

全生物降解膜田间降解特征及其对棉花产量影响

何文清^{1,2} 赵彩霞³ 刘爽^{1,2} 严昌荣^{1*} 常蕊芹⁴ 曹肆林⁵

(1. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所,北京 100081;

2. 农业部旱作节水农业重点开放实验室,北京 100081; 3. 河北农业大学 植保学院,河北 保定 071000;

4. 新疆农垦科学院,新疆 石河子 832000; 5. 河北成安县农业局,河北 成安 056700)

摘要 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,在我国主要覆膜棉区的黄河流域棉区(河北成安)和西北内陆棉区(新疆石河子)进行田间试验评价。结果表明:由于配方以及外界环境条件的不同,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区域的差异性。在河北试验点降解膜的降解速率要明显快于新疆试验点,3种供试降解膜的诱导期在河北试验点基本在30 d以内,而在新疆试验点则可以达到30~45 d左右,埋土180 d后河北试验点失重率已经达到50%~80%,而在新疆试验点最高仅为31.2%,3种降解膜降解速率比较表现为A>B>C膜。与普通膜和日本的全生物降解地膜相比,国内的3种供试地膜品种都表现为降解过快,影响其增温保墒性能。特别是覆盖A和B膜的土壤温度在河北试验点比普通膜平均低1~2℃,土壤水分低2%~3%,在新疆试验点土壤温度平均低2~3℃,土壤水分低3%~5%。从产量结果来看,与普通膜相比,国内供试的A和B膜在2个试验点都表现减产:在河北试验点减产5%左右;在新疆试验点减产幅度较大,达20%以上。供试C膜和日本降解膜表现为增产趋势,但与普通膜产量结果比较差异并不显著。

关键词 棉花; 地膜; 降解性能; 产量

中图分类号 S 562

文章编号 1007-4333(2011)03-0021-07

文献标志码 A

Study on the degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton

HE Wen-qing^{1,2}, ZHAO Cai-xia³, LIU Shuang^{1,2}, YAN Chang-rong^{1*}, CHANG Rui-qin⁴, CAO Si-lin⁵

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China;

2. Key Laboratory for Agro-environment & Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

3. Hebei Agricultural University, Baoding 07100, China;

4. Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China;

5. County Agricultural bureau, Chengan 056700, China)

Abstract This study was conducted in the Yellow River Basin (Chengan, Hebei) and the western outback (Shihezi, Xinjiang) cotton planting areas in 2009. The tested materials are three types of biodegradable mulch films (A, B, C) provided by Shangjiu Biodegradable plastic Co., LTD. Guangdong. The results showed that the degradation properties of the biodegradable mulch films were different due to the variable environmental conditions from the two regions. The degradation process of biodegradable mulch film in Hebei was faster than that of in Xinjiang under both covered on soil surface and buried in the soil conditions. Comparing with the control, the faster degradation process of the biodegradable mulch film A and B affected the soil temperature, water storing capacity, thus resulted in decreased cotton yield; On the other hand, biodegradable mulch film C was better than both A and B.

Key words cotton; plastic film; degradable performance; yield

收稿日期: 2010-03-03

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD07A06, 2006BAD17B04); 国家“863”计划项目(2006AA100216)

第一作者: 何文清, 副研究员, 主要从事旱作农业与农田环境研究, E-mail: hwq201@ieda.org.cn

通讯作者: 严昌荣, 研究员, 主要从事旱作节水农业研究, E-mail: Yancr@ieda.org.cn

地膜是我国农业生产中不可或缺的生产资料之一,地膜覆盖技术具有显著的增温保墒、增产增收的作用^[1]。但随着地膜投入量的不断增加,越来越多的残膜留在了土壤中。由于普通地膜是一种人工合成的高分子化合物,在自然条件需要近百年的时间才能完全降解^[2]。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,造成土壤结构破坏、耕地质量下降、作物减产以及农事操作受阻、次生环境污染等一系列问题^[3-5]。因此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]。国内外大量的研究表明,降解膜由于具有可降解特性,能有效减少残膜的污染危害^[9-10],与普通膜相比,降解膜覆盖作物的产量增减不一,主要与作物种类和应用区域的气候条件有直接关系^[11-13]。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^[14-19],而对于淀粉基全生物降解地膜的试验研究还较少,特别是在2个完全不同类型生态区同时开展对比试验研究,目前在国内尚未见报道。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,在新疆棉区和华

