



# 农业资源与环境学报

中文核心期刊  
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

## 生物降解地膜降解性能对南疆棉田籽棉产量形成的影响

夏文, 林涛, 邓方宁, 何文清, 汤秋香

引用本文:

夏文, 林涛, 邓方宁, 等. 生物降解地膜降解性能对南疆棉田籽棉产量形成的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 951–959.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0470>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 基于降解地膜覆盖的新疆棉花生长发育及效益分析

窦巧巧, 汤秋香, 吴凤全, 林涛, 何文清, 严昌荣, 杨再磊

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 649–655 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0327>

### 新疆加工番茄应用PBAT全生物降解地膜可行性

苏海英, 宝哲, 刘勤, 董道瑞, 严昌荣, 雷海, 薛颖昊, 徐志宇

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 615–622 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0140>

### PBAT型全生物降解膜对南疆番茄产量及土壤理化性质的影响

王斌, 万艳芳, 王金鑫, 孙九胜, 槐国龙, 崔磊, 张彦红, 魏彦宏, 刘国宏

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 640–648 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0287>

### 聚乳酸生物降解地膜对土壤温度及棉花产量的影响

张妮, 李琦, 侯振安, 冶军

农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 114–119 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0200>

### 不同类型地膜覆盖对玉米农田土壤酶活性的影响

白雪, 周怀平, 解文艳, 杨振兴, 程曼, 杜艳玲

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 381–388 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0033>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

夏文, 林涛, 邓方宁, 等. 生物降解地膜降解性能对南疆棉田籽棉产量形成的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 951–959.

XIA Wen, LIN Tao, DENG Fang-ning, et al. Effects of degradation properties of different biodegradable films on cotton yield formation in southern Xinjiang[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6): 951–959.



开放科学 OSID

# 生物降解地膜降解性能对南疆棉田籽棉产量形成的影响

夏文<sup>1</sup>, 林涛<sup>2</sup>, 邓方宁<sup>1</sup>, 何文清<sup>3</sup>, 汤秋香<sup>1,4\*</sup>

(1.新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心, 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; 4.农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

**摘要:**为探讨生物降解地膜的降解性能及其对南疆棉花产量形成的影响,以普通 PE 地膜为对照(CK),通过小区控制性试验研究了 4 种生物降解地膜天壮 1 号(T1)、天壮 2 号(T2)、金发(JF)和巴斯夫(BSF)的降解率及其对棉田土壤水分状况、干物质积累与产量构成、水分利用效率的影响。结果表明,4 种降解地膜降解率表现为 T2>T1>JF>BSF,至生育期结束,仅 T2 进入全降解期,其余 3 种地膜仍处于破碎期。BSF 覆盖下耕层土壤含水率稳定性较强,蕾期、花期土壤平均含水率分别较 PE 地膜高 17.9% 和 18.5%,而 T2 处理降解过早,土壤水分快速蒸发,深层水耗严重,干物质积累量减少。JF 处理进入干物质快速积累时期最晚(覆膜后 78 d),单株结铃数和单铃质量分别低于 PE 处理 1.69 个和 0.14 g,导致减产 40.82%。T1 覆盖下棉田土壤水分含量、吐絮期生殖器官占比、籽棉产量及水分利用效率与 PE 处理相比均无显著下降。研究表明,T1 地膜在南疆棉区应用可以保持较好的水分,确保产量不下降的同时有效降低残膜污染。

**关键词:**生物降解地膜;降解率;干物质积累;产量;水分利用效率

中图分类号:S562

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)06-0951-09

doi: 10.13254/j.jare.2019.0470

## Effects of degradation properties of different biodegradable films on cotton yield formation in southern Xinjiang

XIA Wen<sup>1</sup>, LIN Tao<sup>2</sup>, DENG Fang-ning<sup>1</sup>, HE Wen-qing<sup>3</sup>, TANG Qiu-xiang<sup>1,4\*</sup>

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University/ Engineering Research Centre of Cotton of Ministry of Education, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Institute of Industrial Crops, 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; 4. Key Laboratory of Agricultural Environment in Northwest Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** The objective of this study is to explore the effects of degradation properties of different biodegradable films on water environment and yield formation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) field under drip irrigation conditions. A single factor field experiment was established, completely randomized block design: Four kinds of biodegradable films Tianzhuang-1 (T1), Tianzhuang-2 (T2), Jinfa (JF), Basf (BSF), and polyethylene agricultural film (PE, CK) were applied. The experiment was carried out in southern Xinjiang in 2018. During the experiment, the degradation rate of biodegradable films, soil water content, dry matter accumulation and seed yield were measured. Water use efficiency (WUE) was calculated based on the evapotranspiration. The results showed that, the degradation rate of the

收稿日期:2019-09-18 录用日期:2019-12-16

作者简介:夏文(1996—),女,新疆阿克苏人,硕士研究生,研究方向为农田生态环境。E-mail:1486865129@qq.com

\*通信作者:汤秋香 E-mail:790058828@qq.com

基金项目:农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室开放基金(NYBXBLZ201802, NYBXBLZ201704);自治区“优秀青年科技人才”项目;天山英才工程项目;新疆农业大学作物学重点学科项目(XCDKY2018025)

**Project supported:** The Earmarked Research Funds for Key Laboratory of Agricultural Environment in Northwest Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (NYBXBLZ201802, NYBXBLZ201704); The Program for Young Scientific and Technological Talents; The Special Fund for Tianshan Scholars; The Program for Key Discipline Project of Xinjiang Agricultural University (XCDKY2018025)

films decreased, in the order of T2>T1>JF>BSF. Only T2 entered into the full degradation phase at the end of the growth period, while the other mulching films were still in the fragmentation stage. Soil moisture content of BSF treatment was 17.9% and 18.5% respectively, higher than that of the polyethylene film in bud stage and flowering stage, and remained relatively stable. For T2 treatment, very early degradation occurred, soil moisture rapidly evaporated, deep water consumption increased, and dry matter accumulation decreased. For JF treatment, it was the last one to enter into the rapid dry matter accumulation (78 d after covering film). The number of bolls per plant was 1.69 less, and single boll weight was 0.14 g lower than that of polyethylene film, resulting in 40.82% reduction in yield. For T1 treatment, there was no significant decrease on soil moisture content, and reproductive organ ratio during boll opening stage, seed cotton yield, and WUE in the cotton field were observed and compared with that of polyethylene film. T1 mulching film could reduce the pollution caused by residual film, while ensuring stable yield under the local environment.

