

新疆地区全生物降解膜降解特征及其对棉花产量的影响

赵彩霞¹, 何文清^{2,3*}, 刘 爽^{2,3}, 严昌荣^{2,3}, 曹肆林⁴

(1.河北农业大学植保学院, 河北 保定 071000; 2.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3.农业部旱作节水农业重点开放试验室, 北京 100081; 4.新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000)

摘 要:针对残膜污染已经成为新疆棉田最严重的生态环境问题,以广东上九公司提供的3种淀粉基全生物降解地膜为供试材料,在我国西北内陆棉区(新疆石河子)开展了田间试验评价研究。结果表明,由于配方的不同,3种降解膜的降解特性、增温保墒性能以及对棉花产量的影响存在显著的差异性。从地表覆盖试验与填埋试验的结果看,与日本的生物降解地膜(CK2)相比,国内的3种供试地膜品种都表现为降解过快,特别是A膜和B膜,降解最为迅速,C膜降解相对较慢。过快的降解速率显著地影响了3种供试降解膜的增温保墒性能,特别是A膜和B膜,与普通膜(CK1)相比,土壤温度平均低2~3℃,土壤水分低3~5个百分点,3种供试降解膜比较,C膜的增温保墒效果略好。从产量结果来看,与普通膜相比,国内供试的A膜和B膜对产量影响较大,减产幅度分别为20%以上,供试C膜和对照的日本降解膜都表现为增产趋势,但与普通膜产量结果比较差异并不显著。

关键词:全生物降解地膜;棉花;降解性能;产量

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)08-1616-06

Degradation of Biodegradable Plastic Mulch Film and Its Effect on the Yield of Cotton in Xinjiang Region, China

ZHAO Cai-xia¹, HE Wen-qing^{2,3*}, LIU Shuang^{2,3}, YAN Chang-rong^{2,3}, CAO Si-lin⁴

(1.College of Botany Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2.Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China; 3.The Key Laboratory of Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 4.Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China)

Abstract: Soil pollution caused by residual plastic mulch film in field has been a serious problem in Xinjiang region. Biodegradable plastic mulch film has assumed a final way to solve this problem. Field experiment was conducted in Shihezi city of Xinjiang region with three kind of biodegradable mulch film (A, B, C) provided by Guangdong Shangjiu Biodegradable plastic Co., LTD in 2009. Traditional non-degradable clear plastic mulch film (CK1) and biodegradable plastic mulch film made in Japan (CK2) were treated as control treatments. The results showed that different biodegradable mulch film had a different degradable performance. Impacts of different plastic mulch film on soil temperature, soil moisture and cotton yield were also different. Comparing to the CK2, The degradation process of test biodegradable mulch film was more faster than that of biodegradable mulch film made in Japan whether covered on soil surface or buried in the soil. The degradation process of test A and B was faster than tested C. The earlier degradation of tested biodegradable mulch film A and B led to the significant effects on its function. Comparing with the CK1 treatment, the soil temperature covered by test biodegradable mulch film A and B was lower to 2~3℃, water storing capacity decreased 3%~5% and cotton yield reduced more than 20%. Test C and CK2 were better than A and B. The cotton yield had no significant differences with CK1.

Keywords: biodegradable plastic film; cotton; degradable performance; yield

收稿日期:2011-02-14

基金项目:十一五国家科技支撑计划“可生物降解地膜开发”(2006BAD07A06)、“污染农田治理关键技术研究”(2006BAD17B04);863项目“全降解保水地膜”(2006AA100216)

