

聚乳酸生物降解地膜对土壤温度及棉花产量的影响

张妮, 李琦, 侯振安, 冶军*

(石河子大学农学院资源与环境科学系, 新疆 石河子 832003)

摘要:随着地膜残留污染问题的加剧,降解地膜的应用研究越来越受到关注。通过普通塑料地膜与2种不同厚度聚乳酸生物降解地膜的田间对比试验,研究聚乳酸生物降解地膜降解状况及对土壤温度和棉花产量的影响。结果表明:聚乳酸生物降解地膜在覆膜17~22 d后进入诱导期,60 d后逐渐进入破裂期,130 d左右进入崩裂期。在棉花生长苗期,生物降解膜膜内增温缓慢,白天平均土壤温度普通膜分别高于18 μm 降解膜和15 μm 降解膜0.8 $^{\circ}\text{C}$ 和6.2 $^{\circ}\text{C}$ 。但夜间降解膜膜内平均温度较稳定,保温效果好,膜内温度高于普通地膜1 $^{\circ}\text{C}$ 左右。18 μm 聚乳酸降解膜与普通膜相比对棉花产量的影响无显著性差异,而15 μm 聚乳酸降解膜使棉花减产8.9%。研究表明,聚乳酸生物降解地膜厚度选为18 μm 较为合适,且具有良好的降解性,可满足棉花的生长需要,有望替代普通地膜在农田中推广使用。

关键词:聚乳酸;降解地膜;土壤温度;棉花产量

中图分类号:X53

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2016)02-0114-06

doi: 10.13254/j.jare.2015.0200

引用格式:

张妮,李琦,侯振安,等.聚乳酸生物降解地膜对土壤温度及棉花产量的影响[J].农业资源与环境学报,2016,33(2):114-119.

ZHANG Ni, LI Qi, HOU Zhen-an, et al. Effect of Polylactic Acid-Degradable Film Mulch on Soil Temperature and Cotton Yield [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(2): 114-119.

Effect of Polylactic Acid-Degradable Film Mulch on Soil Temperature and Cotton Yield

ZHANG Ni, LI Qi, HOU Zhen-an, YE Jun*

(Department of Resources and Environmental Science, Agricultural College of Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Concern on biodegradable plastic film is increasing because of pollution problems caused by the plastic films currently used. The objective of this field experiment is to evaluate the effect of two thicknesses of polyactic acid-degradable film on soil temperature and cotton yield. The results showed that small holes appeared in the polyactic acid-degradable film at 17~22 d after it was installed. Burst period appeared about 60 d after installation. Splits were observed in the polyactic acid-degradable film at 130 d after installation. Soil temperatures rose slowly under polyactic acid-degradable film during the cotton seedling stage. Daytime soil temperatures were 0.8 $^{\circ}\text{C}$ and 6.2 $^{\circ}\text{C}$ lower under 18 μm and 15 μm thick polyactic acid-degradable film than non-degradable plastic film (CK), respectively. Nighttime soil temperatures under the polyactic acid-degradable film were about 1 $^{\circ}\text{C}$ warmer than CK. There was no significant difference in cotton yields between the 18 μm polyactic acid degradable film treatment and CK. In contrast, yields in the 15 μm degradable plastic film treatment were 8.9% less than that in CK. This study indicated that 18 μm polyactic acid degradable plastic film had good degradability and no negative effect on cotton growth. The 18 μm polyactic acid degradable plastic film can replace ordinary plastic film in agricultural production.

Keywords: polylactic acid; degradable plastic film; soil temperature; cotton yield

地膜覆盖能有效增加地温、减少水分蒸发、防止土壤板结和提高作物产量等作用^[1]。地膜自1978年引

进我国以来^[2],对干旱地区农业发展做出了巨大贡献。据《中国农业统计年鉴》数据显示,我国农作物地膜覆盖种植面积从1981年1.5万 hm^2 增加到2012年的1758.2万 hm^2 ,地膜用量达到131万 t ^[3],增长迅速。

新疆地区棉花种植面积占全国1/3以上^[4],棉花栽培均采用地膜覆盖的种植模式。国内地膜厚度在0.006~0.008 mm之间^[5],由于地膜较薄、秋后机械回收

