

综 述

生物降解地膜应用与地膜残留污染防治

严昌荣¹, 何文清¹, 薛颖昊², 刘恩科¹, 刘勤¹

1 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所 农业部旱作节水农业重点实验室, 北京 100081

2 农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125

严昌荣, 何文清, 薛颖昊, 等. 生物降解地膜应用与地膜残留污染防治. 生物工程学报, 2016, 32(6): 746-760.

Yan CR, He WQ, Xue YH, et al. Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture. Chin J Biotech, 2016, 32(6): 748-760.

摘 要: 地膜是农业生产中重要的生产资料之一, 过去 30 多年, 地膜用量和农作物覆膜面积一直稳定增长, 2014 年地膜用量达到了 144 万 t, 覆膜面积超过 1 800 万 hm², 该技术对保障我国农产品安全供给作出了重大贡献。与此同时, 地膜残留污染问题越来越严重, 一些农田的地膜残留量超过 250 kg/hm², 在我国西北的局部区域, 地膜残留已经对农田土壤、作物生长发育、农事作业等造成严重影响和危害。生物降解地膜成为替代普通 PE 地膜、解决地膜残留污染的一种有效措施和手段, 目前生物降解地膜正处于产品研发和评价试验的关键阶段, 部分生物降解地膜产品在马铃薯、花生、烟草生产上显示出良好的效果, 但总体上还面临巨大挑战, 主要包括需要进一步提高地膜产品质量, 提高地膜产品破裂和降解可控性, 改善地膜的增温保墒能力, 实现满足农作物对地膜覆盖功能的要求; 此外, 需要降低生物降解地膜综合成本, 促进生物降解地膜规模化应用。总体上, 随着技术进步和农业生产环境的变化, 生物降解地膜应用将具有良好的前景。

关键词: 地膜残留污染, 生物降解地膜, 机遇与挑战

Received: January 6, 2016; **Accepted:** March 14, 2016

Supported by: National Natural Science Foundation of China (No. 31370522), The Ministry of Agriculture Public Welfare Industry (agriculture) Special Funds Scientific Research Projects (No. 201503105), Degradable Mulch Films Regional Assessment and Plastic Recycling Technology Research and Policy Measures of MOA.

Corresponding author: Qin Liu. Tel: +86-10-82109773; Fax: +86-10-82106018; E-mail: liuqin02@caas.cn

国家自然科学基金 (No. 31370522), 农业部公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (No. 201503105), 2015 农业部可降解地膜区域评价技术支撑、示范和地膜回收利用技术及政策措施研究项目资助。

Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture

Changrong Yan¹, Wenqing He¹, Yinghao Xue², Enke Liu¹, and Qin Liu¹

1 Key Laboratory of Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Rural Energy & Environment Agency, the Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China

Abstract: Plastic film has become an important agriculture production material in recent years. Over the past three decades, the amount and application area of plastic film have increased steadily, and in 2014, which are 1.4 million tons and more than 180 million hm² respectively. It plays a key role for ensuring the supply of agricultural goods in China. Meanwhile, plastic film residual pollution becomes more and more serious, and in some regions, the amount of plastic film residues has reached over 250 kg/hm². In part of the Northwest region, soil structure of farmland has been destroyed by plastic film residues and then crop growth and farming operations were suppressed. It is recognized as a good choice to replace plastic film with biodegradable plastic film, an effective measure to solve the plastic film residue pollution. Now, it is in a critical stage of study and assessment of biodegradable plastic film in China and fortunately some biodegradable plastic films show effects in the production of potatoes, peanuts and tobacco. Overall, a series of challenges has still been faced by the biodegradable plastic film, mainly including improving the quality of biodegradable plastic products, such as tensile strength, flexibility, improving the controllability of rupture and degradation, enhancing the ability of increasing soil temperature and preserving soil moisture, and to satisfy the demand of crops production with mulching. In addition, it is essential to reduce the cost of the biodegradable film and promote the application of biodegradable film on large-scale. With the development of biodegradable plastic technology and agricultural production environment, the application of the biodegradable film will have a good future.

Keywords: plastic film residual pollution, biodegradable plastic films, chance and challenge

地膜覆盖的增温保墒、抑制杂草等功能,导致该技术应用能实现农作物大幅度增产增收,也使得地膜成为种子、农药、化肥之外的重要农业生产资料。20世纪50年代日本科学家发明了地膜覆盖技术,在发明初期,覆盖的主要对象是经济作物,尤其是园艺作物。20世纪70年代末,中国引入地膜覆盖技术,随着塑料行业科技进步,尤其是地膜材料研发、吹膜工艺的进步和完善,以及覆膜机械的广泛应用,地膜产品和覆膜方式的不断改进,使得地膜覆盖技术迅速得到普及应用。目前,地膜覆盖技术应用使我国蔬菜、玉米、花生、棉花等农作物产量大幅度提高,对保障我国农产品安全供给作出了重大贡献^[1]。中

国也成为世界上地膜用量最多、覆盖面积最大、覆盖作物种类最多的国家,2014年全国地膜用量达到144.1万t,覆盖面积超过1800万hm²。

与此同时,地膜覆盖广泛应用也带来了一系列问题,如技术泛用和滥用,地膜残留导致的“白色污染”等^[2]。因此,地膜覆盖技术合理利用和新型环境友好型生物降解地膜产品研制成为我国现代农业的新需求。