**Keywords:** biodegradable mulching film; degradation rate; dry matter accumulation; yield; water use efficiency

随着地膜连年使用,土壤中残膜数量逐渐增加,造成严重的“白色污染”<sup>[1]</sup>。目前,解决残膜污染问题主要依靠两种方式。一种是机械回收,但其平均回收率仅为62.3%,存在作业效率低、劳动强度大、成本高等问题<sup>[2-3]</sup>。因而,降解地膜成为处理残膜污染的另一种有效方式。我国于20世纪90年代开始在降解地膜方面开展诸多研究,光降解地膜、生物降解地膜、氧化-生物双降解地膜、液态地膜等先后得到研究推广<sup>[4-6]</sup>。光降解地膜降解速率不能准确控制,掩埋部分不能降解<sup>[7]</sup>。液态地膜易受到外界环境影响而受损,致使水分蒸发大,不利于保墒作用<sup>[8]</sup>。生物降解地膜在自然条件下被微生物分解为小分子物质,减少对土壤的污染<sup>[9]</sup>。何文清等<sup>[10]</sup>研究结果表明,适宜的降解地膜具有增温保墒、促进生长和提高作物产量的作用<sup>[10]</sup>。但赵彩霞等<sup>[11]</sup>研究发现,地膜降解过早会导致土壤平均含水率下降3%~5%,且这种差异随土壤深度加深无显著变化。崔磊等<sup>[12]</sup>对降解地膜覆盖下棉田土壤水分变化规律的研究发现,在棉花冠层密闭前地膜降解率超过50%会严重降低棉田土壤含水量。降解地膜对干物质积累的影响主要是改变了根系生长环境,提高0~40 cm土层根系密度<sup>[13]</sup>,根部吸养能力增强,干物质质量增加,但诱导期过短会使干物质积累大幅下降<sup>[14]</sup>。覆盖降解地膜对作物产量及其构成因素均有不同程度的影响。大多学者研究发现,覆盖降解地膜会造成一定量减产,水分利用效率也有不同程度下降<sup>[15-16]</sup>。但王斌等<sup>[17]</sup>研究发现,在南疆多地对棉花及玉米覆盖PBAT全生物降解地膜,较PE地膜均有不同水平的增产。目前可降解地膜在玉米<sup>[18]</sup>、马铃薯<sup>[19]</sup>等作物上的研究较多,而棉花因生育期较长,部分降解地膜在棉花封行前已大面积降解,导致土壤水分无效蒸腾加剧<sup>[20]</sup>,影响棉株生长等问题<sup>[21]</sup>,使得可降解地膜在实际生产中未能普遍推广应用。因此,本研究为了探究降解地膜在绿洲灌溉棉田的适

应性,选取4种生物降解地膜,以普通PE地膜为对照,通过观测不同生物降解地膜的田间降解性能,明确覆盖不同生物降解地膜对棉田土壤水分、干物质积累及水分利用效率的影响,为绿洲灌溉棉田解决残膜污染问题及生物降解地膜相关生产参数修订提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2018年4—10月在新疆农业科学院阿瓦提棉花试验站(40°06'N, 80°44'E, 海拔1 025 m)进行。试验区是温带大陆性干旱气候,降雨稀少、热量丰富。日照时数2 679 h, ≥10℃年积温3 987.7℃,无霜期211 d,年平均降雨量46.4 mm,蒸发量2 900 mm。试验区土壤类型为沙壤土,土壤0~40 cm耕层有机质含量7.11 g·kg<sup>-1</sup>、全氮1.51 g·kg<sup>-1</sup>、硝态氮27.22 mg·kg<sup>-1</sup>、铵态氮1.58 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾309.1 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷35.43 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤容重1.48 g·cm<sup>-3</sup>,土壤pH 7.33。

### 1.2 试验设计

试验选取了适宜当地生态条件的4种生物降解地膜,分别为山东天壮环保科技有限公司提供的天壮1号和天壮2号降解膜(T1和T2)、山东天野生物降解科技有限公司提供的金发降解膜(JF)、上海弘睿生物科技有限公司提供的巴斯夫降解膜(BSF),其主要成分及规格见表1。对照为新疆阿拉尔市瑞泽塑料制品有限公司提供的普通PE(Polyethylene)地膜,膜宽2.05 m,厚度0.01 mm,地表覆盖度约为80%。各处理重复6次(3个用于观测降解情况,3个用于测定其他相关指标),采取随机区组设计,共30个小区,小区宽6.9 m、长7.5 m。供试棉花品种为新陆中88号,采用一膜两管六行的种植模式,行距配置为(10+66)cm,株距为11 cm,理论密度22.5万株·hm<sup>-2</sup>,生育时期灌溉量为4 650 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,灌溉频率均为7 d滴灌1次,全

表1 生物降解地膜主要成分及规格

Table 1 Main components and specifications of bio degradable mulch film

| 处理<br>Treatments | 主要成分<br>Main components | 地膜宽度<br>Film width/m | 地膜厚度<br>Film thickness/mm |
|------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| T1               | PBAT、PBS                | 2.05                 | 0.01                      |
| T2               | PBAT、PBS                | 2.05                 | 0.01                      |
| JF               | PBAT、PLA                | 2.05                 | 0.01                      |
| BSF              | PBAT                    | 2.05                 | 0.01                      |

注:PBAT为聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯;PBS为聚丁二酸丁二酯;PLA为聚乳酸。

Note: PBAT means poly (butylene adipate-co-terephthalate); PBS means polybutylene succinate; PLA means polylactic acid.

