

唐文雪, 马忠明. 地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(1): 114-123.

TANG Wen-xue, MA Zhong-ming. Effects of degradable film degradation properties on soil temperature, moisture, and maize yield[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(1):114-123.

# 地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响

唐文雪<sup>1</sup>, 马忠明<sup>2\*</sup>

(1.甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070; 2.甘肃省农业科学院, 兰州 730070)

**摘要:**为探讨可降解地膜降解特征对土壤的增温保墒效应对玉米产量的影响, 2015年4月至2017年3月在河西绿洲灌区张掖节水农业试验站进行了玉米覆盖可降解地膜、普通地膜及露地栽培对比试验。基于各测试指标2015年、2016年2年的平均值, 结果表明:不同降解膜降解速率有明显差异。降解膜A、B、C在覆膜80 d内性能比较稳定, 在覆膜170 d时, 降解膜A质量损失率仅为12.3%, 降解膜B和C质量损失率高达82.4%、91.4%。3种降解膜具有显著的保墒性能, 随降解膜破损度的增加, 保墒性能降低。在苗期, 0~120 cm土层, 降解膜A耗水量比普通膜降低6.4%, 降解膜B和C增加5.2%、6.5%。在收获期, 降解膜A、B、C耗水量比普通膜增加8.8%、9.5%、11.2%; 覆盖降解地膜能明显提高玉米播种至拔节期0~15 cm土壤温度, 但与普通地膜相比, 降解膜A、B和C土壤温度仅降低0.5、1.5、1.4℃。三种降解膜产量显著高于露地对照42.2%、37.1%、38.3%; 与普通膜相比, 降解膜A增产0.6%, 降解膜B和C仅减产3.0%和2.2%。综合上述研究结果, 降解膜A增温保墒效果好, 玉米产量高, 但降解效果最差。降解膜B和C具有较好的增温保墒效果, 可满足作物对温度水分的需求, 有利于玉米生长发育及产量的提高, 并且灌浆中后期降解速度加快, 降解效果好。研究认为, 在河西灌区降解膜B和C替代普通地膜应用于玉米生产具有可行性。

**关键词:**地膜; 可降解; 土壤温度; 土壤水分; 玉米; 产量

中图分类号: S513 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)01-0114-10 doi:10.11654/jaes.2017-0500

## Effects of degradable film degradation properties on soil temperature, moisture, and maize yield

TANG Wen-xue<sup>1</sup>, MA Zhong-ming<sup>2\*</sup>

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** With the aim of selecting a degradable plastic film suitable for maize production in the Hexi irrigation area, degradable films with different degradation properties were compared with respect to their effects on soil warming, soil moisture, and maize yield. The results were compared to the effects of plastic film in an open-field experiment conducted from April 2015 to March 2017 in the Hexi irrigation area. The results showed that the degradation rates of the degradable mulch films were different. The degradation rate of test film A was the slowest, and the weight-decreasing rate was only 12.3% at 170 days. However, the degradation rates of test films B and C increased sharply after 120 days, and the weight-decreasing rate was 82.4% and 91.4% at 170 days, respectively. Moreover, the degradation properties of each degradation film were relatively stable and repeatable. The three kinds of degradation films showed significant soil moisture preservation properties, and the soil moisture preservation decreased with an increase of the degradation degree of the film. In the seedling stage, at the 0~120 cm soil layer, the water consumption of test film A decreased by 6.4% compared to that of the ordinary film, while that of test films B and C increased by 5.2% and 6.5%, respectively. In the maturation stage, the water consumption of test films A, B, and C was 8.8%, 9.5%,

收稿日期: 2017-04-06 录用日期: 2017-09-19

作者简介: 唐文雪(1967—), 女, 甘肃临夏人, 副研究员, 主要从事作物栽培与农业面源污染研究。E-mail: gstwx@163.com

\* 通信作者: 马忠明 E-mail: mazhming@163.com

基金项目: 甘肃省农业科学院科技创新专项(2017GAAS25); 公益性行业(农业)科研专项基金(20100314-7); 甘肃省科技支撑计划项目(144NKCA053)

**Project supported:** Scientific and Technological Innovation Project in Gansu Academy of Agricultural Sciences (2017GAAS25); The Special Scientific Research Fund of Agriculture Public Welfare Profession of China (20100314-7); The Key Technology Research and Development Program of Gansu Province, China (144NKCA053)

and 11.2% higher than that of the ordinary film, respectively. Degradable film mulching could significantly increase the soil temperature at 0 to 15 cm in the seedling and jointing stages. The soil temperature of test films A, B, and C was reduced by 0.5 °C, 1.5 °C, and 1.4 °C, respectively, compared with the ordinary film. The yield of the three kinds of degradation films was significantly higher than that of the control by 42.2%, 37.1%, and 38.3%, respectively. Compared with the ordinary film, the yield of test film A increased by 0.6%, whereas those of test films B and C decreased by 3.0% and 2.2%, respectively. Based on these results, test film A showed a good effect on temperature increase and soil moisture preservation, and although the yield of maize was the highest, the degradation effect was the worst. Test films B and C also showed good effects on temperature increase and soil moisture preservation, which can meet the temperature and moisture demands of crops, and were beneficial to the growth and development of maize with an increase of yield. Moreover, the degradation rate was accelerated and the degradation effect was good. Test films B and C could be applied to agriculture instead of plastic film.