北棉区同时开展田间试验,研究其田间降解的情况、增温保墒的效果及对作物产量的影响,旨在对不同降解地膜产品的降解特性进行评价。

1 试验区概况

试验选择我国主要覆膜棉区的2个完全不同的气候类型区,新疆石河子市和河北成安县同时开展试验研究。新疆石河子市位于东经 $85^{\circ}30'$ ~ $86^{\circ}30'$,北纬 $43^{\circ}30'$ ~ $45^{\circ}40'$,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, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 $3\ 900\sim 4\ 100^{\circ}\text{C}$,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、甜菜和油菜等,一年一熟。河北省成安县位于河北省南部黑龙港流域,地理位置在东经 $114^{\circ}35'$,北纬 $36^{\circ}27'$,暖温带半湿润大陆季风气候。海拔47 m,土壤类型为轻壤质草甸潮褐土,年平均气温 13.1°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为4 966 $^{\circ}\text{C}$,无霜期在207 d左右,年平均日照2 589 h,年均降水量553 mm,主要农作物为小麦、玉米和棉花等,一年两熟。2个研究区主要覆膜农作物均为棉花。试验区土壤基本理化性质见表1。

表1 试验区土壤基本理化性质

Table 1 Soil physicochemical property of experiment site

试验点	土壤容重/(g/cm^3)	有机质/(g/kg)	速效磷/(mg/kg)	碱解氮/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	pH
河北成安县	1.37	11.7	23.6	60.0	110	7.5
新疆石河子	1.40	22.4	26.2	76.8	289	8.3

2 材料与方法

2.1 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(质量分数)见表2。以日本全生物降解地膜和普通地膜作对照。日本全生物降解地膜主要成分为淀粉。普通膜主要成分是聚乙烯(PE)。供试的作物为棉花,河北试验点棉

表2 供试全生物降解膜基本特性

Table 2 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
A膜	玉米淀粉20%、油脂6%、PCL(聚己内酯)70%、各种助剂5%	10.05~1.30	≥ 15	$\geq 300\%$	20~25
B膜	无机填料30%、PCL(聚内酯)60%、油脂4%、各种助剂9%	10.05~1.30	≥ 14	$\geq 250\%$	20~25
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%	0.05~1.20	≥ 12	$\geq 200\%$	20~25

花品种为高环 1 号，新疆试验点棉花品种为新棉 315。

2.2 试验设计

1)田间覆盖试验：试验共设普通膜、降解膜 A (A 膜)、降解 B(B 膜)、降解膜 C(C 膜)和日本降解膜(日降)共 5 个处理，每个处理设 3 次重复，随机排列。试验小区长 20.0 m，宽 1.2 m。铺膜方式均为机铺。河北成安县棉花播种日期为 2009-04-27,09-03 开始收获测产。新疆石河子棉花播种日期为 2009-04-15,09-20 开始收获测产。

2)填埋试验：地膜试样剪成 30 cm×20 cm 大小，真空干燥后至恒重，称重后，埋入农田土壤中，埋土深度 10 cm，埋土后于 30、60、90、120、150 和 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。试验设普通膜、降解膜 A (A 膜)、降解 B(B 膜)、降解膜 C(C 膜)和日本降解膜(日降)共 5 个处理，每个处理各设置 3 次重复，随机排列。

2.3 测定指标与方法

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 5 个阶段，第 1 阶段：开始铺膜到出现小裂缝的时间阶段为诱导期阶段；第 2 阶段：肉眼清楚看到大裂缝的时间为破裂期；第 3 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 4 阶段：地面无大块残膜存在，仍有小碎片的时间阶段；第 5 阶段：地膜在地表基本消失的阶段。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。

$$\text{失重率}/\% = \frac{\text{填埋前膜质量} - \text{填埋后膜质量}}{\text{填埋前膜质量}} \times 100$$

2)农田土壤水分测定。采用烘干法(105 ℃)测定，每 15 d 测定 1 次，测定深度 0~10、10~20 和 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 min 记录一次数据，3 次重复，作图采用旬平均值。气象数据分别由河北省成安县气象局及新疆石河子市气象局提供(表 3)。

表 3 试验区作物生育期基础气象指标(2009 年)

