

山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究

杨振兴, 周怀平, 解文艳, 刘志平, 何文清, 刘琪, 王悦

引用本文:

杨振兴, 周怀平, 解文艳, 刘志平, 何文清, 刘琪, 王悦. 山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究[J]. *农业环境科学学报*, 2022, 41(6): 1307-1315.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1275>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

PBAT型全生物降解地膜对南疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响

王斌, 万艳芳, 王金鑫, 孙九胜, 王新勇, 槐国龙, 孔立明

农业环境科学学报. 2019, 38(1): 148-156 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0259>

地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响

唐文雪, 马忠明

农业环境科学学报. 2018, 37(1): 114-123 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0500>

降解地膜对南疆棉田土壤水热及棉花产量的影响

吴凤全, 林涛, 祖米来提·吐尔干, 邓方宁, 尔晨, 何文清, 汤秋香

农业环境科学学报. 2018, 37(12): 2793-2801 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0740>

地膜对农田土壤及玉米籽粒邻苯二甲酸酯累积状况的影响

李瑾, 周涛, 张扬, 李留标, 李崇霄, 曹靖

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1767-1773 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0038>

不同地膜覆盖对土壤环境及芊苻生长的影响

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 郑宪清, 李双喜, 张娟琴, 何宇, 吕卫光

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2569-2577 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0476>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

杨振兴, 周怀平, 解文艳, 等. 山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(6): 1307–1315.

YANG Z X, ZHOU H P, XIE W Y, et al. Effects of different types of mulching film on millet yield and their degradation properties in dry farming area of Shanxi Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(6): 1307–1315.



开放科学 OSID

山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究

杨振兴¹, 周怀平^{1*}, 解文艳¹, 刘志平¹, 何文清², 刘琪², 王悦²

(1. 山西农业大学资源环境学院, 太原 030031; 2. 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:为了研究山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及其降解性能,在山西省朔州市布置地膜覆盖试验,设4个处理[普通地膜(PE)、PLA/PBAT复合型降解地膜(PP)、PBAT全生物降解地膜(PB)、不覆膜(LD)]。结果表明:与不覆膜相比,地膜覆盖使谷子产量平均增长32.6%,但覆膜处理间差异不显著。随着覆盖时间的增加,2种可降解地膜水蒸气透过量显著增加,表现为PB膜>PP膜>PE膜。力学性能(拉伸强度、撕裂强度和断裂标称应变)显著下降,表现为PE膜>PP膜>PB膜,微观形态和化学结构变化显著,普通地膜变化不明显,微观表面粗糙度表现为PB膜>PP膜>PE膜。PB膜在保障谷子产量的同时降解效果最佳,农田残留最少,覆膜150 d后降解率达到74.8%,降解残片以<2 cm²和2~5 cm²的中小规格为主。从谷子产量、地膜物理性能、化学结构和降解残留度等方面综合评价,PBAT全生物降解地膜在确保谷子产量的同时具有良好的降解效果,可作为PE膜的替代品应用于晋北地区旱地谷子生产中。

关键词:谷子产量;可降解地膜;降解性能;降解率

中图分类号:S515 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)06-1307-09 doi:10.11654/jaes.2021-1275

Effects of different types of mulching film on millet yield and their degradation properties in dry farming area of Shanxi Province, China

YANG Zhenxing¹, ZHOU Huaiping^{1*}, XIE Wenyan¹, LIU Zhiping¹, HE Wenqing², LIU Qi², WANG Yue²

(1. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To study the effects of different types of mulching film on millet yield and their degradation performance in a dry farming area of Shanxi Province, a mulching experiment was carried out in Shuzhou, Shanxi Province. Four treatments [PE, PLA/PBAT complex type degradable mulch (PP), PBAT biodegradable mulch (PB), and no mulch (LD)] were set up. Results showed that the yield of millet under mulching increased by an average of 32.6% compared with that without mulching; however, there was no significant difference between mulching treatments. With an increase in mulching time, the water vapor transmittance of the two degradable mulching films increased significantly in the order: PB film > PP film > PE film. Mechanical properties (tensile strength, tear strength, and fracture nominal strain)

收稿日期:2021-11-05 录用日期:2022-02-18

作者简介:杨振兴(1981—),男,山西五台人,硕士,副研究员,主要从事旱作农田水肥高效利用研究。E-mail: yang1981che@163.com

*通信作者:周怀平 E-mail: huaipingzhou@126.com

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1900705);山西省农业科学院农业科技创新研究项目(YCX2020425);山西省青年科技研究基金项目(201901D211557);山西省农业科学院博士研究基金项目(YBSJJ2012)

Project supported: National Key Research and Development Program of China (2021YFD1900705); Agricultural Science and Technology Innovation Research Project of Shanxi Academy of Agricultural Sciences (YCX2020425); Youth Science and Technology Research Foundation of Shanxi Province (201901D211557); Doctoral Research Fund of Shanxi Academy of Agricultural Sciences (YBSJJ2012)

decreased significantly in the order: PE film > PP film > PB film. Changes of microstructure and chemical structure were significant, but was not obvious in the ordinary plastic film. Surface roughness was in the order: PB film > PP film > PE film. The degradation rate of PB film reached 74.8% after 150 days of mulching, and the degradation debris of less than 2 cm² and 2~5 cm² were the main size. From the comprehensive evaluation of millet yield, physical properties, chemical structure, and degradation residual degree of film, PBAT fully biodegradable mulching film has good degradation effects on millet yield and can be used as a substitute for PE film in dryland millet production in northern Shanxi Province.

