

# 不同类型地膜覆盖对旱作区饲用玉米生长及土壤水热状况的影响

代立兰<sup>1</sup>, 赵亚兰<sup>1</sup>, 李明凯<sup>2</sup>, 王 锦<sup>2</sup>, 张光全<sup>3</sup>, 曹 靖<sup>2</sup>

(1. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学, 甘肃 兰州 730000;  
3. 榆中县农业技术推广中心, 甘肃 榆中 730100)

**摘要:** 为了筛选出适宜旱作区玉米生产的地膜种类, 研究了全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜和普通 PE 地膜对饲用玉米生长和产量、土壤水热状况的影响及地膜残留状况。结果表明, 与普通 PE 地膜相比, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜分别在覆膜后 25、35 d 开始裂缝进入诱导期 (裂缝<1 cm), 在 78、82 d 进入破裂期 (裂缝>3 cm), 在 148、156 d 进入崩解期 (裂缝>5 cm)。与对照普通 PE 地膜相比较, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜覆盖处理的玉米出苗期、拔节期有所延迟, 而大喇叭口期、抽雄期、蜡熟初期有所提前; 耕作层土壤含水率在大喇叭口期下降 11.66%、5.61%, 乳熟期下降 19.52%、7.14%; 土壤温度在玉米生育前期 (苗期至拔节期) 下降不明显, 后期 (大喇叭口期至乳熟期) 下降幅度稍大; 玉米鲜秸秆产量分别显著下降 12.39%、13.34% ( $P<0.05$ ); 地膜投入分别提高 100%、125%, 毛利润分别下降 10.60%、12.51%, 地膜残留量分别下降 58.33%、33.33%。综合考虑认为, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜在干旱的雨养农业区对饲用玉米生物产量有一定影响, 加之全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜价格偏高, 使得种植饲用玉米毛利润减少, 但由于全生物降解地膜的地膜残留量较普通 PE 地膜显著下降, 有利于饲用玉米产业乃至的可持续高质量发展。

**关键词:** 全生物降解地膜; 饲用玉米; 生长; 产量; 土壤水热状况; 地膜残留量

中图分类号: S513

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)07-0628-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.07.007

## Effects of Different Types of Film Mulching on the Growth of Forage Maize and Soil Hydrothermal Status in Dry Farming Areas

DAI Lilan<sup>1</sup>, ZHAO Yalan<sup>1</sup>, LI Mingkai<sup>2</sup>, WANG Jin<sup>2</sup>, ZHANG Guangquan<sup>3</sup>, CAO Jing<sup>2</sup>

(1. Lanzhou City Agricultural Technology Research and Extension Centre, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China; 3. Agricultural Technology Extension Centre of Yuzhong County, Yuzhong Gansu 730100, China)

**Abstract:** In order to identify suitable types of mulching film for maize production in dry farming areas, the effects of fully biodegradable film, water-permeable fully biodegradable film, and conventional PE film on forage maize growth, yield, soil hydrothermal condition, and film residue were investigated. The results showed that, compared with conventional PE film, the fully biodegradable and water-permeable biodegradable films entered the induction phase (crack<1 cm) at 25 and 35 days after mulching, respectively, the rupture phase (crack>3 cm) at 78 and 82 days, and the disintegration phase (crack>5 cm) at 148 and 156 days. Compared with PE film, maize emergence and jointing stages were delayed under biodegradable films, while the trumpet stage, tasseling stage, and early dough stage occurred earlier. Soil moisture in the tillage layer decreased by 11.66% and 5.61% at the trumpet stage, and by 19.52% and 7.14% at the milking stage, respectively. Soil temperature declined slightly during the early growth stage (seedling to jointing), but declined more noticeably during the later stage (from trumpet onward). The yield of fresh maize stalk decreased significantly by 12.39% and 13.34% ( $P<0.05$ ), while mulch film input cost increased by 100% and 125%, and gross profit decreased by 10.60% and 12.51%, respectively. Meanwhile, film residue was reduced by 58.33% and 33.33%. Overall, although the use of biodegradable films led to a certain reduction in biomass yield and profit due to higher costs, the significantly lower film residue compared to PE film is conducive to the sustainable and high-quality development of the forage maize industry in arid rainfed agricultural regions.