作者简介:赵彩霞(1975—),女,内蒙古临河人,副教授,主要研究方向为农业气象与农田环境。E-mail:ZCX517164@sina.com

* 通讯作者:何文清 E-mail:hwq201@ieda.org.cn

地膜是新疆棉区农业生产中不可或缺的重要生产资料之一。地膜覆盖技术对新疆棉花的种植和推广起到了决定性的作用,自20世纪80年代引入地膜覆盖技术以来,新疆的棉花生产得到了迅速发展,目前新疆每年棉花播种面积达133万 hm^2 ,全部采用地膜覆盖,每年地膜用量将近10万t。随着地膜投入量的不断增加,越来越多的残膜留在土壤中^[1-2],给农业生产以及农田生态环境带来了严重的负面影响,造成耕地质量下降、农事操作受阻以及棉花减产等一系列问题^[3-5]。发展绿色环保的全生物降解地膜将是未来解决农田“白色污染”这一难题的理想途径^[6-8]。与普通膜相比,降解膜由于具有可降解特性,能有效减少残膜的污染危害,但由于区域气候条件和作物种类的不同,其覆盖后的降解特性以及作物产量的增减也千差万别^[9-11]。目前国内对降解地膜的试验研究主要集中在光降解和淀粉填充型生物降解地膜的研究^[12-17],但这些降解膜只是裂解成小的碎片,并非完全降解,而对于淀粉基全生物降解地膜的试验研究还较少。本研究利用广东上九生物降解塑料有限公司提供的3种不同配方的全生物降解地膜,以国外(日本)成熟的全生物降解膜和普通聚乙烯地膜作对照,在新疆棉区开展田间试验研究,通过田间降解情况的观察、增温保墒效果的测定以及对作物产量影响的研究,对不同配方的降解地膜产品进行评价研究。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于新疆石河子市,是我国西北内陆主要覆膜棉区。新疆石河子位于东经 $85^{\circ}30' \sim 86^{\circ}30'$,北纬 $43^{\circ}30' \sim 45^{\circ}40'$,属于典型大陆性干旱气候,该地区光热资源较丰富,全年日照时数2 526~2 874 h,生长季日照时数为1 900~2 000 h,年均气温 6.6°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温3 900~4 100 $^{\circ}\text{C}$,无霜期160 d左右,年均降水量125.0~207.7 mm,年蒸发量1 946 mm。主要农作物为棉花、小麦、玉米、甜菜、油菜,一年一熟。试验地位于新疆生产建设兵团石河子总场一分场4连,土壤基本理化性质见表1。

表1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 Soil physicochemical property of experiment site

参数	土壤容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	pH
数据	1.40	22.4	26.2	76.8	289	8.3

1.2 供试材料

广东上九生物降解塑料有限公司提供的3种淀粉基全生物降解膜,主要成分见表2,以市场销售的普通地膜(CK1)和日本进口的全生物降解地膜(CK2)做对照,普通膜主要成分是聚乙烯(PE),厚度为0.008 mm,日本全生物降解膜主要成分为淀粉,厚度为0.020 mm。供试的棉花品种为新棉315。

1.3 试验设计

1.3.1 田间覆盖试验

试验共设降解膜A、降解膜B、降解膜C、普通膜(CK1)、日本降解膜(CK2)共5个处理,每个处理设3个重复,随机排列。试验小区长20 m,宽1.2 m。灌溉方式为膜下滴灌,铺膜方式均为机铺。棉花于2009年4月15日播种,9月20日开始收获测产。

1.3.2 填埋试验

地膜试样剪成30 cm $\times$ 20 cm,真空干燥至恒重,称重后埋入农田土壤中,埋土深度10 cm,埋土后30、60、90、120、150、180 d分别取样,观察其表面降解情况,然后利用超声波洗净,真空干燥,利用万分之一天平称重计算其失重率。降解膜A、降解膜B、降解膜C、普通膜(CK1)、日本降解膜(CK2)共5个处理,每个处理各设置3个重复,随机排列。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 降解膜降解性能的观测

通过田间覆盖试验和土壤填埋试验来对降解地膜降解性能进行评价。

田间覆盖试验评价采用目测法,将地膜降解过程分为4个阶段,第一阶段:开始铺膜到出现小裂缝的时间阶段为诱导期阶段;第二阶段:肉眼清楚看到大裂缝的时间为破裂期;第三阶段:地膜已经裂解成大碎块,没有完整的膜面,出现膜崩裂的时间,即为崩裂期;第四阶段:地面无大块残膜存在,虽仍有微小的碎片的时间阶段,但对土壤和作物已无影响,即为完全降解阶段。通过定期的人为肉眼观测,记录地膜颜色、形态以及表面完整情况的变化情况。

填埋试验采用计算膜失重率法来评价:

失重率(%)=(填埋前膜重-填埋后膜重)/填埋前膜重 $\times 100\%$

1.4.2 农田土壤水分测定

采用烘干法(105°C)每15 d测定1次,测定深度为0~10、10~20、20~30 cm 3个层次,每个处理测3次重复。耕层土壤温度的测定采用日本产HIOKI温度自动记录探头装置测定,探头埋设深度为10 cm,每30

表 2 供试全生物降解膜基本特性

Table 2 The characters of tested biodegradable plastic film

地膜品种	主要成分	密度/g·cm ⁻³	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	厚度/μm
广降 A 膜	玉米淀粉 20%、油脂 6%、PCL(聚己内酯)70%、各种助剂 5%	10.05~1.3	≥15	≥300	20~25
广降 B 膜	无机填料 30%、PCL(聚内酯)60%、油脂 4%、各种助剂 9%	10.05~1.3	≥14	≥250	20~25
广降 C 膜	淀粉 14%、填料 18%、降解树脂 54%、油脂 5%、多羟基聚酯 2%、各种助剂 7%	0.05~1.2	≥12	≥200	20~25

表 3 试验区作物生育期基础气象指标

Table 3 The meteorological index of experiment sites

试验区	时间	均温/℃	降雨量/mm	日照时数/h	相对湿度/%
新疆石河子	全年	8.7	296.8	4 179.7	60.4
	生育期(4—10 月)	19.7	234.2	3 058.9	50.4

min 记录 1 次数据,3 次重复,本文中作图采用旬平均值。气象数据由新疆石河子市气象局提供(见表 3)。

1.5 数据处理与分析

数据经 Excel 2003 整理后,采用 DPS11.5 专业版软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同配方生物降解膜的田间降解情况评价

本试验中 3 种供试的全生物降解膜田间降解情况观测结果表明(表 4),与日本的生物降解地膜(CK2)相比,国内的 3 种供试降解膜品种都表现为降解过快,特别是 A 膜和 B 膜,覆膜 30 d 左右就开始出现裂缝和裂口,膜面颜色暗淡,表面变薄,韧性下降,40 d 左右就已经完全破裂,失去了增温保墒的功效,2 个月内全部降解为大的碎片。C 膜降解相对较慢,诱导期为 45 d 左右,覆盖 2 个月后进入破裂期,大约 6 个月后完全降解,基本能保证棉花生育前期的增温保墒功能。日本降解膜(CK2)处理各个降解阶段都要比国内的 3 种供试膜延续时间长,能起到很好的增温保墒功效。由于新疆地区降雨量少,蒸发量大,早春土壤温度较低,降解膜覆盖要达到良好的增温保墒效果,其有效功能期至少需要 2 个月以上,特别是在膜下滴灌栽培条件下,要求的覆盖时间更长。因此,为了保证降解地膜覆盖能起到良好的增温保墒功能,国内的 3 种供试降解膜必须进一步加强对其降解速度的控

制,延长其有效功能期。

3.2 不同降解膜田间填埋试验结果

填埋试验中生物降解膜失重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。从土壤填埋试验结果来看(见图 1),与普通聚乙烯地膜(CK1)相比,4 种降解膜都发生了不同程度的降解,其中降解膜 A 和 B 最快,其次为 C 膜,日本降解膜速度最慢,所有的降解膜随着填埋时间的增加,降解失重率都是平

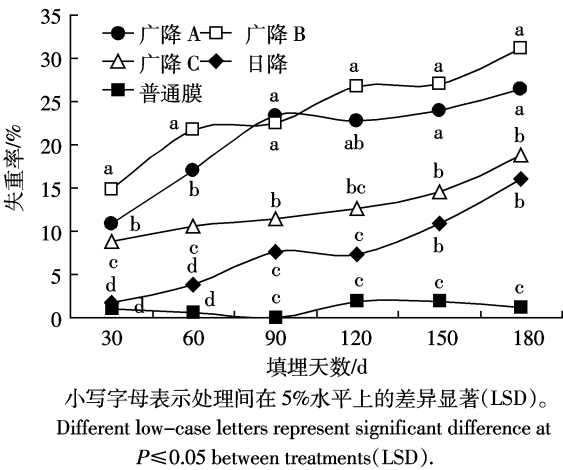


图 1 新疆棉田不同降解膜失重率变化

Figure 1 Weight loss ratio of biodegradable plastic film in Xinjiang

表 4 不同类型生物降解膜覆盖部分降解阶段记录(覆膜后天数)

