽棉产量无显著差异。李君等^[20]研究发现,新疆北部地膜铺设85 d前降解与棉花生长发育及产量成反比,85 d后仍未降解的降解地膜对棉花产量无显著差异。新疆北部与南部地区气候条件和棉花的生育期均有差异,降解地膜存在问题较多,尤为缺乏与新疆自然条件和生态环境相适宜的棉田降解地膜产品。

因此,本试验针对目前新疆降解地膜主要问题,在南疆棉田引进降解地膜,开展降解地膜产品适宜性试验,依据当地自然条件和生态环境,通过对田间降解观察、土壤生长度和耗水的测定以及对作物产量影响,对不同配方的降解地膜产品进行评价。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验区概况

试验2017年4—10月在新疆阿瓦提县新疆农业科学院实验站进行(40°06'N, 80°44'E, 海拔1025 m)。该区年均降水量46.4 mm,年日照时数2679 h,≥10 °C年积温3 987.7 °C,无霜期211 d,属典型暖温带大陆性干旱气候,农业生产完全依赖灌溉。试验区土壤质地为沙质壤土,有机质含量8.3 g·kg⁻¹,全氮0.5 g·kg⁻¹,速效氮58.4 mg·kg⁻¹,速效磷35.4 mg·kg⁻¹,速效钾130.7 mg·kg⁻¹。试验田地下水位40~50 m,地下水不能补给到作物根系分布层,向上补给量忽略不计。

1.1.2 试验材料

试验选取3种氧化-生物双降解地膜,分别为:天壮1号(T-1)、天壮2号(T-2)、天壮3号(T-3),及一种新型生物降解地膜(HS),并以PE普通地膜为对照,其中4种降解地膜主要成分是二元酸二元醇共聚酯(PBS、PBAT等)、聚羟基烷酸酯(PHA)、聚己内酯(PCL)、聚羟基丁酸酯(PHB)等,地膜幅宽205 cm,厚度为0.01 mm,稳定天数为50~90 d。供试棉花品种为新陆中54号。每个处理3次重复,采取随机区组设计,小区面积6.5 m×7.2 m,种植模式采用一膜六行,行距配置:66+10 cm,株距为9.5 cm,密度27.7万株·hm⁻²。棉田的日常管理按照传统方式进行。2017年棉花生育期划分见表1。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 地膜降解性能

通过目测法和计算膜失重率法对田间覆盖试验

表1 2017年棉花生育期划分(月-日)
Table 1 Division of growth period for cotton in 2017

年份 Years	苗期 Seedling	蕾期 Bud stage	花铃期 Boll setting stage	吐絮期 Boll opening stage	全生育期 Whole growth period
2017年	04-19-05-23	05-24-06-23	06-24-08-04	08-05-09-05	04-19-09-05

降解地膜降解性能进行评价。目测评价法^[21]:肉眼观测,记录地膜形态以及表面完整性的变化。地面暴露部分的降解过程分5个阶段,具体评价标准如表2。失重率法:覆膜后30、60、90、120、150 d各处理随机选取100 cm×60 cm降解地膜和PE地膜,洗净、晾干、称质量计算降解率。

失重率(%)^[15]=(降解前质量-降解后质量)÷降解前质量×100%。

1.2.2 田间地温

用U型地温计测定各地膜处理5 cm土层土壤温度。

1.2.3 土壤含水量

采取TRIME-PICO-IPH TDR剖面土壤水分测定系统(德国),分别在棉花关键生育时期测定各小区同一水平线上宽行和窄行的0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm土壤体积含水量(%),取土层平均值,利用公式^[22]将土壤体积含水量转换为土壤的质量含水量。

土壤体积含水量(%)=土壤质量含水量(%)×土壤容重

1.2.4 农田耗水计算^[23-24]

$$W = \sum_i^n h_i \cdot \rho_i \cdot b_i \cdot 10/100$$

$$ET_{1-2} = (W_{i1} - W_{i2}) + M + P_0 + K$$

式中:ET₁₋₂为阶段耗水量,mm;W为土壤储水量,mm;h_i为土壤深度,cm;ρ_i为土壤容重,g·cm⁻³;b_i为土壤水分质量百分数;n为土层序号,i=10,20,30,⋯,60;M为时段内灌溉量,mm;P₀为时段内的有效降雨量,mm;K为时段内的地下水补给量,mm,当地下水埋深大于2.5 m时可以不计(本试验地下水埋深在5 m以下,故无地下水补给)。

耗水模数=各生育阶段棉田耗水量/棉田总耗水量

1.2.5 土壤生长度日^[25]

生长度日^[26-27](Growing degree days,GDD)是对作物生长发育有效的那部分温度(研究区棉花温度高于12 ℃)的总和,代表着植物生长期累积的热量,它与植物的生长速度和生育阶段有直接的关系,是衡量作物生长发育过程热量条件的一种标尺,也是表征地区热量条件的一种标尺。本研究利用土壤温度计算土壤生长度日,计算方法如下:

$$GDD = \sum_i^m (T_i - T_b)$$

式中:GDD为土壤生长度日,℃·d;T_i为一天中土壤平均温度,℃;T_b为棉花的基点温度,在该研究过程中取12 ℃;m为播种-吐絮期的时间,d。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2007和SigmaPlot 12.5计算并制作图表。用DPS 7.05进行数据差异性分析,采用最小显著法(LSD)检验试验数据的差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 棉田不同降解地膜降解情况分析

