传统地膜与全生物降解地膜的比较研究

&

2022

中欧循环经济可持续转型系列报告

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

版本说明

中德农村塑料升级管理项目受德国联邦经济合作与发展部（BMZ）委托，在 develoPPP.de 计划框架下，由德国莱芬豪舍集团、珠海万通化工有限公司、莱茵技术（上海）有限公司联合德国国际合作机构（GIZ），于 2020 年 9 月正式开始实施。项目旨在解决因不合理的农膜管理而在中国导致的“白色污染”问题，一方面通过应用数字化追溯系统提高聚乙烯（PE）地膜的回收效率，另一方面意在推广全生物降解地膜的应用。项目将在甘肃、黑龙江、内蒙古、湖北和北京 5 个试点地区开展示范，通过总结项目经验，形成技术规范和政策建议，实现中国农村地区的塑料管理体系升级。

发行方

中德农村塑料升级管理项目
由德国联邦经济合作与发展部（BMZ）委托
受develoPPP.de计划资助

北京市朝阳区亮马河南路14号
塔园外交办公大楼2-5
邮编：100600
c/o
德国国际合作机构（GIZ）

作者

国际农业塑料协会：严昌荣
中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所：刘勤，何文清，李真，戚瑞敏

审校

德国国际合作机构：侯靖岳，张宏艳

© 北京，2022年4月

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部信息，将由其发行方将对相关内容负责，德国国际合作机构不对此类内容承担任何责任。

目录

前言 3

中国地膜覆盖技术的发展历程

一、技术引进阶段（1979-1984） 1

二、技术完善阶段（1985-1992） 2

三、技术应用阶段（1993-2012） 7

四、技术升级阶段（2013-） 11

传统地膜覆盖应用现状与问题

一、地膜覆盖的主要功能特点 16

二、地膜覆盖对农业生产的影响 19

三、农田地膜残留污染特点及影响 7

四、地膜行业面临的主要挑战 11

全生物降解地膜的现状与应用前景

一、全生物降解地膜的概念 20

二、生物降解材料和产能情况 22

三、全生物降解地膜研发评价与应用 30

传统地膜与全生物降解地膜比较

一、二类地膜主要功能差异及影响 42

二、二类地膜产品的环境安全性比较 43

三、二类地膜产品生产成本和价格比较 37

四、二类地膜产品应用的综合成本分析 38

主要结论和建议

一、地膜覆盖是我国农产品安全供给关键技术 42

二、传统地膜的功能与经济性决定了其应用广泛性 43

三、地膜残留已形成了我国特有的环境污染问题 37

四、全生物降解地膜在局部区域和作物具有替代性 38

五、二类地膜产品的环境安全性比较 37

六、 全生物降解地膜应用和评价还需要加强 38

前言

聚乙烯地膜覆盖技术自上世纪 70 年代末从日本引进中国之后，通过吸收、改进和完善后迅速在我国广大地区得到推广应用。成为继种子、化肥、农药后的第四大农资产品，成功解决了我国部分区域农业生产面临的早春低温、水分缺乏和杂草严重等问题，促进了农业生产力的发展和农业生产方式的改变，为保障我国农产品安全供给做出了巨大贡献。初步估计，该技术应用每年为农民增加 1200-1400 亿元人民币的纯收益。

但是，聚乙烯地膜的长期应用也带来地膜残留问题，使得土壤结构破坏、作物生长发育受阻、影响农事操作等。面对新问题也出现一些新的机遇，如使用环境友好型的全生物降解地膜作为新产品进行替代。但传统聚乙烯地膜与全生物降解地膜的功能性、经济性、生态环境效应之间的研究需要进一步加强，明确二者的差异性、互补性与应用前景。因此，本报告旨在系统的阐述传统地膜与全生物降解地膜各自的特点，并从上述的三个维度对两种产品进行全面的比较，发现、权衡各自的优劣势，进而选择适合中国的地膜污染防治措施。