Table 4 The biodegradable stages of different kind of biodegradable plastic film

试验点	降解膜品种	诱导期阶段/d	破裂期阶段/d	崩裂期阶段/d	完全降解阶段/d
新疆石河子	广降 A	29	42	53	120
	广降 B	26	39	58	128
	广降 C	45	58	67	171
	日降(CK2)	73	94	126	218

缓地增加,在180 d 填埋时间内,广降B降解失重率最高,为31.2%,其次为广降A,为26.4%,日本膜最低,仅为15.9%,普通膜虽有破损,但没有发生明显降解失重现象,颜色和拉伸强度几乎没有任何变化。与地表覆盖部分相比,填埋试验中降解膜的降解速率慢。

3.3 不同降解地膜对农田耕层土壤温度的影响

土壤温度在棉花前期生长中的作用十分重要。从几种降解膜土壤温度变化(图2)来看,在生育前期,由于降解地膜膜面完整,保温效果与普通地膜相比差异不大,但从5月下旬开始,随着降解膜膜面降解破裂,膜内温度迅速下降,明显低于普通膜,特别是对国内的3种供试地膜,与普通膜相比差异十分显著,平均低2~3℃,最多相差达4℃,而日本降解膜由于降解速率较慢,膜面一直比较完整,膜内温度并没有显著降低。与A膜和B膜比较,C膜由于降解速率较慢,所以其保温效果要略好于A膜和B膜。

3.4 不同降解地膜对耕层土壤水分的影响

降解速度不一样,导致不同降解膜覆盖下土壤水分也不一致。在整个棉花生育期内,国内供试的3种降解膜由于破裂较早,保墒效果明显低于普通膜,平均低3~5个百分点,而日本降解膜则表现较好的气候适宜性,与普通膜在保墒性能方面几乎没有差异。A、B、C 3种供试降解膜之间比较,C膜的保水效果比A膜和B膜要好,特别是在棉花的生育前期,土壤含水量平均高1~2个百分点。而到6月份以后,A、B、C 3种地膜已大部分破裂,在保水效果上没有明显差异。土壤含水量的研究结果也表明地膜的完整性对于保水效果具有决定作用,表面越完整,保水效果越好。不同层次之间土壤水分含量比较表明,虽然普通膜和日本膜与A、B、C 3种供试降解膜土壤水分差异性随层次的增加并没有显著变化,但3种供试膜之

