

全生物降解地膜对马铃薯田水热特性 及产量的影响

陈超¹, 冯训宁², 何丽², 李世成¹, 李继明³, 边彩燕¹

(1. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州交通大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 定西市安定区农业技术推广服务中心, 甘肃 定西 743000)

摘要: 通过研究全生物降解地膜对马铃薯产量及农田水热特性的影响, 寻求旱作区保墒抑蒸及降低农田污染问题的最佳种植措施。以马铃薯品种青薯9号为指示品种, 以露地不覆膜为对照, 研究了淀粉基降解地膜、纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜、聚乙烯(PE)地膜等覆盖材料对马铃薯田水热特性和马铃薯产量, 以及马铃薯生长期全生物降解地膜的降解特性的影响。结果表明, 不同覆盖处理较露地对照均能显著增加马铃薯全生育期土壤含水率, 淀粉基降解地膜、纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜覆盖处理土壤含水率较聚乙烯(PE)地膜处理分别增加9.23%、24.35%、33.03%, 在出苗期和淀粉形成期增幅最大。各覆膜处理在5~15 cm土层处对土壤有显著的增温效应, 但各处理增温效果不尽相同。其增温效果由高到低依次为聚乙烯(PE)地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜、纤维素聚合类降解地膜、淀粉基降解地膜。地膜降解性能结果显示, 3种生物可降解地膜在10、20 cm土层的降解率随埋土时间的延续而升高, 聚乙烯(PE)地膜处于相对稳定的状态。其中, 淀粉基降解地膜覆盖37 d后达到诱导期, 78 d达到完全降解期(无膜期); 纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜诱导期分别在覆膜后66、79 d开始, 分别于121、140 d完全降解。各覆膜处理较露地对照均有增产效果, 其中以聚乙烯(PE)地膜覆盖处理增产效果最佳, 较露地对照显著增产32.77%; 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜覆盖处理、纤维素聚合类降解地膜覆盖处理增产效果较好, 较露地对照显著分别增产28.65%、22.69%, 较聚乙烯(PE)地膜覆盖处理分别减产3.11%、7.59%; 而淀粉基降解地膜覆盖处理增产效果不显著, 仅较露地对照增产6.64%, 较聚乙烯(PE)地膜覆盖处理减产达19.68%, 这可能与过早降解紧密相关。加之纤维素聚合类降解地膜和聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的降解周期与马铃薯生育期高度匹配, 由此可见, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜、纤维素聚合类降解地膜在马铃薯生产上具有推广应用价值。

关键词: 全生物降解地膜; 马铃薯; 产量; 土壤水热特性; 降解性能

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)05-0438-09

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.05.009

Effects of Fully Biodegradable Mulch on the Hydrothermal Characteristics and Yield of Potato Fields

CHEN Chao¹, FENG Xunning², HE Li², LI Shicheng¹, LI Jiming³, BIAN Caiyan¹

(1. Gansu Provincial Agricultural Technology Extension General Station, Lanzhou Gansu 730020, China; 2. College of Life Sciences, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Agricultural Technology Extension Service Centre, Anding District, Dingxi City, Dingxi Gansu 743000, China)

Abstract: This study investigated the effects of fully biodegradable mulch film on potato yield and soil hydrothermal characteristics in search of optimal planting methods for conserving soil moisture, suppressing evaporation, and reducing farmland pollution in dry farming areas. Using the potato variety Qingshu 9 as an indicator crop and open-field without mulch as a control, four types of mulch materials, i.e., starch-based biodegradable mulch, cellulose-polymer biodegradable mulch, polylactic acid (PLA)-based biodegradable mulch, and polyethylene (PE) film, were compared for their influence on soil hydrothermal dynamics, potato yield, and film degradation performance during the potato growing season. Results showed that all mulching treatments significantly improved soil water content compared with the control, with increases of 9.23%, 24.35%, and 33.03% under starch-based, cellulose-polymer, and PLA-based mulch materials, respectively, relative to the PE film, and the most significant improvements were observed during seedling emergence and starch accumulation stages. All mulch types exhibited a soil-warming effect at 5 to 15 cm soil depth,

收稿日期: 2025-03-15

基金项目: 国家马铃薯标准化区域服务与推广平台项目(NBFW-17-2019); 甘肃省科技计划项目(24CXNA011); 甘肃省农业农村厅科技项目(GNKJ-2021-25)。

作者简介: 陈超(1987—), 男, 甘肃兰州人, 高级农艺师, 硕士, 主要从事马铃薯栽培技术研究及推广应用工作。
Email: 85765891@qq.com。

with the order of effectiveness being PE film > PLA mulch > cellulose-polymer mulch > starch-based mulch. The degradation performance analysis showed that the degradation rate of the 3 biodegradable films increased with burial duration at 10 and 20 cm soil depths, while PE film remained relatively stable. The starch-based film entered the induction phase 37 days after surface application and reached full degradation at 78 days. The cellulose-polymer and PLA films entered induction at 66 and 79 days, reaching complete degradation at 121 and 140 days, respectively. All mulch treatments enhanced yield compared to the control, with PE film showing the highest increase of 32.77%. PLA and cellulose-polymer films increased yields by 28.65% and 22.69%, respectively, though slightly less than PE. The starch-based film did not significantly improve yield, with only a 6.64% increase over the control and a 19.68% decrease relative to PE, likely due to its premature degradation. Given the alignment of their degradation cycles with the potato growth period, PLA and cellulose-polymer films show promising application potential in potato cultivation.