**Keywords:** films; degradable; soil temperature; soil moisture; maize; yield

地膜覆盖技术使我国玉米每年增产 100 亿~150 亿 kg, 贡献了相当于全国玉米总产量的 5%~8%<sup>[1-2]</sup>。河西绿洲灌区是我国最大的杂交玉米制种基地, 占全国制种面积的 53%, 制种量的 60%<sup>[3]</sup>, 该区玉米制种业的持续发展对我国玉米产业的发展起到至关重要的作用。受水资源缺乏和积温不足的影响, 玉米生产中普遍采用地膜覆盖栽培技术, 呈现覆盖面积大、覆盖年限长、使用强度大、污染严重的特点<sup>[4-5]</sup>, 大量的地膜残留给农业生产以及农田生态环境带来了严重的负面影响<sup>[6-7]</sup>。为此, 地膜覆盖技术合理利用和新型环境友好型降解地膜产品研制成为我国现代农业的新需求<sup>[1,8-10]</sup>。目前, 降解地膜一般可分为光降解地膜、生物降解地膜、光/生物降解地膜三种类型<sup>[2]</sup>。近年来, 我国降解地膜的研究和应用取得了长足进步。降解膜在新疆、河北、内蒙古、山西等地的棉花、玉米等作物上的研究表明, 可降解地膜覆盖能明显改善土壤耕作层的水热状况, 促进作物生长发育, 其作用与普通地膜相当<sup>[10-13]</sup>。但由于区域气候条件、作物种类、覆盖方式等不同, 其覆盖后的降解特性以及作物产量的增减不一<sup>[8,14-16]</sup>, 这给降解膜的研究推广工作带来了很大难度。河西绿洲灌区降解膜应用研究很少, 李强等<sup>[17]</sup>和何增国等<sup>[18]</sup>研究仅局限在降解膜对土壤温度、水分及玉米产量的影响方面, 缺乏对降解膜降解性能、降解稳定性、适应性评价等方面的研究。本研究在河西灌区开展为期 2 年的田间试验, 研究评价降解性能的稳定性及其对土壤水热效应和玉米产量的影响, 以期可为降解地膜在河西灌区应用推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2015 年 4 月至 2017 年 3 月在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站进行。试验站位于甘肃

省河西走廊中部, 土壤质地为沙质壤土, 0~20 cm 耕层土壤养分平均含量: 有机质 12.49 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.87 g·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 13.72 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 223.7 mg·kg<sup>-1</sup>, 容重 1.39 g·cm<sup>-3</sup>, pH 值 8.58。平均年蒸发量 2075 mm, 年降水量不足 130 mm, 干旱指数达 15.96, 属于典型的无灌溉就无农业的干旱灌溉地区, 具有西北绿洲灌溉农业区的典型特征。

### 1.2 试验材料与设计

水资源缺乏和春季积温不足是玉米生产的限制因子。研究表明河西灌区在 6 月中下旬后, 由于玉米田间郁闭度增大, 地膜基本失去增温效应<sup>[9]</sup>。为此, 降解膜稳定期要达到 60 d 以上, 并且具有较好的保墒效果及降解性能才能满足生产及生态要求。本试验选用的 3 种降解膜颜色均为乳白色。其中降解保水地膜由白山市喜丰塑业有限公司生产, 为光氧化降解膜, 由 95% 的聚乙烯加 5% 的光助剂和热助剂制成。膜幅宽 120 cm, 厚度 0.008 mm, 稳定天数约 60~90 d; 可降解地膜 BASF1 和 BASF2 由德国巴斯夫股份公司青岛分公司生产, 为全生物降解地膜, 主要成分为 PBAT (己二酸丁二醇酯和对苯二甲酸丁二醇酯的共聚物)。BASF1 幅宽 140 cm, 厚度 0.012 mm, 稳定天数约 90 d; BASF2 幅宽 140 cm, 厚度 0.010 mm, 稳定天数约 80 d; 普通地膜由山东济宁市唐口新华塑料制品厂生产, 成分主要为聚乙烯, 膜宽 140 cm, 厚度 0.008 mm。供试玉米品种为豫玉 22 号, 是本地主栽品种。

试验采用随机区组设计, 小区面积为 6.5 m×7.2 m, 3 次重复。试验设 5 个处理, 分别为露地对照 (CK1)、普通地膜 (CK2)、可降解保水地膜 (降 A)、BASF2 (降 B)、BASF1 (降 C)。

各处理不施有机肥, 施 N 300 kg·hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 225 kg·hm<sup>-2</sup>。氮素用量的 40% 和全部磷肥作基肥。在玉米大喇叭口及吐丝期各施 30% 的氮素作追肥。氮肥为尿

素(46.4% N),磷肥为重过磷酸钙(44% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)。生育期灌水量 3600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。全生育期灌水 4 次,分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期和灌浆中期灌水,每次灌水量占灌溉定额的比例为 20%、30%、30%、20%。采用水表计量灌溉。

玉米采用全地面地膜覆盖栽培,宽窄行模式种植。带幅 120 cm,宽行 80 cm,窄行 40 cm,株距 24 cm,播深 2.0~2.5 cm。播种密度 67 500 株·hm<sup>-2</sup>。玉米播种前一周覆膜。4 月下旬播种,10 月上旬收获。

### 1.3 测定项目和方法

#### 1.3.1 不同地膜的降解性能测定

通过目测法和计算地膜质量损失法对田间覆盖试验降解膜降解性能、降解强度进行评价。

田间覆盖试验的目测评价法<sup>[12]</sup>:通过定期的人为肉眼观测,记录地膜颜色、形态以及表面完整性的变化情况。地面暴露部分的降解过程分为 5 个阶段。具体评价标准如表 1 所示:

表 1 降解膜田间降解观测标准

Table 1 The standard of degradable mulch in the field

阶段	名称	评价标准
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	崩裂期	地膜裂解成大碎块,没有完整的膜面的时间
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

地膜质量损失法:覆膜前分别量取 10 m 长降解地膜、普通地膜称出质量,每种膜称量 3 次,然后求其平均数;玉米覆膜后 30、60、90、120、150、170 d 在每个小区第 2、5 带随机选取 3 个 1 m 长覆膜段,收集地膜,洗净、晾干、称质量(1/10 000 高精度电子天平测量),计算地膜质量损失率<sup>[20]</sup>。

地膜质量损失率(%)=(覆盖前膜质量-覆盖后膜质量)/覆盖前膜质量×100。

#### 1.3.2 土壤温度测定

用 WQG-16 曲管地温计(北京普特仪表成套厂)人工测定。将曲管地温计在各处理内分 3 个层次(5、10、15 cm)埋设。从玉米播种至拔节后每隔 1 d 在 8:00、14:00 和 18:00 测定土壤温度。苗期和拔节期 1 d 测定 3 次的基础上,在 6:00、10:00、12:00、16:00 和 20:00 各加测 5 次。

#### 1.3.3 土壤水分测定

采用烘干法对不同处理的土壤水分进行测定,测

定时间为玉米播种前 1 d 及拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆中期和收获后,共 6 次。每小区分别在宽行和窄行中间各测定 1 个点,测定层次为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120 cm 6 个层次,取 2 个点相同土层平均值为该处理相应土层的土壤含水量值,并根据各土层土壤含水量计算 0~120 cm 土层贮水量(W)。

$$W = \sum w_i r_i h_i / 10。$$

式中:W 为 0~120 cm 土壤水分总贮量,mm; $w_i$  为土壤质量含水量,%; $r_i$  为每层土壤容重,g·cm<sup>-3</sup>,每 20 cm 采用不同容重; $h_i$  为分层厚度,为 20 cm。