间的差异性则随层次的增加表现为逐渐变小。说明地膜覆盖对土壤表层水分含量影响比较大(图3)。

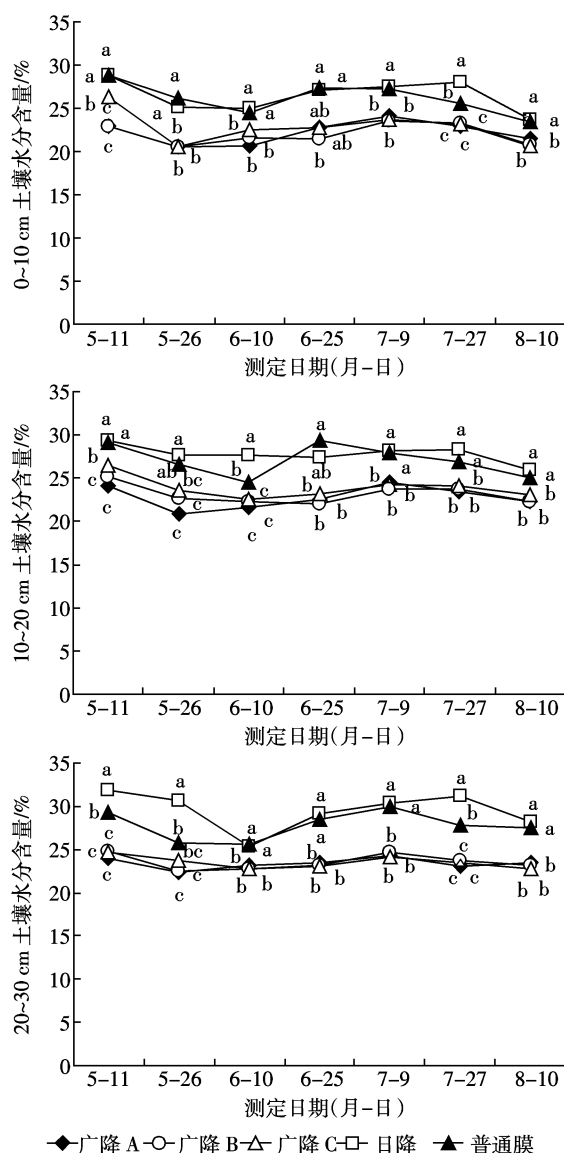


图3 新疆棉田不同降解地膜覆盖土壤各土层水分变化

Figure 3 Soil moisture under different treatments in Xinjiang

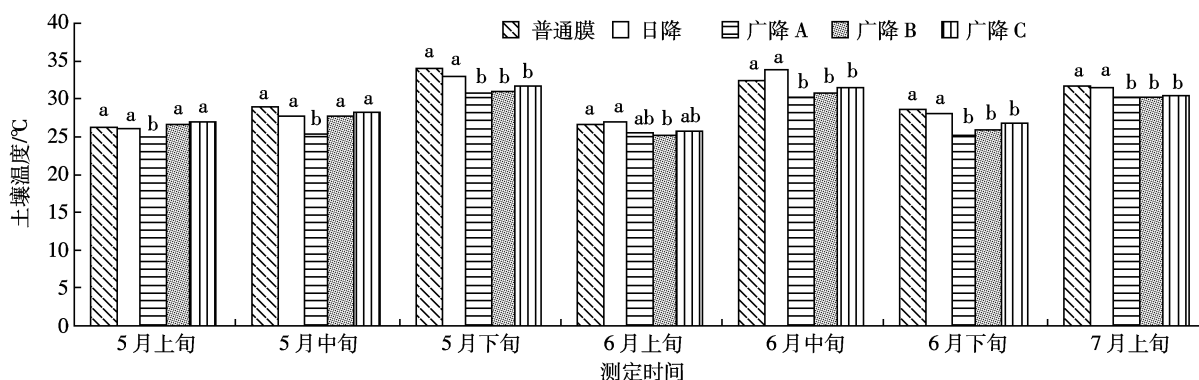


图2 新疆棉田不同地膜覆盖温度变化

Figure 2 Soil temperature under different treatments in Xinjiang

3.5 不同类型生物降解地膜对作物产量及其构成要素的影响

从棉花产量构成要素来看(表5),与普通膜(CK1)比较,4种降解膜覆盖的棉花亩株数和铃重都呈现不同程度的降低:每亩株数减幅10%~20%,其中最高为广降A处理,减幅达20.7%,最低为日降,减幅为10.1%;铃重比普通膜覆盖降低10%~15%,减幅最高的也是广降A膜,达到15.02%。统计分析结果表明,4种降解膜亩株数与普通膜相比差异性显著,而铃重差异没有达到显著性水平。所有降解膜覆盖单株结铃数与普通膜相比,都呈现显著增加的趋势,增加幅度大小依次为广降C>日降>广降A>广降B,表明降解膜覆盖可以有效增加棉花的单株结铃数。从产量结果来看,供试的A膜和B膜由于降解速度太快,造成显著的减产,减产幅度在20%以上,而C膜和日本膜表现较好,虽略有增产,但与普通膜产量没有显著性差异。与日本降解膜相比(CK2),国内的3种降解膜由于性能的差异,导致其产量及其构成要素都明显降低。3种供试膜之间比较,C膜略好于A膜和B膜。