Table 3 Meteorological index of experiment sites

试验点	时间	均温/℃	降雨/mm	日照时数/h	相对湿度/%
河北成安县	全年	14.6	482.7	2 018.3	69.9
	生育期(4-10 月)	21.4	411.6	1454.0	72.6
新疆石河子	全年	8.7	296.8	4179.7	60.4
	生育期(4-10 月)	19.7	234.2	3058.9	50.4

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

表 4 试验结果表明，与日本的生物降解地膜相比，无论在新疆试验点还是河北试验点，国内的 3 种供试地膜品种都表现为降解过快，特别是 A 和 B 膜，降解最为迅速，C 膜降解相对较慢，能够起到较好增温保墒的作用。不同的地区，由于温度、降雨量等气候条件不同，地膜的降解速度也不一样。与新疆试验点相比，河北试验点温度高，降雨量多，相对湿度大，所以降解膜降解速度明显要比新疆快。在河北试验点，A 和 B 膜诱导期仅为 20 d 左右，覆盖后 30 d 即出现严重的裂缝，至覆膜后 60 d，A 和 B 膜已完全降解为大的碎片，完全丧失了增温

表 4 不同类型生物降解膜暴露部分降解阶段记录

Table 4 Biodegradable stages of different kind of biodegradable plastic film

试验点	降解膜品种	诱导期阶段	破裂期阶段	崩裂期阶段	完全降解阶段
河北成安县	A 膜	22	32	58	90
	B 膜	20	35	60	96
	C 膜	30	56	71	120
	日降	46	60	90	120
新疆石河子	A 膜	29	42	53	120
	B 膜	26	39	58	128
	C 膜	45	58	67	—
	日降	73	94	126	—

注：数据为覆膜后时间，d。

保墒的功能,而新疆石河子由于气候干燥,气温相对较低,4种降解地膜的诱导期阶段都要长于河北试验点,延长了其增温保墒的功效期。

3.2 不同降解膜田间埋试验结果分析

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。从试验结果来看(图1,2),在河北试验点,填埋试验30d时,各种降解地膜的降解过程与覆盖试验基本相同,B膜最快,降解失重率达到26%;而日本降解膜速度最慢,失重率仅为3.5%;但填埋60d后日本降解膜降解速度开始迅速增加,降解失重率达到42%,远远高于其他3种生物降解膜;到填埋后90d,日本降解膜已完全降解,而国内3种供试降解膜在180d时,降解失重率基本在50%~80%之间。在新疆试验点,填埋试验中的不同降解膜的降解过程基本与地表覆盖相同,自始至终表现为A和B膜最快,其次为C

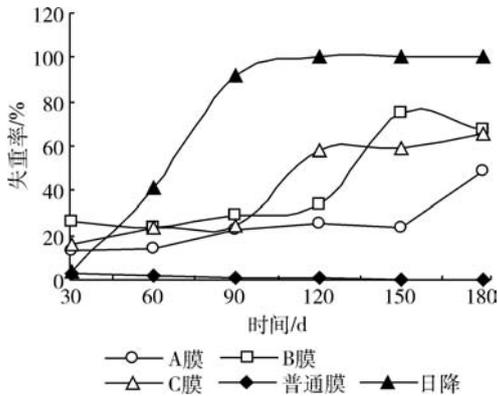


图1 河北成安县棉田不同降解膜失重率变化

Fig. 1 Weight loss ratio of biodegradable plastic film in Hebei

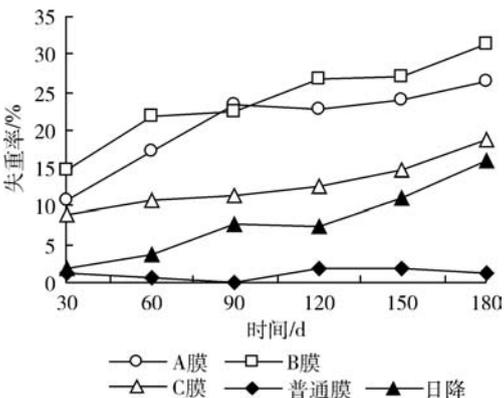


图2 新疆石河子棉田不同降解膜失重率变化

Fig. 2 Weight loss ratio of biodegradable plastic film in Xinjiang

膜,日本降解膜降解速度最慢。所有的降解膜随着填埋时间的增加,降解失重率增加平缓;在填埋180d时,B膜降解失重率最高,为31.2%,其次为A膜,为26.4%,日本降解膜最低,仅为15.9%。在2个试验点普通膜没有明显的降解失重。