Key words: Fully biodegradable mulchfilm; Potato; Yield; Soil hydrothermal property; Degradation performance

马铃薯是甘肃省主要经济作物之一, 甘肃省也是重要的马铃薯生产基地^[1-3]。甘肃省马铃薯种植面积和产量占全省粮食播种面积和产量的 1/4 以上, 为保障甘肃省粮食安全做出积极贡献。甘肃省定西市属于干旱半干旱区, 被誉为“马铃薯之乡”^[1], 马铃薯播种面积占全省种植面积的 33% 以上^[4], 但该区降水少、蒸发大, 严重制约着马铃薯产量的提高。有效的地表覆盖可减少水分蒸发, 提高土壤保墒能力。地膜覆盖栽培是农业抗旱节水的重要技术措施之一, 它不仅能显著提升土壤温度^[4-5], 有效维持土壤湿度^[6-7], 增强水分利用率^[8-9], 还能加速肥料和土壤中有有机物的分解和熟化, 从而丰富土壤的肥力, 特别是对马铃薯的生长和产量提升有着明显的推动作用^[10-11], 在农业生产中广泛应用。然而, 传统的聚乙烯(PE)地膜回收率较低, 且在自然环境下难以降解, 对环境造成了严重污染^[12-14]。这些残留的地膜长期积累, 不仅会降低土壤透气性^[15-16], 还会阻碍作物吸收水分^[17], 进而影响作物产量^[18]。可降解地膜具有环保特性, 使用后能够自然降解, 有望从根本上缓解和解决地膜污染问题。因此, 可降解地膜无疑是未来地膜技术发展的重要方向之一。

全生物降解地膜在功能和应用上与聚乙烯(PE)地膜相媲美, 在增温保温增产方面成果卓越, 并且具有显著的环境友好性^[19], 有望成为聚乙烯(PE)地膜的替代品。目前, 全生物降解地膜主要成分为聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)、聚乳酸(PLA)和淀粉等, 诸多研究者已经对全生物降解地膜与作物产量之间的关系进行了深入探究。李玲等^[20]研究表明, 全生物降解地膜(PBAT、PLA)在覆膜 62 d 后进入诱导期(降解等级 1 级), 覆膜后的 74、97 d 时, 降解等级分别为 2、3 级,

较普通地膜具有更强的保温和保墒效果。贺鹏程等^[21]的研究结果显示, 白山市喜丰塑料(集团)股份有限公司生产的全生物降解地膜在播种后 36 d 进入诱导期, 56 d 后进入开裂期, 85 d 后进入大裂期。曲萍等^[22]在对亚热带湿润气候玉米田试验结果表明, 在覆膜 28 d 后 PBAT 全生物降解地膜抗张强度和断裂伸长率降低 59.3% 以上, 而对南疆马铃薯产量的研究表明, PBAT 全生物降解地膜在覆膜 40 d 后开始出现降解, 80 d 后出现较长裂纹, 在成熟期(覆膜 108 d)已降解为 4 cm × 4 cm 的小碎片^[23]。向午燕等^[24]研究表明, PBAT 全生物降解地膜从覆膜 40 d(玉米苗期)左右开始出现降解, 玉米拔节时地膜降解已进入破裂期, 抽雄之后出现大范围降解, 成熟期已裂解成大量碎片。

目前, 在西北旱作区关于全生物降解地膜覆盖对马铃薯水热特性研究少有报道。因此本研究设置了淀粉基降解地膜、纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜、聚乙烯(PE)地膜覆盖以及无覆盖露地(对照)等模式在陇中旱作农业区对土壤温度、土壤含水率、马铃薯经济性状以及产量的影响, 并深入分析了全生物降解地膜在马铃薯生育期内的降解特性, 综合评价了全生物降解地膜在陇中旱作农业区马铃薯生产中的应用效果及推广潜力, 旨在为旱作农业区马铃薯增产增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于鲁家沟镇小岔口村的马铃薯生产基地, 当地海拔 1 753 m, 年均降水量 340 mm, 年平均气温 6.3 ℃, ≥10 ℃ 的有效积温 2 239.1 ℃。试验地土壤类型为黑麻垆土, 0~20 cm 耕层含有有机质 17.82 g/kg、全氮 767.00 mg/kg、有效磷 11.24 mg/kg、速效钾 338.00 mg/kg, 前茬玉米。

1.2 供试材料

试验指示马铃薯品种为青薯 9 号, 由甘肃百泉种业有限公司提供。供试地膜分别为淀粉基降解地膜(主要材质为淀粉、PBAT)、纤维素聚合类降解地膜(主要材质为纤维素、PBAT)、聚乳酸(PLA)降解地膜(主要材质为 PLA、PBAT)、聚乙烯(PE)地膜(主要材质为聚乙烯), 规格均为幅宽 80 cm、厚 0.01 mm。以上供试地膜均由兰州金土地塑料制品有限公司提供。供试马铃薯配方专用肥(N-P₂O₅-K₂O 为 10-15-20)由安徽六国化工股份有限公司提供。供试农家肥为腐熟厩肥, 由定西市安定区农业技术推广服务中心提供。

1.3 试验方法

试验共设 5 个处理, 分别为 T1, 淀粉基降解地膜覆盖; T2, 纤维素聚合类降解地膜覆盖; T3, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜覆盖; T4, 聚乙烯(PE)地膜覆盖; T5(CK), 露地不覆盖。试验采用随机区组排列设计, 3 次重复, 小区面积 28.8 m² (6.0 m × 4.8 m)。为了优化种植效果, 所有覆膜处理均采用半膜垄作膜下滴灌的播种方式, 露地对照采用垄作播种方式, 播种密度均为 67 500 株/hm²。播前结合整地基施农家肥 3 000 kg/hm²、马铃薯配方专用肥 1 200 kg/hm²。试验于 4 月 26 日播种, 10 月 15 日收获。其他田间管理措施与常规的大田种植保持一致。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生育期 在整个生育期内, 选择 3 个具有代表性的观测点, 每个观测点选定 30 株马铃薯植株进行持续观测。当被选定的 30 株马铃薯中有 10%(即 3 株)进入某一特定的生长阶段时, 即为该生育期的起始阶段。当有 50%的马铃薯(即 15 株)进入某一生长阶段时, 判定该生育期正式开始。地温测定选在晴朗干燥的天气条件下进行, 在出苗期将直角地温计埋设在 2 行作物之间的种植带内, 并在整个生长周期持续在相同位置读取地温数据。测定时每个处理选择 5、10、15、20 cm 的土壤深度在马铃薯出芽期(GP)、出苗期(SS)、块茎形成期(TF)、块茎膨大期(TE)、淀粉积累期(SA)、成熟收获期(HT)分别使用地温计精确测量土壤温度。

