

热塑淀粉 Mater-Bi 可生物降解地膜的 适用性与降解性能研究

顾海蓉¹, 沈根祥¹, 黄丽华¹, 石建福², 赵庆节¹, Giovanni Minuto³

(1.上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2.上海上实现代农业开发有限公司, 上海 202183; 3.意大利都灵大学农业环境能力创新中心, 都灵 10095)

摘要:通过霉菌侵蚀法、田间考察法和受控掩埋试验法,对 Mater-Bi 可生物降解地膜在上海郊区的适用性及其生物降解性能进行了研究。结果表明,Mater-Bi 可生物降解地膜由于其高达 90%的淀粉含量,能够被霉菌等微生物作为碳源所利用,仅需数天,霉菌菌落即可在该膜表面旺盛生长。在上海崇明岛的气候条件下,Mater-Bi 可生物降解地膜的诱导期为 60~120 d,在田间生产中具有良好的适用性,能够满足上海郊区作物生产的需要。Mater-Bi 可生物降解地膜能够被崇明岛当地农田土壤中的微生物迅速降解,在土壤中埋藏 90 d 后,失重率为 58.6%。其降解速度在 10~20 cm 耕作层土壤中的最快,90 d 后失重率即高达 84.2%。因此种植季结束后,可生物降解地膜不需要人工或机械捡拾残膜,只需翻耕入土壤即可,最佳翻耕深度为 10~20 cm。

关键词:热塑淀粉;可生物降解地膜;适用性;生物降解性能

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)03-0539-05

Biodegradability and Applicability of Thermoplastic Starch Biodegradable Mulching Film

GU Hai-rong¹, SHEN Gen-xiang¹, HUANG Li-hua¹, SHI Jian-fu², ZHAO Qing-jie¹, Giovanni Minuto³

(1.Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2.SIIC Modern Agriculture Development Co.Ltd, Shanghai 202183, China; 3.AGROINNOVA, Turin University, Turin 10095, Italy)

Abstract: This study on biodegradability and applicability of Mater-Bi biodegradable mulching film in Shanghai suburb was determined by fungal-growth test, field observation method and controlled soil-burial test. The results indicated that the Mater-Bi biodegradable film which contained thermoplastic starch as high as 90% could be degraded and used as unique carbon resource by microorganisms such as fungi. And the field observation and evaluation showed the induction period of Mater-Bi was about 60~120 days in Chongming, Shanghai, which was suitable for local crops. The Mater-Bi degradable film could be degraded by local soil microorganisms. The percentage of weight lost was 58.6% after buried for 90 days. Meanwhile, the 10~20 cm depth layer was the best depth for degradation at 84.2% weight lost percentage. Therefore, biodegradable film could be ploughed in without manual or mechanical picking-up operations at the end of the cultivation cycle. The Mater-Bi biodegradable mulching film deserved to popularized in agro-production as the substitution of plastic films.

Keywords: thermoplastic starch; biodegradable film; local applicability; biodegradability

农用地膜覆盖栽培技术是一项世界公认的行之有效的农业增产措施,目前已在我国广大农村地区得到大力推广和应用,显示出巨大的经济效益,带来了农业生产力的飞跃。然而我国农业生产中所使用的农用地膜的主要成分是线形低密度聚乙烯(LLDPE)或低密

度聚乙烯(LDPE),其平均分子量在 25 000~30 000,分子结构非常稳定,残留在土壤中的塑料薄膜碎片需要约 200~400 a 才能得到完全降解^[1]。因此经过大规模长时间的使用后,大量的残膜碎片会逐渐破坏土壤的功能性,造成农作物减产,并对农田生态环境产生了不可估量的恶劣影响^[2-4]。为了解决农业生产和环境保护间的这一矛盾,目前发达国家已研制出各种具有降解性能的薄膜来替代聚乙烯塑料薄膜^[5-6],其中以热塑淀粉为主要材料的 Mater-Bi 可生物降解薄膜因其良好的降解性能而广受好评^[7-9]。但是,可生物降解性薄

