

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

王淑英, 樊廷录, 李尚中, 张建军, 赵刚, 王磊, 党翼, 姜小凤
(甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过 3 年试验, 研究生物降解膜降解、增温保墒性能及全覆盖双垄沟播玉米苗期 0~25 cm 土壤温度动态和对玉米生长发育进程的影响, 明确生物降解膜在生产中对普通农用地膜的可替代性。结果表明, 生物降解地膜埋入土壤约 30 d 左右可以观测到降解效果, 40 d 以后开始快速降解, 到 80~90 d 时降解可达到 85%~95%, 种植地膜玉米后, 压入土壤或地膜上有土覆盖的部分同样有明显的降解效果, 而垄上的地膜在玉米收后绝大部分仍与常规膜一样保持完好; 生物降解膜保墒性能达普通农用地膜的 90.4%~95.4%; 作物生育前期 0~25 cm 土层 08:30、14:30 和 20:30 平均温度比普通农用地膜低 0.85℃, 比露地高 1.91℃; 生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米比裸地平作出苗提前 5~9 d, 成熟期提前 11~12 d。生物降解地膜具有一定的增温、保墒作用, 降低生产成本后, 可在一定程度上替代不能降解的普通农用地膜。

关键词: 生物降解膜; 全覆盖双垄沟播; 土壤温度; 玉米; 生长发育
中图分类号: S314; S513 **文献标志码:** A

Property of biodegradable film degradation, water-retention and increasing soil temperature and its impact on maize growth and development process

WANG Shu-ying, FAN Ting-lu, LI Shang-zhong, ZHANG Jian-jun, Zhao Gang,
WANG Lei, DANG Yi, JIANG Xiao-feng

(Key Laboratory of High Water Use – efficiency in Arid Areas of Gansu Province, Dryland Agriculture Institute of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: With the extensive use of plastic film to elevate soil temperature as well as soil moisture content in arid farmland in northern of China, pollution of residual plastic film has become the urgent ecological concerns. To mitigate the pollution of farmland plastic film and improve water use efficiency in rainfed areas, three years of filed experiments were conducted to study the property of biodegradable film degradation, and its effect on soil water – retention and temperature under the planting pattern of film mulching on double ridges and growing corn in furrows. The results showed that biodegradable film was observed to be decomposed about 30 days after mulching, and began to be rapidly decomposed after 40 days, with 82% of it degraded until 80~90 days. The partially mulched film on ridge was basically the same as common plastic film remaining intact after harvesting, but the partly landfilled in furrow was decomposed significantly. Water-retention of biodegradable film was 90.4%~95.4% of common plastic film. The average temperature in 0~25 cm soil of full biodegradable film mulching on double ridges and planting corn in furrows was increased by 1.91℃ in comparison with non-mulching, and was reduced by 0.85℃ in comparison with full plastic film mulching. Emerging date was advanced 5~9 days and whole growing period was shortened 11~12 days. Degradable mulch film had the effects of increasing soil temperature, moisture-keeping, and therefore will replace common film if lowering the production cost.

Keywords: biodegradable film; full film mulching on double ridges and planting in catchment furrows; soil temperature; corn; growth and development

收稿日期: 2014-11-23
基金项目: 农业部玉米产业技术体系(CARS-02-66); 国家公益性行业科研专项(201203030); 甘肃省自然科学基金(0710RJZA098); “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD09B03-1, 2012BAD20B04-4)
作者简介: 王淑英(1969—), 女, 甘肃临洮人, 硕士, 副研究员, 主要从事旱地水土资源高效利用和作物抗旱生理研究。E-mail: Wang_shying@163.com。