1.4.2 土壤含水率 整个生育周期中, 在马铃薯

出芽期(GP)、出苗期(SS)、块茎形成期(TF)、块茎膨大期(TE)、淀粉积累期(SA)、成熟收获期(HT)对土壤水分进行监测, 各处理选择 0~40 cm 土层深度在种植带内 2 行作物之间取样, 采用烘干法测定土壤含水率。

土壤含水率=[(土壤鲜质量-土壤干质量)/土壤干质量]×100%

1.4.3 降解膜降解时期 定期观察并详细记录地膜在整个降解过程中的颜色、形态以及表面完整性的变化。降解膜降解过程可分为五个阶段, 一是诱导期, 即从地膜铺设开始到出现小裂缝(<1 cm); 二是破裂期, 即肉眼清楚地看到大裂缝(>3 cm); 三是崩解期, 随着降解过程的持续, 进入崩解阶段, 此时地膜已经裂解成较大碎块, 不再保持完整(>5 cm 的裂缝)的膜面; 四是完全崩解期, 在此阶段, 地面已经不存在大块残膜, 但可能仍有小碎片的存在; 五是完全降解期, 这个阶段标志着地膜在地表几乎完全消失^[24-25]。每个处理随机选择 1 个小区使用直尺测量地膜裂口尺寸和数量, 以确定降解膜降解时期。

1.4.4 经济性状与产量 收获前每小区随机选取 10 株植株按照《马铃薯种质资源描述规范》进行株高和块茎性状观测^[26], 同时统计单株块茎数和大薯率(≥300 g 的马铃薯块茎质量占块茎总质量的比重)^[26]。按小区单收计产并测算经济效益。

1.4.5 降解率 试验开始前, 将供试地膜裁剪成 50 cm × 60 cm 的尺寸, 并记录其初始重量, 以备后续使用。人工挖掘 20 个长、宽、深分别为 60、60、20 cm 的土坑, 于 4 月 26 日将裁剪好的不同地膜分别平铺放置在不同土坑中, 并按深度 10 cm 和 20 cm 逐层埋土, 每种地膜均埋设 5 个土坑。埋后第 25 天、第 55 天、第 85 天、第 115 天、第 130 天分别挖出不同地膜样品。去除附着的泥土后, 将地膜放入水中浸泡 1 h 再进行清洗。清洗后进一步使用超声波清洗器对地膜进行深度清洁, 以确保去除所有杂质, 再用滤纸吸干地膜样品上残留的水分, 放置在阴凉干燥的地方进行自然晾干。晾干后, 再次对不同地膜样品进行称重, 并分别记录为 m_{25} 、 m_{55} 、 m_{85} 、 m_{115} 、 m_{130} 。通过公式计算来评估地膜在不同时间点的降解率变化^[25, 27]。计算公式为:

$$\text{降解率} = [(m_0 - m_x) / m_0] \times 100\%$$

式中, m_0 为埋入地膜起始重量; m_x 为埋土 x 天后地膜的重量。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 和 SAS 9.4 软件对试验数据进行统计与方差分析, 采用 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

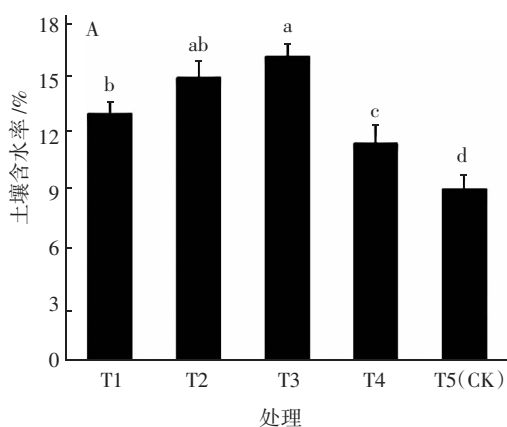
2.1 不同处理对土壤含水率的影响

从图 1A 可看出, 不同覆盖材料与土壤保持水分的能力密切相关, 全生物降解地膜处理(T1、T2、T3 处理)及 PE 膜覆盖处理(T4 处理)均可显著提高马铃薯全生育期 0~40 cm 土层土壤平均含水率($P<0.05$), 较 T5(CK)分别提高了 13.58%、30.15%、40.05%、9.82%; 与 T4 处理相比, T1、T2、T3 处理土壤含水率分别增加了 9.23%、24.35%、33.03%。可见, 不同覆膜处理对马铃薯生长所在土壤环境有显著的保墒效果, 且生物降解膜处理(T1、T2、T3 处理)的保墒效果显著优于 PE 膜覆盖处理(T4 处理)。由图 1B 可见, 随着马铃薯生育进程, 各处理的土壤含水率呈先升高后降低再升高的趋势, 各覆盖处理下土壤含水率均以出苗期(SS)最高, 淀粉积累期(SA)最低。从出芽期(GP)到成熟期(HT), T1、T2、T3、T4 处理较 CK 分别显著增加了 6.22%~18.71%、18.88%~35.25%、29.49%~48.72%、6.97%~20.88%($P<0.05$), 且增长幅度分别在出苗期和淀粉积累期最大。在整个生育期中, 各生物降解膜覆盖处理(T1、T2、T3 处理)的土壤含水率均