**Key words:** Fully biodegradable mulch film; Forage maize; Growth; Yield; Soil hydrothermal condition; Mulch film residue

收稿日期: 2024-06-27; 修订日期: 2025-06-02

基金项目: 甘肃省科技厅重点研发项目(21YF5FA107); 2024年甘肃省农业农村厅科技支撑计划(KJZC-2024-14)。

作者简介: 代立兰(1969—), 女, 甘肃兰州人, 研究员, 主要从事作物栽培技术研究工作。Email: 824933964@qq.com。

通信作者: 曹 靖(1968—), 女, 甘肃兰州人, 教授, 博士, 研究方向为农业生态与环境。Email: 1041754299@qq.com。

玉米是甘肃省广泛种植的粮饲兼用作物, 面积保持在 100.9 万  $\text{hm}^2$  左右<sup>[1]</sup>, 饲用玉米以籽粒或者鲜秸秆全株(含茎、叶、籽实)青饲、青贮、调制干草, 是畜牧业的主要饲料。饲用玉米的最佳收获期为籽粒乳熟末期至蜡熟前期<sup>[2]</sup>。干旱胁迫和地力贫瘠是甘肃旱作区农作物生产的主要限制因素, 地膜覆盖因具有显著的蓄水保墒效果在我国北方农业领域被广泛使用, 地膜覆盖率由 35% 提高到 90%<sup>[3]</sup>。地膜覆盖种植能够提高玉米生育前中期 0~60 cm 土壤含水量, 较露地种植不仅有效提高了水分利用效率, 而且显著增加了玉米产量<sup>[4]</sup>, 是甘肃玉米种植的主要技术措施。随着地膜覆盖面积不断增加, 农田地膜回收率却不足 60%<sup>[5]</sup>。全生物降解地膜是由 PPC、PBAT 等全生物降解树脂生产的降解地膜, 渗水型生物降解地膜是采用 PPC 和 PBAT 以及偶联性渗水助剂吹制而成的具有渗水和透气功能的微孔地膜<sup>[6]</sup>。有研究发现, 渗水型全生物降解地膜对冬播谷子具有明显的早熟和抗旱增产作用<sup>[7]</sup>。但是, 目前大多数全生物降解地膜由于材料配比、加工工艺等方面的差异, 存在破裂和降解过早、覆盖时间远低于作物地膜覆盖安全期等问题。筛选既能满足作物生长需求、保持作物增产又能降解的全生物降解地膜, 对降低农田土壤环境污染意义重大。本试验通过比较全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜和普通 PE 地膜对甘肃旱作区土壤水热及饲用玉米生长、产量性状、经济效益的影响, 以期在全生物降解地膜覆盖性能的提升和推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于榆中县龙泉乡南端, 当地海拔 2 052 m, 地形以山沟梁峁为主, 属温带半干旱性季风气候, 年均降水量 400 mm, 蒸发量 1 450 mm, 年均气温 6.7  $^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 120 d。农作物主要为小麦、玉米、马铃薯等。试验地土壤质地为灰钙土, 肥力中等均匀, 前茬作物为马铃薯。

### 1.2 供试材料

指示品种为粮饲兼用玉米品种豫玉 22 号。供试地膜分别为白色全生物降解地膜(幅宽 120 cm、厚度 0.010 mm, 兰州金土地塑料制品有限公司生

产)、白色渗水型全生物降解地膜(幅宽 120 cm、厚度 0.008 mm, 山西省农业科学院生产)、白色普通 PE 地膜(幅宽 120 cm、厚度 0.010 mm, 兰州金土地塑料制品有限公司生产)。

### 1.3 试验方法

试验共设 3 个处理, 其中 T1 处理为白色全生物降解地膜, T2 处理为白色渗水型全生物降解地膜, T3 处理(CK)为白色普通 PE 地膜。采用完全随机设计, 3 次重复, 小区面积 100  $\text{m}^2$  (20 m  $\times$  5 m)。各处理种植方式均采用旱地全膜双垄沟播种植模式<sup>[8-9]</sup>, 于 2023 年 4 月 25 日按宽行 60 cm、窄行 40 cm 覆膜, 用玉米点播机于 4 月 30 日按株距 40 cm 点播, 保苗密度为 50 025 株/ $\text{hm}^2$ 。覆膜前结合整地一次性基施 N 150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  75  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  75  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 生育期间不做追肥处理。各处理田间管理方式与当地大田一致, 及时放苗和拔除田间杂草。9 月 30 日以青饲料形式全株收获。