收稿日期:2008-05-15

基金项目:中国-意大利环境保护合作项目

作者简介:顾海蓉(1983—),女,助理工程师,主要从事生态毒理学和农业环境保护研究。E-mail:guhr@saes.sh.cn

通讯作者:沈根祥 E-mail:shengx@saes.sh.cn

膜在我国田间生产中的适用性在学术界获得的关注较少,致使我国农田塑料薄膜污染治理工作进展缓慢,农田白色污染严重。

本文通过霉菌侵蚀法、田间考察法和受控掩埋试验,分析探讨了 Mater-Bi 可生物降解地膜在上海崇明岛农田土壤应用时表现出的降解性能和规律,旨在为我国可生物降解地膜在农田塑料薄膜污染治理中的应用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 供试材料

Mater-Bi 可生物降解地膜,意大利 Novamont SpA 公司生产。黑色,厚度为 15 μm ,密度为 1.2 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,由玉米、土豆等高淀粉含量物质在高温下进行物理转换,使淀粉分子变构而有序化,形成可被土壤微生物降解的淀粉树脂,淀粉含量在 90% 以上。

聚乙烯塑料薄膜,作为试验对照,国内某厂家生产,其颜色、厚度与可生物降解地膜相当。

1.2 试验方法

1.2.1 霉菌侵蚀试验

参考《一次性可降解餐饮具降解性能试验(GB 18006.2—1999)》与《ISO 1845》,在模拟清洁环境下,可生物降解地膜和聚乙烯塑料薄膜作为唯一的碳源,考察被微生物分解的情况。将薄膜剪成 20 mm×40 mm 的试验样片,经灭菌处理后喷施霉菌接种液(黑曲霉、土曲霉、球毛壳、绿色木霉、出芽短梗霉、绳状青霉的孢子液等比例混合而成),然后置于内有基础无碳源琼脂培养基的无菌平皿内,进行 28 d 的恒温培养(30 $^{\circ}\text{C}$)。培养期间保持黑暗潮湿,定期肉眼直接观察各样片表面霉菌生长情况。

1.2.2 试验基地与薄膜性能田间考察方法

可生物降解地膜的田间考察在上海崇明岛上实东滩农业园区(东经 120°57.21',北纬 31°30.43')的示范基地中进行。崇明岛东滩位于北亚热带南缘的沿海地区,具有明显的季风气候特点,年平均气温 15~16 $^{\circ}\text{C}$,平均降水量为 1 166.8 mm。试验田为 1 hm^2 蔬菜田,南北方向开沟作畦,畦面宽 4 m,沟宽 30 cm。农田土壤为粉砂壤土,<0.002 mm 粒径含量为 19.98%,土壤 pH 值为 7.83,容重为 1.38 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,硝氮含量为 51.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,氨氮含量为 25.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质含量为 1.1%。

选取当地夏、秋两季的典型农作物西瓜和玉米作为考察期间种植的目标农作物。将试验田按面积等分为处理区和对照区,分别在生产期间铺设 Mater-Bi

可生物降解地膜和塑料聚乙烯薄膜,薄膜宽度为 0.8 m,地面暴露与地下掩埋部分的面积比为 5:3。在每个田块远离边缘的区域按梅花形分布布设 5 个考察点(面积 1 m^2),自铺设时起每周对薄膜的各项性能指标进行考察评价。

考察以视觉、触觉等感官为工具,评价地表暴露薄膜的降解等级、机械破损度、抗撕扯能力和地下掩埋薄膜的降解等级 4 项指标。以 1~9 的数字分级表征可降解薄膜的性能等级,数字的大小代表不同的破损程度:1 为极度破损,极度易碎,原薄膜覆盖区域基本为裸土;2~4 为不同程度的严重破损,基本丧失弹性,易碎;5 为中度破碎,有一定弹性;6~8 为不同程度的轻微破损,薄膜弹性较好,9 为薄膜完整,无任何破裂现象。

1.2.3 受控掩埋降解试验

种植季结束时,分别从处理区和对照区的地表残存薄膜上,剪取若干块可生物降解地膜和聚乙烯薄膜洗净并晾干,分别称重后分层填埋在土筐中(如图 1 所示),进行受控掩埋降解试验。试验开始时准备 5 组试验土筐,每组由 3 个可生物降解地膜平行和一个聚乙烯薄膜对照构成,每隔 15~20 d 随机选取一组,取出并称量其中各层薄膜的质量,计算薄膜的失重率。试验期间,土筐埋在作物试验田旁,使土壤的温度、湿度条件与周围环境保持一致。