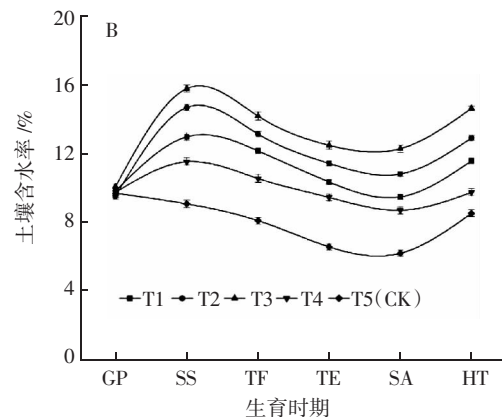
显著优于 PE 膜覆盖处理(T4 处理)($P<0.05$)。

2.2 不同处理对土壤温度变化的影响

马铃薯全生育期可分为 6 个阶段, 即出芽期(GP)、出苗期(SS)、块茎形成期(TF)、块茎膨大期(TE)、淀粉积累期(SA)、成熟收获期(HT), 各生育期对温度较为敏感且差异较大^[4-5, 21]。由图 2 可以看出, 不同覆盖处理对不同生育阶段 0~20 cm 土层土壤表现为明显的增温效果。与 T5(CK)相比, T1、T2、T3 处理对土壤的增温效应从出苗期(SS)开始出现差异, 但与 T4 处理相比无显著差异($P>0.05$)。进入块茎形成期(TF)后, 在 10~15 cm 土层土壤温度变幅较大。与 T5(CK)相比, T1 处理的增温效果明显减弱, 仅较 T5(CK)增加了 4.59%~8.11%; 而 T2、T3 处理的增温效果较为显著, 较 T5(CK)分别增加了 24.66%~29.23%、35.62%~40.03% ($P<0.05$); 而与 T4 处理相比, T1 处理显著降低了 16.84%~22.15%($P<0.05$); T2 处理降幅较大, 降低了 4.02%~7.61%($P>0.05$); 而 T3 处理降幅不明显, 仅降低了 0.22%~2.21% ($P>0.05$)。进入块茎膨大期(TE)后, 在 10~15 cm 土层土壤温度变幅最大, T2 处理较 T5(CK)增温效果明显降低, 而 T3 处理增温效果与 T4 处理接近。各覆膜处理土壤温度在淀粉积累期(SA)变化最大, 在 5~15 cm 土层处, T1 处理的增温效果较 T4 处理显著增高 ($P<0.05$), 增幅为 8.33%~12.56%; T2 处理较 T4 处理增温效果略有降低, 而 T3 处理较 T4 处理增温效果有所提升。进入成熟收获期(HT)后, 各覆膜处理间土壤温度无显著差异($P>0.05$), 但增温效果均显著优于 T5(CK)



A 马铃薯全生育期 0~40 cm 土层含水率变化



B 马铃薯不同生育期 0~40 cm 土层含水率变化

图 1 不同覆盖处理的马铃薯生育期内土壤含水率

($P<0.05$)。以上结果说明, 各覆膜处理在 5~15 cm 土层处均对土壤有显著的增温效应 ($P<0.05$), 但各覆膜处理增温效果不尽相同。其增温效果由高到低依次为处理 T4、处理 T3、处理 T2、处理 T1。

2.3 不同处理对地膜降解性能的影响

从表 1 可看出, T1 处理的地膜降解速度最快, 覆膜后 37 d 后达到诱导期, 48 d 达到开裂期, 57 d 进入崩解期, 65 d 完全崩解, 78 d 完全降解; T2 处理地膜降解速度次之, 覆膜后 66 d 后进入诱导期, 81 d 达到开裂期, 95 d 进入崩解期, 103 d 完全崩解, 121 d 完全降解; T3 处理地膜降解速度较慢, 覆膜后 79 d 后进入诱导期, 104 d 达到开裂期, 118 d 进入崩解期, 128 d 完全崩解, 140 d 完全降解。进一步探究不同地膜埋土不同深度后的降解率(图 3), 3 种全生物可降解地膜的降解率随着埋土时间的延长而升高, 而 PE 膜处于相对稳定的状态。埋土时间与降解率呈极正相关关系, 相关系数达 0.900 以上。其中埋土第 25 天时, 在

处理	诱导期	开裂期	崩解期	完全崩解期	完全降解期
T1	37	48	57	65	78
T2	66	81	95	103	121
T3	79	104	118	128	140
T4	0	0	0	0	0
T5(CK)					

10、20 cm 土层处 T1 处理的地膜降解率分别为 9.6%、7.5%, 而 T2 处理与 T3 处理才开始降解。埋土第 55 天时, 在 10、20 cm 土层处 T1 处理的地膜降解率分别为 55.0%、35.0%, T2 处理的降解率分别为 10.0%、7.1%, T3 处理的降解率分别为 7.9%、5.4%。埋土第 85 天时, 10、20 cm 土层处 T1 处理的降解率可分别达到 95.0%、75.0%, T2 处理与 T3 处理的降解率迅速加快。埋土第 115 天时, 10 cm 土层处 T1 处理的地膜已完全降解, 而在 20 cm 土层处 T1 处理的地膜降解率已达到 85.0%。10 cm 土层处 T2、T3 处理的地膜降解率分别为 87.0%、72.0%, 20 cm 土层处 T2、T3 处理的