1 地膜覆盖应用及残留污染特点

1.1 地膜覆盖技术对农业的影响

增加地温、保持土壤水分、抑草灭草、抑盐保苗、增加作物冠层中下部光照均匀程度和增加

散射光等是地膜覆盖的主要功能特点,也是能够提高农作物产量和改善农产品品质的关键。这些特点对我国农业产生了极为重要的影响。

1.1.1 地膜覆盖对农业生产的影响

过去 30 多年来,地膜覆盖的规模应用对我国农业产生了巨大影响,使得我国农业生产方式和区域种植结构发生了革命性的变化,主要表现在以下几个方面。

1) 改变作物播期,扩大了作物种植区域。据估算,2012 年以来,全国有 667 万–800 万 hm^2 春玉米采用了地膜覆盖,占全国玉米全部播种面积的 1/4 以上^[3]。在我国的北方寒旱区和西南高海拔地区,如陇东、宁夏中南部山区和西南高海拔地区等,由于积温偏低,玉米无法成熟或者产量低的区域实现了玉米的正常生产,玉米种植北界北移了 2–3 个纬度,播种时间提前 5–10 d,种植面积也大幅度增加^[3-4]。地膜覆盖使新疆棉区成为我国最重要的棉花产区,播种面积占比由 20 世纪 80 年代占全国 9 个棉花主产省的 10% 以下,提高到现在的 30% 以上;区域棉花平均单产水平也由 20 世纪 80 年代全国的最低,发展成目前棉花单产远高于全国平均水平的区域^[5]。

2) 改变区域种植结构,构建新型种植模式。陇东是黄土旱塬的代表性地区,旱作农业是农业生产的基本形式,由于水分和热量不足,基本上是一年一熟或两年三熟。由于全膜双垄覆膜和顶凌覆膜技术的发明与应用,原有的冬小麦-冬油菜轮作模式迅速萎缩,取而代之的是地膜玉米-冬油菜、地膜玉米-冬小麦等模式。

3) 提高农作物产量,保障国家粮食安全。北方旱作区是我国耕地面积最大的区域,但由于水热条件较差,农作物产量一直较低,近年来,通过广泛采用地膜覆盖技术,极大促进了农作物

产量的提高。长期定位试验数据显示,地膜覆盖使北方旱作区玉米增产率超过 150%,大范围内玉米平均增产率为 25%–30%。据估算^[5],地膜覆盖技术使我国玉米每年增产 100 亿–150 亿 kg,贡献了相当于全国玉米总产量的 5%–8%,棉花产量的 30%。

1.1.2 地膜覆盖应用现状和发展趋势

1) 地膜用量持续增加,覆膜面积进一步上升。统计数据显示^[6],我国地膜使用量由 1982 年的 0.6 万 t 增加到 2014 年的 144.1 万 t,未来仍有继续增加的趋势。农作物地膜覆盖面积也一直保持持续增长态势,1982 年农作物覆盖面积仅为 11.7 万 hm^2 ,2014 年已超过了 1 800 万 hm^2 ,主要分布在冷凉和干旱区域。

2) 应用区域不断扩大,地膜使用强度逐年提高。选择 1991 年、2001 年和 2011 年 3 个年份全国所有省(区、市)的相关数据^[6-8],分别计算了全国各省(区、市)的地膜使用强度。结果显示,在这 20 年来地膜使用强度都呈现增加趋势,幅度一般为 3–10 倍,尤其是北方寒旱区提高幅度大,使用强度大。调查数据还显示,西北玉米和棉花产区、东北花生产区、华北花生和棉花产区、西南烟草产区及所有蔬菜集中产区是地膜使用强度较高的区域^[9]。

3) 覆膜作物种类增加,技术模式日臻完善。地膜覆盖应用的作物种类急剧增加,地膜覆盖最初主要用于经济价值比较高的蔬菜、花卉生产上^[10-11],经过 30 多年的理论研究与生产实践,现已扩大到花生、西瓜、甘蔗、烟草、棉花等多种经济作物,以及玉米、小麦、水稻等大宗粮食作物上。

1.2 地膜残留污染特征与危害

1.2.1 地膜残留污染时空分异特点

残留地膜污染调查的结果表明,不同地区由于

使用量、使用方式及覆膜年限的不同,土壤中残膜量也存在显著差异。绿洲农业区、黄土旱源区、东北风沙区、华北地区和西南山区等5大区域长期覆膜农田土壤中地膜残留量为71.9–231.0 kg/hm²。从区域上看,新疆绿洲农业区地膜残留量最高,长期覆膜农田平均地膜残留量达231.0 kg/hm²,最高可达304.0 kg/hm²,尤其是北疆地区。西北黄土旱源区也是一个地膜残留污染较为严重的区域,长期覆膜农田的地膜残留量在100 kg/hm²左右,但总体情况稍好于西北绿洲农业区。东北风沙旱作区虽然大规模使用地膜的时间不长,但农田残膜污染已比较严重,长期覆膜农田平均地膜残留量与西北旱作区基本一致,最高可达129.7 kg/hm²,主要原因是缺乏主动地膜回收措施,导致地膜残留量急剧增加。华北棉花、蔬菜种植区,以及西南烟草种植区虽然也有地膜残留的问题,但总体上污染程度较轻,平均地膜残留量在50 kg/hm²以下。

1.2.2 地膜残留污染的主要危害

1) 破坏土壤结构,降低了耕地地力水平。普通PE地膜是不易分解的高分子聚合物,在农田土壤中长期累积,并对土壤结构产生直接的影响。有研究结果显示^[12],随着残膜量增加,土壤通透性和土壤孔隙度会逐渐下降,如赵素荣等^[13]研究发现,当土壤中地膜残留量由0提高到225 kg/hm²时,土壤孔隙度降低13.8%。有人认为地膜残留能够使得土壤容重增加^[14],但也有研究结果显示地膜残留对土壤容重不产生影响^[15]。但一致认为,地膜残留会影响土壤通透性,破坏土壤结构。