地膜覆盖具有增温、保墒、调水等效果,可以大幅度提高作物的经济产量^[1]。研究表明,在黄土高原旱作区,地膜覆盖使玉米生育前期 0~25 cm 土层的日平均温度比对照提高 2.2℃~3.0℃,0~10 cm 土层的含水量比露地增加 18.84%,玉米籽粒产量比对照增产 19.16%^[2],东北地区玉米地膜覆盖增产率达 35%~55%左右^[3]。近年来在旱区大面积应用的全膜双垄沟播技术集垄面集流、覆膜抑蒸、垄沟种植于一体,将农田 5 mm 以下无效降雨蓄集于垄沟,使无效降雨叠加富集成为垄沟种植作物的有效降水,大幅度提高了旱区农田降水集流和水分利用效率^[4-8];同时,显著提高了作物生长前期的土壤温度,促进了作物生长发育,使作物叶片光能转化效率和光合速率提高^[9-11],显著提高了玉米等作物产量^[12-15]。然而普通农用地膜在自然条件下很难降解,地膜覆盖栽培技术的长期大面积应用导致大量的农用地膜残留于农田,破坏土壤结构,影响农田生态环境,造成严重的“白色污染”^[16]。如何合理发掘干旱半干旱地区农业资源的生产潜力,同时又能保护农田生态环境,成为中国农业可持续发展的重中之重^[17],因此,各种降解地膜应运而生,并不断用于田间试验^[18-24],降解地膜能否彻底代替普通地膜用于生产实践,除降解性能及时长、膜强度及延展性、生产成本等问题外,核心问题在于降解地膜的保墒增温性能。为此,本试验引进三菱生物降解地膜,通过生物降解地膜与普通地膜保水性比较实验、田间埋设降解程度比较和 0~25 cm 土层温度比较试验、全覆盖双垄沟播与裸地平作玉米对比试验,对生物降解地膜的降解性能、保墒增温能力以及生物降解地膜全覆盖双垄沟播玉米苗期土壤温度动态和效应进行研究,为解决地膜残留问题、促进降解地膜的推广应用和旱区农业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验分别于 2011、2012 年和 2013 年在甘肃省农业科学院旱地农业研究所的遮雨棚内(103°49'E,36°03'N)进行,棚高 10 m,呈“人”字型,棚顶用透光塑料覆盖,棚侧通风。该地区海拔 1 530 m,土壤为灌淤土,土质疏松,0~20 cm 土壤平均有机质含量 11.0 g·kg⁻¹、全氮含量 0.9 g·kg⁻¹,全磷含量 0.6 g·kg⁻¹,pH 值 8.0;属半干旱温暖气候区,年平均气温 9.6℃,最低气温 -25℃,年平均降水量 329 mm,降水主要集中在 8—9 月,≥10℃年活动积温 3 242℃,年平均日照时数 2 634 h,无霜期 195 d。试验期内年降雨量 2011 年 303.4 mm、2012 年 321.6 mm、2013 年 318.2

mm,前茬作物为春小麦。

1.2 试验材料

供试玉米品种为先玉 335,覆盖材料为日本三菱公司提供的生物降解膜和国内市场出售的普通农用地膜。玉米试验施纯氮 240 kg·hm⁻²(60%基施,40%追肥),P₂O₅ 150 kg·hm⁻²(100%基施)。覆盖前对所有处理喷洒除草剂,玉米生长期人工除草。

1.3 试验设计

2011 年膜的降解性填埋试验分别于春季和秋季进行,设生物降解膜和普通农用地膜 2 个处理,春季试验 4 月 26 日开始,将面积为 25 cm²的地膜编号称重,填埋于 15 cm 深的土壤中,3 个重复,每个重复 50 片,秋季试验 8 月 25 日开始,将 1.2 m 宽、10 m 长的生物降解膜整体铺埋于 15 cm 深的土壤中;2011 年膜的增温性试验设生物降解膜和普通农用地膜全覆盖垄播马铃薯 2 个处理。2012 年保墒性试验设生物降解膜封住装水烧杯(A:生物降解膜+水)、生物降解膜封住装湿土烧杯(B:生物降解膜+土+水)、普通农用地膜封住装水烧杯(C:常规膜+水)和普通农用地膜封住装湿土烧杯(D:常规膜+土+水)4 个处理,5 个重复;2012、2013 年玉米试验设 2 个处理,为裸地平作和生物降解膜全覆盖双垄沟播,裸地平作 4 个重复,全膜双垄沟播 12 个重复。