Keywords: millet yield; degradable plastic film; degradation property; degradation rate

地膜是我国农业生产中重要的物质资料之一,具有保墒增温、促进作物生长的作用,可提高粮食单产20%~30%^[1],对保障我国粮食安全作出了重大贡献。目前,我国高寒冷凉、干旱及半干旱区域的地膜覆盖面积近2 000万hm²^[2-3]。然而,地膜的原材料大部分为聚乙烯材质,其化学结构稳定^[4],在土壤中无法进行分解,因此,造成了大量物质残留,地膜污染问题随着覆盖年限的延长而越发严重^[5-6]。生物降解地膜最终分解后将成为不会对环境产生恶劣影响的低分子化合物及其掺混物,因此受到国内外学者的广泛关注,也成为解决地膜污染问题的主要途径之一。因此,开展降解材料改性合成及在不同地域生物降解地膜应用研究,对我国农业生产具有重要指导意义。目前,关于降解材料的改性^[7]、合成^[8]、降解产品研发^[9]都有相关研究报道,王贵林等^[10]将羟基磷灰石(HA)用硅烷偶联剂KH570处理后与PPC共混,制成了生物相容性好、可生物降解的复合材料。陈小英等^[11]的研究表明,使用聚乳酸(PLA)与聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)合成时,随着PLA用量的增加,PBAT/PLA共混物的拉伸强度明显提高,断裂伸长率下降。杨冰等^[12]研究发现,PBAT/PLA共混材料在PLA含量低于70%时,可以实现较好的吹膜过程,且薄膜材料的拉伸强度为39.59 MPa,断裂伸长率不低于137%。田间降解地膜应用效果研究主要集中在地膜覆盖对土壤水热变化及作物增产的影响^[13-14],邓路等^[15]的研究结果显示,不同类型地膜处理较不覆膜均可显著提高作物生物量,而覆膜处理间生物量有差异但不显著,土壤含水量与土壤温度会随着生物地膜的降解与PE膜差异变大。当前,针对山西旱作区不同类型降解地膜田间降解化学结构变化、物理指标以及微观形态变化研究较为缺乏,特别是在谷子这一作物上的研究更是极少涉及。本研究在山西旱作区以谷子为种植作物,结合扫描电镜(SEM)、傅里叶红外光谱(FT-IR)等理化结构分析,研究不同类型地膜降解过程,明确降解地膜的区域耐候性,为筛选适宜本区域使用的

降解地膜类型提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与试验设计

试验布设在山西省朔州市红旗农牧场(39°12' N、112°25' E),该区域属温带大陆性季风型气候,年均气温7.3℃。全年日照时数2 862.6 h,无霜期100~140 d。年平均降水量435.1 mm,全年降水少且分配不均,蒸发量大,风沙大,干旱发生一般三年两遇。试验区属典型雨养旱作区,无灌溉条件。

不同类型地膜试验于2020年布置,共设计4个处理,分别为覆盖3种不同类型地膜处理和不覆膜处理(LD),地膜类型分别是普通地膜(PE,主成分为PE,宽800 mm,厚0.006 mm,山西民生塑料制品有限公司生产),复合型降解型地膜(PP,主成分为PLA/PBAT,宽800 mm,厚0.008 mm,山东天壮环保科技有限公司生产),全生物降解型地膜(PB,主成分为PBAT,宽800 mm,厚0.008 mm,通过将PBAT、有机改性蒙脱土、可降解阻水剂、有机物添加剂、无机物添加剂根据配方比例混匀后在150~170℃下挤出造粒,得到改性母粒,将制备的改性料通过吹膜机吹膜,得到自制PBAT全生物降解薄膜)。考虑到机械覆膜作业方便,小区采用大区设计,每个处理面积667 m²,样品采集时将处理小区等分为3个列区作为重复。各试验处理施肥量一致,为750 kg·hm⁻²,播种前将复合肥进行撒施,旋耕镇压后覆膜穴播,播种密度为42万株·hm⁻²,谷子品种为晋谷59号。

1.2 测定项目与方法

谷子产量测定。谷子成熟后,各处理等分为3个列区,每个列区取20 m²的谷穗,进行晾晒脱壳称质量,估算单位面积籽粒产量。

地膜样品采集。根据不同降解时期,在每个覆膜处理中采用25 cm×20 cm定制不锈钢方框进行地膜样品采集,随机选取3个单位面积内的地膜样品沿不锈钢方框进行切割、剥离、清洗、晒干,根据试验指标

对样品进行物理和化学分析。

水蒸气透过量测定。采用水蒸气透过率测试仪(W3/060 PERME, Labthink 中国)测定试样在 24 h 内透过的水蒸气量。

力学指标测定。采用电子万能试验机(AG-1, Zwick/Roell Germany)测定宽 15 mm、长 100 mm 的试样,具体方法参照 GB/T 1040.1—2006。

电镜扫描测定。采用扫描电镜(SU-8010, Hitachi, Japan)测定宽 4 mm 的试样,对样条表面进行喷金处理,在加速电压为 20 kV,工作距离为 5~7 mm 下进行观测。

化学结构测定。采用全反射傅里叶变换红外显微镜(FTS2000, Digilab, America)测定,取烘干试样平铺于检测支架上,设定扫描范围 600~4 000 cm^{-1} ,分辨率 4 cm^{-1} 下进行显微镜检测。采用全自动 X 射线衍射仪(Cary60, Agilent, America)测定,设定波长 0.154 nm,电流 20 mA,扫描速度 8°· min^{-1} 下检测。

酸值测定。称取 0.1 g 碎片状薄膜溶于 20 mL 三氯甲烷中,在 65 °C 油浴锅中加热回流使其完全溶解,冷却至室温后将其中的杂质色过滤,向其中滴入 3 滴溴酚蓝指示剂,然后用已经标定好的 0.047 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠/乙醇溶液(邻苯二甲酸氢钾标定)滴定,溶液颜色由黄色变为蓝色且 30 s 不变色则视为滴定终点,读取消耗的滴定液的体积。

碎片统计与降解率计算。分别在 0、30、60、90、150 d 在每个覆膜处理中随机选取长 25 cm、宽 20 cm 单位面积内的地膜样品,进行清洗晒干后,对地膜碎片进行分类计数(<2、2~5、5~10、>10 cm^2)并称质量。通过以下公式计算降解率:

$$\text{地膜降解率} = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100\%$$

式中: m_0 为覆膜前地膜质量, g; m_1 为收获后地膜质量, g。

1.3 数据处理与分析

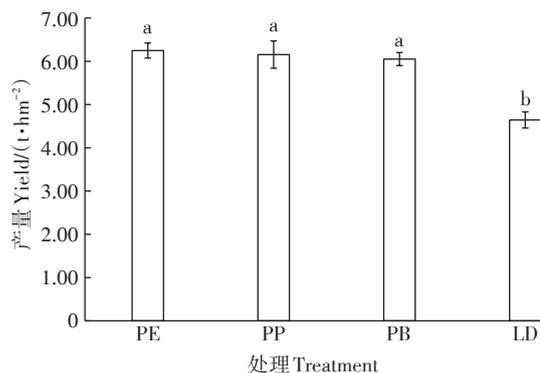
采用 Excel 2016 进行数据处理和图表制作,红外光谱图采用 Origin 9.0 进行制作,采用 SPSS 19 软件进行数据方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同地膜覆盖对谷子产量的影响