生育期共灌水10次,施肥量为纯氮 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,折合尿素 $803.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,底肥施入氮肥 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其他管理同大田。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 生物降解膜降解性能的评测

生物降解性能观测采用目测法。评估标准参照何文清等<sup>[10]</sup>方法(表2),从地膜铺设后第7 d开始,每隔7 d于同一位点放置 $30\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 相框拍照并观察地膜表面变化状况,记录地膜开始降解时间。此外,每隔30 d分别取地膜 $0.5\text{ m}\times 1\text{ m}$ ,洗净、晾干后用万分之一天平测定质量,计算其降解率<sup>[22]</sup>。计算公式如下:

$$\text{降解率} = (\text{降解前质量} - \text{降解后质量}) / \text{降解前质量} \times 100\% \quad (1)$$

#### 1.3.2 土壤含水率

采用剖面土壤水分测量系统<sup>[23]</sup>(Time-domain reflectometry 德国)测定各处理每小区同一水平线上0~80 cm深度每隔10 cm土层的土壤体积含水量(%),每个处理测3个重复,取平均值。从覆膜开始,于各关键生育时期测定一次,至吐絮期结束观测,利用公式(2)<sup>[24]</sup>将土壤体积含水率转换为土壤质量含水率。

$$\text{土壤质量含水率} = \text{土壤体积含水率} / \text{土壤容重} \times 100\% \quad (2)$$

采用水量平衡法<sup>[25]</sup>计算作物耗水量:

表2 降解地膜田间降解观测标准<sup>[10]</sup>Table 2 The standard of degradable mulch in the field<sup>[10]</sup>

| 阶段 Stage | 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                |
| 第二阶段     | 破裂期     | 肉眼清楚看到大裂缝                 |
| 第三阶段     | 崩解期     | 地膜裂解成大碎块,没有完整膜面           |
| 第四阶段     | 破碎期     | 地面无大块残膜存在,仍有小碎片           |
| 第五阶段     | 全降解期    | 地膜在地表基本消失                 |

$$\text{ET}_a = \sum_{i=1}^n r_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + I + P_r + V - D - R \quad (3)$$

式中:ET<sub>a</sub>为作物蒸散耗水量,mm;*n*为土壤总层数;*r<sub>i</sub>*为第*i*层土壤干容重, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;H<sub>*i*</sub>为第*i*层土壤厚度(本试验中为80 cm);θ<sub>*i1*</sub>为初时段土壤质量含水量,%;θ<sub>*i2*</sub>为末时段土壤质量含水量,%;I为该时段内灌溉量,mm;P<sub>*r*</sub>为该时段内降水量,mm;V为该时段内地下水补给量,mm;D为深层土壤水分渗漏量,mm;R为地表径流量,mm。本试验区降雨量很小,可以忽略不计。地块平坦,单次滴灌后土壤水分小于田间持水量,当地下水埋深>2.5 m时地下水补给量可以不计,本试验区地下水埋深在5 m以下,所以无地下水补给。因而P<sub>*r*</sub>、V、D、R项可忽略不计,水量平衡方程可简化为公式(4):

$$\text{ET}_a = \sum_{i=1}^n r_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + I \quad (4)$$

#### 1.3.3 棉花干物质测定

于棉花苗期、蕾期、花期、铃期和吐絮期在各小区内选长势均匀的中行、边行棉株3株,按根、茎叶和蕾花铃不同器官分样,105℃杀青30 min后于80℃烘干至恒质量后测定质量。

#### 1.3.4 棉花产量及水分利用效率

于棉花收获期在各小区随机挑选3个 $2.27\text{ m}\times 2.93\text{ m}$ 大小的样方,记录其株数和总铃数并计算单株结铃数。每小区随机取50株棉株,分上、中、下三部分各取50朵棉花,晒至恒质量后测其单铃质量、籽棉产量,轧花后测其皮棉产量。蒸散水利用效率计算公式<sup>[26]</sup>如下:

$$\text{WUE} = Y / \text{ET}_a \quad (5)$$

式中:WUE(Water use efficiency)为水分利用效率, $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ ;Y为籽棉产量, $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

### 1.4 数据处理

试验数据用Microsoft Excel 2016和DPS 7.05进行处理和分析,用SigmaPlot 12.5制作图表,试验数据的差异显著性水平用最小显著法(LSD)检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生物降解地膜的田间降解性能差异

不同生物降解地膜的降解情况如图1所示,至棉花成熟时,仅有T2地膜进入全降解期,地表可看见降解成小碎片的地膜,呈粉末状。T2和JF地膜诱导期仅为30 d左右,覆膜后50 d即出现严重的裂缝。至覆膜后70 d,T1、T2和JF地膜已完全降解为大的碎片。

BSF直至覆膜后126 d才进入破碎期,较其他三种生物降解地膜晚。PE地膜至棉花成熟后出现裂纹,但不具有普遍性和规则性,因此PE地膜降解性能较差,其出现的裂纹属于正常损耗。

不同降解地膜的降解率如表3所示,四种可降解地膜随覆膜天数的变化降解率明显增大,全生育期内T2降解率均高于其他三个处理。直至覆膜后60 d, T1、T2降解率达到16.15%、20.33%,无显著差异,且均显著高于JF、BSF。覆膜后90 d, T1降解率为23.63%,显著高于BSF, T1和BSF与JF均未达到显著差异。覆膜后120 d直至生育期结束,均呈现T1显著低于T2且显著高于JF、BSF,但JF与BSF无显著差异。

## 2.2 不同生物降解地膜覆盖对0~80 cm土壤水分分布的影响

图2表明,不同降解地膜覆盖下土壤含水率随土壤深度增加呈现先减小后增大的趋势,0~40 cm土壤含水率逐步降低,40~80 cm土壤含水率逐步升高。在蕾期,0~80 cm土层JF与BSF平均土壤含水率较PE高12.5%和17.9%,但T1、T2处理降解较早其土壤含水率均低于PE。进入花期后,因为气温逐步升高,蒸发加剧,各处理间土壤含水率差异较大。在花期各处理的土壤含水率表现为BSF>JF>PE>T1>T2,0~80 cm

土层平均土壤含水率BSF较PE高18.5%。0~20 cm土层处, T1处理的土壤含水率较大,为25.1%,20~40 cm土层处, JF与PE相比差异不大, T1、T2相对于PE较低,而BSF的土壤含水率均高于其他处理,且随土层深度增大差异增大。在铃期,各处理土壤含水率差异不显著,40~60 cm土层JF和BSF处理的土壤含水率较高,为16.6%和15.8%。在吐絮期, T1、T2处理的土壤含水率相较PE处理在0~40 cm土层下降了11.4%、17.4%,在40~80 cm土层下降了9.2%、6.0%。JF、BSF处理与PE处理比较差异不显著。由此发现,降解地膜的降解率对棉花土壤含水率及水分分布有很大的影响,地膜的膜面保持得越完整,水分保持能力越强,土壤含水率越大。