4 结论

(1)本研究中地表覆盖试验与填埋试验的结果都表明,与日本的生物降解地膜相比,国内的3种供试地膜品种都表现为降解过快,特别是A膜和B膜,降解最为迅速,影响了其增温保墒的功效,3种供试产品比较,C膜降解相对较慢,能够起到较好的增温保墒作用。降解膜在土壤中的降解速度要比地表覆盖部分的降解速度慢,主要是不同的环境因子作用的结果。地表覆盖部分的膜降解主要受温度、水分和紫外光辐射等因子的影响^[18]。一般认为,紫外线越强,温度高,水分大,降解越强烈^[19],而填埋部分的降解主要受土壤微生物作用的影响,而微生物的活性和土壤水分

和温度有直接的关系。有研究表明,田间试验观测到地膜降解比室内慢,是因为室内持续稳定的温度条件对降解微生物的行为有利^[20],随着水分的增加,降解膜的诱导期会降低,而水分含量低则可能会延迟细菌的诱导,降低细菌的活性,因而使降解性降低^[21]。本研究的试验结果也表明,新疆地区由于昼夜温差大,降雨少,气候干燥,影响了土壤微生物的活性,导致了填埋试验中降解速率的下降。

(2)在作物的生育前期,由于供试的3种降解膜膜面尚保持完整,增温保墒效果与日本膜和普通膜并没有显著的差异,但随着降解过程的进行,降解速度较快的A膜和B膜膜内温度和土壤水分含量明显要低于日本降解膜和普通膜,C膜相对较好。降解膜覆盖导致了棉花和亩株数和铃重的降低,但却显著增加了单株的结铃数。从实验最后的产量结果来看,与普通膜相比,国内供试的A膜和B膜在2个试验点都呈现减产趋势,减产幅度达20%以上。供试C膜和对照的日本降解膜都表现为增产趋势,但与普通膜产量结果对照差异不显著。

(3)综合来看,与普通膜相比,国内的3种供试降解地膜品种A膜和B膜由于降解速度过快,增温保墒效果不好,导致棉花减产,而C膜表现相对较好。与日本降解地膜相比,虽然国内供试的生物降解地膜可以实现降解,但在降解的稳定性和彻底性方面与国外先进的生物降解地膜相比还有一定的差距,增温保墒的效果还比较差。如何进一步改进配方,增加降解地膜的可控性和稳定性,提高地膜的使用性能,仍将是未来我国降解地膜需要进一步加强研究的方向。

参考文献:

- [1] 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.

表5 不同生物降解地膜覆盖下棉花产量

Table 5 The cotton yield under different biodegradable plastic film mulching

供试地膜	株数		结铃数		铃重		籽棉产量	
	10 ⁴ 株·hm ⁻²	增幅/%	个·株 ⁻¹	增幅/%	g	增幅/%	kg·hm ⁻²	增幅/%
广降A	18.5b	-20.7	3.47bc	14.90	4.98a	-15.02	3 169.5c	-23.3
广降B	19.5b	-16.7	3.29bc	8.94	5.14a	-12.29	3 297bc	-20.2
广降C	18.6b	-20.2	4.57a	51.32	5.26a	-10.24	4 176ab	1.1
日降(ck2)	21.1ab	-10.1	3.90ab	29.14	5.19a	-11.43	4 246.5a	2.8
普通膜(ck1)	23.4a	—	3.02c	—	5.86a	—	4 131a	—

注:小写字母表示处理间在5%水平上的差异显著(LSD)。

Note: Different low-case letters represent significant difference at $P \leq 0.05$ between treatments (LSD).