地膜覆盖对于作物产量有着显著的增产效果。由图 1 可以看出,覆 PE、PP、PB 膜后,谷子籽粒产量分别为 6.25、6.16、6.05 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,较不覆盖处理分别增产

34.7%、32.7% 和 30.3%。覆膜各处理谷子籽粒产量均显著高于不覆盖处理($P < 0.05$)。而从覆膜各处理间籽粒产量结果来看,不同类型地膜处理间产量并无显著性差异。原因在于不同类型地膜前期均可以有效提高谷子苗期土壤温度和保持土壤水分,促进作物生长发育,而到谷子封垄后,虽然 PP、PB 类型降解地膜开始裂解,增温保墒作用减弱,但对作物后期生长和籽粒产量影响不明显。



不同小写字母表示地膜处理间差异显著($P < 0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant difference among mulching treatments($P < 0.05$). The same below

图 1 2020 年不同覆膜处理对谷子产量的影响

Figure 1 Effects of different film mulching treatments on millet yield in 2020

2.2 不同地膜水蒸气透过量和力学性能的变化

水蒸气透过量是测试地膜保水性能的重要指标,从图 2 可以看出,PE 膜具有较好的保水性与稳定性,水蒸气透过率覆膜初期为 64.97 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,覆膜 150 d 水蒸气透过率为 200.57 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。PP 膜与 PB 膜受材质影响,覆膜初期水蒸气透过率分别为 789.72、851.20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,随着覆膜时间的增加,地膜保水性能逐渐减弱,水蒸气透过率随之增大,PP 膜铺设 150 d 后,水蒸气透过率达到 971.82 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,而 PB 膜铺设 90 d 后水蒸气透过率为各处理最高,达到 1 203.33 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,且 90 d 后采集的样品不再具备测试条件。从不同采样时期水蒸气透过率来看,PP 膜与 PB 膜水蒸气透过率均显著高于 PE 膜($P < 0.05$)。

从拉伸强度指标来看,PP 膜和 PB 膜具有良好的塑性变形的应力,PP 膜在覆膜初期拉伸强度为各类型地膜中最高,达到 53.77 MPa,PE 膜拉伸强度最低,为 27.95 MPa。随着覆膜时间的增加,各类型地膜拉伸强度均出现不同程度的降低,PE 膜较为稳定,随着时间的增加发生的改变较小。PP 膜铺设 150 d 后,拉伸强度较试验初降低了 38%,PB 膜变化最为明显,随

随着覆膜时间的增加,材质降解程度加大,拉伸强度衰减严重,在覆膜90 d后,拉伸强度较覆膜初降低了66%,且后期采集的样品不再具备测试条件。

从撕裂强度指标可以看出,PE膜撕裂强度为各类型地膜中最高,覆膜初期为152.21 kN·m⁻¹,PB膜撕裂强度最低,为110.81 kN·m⁻¹。各类型地膜撕裂强度随着覆膜时间的增加,材料强度均出现衰减,PP膜铺设150 d后撕裂强度较试验初降低了51%。PB膜铺设90 d后撕裂强度较试验初降低了41%,且后期采集的样品不再具备测试条件。PE膜最为稳定,并没有随着时间的变化发生明显的改变。

从断裂标称应变指标来看,各类型地膜测定结果变化趋势与撕裂强度变化趋于一致。PE膜断裂标称应变率为各类型中最高,且较为稳定,PP膜与PB膜随着覆膜时间的增加,在试验后期出现较为明显的降低。

2.3 不同类型地膜电镜扫描与化学结构变化

通过电镜扫描发现(图3),各类型地膜在覆盖初期材料表面较为平滑,材料间相容性较好,结构均匀密实。随着覆膜时间的增加,各类型地膜发生了不同程度的变化,PE膜由于主要成分为聚乙烯,材料合成后无显著变化,覆膜前后电镜图照片基本一致,PP膜为PLA和PBAT合成,在60 d后细微裂纹出现增多,

随后结构表面变得粗糙,出现了不均匀的碎片,直径在0.2~2.0 μm之间,但整体结构还保持完整,在覆膜150 d后降解现象不明显。PB膜主成分为PBAT,添加了自制的助剂,在降解效果上显著优于PP膜,在覆膜30 d后,材料出现裂纹,随后出现结构分层,随着覆膜时间的增加,材料出现了大量的孔洞和片状物质,在覆膜150 d后基本裂解,残留物较少。3种地膜的降解结果呈现出PB膜>PP膜>PE膜,这与力学性能指标结果相一致。

从红外光谱图可以看出(图4),不同材质的地膜在降解前后的化学结构不同。铺膜0 d时,PP膜处理在728 cm⁻¹处的吸收峰为—CH₂—平面摇摆振动吸收峰,在1 268~1 101 cm⁻¹之间的吸收峰是由C—O—C基团的伸缩振动引起的,在1 713 cm⁻¹处的吸收峰为羰基特征峰(C=O),在2 954 cm⁻¹处的吸收峰是由甲基、亚甲基和次甲基的对称与不对称伸缩振动引起的。在铺膜150 d时,PP膜在1 713 cm⁻¹处的吸收峰面积随着降解的进行明显减小,说明材料中的酯键含量降低,这可能是由于酯键在降解过程中发生水解。PB膜处理铺膜0 d时,在2 954 cm⁻¹附近的吸收峰对应C—H亚甲基吸收峰,在1 714 cm⁻¹附近的吸收峰对应C=O羰基收缩振动峰,在1 268 cm⁻¹和1 103 cm⁻¹