1.4 测定项目及方法

春季降解性试验基本按每 15 天每重复挖出 7 片地膜,用清水漂洗干净,37℃烘 12 h 后称重,持续 90 多天,计算降解率;秋季降解性试验分别于铺埋后 30、60、90 d 挖开膜上 15 cm 覆土,观察和照相记录膜的降解情况;保墒性试验每月称烧杯重量 1 次,持续 9 个月,计算保墒率,每个重复的保墒率为 9 次值的平均。另外,以金属曲管地温计 5 支一组,分别测定 5、10、15、20、25 cm 土层地温,2011 年马铃薯试验地温计插于垄上,2012、2013 年玉米试验地温计插于沟中。采用 Microsoft Excel 2003 和 DPSv7.05 软件进行数据处理。

降解率(%)=(地膜初始重-挖出后地膜重)/初始重×100。

保墒率(%)=(W-V)/W×100

其中,W 为前一次土加水重或水重(g);V 为后一次土加水重或水重(g)。

降解性试验于 2011 年 4 月 26 日—8 月 1 日、8 月 25 日—11 月 24 日在抗旱棚内进行;2011 年马铃薯试验 5 月 3 日播种;保墒性试验于 2012 年 1 月 17 日—10 月 17 日在实验室进行;玉米田间试验分别于 2012 年 4 月 17 日、2013 年 4 月 3 日播种。

2 结果与分析

2.1 生物降解膜和普通农用地膜的降解性

填埋试验和全膜双垄沟播玉米试验结果(图 1~图 5)显示自然条件下普通农用地膜在土壤中很难降解,日本三菱生物降解膜能够在土壤中很好地降解。由于试验中挖出地膜很难彻底清洗干净,普通农用地膜每次挖出后的重量反而大于初始重量,降解率成为负数;而三菱公司生产的生物降解膜埋入土壤约 30 d 左右可以明显地观测到降解效果,40 d 以后开始快速降解,填埋后 16 d 降解率为1.12%、36 d 为 7.37%、95 d 降解率达到 82.5%;从 2011 年分别开始于 4 月 26 日和 8 月 25 日的填埋试验地膜降解效果比较来看,4 月 26 日填埋,60 d 和 90 d 后

的降解效果显著好于 8 月 25 日填埋后同期挖出(10 月 25 日、11 月 25 日)地膜的降解效果,说明气温和土壤含水量高的条件下降解效果好于气温和土壤含水量低的情况下。种植地膜玉米后,压入土壤或地膜上有土覆盖的部分同样有明显的降解效果。