由表3和图1可知,4种降解地膜降解率和降解程度差异较大。在棉花收获后,HS和T-3进入了破碎期,地面无大块残膜存在,而T-1与T-2在棉花成熟后仅为破裂期。普通PE地膜在棉花收获后出现裂纹。

降解的质量变化是衡量地膜降解程度的重要指标(图1),试验过程中T-3降解最快,在棉花进入蕾期时降解率达34.9%,而其他处理的降解率均低于15%。在棉花进入吐絮期时,T-3降解率达88.6%,其次是HS达到58.2%。T-1与T-2的降解率仅在18.0%

表2 降解地膜田间降解观测标准
Table 2 The standard of degradable mulch in the field

阶段 Period	名称 Name	评价标准 Evaluation criterion
第一阶段	诱导期	开始铺膜到出现小裂缝的时间
第二阶段	破裂期	肉眼清楚看到大裂缝的时间
第三阶段	崩解期	地膜裂解成大碎块,没有完整膜面的时间
第四阶段	碎裂期	地面无大块残膜存在,仍有小碎片的时间
第五阶段	全降解期	地膜在地表基本消失的时间

表3 不同降解地膜降解情况

Table 3 The degradation conditions of different degradable films

处理 Treatment	05-28	06-18	07-08	07-28	08-18	09-08
T-1	oooo	oooo	ooo+	ooo+	ooo+	ooo+
T-2	oooo	oooo	ooo+	ooo+	ooo+	ooo+
T-3	ooo+	oo++	o+++	o+++	o+++	o+++
HS	ooo+	oo++	oo++	oo++	oo++	o+++
PE	oooo	oooo	oooo	oooo	oooo	oooo

注：“o”表示未出现降解情况即诱导期；“+”表示开始有降解情况即破裂期；“++”表示降解现象明显即崩裂期；“+++”表示降解加速即碎裂期；“-”表示基本完成降解即完全降解期。

Note: "o" means that there is no degradation, that is, induction period; "+" means the beginning of degradation, that is, the rupture period; "++" means obvious degradation, that is, the breakup period; "+++" means accelerated degradation, that is, the cataclastic period; "-" means basically completed degradation, that is, the complete degradation period.

左右。

2.2 不同降解地膜对棉田土壤水分分布的影响

图2表明,不同处理在棉花关键生育时期内的土壤含水量随土壤深度的增加呈现先增大后减小再增

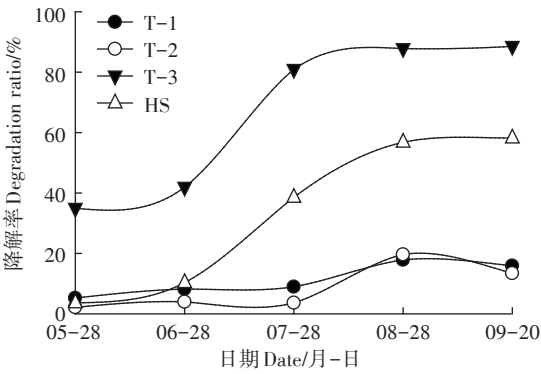
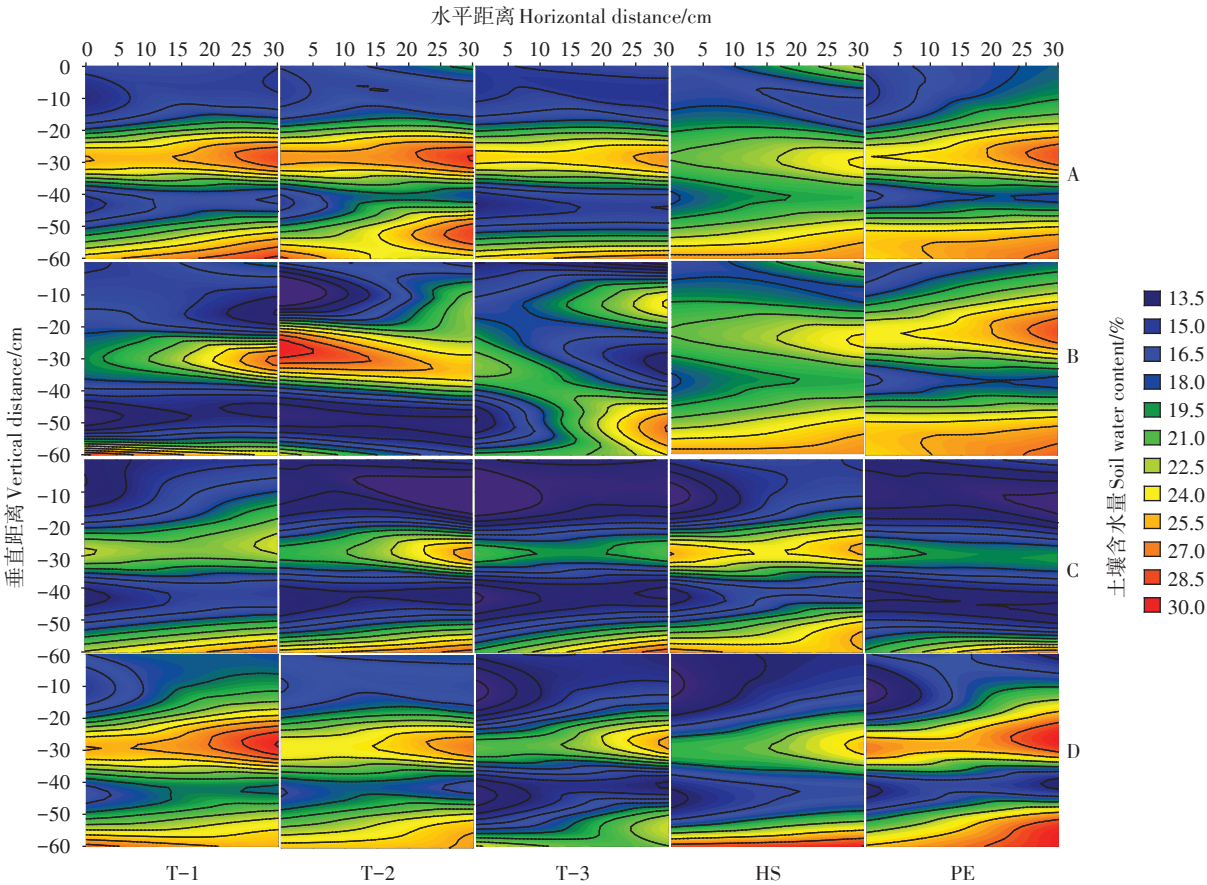