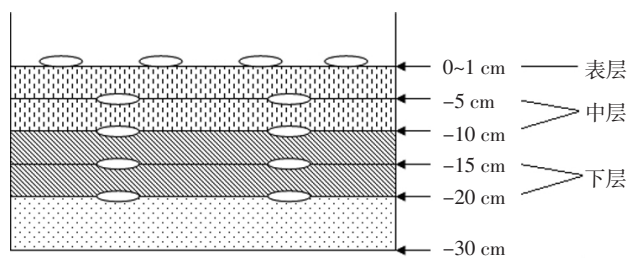


图 1 薄膜受控降解试验的土筐分层装填示意图

Figure 1 Basket profile in film degradation test

2 结果与讨论

2.1 微生物可侵蚀性

可生物降解地膜样片经过 7 d 培养后,肉眼直接观察即可看到菌落斑点;14 d 后,样片被菌斑覆盖的面积超过 80%;28 d 培养结束时,所有试验样片已经被菌落完全覆盖。聚乙烯薄膜样品在 28 d 培养结束时,仍无肉眼可见的菌斑生长。

由此可见,在适宜的条件下,仅需数天,以热塑淀粉为原料的可生物降解地膜即可被霉菌等初级分解

者作为生长所需的碳源加以利用。

2.2 种植季内的适用性与降解性能

2.2.1 夏季

夏季蔬菜田种植西瓜,薄膜铺设于 2007 年 5 月 17 日,自铺设起开始考察,共历时 100 d。整个考察期间,聚乙烯薄膜的地表和地下部分均较完整,弹性良好,仅因作物生长和田间操作造成了部分机械损伤。可生物降解地膜的性能变化情况如图 2 所示,各项性能指标均不断下降,120 d 后,地表基本为裸土,残余薄膜脆弱易碎,地下掩埋部分已经彻底破碎,无法捡拾。

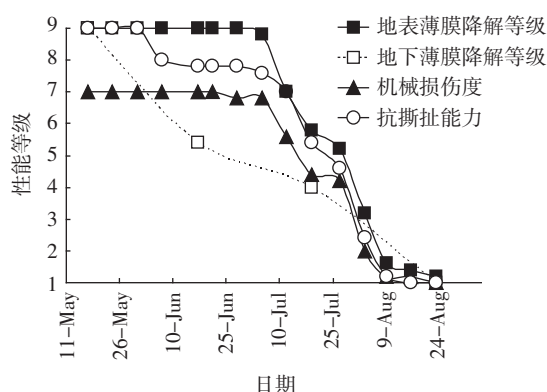


图 2 夏季可降解薄膜的降解等级随时间变化示意图

Figure 2 Relationship between degradation degrees of biodegradable film and time in summer

地下掩埋部分的薄膜在整个使用期内基本是匀速降解。使用 60 d 左右,地下薄膜已基本破碎,与土壤混合在一起,无法捡拾分离。地表薄膜降解度、机械损伤度和抗撕扯能力在使用初期(0~60 d)状态稳定,一直维持在初始铺设时的水平。使用超过 60 d 后,地表薄膜开始出现破洞和裂缝,弹性降低,机械损伤明显增多,抗破损能力持续下降,随时间的推移,各项指标的下降速度明显加快。使用超过 90 d 后,可生物降解地膜基本丧失其使用功能。

可生物降解地膜诱导期的长短取决于降解速度的快慢。夏季天气炎热,7、8 月份土壤的平均温度保持在 30℃以上,是土壤微生物群落生长的最适温度,加之夏季日光照射强烈,薄膜受强光影响,分子解构速度加快,促使可降解薄膜的自然降解速度加快。因此夏季可降解薄膜诱导期仅为 60 d 左右。但由于薄膜的保湿保墒作用在作物生长初期最为重要,因此,60 d 的诱导期已可满足夏季作物生产的需要。

2.2.2 秋季

秋季蔬菜田种植玉米。薄膜铺设于 2007 年 9 月

20 日,玉米的种植季较短,仅 75 d 左右,至玉米收获时,聚乙烯薄膜基本没有发生破损或降解,弹性良好。可生物降解地膜的降解曲线如图 3 所示,除地下掩埋部分的薄膜已出现大面积的破洞,其余各项指标均显示该薄膜仍处于诱导期内,形态较完整,具有一定的弹性和抗撕扯能力。因此秋季可生物降解地膜的诱导期超过 75 d。与夏季相比,诱导期的明显延长与气候条件的变化有关。秋季日照相对较温和,与土壤温度较低有关,紫外线对薄膜的结构作用较弱,土壤中微生物不处于生长旺盛期,对地膜的侵蚀能力下降,Mater-Bi 可生物降解薄膜得以在较长时间里保持完整。