3.3 不同降解地膜对农田耕层土壤温度的影响

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来看(图3,4),在生育前期,由于降解地膜膜面完整,所以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A和B膜的降解,膜内温度明显低于普通膜,河北试验点平均低1~2℃左右,新疆试验点平均低2~3℃左右,C膜和日本降解膜由于膜面尚完整,温度没有明显降低。6月下旬以后,2个试验区由于农作措施不同,土壤温度变化也表现为明显的差异,河北成安地区由于要揭膜灌水,所以开始人为破坏普通膜表面,而

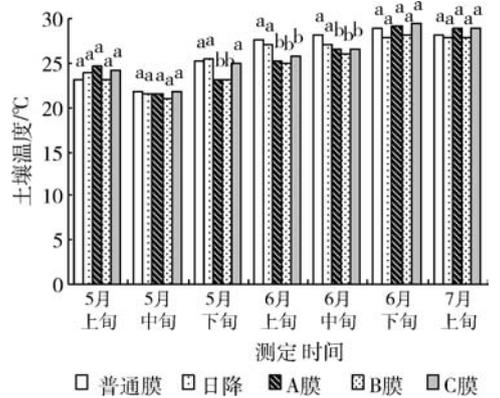


图3 河北棉田不同地膜覆盖温度变化

Fig. 3 Soil temperature under different treatments in Hebei

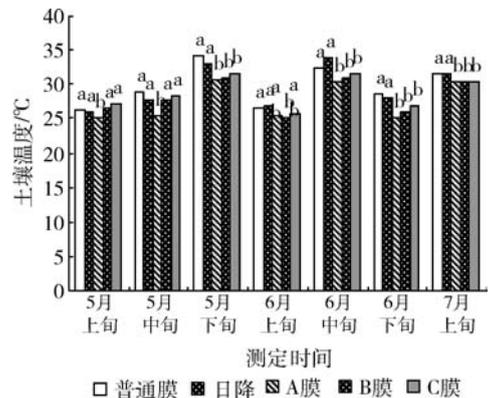


图4 新疆棉田不同地膜覆盖温度变化

Fig. 4 Soil temperature under different treatments in Xinjiang

降解膜此时也已经大面积降解破裂，失去了保温功能，所以几种膜之间温度已基本没有差异。而新疆地区实行膜下滴灌，要保证地膜的全生育期覆盖，所以膜内温度高低决定于膜面的完整性，从5月下旬开始，国内降解膜由于膜面降解破裂，所以温度明显低于普通膜，差异显著，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。不同的区域，由于降雨量不同，其变化的趋势也不一致(图5)。河北试验点结果表明，在生育前期，由于降雨量少，降解速度较快的A和B膜土壤墒情明显要低于普通膜，平均低2%~3%，而膜面比较完整的C膜和日本降解膜与普通膜差异不大。到了生育后期，随着降雨量的增加，膜面的破裂反而更有利于土壤对降雨的蓄积，所以其保墒效果与降解膜之间已基本没有差异，甚至膜面破损严重的A和B膜下土壤含水量还略高于普通膜。新疆试验点结果表明，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%，而日本降解膜则表