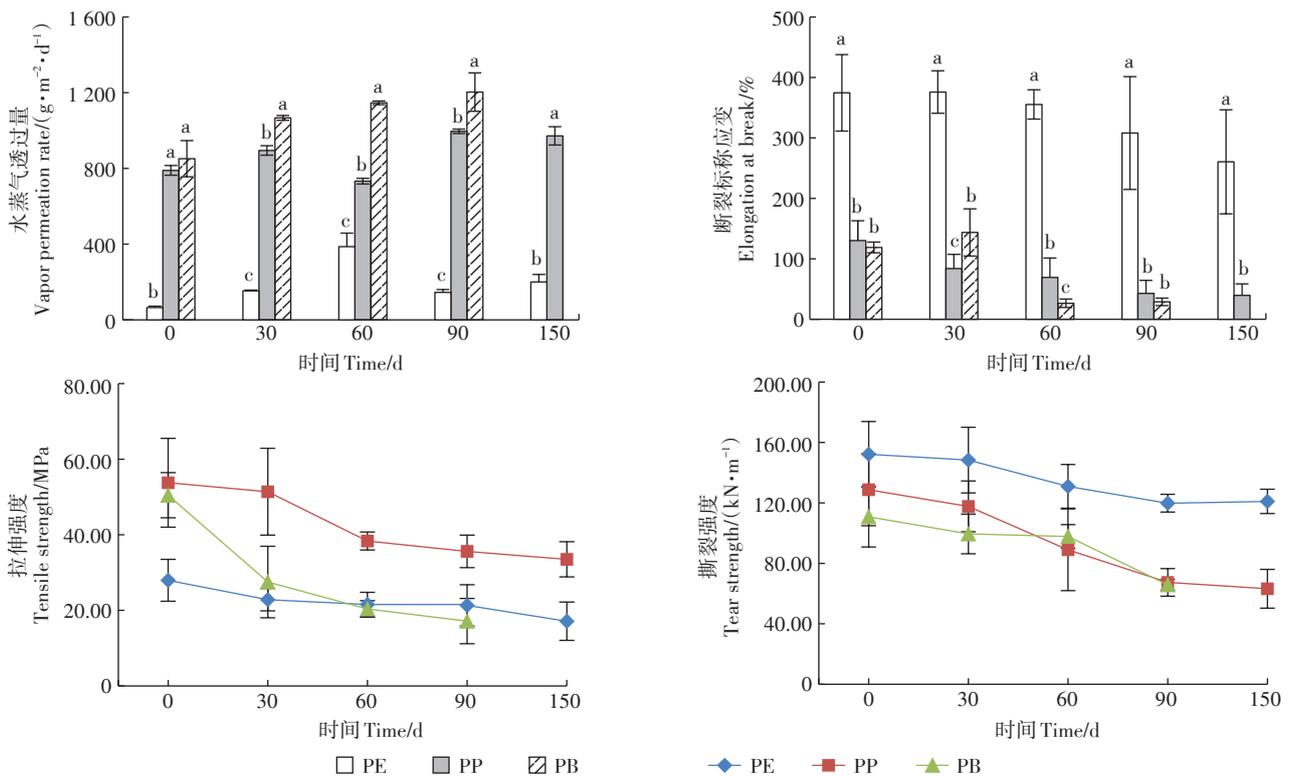


图2 不同类型地膜水蒸气透过量与力学性能变化

Figure 2 Changes of water vapor transmission and mechanical properties of different types of mulch film

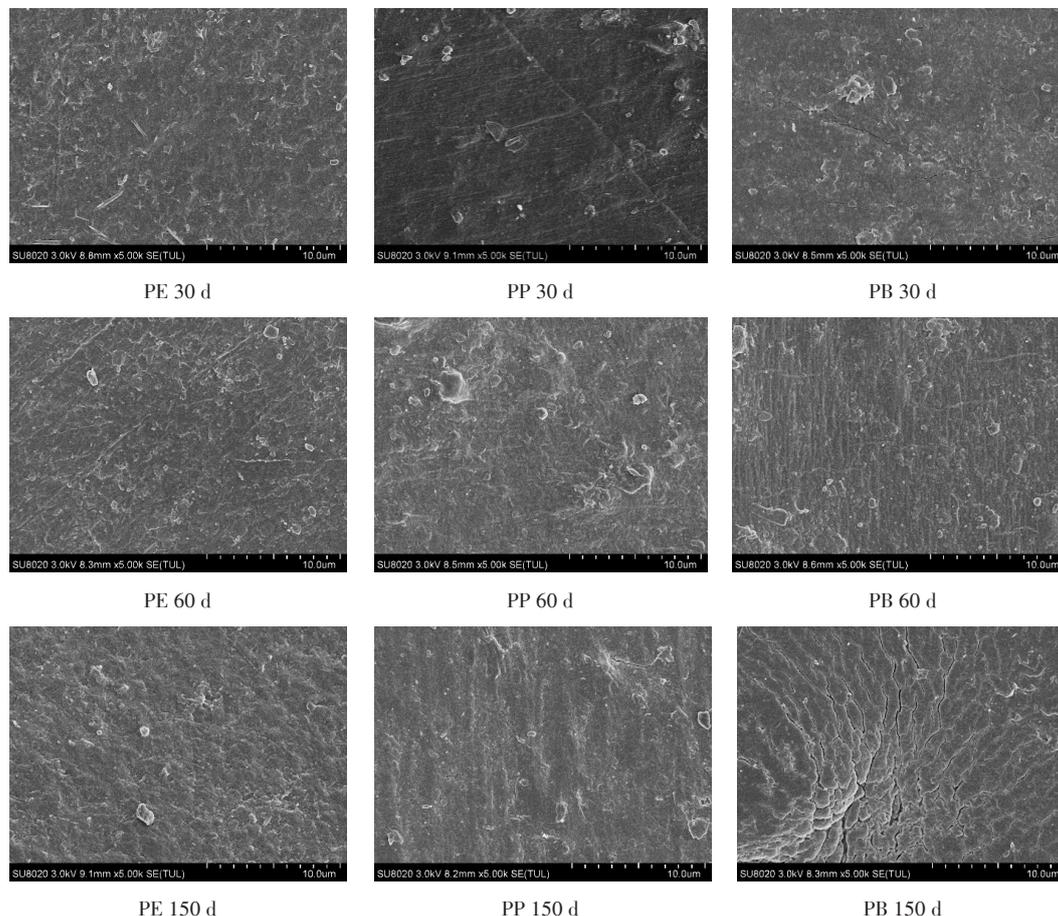


图3 不同类型地膜在不同时期的电镜扫描图

Figure 3 Scanning electron microscope (SEM) of different types of plastic film in different periods