2) 影响土壤中水肥运移,降低了水肥有效性。大量研究表明,残留在土壤的地膜影响土壤中水分和养分的运移,而且影响程度随着残

膜量增加会越来越严重^[14-16]。李仙岳等^[17]模拟结果显示,在滴灌条件下,随着土壤中残膜量增加,滴灌湿润锋的运移距离明显变小,湿润体缩小,且呈现明显不规则性。尤其是当残膜面积大于16 cm²时,残膜极易在土壤集中,造成毛管断裂,使毛管水上升速度减慢^[18]。残留地膜对土壤中水分和养分运移速度和途径的阻隔,降低了土壤水分和养分的可利用性。

3) 影响作物生长发育,降低农作物产量。研究结果表明,地膜残留导致小麦基本苗和冬前分蘖数降低,小麦表现出苗慢、出苗率低、根系扎得浅,有些根系由于无法穿透残膜碎片而呈现弯曲横向发展,同样残留地膜对玉米、茄子、白菜和花生生长发育具有明显的抑制作用,尤其是苗期^[13,19-21]。地膜残留通过影响土壤结构、水分运移和作物生长发育,进而影响到农作物的产量,尤其是对须根系作物^[21-26]。

4) 残留地膜的其他不良影响。地膜残留对农业生产和农业环境也会带来一系列的其他负面作用,如农户将回收的残膜置于地头焚烧,燃烧残膜产生的有害气体污染大气;残膜碎片与农作物秸秆及青草混杂在一起,牛、羊等家畜误食后,可导致肠胃功能失调,膘情下跌,严重时引起厌食和进食困难,造成死亡^[27]。土壤中的残留地膜会影响农田机械耕作,播种时残膜容易缠绕开沟器,导致播种质量下降。

2 生物降解地膜研发与应用

2.1 生物降解地膜的基本情况

生物降解地膜是指在自然环境中可通过微生物作用而引起降解的塑料生产的薄膜。日本生物降解塑料研究技术委员会将其定义为“在自然界中通过微生物的作用可以分解成不会对环境

产生恶劣影响的低分子化合物的高分子及其混合物^[28]。根据主要原料可以分为天然生物为原料的可降解地膜和石油基为原料的可降解地膜。天然生物如淀粉、纤维素、甲壳素等,通过对这些原料改性、再合成形成生物降解地膜的生产原料。尤其是淀粉应用在生物降解地膜生产原料方面开展了大量工作。淀粉作为主要原料的地膜按照降解机理和破坏形式又可分为淀粉添加型不完全生物降解地膜和以淀粉为主要原料的完全生物降解地膜^[29-32]。添加型降解地膜,是在不具有降解特性的通用塑料基础上,添加具有生物降解特性的天然或合成聚合物等混合制成^[33],它不属于完全生物降解的地膜。目前,添加型降解地膜,主要由通用塑料、淀粉、相容剂、自氧化剂、加工助剂等组成,其存留 PE 或聚酯不能完全生物降解;以淀粉为原料生产的完全生物降解地膜主要是通过发酵生产乳酸,乳酸经过再合成形成聚乳酸 (PLA),以聚乳酸为主要原料生产的地膜。另一类重要的天然物质是纤维素为原料生产的地膜,通过对纤维素醚化、酯化以及氧化成酸、醛和酮后制成地膜,可完全降解^[34]。以石油基为原料的可降解地膜生产主要包括二元酸二元醇共聚酯 (PBS、PBAT 等)、聚羟基烷酸酯 (PHA)、聚己内酯 (PCL)^[35]、聚羟基丁酸酯 (PHB)^[36]、CO₂ 共聚物-聚碳酸亚丙酯 (PPC) 等。这些高分子物质在自然界中能够很快分解和被微生物利用,最终降解产物为二氧化碳和水。

2.2 主要生物降解地膜的研发

2.2.1 淀粉基降解地膜

在生物降解地膜研发初期,淀粉基降解地膜一直是研发的重点,从最初用 6%–20% 淀粉和聚

合物烯烃共混制备地膜逐渐发展到由 50% 淀粉和亲水性聚合物共混制备地膜;目前是将淀粉进行改性,生产出能够被生物降解的塑料,然后生产地膜。这种地膜具有工艺简单、成本低等优点^[37-38]。国内研发淀粉基降解地膜单位大部分生产添加型淀粉塑料,其产品中的淀粉含量一般为 10%–30%^[39]。

2.2.2 完全生物降解地膜

20 世纪 80 年代初,英国发现 β 羟基丁酸酯 (PHB) 提取和纯化方法并制成薄膜^[29],但 PHB 的耐冲击强度和耐溶性较差。日本东京工业大学将部分丙酸变换成乙酸,合成 4HB-3HV 无规共聚物^[29],使其性能大幅度改善。我国的聚羟基烷酸酯的研究始于 20 世纪 80 年代,中国科学院上海有机化学研究所最早开展相关工作^[32]。天津大学采用化学法对 PHB 共聚物合成进行探索^[40],也有人开始利用植物的叶子或根来生产 PHBV,由于 PHBV 自身固有一些缺陷(脆性等),成本高和价格昂贵限制了作为地膜的应用^[32]。