### 1.4 测定内容及方法

玉米生育期间观察并记录地膜降解过程中的变化情况, 降解膜降解过程大体可分为诱导期(地膜出现 $<1$  cm 的小裂缝)、破裂期(地膜出现 $>3$  cm 的大裂缝)、崩解期(地膜已经裂解成较大碎块, 不再保持完整膜面, 裂缝 $>5$  cm)<sup>[10-12]</sup>。在玉米播前、苗期、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、乳熟期采用便捷式土壤智能检测仪(北京梦创伟业科技有限公司生产)分别测定膜下 0~20 cm 耕作层的土壤含水量及温度, 测定时间为当天 10:30—11:30 时。玉米收获时按小区测定玉米株高、穗位高、单株鲜重、植株含水率等生长指标及鲜草产量。玉米收获后人工捡拾地膜, 然后在各小区随机采挖 0.3 m  $\times$  0.3 m  $\times$  0.2 m 土样 3 个, 将混合土样过 2 mm 筛筛选地膜残片并带回实验室清洗称重, 计算地膜残留量。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理, 采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析, 方差分析使用 LSD 法进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型地膜的降解时期比较

从表 1 可以看出, 试验于 4 月 25 日覆盖地膜, T1、T2 处理分别在覆膜后 25、35 d 开始出现

裂缝进入诱导期(地膜裂缝<1 cm),在 78、82 d 进入破裂期(地膜裂缝>3 cm),在 148、156 d 进入崩解期(地膜裂缝>5 cm),而 T3(CK)在玉米全生育期间地膜无破裂。

表 1 不同类型地膜的降解时期

| 处理     | 地膜诱导期        |          | 地膜破裂期        |          | 地膜崩解期        |          |
|--------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
|        | 时间<br>/(日/月) | 历时<br>/d | 时间<br>/(日/月) | 历时<br>/d | 时间<br>/(日/月) | 历时<br>/d |
| T1     | 20/5         | 25       | 12/7         | 78       | 20/9         | 148      |
| T2     | 30/5         | 35       | 16/7         | 82       | 28/9         | 156      |
| T3(CK) | -            | -        | -            | -        | -            | -        |

①表中“-”代表无数据。

## 2.2 不同类型地膜覆盖处理对饲用玉米生育进程的影响

由表 2 可以看出,不同地膜覆盖对饲用玉米生育进程影响较大。T1、T2 处理的出苗期较 T3(CK)分别延迟 3、2 d;随着玉米生育进程的推进,T1、T2 处理因地膜的降解特性而不断开裂,致使玉米拔节期均延迟 3 d,大喇叭口期分别提前 3、1 d,抽雄期提前 4、2 d,蜡熟初期提前 5、4 d。由于各处理均于 9 月 30 日以青贮玉米形式进行全株收获,故全生育期均为 153 d。

表 2 不同类型地膜覆盖处理的饲用玉米生育期 日/月

| 处理     | 出苗期  | 拔节期  | 大喇叭口期 | 抽雄期  | 蜡熟初期 | 收获期  |
|--------|------|------|-------|------|------|------|
| T1     | 12/5 | 15/6 | 12/7  | 8/8  | 25/9 | 30/9 |
| T2     | 11/5 | 15/6 | 14/7  | 10/8 | 26/9 | 30/9 |
| T3(CK) | 9/5  | 12/6 | 15/7  | 12/8 | 30/9 | 30/9 |

## 2.3 不同类型地膜覆盖处理对耕作层土壤含水量的影响

玉米根系主要分布在 20 cm 以内的耕作层,耕作层土壤含水量对玉米产量性状的形成至关重要。由表 3 可见,3 种地膜覆盖条件下的土壤含水量均随着时间的推移而呈下降趋势。在玉米整个生育期,与 T3(CK)相比,T1、T2 处理的土壤含水量苗期分别下降 2.41%、1.62%,拔节期分别下降 2.73%、1.97%,大喇叭口期分别下降 11.68%、5.64%,抽雄期分别下降 19.52%、7.14%,乳熟期分别下降 5.45%、2.30%。由此可见,出苗前后及拔节期各处理土壤水分含量差异不大,大喇叭口期至抽雄前水分含量差异较大,至乳熟期水分含量差异又变小,这与当地降水分布及降解地膜的