中国地膜覆盖技术的发展历程

地膜覆盖技术是 20 世纪 50 年代日本科学家发明，20 世纪 70 年代被引入中国，通过 40 年的研究应用，使得地膜覆盖技术迅速得到普及。中国地膜覆盖技术的发展主要经历了以下四个阶段。

一、技术引进阶段（1979-1984）

1979 年，时任农业部副部长朱荣访问日本，从日本带回了第一卷传统的聚乙烯（PE）地膜，并根据他对日本地膜覆盖技术应用情况的了解，指示中国农业科学院、相关塑料企业加强与日本农业科研单位、地膜生产企业的合作，开展相关技术、产品的引进与研发生产。在 1979-1984 的 5 年多时间内，通过政府、科研单位和塑料生产企业的共同努力，在日本相关科研单位和专家的大力支持下，我们在地膜产品的研发生产、应用模式和作物方面取得了成功，通过全国多地多作物的试验，与常规露地种植相比，地膜覆盖技术不仅可以使农作物稳产早产 5~20d，作物产量还增产幅度达到 30% 左右，使部分喜温作物的栽培极限范围北移 2~5 个纬度。相对而言，这个时期的标志性成果是地膜产品能够国产化，在蔬菜形成了相对成熟种植模式，并建立了试验示范点，农作物地膜覆盖应用面积从几公顷级进入到千公顷级。

二、技术完善阶段（1985-1992）

由于地膜覆盖技术良好的增产效果，极大的激发了政府和社会各方面力量对这个技术研发应用的热情。1987-1989 年，国家经委直接主持，有中国石化总公司、轻工业部、农业部参加，与日本石油化学工业协会合作进行了“中日合作研究开发特殊农用地膜项目”，在北京、上海、哈尔滨、石河子四个有代表性区域布点，连续进行 3 年田间试验，提出了耐老化易清除地膜生产标准及适宜的地膜基础原料、耐老化剂、地膜加工工艺流程；为我国制定国家地膜标准、进行耐老化易清除地膜生产提供了重要的科学依据。这个时期代表性成果是地膜国标（GB13735-1992）颁布，中国农业科学院王耀林先生的“聚乙烯地膜产品及应用技术”成果获得国家科技进步一等奖。地膜产品从原来的单一无色地膜逐渐向多颜色、功能性地膜拓展，产品薄型化和质量更加稳定。各地还研发出一系列与地膜覆盖相配套的农机具，应用作物从原来的蔬菜逐渐扩大到棉花、花生等经济作物，每年应用面积超过百万公顷。

三、技术应用阶段（1993-2012）

随着地膜产品研发时间延长和力度加大，地膜产品多样化、薄型化，产品稳定性好，性价比大幅度提高，地膜覆盖增产增收机理研究的突破，覆膜机械的稳定性、作业效率提高，产品价格下降，不同区域作物覆盖应用模式的完善，使得地膜覆盖技术在全国得到迅速推广应用。这个时期代表性成果是新疆农垦科学院陈学庚院士的“覆膜播种一体化机具”获得了国家科技进步一等奖，不同区域地膜覆盖应用模式与农机有机结合，覆膜应用作物进一步增加，由原来的蔬菜、经济作物进一步扩大到大田作物，如玉米、小麦、小杂粮等，应用面积达到千万公顷级。

四、技术升级阶段（2013-）

随着地膜覆盖技术应用时间的延长，应用规模的扩大，为保障我国农产品供给、脱贫致富发挥了极大作用，也导致一些农作物种植区域和方式发生了剧烈的变化，如棉花产业由长江流域、黄河流域转移到了西北内陆绿洲农业区，北方及西南高海拔的旱寒区作物种植种类发生变化，产量大幅度提高等等。但地膜应用后带来的副作用也逐渐显现，尤其是西北内陆绿洲农业区、河西走廊、河套灌区，以及黄土高原地区，地膜残留污染已经严重影响到当地农业生产。因此，传统地膜可回收性和全生物降解地膜的研发应用出现了新要求。地膜国标中关于地膜强度和厚度指标进一步提升，厚度从原来 8 微米提高到不低于 10 微米，最低拉伸强度由 1.3N 提高到 1.6N；此外，全生物降解地膜的研发、评价和应用受到了关注和重视，首次颁布了全生物降解地膜国家标准（GB/T35795-2017），开展了系统性的研究和网络化的评价工作；相关部门制定了“农膜回收行动方案”，对地膜应用区域和作物也进行了要求，希望能够降低可用可不用区域和作物的地膜应用；制定颁布了全国《农用薄膜管理办法》，加强了对农膜、尤其是地膜全产业链上的参与者的责任分担机制。