附近的吸收峰对应C—O—C基团的伸缩振动峰,在 729 cm^{-1} 附近的吸收峰对应二取代苯环上的C—H弯曲振动峰。在铺膜150 d时,PB地膜处理在 $1\ 714\sim 1\ 103\text{ cm}^{-1}$ 内的C=O吸收峰和C—O—C吸收峰强度明显减弱,这可能是由于C=O和C—O—C基团在降解过程中发生水解。同时PB膜处理在 $2\ 954\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\ 470\text{ cm}^{-1}$ 附近的C—H振动峰强度明显增强,这可能是由于PB膜水解产生了大量的C—H。

从X射线图可以看出(图5),PP膜中含有PLA和PBAT两种不同类型的材质,因此与以PBAT为主成分的PB膜在结晶度上出现差异,两种不同类型降解地膜的结晶度都呈现出先升高后降低的变化趋势,结晶度增加主要由于PBAT在易于降解的非晶区发生断链,可释放先前缠解在非晶区中的聚合物链,断链的PBAT可以进行结晶相重组,而随着PBAT交联结构断裂和分子链进一步断链,结晶度又逐渐降低。而随着覆膜时间的增加,PB膜的主要结晶峰较覆膜初期有所增加,也与PBAT材质在非晶区断链重组有关。

2.4 不同类型地膜田间降解及残留率

地膜碎片是反映地膜降解性能的直观指标。由表1可以看出,不同类型的地膜碎片规格和数量差异很大,PE膜主要材质为聚乙烯,分子结构稳定,在覆膜的各个阶段都能保持膜面的完整,除收获期有个别破损,其他阶段都为一张整膜。不同类型降解地膜由于合成材质有所区别,降解时间和碎片数量出现较大差异。PP膜在60 d开始出现少量碎片,2、2~5、5~10、>10 cm^2 的碎片占总数的比例分别为0、0、50%和50%,在覆膜90 d时,各规格碎片占总数的比例分别为30.7%、38.5%、15.4%和15.4%,在覆膜150 d后,各规格碎片占总数的比例分别为39.1%、34.7%、13%和13%。PB膜从30 d开始产生碎片,2、2~5、5~10、>10 cm^2 的碎片占总数的比例为0、55%、22%和22%,在覆膜60 d时,各规格碎片占总数的比例分别为59.5%、21.6%、10.8%和8.1%,随着覆膜时间的增加,PB膜破碎程度加重,在覆膜150 d时,2、2~5、5~10、>10 cm^2 的碎片占总数的比例为70.3%、16.7%、

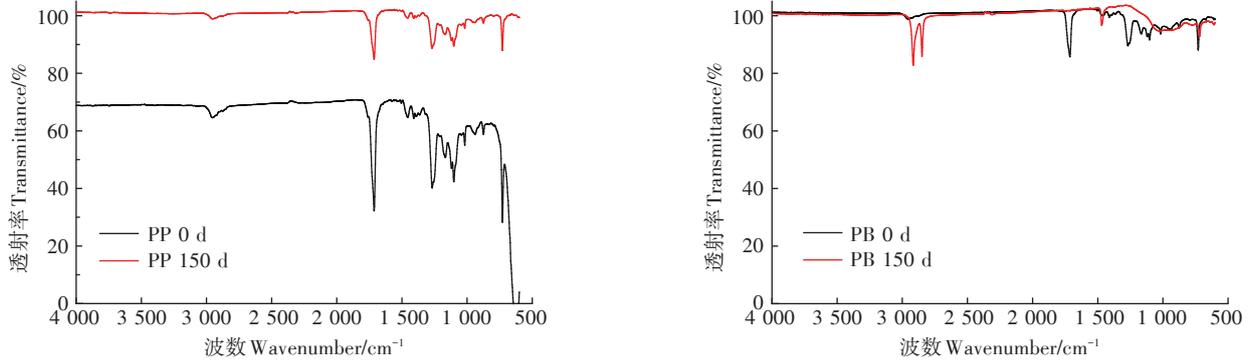


图4 不同降解地膜傅里叶红外光谱图

Figure 4 Fourier infrared spectra of different degradable mulch films

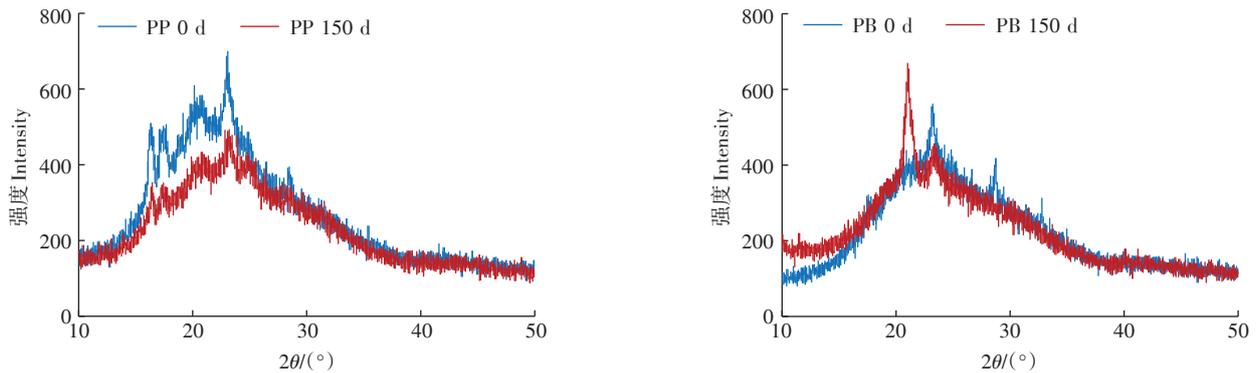


图5 不同降解地膜X射线衍射曲线

Figure 5 X-ray diffraction curves of different degradable mulching films

表1 不同时期降解地膜碎片规格和数量

Table 1 Specifications and quantity of degradable plastic film fragments in different periods

覆盖时间/d Time/d	PE				PP				PB			
	2 cm ²	2~5 cm ²	5~10 cm ²	>10 cm ²	2 cm ²	2~5 cm ²	5~10 cm ²	>10 cm ²	2 cm ²	2~5 cm ²	5~10 cm ²	>10 cm ²
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
30	0	0	0	1	0	0	0	1	0	5	2	2
60	0	0	0	1	0	0	2	2	22	8	4	3
90	0	0	0	1	4	5	2	2	48	15	7	5
150	0	0	1	1	9	8	3	3	97	23	18	0