目前开发的用于生物降解地膜生产的材料主要由淀粉进行发酵成乳酸,再聚合成完全生物降解的半晶质聚合物,可在水和土壤中完全降解的聚乳酸 (PLA)^[41];由丁二酸和丁二醇两种单体聚合而成的聚丁二酸丁二醇酯 (PBS)^[42-44];二氧化碳和环氧丙烷共聚生成的聚碳酸亚丙酯 (PPC)^[45]以及由 β -己内酯在催化剂作用下开环聚合生成的聚己内酯 (PCL)^[46]等。

2.2.3 纤维素类生物降解地膜

以天然纤维为原料生产生物降解地膜一直是研究的热点,这类地膜虽然在增温保墒等功能方面不如普通 PE 地膜,但具有很好的透水透气性能。国内多家单位开展了草纤维地膜、

纸基地膜的研究和应用,如中国国际科技促进会北京膜科学所研制出 CXW-1 草纤维农用地膜;湖北枝城第一造纸厂、新疆和田地区农科中心开发出纸地膜;中国农业科学院麻类研究所应用麻纤维研制出麻地膜,被大规模应用在水稻育秧和南方蔬菜种植方面^[47-49]。

2.3 生物降解地膜的应用

在世界范围内,欧洲、美国和日本是降解材料技术和生物降解地膜研发和应用最先进的国家和地区。2010 年以来,随着生物降解材料和加工工艺技术进步,生物降解地膜应用越来越广泛。目前,日本和欧洲生物降解地膜在地膜市场的份额不断上升,近年来达到了 10%左右,局部区域的应用比例更高,如日本蔬菜种植中生物降解地膜比例已经超过 20%。而 PE 地膜等传统地膜则逐渐下降^[5](图 1)。这些生物降解地膜主要用于园艺和蔬菜生产方面,如日本现在每年有约 2 000 t 生物降解地膜用于南瓜、茼蒿、大白菜、甜薯、土豆、洋葱、萝卜和烟草等,欧洲也基本如此。

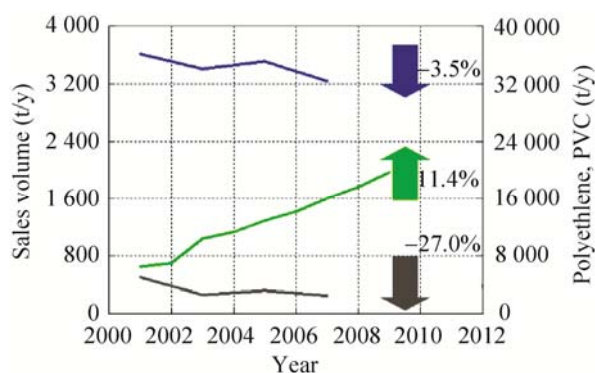


图 1 日本近 10 多年来不同地膜用量的变化(日本昭和小野实辉)^[5]

Fig. 1 The change of plastic film used in Japan in recent 10 years^[5].

2010 年以来,日本昭和电工株式会社、德国 BASF、法国 Limagrain 开始与中国有关科研和农业技术推广部门合作,进行生物降解地膜的试验和示范工作,重点在西北的新疆、甘肃和内蒙古地区,西南的云南以及华北的北京、河北等,应用作物有棉花、玉米、烟草、马铃薯和蔬菜等。在地方政府的大力支持下,法国 Limagrain 在云南开展了大规模的生物降解地膜应用示范,覆盖作物超过 10 个,面积超过了 1 000 多 hm^2 。与此同时,国内有关企业,如金发科技、浙江鑫富药业、新疆兰山屯河等,在生物降解树脂材料生产线完成的基础上,开始进行降解地膜的研发和应用,并不断改进和完善产品配方,使得产品应用性能、经济性能都得到了大幅度提高。

近年来,我国在生物降解地膜的研究和应用取得了长足进步,尤其通过二元酸二元醇共聚酯合成技术和设备的改进^[50],PLA 合成中关键催化剂技术的突破,已经形成具有自主知识产权的生物降解塑料生产的核心技术和工艺^[51]。在此基础上,生物降解地膜生产配方和工艺也得到进一步改进和完善,已形成万吨级的生物降解地膜生产能力,并在局部区域和典型作物上开展了试验示范。2011 年以来,在农业部支持下,中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所与国内外相关企业合作,在新疆石河子市、河北成安县、辽宁阜新、湖北恩施、云南曲靖、山东青岛、内蒙古武川、甘肃镇原、宁夏海原等地建立了生物降解地膜适宜性评价基地,选择国内外主要生物降解地膜生产企业的产品,进行产品上机性能、农艺性能(增温保墒、杂草防除等)、降解性能(降解时间、降解方式和程度等)、经济性(与 PE 地膜比较,获取可降解地膜在投入、农作物产量增产、回收等参数)的综合评价,并根据试验结果

提出产品配方改进和完善的建议。

2015年,国家有关部门设立了专项资金进行全国生物降解地膜试验评价,选择了20多家公司的不同生物降解地膜,在东北、华北、西北和西南四大区域的11个省(区)23个县(市)的7种农作物上开展了试验(表1)。目的是明确不同生物降解地膜的降解特性和区域差异,不同降解地膜增温保墒和防除杂草的功效及对作物产量的影响,促进与区域和作物特点相适应的降解地膜的研发与应用和为国家有关决策部门制定地膜应用及污染防治提供依据。综合

评价结果显示,目前大多数生物降解地膜在烟草、花生等覆膜时间较短作物上具较好的适宜性,而对需要覆膜时间长的作物适应性较差。从区域上看,华北和西南地区生物降解地膜适宜性要高于西北地区,尤其是西北内陆地区,对生物降解地膜要求相对较高。生物降解地膜存在的普遍性问题是机械强度不够,铺膜时容易断裂,机械化操作困难;降解的时间可控性差,破裂时间过早;增温保墒性能弱于普通PE地膜,尤其是作物生育前期最明显,对作物的生长发育和产量形成造成一定的影响。