收稿日期:2015-08-15

基金项目:国家国际科技合作专项“绿洲棉田生态环境监测与预警技术研究”(2015DFA11660);科技支疆计划项目“新型生物降解农膜的研制与应用”(2012AB007)

作者简介:张妮(1990—),女,陕西汉中,硕士研究生,从事绿洲农业资源高效利用研究。E-mail: zll1990@163.com

*通信作者:冶军 E-mail: yejun.shz@163.com

困难、人工回收成本较高等原因,农民多采用集中焚烧处理,其余大部分地膜仍然残留在土壤^[6]。据报道,新疆棉花种植区是我国地膜污染最严重的区域之一^[3]。新疆地域辽阔,对于地膜的需求量有增无减,日益加重的地膜污染问题势必会影响作物的产量和品质。因此,治理残膜危害刻不容缓。

严昌荣等^[7]研究表明,新疆石河子地区棉田中地膜平均残留量高达 $300.65 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,且残留量逐年增加。刘建国等^[8]研究表明:长期轮作棉田地膜残留平均每年以 $11.2 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 速率增加,残留地膜在 0~30 cm 处占残留量的 85%。残留地膜积累会使棉花成苗率、生物量、根冠比等下降,严重影响土壤理化性质,使土壤养分下降,阻碍水分分布^[9-10]。生物降解地膜可降解、无污染,成为解决残膜污染的有效途径。目前,国内对淀粉生物降解地膜^[11-13]、植物纤维地膜^[14-15]和液态地膜^[16-17]均做了一些研究,它们仍然受到降解速率、价格等因素的限制,无法大面积推广使用,而关于聚乳酸降解地膜的应用研究还较少报道,且对于棉花整个生育期内膜下不同土层土壤温度动态变化的监测研究也是空白。所以,本文通过聚乳酸生物降解膜与普通地膜对比研究聚乳酸生物降解地膜的降解情况、不同时段土壤温度变化及其对棉花产量的影响,为聚乳酸生物降解地膜代替普通地膜推广使用,加快现代生态农业的发展做出理论分析。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年 4 月在新疆生产建设兵团第八师石河子总场一营二连($45^{\circ}20'N, 84^{\circ}45'E$)进行。试验田土壤类型为灰漠土,质地为中壤。年平均气温 6.5°C ,无霜期 168 d 左右, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 $4\ 023\sim 4\ 118^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 $3\ 570\sim 3\ 729^{\circ}\text{C}$,年降雨量为 117.2 mm。

1.2 试验材料

供试棉花品种为中棉所 ZM-2(293)。供试地膜有 $18 \mu\text{m}$ 和 $15 \mu\text{m}$ 2 种厚度的聚乳酸生物降解地膜为杨凌瑞丰环保科技有限公司生产, $8 \mu\text{m}$ 普通 PE 地膜为新疆石河子市本地生产,膜宽均为 2.05 m。

1.3 试验设计

试验共设普通地膜(CK)、 $18 \mu\text{m}$ 聚乳酸降解地膜(DA)和 $15 \mu\text{m}$ 聚乳酸降解地膜(DB)3 个处理,每个处理 3 个重复,随机区组排列。普通膜和降解膜间隔种植。

试验中棉花种植采用膜下滴灌技术,机械铺膜,1 膜 3 管 6 行,行距为 $30 \text{ cm}+60 \text{ cm}+60 \text{ cm}+30 \text{ cm}$,株距为 10 cm。生育期内灌水量 $3\ 450 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,共灌水 9 次,灌水周期为 7~10 d。棉花整个生育期肥料施用量为: $\text{N } 300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 90 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O } 75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中氮肥使用尿素,20%的氮肥基施,剩余全部采用分次随水追施,磷肥和钾肥全部基施,其余管理为大田常规管理。

1.4 测试项目及方法

降解膜降解情况:地膜降解情况参照杨惠娣等^[18]降解塑料降解评价方法,地膜膜面变化分为诱导阶段:开始出现小于 1 cm 小裂缝的时间阶段;破裂阶段:出现大于 3 cm 的大裂缝的时间;崩解期:地膜已经裂解成大碎块,出现大于 5 cm 的裂缝或出现碎块的时间;完全降解阶段:几乎无地膜残留。分别记录这 4 个阶段出现的时间,并拍照记录。