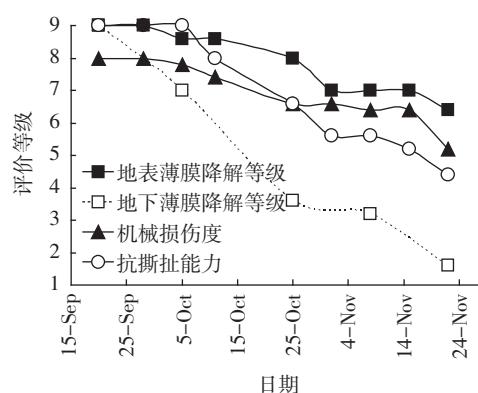


图 3 秋季可生物降解地膜的降解等级随时间变化示意图

Figure 3 Relationship between time and degradation degrees of biodegradable film in autumn

2.3 掩埋试验的生物降解性能

受控掩埋试验开始于 2007 年 8 月 1 日,共 90 d,期间土壤的平均温度为 29.3℃。表 1 可见,可生物降解地膜的质量在 20 d 后均有明显下降,且失重率随时间的推移不断增大。90 d 后,不同深度的耕作层土壤中的降解程度不同,表层最小,0~10 cm 深度层次之,10~20 cm 深度层最大,分别为 35.9%、55.6%和 84.2%,平均降解率为 58.6%。试验结束时,对照组的聚乙烯薄膜仍保持完整,且弹性尚佳,没有丝毫降解。

根据图 4 可以看出,可生物降解地膜在不同深度的耕作层土壤中的降解速率各不相同。试验的初期(0~40 d),表层薄膜的降解速度最快,0~10 cm 深度层次之,10~20 cm 深度层最慢,30~40 d 左右是整个降解曲线的转折点,此后 10~20 cm 深度的薄膜降解速度急速上升,一跃成为降解速度最快的一层,表层薄膜则基本保持匀速降解。

试验结果表明,可生物降解地膜具有良好的生物降解性能,能够被土壤微生物完全降解。为达到最佳

表 1 可生物降解地膜与聚乙烯薄膜在土壤中的失重率(%)

Table 1 Weight loss percent of biodegradable film and polyethylene film in different soil levels(%)

时间/d	土壤温度/℃	可生物降解地膜			聚乙烯薄膜		
		表层(0 cm)	中层(0~10 cm)	下层(10~20 cm)	表层(0 cm)	中层(0~10 cm)	下层(10~20 cm)
20	37.4	12.1±0.7	11.2±3.9	7.4±0.8	0.0	0.0	0.0
34	31.9	22.8±1.0	22.3±1.0	19.4±1.1	0.0	0.0	0.0
51	29.7	30.1±2.2	33.4±1.0	44.5±3.9	0.0	0.0	0.0
70	27.0	32.4±3.2	50.9±0.6	72.6±4.8	0.0	0.0	0.0
90	24.1	35.9±1.8	55.6±3.1	84.2±2.2	0.0	0.0	0.0

注:失重率(%)=埋藏 n d 后薄膜剩余质量÷埋藏前质量×100%

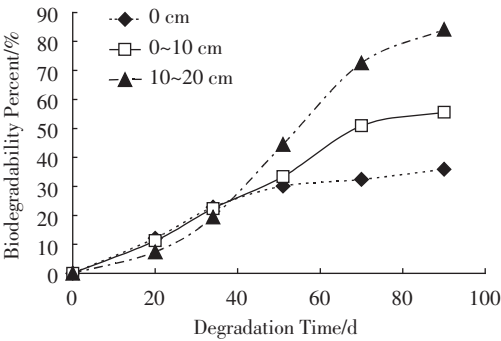


图 4 可生物降解地膜在各层土壤中的降解曲线

Figure 4 Degradation curves of biodegradable film in different soil levels

的降解效果,种植季后的翻耕深度应为 10~20 cm。

3 结论

(1)Mater-Bi 可生物降解地膜在不同环境条件下的诱导期长短不一。夏季 Mater-Bi 可生物降解地膜的诱导期最短,仅为 60 d 左右;秋季诱导期较长,超过 75 d。Mater-Bi 可生物降解地膜能够满足崇明岛及附近地区作物生长的需要。