图1 不同降解地膜降解率的变化

Figure 1 Changes in weight loss rate of different degraded plastic films

大的变化趋势。从苗期0~60 cm土层中的平均土壤含水量来看,PE和HS两个处理明显高于其他3个处理。在垂直方向上0~20 cm土层,各处理的土壤含水量相对较低,为15.0%~16.5%;在20~40 cm土层中,HS的土壤含水量明显低于其他处理,为19.5%~



A为苗期;B为蕾期;C为花期;D为铃期
A: Seedling stage; B: Bud stage; C: Flowering stage; D: Bell stage

图2 降解地膜在棉田各生育期0~60 cm土壤水分分布状况

Figure 2 Soil moisture distribution at 0~60 cm of degradable film in cotton field in each growth period

21.0%。在蕾期,0~60 cm土层平均土壤含水量HS与PE较大在21.5%左右,但T-1、T-2和T-3的土壤含水量在17.9%左右,土壤水分分布状况与苗期的趋势基本一致。在花期,各处理0~10 cm和40~50 cm土层处的土壤含水量较低,20~30 cm土层T-1、T-2及HS的土壤含水量较高,为21.0%~25.0%,而T-3和HS较低,为18.0%~19.5%。在铃期,各处理0~60 cm土层的平均土壤含水量为T-1>T-2>PE>T-3>HS。在土壤水分分布上,0~20 cm土层处,T-1的土壤含水量较大,为18.0%~21%,而其他处理均低于T-1;20~40 cm土层处,T-3与HS的土壤含水量相对于PE较低,而T-1和T-2与PE比较差异不大;40~50 cm土层处的土壤含水量与0~20 cm土层处基本一致。综上所述,降解地膜对棉田土壤水分含量及其分布具有较大的影响。在棉花生育前期HS的土壤含水量较高,其分布的均匀性较好。在棉花生育后期,T-1和T-2的土壤含水量较高,土壤水分均匀性分布好于其余3个处理,而T-3和HS的土壤含水量及水分分布均与PE接近。由此发现,降解地膜的降解程度对棉田土壤含水量及水分分布有着决定性作用,降解地膜的膜面保持越完整,棉田的土壤含水量越大,其均匀性越好。

2.3 不同降解地膜对棉花耗水量及耗水模数影响

表4为棉田生育期耗水的动态变化,降解地膜对棉田的阶段耗水也有一定影响。在棉花苗期,棉田耗水量最大是T-2为36.9 mm,HS最小为17.3 mm,但在耗水模数上T-3最大为5.3%,最小的是HS为2.5%。在蕾期,棉田耗水量和耗水模数均为HS>T-3>T-2>PE>T-1,其中HS为154.7 mm、22.9%,PE为108.1 mm、15.9%,T-1仅仅只有99.3 mm、14.7%。在花铃期,PE的耗水量和耗水模数最大为435.5 mm和

64.1%,其次T-1为427.7 mm和63.6%。从棉花整个生育时期可以看出,T-1耗水较小为676.4 mm,T-3和PE的耗水量较大为688.2 mm和690.7 mm。这是因为T-1在棉花生长过程中降解较慢,减少了棉田的无效耗水。而T-3在蕾期后膜面遭到破坏,加快了土壤水分的蒸发,导致棉田的无效耗水增加。因此,降解地膜的降解程度对棉田耗水有着决定性作用。