表1 2015年全国降解地膜评价试验地点和作物种类表

Table 1 The pilot sites and crops of assessment of biodegradable plastics in 2015 China

区域	省(区、市)	试验地点	作物种类
华北地区	北京市	顺义区	春玉米
	河北省	成安县	棉花, 蔬菜
		定州市	蔬菜
东北地区	山西省	五台县, 阳曲县	春玉米
	山东省	海阳市, 莒南县	花生
	辽宁省	彰武县	春玉米, 花生
西南地区	湖北省	郧西县	水稻
		宜昌市	烟草
	重庆市	渝北区	春玉米
		玉溪市	烟草
西北地区	云南省	会泽县	春玉米
		榆中县, 安定区	马铃薯
	甘肃省	华池县, 凉州区, 肃州区, 临夏	春玉米
		内蒙古	四子王旗
西北绿洲区	新疆	喀喇沁旗	春玉米
		博乐市, 尉犁县	棉花

3 生物降解地膜存在的问题和挑战

3.1 产品抗拉强度有待于进一步提高

生物降解地膜的机械强度不够,无法进行规模化作业是生物降解地膜大规模应用的限制因子之一。由于基础材料本身的特性,大多数生物降解地膜抗拉伸强度不够,在一些以机械作业为主的农区,无法进行机械化覆膜作业,这个问题在新疆尤为突出。只有通过完善和改进地膜配方,提高地膜的抗拉伸强度,满足农机作业要求,才能为较大规模应用生物降解地膜创造条件(图2)。

3.2 降解可控性与农作物需求存在差异

地膜覆盖的作用具有多方面,重点是增温保墒和抑制杂草,为了实现地膜的这些功能必须保证覆

盖的时间,否则就无法满足作物对地膜覆盖的功能要求。目前,大多数生物降解地膜破裂和降解可控性还存在问题,大量试验结果显示,现有的生物降解地膜产品破裂和降解过早,覆盖时间远低于作物地膜覆盖安全期,导致其功能无法发挥。如图3A所示,在华北地区,利用某种生物降解地膜进行玉米种植,覆膜日期为2015年4月13日,破裂时间是2015年5月21日,通过覆膜增加玉米生育前期地温、保持土壤水分和抑制杂草的功能都没有发挥,导致玉米生长与普通PE地膜覆盖差异明显。而新疆棉花地膜覆盖试验也出现同样情况,有些生物降解地膜能够保持膜面完整的时间在40d左右(2015年4月23日播种覆膜,5月29日地膜开始破裂),无法满足棉花对覆膜功能的需求(图3B)。



图2 生物降解地膜上机试验(A:强度不够,无法作业;B:能够正常作业)

Fig. 2 The mulching film trial of biodegradable plastics films by mulch applicator. (A) Lack of strength, unable mulching. (B) Normal mulching.

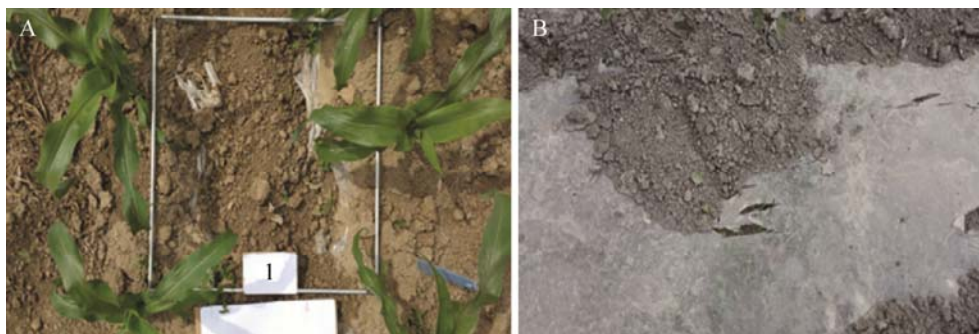


图3 生物降解地膜破裂过早影响农作物生长

Fig. 3 Adverse effect of early fractured biodegradable plastics films on crop growth.

3.3 增温保墒性能需要进一步加强

试验结果显示,大部分生物降解地膜的增温保墒功能与普通PE地膜相比还是存在一定的差异,如图4所示,10 μm 厚度生物降解地膜与8 μm 厚的PE地膜覆盖的土壤温度存在显著不同,在没有作物冠层遮盖条件下,除11点到16点,二者的增温效果相同外,其余时间均是PE地膜覆盖土壤温度高于生物降解地膜覆盖的。利用模拟试验进行的水分保持试验结果也显示,生物降解地膜在保水性方面明显逊于PE地膜。

3.4 降低产品成本,促进大规模应用

生物降解地膜的高成本是目前产品大规模推广应用的另一个限制因素。一般情况下,生物降解地膜销售价格是普通PE地膜3倍左右,这是地膜原材料、厚度、加工成本和利润等多方面因素决定的。一方面,需要通过原材料规模化生产、配方完善降低产品价格,另一方面,应该综合评价地膜使用成本,促进降解地膜的规模化应用。根据日本昭和电工株式会社的调查和计算,日本普通PE地膜应用的总成本包括地膜产品购买成本和回收处理成本,二者各占50%,而生物降解地膜应用则无回收处理成本。在我国,由于劳动力相对便宜,加上大量普通PE地膜没有进行回收和处理,则突显生物降解地膜应用的高成本。随着普通PE地膜回收处理必要性提高,地膜回收处理法律法规的完善,以及农村劳动力成本提高,普通PE地膜与生物降解地膜应用的综合成本差异将会越来越小。因此,随着降解材料技术的进步和农业生产环境变化,生物降解地膜的应用将具有良好的前景。