## 2.3 不同生物降解地膜覆盖对棉花干物质积累与分配的影响

对不同降解地膜覆盖下棉花干物质积累进行Logistic方程拟合(表4)。T2处理进入干物质快速积累期时间( $t_1$ )较早,与PE处理相同,且到达积累速率最大时刻 $t_0$ 的时间最早,较PE处理提前5 d,但其快速增长持续时间 $\Delta t$ 较PE处理缩短8 d。T1处理最大增长速率 $V_m$ 最高,为 $1.33 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ,而JF和BSF干物质积累最大速率 $V_m$ 较小,但其快速增长持续时间 $\Delta t$ 较长,为44、46 d,快速积累期起始时刻 $t_1$ 较晚,分别为56、47 d,且达到积累速率最大时刻 $t_0$ 的时间较晚,为78、70 d。随覆膜天数的增加,棉花干物质最大积累速率表现为T1>T2>PE>JF>BSF,而干物质快速积累持续时间表现为BSF>JF>PE>T1>T2。结果表明,地膜降解时间影响棉花地上部干物质积累,地膜降解时间早使棉花提早进入旺盛的营养生长期,但持续时间较短,不利于干物质积累。

不同降解地膜覆盖下棉花干物质分配状况如图3所示。在花期以前, T2、JF、BSF三个处理中生殖器官所占比例高于T1、PE处理;铃期各处理间差异较

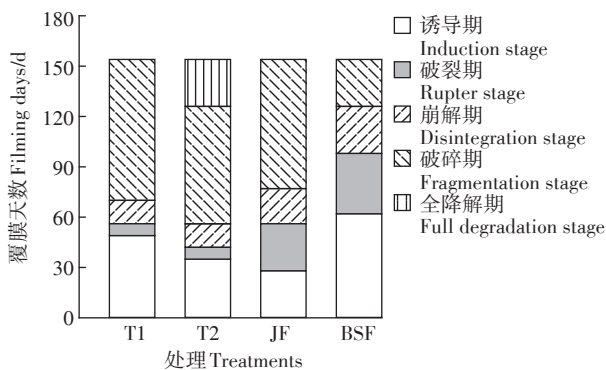


图1 不同生物降解地膜降解进程

Figure 1 Degradation stage about the different biodegradable films

表3 不同生物降解地膜降解率随覆膜天数的变化(%)

Table 3 Changes in degradation rate of different biodegradable films with the filming days(%)

| 处理 Treatments | 30 d        | 60 d        | 90 d         | 120 d       | 150 d       |
|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| T1            | 14.46±0.02a | 16.15±0.05a | 23.62±0.01b  | 35.49±0.01b | 51.60±0.01b |
| T2            | 14.21±0.01a | 20.33±0.01a | 46.84±0.01a  | 62.01±0.01a | 75.71±0.01a |
| JF            | 4.56±0.01b  | 6.81±0.01b  | 14.69±0.01bc | 23.50±0.01c | 44.13±0.02c |
| BSF           | 3.07±0.01b  | 3.31±0.01b  | 8.05±0.01c   | 27.90±0.01c | 43.54±0.01c |
| PE            | 0.65±0.01c  | 0.81±0.01c  | 1.37±0.01d   | 1.42±0.01d  | 1.61±0.01d  |

注:同列不同字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different letters in the same column indicate the significant differences among treatments ( $P<0.05$ ). The same below.

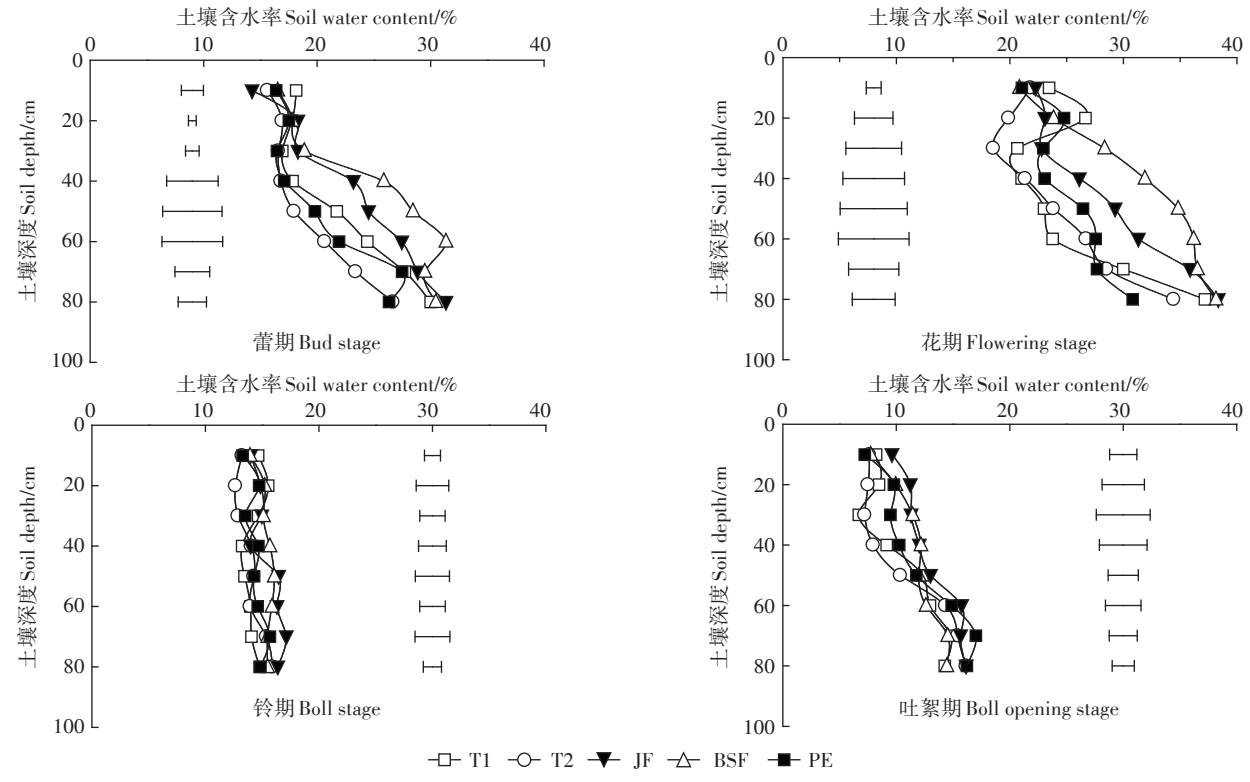


图2 不同生物降解地膜覆盖0~80 cm土壤含水率的变化

Figure 2 Changes of water content of 0~80 cm soil covered by different biodegradable films