2.4 不同降解地膜对棉田土壤温度的影响

图3表明,不同降解地膜土壤温度均随时间变化呈先减后增再减现象,但处理间变化幅度不同。在苗期,HS和T-1的土壤均温较低,分别为18.6、18.9℃,其他3个处理均在20.5℃以上,且三者之间无显著性差异。在蕾期,T-1、T-3、HS、PE 4个处理均达到最大值为32.1、31.7、31.9、32.1℃。蕾期后,各处理的土壤温度在棉花成熟前均随着时间延长呈现降低趋势,且PE处理显著高于其他处理。由此可以发现从棉花播种到成熟过程中,降解地膜在棉花苗期的保温效果与普通PE地膜效果一致,但随着时间的变化生物降解地膜逐渐降解,其保温效果明显低于普通PE地膜。

2.5 不同降解地膜对棉田土壤生长度日的影响

在棉花生长期降解地膜能够达到与普通PE地膜类似的增温效果,但不同的降解地膜增温效果不同,表5为不同降解地膜的土壤生长度日变化。在棉花播种到出苗期T-3的土壤生长度日最高为125.8℃·d,其次为T-2处理为123.1℃·d,最小的T-1处理为107.4℃·d,在分配比例上为T-3>T-2>HS>PE=T-1,其中T-3达到了6.1%,PE和T-1为5.2%。在出苗后期,各处理的土壤生长度日发生了变化为PE>HS>T-2>T-1>T-3,其分配比例为HS=T-2>T-1>PE>T-3,其中PE的土壤生长度日及分配比例为

表4 不同处理棉花各生育阶段耗水量及耗水模数

Table 4 Water consumption and water consumption modulus of different treatment of cotton during each stage

处理 Treatment	苗期Seedling		蕾期Bud stage		花铃期 Boll setting stage		吐絮期 Boll opening stage		全生育期 Whole growth period
	耗水量 Water consumption/ mm	耗水模数 Consumption modulus/%	耗水量 Water consumption/ mm	耗水模数 Consumption modulus/%	耗水量 Water consumption/ mm	耗水模数 Consumption modulus/%	耗水量 Water consumption/ mm	耗水模数 Consumption modulus/%	耗水量 Water consumption/ mm
T-1	32.2±1.0ab	4.7±0.1b	99.3±4.8d	14.7±0.6d	427.7±1.8ab	63.6±0.8a	117.3±0.5a	17.5±0.2a	676.4±3.4b
T-2	36.9±1.9a	4.8±0.3ab	112.7±2.4c	17.3±0.4c	419.4±3.6b	64.4±1.8a	98.7±2.8b	15.1±0.3b	662.6±3.1c
T-3	33.5±2.7ab	5.3±0.3a	135.6±2.3b	20.0±0.5b	397.0±2.4c	58.6±0.6b	118.7±0.8a	17.5±0.1a	688.2±2.2a
PE	29.8±1.3b	4.3±0.2b	108.1±2.3cd	15.9±0.3cd	435.5±2.0a	64.1±0.8a	117.2±3.6a	17.3±0.6a	690.7±0.9a
HS	17.3±0.9c	2.5±0.1c	154.7±0.4a	22.9±0.2a	374.4±3.4d	55.5±0.4c	125.7±3.9a	18.6±0.7a	672.1±1.9b

注:同一列数据后不同字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments ($P<0.05$). The same below.