因此，从历史进程的角度回顾，可以发现传统地膜在中国的应用已近 40 年，为解决我国粮食供给不足、农产品周年供给困难等问题做出巨大贡献。但传统地膜残留带来的环境问题也日益严重，解决残膜污染已成为一个迫在眉睫的难题。生物降解地膜作为一种环境友好型的农资产品，近五年来在全国多个区域逐渐开展试验示范，主要目的是在研究其适用性、安全性，探索将全生物降解地膜部分替代传统地膜作为解决污染问题的可能。

传统地膜覆盖
应用现状与问题

一、传统地膜覆盖的主要功能特点

地膜是继种子、化肥和农药之后的第四大重要的农业生产资料，传统地膜的主要材质为聚乙烯（PE）。地膜覆盖技术具有良好的增温保墒、抗旱节水、抑制杂草等作用，能够显著提高作物产量、提升品质，被誉为“白色革命”。地膜覆盖的主要功能如下：

1. 改善冠层光照条件，提高作物产量和品质

根据颜色，地膜可分为无色与有色两大类，无色地膜即透明地膜。不同颜色地膜的光学特性差异十分显著，一般来说，反光膜对作物冠层光照强度和均匀性的影响最为明显，银色反光膜的反射率一般 35%~95% 以上，其次是乳白色地膜、无色地膜和其他颜色地膜，反光率在 20%~30%，黑色地膜反光率最差，只有 1%~2% 左右。同时，地膜自身和地膜下凝结的微细水珠对光的反射也能够在一定程度上增加作物冠层反射光和散射光强度，改善作物中下部分的光照条件，延缓叶片衰老和延长叶片有效光合作用时间。

2. 改变地面与大气热交换，提高土壤温度

地膜覆盖使得土壤与膜外空气的热量交换方式将发生变化，长波辐射热量由于地膜存在而被阻挡，地膜阻隔作用使得土壤水分向空气中汽化蒸发的路径基本被阻断，气化水分在膜下形成露珠使得土壤中热能得以保持，使得土壤温度增高。地膜覆盖增温效果取决于由膜外透过地膜进入到土体热量、膜下土壤吸收的热量、土壤透过地膜向大气散失的热量，以及土壤含水量。一般情况下，地膜覆盖能使农田土壤 5cm 日均温度增加 2~4℃（图 1），但不同区域和作物之间存在较大差异。