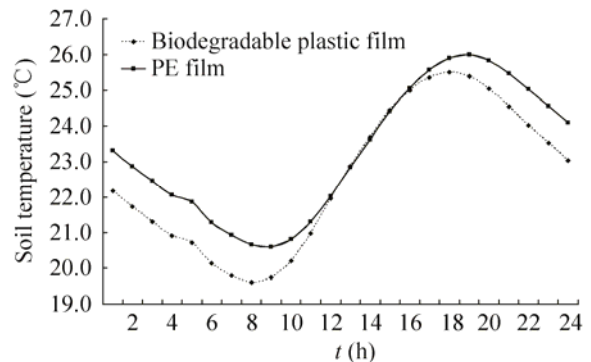


图4 不同种类地膜覆盖旱地0-20 cm土层温度(2015年5月)

Fig. 4 The soil temperature mulched with different plastic films.

4 主要结论与建议

地膜覆盖对粮食安全至关重要,不可或缺,地膜产品市场潜力巨大,但地膜残留污染问题将越来越严重,如不解决将在局部区域造成环境灾难。现阶段不但要进行已经污染农田的治理工作,而且还要对地膜应用强度高的轻度或未污染区域加强监控,做好预防工作。

生物降解地膜是解决地膜残留污染问题的重要途径,在农业生产中具有极好效果,潜力巨大,但技术问题不少,属于起步阶段。目前需要加强生物降解地膜的原材料、配方和生产工艺的研究,提高产品质量和降低产品成本,尤其是要研发出分区域和分作物的生物降解地膜产品,以满足和适应农业生产多样性的要求。

在加强生物降解地膜产品研究的同时,应根据农业生产的需要和地膜产品的特性,做好配套农艺技术和措施的研究。通过改进农艺技术,使其能够适合生物降解地膜产品的性能,从而实现生物降解地膜产品与农艺技术紧密结合,满足农业生产的需求。

REFERENCES

- [1] Yan CR, He WQ, Mei XR, et al. Agricultural Application of Plastic Film and Its Residual Pollution Prevention. Beijing: Science Press, 2010: 76–86 (in Chinese).
严昌荣, 何文清, 梅旭荣, 等. 农用地膜的应用与污染防治. 北京: 科学出版社, 2010: 76–86.
- [2] Liu EK, He WQ, Yan CR. ‘White revolution’ to ‘white pollution’-agricultural plastic film mulch in China. *Environ Res Lett*, 2014, 9(9): 091001.
- [3] Li R, Wang M, Jia ZK, et al. Effects of different mulching patterns on soil temperature, moisture water and yield of spring maize in Weibei Highland. *Trans CSAE*, 2012, 28(2): 106–113 (in Chinese).
李荣, 王敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 106–113.
- [4] Cheng JS. Effects of film mulch on ground temperature and production of corn on dryland in Weiyuan County. *Agric Res Arid Areas*, 2006, 24(1): 39–42 (in Chinese).
程俊珊. 渭源地区旱地玉米覆膜种植增温效应及高产增效研究初报. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 39–42.
- [5] Yan CR, He WQ, Liu S, et al. Application of mulch films and prevention of its residual pollution in China. Beijing: Science Press, 2015: 43–52 (in Chinese).
严昌荣, 何文清, 刘爽, 等. 中国地膜覆盖及残留污染防治. 北京: 科学出版社, 2015: 43–52.
- [6] Ministry of Agriculture of People’s Republic of China. *China Agriculture Yearbook (1972-2013)*. Beijing: China Agriculture Press, 1972-2013 (in Chinese).
中华人民共和国农业部. 1972-2013 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 1972-2013.
- [7] The National Bureau of Statistics Survey Office of Rural Social Economy. *China Rural Atatistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2002 (in Chinese).
国家统计局农村社会经济调查总队. 中国农村统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [8] The National Bureau of Statistics of Rural Social Economic Investigation Department. *China Rural Atatistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2012 (in Chinese).
国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [9] Yan CR, He WQ, Turner NC, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: importance and problems. *World Agric*, 2014, 4(2): 32–36.
- [10] China’s Agricultural Plastic Application Technology Institute. *The Plastic Film Mulching Cultivation Techniques*. Beijing: China Agriculture Press, 1998 (in Chinese).
中国农用塑料应用技术学会. 新编地膜覆盖栽培技术大全. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [11] Yang HD. *The plastic film and Eco-environmental protection*. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 110–113 (in Chinese).
杨惠娣. 塑料农膜与生态环境保护. 北京: 化学工业出版社, 2000: 110–113.
- [12] Xiang ZJ, Li QH, Liu LS. Effect of the residue film on growth and yield of maize in farmland soil. *J Agro-Environ Sci*, 1992, 11(4): 179–180 (in Chinese).
向振今, 李秋洪, 刘林森. 农田土壤中残留地膜污染对玉米生长和产量影响的研究. *农业环境科学学报*, 1992, 11(4): 179–180.
- [13] Zhao SR, Zhang SR, Xu X, et al. Study on the agricultural plastic sheeting residue pollution. *Agro-Environ Develop*, 1998, 15(3): 7–10 (in Chinese).
赵素荣, 张书荣, 徐霞, 等. 农膜残留污染研究. *农业环境与发展*, 1998, 15(3): 7–10.
- [14] Xie HE, Li YS, Yang SQ, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields. *J Agro-Environ Sci*, 2007, 26(S): 153–156 (in Chinese).
解红娥, 李永山, 杨淑巧, 等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究. *农业环境科学学报*, 2007, 26(S): 153–156.
- [15] Nan DJ, Xie HE, Gao LS, et al. Study of the