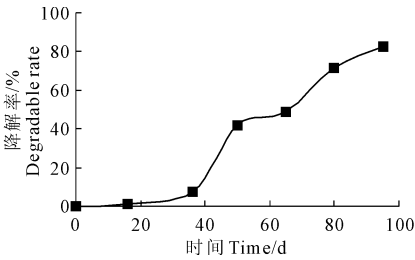


图 1 生物降解膜的降解率

Fig.1 Degradable rate of biodegradable film



图 2 4 月 26 日埋入土壤的生物降解膜

Fig.2 Landfill biodegradable film in April 26



图 3 8 月 25 日埋入土壤的生物降解膜

Fig.3 Landfill biodegradable film in August 25

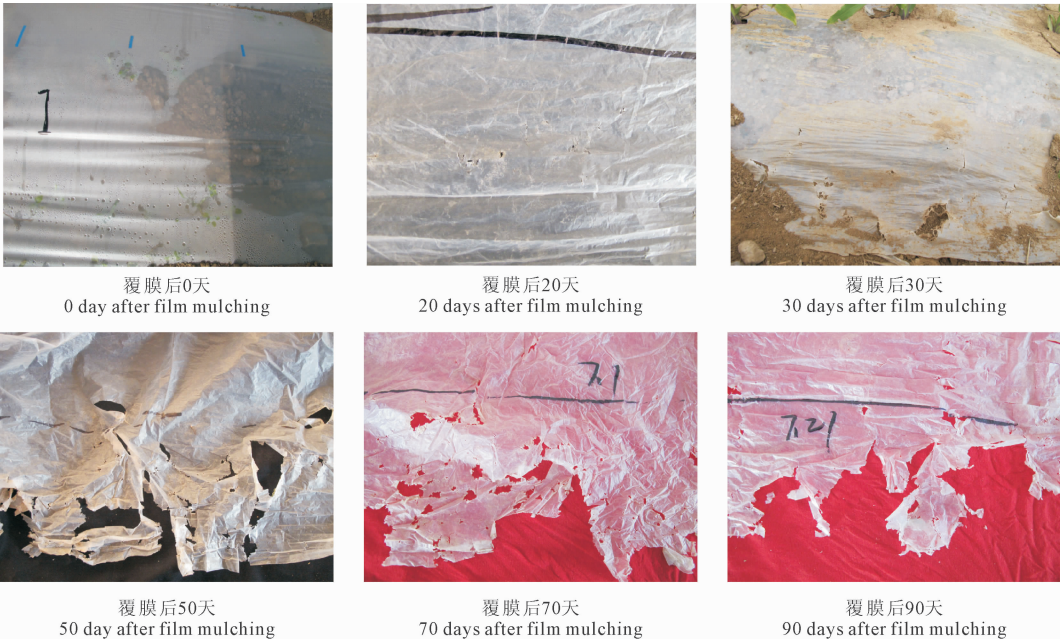


图 4 全膜双垄沟播试验覆土部分降解膜

Fig.4 Degradation of two sides covered after film mulching



图 5 全膜双垄沟播试验收后垄上无土部分降解膜

Fig.5 Degradation of film on ridge-surface after harvest

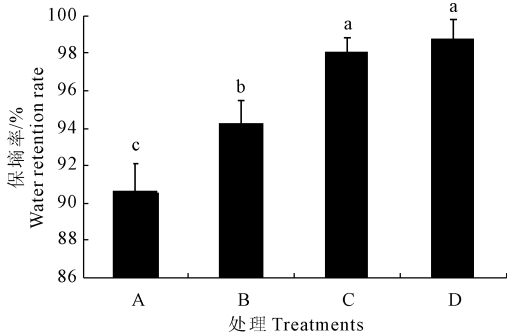


图 6 生物降解膜和普通地膜保墒率比较

Fig.6 Water retention rate of biodegradable film and common-film

2.2 生物降解膜和普通农用地膜的保墒性

保墒性比较试验数据说明在室内自然条件下生物降解膜保墒性略差于普通农用地膜(图 6)。A 处理(生物降解膜 + 水)保墒率在 85.2% ~ 90.5% 之间,B 处理(生物降解膜 + 土 + 水)保墒率在 88.6% ~ 98.4% 之间,平均保墒率分别为 88.6%和94.2%;而 C 处理(常规膜 + 水)保墒率达 95.1% ~ 99.6%, D 处理(常规膜 + 土 + 水保)墒率达 97.2% ~ 99.8%,平均保墒率分别高达 98%和 98.7%。生物降解膜保墒率比普通农用地膜低 4.5% ~ 9.4%,生物降解膜保墒性达普通农用地膜的 90.4% ~ 95.4%。*LSD* 法分析结果表明常规膜 2 个处理之间