#### 1.3.4 作物田间耗水量及水分利用效率的计算

本文采用农田水分平衡法计算作物田间实际蒸散量,由于试验小区平整、地水位深、土层深厚且土壤质地均一,在试验区很少产生深层渗漏和地下水补给。因此,作物田间耗水量(ET)的农田水分平衡方程为:

$$ET = P + I + \Delta W$$

式中:ET 为阶段耗水量,mm; $P$  为降雨量,mm; $I$  为灌溉水量,mm; $\Delta W$  为计算时段内土壤贮水变化量,mm。

水分利用效率(WUE)的计算:

WUE(kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>)=玉米产量(kg·hm<sup>-2</sup>)/耗水量(mm)

#### 1.3.5 产量的测算

作物成熟后,各试验小区取中间 2 带进行测产,并折合成公顷产量。

#### 1.3.6 数据处理与分析

用 SPSS 软件对所得数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 降解膜降解性能

#### 2.1.1 降解膜的田间降解情况评价

本试验中供试的降解膜田间降解表现如表 2 所示。2016 年 3 种降解膜诱导期、破裂期、崩裂期均比 2015 年提前 2~3 d,碎裂期、完全降解期又推后几天,这可能与 5 月 15 日严重霜害冻伤幼苗,使玉米生育时期推迟、田间郁闭度变化有关。从 2 年结果看,3 种降解膜田间降解有差异,但变化不大,降解性能比较稳定,年际间具有可重复性。从玉米生育进程看,在覆膜 30 d(苗期)左右,3 种降解膜都很稳定,膜面光滑完整;覆膜 60 d(大喇叭口期)左右,3 种膜均变薄且弹性降低,膜面有小裂纹出现,膜面完整,具有良好的增温保墒作用;覆膜 90 d(吐丝期)左右,3 种膜继续

变薄变脆,弹性进一步降低,裂纹变长;覆膜 120 d(灌浆期)左右,膜面均无弹性,降 A 裂缝增长,膜面尚完整,降 B 和降 C 膜面裂缝加长增多,裂解成大碎块,保墒效果变差。覆膜 150 d(成熟期)左右,降 A 膜面破损较严重,降 B 20%完全降解,部分紧附地面,一触即破,部分完全碎裂,无法捡拾。降 C 30%完全降解,部分紧附地面,60%碎裂成小碎块,无法捡拾。由于河西地区降雨量少,蒸发量大,早春土壤温度较低,要求降解膜有良好的增温保墒效果,6月中下旬后,随着玉米田间郁闭度增加,地膜基本失去增温作用。仅从增温角度考虑,降解膜有效功能期达到 60 d 即可满足要求。但从保墒的角度考虑,在玉米整个生育期覆盖时间越长则保墒效果越好。本试验降 A 膜完全满足玉米生育期增温保墒作用,降 B 和降 C 基本能满足要求,若进一步加强对其降解速度的控制,延长其有效功能期,则效果会更好。

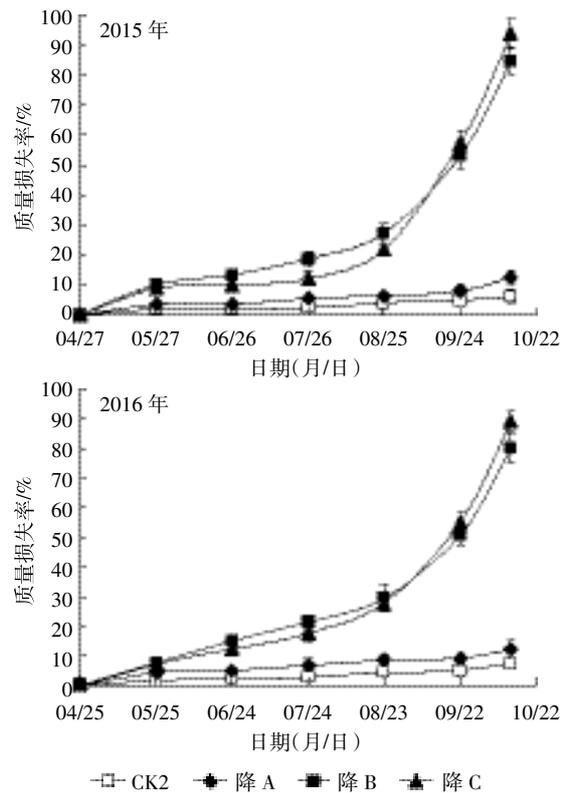
表 2 不同类型降解膜降解阶段记录(覆膜后天数 d)

Table 2 The degradation stages of different kinds of degradable film (d)

年份	膜类型	诱导期	破裂期	崩裂期	碎裂期	全降解期
2015	降 A	58	82	142	—	—
	降 B	53	75	114	156	189
	降 C	64	91	125	150	175
2016	降 A	55	80	142	—	—
	降 B	48	74	113	158	190
	降 C	60	88	123	154	178

### 2.1.2 降解膜的降解强度

田间试验中生物降解膜质量损失率的变化是用来衡量其在土壤中降解程度的主要指标。在适宜的温度和湿度条件下,土壤微生物可对生物降解膜进行攻击,加快其降解的过程,但由于降解膜成分和结构的不同,其在土壤中的降解速率各异。从图 1 田间试验结果来看,2015 年 3 种降解膜都发生了不同程度的降解。其中降 B 和降 C 降解最快,降 A 降解速度最低。3 种降解膜在灌浆前随着覆盖时间的增加,地膜质量损失率均平缓增加,覆盖 120 d 时,降 B 质量损失率最高,为 27.1%,其次为降 C,为 22.1%,降 A 最低,仅为 6.6%。普通地膜虽有轻微破损,但没有发生明显降解损失现象,颜色和拉伸强度几乎没有变化。覆膜 120 d 后,降 B 和降 C 降解速度加快,质量损失率急剧增大。在覆膜 170 d 时,降 B、降 C 损失率高达 84.6%、94.0%,降 A 损失率为 12.6%,普通地膜仅为



数值是平均值与三次重复的标准误。下同

Values are given as mean±SD from triplicate determinations.