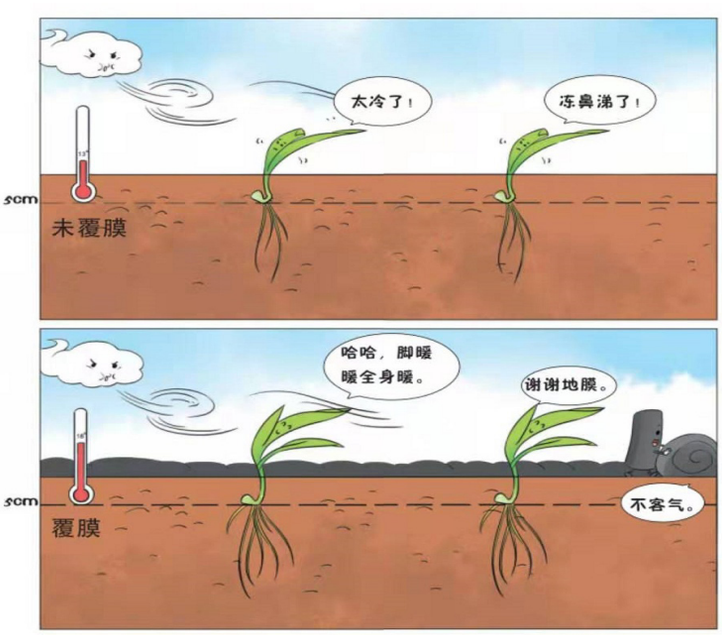


图 1. 农田地膜覆盖增温情况示意图

3. 阻止土壤水分散失，提高水肥利用效率

地膜覆盖还改变了农田土壤水分分布与运动状态，地膜切断了土壤水分向大气蒸发的通道，抑制土壤水分的蒸发。同时，农田微地形及种孔、渗水孔能将有限降水入渗到土壤，有明显地保水作用。一般情况下，地膜覆盖能够使 0~20cm 土壤含水量比裸地高出 2.6~3.5 个百分点。同时，地膜阻隔作用还能防止养分的蒸发或被雨水、灌水冲刷淋溶流失，具有良好的保肥和提高肥效的功能。

4. 抑制土壤盐分上移，有效防控杂草

由于地膜覆盖改变了土壤中水分运动和分布状态，也间接影响土壤中盐分的运移和聚集，即含有盐分的土壤水分受地表增温作用上升到地表，同时，地膜阻隔水分蒸发到大气，水分又不得不再次凝聚成小水滴重新返回土壤，因此，地膜覆盖使得在膜下形成特殊环境和水分小循环，而这种循环在某种意义是对表层土壤中盐分的清洗，可减少土壤耕层盐离子浓度，形成相对的“低盐耕作层”。地膜覆盖对杂草防控能力非常好，尤其是黑色地膜基本可以解决覆膜农田杂草问题（图 2）.

图 2. 黑龙江稻田地膜覆盖抑制杂草情况对比

二、传统地膜覆盖对农业生产的影响

我国地膜覆盖应用已有 40 多年历史，覆盖面积大、应用范围广。据国家统计局数据，2018 年，全国地膜使用量 140.4 万吨，覆盖面积 17.7 百万公顷，约占全国农作物播种面积的 10.7%（2.66/24.89）(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，2019)；其中烟草（80 万公顷）、大蒜（49 万公顷）覆膜比例超 90%，棉花覆膜种植比率超 75%。地膜覆盖能够大幅度提高农作物产量，增产率一般在 30% 左右，根据初步估算，我国地膜覆盖直接经济效益在 1200—1400 亿元 / 年。地膜覆盖技术对农业的影响是全方位、深层次的，其主要影响表现在以下几个方面：

1. 扩大作物种植区域，改变作物播期

已有研究表明，地膜覆盖减少了春玉米的田间作业工序，并使玉米保持较高产量水平，地膜覆盖应用是玉米种植面积和区域扩大的另外一个重要原因。在陇东、宁夏中南部山区和西南高海拔地区，由于积温偏低，正常情况下，玉米没法成熟或产量低，而地膜覆盖有效解决了这些地区积温不够、生育期短等问题，使玉米种植北界北移了 2~3 个纬度，播种提早 5~10 天，种植面积也大幅度增加。20 世纪 80 和 90 年代，西北内陆棉区棉花播种面积占全国棉花播种面积 10% 以下，棉花主产区主要集中在长江流域棉区和黄河流域棉区。由于地膜覆盖，尤其是膜下滴灌技术的应用，使得西北内陆绿洲农业区棉区迅速扩大，实现了棉花种植区域的大范围转移。

2. 提高农作物产量，保障国家农产品安全

比较我国三大棉区—黄河流域棉区（冀鲁豫）、内陆棉区（新疆）和长江流域棉区（湘鄂赣苏徽）的棉花单产可以发现，在 1971~1980 年，三大棉区的棉花单产在 360~525kg/ha 之间，长江流域棉区单产相对较高。1981~1990 年，三大棉区的棉花单产为 750kg/ha，且区域间不存在差异。1986 年后，西北内陆绿洲农业区棉花单产迅速提高，近 2 年皮棉单产超 2000kg/ha，而其他两个主要棉区棉花单产仅为 1050~1275kg/ha，提高幅度明显低于前者。比较研究西北内陆绿洲农业区棉花单产拐点，分别出现在 1986 与 2000 年，这正是地膜覆盖、膜下滴灌技术规模化应用的时间节点。北方旱作区玉米长期定位试验结果显示，在局部地区，地膜覆盖使旱作玉米增产超 100%，大范围内玉米平均增产 25%~30%。在蔬菜、花生和烟草等作物也广泛应用了地膜覆盖技术，发挥了巨大增产作用。