13%和0%。由此可见,不同类型降解地膜处理碎片会随着覆膜时间的延长而增加,均以中小规格为主, PB膜的碎片明显多于PP膜的。

酸值是反映可降解地膜水解程度的重要指标, PBAT材料在降解过程中会结合环境中的水分,在微生物的作用下发生水解,产生—COOH^[16]。由图6可以看出,不同类型的降解地膜在降解过程中酸值均出现先上升后下降的趋势,两种降解地膜在覆盖60 d时酸值均达到最高,主要原因在于降解初期地膜在自然环境中水解,高分子链断裂成多个长短不一的分子链,环境中水分与材料中的酯键结合水解产

生—COOH,所以酸值上升速度较快。在地膜铺设后期,酸值有所降低,原因在于地膜在降解过程中聚酯断裂会出现断裂重排,非晶态的结构已经降解完全,同时材质发生交联,导致水解产生的—COOH减少,进而酸值下降。PB膜由于原材料主要是PBAT材质,较PP膜含有更多的酯键以及亲水基团,因此酸值要高于PP膜,同时降解能力优于PP膜。

通过地膜降解率可以看出(图7),PE膜几乎没有降解,降解率仅为2.3%,PP膜和PB膜降解率显著高于PE膜。不同类型降解地膜的降解率各有差异,PP膜在自然条件下降解效果较弱,覆膜90 d才开始出现

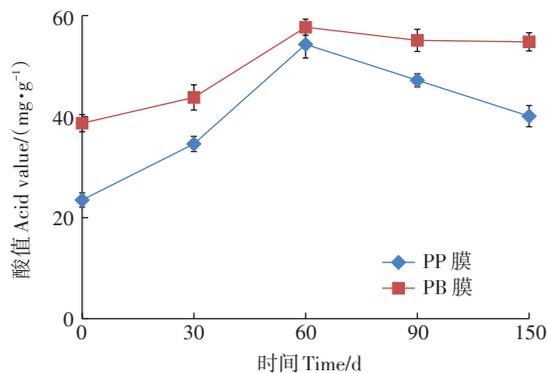


图6 地膜不同降解时间后酸值

Figure 6 Acid value of mulch film after different degradation time

大面积裂解,覆膜 150 d 后降解率为 33.6%,而 PB 膜在覆膜 30 d 开始出现裂解,随着覆膜时间的增加,PB 膜的质量损失率逐渐增加,降解趋势明显,覆膜 150 d 后,PB 膜降解率达到最高,为 74.8%。生物降解地膜主要通过光、水分以及微生物进行降解,根据作物生长需求,通过调节光敏剂含量,向高分子聚合物链上引入羰基型光敏基团,从而赋予其光降解特性,本研究中 PP 膜与 PB 膜均在 1 713~1 714 cm⁻¹ 处出现羰基特征峰(C=O),羰基含量越高,降解速率越快。水分对降解地膜影响较大,当聚合物主链断裂形成低相对分子质量化合物时,环境中水分与材料中的酯键结合水解产生-COOH,PP 膜主要是材料中 C=O 发生水解,PB 膜从自身化学结构上要优于 PP 膜,主要是材料中 C-O-C 和 C=O 发生水解,产生了大量 C-H,从而容易被分解。对于当季没有完全降解的 PB 膜,其翻耕到土层中也很快会被土壤微生物所分解,因此 PB 膜更适宜于山西省朔州旱区应用。

2.5 不同类型地膜成本及效益分析

成本是影响可降解地膜应用推广的重要因素,由表 2 可见,PE 膜由于吹膜厚度低于 PP、PB 膜,因此,地膜用量较两种降解地膜减少 22.5 kg·hm⁻²。同时,PE 膜市场化程度高,生产成本低,地膜使用成本分别较 PP、PB 膜减少 825、975 元·hm⁻²。但是,覆盖 PE 地

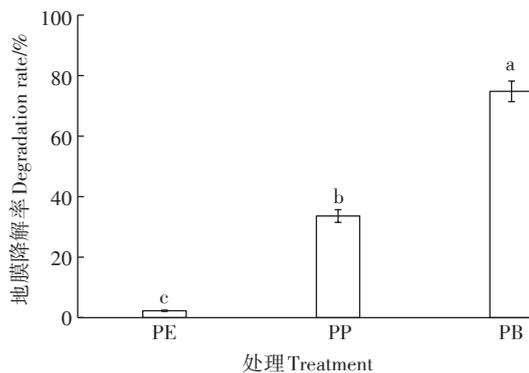


图7 不同类型地膜降解率

Figure 7 Degradation rate of different types of mulch film

膜地块,收获后还需进行地膜捡拾回收,每公顷需要增加 22.5 个单位的人工成本,以市场价每人 100 元·d⁻¹ 计算,地膜回收较其他处理需多支出 2 250 元·hm⁻²。2020 年谷子收购价为 3.6 元·kg⁻¹,因此得出,不覆盖种植收益最低,为 16 716.76 元·hm⁻²,覆膜各处理去除成本后,PP 膜与 PB 膜处理收益均高于 PE 膜处理。因此,无论从农田环境保护,还是经济效益来看,使用降解地膜是促进农业可持续发展的有利措施。

3 讨论

随着材料合成技术的提升,可降解地膜的增温保墒效果与 PE 膜越来越接近,作物产量也与其基本相当,钱亚光等^[17]的研究表明,6 种不同类型降解地膜与普通地膜处理下玉米产量无显著差异,较不覆盖处理玉米产量平均提高 15.22%。胡宏亮等^[18]的研究表明,使用 PBAT 为主要降解材料的地膜可较普通地膜玉米增产 10% 以上。本试验结果表明,覆膜可以显著提高作物产量,较不覆盖处理平均增产 32.6%,不同类型降解地膜谷子产量与 PE 膜处理间无显著差异。受气候环境、合成技术以及作物种类影响,同种材质在不同区域表现不同。本研究中降解地膜使用 PBAT 为主要原材料,但针对作物生长需求不同,降解助剂配方、螯合比例均有所不同,因此降解时间也不相同。