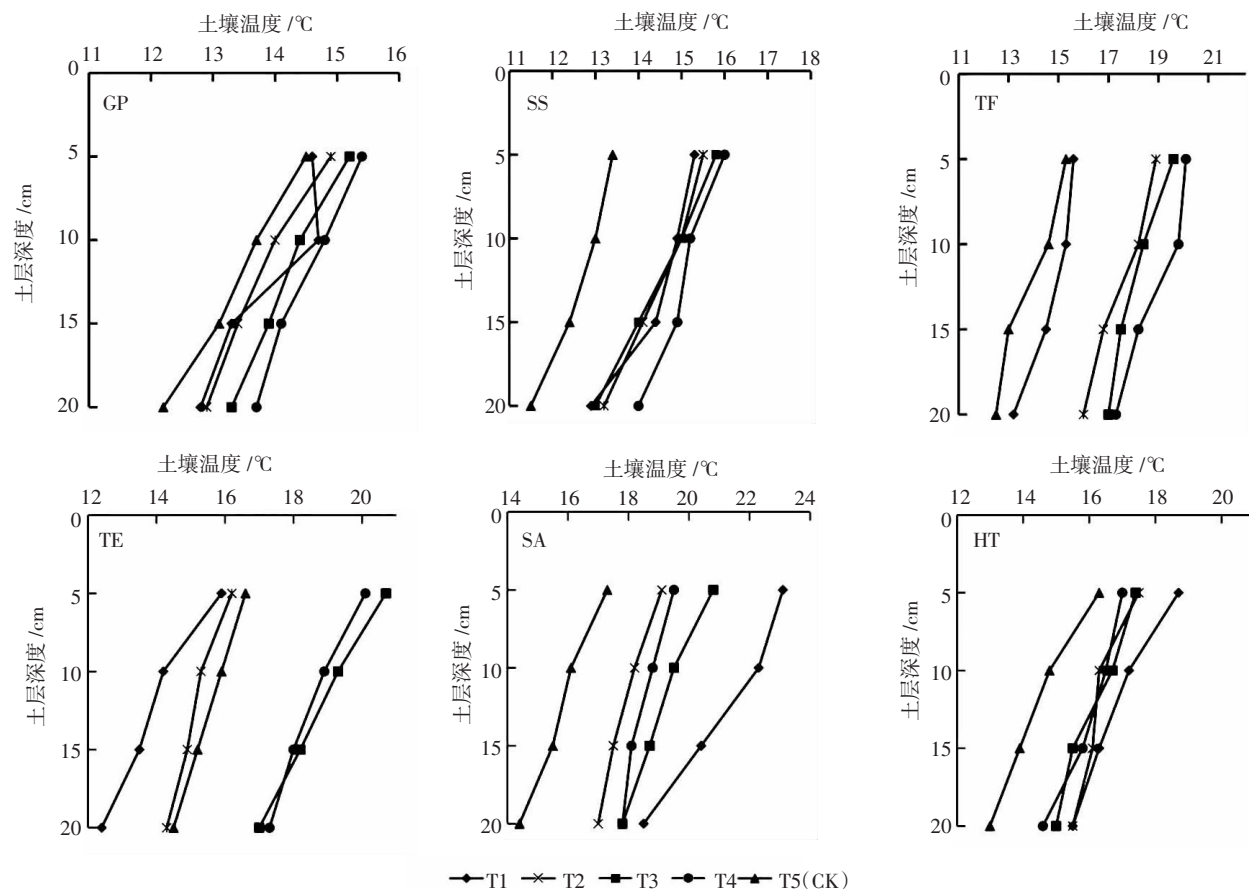


图 2 不同处理对不同时期不同土层土壤温度的影响

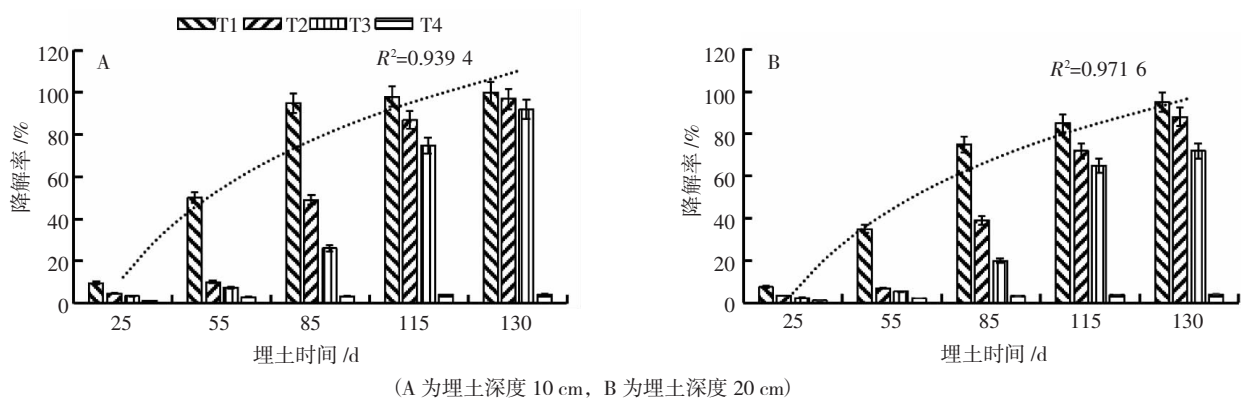


图 3 不同类型地膜埋土后的降解率

地膜降解率分别为 76.0%、65.0%，均表现为 T2 处理高于 T3 处理。埋土第 130 天时，10 cm 土层处 T2、T3 处理的地膜降解率均已达到 90.0% 以上；20 cm 土层处 T2、T3 处理的地膜降解率已达到 70.0% 以上。

2.4 不同处理对马铃薯生育期的影响

从表 2 可以看出，各覆膜处理的出苗期、现蕾期、开花期均较 T5(CK)有不同程度提前，其中出苗期均较 T5(CK)提前 1 d。现蕾期较 T5(CK)提前 1~5 d，以 T2、T4 处理现蕾最早。开花期较 T5(CK)提前 0~5 d，以 T4 处理开花最早。成熟期除 T1 处理外，其余处理均较 T5(CK)提前，其中 T2、T4 处理均较 T5(CK)提前 7 d，T3 处理较 T5(CK)提前 5 d。生育期以 T2、T4 处理最短，均为 133 d，较 T5(CK)缩短 7 d；T3 处理次之，较 T5(CK)缩短 5 d；T1 处理最长，较 T5(CK)延长 1 d。