土壤温度:土壤温度采用 HZTJ2 型土壤温湿度自动记录仪(北京合众博普科技发展有限公司)测定,播种完成后于 2014 年 4 月 13 日埋下仪器,棉花收获时取出。仪器探头埋设深度为 0、5、10、15、20 cm,每隔 30 min 记录 1 次数据,3 次重复。

棉花生育进程:统计棉花出苗率,现蕾期观察记录株高、主茎叶片数、果枝,收获期测产并拍照记录棉花整个生育期内膜面变化。

出苗期(2014 年 4 月 18 日—4 月 30 日)白天不同土层平均温度为:出苗期早上 9:00 至晚上 9:00 不同土层的平均温度;至出苗期夜间平均温度为:出苗期早上 9:00 至晚上 9:00 以外时间不同土层的平均温度。

1.5 数据分析

数据分析采用 Microsoft Excel 2003 软件和 SPSS 11.5 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 降解地膜的降解情况

DB($15 \mu\text{m}$)聚乳酸降解膜,在覆膜 17 d 后出现小裂纹,先进入诱导阶段,而 DA($18 \mu\text{m}$)降解膜在覆膜 22 d 后才开始出现轻微小裂纹(表 1);覆膜 60 d 左右,2 种厚度降解地膜均进入破裂阶段,DA 比 DB 晚 8 d;到达破裂阶段后,DB 膜降解明显加快,比 DA 降解膜提前 24 d 进入崩裂阶段。在覆膜 130 d 后 DB 膜已经无完整膜面,膜面裂解成小碎片,而 DA 降解膜降解速度稍微慢于 DB 膜,其膜面大裂纹较多,部

表 1 不同降解地膜膜面降解情况记录(d)

Table 1 Biodegradable stages of different kinds of biodegradable plastic film(d)

处理 Treatments	诱导阶段 Induction period	破裂阶段 Burst period	崩裂阶段 Split period	完全降解阶段 Completely degradation period
DA	22	64	153	
DB	17	56	129	

注:新疆 10 月初棉花收获后,机械秸秆还田,无法统计完全降解阶段。

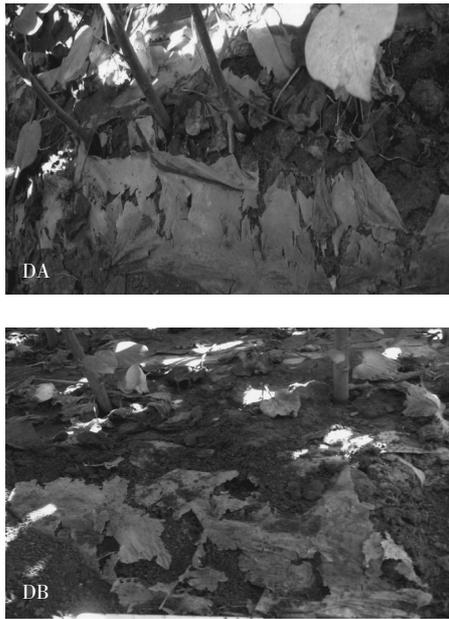


图 1 聚乳酸生物降解地膜 DA 及 DB 膜 130 d 后膜面变化情况
Figure 1 Appearance of the poly-lactic acid biodegradable film DA and DB membrane surface after 130 days

分裂解成碎片(图 1)。

2.2 不同地膜对土壤温度的影响

2.2.1 棉花出苗期不同地膜对土壤白天和夜间平均温度的影响

随着土壤深度的增加,苗期膜内土壤白天平均温度呈下降趋势,而夜间平均温度呈升高趋势(图 2)。出苗期不同土层白天土壤累积温度(各土层土壤的温度之和)普通膜(CK)分别高于 DA 和 DB 膜 0.8 °C 和 6.2 °C。在 0~5 cm 土层,CK 白天平均温度分别显著高于降解膜 DA 1~2 °C, DB 膜 2~4 °C; 而 5~20 cm 处 CK 与 DA 温度几乎一致,而显著高于 DB 膜 1 °C 左右(图 2a)。夜间土壤平均温度 DB 膜土壤温度分别高于 DA 和 CK 膜 0.1 °C 和 0.9 °C(图 2b)。