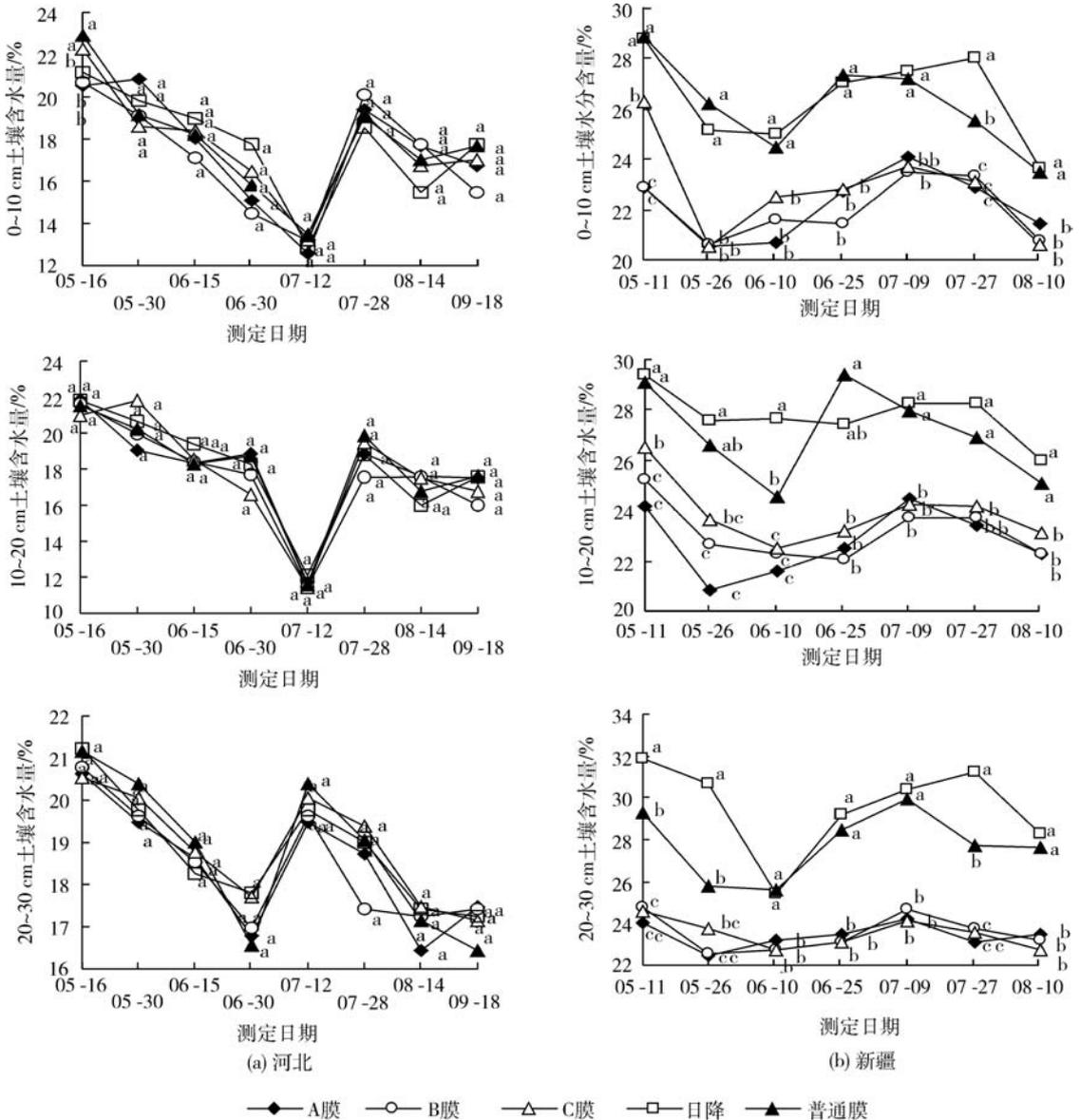


图5 不同试验点棉田不同地膜覆盖土壤水分变化

Fig. 5 Soil moisture under 5 treatments

现出较好的气候适应性,与普通膜在保墒性能方面差异很小。而A、B和C膜3种供试降解膜之间比较,C膜的保水效果比A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%,而到6月份以后,A、B和C膜3种地膜已大部分破裂,在保水效果上没有明显差异。新疆试验点土壤含水量的研究表明,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分析可见,地膜覆盖对土壤表层水分影响较大。河北试验点结果显示,随着土壤层次加深,不同地膜覆盖处理土壤水分含量差异变小。在新疆试验点普通膜和日本降解膜与A、B和C膜3种供试降解膜土壤水分差异性虽然随层次的加深并没有显著变化,但3种供试膜之间的差异性却随层次的加深而变小。

表5 不同生物降解地膜覆盖下棉花产量

Table 5 Cotton yield under different biodegradable plastic film mulching

供试地膜	河北安成县			新疆石河子		
	籽棉产量/(kg/hm ²)	增加/(kg/hm ²)	增幅/%	籽棉产量/(kg/hm ²)	增加/(kg/hm ²)	增幅/%
A膜	3 037.5 a	-160.5	-4.99	3 169.5 c	-961.5	-23.30
B膜	3 049.5 a	-148.5	-4.65	3 297.0 bc	-834.0	-20.20
C膜	3 600.0 a	402.0	12.50	4 176.0 ab	45.0	1.10
日降	3 505.5 a	307.5	9.60	4 246.5 a	115.5	2.80
普通膜	3 198.0 a	—	—	4 131.0 a	—	—