无显著性差异,分别与生物降解膜 2 个处理都有显著性差异,而且常规膜 2 个处理、生物降解膜 + 土 + 水处理分别与生物降解膜 + 水处理差异达极显著水平。

2.3 生物降解膜和普通农用地膜增温性能比较

2011 年马铃薯试验地温测定结果(图 7)表明,生物降解膜(J)在马铃薯生育前期(5 月 3 日 - 6 月 27 日)0 ~ 25 cm 土层 8:30、14:30 和 20:30 温度均低于普通农用地膜(C)。垄上 5、10、15、20 cm 和 25 cm 土层 8:30、14:30 和 20:30 三个时间点平均温度降解膜比常规膜分别低 0.82℃、0.79℃、0.81℃、0.84℃和 0.99℃。三个时间点中 14:30 两种地膜 0 ~ 20 cm 土壤温度差异最小,降解膜比常规膜低 0.32℃ ~ 0.49℃,8:30 和 20:30 两个时间点 0 ~ 25 cm 土层降解膜覆盖处理地温比常规膜分别低 0.88℃ ~ 1.09℃和 0.9℃ ~ 1.08℃,而且各层温度变化趋势基本一致;土壤不同层次中 20 ~ 25 cm 土层两种膜日平均温度差异最大,降解膜比常规膜低 0.99℃,5 ~ 10 cm 土壤两种膜 3 个时间点平均温度差异最小,降解膜覆盖比常规膜覆盖处理低 0.79℃。

2.4 玉米生长前期 0 ~ 25 cm 土壤温度动态

2012、2013 年地温测定结果(图 8)表明:玉米播种至拔节生物降解膜全覆盖双垄沟播种植行内 8:30、14:30 和 20:30 三个时间点 0 ~ 25 cm 土壤温度平均值分别比裸地平作高 2.15℃和 1.66℃,并且随着时间推移,气温升高、玉米植株逐渐茂盛和膜的

降解,生物降解膜全覆盖双垄沟播种植行内 0 ~ 25 cm 土壤温度与裸地平作的差异越来越小。2012 年 4 月 17 日整地起垄覆膜、播种,生物降解膜全覆盖双垄沟播种植行内 0 ~ 25 cm 土壤平均温度比裸地平作 4 月 17 日—5 月 6 日高 2.71℃、5 月 7 日—5 月 16 日高 2.61℃、5 月 17 日—5 月 26 日高 1.8℃、5 月 27 日—6 月 6 日高 1.51℃;2013 年 4 月 3 日整地起垄覆膜、播种,生物降解膜全覆盖双垄沟播种植行内 0 ~ 25 cm 土壤平均温度比裸地平作 4 月 3 日—4 月 18 日高 2.77℃、4 月 19 日—5 月 5 日高 2.02℃、5 月 6 日—5 月 20 日高 1.13℃、5 月 21 日—6 月 5 日高 0.72℃。

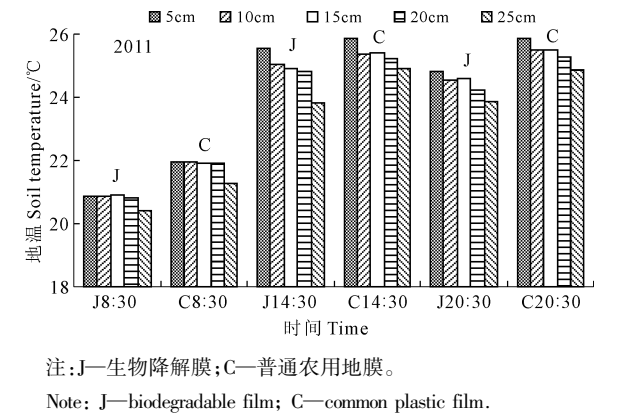


图 7 生物降解膜和普通农用地膜全覆盖垄上 0 ~ 25 cm 地温
Fig.7 0 ~ 25 cm soil temperature of ridge with whole degradable film and common-film mulching