表 3 不同类型地膜覆盖处理的耕作层土壤含水量 g/kg

| 处理     | 播前    | 苗期    | 拔节期   | 大喇叭口期 | 抽雄期   | 乳熟期   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1     | 180.7 | 174.1 | 153.2 | 128.5 | 110.5 | 111.0 |
| T2     | 180.7 | 175.5 | 154.4 | 137.3 | 127.5 | 114.7 |
| T3(CK) | 180.7 | 178.4 | 157.5 | 145.5 | 137.3 | 117.4 |

破裂速度有关。

## 2.4 不同类型地膜覆盖处理对耕作层土壤温度的影响

在整个玉米生育期内,T1、T2、T3 处理随着气温的变化膜下地温呈缓慢上升趋势(表 4),T3(CK)的耕作层地温始终高于 T1、T2 处理,拔节前 T1 处理的耕作层地温高于 T2 处理,拔节期之后随着 T1 处理的地膜的裂解加剧导致其耕作层地温逐渐低于 T2 处理。与 T3(CK)相比,T1、T2 处理耕作层地温在苗期分别下降 0.30、0.34℃,拔节期分别下降 0.70、0.27℃,大喇叭口期分别下降 1.54、0.54℃,抽雄期分别下降 1.47、0.40℃,乳熟期分别下降 1.14、0.30℃。由此可见,耕作层土壤温度的变化与地膜膜面破裂降解速度及玉米植株对地面的遮盖效应有一定关联。

表 4 不同类型地膜覆盖处理的耕作层土壤温度℃

| 处理     | 播前    | 苗期    | 拔节期   | 大喇叭口期 | 抽雄期   | 乳熟期   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1     | 20.67 | 22.77 | 23.90 | 24.03 | 24.40 | 24.93 |
| T2     | 20.57 | 22.73 | 24.33 | 25.03 | 25.47 | 25.77 |
| T3(CK) | 20.77 | 23.07 | 24.60 | 25.57 | 25.87 | 26.07 |

## 2.5 不同类型地膜覆盖处理对饲用玉米产量性状及产量的影响

由表 5 可见,与 T3(CK)相比,T1、T2 处理的玉米株高分别下降 2.02%、2.85%,穗位高分别显著下降 18.60%、16.92%( $P<0.05$ ),单株鲜重分别显著下降 11.76%、13.07%( $P<0.05$ ),玉米鲜秸秆产量分别显著下降 12.39%、13.34%( $P<0.05$ );而植株含水率则表现为 T1 处理较 T3(CK)下降 0.12%,T2 处理较 T3(CK)显著提高 3.80%。

表 5 不同类型地膜覆盖处理的饲用玉米主要性状及产量

| 处理     | 株高<br>/cm | 穗位高<br>/cm | 单株<br>鲜重<br>/kg | 植株<br>含水率<br>/% | 鲜秸秆<br>产量<br>/(kg/hm <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------|------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|
| T1     | 232.23 a  | 78.88 b    | 1.35 b          | 66.81 b         | 67 100 b                            |
| T2     | 230.27 a  | 80.50 b    | 1.33 b          | 69.43 a         | 66 370 b                            |
| T3(CK) | 237.03 a  | 96.90 a    | 1.53 a          | 66.89 b         | 76 590 a                            |

2.6 不同类型地膜覆盖处理对饲用玉米经济效益及地膜残留量的影响

从表 6 可以看出, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜的单价、投入成本均明显大于普通 PE 地膜, 但普通 PE 地膜的捡拾费达 2 300 元/hm<sup>2</sup>。依据鲜草产量及单价计算, 各处理的毛收入介于 33 185 ~ 38 195 元/hm<sup>2</sup>; 毛利润介于 3.05 万 ~ 3.47 万元/hm<sup>2</sup>。与 T3(CK)相比较, T1、T2 处理的地膜投入分别提高了 100%和 125%, 毛利润分别下降 10.22%和 12.13%。