The same below

图 1 不同降解膜质量损失率变化

Figure 1 Dynamics of weight loss ratio of degradable film

6.2%。覆膜 360 d 时,降 B 和降 C 已完全降解,但降 A 地面还有大量碎块存在。2016 年 3 种降解膜降解强度大小与变化趋势与 2015 年相似,只是在覆膜 120 d 前 3 种降解膜降解强度稍大,但覆膜 120 d 后降解强度稍低,这与目测法测得田间降解情况一致。

## 2.2 降解膜对土壤水分的影响

### 2.2.1 玉米土壤耗水量变化

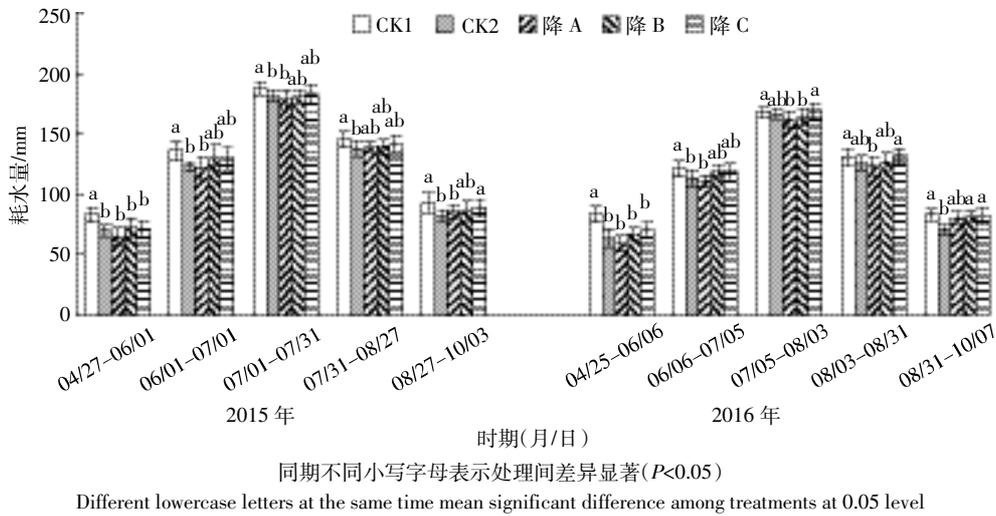
土壤耗水量是衡量土壤水分收支平衡的重要指标。图 2 为玉米生育期 0~120 cm 土壤耗水量的动态变化,从中可以看出,降解膜具有明显的保墒效果,覆盖降解膜使玉米各生育期土壤耗水量显著低于 CK1。随玉米生育进程推进,降解膜保水效果变差,并且各降解膜降解速度不一样,导致不同降解膜覆盖下土壤耗水量不一致。在降 A、降 B、降 C 三种降解膜中,降 A 保墒效果最好,其次为降 B 和降 C。降 A 在玉米拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆中期、成熟期土壤耗水量显著低于 CK1,平均降低 26.3、12.2、7.4、6.8、4.7 mm,随玉米生育进程推进,耗水量降幅呈减小趋势。降 A 在玉米灌浆中期前耗水量低于 CK2,在玉米成

熟期, 由于地膜破损度增加, 耗水量比 CK2 增加 4.2 mm。降 B 和降 C 也具有较好的保墒效果, 在玉米各生育期耗水量均低于 CK1, 在灌浆中期前与 CK2 差异不显著, 但随降解膜破损度增加耗水量呈增大趋势, 收获期耗水量显著高于 CK2。以上结果表明, 降解膜膜面的完整性对于保墒效果具有决定作用, 膜面越完整, 保墒效果越好。土壤耗水量整体表现为降 A < CK2 < 降 C < 降 B < CK1。

2.2.2 土壤含水率的垂直变化

图 3 为苗期和收获期不同处理 0~120 cm 土层土壤水分的变化。在苗期, 0~20 cm 土层不同处理土壤水分差异显著 ( $P < 0.05$ ), 降 A 土壤含水率较 CK1、

CK2 提高 34.6%、8.6%; 降 B、降 C 土壤含水率分别较 CK1 提高 14.5% 和 21.8%, 比 CK2 降低 7.6% 和 1.8%。20~80 cm 土层, 随土层加深, 各处理含水率均呈缓慢下降趋势, 3 种降解膜之间的差异性逐渐变小。80 cm 土层以下, 各处理含水率趋于稳定。说明不同地膜覆盖对土壤表层含水率影响比较大, 而对深层土壤水分的影响较小。在玉米收获期, 降解膜虽已变薄、脆化、碎裂, 但此时降解膜仍有一定的保墒作用。在 0~20 cm, 各处理间含水率差异较小, 降 A 含水率仅比 CK1、CK2 高 2.3%、1.3%, 降 B 和降 C 含水率相近, 与 CK1、CK2 差异不明显; 在 20~40 cm 土层中, 各处理间含水率差异达到最大。降 A、降 B 和降 C 比



同期不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercase letters at the same time mean significant difference among treatments at 0.05 level

图 2 不同处理 0~120 cm 土壤耗水量的变化

Figure 2 The dynamic changes of soil water consumption of different treatments in 0~120 cm soil layer