表4 棉花地上部干物质积累动态的Logistic 回归方程

Table 4 Logistic regression equation of dry matter accumulation dynamics in cotton shoots

| 处理 Treatments | 方程 Equation                    | $t_0$ /d | $t_1$ /d | $t_2$ /d | $\Delta t$ /d | $V_m/(g \cdot 株^{-1} \cdot d^{-1})$ | $GT/(g \cdot 株^{-1})$ | $R^2$   |
|---------------|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|---------|
| T1            | $Y=67.39/[1+e^{(5.20-0.08x)}]$ | 66       | 49       | 83       | 34            | 1.33                                | 44.40                 | 0.989 0 |
| T2            | $Y=57.59/[1+e^{(5.00-0.08x)}]$ | 59       | 44       | 75       | 31            | 1.21                                | 37.90                 | 0.982 8 |
| JF            | $Y=68.53/[1+e^{(4.69-0.06x)}]$ | 78       | 56       | 100      | 44            | 1.03                                | 45.10                 | 0.980 4 |
| BSF           | $Y=66.20/[1+e^{(4.02-0.06x)}]$ | 70       | 47       | 93       | 46            | 0.95                                | 43.60                 | 0.995 9 |
| PE            | $Y=66.83/[1+e^{(4.35-0.07x)}]$ | 64       | 44       | 83       | 39            | 1.14                                | 44.00                 | 0.997 6 |

注:  $t$ —棉花出苗后天数;  $Y$ —干物质积累量;  $t_0$ —干物质积累最大速率出现的时间;  $t_1$ 和 $t_2$ 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点;  $\Delta t$ —干物质快速积累持续天数;  $V_m$ —干物质最大增长速率;  $GT$ —生长特征值;  $R^2$ —决定系数。

Note:  $t$ —days after emergence;  $Y$ —dry matter accumulation;  $t_0$ —the days of the maximum dry matter accumulation rate occurred;  $t_1$  and  $t_2$  were the two turn dots of Logistic equation;  $\Delta t$ —the continued days of dry matter accumulation;  $V_m$ —maximum increase rate of dry matter;  $GT$ —growth characteristic value;  $R^2$ —the determination coefficient.

小;吐絮期T1、PE处理生殖器官所占比例大幅增加。T2处理降解时间较早,根系发达,吸收养分主要供于营养生长,致使吐絮期生殖器官所占比例最小仅为25%;JF处理进入干物质快速积累时期较晚,营养生长期较长,吐絮期生殖器官占比低于T1处理9.57%;BSF处理进入铃期后各器官占比无明显变化。综上所述,地膜降解过快易导致营养生长旺盛,降低生殖器官所占比例,抑制营养生长,不利于产量形成。

### 2.4 不同生物降解地膜覆盖对棉花产量和水分利用效率的影响

不同降解地膜对籽棉产量及产量构成因素和水

分利用效率的影响如表5所示。覆盖降解地膜会造成产量及水分利用效率的降低,其中T1、BSF处理与PE处理无显著差异( $P>0.05$ ),而T2、JF处理产量及水分利用效率均显著下降( $P<0.05$ ),分析产量构成因素,覆盖降解地膜提高了单铃质量但显著降低了单株结铃数。与PE地膜相比,T2、JF两处理单株结铃数显著下降19.82%、38.06%( $P<0.05$ );BSF处理单铃质量比PE处理高4.58%( $P<0.05$ ),增幅最大,T1、T2、JF与PE处理相比差异不显著( $P>0.05$ ),各处理收获株数及衣分均无显著差异( $P>0.05$ );四种降解地膜与PE地膜相比,产量均有不同程度下降,其中T2、JF两处理产

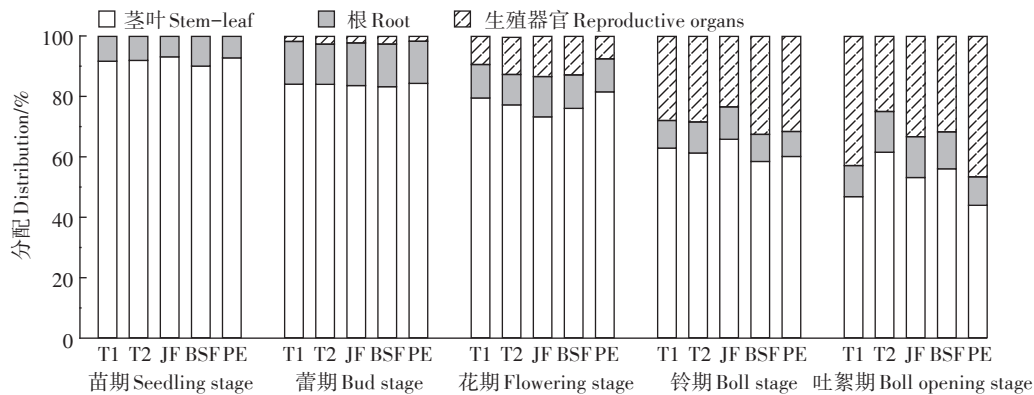


图3 不同生物降解地膜覆盖下棉花干物质分配

Figure 3 Dry matter distribution in cotton organs under different biodegradable films mulching