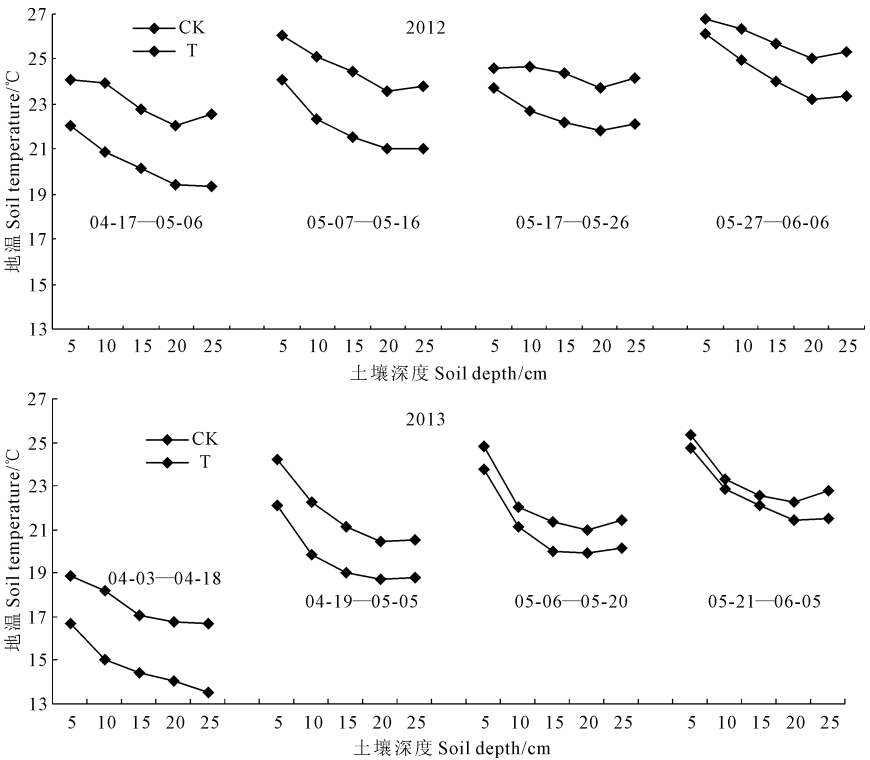


图 8 生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米苗期种植沟内 0 ~ 25 cm 土壤温度动态

Fig.8 Temperature trends of 0 ~ 25 cm soil of furrow during corn - seedling with whole film mulching on double ridges

2.5 生物降解膜全覆盖双垄沟播增温效应及对玉米发育进程的影响

两年试验结果显示生物降解膜全覆盖双垄沟播技术增温效果显著,对玉米发育进程影响非常明显(图 8、表 1)。2012 年从 4 月 17 日播种到 5 月 6 日裸地平作玉米全部出苗,生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米种植行内 0~5 cm 土层平均温度达到 24.1℃,比裸地平作高 2.1℃,使生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米出苗比对照裸地平作提前 5 d;5 月 7 日—6 月 6 日 0~25 cm 土层平均温度生物降解膜全覆盖双垄沟播比对照高 1.97℃,玉米拔节期提前 11 d,大喇叭口期提前 15 d,抽雄期提前 13 d,成熟期提

前 11 d。2013 年从 4 月 3 日播种到 5 月 5 日裸地平作玉米全部出苗,生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米种植行内 0~5 cm 土层平均温度达 21.6℃,比裸地平作高 2.2℃,其中 4 月 3 日—4 月 18 日平均温度为 18.9℃,比对照高 2.23℃,4 月 19 日—5 月 5 日平均温度达 24.2℃,比对照高 2.13℃,使生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米出苗比对照裸地平作提前 9 d;5 月 6 日—6 月 5 日 0~25 cm 土层平均温度生物降解膜全覆盖双垄沟播比对照高 0.93℃,拔节期提前 15 d,大喇叭口期提前 17 d,抽雄期提前 14 d,成熟期提前 12 d。