4 讨论

1)生物降解地膜降解过程受到自然因素的影响较大,在不同温度和水分条件下都会发生不同程度的降解^[20]。一般认为,温度越高,水分越大,降解越强烈^[21]。本试验结果也验证了这一点,气候要素决定了降解膜降解性能的差异。由2009年统计的气象数据可见(表2),与新疆试验点相比较,河北试验点年均温高,降雨量多,空气相对湿度大,所有这些因素都有力促进了其生物降解膜的迅速降解。

2)土壤环境特别是土壤中的微生物(细菌、真菌和放线菌等)也是影响生物降解膜降解过程的另一重要因素,但这些微生物活性受土壤温度和水分含量的影响较大。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^[22]。也有研究认为,有效积

3.5 不同类型生物降解地膜对作物产量形成的影响

不同生物降解地膜试验,由于试验区域不同,其产量结果表现也不同(表5)。在新疆试验点,A和B膜由于降解速度过快,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。而在河北试验点,由于气候和生产条件的不同,同样的试验其产量结果则完全不同。在3种供试产品中,A和B膜由于降解速率过快,与普通膜比较,产量略有降低,但差异性并不显著。而C膜的降解速率能够与当地的气候条件和作物生长形成很好的匹配,在一定程度上促进了棉花产量的提高,提高幅度达12.5%。日本降解膜在该地区也表现出较好的适应性,与普通膜相比,棉花产量提高9.6%。

温(大于10℃)与聚羟基丁酸酯-戊酸酯、聚己内酯、聚丁二酸丁二醇酯和聚丁二酸/己二酸丁二醇酯的降解相关^[23]。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^[24]。本项研究的填埋试验结果表明,土壤微生物的活性对降解膜的降解性能影响显著。在填埋试验的开始阶段,由于温度和水分都比较低,土壤微生物活性低,导致降解膜降解速率较慢;但随着气温和水分含量的升高,降解膜降解速率迅速增加,这一点可以从河北试验点日本膜的降解速率变化得到印证。与河北试验点比较,新疆试验点温度和水分含量都比较低,所以其填埋试验中降解膜的降解速率比较缓慢。不同的降解膜降解速率不一,主要原因可能是由于各种降解膜配方的不同导致土壤微生物对其攻击强度不一所致。总的来讲,生物降解膜的降解过程受多种因素

调控,但这些因素在降解过程中的作用并不是简单的相加,而是协同作用的结果^[21],如何量化研究生物因素和非生物因素对降解膜降解过程的影响还需要进一步的研究和探讨。

3)降解膜的配方决定了其与应用区域气候和农业生产条件的适宜程度。不同的配方在同一区域降解过程会表现出显著差异性,并最终导致其对产量结果的不同影响。与日本降解膜相比,虽然国内供试的生物降解地膜也可以实现降解,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,如其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以提高地膜的使用性能,仍将是未来我国降解地膜需要进步加强研究的方向。

参 考 文 献

- [1] 王晓方,申茂向. 塑料农膜:中国农业发展的希望和曙光[M]. 北京:1998
- [2] 王敬国. 农用化学物质的利用与污染控制[M]. 北京:北京出版社,2001:73
- [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
- [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
- [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
- [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
- [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
- [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
- [9] 卢钢,寿森炎,汪骆平. 降解膜在蔬菜作物上的应用试验[J]. 浙江农业学报,1998,10(2):107-108
- [10] 杨蕊,陈福泉,郑克宽,等. 生物降解农膜对烤烟产、质量的影响[J]. 内蒙古农牧学院学报,1998,19(2):57-62
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 贾维贵,潘学锋,康丙龙,等. 玉米地覆盖降解地膜的效果[J]. 安徽农业通报,2000,6(4):32-33
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 赵品仁. 双降解地膜应用试验简报[J]. 耕作与栽培,1998(3):34-35
- [20] 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
- [21] 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
- [22] Pramer D,Bartha R. Preparation and processing of soil samples for biodegradation studies[J]. Environ Lett,1972,2:217-224
- [23] 陈代绩,张树华,陈磊. 非淀粉型可控光生物降解地膜的研究开发[J]. 辽宁化工,1997,26(6):308-315
- [24] Yoshikuni Yakabe, Kazuo Nohara, Takaharu Haru, et al. Factors affecting the biodegradability of biodegradable polyester in soil[J]. Chemosphere,1992,25(12):1879-1888

(棉花专栏研究论文4,责任编辑:袁文业)