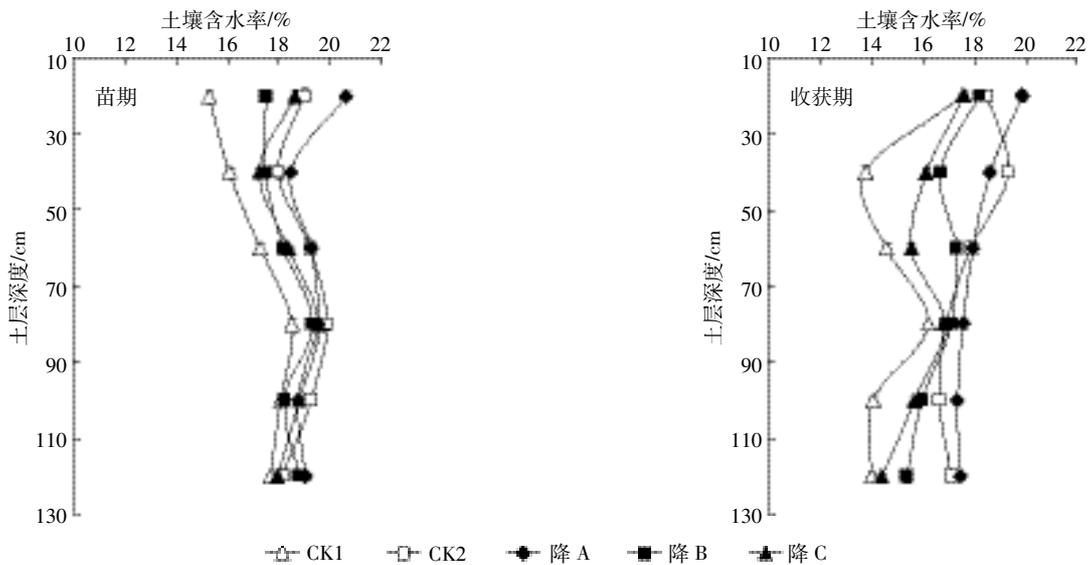


图 3 不同处理土壤含水量的垂直变化

Figure 3 The vertical changes of soil water content of different treatments in 0~120 cm soil layer

CK1 分别提高 4.9%、2.9%、2.4%;与 CK2 相比,降 A 含水率仅降低 0.7%,降 B 和降 C 降幅分别为 2.7%、3.2%。之后随土层加深,各处理含水率差异呈先减小后增大趋势。说明收获期不同地膜覆盖对深层土壤水分的影响较大。3 种降解地膜的稳定期在 80 d 左右,可保证玉米吐丝前需水要求,在生育中后期,降 B 和降 C 膜破损虽严重,但仍有保墒作用,可基本保证玉米灌浆期对土壤水分的需要。

## 2.3 降解膜对土壤温度的影响

### 2.3.1 土壤温度的动态变化

土壤温度在玉米前期生长中的作用十分重要。从图 4 降解膜土壤温度变化看,在玉米播种至 6 月上旬拔节期降解膜具有显著的增温效果。降 A、降 B、降 C 日均温两年均值比 CK1 高 5.4、4.4、4.5℃,比 CK2 降低 0.5、1.5、1.4℃。6 月上旬玉米进入拔节期后,随生育进程的推进,田间郁闭度逐渐增大,地膜的增温效应弱化,降解膜与 CK2 及 CK1 的温差变小,到 6 月中旬后,降解膜与 CK2 和 CK1 温度趋于一致,覆盖地膜已基本失去保温作用。

### 2.3.2 土壤温度的日变化

土壤温度的日变化是 1 d 内土壤热状况的直接反应。从图 5 看出,0~15 cm 土层土壤温度日变化以“S”型的形式由表层向深层土壤传递,以 5 cm 土层的温度变化最为明显,并随着土层的加深变化幅度逐渐减缓。2015 年在 5、10、15 cm 土层最高温度分别出现在 14:00、16:00、18:00,土层每加深 5 cm 各处理土壤温波位相依次推移 2 h。在玉米苗期,各处理日温差大,均达到 12℃以上。并且降 A 日均温度比 CK1 高 5.6℃,比 CK2 仅低 0.4℃。降 B、降 C 日均温度比

CK1 高 4.2、4.1℃,但比 CK2 低 1.8、1.9℃。玉米拔节期,由于田间郁闭度增大,土壤温度的波动受太阳辐射的影响变小,各处理日温差仅为 3.0℃左右。降 A、降 B、降 C 日均温度仅比 CK1 高 0.9、0.5、0.7℃,比 CK2 降低-0.4、0.4、0.1℃。由此说明,覆盖降解地膜具有明显的增温、保温作用,降 A 增温效果和 CK2 相近,降 B、降 C 稍低于 CK2。随生育时期推进,增温效果减弱。

## 2.4 降解膜对玉米产量及水分利用效率的影响

### 2.4.1 对玉米产量及相关因子的影响

2015 年、2016 年玉米播种密度为 67 500 株·hm<sup>-2</sup>,2 年中玉米出苗整齐,各处理保苗数接近,相互间差异不显著。另从表 3 可知,2 年玉米产量及产量构成因子均表现为 3 种降解膜与 CK2 差异不显著,但显著高于 CK1。2015 年降 A、降 B、降 C 产量因子与 CK1 相比,穗长增加 3.6%~9.4%、穗直径增加 10.2%~12.0%、穗行数多 7.5%~11.6%、行粒数多 8.3%~12.1%、百粒重提高 14.4%~21.7%。降 A、降 B、降 C 产量分别比 CK1 增加 47.0%、37.9%、39.8%,与 CK2 相比,降 A 产量增幅为 2.5%,降 B、降 C 产量仅比 CK2 降低 3.9%和 2.5%。从产量结果看,由于极端冻害天气对玉米生长发育产生的影响,2016 年玉米产量显著低于 2015 年,但 2 年间各处理对玉米产量的影响趋势一致。

### 2.4.2 对玉米水分利用效率的影响

由表 4 可知,2015 年降 A、降 B、降 C 水分利用效率分别为 23.0、20.7、20.6 kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>,比 CK1 显著增加 60.5%、44.7% 和 43.8%,但与 CK2 差异不显著。2016 年不同降解膜覆盖下玉米水分利用效率变化趋势与 2015 年相似。由此说明,降解膜通过减少水