表 2 不同处理马铃薯的物候期及生育期

处理	物候期/(日/月)					生育期 /d
	播种期	出苗期	现蕾期	开花期	成熟期	
T1	26/4	25/5	21/6	6/7	13/10	141
T2	26/4	25/5	17/6	3/7	5/10	133
T3	26/4	25/5	18/6	2/7	7/10	135
T4	26/4	25/5	17/6	1/7	5/10	133
T5(CK)	26/4	26/5	22/6	6/7	12/10	140

2.5 不同处理对马铃薯经济性状的影响

由表 3 可以看出，不同处理对马铃薯经济性状指标影响各异。各覆膜处理株高、单株块茎重、大薯重及单薯重均较 T5(CK)有显著差异。其中 T2、T3 处理的株高、单株块茎重、大薯重、单薯重较 T4 处理无显著差异($P>0.05$)，而 T1 处理的株高、单株块茎重、大薯重、单薯重较 T4 处理分别显著降低了 4.15%、13.25%、12.96%、6.69%。T2、T3、T4 处理的单株块茎数、大薯率均与 T5(CK)有着显著差异($P<0.05$)；T1 处理的单株块茎数较 T4 处理显著减少了 7.23%，大薯率较 T4 处理显著降低了 4.0 个百分点。由此可见，T2、T3 处理对马铃薯经济性状的影响与 T4 处理相当，而 T1 处理低于 T4 处理。

2.6 不同处理对马铃薯产量及经济效益的影响

从表 4 可知，不同地膜覆盖对马铃薯产量的影响有着明显的差异，各覆膜处理的马铃薯产量较 T5(CK)均有增产效果，其中以 T4 处理增产效果最佳，折合产量为 60 377.40 kg/hm²，较 T5(CK)显著增产 32.77%；T3 处理次之，折合产量为 58 501.35 kg/hm²，较 T5(CK)显著增产 28.65%，较 T4 处理减产 3.11%；T2 处理居第 3 位，较 CK 显著增产 22.69%，较 T4 处理减产 7.59%；T1 处理较 T5(CK)增产不显著，仅增产 6.64%，较 T4 处理减

表 3 不同处理的马铃薯经济性状

处理	株高 /cm	单株块茎数 /个	单株块茎重 /kg	单薯重 /g	大薯重 /kg	大薯率 /%
T1	92.3±3.2 b	7.7±0.8 b	0.72±0.02 b	93.5±4.2 b	0.47±0.02 b	62.3±3.1 b
T2	95.4±2.8 a	8.3±0.7 a	0.85±0.09 a	102.4±3.5 a	0.57±0.03 a	67.9±2.1 a
T3	97.8±3.3 a	8.4±0.6 a	0.85±0.08 a	103.7±3.4 a	0.56±0.07 a	67.2±2.9 a
T4	96.3±4.2 a	8.3±0.5 a	0.83±0.07 a	100.2±3.0 a	0.54±0.06 a	66.3±2.2 a
T5(CK)	88.2±2.6 c	7.3±0.9 b	0.67±0.09 c	90.8±2.2 c	0.39±0.07 c	58.2±2.3 b

表 4 不同处理的马铃薯产量及经济效益^①

处理	折合产量 /(元/hm ²)	产值 /(元/hm ²)	地膜成本 /(元/hm ²)	其他成本 /(元/hm ²)	捡拾成本 /(元/hm ²)	净收益 /(元/hm ²)
T1	48 496.35 c	48 496.35 c	2 550.00	12 750.00	0	33 196.35 b
T2	55 791.75 b	55 791.75 b	2 550.00	12 750.00	0	40 491.75 ab
T3	58 501.35 a	58 501.35 a	2 550.00	12 750.00	0	43 201.35 a
T4	60 377.40 a	60 377.40 a	1 425.00	12 750.00	600.00	45 602.40 a
T5(CK)	45 474.15 c	45 474.15 c		12 750.00		32 724.15 bc

① 马铃薯售价为 1.00 元/kg; 淀粉基降解地膜、纤维素聚合类降解膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜售价均为 21.250 元/kg, 聚乙烯(PE)地膜售价为 11.875 元/kg, 地膜用量均为 120 kg/hm²。

产达 19.68%。这一结果说明 T3 处理的覆膜增产效果接近于 T4 处理, 而 T1 处理较 T5(CK)的增产效果不显著, 这可能与过早降解紧密相关。净收益以 T4 处理的最高, 达 45 602.40 元/hm², 较 T5(CK)增收 12 878.25 元/hm², 增幅达 39.35%; T3 处理次之, 为 43 201.35 元/hm², 较 T5(CK)增收 10 477.20 元/hm², 增幅为 32.02%, 与 T4 处理无显著差异; T2 处理净收益达 40 491.75 元/hm², 较 T5(CK)增收 7 767.60 元/hm², 增幅为 23.74%; T1 处理较 T5(CK)仅增收 472.20 元/hm², 增收差异不显著。综上所述, 覆盖聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的马铃薯产量和净收益略低于覆盖聚乙烯(PE)地膜, 从环保方面考虑, 认为聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜可替代聚乙烯(PE)地膜在马铃薯生产中加以推广应用。