表5 不同生物降解地膜覆盖对棉花产量及水分利用效率的影响

Table 5 Effects of different biodegradable films mulching on the yield and water use efficiency of cotton

| 处理<br>Treatments | 收获株数/(万株·hm <sup>-2</sup> )<br>Harvest number/<br>(10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> ) | 单株结铃数<br>Boll number<br>per plant | 单铃质量<br>Single boll weight/<br>g | 籽棉产量<br>Seed cotton yield/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 衣分<br>Lint<br>percentage/% | 耗水量<br>ET <sub>a</sub> /mm | 水分利用效率<br>Water use efficiency/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> ) |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| T1               | 18.95±10.26a                                                                                | 3.75±0.29ab                       | 5.30±0.06ab                      | 3.76±0.20ab                                         | 39.21±0.04a                | 755.06±14.06a              | 4.98±0.28ab                                                                 |
| T2               | 17.35±8.88a                                                                                 | 3.56±0.32b                        | 5.34±0.06ab                      | 3.30±0.40bc                                         | 39.88±0.32a                | 756.11±12.38a              | 4.38±0.56bc                                                                 |
| JF               | 19.05±7.51a                                                                                 | 2.75±0.09c                        | 5.10±0.04b                       | 2.61±0.34c                                          | 39.38±0.69a                | 729.57±9.36a               | 3.59±0.49c                                                                  |
| BSF              | 17.55±9.07a                                                                                 | 3.70±0.22ab                       | 5.48±0.18a                       | 3.52±0.05abc                                        | 39.75±0.36a                | 737.09±7.77a               | 4.78±0.11abc                                                                |
| PE               | 19.00±2.85a                                                                                 | 4.44±0.13a                        | 5.24±0.03b                       | 4.41±0.23a                                          | 38.9±0.05a                 | 744.73±13.91a              | 5.91±0.25a                                                                  |

量显著下降,降幅均超过25%( $P<0.05$ )。在耗水量方面,五个处理间差异均未达到显著水平,以致各处理水分利用效率与籽棉产量规律相似。因此,T1、BSF两处理单株结铃数、单铃质量和水分利用效率均与PE处理相近,是可行的代替PE地膜的可降解地膜。

## 2.5 生物降解地膜诱导期时长、土壤含水率、干物质积累与产量的关系

如图4所示,不同生物降解地膜诱导期时长和干物质积累与籽棉产量呈一次线性回归关系,不同生物降解地膜覆盖下土壤含水率与籽棉产量呈二次曲线关系,回归拟合决定系数均高于0.80。生物降解地膜诱导期持续时间越短产量越低。棉花干物质积累与产量呈正相关,即干物质积累越多,产量越高。土壤含水率与籽棉产量无显著相关性( $P>0.05$ )。可见,生物降解地膜适宜的降解时间和较高的干物质积累能提高作物产量。

## 3 讨论

### 3.1 生物降解地膜对棉田土壤水分的影响

生物可降解地膜覆盖对土壤耕作层水分含量有明显的改善作用,可促进棉株生长。曹玉军等<sup>[15]</sup>研究表明降解地膜覆盖下玉米全生育期0~20 cm土层水

分含量小于其他各层,深层土壤含水量较大。董立国等<sup>[27]</sup>研究发现,降解膜过早裂解显著影响玉米土壤水分,尤其在大喇叭口期,100 cm土层土壤水分比PE膜降低13.1%。祖米来提等<sup>[26]</sup>研究表明,地表覆膜时间缩短,棉花生育前期土壤含水量降低,土壤深层水快速消耗,进入铃期后差异逐渐减小。本试验条件下不同降解膜降解速率对棉田土壤水分的影响已表现出相同趋势,T1、T2两处理降解较早,40~80 cm土层水分向耕层运移供给棉花生长,而T2处理在花期已经从破碎期向全降解期转化,水分通过地表大量蒸发,增加无效耗水,无法供应植株正常生长。JF、BSF两处理生育前期地膜降解缓慢,铃期前土壤水分均呈现0~40 cm土层与PE相近、40~80 cm土层高于PE处理的趋势。至铃期后,棉花生长达到需水高峰,植株叶片蒸腾增大,各处理土壤含水量差异较小。可能由于棉花冠层封闭后,日光难以长时间照射土壤表面,叶片水分蒸发成为耗水的主要因素,因此生育后期土壤水分无明显差异。申丽霞等<sup>[22]</sup>对玉米覆盖生物降解地膜研究发现,在生长中后期,随着生物降解地膜逐渐降解,其土壤含水率明显低于普通地膜覆盖处理。本试验发现BSF处理平均含水量高于普通地膜,与其不一致,原因可能是BSF处理降解较晚,生育前期具

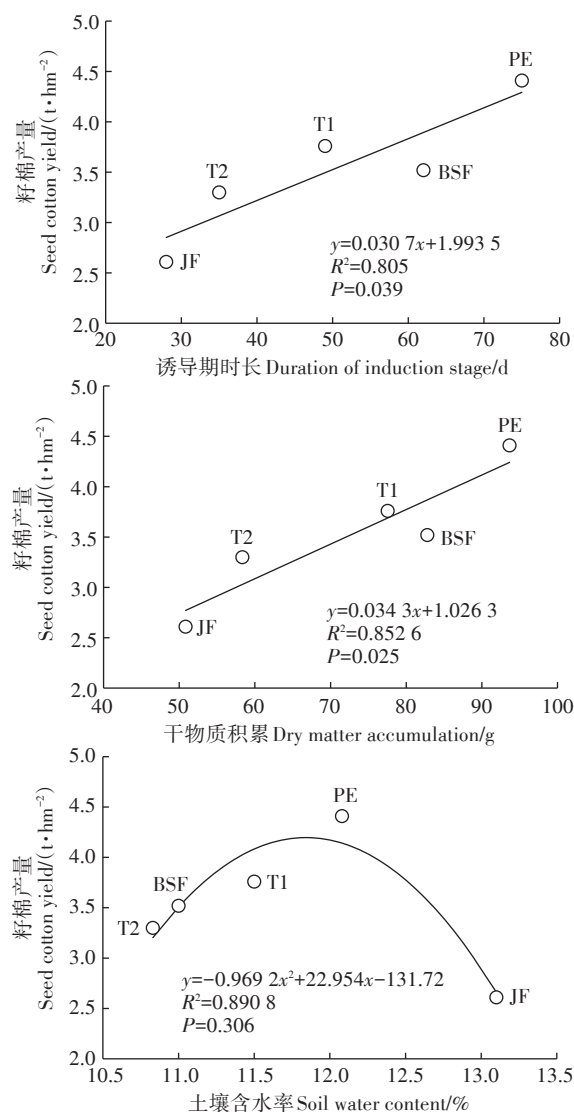


图4 产量随地膜诱导期时长、干物质积累、土壤含水率的变化  
Figure 4 Changes in yield with duration of induction stage, dry matter accumulation, and soil water content