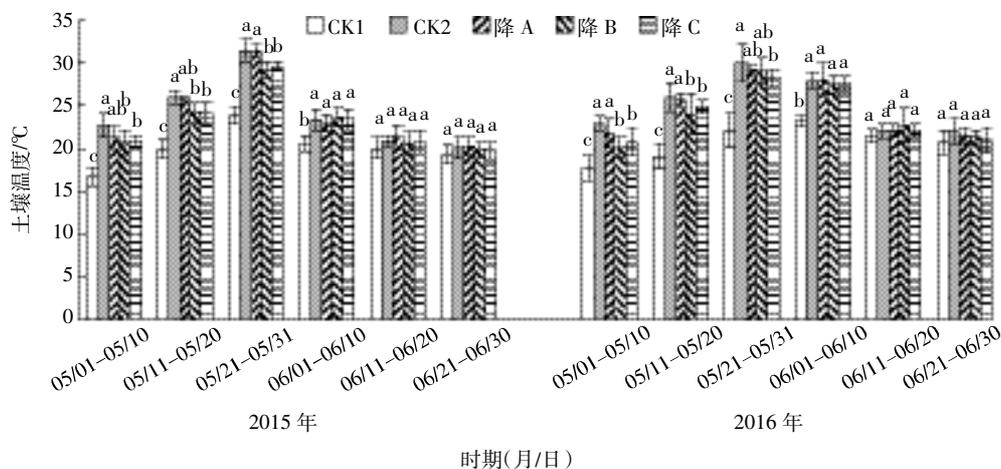


图 4 不同处理土壤温度变化

Figure 4 The dynamic changes of soil temperature under different treatments

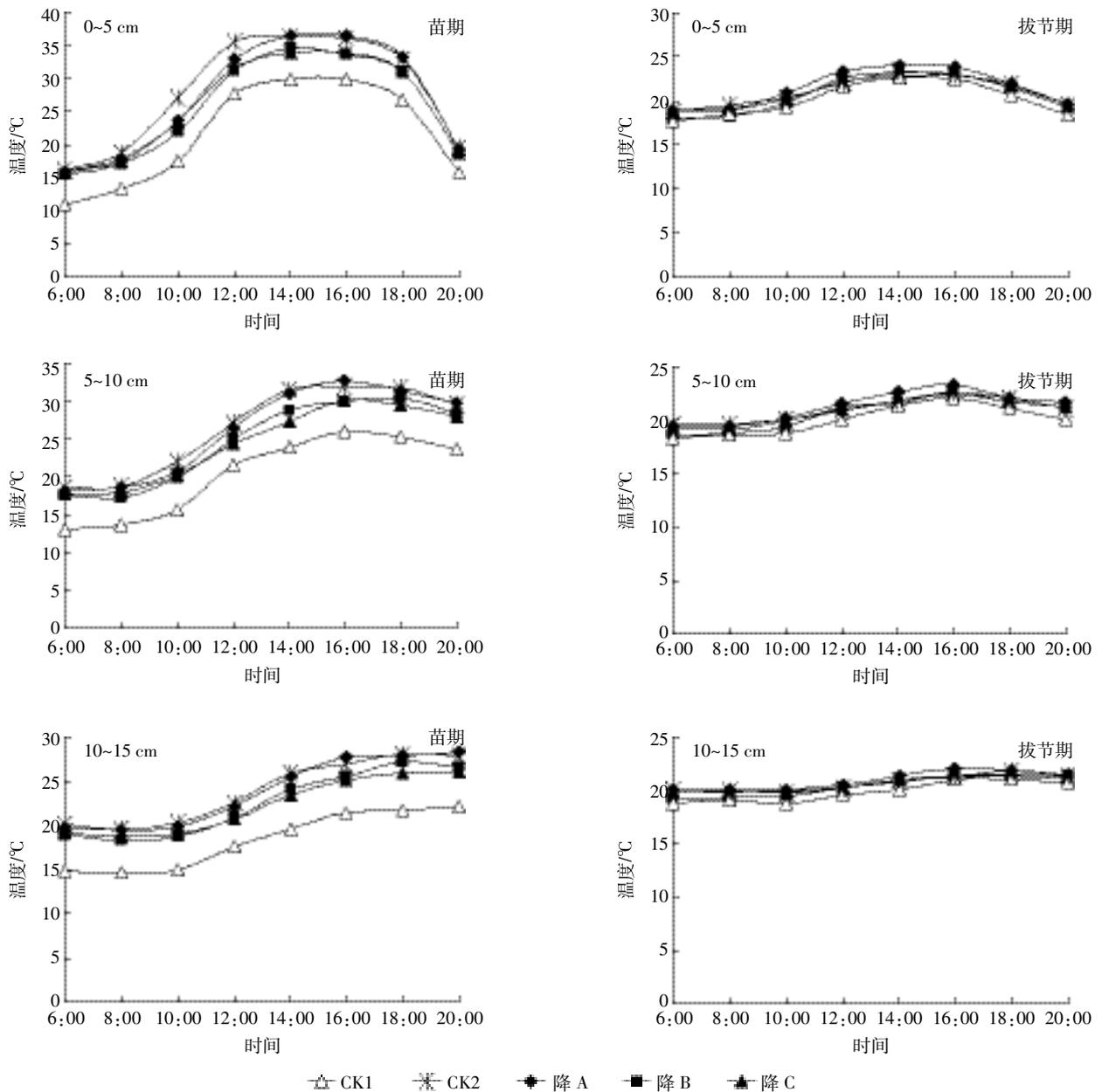


图5 不同处理土壤温度日变化

Figure 5 Daily changes of soil temperature under different treatments

分蒸发、降低生育期耗水量、提高地温,促进了玉米生长发育,最终显著提高了玉米水分利用效率。

### 3 讨论

#### 3.1 降解膜的增温保墒性能

地膜的应用极大改善了农业生产条件,尤其是在增温保墒方面。研究结果显示,地膜覆盖是水资源缺乏、积温不足地区增加玉米产量和高效利用水资源的一项有效措施<sup>[21-22]</sup>,增温保墒性能是降解膜能否应用于生产实践的重要指标<sup>[23]</sup>。赵彩霞等<sup>[20]</sup>在新疆石河子

研究提出棉花生育前期由于降解膜膜面完整,保温效果与普通地膜相比差异不大。兰印超等<sup>[24]</sup>玉米试验结果表明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。王淑英等<sup>[23]</sup>在甘肃旱区研究结果显示生物降解膜保墒性能达普通地膜的90.4%~95.4%。本研究提出覆盖生物降解地膜具有明显的增温作用,在玉米播种至拔节期,0~15 cm土层,降A、降B、降C土壤温度仅比普通膜低0.5~1.5℃,6月中旬玉米进