(2)Mater-Bi 可生物降解地膜能被霉菌等初级分解者降解。在适宜条件下,仅需数天,该薄膜即可作为碳源被微生物生长利用。种植季后,Mater-Bi 可生物降解地膜可以在土壤微生物的作用下,迅速降解。达到最佳降解效果的薄膜翻耕深度为 10~20 cm。

(3)Mater-Bi 可生物降解薄膜作为新型的塑料薄膜替代产品,能够从环境保护和经济实用性方面获得“双赢”,应在我国的农业生产中得到大力推广和应用。

参考文献:

[1] 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 mor-

phology of agricultural plastic film in representative areas of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1):79-83.
[2] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.
YAN Chang-rong, MEI Xu-rong, HE Wen-qing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(11):269-272.
[3] 赵爱琴,李子忠,龚元石,等.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, et al. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10(2):74-78.
[4] 肖 军,赵景波.农田塑料地膜污染及防治[J].四川环境,2005,24(1):102-105.
XIAO Jun, ZHAO Jing-bo. Farmland plastic film pollution and its countermeasures[J]. *Sichuan Environment*, 2005, 24(1):102-105.
[5] 张贞谕,李丽萍.全淀粉热塑性塑料的现状与发展前景[J].黑龙江大学自然科学学报,2003,20(1):111-114.
ZHANG Zhen-yu, LI Li-ping. Research progress in full-starch thermoplastics[J]. *Journal of Natural Science of Heilongjiang University*, 2003, 20(1):111-114.
[6] 王献志,盛祝梅,叶国民,等.农田农地膜残留污染现状及对策[J].安徽农业科学,2003,31(2):330-331.
WANG Xian-zhi, SHENG Zhu-mei, YE Guo-min, et al. Current situation and countermeasure of the pollution from plastic film in field[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2003, 31(2):330-331.
[7] Rosa D S, Carvalho C L, Gaboardi F. Evaluation of enzymatic degradation based on the quantification of glucose in thermoplastic starch and its characterization by mechanical and morphological properties and NMR measurements[J]. *Polymer Testing*, In Press.
[8] Da Róz A L, Carvalho A J F, Gandini A. The effect of plasticizers on thermoplastic starch compositions obtained by melt processing[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2006, 63(3):417-424.
[9] Briassoulis D. Analysis of the mechanical and degradation performances of optimised agricultural biodegradable films[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2007, 92(6):1115-1132.
[10] 王 星,吕家珑,耿会立,等.微生物对生物降解膜降解过程的研究[J].西北农林科技大学学报,2002,30(4):47-50.
WANG Xing, LU Jia-long, GENG Hui-li, et al. Effect of micro-organism on the process of biodegradable film's degradation[J]. *Journal of*

- Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2002, 30(4):47-50.
- [11] 晏欣, 尹业平, 饶秋华, 等. 聚乙烯/淀粉光-生物降解薄膜的降解性能及其对作物的影响[J]. 海军工程大学学报, 2001, 13(4):41-44.
- YAN Xin, YIN Ye-ping, RAO Qiu-hua, et al. The photodegradable and biodegradable properties of polyethylene-starch films and their influence on crops [J]. *Journal of Naval University of Engineering*, 2001, 13(4):41-44.
- [12] Fritz J. Strategies for detecting ecotoxicologic effect of biodegradable polymers in agricultural application[J]. *Macromolecular Symposia*, 2003, 197:397-409.
- [13] Briassoulis D. Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006(91):1256-1272.
- [14] Giacomo Scarascia-Mugnozza, Evelia Schettini, Giuliano Vox, et al. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, 91(11):2801-2808.
- [15] 单正军, 蔡道基, 陈昌平, 等. 可光-生降解聚乙烯薄膜的降解性能试验[J]. 农村生态环境, 1996, 12(1):62-64.
- SHAN Zheng-jun, CAI Dao-ji, CHEN Chang-ping, et al. Study on the degradation of photo-biodegradable polyethylene film[J]. *Rural Eco-environment*, 1996, 12(1):62-64.