2.2.2 不同地膜对棉花整个生育期不同土层深度温度的影响

整体来看,CK 的土壤温度始终高于 DA 和 DB

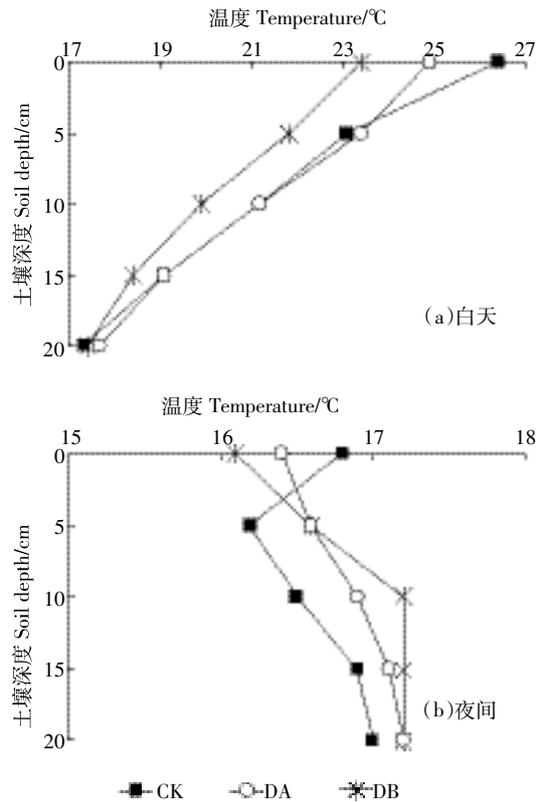


图 2 出苗期土壤白天(a)、夜间(b)不同土层平均温度变化
Figure 2 Average soil temperature during the daytime(a) and nighttime(b) at the seedling stage

膜,DB 生物降解膜最低。在覆膜 50 多 d 温度达到最高,随后土壤温度开始下降(图 3)。

在 0 cm 处,从覆膜到覆膜 90 d 这段时间内 CK 的表层土壤温度明显高于聚乳酸生物降解膜的表层土壤温度,最高高出降解膜 5 °C。到了覆膜 90 d 以后不同土层深度不同地膜之间温度基本稳定,差异不大。在 5~20 cm 土层前期各地膜温度走势一致,差异不大,但是到了 45~90 d 之间降解膜 DB 土壤温度显著下降 1~3 °C,90 d 以后 DB 膜温度与 CK 和 DA 膜温度接近。

2.3 降解地膜对棉花出苗率及生长状况的影响

本试验中 DA(18 μm)处理显著降低了棉花的出苗率,而 DB(15 μm)处理的出苗率与 CK 差异不显著,但分别高于 DA 膜 13.2%和 11.2%(表 2)。不同地膜覆盖下出苗率高低顺序为 DB>CK>DA。在现蕾期,DA 降解膜和 CK 膜的株高差异不显著,而 DB 膜的株高显著低于 DA 和 CK 膜;降解膜与普通膜之间叶片数和果枝数差异不显著,但降解膜 DB 均最低。