Table 1 Development process of corn furrow-sowed with whole film mulching on double ridges													
处理 Treatments	播种期 Sowing (M-d)	出苗期 Emergence (M-d)	较 CK Compared with CK /d	拔节期 Jointing (M-d)	较 CK Compared with CK /d	大喇叭口期 Large bell (M-d)	较 CK Compared with CK /d	抽雄期 Heading (M-d)	较 CK Compared with CK /d	成熟期 Maturing (M-d)	较 CK Compared with CK /d	全生育期 Whole growth /d	较 CK Compared with CK /d
2012	CK	04-17	04-28	—	05-30	—	06-25	—	07-10	—	09-03	—	139
	T	04-17	04-23	-5	05-19	-11	06-10	-15	06-28	-13	08-23	-11	128
2013	CK	04-03	05-04	—	06-04	—	07-02	—	07-15	—	09-05	—	155
	T	04-03	04-25	-9	05-20	-15	06-15	-17	07-01	-14	08-24	-12	143

注:T—生物降解膜全覆盖双垄沟播;CK—裸地平作。

Note: T—furrow-sowing with whole film mulching on double ridges; CK—non-mulching without ridges.

3 讨论与结论

3.1 生物降解膜降解、增温保墒性能

生物降解膜在田间开始降解的时间,即膜的完整性持续时间。降解速率,即多长时间内大部分分解,不影响下茬作物的耕种和根系的下扎,是降解膜能够应用于生产的先决条件之一。本研究引用的三菱生物降解膜通过 3 年试验观测研究,结果显示该降解膜能够在土壤中很好地降解,埋入土壤约 30 d 左右可以观测到降解效果,40 d 以后开始快速降解,80~90 d 时降解可达到 82%;种植地膜玉米后,压入土壤或地膜上有土覆盖的部分同样有明显的降解效果,而垄上的地膜在玉米收后绝大部分仍与常规膜一样保持完好,能起到良好的抑蒸保墒作用。保墒性试验数据显示生物降解膜保墒率比普通农用地膜低 4.5%~9.4%,生物降解膜保墒性能达普通农用地膜的 90.4%~95.4%,抑蒸保墒效果接近普通农用地膜,这与王敏等^[15]田间试验土壤水分研究结论一致。旱区农业持续发展的第一限制因素是水分,因此旱地农田覆盖的首要功能是抑蒸保墒,在没有地膜就没有农业的甘肃中东部雨养旱作区及中国北方其它相似生态区域,抑蒸保墒依然是降解膜推

广应用最主要的考核指标。三菱生物降解膜在抑蒸保墒功能方面接近普通农用地膜,并且在土壤中能够降解,可替代普通农用地膜在生产中应用,使用后对耕地长期墒情、地力和农田土壤微生态的影响尚需进一步研究。

作物生育前期 0~25 cm 土层 8:30、14:30 和 20:30 三个时间点平均温度三菱生物降解膜比普通农用地膜低 0.85℃,比露地高 1.91℃,生物降解膜与普通地膜在提高土壤温度方面有着一致的效果,增温效果稍差,这与前人的研究结果基本一致^[18、20、22、25]。玉米播种至拔节,生物降解膜的增温幅度最大,随着作物生育进程的推进,生物降解膜和普通农用地膜的增温效应逐渐减小,并且生物降解膜增温效应减小的更明显,这主要由于生物降解膜全覆盖双垄沟播玉米种植行内膜上覆土,而覆土生物降解膜在覆盖 40 d 以后开始明显降解,膜的完整性下降,增温保温效果降低。2012、2013 年地温数据比较分析也充分说明,生物降解膜覆盖后时间越长,增温效果越差,由于沟播玉米种植行内覆土膜的降解,2013 年(4 月 3 日覆膜播种)同时期的覆盖增温效应远小于 2012 年(4 月 17 日覆膜播种),因此,全膜双垄沟播技术应用三菱生物降解膜不宜覆盖太早。