3 讨论与结论

生物降解膜具有环境友好性, 具有与普通地膜相当的增温、保墒等作用^[6-12], 通过改善土壤的水热状况, 提高土壤肥力, 从而达到增产的效果。生物降解膜降解速度及降解强度受多种因素影响, 如土壤水分和温度、生产厂家、制作原材料等^[28], 由于生物降解膜降解速度不同, 会影响保温保湿效果, 最终对作物的产量造成一定的影响。本研究发现, 生物降解膜各处理中, 覆盖淀粉基降解地膜的处理降解效果最好, 覆盖纤维素聚合类降解地膜的处理次之, 覆盖聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的降解效果最差。覆盖淀粉基降解地膜保湿效果虽然低于覆盖纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜, 但始终高于覆盖聚乙烯(PE)地膜, 各覆膜处理保温效果在 5 ~ 15 cm 土层处对土壤有显著的增温效应, 以覆盖聚乙烯(PE)地膜的增温效果最好, 覆盖聚乳酸聚合

类(PLA)降解地膜则与之接近; 覆盖纤维素聚合类降解地膜的增温效果较差, 覆盖淀粉基降解地膜的增温效果最差, 这可能是由于淀粉基降解地膜的裂解程度最高, 从而影响了保温保湿效果。

土壤温度在马铃薯生育期的作用十分重要。从几种全生物降解膜保温效果来看, 出苗期由于地膜膜面完整, 保温效果与聚乙烯(PE)地膜相比差异不大, 但从淀粉积累期开始, 随着降解程度增大, 膜内温度下降, 但全生物降解膜的增温效果依旧高于露地对照。与聚乙烯(PE)地膜相比, 只有聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的增温效果与之接近。进入淀粉形成期, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的保温增幅显著低于聚乙烯(PE)地膜处理, 这是由于生物降解膜大面积裂解, 增温功能减弱^[16]。进入成熟期后, 各覆膜处理间无显著差异, 但增温效果显著优于露地对照。李兴需等^[29]研究表明, 生物降解膜增温效果与聚乙烯地膜相当, 与本试验研究结果基本一致。纤维素聚合类降解地膜和聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜处理保温效果总体上低于或等于聚乙烯(PE)地膜处理, 与贺鹏程等^[21]的研究结果有一定出入。淀粉分子之间因氢键的强烈相互作用, 赋予了其出色的热塑性、力学性能和吸湿性。因此, 利用淀粉作为基材生产的可降解地膜, 在降解过程中表现出较短的降解周期^[30], 相较于淀粉基可降解地膜, 类似 PBAT、PLA 和 PHA 的合成聚合物降解膜则展现出更高的稳定性^[31], 降解时间较晚。故淀粉基降解地膜降解时间最早, 而纤维素聚合类降解地膜和聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的降解时间较晚。淀粉基降解地膜虽然具有增温作用, 但是由于降解过早, 在马铃薯生育后期保温效果低于聚乙烯(PE)地膜, 导致淀粉积累量较少。纤维素聚合类降解膜、聚乳酸聚合类

(PLA)降解地膜诱导期在 66~79 d, 开裂期在 81~104 d, 保证了马铃薯整个生育期的温度。在本研究中, 覆盖聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜在马铃薯生育前期保温效果与聚乙烯(PE)地膜相近, 且显著优于露地对照。

由于覆膜能阻隔土壤与空气, 减小土壤水分蒸发, 因此能显著改变土壤含水率。不同的降解速率, 导致不同膜覆盖下的土壤含水率也不同。本试验表明, 全生物降解地膜处理在生育期内土壤含水率均高于聚乙烯(PE)地膜处理, 淀粉基降解地膜、纤维素聚合类降解地膜、聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜分别较其增加 9.23%、24.35%、33.03%, 且在出苗期和淀粉形成期增强最大; 显著高于露地对照, 分别较其增加 13.58%、30.15%、40.05%, 这与赵彩霞等^[32]和邓路等^[33]的研究结果相反。各覆膜处理土壤含水率均高于露地对照, 这是由于马铃薯生育期内生物学产量较小、蒸腾作用较弱, 因此地膜覆盖具有显著的保墒功能, 这与王星等^[34]研究结果一致。淀粉基降解地膜的保墒效果最差, 纤维素聚合类降解膜效果较好, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的保墒效果最好, 这可能与降解地膜的裂解程度有关, 淀粉基降解地膜在同一时间下裂解程度最高, 纤维素聚合类降解膜次之, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜裂解度最差。在出苗期后, 全生物降解膜膜面逐渐破碎, 但此时马铃薯茎叶生长旺盛, 叶片封垄, 阻碍水分蒸发, 故水分损失较小。

覆膜能够不同程度地提高马铃薯产量。钱亚光等^[35]的研究发现, 在提升玉米产量方面, 全生物降解地膜与普通聚乙烯(PE)地膜相比差异不明显。本研究结果显示, 各覆膜处理相较于露地无覆膜能显著提高马铃薯产量, 增产范围在 6.64%~32.77%, 但各全生物降解地膜处理对马铃薯的增产效果均低于聚乙烯(PE)地膜处理, 与陈瑞英等^[36]研究结果不符, 这可能是因为马铃薯成熟期全生物降解膜已进入崩解期, 膜下土壤透气性增加, 土壤保温效果低于聚乙烯(PE)地膜, 导致全生物降解膜处理对马铃薯的淀粉积累量少于聚乙烯(PE)地膜处理, 故全生物降解地膜对于马铃薯的增产效益小于聚乙烯(PE)地膜, 这与龚双凤等^[37]的研究结果一致。其中聚乙烯(PE)地膜覆盖处理

增产效果最佳, 较露地对照显著增产 32.77%; 纤维素聚合类降解膜与聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的增产效果较为显著, 分别较露地对照显著增产 22.69%、28.65%, 分别较聚乙烯(PE)地膜覆盖处理减产 7.59%、3.11%; 而淀粉基降解地膜覆盖处理增产效果不显著, 仅较露地对照增产 6.64%, 较聚乙烯(PE)地膜覆盖处理减产 19.68%。马铃薯的产量与降解膜的降解程度呈负相关, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜降解程度最低, 但增产效果较高, 而淀粉基降解地膜降解程度最高, 增产效果不明显, 这可能与降解膜的降解程度有关。