2.4 降解地膜对棉花产量的影响

棉花产量随着聚乳酸降解膜厚度的降低而呈降

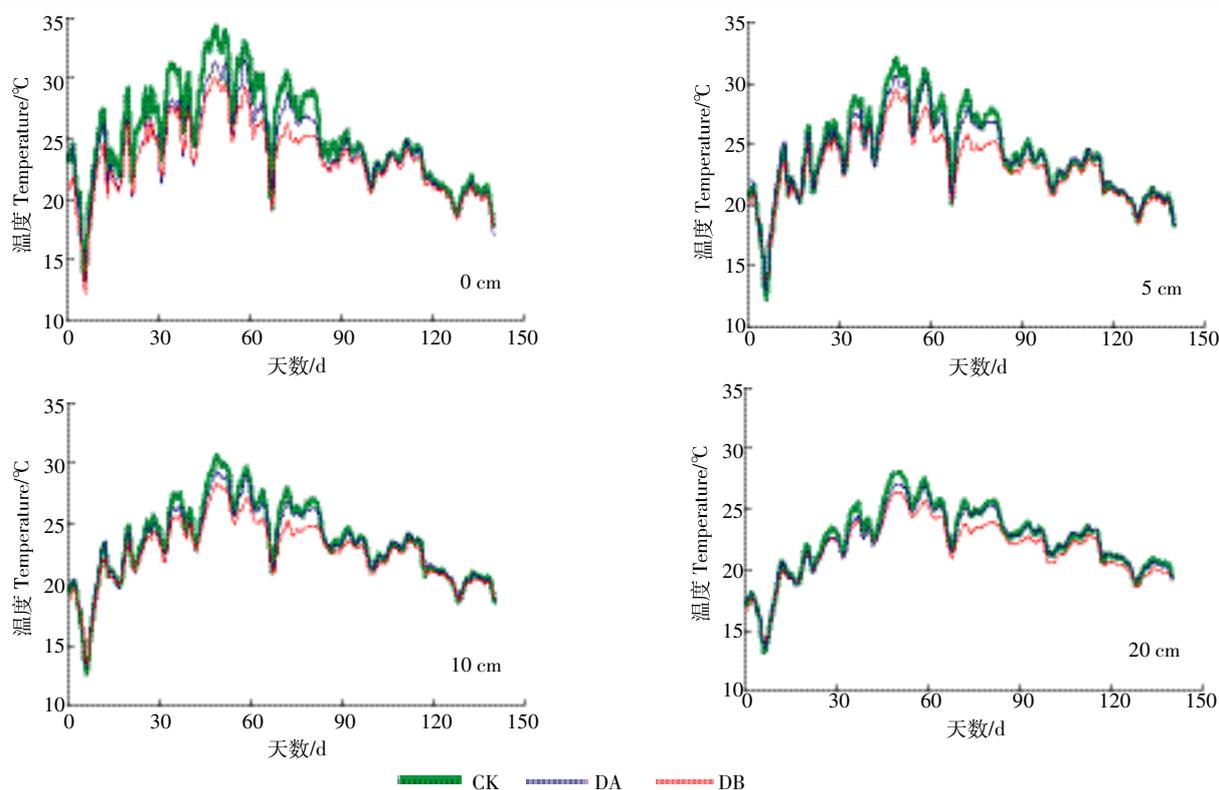


图 3 棉花生长整个生育期不同土层深度(0、5、10、20 cm)温度变化

Figure 3 Soil temperatures at different soil depths(0, 5, 10, 20 cm) during the entire cotton growing season

表 2 不同地膜覆盖下棉花的出苗率及现蕾期生长状况

Table 2 Effect of degradable plastic film on cotton emergence rate and plant characteristics at the squaring period

处理 Treatments	出苗率% Emergence rate	株高/cm Plant height	叶片数 Leaf number	果枝数 Branch number
CK	76.7a	65.6a	10.2a	5.1a
DA	68.9b	64.7a	10.4a	5.2a
DB	78.0a	61.7b	10.0a	4.8a

注: 同列不同小写字母表示不同处理差异达 5% 显著水平。下同。

Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 5% level. The same below.

低趋势(表 3)。DA 的株数及 DB 膜的单株结铃数与 CK 无显著差异, 但 DA 膜的株数显著低于 DB 膜 5.8%, 而单株结铃数显著高于 DB 膜 11.5%。3 种膜之间单铃重无显著差异。棉花产量 DA 降解膜与 CK 膜无显著差异, 而 DB 降解膜棉花产量分别显著低于

表 3 降解地膜对棉花产量的影响

Table 3 Effect of degradable plastic film on cotton yield

处理 Treatments	株数 Plants number	单株结铃数 Boll number	单铃重/g Boll weight	产量/t·hm ⁻² Yield
CK	23.5ab	4.04ab	4.87a	4.62a
DA	22.6b	4.19a	4.91a	4.65a
DB	23.9a	3.71b	4.75a	4.21b

DA 和 CK 膜 10.5% 和 9.7%。棉花产量由高到低依次为 DA ≈ CK > DB, DB 降解膜使棉花减产 8.9%。

3 讨论

不同材料生物降解地膜降解情况不同。本研究表明: 聚乳酸生物降解地膜在覆膜 20 d 左右开始降解, 在棉花收获期降解面积能达到 80% 左右。申丽霞等^[19]研究一种光-生物降解膜表明: 在覆膜 30~40 d 开始出现裂纹, 在 90 d 以后大面积裂解, 且厚度较薄的降解膜降解较快, 这与本研究中聚乳酸降解膜降解情况基本一致。