玉米收获后进行人工捡拾地膜, 发现地膜残留量以 T3 处理(CK, 普通 PE 地膜)最高, 达 18.0 kg/hm<sup>2</sup>, 地膜残留率为 15.00%; T2 处理(渗水型全生物降解地膜)次之, 为 12.0 kg/hm<sup>2</sup>, 地膜残留率为 13.33%; T1 处理 (全生物降解地膜)仅 7.5 kg/hm<sup>2</sup>, 地膜残留率为 6.25%。由于全生物降解地膜、白色渗水型全生物降解地膜的地膜残膜多为 3 ~ 10 cm 长宽不等的碎片, 故面积小而不易人工捡拾。与 T3(CK)相比, T1、T2 处理地膜残留量分别下降 58.33%和 33.33%。

3 讨论与结论

地膜在干旱地区的农业生产中起着至关重要的作用, 但是多年后地膜残留污染随之而来。随着对土壤环境保护的重视, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜等应运而生。研究显示, 普通 PE 地膜在作物整个生育期具有抑制土壤水分蒸发的作用, 而渗水型全生物降解地膜能较好地利用小型降水<sup>[13]</sup>。申丽霞等<sup>[14]</sup>研究表明, 在降水量 400 mm 左右的旱作区可降解地膜对玉米生长的影响与普通 PE 地膜相当。而毕昕媛等<sup>[15]</sup>研究表明, 渗水型全生物降解地膜降解速率既能保证地膜的增温、保水、防草等功能, 又能及时降解, 显著减少了农用残膜污染。本研究中全生物降解地膜和渗水型全生物降解地膜在前期增温保墒作用明

显, 玉米生长势较好, 后期因地膜不同程度的破裂及气候干旱等原因, 土壤水分、地温降幅增大, 使得玉米生育进程缩短, 不利于生物产量的提高。

本研究中地膜残留率表现为普通 PE 地膜 (15.00%)>渗水型全生物降解地膜(13.33%)>全生物降解地膜 (6.25%)。毕昕媛等<sup>[15]</sup>研究表明, 渗水型全生物降解地膜 50 d 开始呈现网状裂解, 收获时地膜残留率为 30.81%, 主要原因是全生物降解地膜在土壤中的降解速度比地表覆盖部分的降解速度慢<sup>[15-16]</sup>。本研究中的渗水型全生物降解地膜、全生物降解地膜覆膜后的诱导期、破裂期、崩解期不同, 从残膜面积、形态以及质量来看, 全生物降解膜虽未达到完全降解, 但残膜量明显减少。全生物可降解地膜作为一种新型环保材料, 其效果还有待继续验证, 大面积替代普通地膜应用于农业生产尚需时日<sup>[17]</sup>。

本研究中普通 PE 地膜的人工捡拾成本达 2 300 元/hm<sup>2</sup>, 而且无法彻底捡拾干净, 对土壤环境污染较明显。与普通 PE 地膜相比, 全生物降解地膜和渗水型全生物降解地膜虽然投入提高, 导致毛收入和毛利润均有所下降, 但全生物降解地膜裸露部分在玉米全生育期内 85%以上基本降解, 无需捡拾, 极大地节约了成本。但由于全生物降解地膜被压在土里的部分并未降解, 无法回收仍然残留在农田中, 短期内可造成土壤残膜污染。

以粮饲兼用玉米品种豫玉 22 号为指示品种, 研究了全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜和普通 PE 地膜对饲用玉米生长、产量、土壤水热状况的影响及地膜残留状况。结果表明, 与普通 PE 地膜相比, 全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜分别在覆膜后 25、35 d 开始裂缝进入诱导期(地膜裂缝<1 cm), 在 78、82 d 进入破裂期(地膜裂缝>3 cm), 在 148、156 d 进入崩解期(地膜裂缝>5 cm)。与覆盖普通 PE 地膜相比, 覆盖全生