有与PE地膜相当的保水性能,但植株矮小,叶片蒸腾耗水较低,导致土壤水分消耗较少。综合来看,除T2处理外,其余各处理均能起到保持土壤水分、供给棉株生长的效果,因此若要在棉花生产上推广,应选用诱导期较长且进入花铃期后可快速裂解的可降解地膜。

### 3.2 生物降解地膜对棉株干物质积累的影响

干物质积累与分配是影响棉花产量的重要因素之一。张占琴等<sup>[14]</sup>对不同诱导期的降解地膜的研究表明,地膜适时降解有利于干物质积累,而诱导期过短会影响干物质积累。而将干物质积累状况采用 Logistic 生长函数拟合<sup>[28]</sup>后发现,不同降解地膜对干物质的影响在盛蕾期前较小。辛承松等<sup>[29]</sup>研究表明,不

同降解地膜对棉花干物质积累的影响主要体现在花铃期,吐絮期无显著差异。白丽婷等<sup>[30]</sup>研究表明,生物降解地膜可使玉米孕穗期至成熟期干物质积累量高于普通PE地膜。本试验条件下,干物质积累量规律与前人研究结果趋势相近,即除T2处理降解过早外,其他各处理干物质积累量与PE相近。而在干物质分配方面,JF、BSF并未表现出利于生育后期干物质向生殖器官积累的正效应,其原因可能是两处理进入干物质快速积累时期较晚,持续时间较长,吸收养分主要供给棉株的营养生长。综合来看,T1较利于干物质高效积累,而若推广JF与BSF两种降解地膜,还需进一步探究与其降解性能相匹配的棉花品种。

### 3.3 生物降解地膜对棉株产量及水分利用效率的影响

地膜的降解性能不仅可直接影响棉株各生育时期的增温保墒情况,而且间接影响植株的生长及产量<sup>[31]</sup>。战勇等<sup>[32]</sup>研究表明,进入诱导期越早,降解速度和强度越大,最终导致产量下降越明显。本试验中T2处理在蕾期已进入破碎期,地表蒸腾增加,水分利用效率降低,产量也较低。宗睿等<sup>[33]</sup>和戴敬等<sup>[34]</sup>研究表明,覆盖可降解地膜会造成水分利用效率下降,致使产量有所下降,分析其产量构成因素,主要是由于覆盖降解地膜降低了单株结铃数。本试验结果表明,覆盖可降解地膜后单株结铃数和单铃质量均有显著下降,进而造成了籽棉产量下降。JF处理全生育期表现为生长缓慢,在收获期棉铃未能完全发育,单株结铃数及单铃质量均最低。邬强<sup>[16]</sup>在新疆石河子研究提出棉花覆盖可降解地膜水分利用效率与普通地膜无显著差异。本试验结果得出T1和BSF处理与PE没有显著差异,与其研究结果相符,造成这种现象的原因可能为地膜开始降解后仍紧贴地面,还存在一定的保墒性。而T2和JF处理相比PE处理水分利用效率降低了25.8%、39.2%,这与李强等<sup>[35]</sup>研究覆盖生物可降解地膜使玉米的水分利用效率提高了22.26%的结论相悖,造成这种现象的原因可能为不同的降解地膜降解时期与棉花生长规律不匹配。综合产量及水分利用效率来看,在阿克苏地区T1和BSF两种降解地膜与PE地膜一样具有促进棉花生长的效果,但还需进一步探寻与生物降解地膜降解时期相匹配的棉花品种以及配套的水肥管理措施,确保增产增效。

## 4 结论

(1)天壮1号在棉花生育前期膜面完整,保证了植株生长所需水分,进入花期冠层密闭后,开始快速

降解,至收获后已完全裂解成块状,吐絮期生殖器官干物质所占比例为42.89%、籽棉产量为 $3.76\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、水分利用效率为 $4.98\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ ,均与普通PE地膜无显著差异。

(2)天壮2号覆膜后42 d快速降解,无法保证棉花生长发育所需水分,干物质积累量较低,造成低产;金发及巴斯夫降解地膜覆盖下植株生长缓慢,不利于生殖器官干物质积累。