三、农田地膜残留污染特点及影响

地膜覆盖的大规模、长时间应用产生的地膜残留问题已对农业产生直接、间接，看得见、摸得着不利影响和危害，部分地区农田地膜残留污染较为严重，制约了农业绿色发展。主体表现在：危害耕地质量健康，破坏土壤结构，改变土壤理化性状改变，危害植物生长发育；影响农村人居环境，随风飘至村户民宅，造成白色污染；造成土壤微塑料污染，经过风化老化、紫外线照射等，形成塑料碎片及微塑料。

1. 农田地膜残留污染的主要特点

（1）地膜残留分布区域广。

国家统计年鉴数据显示，2000 以后，我国农作物地膜年覆盖面积占全国作物年播种面积稳定在 10% 以上，全国所有涉农县都使用地膜覆盖技术。（图 3）

图 3. 西北地膜残留污染

（2）农田地膜残留地区差异明显。

第二次全国污染普查显示，全国调查农田地膜平均残留量为 51.8kg/ha，其中，西北地区地膜残留最严重，其次为华南地区和东北地区，华东地区最低。尤其是，西北内陆绿洲农业区棉花田平均地膜残留强度近 200kg/ha。

图 4. 回收地膜堆积场地

（3）土壤中残留地膜治理难度大。

由于我国应用地膜厚度较低，使用后如果不能及时采取回收措施，经过紫外老化、风化机械磨损等，废旧地膜的机械性能会变差，捡拾回收困难。同时，农田残膜一般会与秸秆、土粒等物质混杂在一起，分离难，回收利用成本高（图 4）。

2. 地膜残留污染造成的经济损失

农田地膜残留已经导致严重的经济损失，尤其是在西北棉花和华北花生上。以西北内陆绿洲农业区棉花种植为例，经济损失来自三个方面：

（1）影响棉花播种作业，增加劳动力投入。

在西北内陆绿洲农业区棉花播种作业时，播种机后总要跟人处理残膜对播种质量影响。据测定，在残膜污染严重的棉田，需要经常中途停下来对压土滚筒、压膜轮、开沟片和扶片上的残膜进行清理，防止和避免播种孔没有压土。（图 5）

图 5. 棉田地膜回收现场

（2）增加农事作业工序，降低棉花产量水平。

由于地膜残留，每年棉花收获后和第二年播种前需要进行地膜回收，每公顷增加作业成本 450 元，地膜回收作业需增加投入超 10 亿元。

图 6. 花生秸秆去膜作业

（3）降低棉花产品质量，

影响农民经济收入。残膜随着机械采收混入棉花，是造成西北内陆绿洲农业区棉加工品质差、无法适应高端纺织需求的主要原因，残膜混入花生秸秆，农民不得不采取措施进行清除，才能喂养牲畜（图 6）。

四、传统地膜行业面临的主要挑战

1. 产业规模小和企业核心竞争弱

在我国，农膜行业近 90% 为中小微企业，规模小、实力弱、抗风险能力差是行业的一个基本现状。受制于农耕时间，农膜企业生产“忙半年闲半年”十分普遍。一线工人流动性大、缺乏培训，大部分企业没有研发能力和研发人员，缺乏检测手段或检测设备不齐全。

2. 低端产品供过于求

地膜市场混乱，存在短斤少两、使用不合格的原料甚至回收料填充料、以次充好、低价倾销、冲击市场秩序等现象。地膜质量合格率低，但存向好趋势。根据 GB13735-2017 的 5.1 和 5.5 条款对厚度和物理机械性能做出的强制性要，我国地膜产品的质量不达标情况十分突出。同时，地膜产品种类比较单一，同质化问题突出。通过对抽检地膜的归类统计分析发现，三年的抽检的地膜样品中，无色和单层地膜占有主导地位。