土壤温度也是直接或间接影响作物生长发育、产量的重要因子。4 月份, 早春低温, 此时 0~10 cm 土层温度对棉花种子出苗率起至关重要的作用。与传统聚乙烯地膜相比, 日平均土壤温度降解地膜低于普通膜, 而夜平均土壤温度 2 种降解地膜均高于普通膜。普通膜较薄, 透光性好, 但保温性能差, 在苗期白天表层升温迅速, 而夜间温度下降快, 温度不稳定; 但降解地膜白天膜内温度上升缓慢, 同时在夜间较低温度时膜内温度下降也较缓慢。因此降解膜表现出较好的保温性能, 尤其是 DB 膜, 这与其出苗率最高保持一致,

说明 DB 聚乳酸生物降解地膜能更好地促进棉花出苗期的生长发育。而 DA 膜出苗率下降 10% 是由于 DA 膜相对较厚,机械铺膜造成打孔偏差,降低了棉花的出苗率。

聚乳酸降解地膜较厚,升温缓慢,所以棉花整个生育期膜内整体温度低于普通膜,普通膜增温效果优于聚乳酸降解膜。而王鑫等^[20]研究改性淀粉生物降解膜、光-生物双降解膜和液态地膜 3 种类型降解地膜表明,3 种降解膜增温效果与普通膜相当,甚至超过普通地膜,而液态地膜降解较快,增温效果最差。本研究中普通膜与降解膜各土层温度差异主要集中在覆膜 30~80 d 内,在覆膜 60~90 d DB 膜各土层温度显著下降,说明此时 DB 膜膜面已经开始出现大面积裂解,增温保墒性能下降。这造成 DB 膜处理下棉花产量与 CK 相比显著下降 8.9%,而聚乳酸降解膜 DA 保温效果明显优于普通膜,且降解较慢,整体降解阶段比 DB 降解膜推后,为棉花生长提供了温度和水分保障,促使 DA 处理中构成棉花产量的收获铃数显著高于 DB。因此 DA 降解膜处理棉花产量在较低株数下却显著高于 DB 处理,但与普通膜处理无显著性差异。何文清等^[21]的研究也有类似结果,部分生物降解地膜降解过快,导致膜内平均温度比普通膜低 1~3℃,对棉花产量带来一定的负面影响。但也有研究表明,可降解膜对土壤温度、玉米生长的影响与普通膜差异不大^[22]。

4 结论

综上所述,在棉花生长整个生育期中,18 μm 聚乳酸生物降解地膜具有与普通膜相当的增温、保墒性能,尤其在保温性能方面优于传统普通地膜,不会出现因膜内升温过快而“烫苗”现象,不会因为温度下降过快而影响幼苗发育。对于昼夜温差大的新疆来说,这是聚乳酸生物降解地膜的一个优势。此外,18 μm 聚乳酸生物降解地膜可满足棉花正常生长的需求,但与此同时厚的降解膜增加了使用的成本,给推广造成了一定的难度,在今后原料成本逐渐降低及生产工艺不断改进的基础上有望代替普通地膜推广使用。

参考文献:

- [1] Subrahmanian K, Mathieu N. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012, 32(2): 501-529.
- [2] 王朝云,吕江南,易永健,等.环保型麻地膜的研究进展与展望[J].中国麻业科学, 2007, 29(6): 380-385.
- [3] WANG Chao-yun, LV Jiang-nan, YI Yong-jian, et al. Progress and prospect of the research of environmental friendly bast fiber mulch film[J]. *Plant Fiber Sciences in China*, 2007, 29(6): 380-385. (in Chinese)
- [3] 国家统计局环境保护部.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社, 2013.
- Environmental Protection Department of National Statistical Bureau. China statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013. (in Chinese)
- [4] 杨莉,杨德刚,张豫芳,等.新疆棉花种植面积时空格局演变特征及驱动机制研究[J].中国沙漠, 2011, 31(2): 476-484.
- YANG Li, YANG De-gang, ZHANG Yu-fang, et al. Spatio-temporal pattern dynamic of cotton plantation in Xinjiang and its driving forces[J]. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(2): 476-484. (in Chinese)
- [5] 张佳喜,谢建华,薛党勤,等.国内外地膜应用及回收装备的发展现状[J].农机化研究, 2013(12): 237-240.
- ZHANG Jia-xi, XIE Jian-hua, XUE Dang-qin, et al. Development status of applying plastic film and the residue mulching film collecting machine at domestic and overseas[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2013(12): 237-240. (in Chinese)
- [6] Briassoulis D. Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, 91(6): 1256-1272.
- [7] 严昌荣,王序俭,何文清,等.新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J].生态学报, 2008, 28(7): 3470-3474.
- YAN Chang-rong, WANG Xu-jian, HE Wen-qing, et al. Study on the residue of plastic film in cotton field in Shihezi, Xinjiang[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3470-3474. (in Chinese)
- [8] 刘建国,李彦斌,张伟,等.绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J].农业环境科学学报, 2010, 29(2): 246-250.
- LIU Jian-guo, LI Yan-bin, ZHANG Wei, et al. The distributing of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in oasis of Xinjiang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(2): 246-250. (in Chinese)
- [9] 董合干,刘彤,李勇冠,等.新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J].农业工程学报, 2013, 29(8): 91-99.
- DONG He-gan, LIU Tong, LI Yong-guan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(8): 91-99. (in Chinese)
- [10] 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 Wen-qing, YAN Chang-rong, ZHAO Cai-xia, 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. (in Chinese)
- [11] 赵卫星,赵永春,姜红波.生物淀粉基降解塑料的研究应用[J].应用化工, 2011, 40(5): 885-887.
- ZHAO Wei-xing, ZHAO Yong-chun, JIANG Hong-bo. Development of starch-based biodegradable plastics[J]. *Applied Chemical Industry*, 2011, 40(5): 885-887. (in Chinese)

- [12] 顾海蓉, 沈根祥, 黄丽华, 等. 热塑淀粉 Mater-Bi 可生物降解地膜的适用性与降解性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 539-543.
GU Hai-rong, SHEN Gen-xiang, HUANG Li-hua, et al. Biodegradability and applicability of thermoplastic starch biodegradable mulching film[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 539-543. (in Chinese)
- [13] Li C, Moore-Kucera J, Lee J, et al. Effects of biodegradable mulch on soil quality[J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 79: 59-69.
- [14] 李文军, 刘作新, 舒乔生, 等. 植物纤维地膜的土壤水热及作物产量效应[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 34-37.
LI Wen-jun, LIU Zuo-xin, SHU Qiao-sheng, et al. Effect of mulching plant fiber film on soil moisture and temperature properties and crop yield[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(6): 34-37. (in Chinese)
- [15] 王朝云, 许香春, 易永健, 等. 麻地膜降解对土壤性质和作物产量影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1): 84-92.
WANG Chao-yun, XU Xiang-chun, YI Yong-jian, et al. Effects of degradation with bast fiber mulching film on soil properties and crop yields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(1): 84-92. (in Chinese)
- [16] 张 洁, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 液态地膜对土壤物理性状的影响及增产效果[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 638-640.
ZHANG Jie, YAO Yu-qing, LV Jun-jie, et al. Effect of liquid film on crop yield and soil physical behavior[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 638-640. (in Chinese)
- [17] 罗春燕, 龙怀玉, 张延春, 等. 覆盖液态地膜对烟田土壤温度及烤烟生长的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 296-298.
LUO Chun-yan, LONG Huai-yu, ZHANG Yan-chun, et al. Effect of liquid film on temperature of soil and growth of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(9): 296-298. (in Chinese)
- [18] 杨惠娣, 唐赛珍. 降解塑料试验评价方法探讨[J]. 塑料, 1996, 25(1): 16-22.
YANG Hui-di, TANG Sai-zhen. Evaluating method for testing of degradable plastics[J]. *Plastics*, 1996, 25(1): 16-22. (in Chinese)
- [19] 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.
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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(4): 111-116. (in Chinese)
- [20] 王 鑫, 胥国斌, 任志刚, 等. 无公害可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): 78-82.
WANG Xin, XU Guo-bin, REN Zhi-gang, et al. Effects of environment-friendly degradable films on corn growth and soil environment[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1): 78-82. (in Chinese)
- [21] 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. (in Chinese)
- [22] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 25-30. (in Chinese)