表3 不同处理下玉米产量及产量构成因子

Table 3 Yield and relevant factors of maize under different treatments

年份	处理	穗长/cm	穗直径/cm	穗行数/行	行粒数/粒	百粒重/g	产量/kg·hm <sup>-2</sup>
2015年	CK1	17.23±0.60c	5.00±0.25b	14.78±0.45b	30.38±1.41b	30.95±1.78b	9 235.07±591.61b
	CK2	19.03±0.85a	5.63±0.09a	16.13±0.35a	34.40±1.41a	35.86±1.58a	13 244.30±671.13a
	降A	18.85±0.47ab	5.56±0.10a	15.89±0.57ab	34.04±0.92a	37.66±1.86a	13 576.53±678.83a
	降B	18.54±0.27ab	5.51±0.18a	16.19±1.22a	33.35±0.76a	35.42±0.85a	12 733.74±776.90a
	降C	17.85±0.20bc	5.60±0.09a	16.49±0.54a	32.89±1.10a	35.72±0.39a	12 914.66±657.39a
2016年	CK1	16.55±0.62b	4.13±0.11b	13.27±0.53b	29.68±0.99b	30.44±1.22b	8 069.44±572.35b
	CK2	18.48±0.77a	4.78±0.11a	15.73±0.44a	33.49±1.08a	34.38±1.65a	11 216.91±622.23a
	降A	17.63±0.35a	4.73±0.15a	15.67±0.83a	33.08±1.32a	35.07±1.08a	11 029.47±670.22a
	降B	17.44±0.53a	4.68±0.08a	15.19±0.79a	32.45±0.88a	33.98±0.67a	10 997.19±885.43a
	降C	17.17±0.25ab	4.86±0.12a	15.45±0.65a	32.11±1.12a	34.07±1.86a	11 010.53±818.20a

注:同列同年不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different small letters in the same column in the same year mean significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

表4 不同处理下玉米水分利用效率

Table 4 Water use efficiency of maize under different treatments

年份	处理	耗水量/mm	产量/kg·hm <sup>-2</sup>	水分利用效率/kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup>
2015年	CK1	645.10±25.81a	9 235.07±591.61b	14.32±0.44b
	CK2	597.70±32.22b	13 244.30±671.13a	22.16±0.29a
	降A	590.98±29.67b	13 576.53±678.83a	22.98±0.35a
	降B	614.68±39.64ab	12 733.74±776.90a	20.72±0.84a
	降C	627.32±37.68ab	12 914.66±657.39a	20.59±0.53a
2016年	CK1	586.31±30.13a	8 069.44±572.35b	13.76±0.91b
	CK2	538.42±34.35b	11 216.91±622.23a	20.83±0.94a
	降A	535.46±41.20b	11 029.47±670.22a	20.60±0.94a
	降B	557.87±35.86ab	10 997.19±885.43a	19.71±1.38a
	降C	570.72±46.77ab	11 010.53±818.20a	19.29±0.28a

入拔节后期,降解膜和普通地膜的增温效应弱化。降A膜灌浆中期前保墒效果优于普通膜,降B和降C的耗水量在玉米播种至灌浆中期与普通膜差异不大,之后显著高于普通膜。本研究提出的降解膜的增温保墒结果与以上前人的研究结果基本一致。只是在玉米灌浆中期前降A保墒效果优于普通膜,这和赵彩霞等<sup>[20]</sup>研究提出的“降解膜保墒效果明显低于普通膜,平均低3~5个百分点”有差异,这可能与降A膜配方中含有保水材料及优化的生产工艺有关。另外玉米生育后期降解膜增温效应降低至消失是由玉米田间郁闭度逐渐增大引起的,这与刘群等<sup>[11]</sup>研究提出的“在玉米拔节期后由于生物降解地膜的破损,保温效果越来越弱”,与赵彩霞等<sup>[20]</sup>提出的“5月下旬随降解膜破裂棉花膜内温度迅速下降”的结论有一定出入,这可能与作物种类、田间郁闭度大小等有关。

### 3.2 降解膜的降解性能

可降解地膜的降解强度、降解速度因原材料组

成、地膜厚度、气候条件等的差异而表现不同。何文清等<sup>[12]</sup>研究结果表明在河北试验点,广东上九公司提供的淀粉基全生物降解地膜A和B诱导期仅为20d左右,覆盖后30d即出现严重的裂缝,至覆膜后60d,膜A和膜B已完全降解为大的碎片,完全丧失了增温保墒的功能,而新疆石河子由于气候干燥,气温相对较低,降解地膜的诱导期阶段长于河北试验点,延长了其增温保墒的功效期。赵爱琴等<sup>[10]</sup>研究结果表明,南京环绿降解塑料公司提供的生物降解膜覆盖20d(作物苗期)时边缘首先出现2~3cm的小洞,之后在雨水冲打下沿着小洞向周围破裂;覆膜33d时,地膜已经裂成块状,韧性减小。之后地膜在雨水作用下粘于土面,逐渐变薄,到作物收获时畦面地膜全部降解。本研究提出A、B、C三种降解膜稳定期均比较长,在作物生育前期、中期地膜虽变薄变脆,但破裂度小,增温保墒效果较好,对作物生长发育及产量影响较小。在灌浆后期降解迅速,覆膜150d时降B、降C膜失重

率高达 52.2%、56.0%。在覆膜 180 d 左右已达到完全降解,对下茬作物的起垄播种不会有任何影响。3 种降解膜中,降 A 增温保墒效果最好,但降解速度慢,降解效果差,覆膜 170 d 时地膜失重率仅为 12.3%,在第二年玉米播前土壤还有大量残留地膜,覆膜 360 d 内存在降解不完全问题。本研究还发现,一种降解膜在相同区域相同栽培模式、管理措施等条件下,不同年份田间降解情况有一定差异,这与年度气象条件差异有关<sup>[15-16]</sup>,但是否与 2016 年 5 月中旬极端冻害天气对玉米产生冻害,进而影响作物生育进程、影响田间郁闭度有关,还需进一步研究。

### 3.3 降解膜的增产效果

曹玲等<sup>[25]</sup>研究提出玉米生育期内  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的活动积温与产量关系最为密切,是影响河西走廊绿洲灌区玉米产量的关键气象因子,玉米产量随  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温的增加而提高。董平国等<sup>[26]</sup>在河西灌区研究提出制种玉米各生育阶段对缺水的敏感程度由大到小依次为灌浆期、拔节期、苗期、乳熟期、抽雄期。说明玉米灌浆期土壤水分对玉米生长发育影响最大。本试验 3 种降解膜具有良好的增温保墒效果。降解膜 A 保墒效果最好,在玉米整个生育期土壤贮水量均高于普通膜,并且在播种至拔节期土壤温度仅比普通膜降低 0.5  $^{\circ}\text{C}$ 。降解膜 B、C 也具有良好的增温保墒效果,在灌浆中期前与普通膜保墒效果差异不大,在播种至拔节期土壤温度仅比普通膜降低 1.5、1.4  $^{\circ}\text{C}$ 。本研究提出降解膜 A、B、C 比露地对照显著增产 42.2%、37.1%、38.3%,与普通膜相比,降解膜 A 增产 0.6%,降解膜 B 和 C 仅减产 3.0%和 2.2%。3 种降解膜产量与各自增温保墒效应一致,并与申丽霞等<sup>[13]</sup>研究提出“可降解地膜产量比露地栽培产量增加 35.1%,和普通地膜间差异不显著”,与张杰等<sup>[27]</sup>研究提出的“普通地膜和生物降解膜处理的玉米产量比不覆膜对照分别提高 20.0%和 19.7%”的结论是一致的。