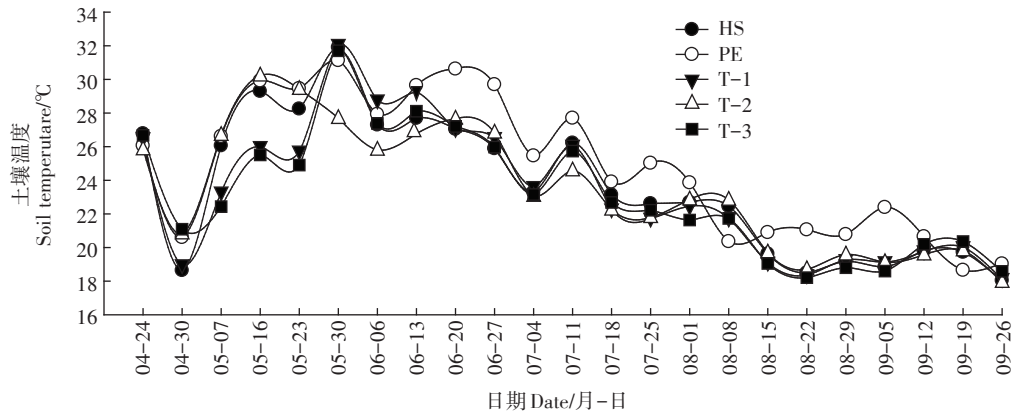


图3 不同生物降解地膜的土壤温度变化情况

Figure 3 Soil temperature changes of different biodegradable films

表5 不同处理棉花各生育期的土壤生长度日

Table 5 Different soil GDD processing all growth stages of cotton

处理 Treatment	出苗前期 Emergence stage		出苗后期 Seedling stage		蕾期 Bud stage		花铃期 Boll setting stage		吐絮期 Boll opening stage		全生育期 Whole growth period
	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d	比率 Ratio/%	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d	比率 Ratio/%	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d	比率 Ratio/%	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d	比率 Ratio/%	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d	比率 Ratio/%	土壤生长度日 Soil GDD/℃·d
T-1	107.4±3.2b	5.2±0.1b	575.2±1.6c	27.7±0.1b	509.8±1.4b	24.6±0.1a	594.2±5.0c	28.6±0.1b	288.2±3.2b	13.9±0.1ab	2 074.8±1.4d
T-2	123.1±4.5a	5.9±0.2ab	618.6±0.8b	29.5±0.1a	468.5±6.3c	22.3±0.2c	601.9±3.3c	28.7±0.2b	287.3±2.9b	13.7±0.1b	2 099.3±8.9c
T-3	125.8±1.8a	6.1±0.1a	559.1±2.6d	27.2±0.2c	481.7±1.7c	23.5±0.1b	593.7±1.9c	28.9±0.1ab	292.0±5.4b	14.2±0.2a	2 052.2±2.6d
PE	121.4±5.1ab	5.2±0.2b	648.5±4.8a	27.6±0.2bc	553.2±4.9a	23.6±0.2b	686.7±4.6a	29.3±0.2a	336.7±1.1a	14.4±0.1a	2 346.5±1.1a
HS	113.7±6.0ab	5.4±0.3b	626.4±4.3b	29.5±0.2a	477.3±4.2c	22.5±0.2c	618.5±4.9b	29.1±0.2a	287.8±3.7b	13.6±0.2b	2 123.7±3.7b

648.5 ℃·d和27.6%,HS的为626.4 ℃·d和29.5%。在蕾期、花铃期及吐絮期,PE处理的土壤生长度日明显高于其他4个处理,但在土壤生长度日的分配上4种降解地膜处理与PE地膜之间没有显著差异。在棉花整个生育过程中土壤生长度日为PE>HS>T-2>T-1>T-3,其中PE处理为2 346.5 ℃·d,HS为2 123.7 ℃·d,T-3为2 052.2 ℃·d。由此发现,降解地膜在棉花生长前期具有增温效应,能够加快棉花苗期的生长,其中T-3增温效果明显。在蕾期以后各处理的增温效应明显低于PE处理,这是因为降解地膜降解后外观变薄,紧贴地面,并非完全消失,仍然有一定增温作用。

2.6 不同降解地膜对棉花产量及水分利用效率的影响

由表6看出,各地膜处理的降解情况及强度不同,籽棉产量及水分利用效率也存在显著性差异,不同处理籽棉产量为T-1>PE>T-2>T-3>HS。T-3的产量为6 190.2 kg·hm⁻²,PE为6 639.5 kg·hm⁻²,二者无明显差异。而影响籽棉产量主要的是单株结铃数及单铃质量,PE的单株结铃数为6.8个,显著高于其他处理,其次是T-1为5.7个,HS最低为4.4个。而在单铃质量上,T-2>T-1>T-3>PE>HS。在水分利用效

率上,T-1比T-3和PE分别高20.7%、7.1%,而PE与T-3相比无明显差异,其水分利用效率为9.8、8.7 kg·mm⁻¹·hm⁻²。由此发现,降解地膜T-1的籽棉产量及水分利用效率高于普通PE地膜,而覆盖降解地膜T-3在籽棉产量和水分利用效率上也能达到普通PE地膜增产的效果。

3 讨论

3.1 降解地膜对增温保墒性能的影响

地膜的使用改善了农业生产,尤其是在增温保墒的效果上,地膜覆盖是为水资源缺乏、积温不足的地区增加作物产量和水分利用效率的一项有效措施^[28-29],增温保墒是降解地膜能否应用于生产实践的重要评价指标之一^[30]。赵彩霞等^[31]在新疆石河子研究提出,棉花生育前期由于降解地膜膜面完整,保温效果与普通地膜相比没有明显差异,而在保墒效果上,国内提供的3种降解地膜明显低于普通地膜,平均低3%~5%,可能是降解地膜破裂较早,使土壤含水量明显降低造成的。王淑英等^[30]在甘肃旱区的研究结果为作物生育前期0~25 cm土层生物降解地膜的平均温度比普通地膜低0.85 ℃,比露地高1.91 ℃,生

表6 不同处理棉花的产量及水分利用效率

Table 6 Cotton yield and water use efficiency of different treatments

处理 Treatment	收获株数 Harvest number/株·hm ⁻²	单株结铃数 Boll number per plant/个	衣分 Lint percentage/%	单铃质量 Single boll weight/g	籽棉产量 Seed cotton yield/kg·hm ⁻²	水分利用效率 Water use efficiency/kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²
T-1	213 204.3±1 459.6a	5.7±0.1b	44.5±0.1a	5.8±0.1ab	7 076.6±64.9a	10.5±0.1a
T-2	216 853.9±1 486.4a	4.9±0.1c	42.9±0.6b	5.9±0.1a	6 243.9±272.8ab	9.6±0.5ab
T-3	215 168.5±1 480.6a	5.0±0.1bc	43.4±0.3ab	5.5±0.1b	6 190.2±254.0b	8.7±0.2b
PE	214 887.6±1 420.3a	6.8±0.2a	44.2±0.1a	5.4±0.1b	6 639.5±351.2ab	9.8±0.4ab
HS	214 044.9±1 946.1a	4.4±0.2c	43.8±0.1ab	5.2±0.1b	4 630.1±154.6c	6.8±0.2c