研究结果表明, 淀粉基降解地膜于覆盖 37 d 后达到诱导期, 78 d 达到完全降解期(无膜期)。纤维素聚合类降解地膜和聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜在覆膜后 66、79 d 进入诱导期, 并于 121、140 d 完全降解, 其降解周期与马铃薯生育期高度匹配, 推荐作为环保型覆盖材料加以推广。研究表明, 在多雨条件下, 聚乳酸聚合类(PLA)降解地膜的增温效果较聚乙烯(PE)地膜不明显^[23]。针对定西市安定区马铃薯种植现状, 认为降解地膜的最佳诱导期为 79 d, 建议在马铃薯收获后(降解地膜完全崩解期)将残膜翻埋至 10~20 cm 土层, 该措施既可保障产量品质, 又能有效减少环境污染。

参考文献:

- [1] 王 雯, 焦智辉, 郭纪元. 干旱半干旱区马铃薯品种综合评价[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(3): 231-235.
- [2] 高莹莹, 李建武. 靖远县马铃薯产业现状与高质量发展对策[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(7): 589-593.
- [3] 彭玉姣. 中部旱区马铃薯产业发展现状及建议[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(9): 810-814.
- [4] 江 燕, 史春余, 王振振, 等. 地膜覆盖对耕层土壤温度水分和甘薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 627-634.
- [5] 薛源清, 张俊丽, 杨圆圆, 等. 可降解地膜覆盖对渭北旱塬土壤水热及玉米产量的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(3): 363-368.
- [6] 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.
- [7] 闫立伟, 赵铁锋, 王嘉兴, 等. 不同地膜覆盖对土壤水热、谷子产量及水分利用效率的影响[J]. 作物研究, 2023, 37(5): 470-474.
- [8] 闫百玲. 不同地膜覆盖对陇薯 6 号马铃薯产量的影响

- [J]. 现代农业科技, 2017(13): 68-70.
- [9] 方彦杰, 张绪成, 于显枫, 等. 地膜覆盖和施肥对半干旱区苦荞土壤水分利用及产量的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(11): 46-56.
- [10] 张维国. 不同类型地膜覆盖对马铃薯产量及品质的影响[J]. 作物杂志, 2013(1): 87-90.
- [11] 高旭华, 陈明周, 黄瑶珠, 等. 生物降解膜覆盖马铃薯增产机理研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(17): 140-144.
- [12] 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.
- [13] 马兆嵘, 刘有胜, 张芊芊, 等. 农用塑料薄膜使用现状与环境污染分析[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(4): 21-32.
- [14] 张 斌, 王 真, 金书秦. 中国农膜污染治理现状及展望[J]. 世界环境, 2019(6): 22-25.
- [15] 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.
- [16] 梅 丽, 董雯怡, 周继华, 等. 生物降解地膜的性能及在北京鲜食玉米和甘薯生产上的应用[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(10): 54-65.
- [17] 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.
- [18] 徐 阳, 何新林, 杨丽莉, 等. 残膜对棉田土壤水盐、氮素及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(5): 312-319; 327.
- [19] 师 岩, 李凤红, 姜天赐, 等. 可生物降解膜材料的研究进展[J]. 化工新型材料, 2020, 48(5): 16-19; 25.
- [20] 李 玲, 靳 拓, 张 杰, 等. 全生物降解地膜的降解特征及其对马铃薯产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2022(6): 10-13.
- [21] 贺鹏程, 刘宏金, 魏 静, 等. 全生物降解膜的降解及其对马铃薯产量性状的影响[J]. 北方农业学报, 2020, 48(1): 30-34.
- [22] 曲 萍, 郭宝华, 王海波, 等. PBAT 全生物降解地膜在玉米田中的降解特性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17): 194-199.
- [23] 王 斌, 万艳芳, 王金鑫, 等. PBAT 型全生物降解地膜对南疆马铃薯产量及土壤温湿度与养分的影响[J]. 西北农业学报, 2020, 29(1): 35-43.
- [24] 向午燕, 冯 晨, 冯良山, 等. PBAT 全生物降解地膜在辽西半干旱的降解及残留特性[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(12): 45-53.
- [25] 程万莉, 樊廷录, 王淑英, 等. 全生物降解地膜覆盖对河西灌区马铃薯田耕层土温及产量的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(9): 815-821.
- [26] 刘世海, 丁述森, 张海林, 等. 8 个菜用型马铃薯品种在榆中县的引种试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2020(10): 59-63.
- [27] 张海强, 杨 霞, 王立霞, 等. 全生物降解地膜在高海拔地区玉米栽培中的应用研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(7): 649-653.
- [28] 杨 雅, 李 涛, 朱建强, 等. 生物降解地膜降解特性及其应用对辣椒生长发育的影响[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(7): 79-92.
- [29] 李兴需, 王 芸, 张志毅, 等. 不同全生物降解地膜在辣椒大田生产中的应用效果[J]. 中国蔬菜, 2023(6): 48-52.
- [30] 丁 茜, 余 佳, 蒋馨漫, 等. 生物降解地膜材料的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12): 150-153.
- [31] 余 旺, 王朝云, 易永健, 等. 国内生物降解地膜研究进展[J]. 塑料科技, 2019, 47(12): 156-165.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 王 星, 吕家琰, 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.
- [35] 钱亚光, 刘宏金, 季凤辉, 等. 可降解地膜在覆膜玉米中的应用效果分析[J]. 北方农业学报, 2019, 47(4): 92-96.
- [36] 陈瑞英, 赵培荣, 刘宏金, 等. 可降解地膜在马铃薯上的应用效果研究[J]. 中国农学通报, 2022, 38(6): 37-41.
- [37] 龚双凤, 杨 涛, 陈宝燕, 等. 地膜降解与土壤温度和含水率的关系及其对棉花产量的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(4): 62-68.