## 4 结论

河西绿洲灌区降 A 膜虽然增温保墒效果好、产量高,但在覆盖 360 d 内不能完全降解,并且其破碎度增大,造成残膜捡拾困难。降 B、降 C 膜具有完全降解性,并且降解性能稳定,与普通地膜对土壤保温、保墒的效果及对玉米产量的影响方面没有明显差异。从环境安全、粮食安全方面考虑,降 B、降 C 膜替代普通地膜应用于农业生产具有可行性。同时建议生产厂家加强对 B、C 降解膜降解速度的控制,延长其有效功

能期。

### 参考文献:

- [1] 严昌荣, 何文清, 薛颖昊, 等. 生物降解地膜应用与地膜残留污染防治[J]. 生物工程学报, 2016, 32(6):748-760.  
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, XUE Ying-hao, et al. Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture[J]. *Chin J Biotech*, 2016, 32(6):748-760.
- [2] 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.
- [3] 吴玲玲, 李玉忠. 河西走廊玉米制种产业可持续发展探析[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2011, 13(3):10-12.  
WU Ling-ling, LI Yu-zhong. Sustainable development of the Hexi Corridor maize seed industry analysis[J]. *Journal of Liaoning Agricultural College*, 2011, 13(3):10-12.
- [4] 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.
- [5] 马彦, 杨虎德. 甘肃省农田地膜污染及防控措施调查[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(4):478-483.  
MA Yan, YANG Hu-de. Investigation on pollution caused by mulching plastic film in Gansu Province and the countermeasures[J]. *J Ecol Rural Environ*, 2015, 31(4):478-483.
- [6] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆. 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. 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.
- [7] 张丹, 刘宏斌, 马忠明, 等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2):310-319.  
ZHANG Dan, LIU Hong-bin, MA Zhong-ming, et al. Effect of residual plastic film on soil nutrient contents and microbial characteristics in the farmland[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(2):310-319.
- [8] 胡伟, 孙九胜, 单娜娜, 等. 降解地膜对地温和作物产量的影响及其降解性分析[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(2):317-320.  
HU Wei, SUN Jiu-sheng, SHAN Na-na, et al. Effect of COPO degradable membrane on soil temperature and crop yield and analysis of its degradable characteristics[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2015, 52(2):317-320.
- [9] 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. Effect of covering degradable films on corn and soil environment[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2003, 22(4):397-401.
- [10] 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.
- [11] 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 Qun, MU Xing-min, YUAN Zi-cheng, et al. Degredation 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.
- [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.  
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.
- [13] 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, et al. Effects of degradable film on soil temperature, moisture and growth of maize[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(6):25-30.
- [14] 钱桂琴, 沈善铜, 朱启泰. 生物降解淀粉树脂地膜应用试验初报[J]. *江苏农业科学*, 1997(5):52-53.  
QIA Gui-qin, SHEN Shan-tong, ZHU Qi-tai. Study on the application experiment of biodegradable[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 1997(5):52-53.
- [15] 董学礼, 陈 福, 杨素梅. 降解膜降解效果试验初报[J]. *宁夏农业科技*, 1999(4):44-45.  
DONG Xue-li, CHEN Fu, YANG Su-mei. The study on the performance of degradable films[J]. *Journal of Ningxia Agricultural Sciences*, 1999(4):44-45.
- [16] 关新元, 尹飞虎, 刘齐锋. 降解地膜在棉花上应用效果初探[J]. *新疆农垦科技*, 2001(4):37-38.  
GUAN Xin-yuan, YIN Fei-hu, LIU Qi-feng. The effect of degradable films on the cotton[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences and Technology*, 2001(4):37-38.
- [17] 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.
- [18] 何增国, 戴红燕. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长发育和产量的影响[J]. *节水灌溉*, 2016(4):41-43.  
HE Zeng-guo, DAI Hong-yan. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(4):41-43.
- [19] 唐文雪, 马忠明, 魏 焘, 等. 不同厚度地膜连续覆盖对玉米田土壤物理性状及地膜残留量的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2016, 18(5):126-133.  
TANG Wen-xue, MA Zhong-ming, WEI Tao, et al. Effects of contin-
- ued mulching of plastic film with different thickness on soil physical properties and film residues in maize field[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18(5):126-133.
- [20] 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.
- [21] 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]. *Chin Agric Met*, 2004, 25(3):21-25.
- [22] 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]. *Chin Agric Met*, 2006, 27(3):249-251.
- [23] 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 soil temperature and its impact on maize and increasing soil temperature and its impact on maize[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 34(1):127-133.
- [24] 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.
- [25] 曹 玲, 邓振镛, 窦永祥, 等. 气候变暖对河西走廊绿洲灌区玉米产量影响及对策研究[J]. *西北植物学报*, 2008, 28(5):1043-1048.  
CAO Ling, DENG Zhen-yong, DOU Yong-xiang, et al. Influence of climate warming on corn output in Hexi Corridor oasis irrigation area and its countermeasure research[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2008, 28(5):1043-1048.
- [26] 董平国, 王增丽, 温广贵, 等. 不同灌溉制度对制种玉米产量和阶段耗水量的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2014, 32(9):822-828.  
DONG Ping-guo, WANG Zeng-li, WENG Guang-gui, et al. Effects of irrigations schedule on water consumption and yield of seed maize[J]. *Journal of Drainage and Irrigation on Machinery Engineering*, 2014, 32(9):822-828.
- [27] 张 杰, 任小龙, 罗诗峰, 等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6):14-19.  
ZHANG Jie, REN Xiao-long, LUO Shi-feng, et al. Influences of different coveting materials mulching on soil moisture and corn yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(6):14-19.