物降解地膜与普通地膜在提高土壤温度方面有着一致的效果,但增温效果稍差,而保墒性能达到普通地膜的90%以上。兰印超等^[32]的玉米试验结果为可降解地膜和普通地膜的温度变化没有明显差异,但高于露地栽培的温度,且温差较明显;在试验后期,可降解地膜和普通地膜的温度开始逐渐接近于露地栽培的温度,到试验播种后的第58 d,各处理的温度没有明显差异。本研究发现覆盖降解地膜具有增温效果,从降解地膜对土壤生长度日变化来看,降解地膜能够在棉花生长过程中起到与普通地膜相似的效果。在棉花播种到出苗期T-3的土壤生长度日和分配比例最高为125.8℃·d和6.1%。自出苗以后各处理的土壤生长度日及比例均发生了变化,但在全生育期的土壤生长度日PE处理最大,为2 346.5℃·d;HS其次,为2 123.7℃·d;T-3最低,为2 052.2℃·d。但从出苗期和苗期的日均温度来看,在棉花出苗阶段T-3的增温效果较好,随着棉花的生长,在苗期T-2的增温效果与PE地膜相近。而在全生育期耗水情况上,PE的耗水量明显高于T-1、T-2两个处理,但与T-3基本一致。由此发现,T-1、T-2的保墒效果好于普通PE地膜,而T-3与PE差异不大。出现该现象的原因可能是T-1处理的膜面保持完整,具有良好的保墒效果。而T-3和HS地膜在生育后期发生了迅速降解,导致土壤水分蒸发较快,使土壤水分较多地散失在大气中。

3.2 降解地膜降解性能的差异

降解地膜的降解性能随着降解地膜的组成材料、厚度及当地的气候条件等差异而表现不同。何文清等^[21]在河北试验点的研究发现,广东上九公司提供的两种淀粉基全生物降解地膜诱导期仅只有20 d左右,覆膜后60 d两种地膜已完全降解为大碎片,丧失增温保墒功能。赵爱琴等^[33]研究表明,南京环绿降解塑料公司提供的生物降解地膜覆盖20 d左右边缘首先出现2~3 cm小洞,之后在雨水冲打下沿着小洞向周围

破裂;覆膜33 d时,地膜已经裂成块状,韧性减小。本研究发现T-3和HS在棉花生育前期破裂程度较小,具有较好的增温保墒效果,对作物生长发育和产量的影响较小。在棉花生长后期T-3和HS降解速率增快,在棉花成熟时,降解率达到了88.6%和58.2%。而T-1和T-2增温保墒效果较好,但降解速度慢,降解效果差,在棉花成熟时这两种降解地膜的失重率仅有15.9%和13.4%,在第二年播种时已经全部降解,但是,此降解地膜受气候等因素影响所表现出降解性能的稳定性还需要进一步研究。另外,目前棉花机械化采收已经日益普遍,机械采收易造成残膜掺入棉花,从而降低棉花品质,解决此问题的关键是在棉花收获期地膜完全降解。因此,这又是一个亟待解决的问题。

3.3 降解地膜对棉花产量及水分利用效率的影响

覆盖降解地膜对棉花产量有一定影响。袁海涛等^[16]研究发现,降解地膜对土壤水分、温度和棉花生长的影响与普通地膜相当,未对棉花生长发育及产量水平产生显著影响。赵彩霞等^[31]研究发现,国内供试的A膜和B膜对产量影响较大,减产幅度在20%以上,供试C膜和对照的日本降解地膜都表现为增产趋势。降解地膜对水分利用效率的影响,李强等^[34]研究发现,覆盖生物降解地膜的玉米水分利用效率与覆盖普通地膜效果无明显差异,而胡广荣等^[35]研究发现,覆盖生物降解地膜的玉米水分利用效率与无覆盖相比提高4.9 kg·mm⁻¹·hm⁻²。而本研究发现,覆盖T-1有利于产量和水分利用效率的提高。T-3和HS的产量和水分利用效率较低,出现这种现象的原因有可能是T-3和HS的降解程度较高,增加了棉田的无效耗水,不利于提高棉花产量和水分利用效率;而T-1、T-2与PE地膜的膜面保持较为完整,提高棉田的有效耗水,有利于水分利用效率的提高和棉花产量形成。由此可以看出,T-1和T-2虽然当年(当季)降解率不足20%,但棉花产量和水分利用效率与PE相当,甚至