- influence of the residue film on soil and cotton growth in the cotton fields. *Acta Gossypii Sin*, 1996, 8(1): 50–54 (in Chinese).
- 南殿杰, 解红娥, 高两省, 等. 棉田残留地膜对土壤理化性状及棉花生长发育影响的研究. *棉花学报*, 1996, 8(1): 50–54.
- [16] Li YQ, He WQ, Yan CR, et al. Effect of residual film on soil infiltration under drip irrigation. *Trans CSAE*, 2015, 31(6): 145–149 (in Chinese).
- 李元桥, 何文清, 严昌荣, 等. 点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响. *农业工程学报*, 2015, 31(6): 145–149.
- [17] Li XY, Shi HB, Lü Y, et al. Effects of different residual plastic film quantities in soil on drip infiltration and its uncertainty analysis. *Trans CSAE*, 2013, 29(8): 84–90 (in Chinese).
- 李仙岳, 史海滨, 吕焯, 等. 土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析. *农业工程学报*, 2013, 29(8): 84–90.
- [18] Zhang WQ, Jin WX, Sun ZR, et al. The relationship of between the moisture movement and plastic film pieces in soil plough horizon. *Soils Fertil*, 1994, (3): 12–15 (in Chinese).
- 张文群, 金维续, 孙昭荣, 等. 降解膜残片与土壤耕层水分运动. *土壤肥料*, 1994, (3): 12–15.
- [19] Cheng GS, Liu XY, Liu YJ, et al. The study on allowed values of plastic film pieces in farmland. *Soils Fertil*, 1991, (5): 27–30 (in Chinese).
- 程桂荪, 刘小秧, 刘渊君, 等. 农田地膜残片允许值的研究. *土壤肥料*, 1991, (5): 27–30.
- [20] Cheng GS, Liu XY, Gao S. Effect of photodegradable plastics film accumulation on soil property and crop yield. *Soils Fertil*, 1993, (2): 14–17 (in Chinese).
- 程桂荪, 刘小秧, 高松. 光降解地膜小残片积累量对土壤性质和作物产量的影响. *土壤肥料*, 1993, (2): 14–17.
- [21] Ma H, Mei XR, Yan CR, et al. The residue of mulching plastic film of cotton field in North China. *J Agro-Environ Sci*, 2008, 27(2): 570–573 (in Chinese).
- 马辉, 梅旭荣, 严昌荣, 等. 华北典型农区棉田土壤中地膜残留特点的研究. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2): 570–573.
- [22] Zhang BM, Wang LZ, Pan TX, et al. Effect of residual plastic film on the growth and development of groundnut. *Agro-Environ Protect*, 1991, 13(4): 184, 178 (in Chinese).
- 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜对花生生长发育的影响. *农业环境保护*, 1991, 13(4): 184, 178.
- [23] Zhan BM, Wang LZ, Pan TX, et al. Effect of residual plastic film in soil on growth and development of wheat. *Henan Agric Sci*, 1996, (2): 9–10 (in Chinese).
- 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜污染土壤对小麦生长发育的影响. *河南农业科学*, 1996, (2): 9–10.
- [24] Huang XJ, Chen ZQ, Liu XC. Effect of residual plastic film in soil on growth and development of groundnut. *Chin J Oil*, 1993, (3): 45–48 (in Chinese).
- 黄星炯, 陈仲清, 刘香春. 地膜残留土壤对花生生育影响的研究. *中国油料*, 1993, (3): 45–48.
- [25] Li XF, Li CE. Prevention measure of plastic films residual pollution in Bozhou. *Xinjiang Agric Sci Technol*, 1997, (6): 11 (in Chinese).
- 李霞飞, 李春娥. 博州地膜污染及对策. *新疆农业科技*, 1997, (6): 11.
- [26] Wang XJ, Zhou YL, Cao SL, et al. The prevention of plastic films residual pollution in cotton field in Xinjiang//The proceedings of modern farming machinery new technology application of the international conference on agricultural engineering. Shanghai: International Conference on Agricultural Engineering, 2010: 400–404 (in Chinese).
- 王序俭, 周亚立, 曹肆林, 等. 新疆兵团棉田地膜残留现状、危害及防治对策研究//2010年国际农业工程大会现代农机新技术应用研讨会分会场论文集. 上海: 国际农业工程大会, 2010: 400–404.
- [27] Yan CR, Mei XR, He WQ, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures. *Trans CSAE*, 2006, 22(11): 269–272 (in Chinese).
- 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染