(3)从棉花生长对不同生物降解地膜的响应效果来看,天壮1号较为适合南疆地区环境条件,可代替PE地膜用于棉花生产。

#### 参考文献:

- [1] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.  
YAN Chang-rong, LIU En-ke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(2):95-102.
- [2] 甄健民.梳齿式耕层残膜回收机的设计与试验研究[D].塔里木大学,2019.  
ZHEN Jian-min. Design and test research of rotary tillage nail tooth plastic film recycling machine[D]. Tarim; Tarim University, 2019.
- [3] 石鑫,牛长河,乔园园,等.塑料垃圾分选技术在废旧地膜与杂质分离中的应用研究进展[J].农业工程学报,2016,32(增刊2):22-31.  
SHI Xin, NIU Chang-he, QIAO Yuan-yuan, et al. Application of plastic trash sorting technology in separating waste plastic mulch films from impurities[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(Suppl 2):22-31.
- [4] 杨惠娣.塑料薄膜与生态环境保护[M].北京:化学工业出版社,2000:110-113.  
YANG Hui-di. Farmland plastic film and ecological environment protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000:110-113.
- [5] 赵燕,李淑芬,吴杏红,等.我国可降解地膜的应用现状及发展趋势[J].现代农业科技,2010(23):105-107.  
ZHAO Yan, LI Shu-fen, WU Xing-hong, et al. Application status and development trend of degradable plastic film in China[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010(23):105-107.
- [6] 严昌荣,何文清,梅旭荣,等.农用地膜的应用与污染防治[M].北京:科学出版社,2010:76-86.  
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, MEI Xu-rong, et al. Agricultural application of plastic film and its residue pollution prevention[M]. Beijing: Science Press, 2010:76-86.
- [7] 张景俊,李仙岳,彭遵原,等.河套灌区葵花农田生物地膜覆盖下土壤水-热-氮-盐分布特征[J].生态环境学报,2018,27(6):1067-1075.  
ZHANG Jing-jun, LI Xian-yue, PENG Zun-yuan, et al. The distribution of soil water, temperature, nitrogen and salinity under biofilm mulching in Hetao sunflower field[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(6):1067-1075.
- [8] 金虹,高连兴,刘志侠,等.液态地膜成膜与稳定机械性能研究[J].沈阳农业大学学报,2017,48(5):561-566.  
JIN Hong, GAO Lian-xing, LIU Zhi-xia, et al. Film forming and stable mechanical properties of liquid mulching film[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2017, 48(5):561-566.
- [9] 谭志坚,王朝云,易永健,等.可生物降解材料及其在农业生产中的应用[J].塑料科技,2014,42(2):83-89.  
TAN Zhi-jian, WANG Chao-yun, YI Yong-jian, et al. Biodegradable materials and application in agricultural production[J]. *Plastics Technology*, 2014, 42(2):83-89.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 崔磊,王斌,孙九胜,等.降解地膜降解后对土壤增温保墒及棉花生长的影响[J].新疆农业科学,2018,55(10):1895-1901.  
CUI Lei, WANG Bin, SUN Jiu-sheng, et al. Effect of degradation plastic film mulch on soil temperature soil moisture conservation and cotton growth[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(10):1895-1901.
- [13] 周昌明.地膜覆盖及种植方式对土壤水氮利用及夏玉米生长、产量的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.  
ZHOU Chang-ming. Effect of different environmental films mulching and cropping patterns on soil water and nitrogen utilization and summer maize growth[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [14] 张占琴,闫紫薇,杨相昆,等.不同降解地膜降解性能及棉花应用效果研究[J].西南农业学报,2018,31(6):1185-1189.  
ZHANG Zhan-qin, YAN Zi-wei, YANG Xiang-kun, et al. Degradation property of various degradable plastic film and application effect on cotton field[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(6):1185-1189.
- [15] 曹玉军,魏雯雯,徐国安,等.半干旱区不同地膜覆盖滴灌对土壤水、温变化及玉米生长的影响[J].玉米科学,2013,21(1):107-113.  
CAO Yu-jun, WEI Wen-wen, XU Guo-an, et al. Effects of different plastic film mulching drip irrigation on soil water, temperature change and maize growth in semiarid areas[J]. *Journal of Maize Science*, 2013, 21(1):107-113.
- [16] 郭强.可降解膜覆盖对滴灌棉花土壤水热盐及作物生长的影响及机理研究[D].石河子:石河子大学,2018.  
WU Qiang. Effect of degradable film mulching on soil hydrothermal salt distribution and cotton growth and mechanism with drip irrigation in typical oasis region[D]. Shihezi: Shihezi University, 2018.
- [17] 王斌,万艳芳,王金鑫,等.PBAT型全生物降解地膜对新疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响[J].农业环境科学学报,2019,38(1):148-156.

- WANG Bin, WANG Yan-fang, WANG Jin-xin, et al. Effects of PBAT biodegradable plastic mulch film on soil physical and chemical properties and yields of cotton and maize in southern Xinjiang, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(1):148-156.
- [18] 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):54-60.
- 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):54-60.
- [19] 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1):10-14.
- YANG Yu-jiao, HUANG Zhan-bin, YAN Yu-min, et al. Effects on temperature and moisture of soil and seedling of maize to biodegradable film coverage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl 1):10-14.
- [20] 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 Tuergen, 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Matus H, Olga K. Comparison of TDR and X-ray method for determining moisture transport parameters[J]. *Energy Procedia*, 2017, 132:723-728.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 祖米来提·吐尔干, 林涛, 严昌荣, 等. 地膜覆盖时间对新疆棉田水热及棉花耗水和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(11):113-120.
- ZUMILAITI Tuergen, LIN Tao, YAN Chang-rong, et al. Effects of plastic film mulching duration on soil temperature and moisture in field and cotton water consumption and yield in Xinjiang[J]. *Transactions of the CSAE*, 2018, 34(11):113-120.
- [27] 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 Agriculture*, 2016, 6(4):66-69.
- [28] 张占琴, 魏建军, 战勇, 等. 不同可降解地膜对棉花生理及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(10):1947-1951.
- ZHANG Zhan-qin, WEI Jian-jun, ZHAN Yong, et al. Effects of different degradable plastic film on yield and physiology of cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47(10):1947-1951.
- [29] 辛承松, 罗振, 唐薇, 等. 生物降解地膜对盐碱地棉花生长发育和产量的影响[J]. 中国棉花, 2017, 44(11):8-11.
- XIN Cheng-song, LUO Zhen, TANG Wei, et al. Effects of mulching with biodegradable plastic film on growth and yield of cotton in coastal saline fields[J]. *China Cotton*, 2017, 44(11):8-11.
- [30] 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.
- [31] 王鑫, 胥国斌, 任志刚, 等. 无公害可降解地膜对玉米生长及土壤环境的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1):78-81.
- WANG Xin, XU Guo-bin, REN Zhi-gang, et al. Effects of environment-friendly degradable films on corn growth and soil environment[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1):78-81.
- [32] 战勇, 魏建军, 杨相昆, 等. 可降解地膜的性能及在北疆棉田上的应用[J]. 西北农业学报, 2010, 19(7):202-206.
- ZHAN Yong, WEI Jian-jun, YANG Xiang-kun, et al. Characteristics of degradable plastic film and application in north Xinjiang cotton field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(7):202-206.
- [33] 宗睿, 马玉诏, 高超, 等. 不同地膜覆盖对夏玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12):31-35.
- ZONG Rui, MA Yu-zhao, GAO Chao, et al. Effect of different film mulching on yield and water use efficiency of summer maize[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(12):31-35.
- [34] 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.
- [35] 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.