3.2 生物降解膜增温效应及对玉米生长发育的影响

Laboski^[26]等研究表明,玉米 85% 的根系分布在 0~30 cm 土层,而玉米根系发育的最适地温为 20℃~24℃,本研究从播种到出苗期,2012 年(4 月 17 日—5 月 6 日)和 2013 年(4 月 3 日—5 月 5 日)生物降解膜覆盖玉米种植行内 0~5 cm 土层平均温度分别达到 24.1℃ 和 21.6℃,比裸地平作高 2.1℃ 和 2.2℃,地温提高 9.5% 和 11.4%,有效促进了玉米的出苗,生物降解膜覆盖处理的出苗比对照分别提前 5 d 和 9 d;出苗至 6 月初,0~25 cm 土层日平均温度比裸地平作高 0.93℃~1.97℃,土壤水温协同作用促进了玉米根系和地上部分发育,拔节期提前 11~14 d,大喇叭口期提前 15~16 d,抽雄期提前 13~14 d,成熟期提前 11~12 d。生物降解膜全覆盖双垄沟播技术增温效果显著,对玉米发育进程影响非常明显,试验结果与其他学者的相关研究结论一致^[18-22,24-25]。

参 考 文 献:

[1] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[2] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56-59.

[3] 马树庆,王 琪,郭建平,等.东北地区玉米地膜覆盖增温增产效应的地域变化规律[J].农业工程学报,2007,23(8):66-71.

[4] 张 雷,牛建彪,赵 凡.旱作玉米双垄面集雨全地面覆膜沟播抗旱增产技术研究[J].甘肃科技,2004,20(11):174-175.

[5] 张 雷,牛建彪,赵 凡.旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):8-11,17.

[6] 张 雷.旱地双垄面集雨全膜不同时期覆盖对玉米生长的影响[J].作物杂志,2007,(3):67-68.

[7] 赵 凡.玉米双垄面集雨全膜覆盖沟播栽培技术优势及应用前景[J].耕作与栽培,2005,(6):62-63.

[8] 杨祁峰,孙多鑫,熊春蓉,等.玉米全膜双垄沟播栽培技术[J].中国农技推广,2007,23(8):20-21.

[9] 任小龙,贾志宽,陈小莉,等.模拟降雨量下沟垄微型集雨种植

玉米的水温效应[J].中国农业科学,2008,41(1):70-77.

[10] 李尚忠,樊廷录,王 勇,等.不同覆膜集雨种植方式对旱地玉米叶绿素荧光特性、产量和水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):458-466.

[11] 高玉红,牛俊义,徐 锐,等.不同覆膜方式对玉米叶片光合、蒸腾及水分利用效率的影响[J].草业学报,2012,21(5):178-184.

[12] 杨祁峰,刘广才,熊春蓉,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术的水分高效利用机理研究[J].农业现代化研究,2010,31(1):113-117.

[13] 杨祁峰,岳 云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.

[14] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等.地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):18-28.

[15] 李尚中,王 勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.

[16] 吕江南,王朝云,易永健.农用薄膜应用现状及可降解农膜研究进展[J].中国麻业科学,2007,29(3):150-156.

[17] 程炳文,买自珍,王 勇,等.半干旱地区旱地玉米节水播种技术研究[J].内蒙古农业科技,2006,(5):40-41.

[18] 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.

[19] 孙云云,高玉山,窦金刚,等.半干旱区玉米降解地膜覆盖栽培综合效应研究[J].中国农学通报,2011,27(30):27-31.

[20] 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.

[21] 王 鑫,胥国斌,任志刚,等.无公害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.

[22] 杨玉娇,黄占斌,阎玉敏,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):10-14,5-6.

[23] 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.

[24] 王 敏,王海霞,韩清芳,等.不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J].作物学报,2011,37(7):1249-1258.

[25] 李 倩,张 睿,贾志宽,等.不同地膜覆盖对垄体地温及玉米出苗的影响[J].西北农业学报,2009,18(2):98-102.

[26] Laboski C A M, Dowdy R H, Allmara R R, et al. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil[J]. Plant & Soil, 1998,203(2):239-247.