- 的现状与防治. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269–272.
- [28] Zhang WF. Study on the biodegradable plastic of starch and polycaprolactone [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2002 (in Chinese). 张文峰. 淀粉/聚己内酯可生物降解塑料的研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2002.
- [29] Wen YX. The functional plastic film. Beijing: China Machine Press, 2005: 262. 温耀贤. 功能性塑料薄膜. 北京: 机械工业出版社, 2005: 262.
- [30] Maruhashi M, Tokonami H. Biodegradable film for agricultural use: US, 5106890. 1992-04-21.
- [31] Shah AA, Hasan F, Hameed A, et al. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. Biotechnol Adv, 2008, 26(3): 246–265.
- [32] Liu M, Huang ZB, Yang YJ. A study on status and developmental trend of biodegradable plastic film. Chin Agri Sci Bull, 2008, 24(9): 439–444 (in Chinese). 刘敏, 黄占斌, 杨玉姣. 可生物降解地膜的研究进展与发展趋势, 2008, 24(9): 439–444.
- [33] Xu MS, Li QS, Liu D. The development of degradable plastic. Plast Manufact, 2009, (5): 81–85 (in Chinese). 徐明双, 李青山, 刘冬. 可降解塑料的研究进展. 塑料制造, 2009, (5): 81–85.
- [34] Qin CR, Wang SF, Song HN, et al. Preparation of degradable mulch sheet from bagasse. Mod Chem Ind, 2002, 22(11): 24–28 (in Chinese). 覃程荣, 王双飞, 宋海农, 等. 甘蔗渣生产全降解农用地膜的研究. 现代化工, 2002, 22(11): 24–28.
- [35] Tokiwa Y, Calabria BP. Biodegradability and biodegradation of poly (lactide). Appl Microbiol Biotechnol, 2006, 72(2): 244–251.
- [36] Sridewi N, Bhubalan K, Sudesh K. Degradation of commercially important polyhydroxyalkanoates in tropical mangrove ecosystem. Polym Degrad Stab, 2006, 91(12): 2931–2940.
- [37] Bai FC, Ye YC, Zhang HB. Progress in the starch based degradable plastics materials. Mod Plast Proc Appl, 2000, 12(5): 54–56 (in Chinese). 白福臣, 叶永成, 张海波. 淀粉基降解塑料的研究进展. 现代塑料加工应用, 2000, 12(5): 54–56.
- [38] Halley P, Rutgers R, Steve Coombs S, et al. Developing biodegradable mulch films from starch-based polymers. Starch, 2001, 53(8): 362–367.
- [39] Liang YQ, Tang HM, Cai MT, et al. Biodegradation and application of starch-polymer composites mulching film. J Guangxi Univ, 1998, 1: 46–49 (in Chinese). 梁永泉, 唐汉民, 蔡民廷, 等. 淀粉地膜的生物降解与应用性能研究. 广西大学学报, 1998, 1: 46–49.
- [40] Masayuki S. Biodegradation of plastics. Curr Opin Biotechnol, 2001, 12: 242–247.
- [41] Zhang GD, Yang JY, Feng XD, et al. Progress in study of polylactides. Progr Chem, 2000, 12(1): 89–102 (in Chinese). 张国栋, 杨纪元, 冯新德, 等. 聚乳酸的研究进展. 化学进展, 2000, 12(1): 89–102.
- [42] Zhang PN, Huang FR, Wang BF. Biodegradation of modified aliphatic polyester. J East China Univ Sci Technol, 2001, 27(1): 64–67 (in Chinese). 张培娜, 黄发荣, 王彬芳. 改性脂肪族聚酯的生物降解性研究. 华东理工大学学报, 2001, 27(1): 64–67.
- [43] Liao CZ. Research progress of biodegradable plastic PBS. Plastics Sci Technol, 2010, 38(7): 93–98 (in Chinese). 廖才智. 生物降解性塑料 PBS 的研究进展. 塑料科技, 2010, 38(7): 93–98.
- [44] Zhang W, Ji JH, Zhao J, et al. Progress of biomass-based poly (butylenes succinate) (PBS). New Chem Mat, 2010, 38(7): 1–5 (in Chinese). 张维, 季君晖, 赵剑, 等. 生物质基聚丁二酸丁二醇酯 (PBS) 应用研究进展. 化工新型材料, 2010, 38(7): 1–5.
- [45] Wang QY, Weng YX, Xu GZ. Research progress in ploy (propylene carbonate). China Plastics, 2011, 25(1): 8–14 (in Chinese). 王秋艳, 翁云宣, 许国志. 聚甲基乙撑碳酸酯的研究进展. 中国塑料, 2011, 25(1): 8–14.
- [46] Wu J, Xie BJ. Study of starch/PCL thermoplastic full-biodegradable film. China Plastics Ind, 2002,

- 30(6): 22–24 (in Chinese).
吴俊, 谢笔钧. 淀粉/聚己内酯热塑性完全生物降解塑料膜的研制. 塑料工业, 2002, 30(6): 22–24.
- [47] Gao YJ, Xie LS. Development and application of the paper mulch. *China Pulp & Paper*, 2002(3): 28–31 (in Chinese).
高玉杰, 谢来苏. 纸基农用地膜的开发及应用. 中国纸业, 2002(3): 28–31.
- [48] Wang CY, LV JN, Yi YJ, et al. Progress and prospect of the research of environmental friendly bast fiber mulch film. *Plant Fiber Sci China*, 2007, 29(S2): 380–384 (in Chinese).
王朝云, 吕江南, 易永健, 等. 环保型麻地膜的研究进展与展望. 中国麻业科学, 2007, 29(S2): 380–384.
- [49] Xiong CC, Tu XL, Wang HW, et al. Effects of seedling cultivation with mat-fiber mulch on quality and quantity of early-season rice. *Agri Sci Technol*, 2013, 14(11): 1559–1562, 1574.
- [50] Chen GQ. *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications*, Microb Monographs, Vol. 14. Germany: Springer, 2010: 351–352.
- [51] Huang W, Li H, Zhang QX. Recent advances in synthesis of eco-friendly polymers based on polylactic acid. *Chemistry*, 2012, 75(12): 1069–1075 (in Chinese).
黄伟, 李弘, 张全兴. 生态友好材料聚乳酸的合成研究进展. 化学通报, 2012, 75(12): 1069–1075.

(本文责编 郝丽芳)