- HE Wen-qing, YAN Chang-rong, ZHAO Cai-xia, et al. The use of plastic mulch film in typical cotton planting region and the associated Environmental pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):533-538.
- [2] 张江华, 蒋平安, 申玉熙, 等. 新疆农田地膜污染现状及对策[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(8):1656-1659.
- ZHANG Jiang-hua, JIANG Ping-an, SHEN Yu-xi, et al. Present conditions and control measures of plastic film residue in agricultural fields in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2010, 47(8):1656-1659.
- [3] 南殿杰, 解红娥, 李燕娥, 等. 覆盖光降解地膜对土壤污染及棉花生育影响的研究[J]. 棉花学报, 1994, 6(2):103-108.
- NAN Dian-jie, XIE Hong-e, LI Yan-e, et al. Study of the effect of photodegradable plastic film mulching on soil contamination and cotton growth[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1994, 6(2):103-108.
- [4] 姜益娟, 郑德明, 朱朝阳. 残膜对棉花生长发育及产量的影响[J]. 农业环境保护, 2001, 20(3):177-179.
- JIANG Yi-juan, ZHENG De-ming, ZHU Zhao-yang. Effect of remnant plastic film in soil on growth and yield of cotton[J]. *Agro-Environmental Protection*, 2001, 20(3):177-179.
- [5] 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜土壤对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业科学, 1996, 15(2):9-10.
- ZHANG Bao-min, WANG Lan-zhi, PAN Tong-xia, et al. The effect of film residue on peanut growth and development[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1996, 15(2):9-10.
- [6] 张文群, 金维续, 孙昭荣, 等. 降解膜残片与土壤耕层水分运动[J]. 土壤肥料, 1994, 3:12-15.
- ZHANG Wen-qun, JIN Wei-xu, SUN Zhao-rong, et al. The effect of residue of degradable films on movement of soil moisture[J]. *Soils and Fertilizers*, 1994, 3:12-15.
- [7] 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, LU Jia-long, SUN Ben-hua. Effects of covering degradable films on corn growth and soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(4):397-401.
- [8] 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.
- [9] 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.
- QIN 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 唐赛珍, 陶钦. 中国降解塑料的研究与发展[J]. 现代化工, 2002, 22(1):2-7.
- TANG Sai-zhen, TAO Qin. Research and development of degradable plastics in China[J]. *Modern Chemical Industry*, 2002, 22(1):2-7.
- [13] 杨惠成, 杨汉明. 降解地膜在安徽农作物上应用研究初报[J]. 安徽农学通报, 2000, 6(2):28-30.
- YANG Hui-cheng, YANG Han-ming. Study on the effects of degradable mulch films on the growth of crop in Anhui Province[J]. *Anhui Agricultural Bulletin*, 2000, 6(2):28-30.
- [14] 贾贵贵, 潘学锋, 康丙龙, 等. 玉米地覆盖降解地膜的效果[J]. 安徽农学通报, 2000, 6(4):32-33.
- JIA Wei-gui, PAN Xue-feng, KANG Bing-long, et al. The effect of degradable films on the corn yield[J]. *Anhui Agricultural Bulletin*, 2000, 6(4):32-33.
- [15] 杨韵娟, 李崇刚, 王敏茹. 浅析双降解地膜的试验与应用[J]. 黑龙江环境通报, 1999, 23(2):44-46.
- YANG Yun-juan, LI Chong-gang, WANG Min-ru. Study on the effects and application of photo-biodegradable film[J]. *Heilongjiang Environment Bulletin*, 1999, 23(2):44-46.
- [16] 王东升, 胡成. 可控光和生物双降解地膜田间试验研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 17(4):30-34.
- WANG Dong-sheng, HU Cheng. Experimental study on the effects of photo-biodegradable film[J]. *Liaoning Urban-Rural Environment Science and Technology*, 1997, 17(4):30-34.
- [17] 赵品仁. 双降解地膜应用试验简报[J]. 耕作与栽培, 1998(3):34-35.
- ZHAO Pin-ren. Experiment study on the effects of photo-biodegradable film application[J]. *Tillage and Cultivation*, 1998(3):34-35.
- [18] 吴从林, 黄介生, 沈荣开. 光-生双降解膜覆盖下的夏玉米试验研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(2):137-139.
- WU Cong-lin, HUANG Jie-sheng, SHEN Rong-kai. Experiment study on the effects of photo-biodegradable on the summer corn yield[J]. *Agricultural Environment Protection*, 2002, 21(2):137-139.
- [19] 乔海军. 生物降解地膜的降解过程及其对玉米生长的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007, 6.
- QIAO Hai-jun. Degradation of biodegradable mulch films and its effects on the growth of corn[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007, 6.
- [20] Pramer D, Bartha R. Preparation and processing of soil samples for biodegradation studies[J]. *Environ Lett*, 1972, 2:217-224.
- [21] Yoshikuni Yakabe, Kazuo Nohara, Takaharu Haru, et al. Factors affecting the biodegradability of biodegradable polyester in soil[J]. *Chemosphere*, 1992, 25(12):1879-1888.