表2 不同类型地膜成本及效益情况

Table 2 Costs and benefits of different types of mulch film

处理 Treatment	地膜用量 Amount of mulch film/ (kg·hm ⁻²)	地膜使用成本 Cost of mulch film/ (元·hm ⁻²)	地膜回收成本 Cost of mulch film recovery/ (元·hm ⁻²)	谷子产量 Millet yield/ (kg·hm ⁻²)	净收益 Net income/ (元·hm ⁻²)
LD	0	0	0	4 643.5	16 716.76
PE	52.5	525	2 250	6 248.7	19 720.28
PP	75.0	1 350	0	6 155.5	20 809.87
PB	75.0	1 500	0	6 051.6	20 285.58

本研究所用PBAT膜前期与普通地膜都具有良好的增温性和保水性,随着覆膜时间的延长,降解地膜较早出现裂解(30 d),覆膜60 d时,水蒸气透过量显著高于PE膜,90 d后降解地膜不再具备保水作用,后期增加了土壤水分蒸发,从而对作物产量产生一定的影响。

当前,生物降解地膜的力学性能已经达到甚至超过普通地膜,刘群等^[19]的研究表明,生物降解地膜在铺设初的横向与纵向拉伸分别为22.09 MPa和10.69 MPa,而普通PE地膜分别为14.92 MPa和8.61 MPa,生物降解地膜力学性能会随着铺设时间的延长而衰减,在铺设140 d后,横向拉伸强度减少了3.95 MPa,纵向拉伸强度减少了7.75 MPa,而普通PE地膜无明显衰减。该研究与本研究结果相一致。这除了与地膜成型时的吹膜技术有关外,更重要的是与生物地膜的原材料属性、生产助剂的物理性质与地膜的力学性能表现有直接关系。同时,普通地膜不受土壤微生物等作用的影响,只是出现老化而导致拉伸强度小幅度下降^[20]。许多研究学者将PLA和PBAT制备成共混材料,提高二者的相容性,达到性能互补的目的^[21-22]。而这两种材料的合成比例不同会产出不同的降解效果,杨冰等^[12]通过电镜研究发现,当PLA含量低于40%时,断面表面呈粗糙的蜂窝状,材料表现为韧性材料,当PLA高于40%时,断面较为平整,表现为脆性材料,主要是由于PLA分子为脂肪族单体共聚所形成的酯键,水分子以及微生物代谢产生的酶比较容易进入酯键内部,打开C—O结构,因此,PLA含量越高,降解速率越快。本研究电镜扫描结果显示,PP膜在150 d后仍然保持较好的整体结构,说明该合成地膜PLA含量较低,以PBAT材质为主,而添加的助剂在延迟降解方面起到很大作用。不同的材质的分子链断裂和氧化造成了不同的降解机理,研究表明,无论是PLA还是PBAT,酯键的水解都会使得其分子链发生断裂^[23]。本研究中傅里叶红外谱图显示,PP膜在 $1\ 713\ \text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰面积随着降解的进行明显减小,说明材料中的酯键含量降低,这可能是由于酯键在降解过程中发生了水解。PB膜处理150 d后在 $2\ 954\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 470\ \text{cm}^{-1}$ 附近的C—H振动峰强度明显增强,这可能是由于PB膜水解产生大量C—H, $1\ 714\sim 1\ 103\ \text{cm}^{-1}$ 内吸收峰强度明显减弱,说明PBAT可能在光氧化、水解、酶等的作用下产生了分子链的断裂。冯晨等^[24]的研究表明,全生物降解地膜以PBAT为主要原料,地膜后期羰基吸收峰有所增强,而C—O—C

键减弱,生物降解地膜中的酯键发生断裂形成羰基,地膜在微生物的作用下引发水解作用,最后导致分子链的断裂,地膜发生降解。

地膜在降解过程中其理化性状都会发生改变,而最典型的特征就是质量发生损失,可以直观地看出地膜降解的程度。白雪等^[13]的研究表明,普通地膜在收获时有微小的裂痕,可能与地膜使用寿命有关,属于正常消耗,土表地膜完整,没有发生降解。本研究中,PE膜处理表现与其研究结论一致。两种降解地膜均表现出降解特性,而PB膜处理从自身化学结构上要优于PP膜,在覆膜后期基本裂解成小块,具备在一定时间内完全降解的条件。

4 结论

(1)就谷子产量而言,普通地膜(PE)、PLA/PBAT复合型降解膜(PP)和PBAT全生物降解膜(PB)覆盖对山西旱地谷子产量较不覆盖处理均有显著的增产作用,各覆膜处理间产量差异不显著。因此,降解地膜与普通地膜在农田应用中效果已趋于一致。

(2)两种不同类型的可降解地膜覆盖后均出现降解,但降解时期不同,PP膜在覆盖60 d后开始出现降解,PB膜在覆盖30 d后开始出现降解,普通地膜基本无降解。随着覆盖时间的增加,2种可降解地膜水蒸气透过量显著增加,力学性能(拉伸强度、撕裂强度和断裂标称应变)显著下降,微观形态和化学结构变化显著,微观表面粗糙度表现为PB膜>PP膜>PE膜,普通地膜变化不明显。

(3)PB膜在保障谷子产量的同时降解效果最佳,农田残留最少,覆膜150 d后降解率达到74.8%,水分是影响地膜降解的主要因素之一,PB膜由于原材料较PP膜含有更多的酯键以及亲水基团,因此降解能力优于PP膜。

(4)从谷子产量、地膜物理性能、化学结构和降解残留度等方面综合评价,PBAT全生物降解地膜在确保谷子产量的同时具有良好的降解效果,可作为PE膜的替代品应用于晋北地区旱地谷子生产中。

参考文献:

- [1] 严昌荣, 何文清, 梅旭荣, 等. 农用地膜的应用和污染防治[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 76-86. YAN C R, HE W Q, MEI X R, et al. Agricultural application of plastic film and its residue pollution prevention[M]. Beijing: Science Press, 2010: 76-86.
- [2] LIU E K, HE W Q, YAN C R. 'White revolution' to 'white pollution': Agricultural plastic film mulch in China[J]. *Environmental Research*