表 6 不同类型地膜覆盖处理的饲用玉米经济效益及地膜残留量<sup>①</sup>

| 处理     | 地膜投入                         |               |                              | 玉米产出                             |                              | 毛利润<br>/(万元/hm <sup>2</sup> ) | 地膜残留量<br>/(kg/hm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
|        | 用量<br>/(kg/hm <sup>2</sup> ) | 单价<br>/(元/kg) | 捡拾费<br>/(元/hm <sup>2</sup> ) | 玉米鲜秸秆产量<br>/(t/hm <sup>2</sup> ) | 毛收入<br>/(元/hm <sup>2</sup> ) |                               |                                 |
| T1     | 120                          | 20            | 0                            | 67.10                            | 33 550                       | 3.12                          | 7.5                             |
| T2     | 90                           | 30            | 0                            | 66.37                            | 33 185                       | 3.05                          | 12.0                            |
| T3(CK) | 120                          | 10            | 2 300                        | 76.39                            | 38 195                       | 3.47                          | 18.0                            |

①饲用玉米鲜秸秆价格按 500 元/t 计。

物降解地膜、渗水型全生物降解地膜覆盖处理的玉米出苗期、拔节期分别延迟 3、2 d 和 3、3 d, 而大喇叭口期、抽雄期、蜡熟初期分别提早 3、1 d, 4、2 d, 5、4 d; 土壤含水率在大喇叭口期和乳熟期较对照覆盖普通 PE 地膜下降明显, 分别下降 11.68%、5.64%和 19.52%、7.14%; 土壤温度在生育前期(苗期至拔节期)下降不明显, 中后期(大喇叭口期、抽雄期)分别下降 1.54、0.54 ℃和 1.47、0.40 ℃, 乳熟期分别下降 1.14、0.30 ℃。玉米鲜秸秆产量分别较对照覆盖普通 PE 地膜下降 12.39%、13.34%; 地膜投入分别较对照覆盖普通 PE 地膜提高 100%、125%, 毛利润分别较对照覆盖普通 PE 地膜下降 10.22%、12.13%, 地膜残留量分别较对照覆盖普通 PE 地膜下降 58.33%、33.33%。全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜在前期增温保墒作用明显, 后期因地膜破裂、气候干旱等原因, 耕作层土壤水分、地温降幅较大, 在干旱的雨养农业区对玉米生物产量有一定影响, 加之全生物降解地膜、渗水型全生物降解地膜价格偏高, 使得种植饲用玉米毛利润减少, 但由于全生物降解地膜的地膜残留量较普通 PE 地膜显著下降, 有利于农业的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 刘 庆, 马建涛, 柴雨葳, 等. 覆盖栽培对旱地春玉米耗水特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 59(3): 1-13.
- [2] 祖文龙, 依光香, 宋康勇, 等. 西双版纳州青贮饲用玉米发展趋势及高产栽培技术探讨[J]. 现代农业科技, 2019(4): 214-216.
- [3] 门 旗, 李 毅, 冯广平. 地膜覆盖对土壤裸间蒸发影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2003(2): 17-20; 25.
- [4] 张丽华, 徐 晨, 闫伟平, 等. 地表覆盖对土壤水分、玉米生理特性及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2025, 47(1): 15-24.
- [5] 赵 岩, 陈学庚, 温浩军, 等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1-14.
- [6] 闫乃桐, 张佳丽, 王仕稳, 等. 降解地膜和渗水地膜覆盖对中国北方主要旱地作物产量和水分利用效率效应的 Meta 分析[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 121-129.
- [7] 姚建民, 毕昕媛, 李瑞珍, 等. 生物降解渗水地膜覆盖对冬播谷子生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(11): 1295-1300.
- [8] 李小燕, 孙多鑫, 王 昭, 等. 减穴增株在半干旱区全膜双垄沟播玉米上的应用研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(8): 723-726.
- [9] 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.
- [10] 杜 健, 王托和, 邹 悦, 等. 全生物降解地膜对饲用玉米的影响及降解效果研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(7): 639-644.
- [11] 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.
- [12] 陈 超, 冯训宁, 何 丽, 等. 全生物降解地膜对马铃薯田水热特性及产量的影响[J]. 寒旱农业科学, 2025, 4(5): 438-446.
- [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.
- [14] 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.
- [15] 毕昕媛, 姚建民, 杨三维, 等. PPC 生物降解渗水地膜覆盖高粱试验[J]. 山西农业科学, 2020, 48(1): 68-70; 116.
- [16] 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.
- [17] 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.