高于PE,如果其后能在土壤中降解,不污染环境,则更有利于取代普通PE地膜。

4 结论

在试验中氧化-生物双降解地膜天壮1号和天壮2号虽然增温保墒的效果较好,其全生育期的土壤生长度日分别为2 074.8、2 099.3 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,而棉田耗水量分别为676.4、662.6 mm,有利于棉花产量和水分利用效率的提高,但在棉花收获期间存在降解情况较差的问题,在机械回收过程中容易造成残膜掺入棉花,从而降低棉花品质。而氧化-生物双降解地膜天壮3号与新型生物降解地膜相比较,天壮3号降解效果较好,在土壤保温、保墒的效果及对玉米产量的影响方面低于普通地膜,但没有明显差异。因此从农田残膜污染方面考虑,天壮3号替代普通PE地膜应用于农业生产具有一定可行性。同时建议生产厂家加强对天壮3号降解地膜降解速度的控制,使该降解地膜具有更好的增温保墒效果。

参考文献:

- [1] 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 Wen-qing, YAN Chang-rong, ZHAO Cai-xia, 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.
- [2] 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 De-qi, LIAO Yun-cheng, JIA Zhi-kuan. 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.
- [3] 支金虎, 郑德明, 朱友娟. 残膜污染对棉花生产的影响及其治理[J]. 塔里木大学学报, 2007, 19(3): 66-70.
ZHI Jin-hu, ZHENG De-ming, ZHU You-juan. Effect of leftover film contamination on cotton production and its administration[J]. *Journal of Tarim University*, 2007, 19(3): 66-70.
- [4] 严昌荣, 王序俭, 何文清, 等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3470-3474.
YAN Chang-rong, WANG Xu-jian, HE Wen-qing, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3470-3474.
- [5] 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 Chang-rong, MEI Xu-rong, HE Wen-qing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(11): 269-272.
- [6] 徐刚, 杜晓明, 曹云者, 等. 典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 79-83.
XU Gang, DU Xiao-ming, CAO Yun-zhe, et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1): 79-83.
- [7] 蒋永新, 刘晨, 郭兆峰, 等. 新疆棉田残膜机械化回收技术现状分析及建议[J]. 农机化研究, 2014, 36(6): 246-248.
JIANG Yong-xin, LIU Chen, GUO Zhao-feng, et al. Analysis of residual mechanized recovery technology of membrane in cotton field in Xinjiang and recommendations[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014, 36(6): 246-248.
- [8] 王帅. 我国残膜回收机具发展现状及趋势[J]. 农业科技与装备, 2012(10): 80-81.
WANG Shuai. Current development of mulching residues recovery machines in China and its trend[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2012(10): 80-81.
- [9] 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]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 184-193.
GU Xiao-bo, LI Yuan-nong, YIN Min-hua, et al. Effects of biodegradable film mulching on root distribution, yield and water use efficiency of winter oilseed rape[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(12): 184-193.
- [10] 王星, 吕家珑, 孙本华. 覆盖可降解地膜对玉米生长和土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(4): 397-401.
WANG Xing, LÜ Jia-long, SUN Ben-hua. Effects of covering degradable films on corn growth and soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(4): 397-401.
- [11] 杨玉姣, 黄占斌, 闫玉敏, 等. 可降解地膜覆盖对土壤水温和玉米成苗的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 10-14.
YANG Yu-jiao, HUANG Zhan-bin, YAN Yu-min, et al. Effects on temperature and moisture of soil and seeding of maize to biodegradable film coverage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl): 10-14.
- [12] 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 Li-xia, WANG Pu, ZHANG Li-li. Effects of degradable film on soil temperature, moisture and growth of maize[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(6): 25-30.
- [13] 戴敬, 陈荣来, 李国军. 可降解地膜覆盖棉花增产效应的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 140-142.
DAI Jing, CHEN Rong-lai, LI Guo-jun. The increasing yield effects of degradable plastic film mulching on the cottons[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2): 140-142.
- [14] 林叶春, 胡跃高, 曾昭海. 不同节水措施对马铃薯生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 54-59.
LIN Ye-chun, HU Yue-gao, ZENG Zhao-hai. Effect of different water-saving practices on growth and water use of potato[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(1): 54-59.
- [15] 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 Li-xia, WANG Pu, ZHANG Li-li. 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.
- [16] 袁海涛, 于谦林, 贾德新, 等. 氧化-生物双降解地膜降解性能及其对棉花生长的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(6): 602-608.
YUAN Hai-tao, YU Qian-lin, JIA De-xin, et al. Degradation performance of oxo-biodegradable plastic films and their effects on cotton growth[J]. *Cotton Science*, 2016, 28(6): 602-608.
- [17] 白丽婷, 海江波, 韩清芳, 等. 不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4):