- Letters, 2014, 9(9):091001.
- [3] YAN C R, HE W Q, NEIL C T, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: Importance and problems[J]. *World Agriculture*, 2014, 4(2): 32-36.
- [4] AMMALA A, BATEMAN S, DEAN K, et al. An overview of degradable and biodegradable polyolefins[J]. *Progress in Polymer Science*, 2011, 36(8):1015-1049.
- [5] 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 W Q, YAN C R, ZHAO C X, 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.
- [6] 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(4): 95-102. YAN C R, LIU E K, SHU F, 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(4): 95-102.
- [7] 张敏, 黄继涛, 崔春娜, 等. PBS/PHB 聚酯材料的生物降解性[J]. *高分子材料科学与工程*, 2010, 26(7): 43-46. ZHANG M, HUANG J T, CUI C N, et al. Biodegradability of PBS/PHB blends[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2010, 26(7): 43-46.
- [8] 张敏, 孟庆阳, 刁晓倩, 等. PLA/PBAT 共混物的降解性能研究[J]. *中国塑料*, 2016, 30(8): 79-86. ZHANG M, MENG Q Y, DIAO X Q, et al. Biodegradation behavior of PLA/PBAT blends[J]. *China Plastics*, 2016, 30(8): 79-86.
- [9] 潘宏伟. 聚对苯二甲酸丁二醇-co-己二酸丁二醇酯(PBAT)生物降解膜的制备及性质研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2016. PAN H W. Preparation and properties of biodegradable poly (butylene terephthalate-co-butylene adipate) films[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2016.
- [10] 王贵林, 胡平, 夏煌, 等. 生物降解PPC/HA复合材料的制备与性能研究[J]. *中国塑料*, 2006, 20(2): 61-64. WANG G L, HU P, XIA H, et al. Preparation and properties of biodegradable PPC/HA composites[J]. *China Plastics*, 2006, 20(2): 61-64.
- [11] 陈小英, 徐鼎, 庞素娟, 等. PLA增强改性PBAT共混物的制备及性能研究[J]. *化工新型材料*, 2016, 44(6): 122-125. CHEN X Y, XU N, PANG S J, et al. Preparation and property of PLA-reinforced PBAT blend[J]. *New Chemical Materials*, 2016, 44(6): 122-125.
- [12] 杨冰, 张自强, 张以河, 等. PBAT/PLA薄膜的制备及性能研究[J]. *中国塑料*, 2015, 29(3): 45-50. YANG B, ZHANG Z Q, ZHANG Y H, et al. Preparation and properties of PBAT/PLA film[J]. *China Plastics*, 2015, 29(3): 45-50.
- [13] 白雪, 周怀平, 解文艳, 等. 不同类型地膜覆盖对玉米农田水热状况及产量的影响[J]. *土壤*, 2018, 50(2): 414-420. BAI X, ZHOU H P, XIE W Y, et al. Effects of different plastic film mulching on soil moistures, temperatures and maize yields[J]. *Soils*, 2018, 50(2): 414-420.
- [14] 白娜玲, 张海韵, 张翰林, 等. 不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(11): 2569-2577. BAI N L, ZHANG H Y, ZHANG H L, et al. Effects of different mulching films on soil environment and taro growth[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11): 2569-2577.
- [15] 邓路, 崔巍平. 生物降解膜对土壤温、湿及玉米生长的影响[J]. *节水灌溉*, 2020(6): 1-7, 13. DENG L, CUI W P. Effect of biodegradable film on soil temperature, humidity and corn growth[J]. *Water Saving Irrigation*, 2020(6): 1-7, 13.
- [16] 陈斌. 三种全生物降解地膜降解性能的测试与表征[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016. CHEN B. Testing and characterization of degradation properties for three biodegradable mulches[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016.
- [17] 钱亚光, 刘宏全, 季凤辉, 等. 可降解地膜在覆盖玉米中的应用效果分析[J]. *北方农业学报*, 2019, 47(4): 92-96. QIAN Y G, LIU H Q, JI F H, et al. Analysis of application effect of degradable mulch film in mulched maize[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2019, 47(4): 92-96.
- [18] 胡宏亮, 韩之刚, 张国平. 生物降解地膜对玉米的生物学效应及其降解特性[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2015, 41(2): 179-188. HU H L, HAN Z G, ZHANG G P. Biological effect of biodegradable mulch films on maize and their degradation properties[J]. *Journal of Zhejiang University(Agric & Life Sci)*, 2015, 41(2): 179-188.
- [19] 刘群, 穆兴民, 袁子成, 等. 生物降解地膜自然降解过程及其对玉米生长发育和产量的影响[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(6): 126-129. LIU Q, MU X M, YUAN Z C, et al. Degradation of biodegradable mulch film and its effect on growth and yield of maize[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(6): 126-129.
- [20] 刘群. 生物降解地膜降解过程及其对玉米生长发育和产量的影响研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2017. LIU Q. Degradation of biodegradable mulch film and its effect on growth and yield of maize [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [21] 王垒, 孟庆阳, 翁云宣. 聚乳酸与聚对苯二甲酸/己二酸/丁二酯共混物增容体系的制备及表征[J]. *高分子科学与工程*, 2014, 30(1): 108-112. WANG L, MENG Q Y, WENG Y X. Preparation and properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-to-terephthalate) composites with compatibilizer[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2014, 30(1): 108-112.
- [22] 林杉, 马建莉, 陈春银, 等. 聚乳酸/聚(己二酸-对苯二甲酸丁二酯)共混物的非等温结晶动力学[J]. *塑料*, 2012, 41(1): 77-80, 20. LIN S, MA J L, CHEN C Y, et al. Investigation on nonisothermal crystallization kinetics of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-to-terephthalate) blends by transesterification[J]. *Plastics*, 2012, 41(1): 77-80, 20.
- [23] 司鹏, 郝妮媛, 刘阳, 等. PLA/PBAT薄膜的制备及其降解性能研究[J]. *塑料科技*, 2015, 43(10): 68-72. SI P, HAO N Y, LIU Y, et al. Preparation and degradation properties of PLA/PBAT film[J]. *Plastics Science and Technology*, 2015, 43(10): 68-72.
- [24] 冯晨, 冯良山, 刘琪, 等. 辽西半干旱区不同类型地膜降解特性及其对玉米产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9): 1869-1880. FENG C, FENG L S, LIU Q, et al. The degradation characteristics of different plastic films and their effects on maize yield in semi-arid area in western Liaoning[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(9): 1869-1880.

(责任编辑:叶飞)