- 135-139, 162.
- BAI Li-ting, HAI Jiang-bo, HAN Qing-fang, et al. Effects of mulching with different kinds of plastic film on growth and water use efficiency of winter wheat in Weibei Highland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(4):135-139, 162.
- [18] 董立国, 蔡进军, 张源润, 等. 降解地膜过早破裂对玉米地土壤水分温度及产量的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(4):66-69.
- DONG Li-guo, CAI Jin-jun, ZHANG Yuan-run, et al. Premature fracture of degradable mulch on soil temperature, moisture and corn yield[J]. *Journal of Agricultural*, 2016, 6(4):66-69.
- [19] 朱友娟, 伍维模, 温善菊, 等. 可降解地膜对新疆南疆棉花生长和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4):189-196, 224.
- ZHU You-juan, WU Wei-mo, WEN Shan-ju, et al. The effect of degradable agricultural mulch films on the growth and yield of cotton in Southern Xinjiang[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(4):189-196, 224.
- [20] 李 君, 何文清, 刘晓伟, 等. 北疆滴灌棉花的可降解地膜安全期研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(2):206-212.
- LI Jun, HE Wen-qing, LIU Xiao-wei, et al. Probe into degradable plastic film mulching during cotton safety period under drip irrigation in Northern Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(2):206-212.
- [21] 何文清, 赵彩霞, 刘 爽, 等. 全生物降解膜田间降解特征及其对棉花产量影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3):21-27.
- HE Wen-qing, ZHAO Cai-xia, LIU Shuang, et al. Study on the degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(3):21-27.
- [22] 闫曼曼, 郑剑超, 张巨松, 等. 调亏灌溉对海岛棉生物量和氮素累积分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(7):841-850.
- YAN Man-man, ZHENG Jian-chao, ZHANG Ju-song, et al. Effects of regulated deficit irrigation on accumulation and distribution of biomass and nitrogen, and yield of island cotton[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(7):841-850.
- [23] 王红光, 于振文, 张永丽, 等. 耕作方式对旱地小麦耗水特性和干物质积累的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4):675-682.
- WANG Hong-guang, YU Zhen-wen, ZHANG Yong-li, et al. Effects of tillage regimes on water consumption and dry matter accumulation in dryland wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(4):675-682.
- [24] 刘增进, 李宝萍, 李远华, 等. 冬小麦水分利用效率与最优灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4):58-63.
- LIU Zeng-jin, LI Bao-ping, LI Yuan-hua, et al. Research on the water use efficiency and optimal irrigation schedule of the winter wheat [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(4):58-63.
- [25] 孔 猛. 半干旱黄土区地膜覆盖对玉米生长及土壤生态环境的影响[D]. 兰州:兰州大学, 2016.
- KONG Meng. Effects of plastic film mulching on maize development and soil ecological environment in the semi-arid Loess Area[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
- [26] 黄健熙, 牛文豪, 马鸿元, 等. 卫星遥感和积温-辐射模型预测区域冬小麦成熟期[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7):152-157.
- HUANG Jian-xi, NIU Wen-hao, MA Hong-yuan, et al. Predicting maturity period for winter wheat using remote sensing and effective accumulated temperature-solar radiation model[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(7):152-157.
- [27] 陈艳玲, 顾晓鹤, 董燕生, 等. 利用土壤生长度日提高冬小麦估产精度的研究[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(8):1130-1135.
- CHEN Yan-ling, GU Xiao-he, DONG Yan-sheng, et al. Prediction of winter wheat yield based on remote sensing with accumulated temperature[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(8):1130-1135.
- [28] 刘晓英, 刘培军, 马春森, 等. 利用黑塑膜覆盖进行太阳能消毒对土壤温度的影响[J]. 中国农业气象, 2004, 25(3):21-25.
- LIU Xiao-ying, LIU Pei-jun, MA Chun-sen, et al. Effect of solarization with black plastic mulching on soil temperature[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2004, 25(3):21-25.
- [29] 王 琪, 马树庆, 郭建平, 等. 地膜覆盖下玉米田土壤水热生态效应试验研究[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3):249-251.
- WANG Qi, MA Shu-qing, GUO Jian-ping, et al. Example study on soil water and thermal effect of corn plastic mulching[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2006, 27(3):249-251.
- [30] 王淑英, 樊廷录, 李尚中, 等. 生物降解膜降解、保墒增温性能及对玉米生长发育进程的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1):127-133.
- WANG Shu-ying, FAN Ting-lu, LI Shang-zhong, et al. Property of biodegradable film degradation, water-retention and increasing soft temperature and its impact on maize growth and development process [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(1):127-133.
- [31] 赵彩霞, 何文清, 刘 爽, 等. 新疆地区全生物降解膜降解特征及其对棉花产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8):1616-1621.
- ZHAO Cai-xia, HE Wen-qing, LIU Shuang, et al. Degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton in Xinjiang region, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(8):1616-1621.
- [32] 兰印超, 申丽霞, 李若帆. 不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(12):120-126.
- LAN Yin-chao, SHEN Li-xia, LI Ruo-fan. Effects of different film mulching on soil temperature and moisture[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(12):120-126.
- [33] 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 Ai-qin, LI Zi-zhong, GONG Yuan-shi. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10(2):74-78.
- [34] 李 强, 王 琦, 张恩和, 等. 生物可降解地膜覆盖对干旱灌区玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(9):155-159.
- LI Qiang, WANG Qi, ZHANG En-he, et al. Effects of biodegradable film mulching on grain yields and water use efficiency of maize in arid oasis irrigation area[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(9):155-159.
- [35] 胡广荣, 王 琦, 宋兴阳, 等. 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 Guang-rong, WANG Qi, SONG Xing-yang, et al. 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.