3. 市场混乱，利润微薄

过去 3 年来，全国地膜市场销售平均价在 13 元 /kg 左右徘徊，其中 2019 年为 13.0 元 /kg，2020 年和 2021 年分别为 12.6 和 12.7 元 /kg。其中江浙区域地膜价格相对较高，在 14-15 元 /kg，西北地区属于全国地膜价格的洼地，平均价格一直维持 10 元 /kg 左右。与国际相比，我国地膜价格一般只有 1/2-1/3，如果比较单位面积地膜价格（我国厚度为 10 微米，日本厚度为 30 微米）（表 1），我国和日本的地膜价格分别为 0.1 元 /m^2 和 1.0 元 /m2）。价格的“内卷”与质量的问题也进一步加剧了回收面临的挑战。

表 1. 中国与发达国家地膜产品主要特点比较

国家 (地区)	厚度（μm）	颜色	价格（元 /kg）	回收性	主要功能
日本	20-30	有色 (黑 70%)	>30	好	防草保墒
欧美	20-50	有色 (黑 70%)	>20	好	防草保墒
中国	10（7-8）	无色 (70%)	13 左右	差	增温保墒

全生物降解地膜的现状与应用前景

在传统残膜污染的大背景下，全生物降解地膜的替代成为了一条可行的新思路。然而，全生物降解地膜的市场环境复杂、材料本身功能相对有限、产能不足且价格高昂，仍有一系列问题待解决。

一、全生物降解地膜的概念

根据《全生物降解农用地膜覆盖薄膜（GB/T35795-2017）》的有关要求和定义，全生物降解地膜是指在自然界中可通过微生物 100 % 降解的一类地膜。其主要成分是具有完全降解特性的脂肪族聚酯、脂肪族 - 芳香族共聚酯，如 PBAT、PBS；聚乳酸、二氧化碳 - 环氧化合物共聚物以及其他可生物降解聚合物中的一种或者多种树脂为主要成分，允许在配方中加入适当比例的淀粉、纤维素等可生物降解的天然高分子材料以及其他无环境危害的无机填充物、功能性助剂。在自然环境中，这类材料最终将被完全降解成二氧化碳或 / 和甲烷、水及其所含元素的矿化无机盐以及新的生物质，不会破坏土壤。

二、生物降解材料和产能情况

生物降解塑料是全生物降解地膜的材料基础，所谓生物降解塑料是指一类通过自然界普遍存在的微生物如细菌、霉菌（真菌）和藻类的作用而降解成水、二氧化碳 / 甲烷和无机盐的高分子材料。理想的生物降解塑料是一种使用时具有优良的热力学性能、废弃后可被环境微生物完全分解、最终被无机化而成为自然界中碳素循环的一个组成部分的高分子材料。用于全生物降解地膜的主要材料有聚乳酸（PLA）、脂肪芳香共聚酯（PBAT）和二氧化碳共聚物（PPC）等。

脂肪芳香共聚酯（以 PBAT 为代表）是目前市场上用量最大的生物降解塑料，主要是石油化工产品，广泛用于膜 / 袋生产，PBAT 是全生物降解地膜主要原料，占 70% 以上。全球最早 PBAT 合成技术（专利）和生产企业是德国 BASF。我国在 2010 年左右开始有企业生产 PBAT，2020 年总产量在 10 万吨左右，主要企业有广州金发科技股份有限公司、蓝山屯河化工股份有限公司、金晖兆隆高新科技股份公司等。2021 年在建和拟建的 PBAT 生产能力超 400 万吨 / 年。

聚乳酸（PLA）主要由玉米淀粉等生物质资源合成，是生物降解塑料的标志性品种，在全生物降解地膜产品中一般约 10% 左右。目前全球 PLA 产能约为 28 万吨 / 年，表观消费量约为 16 万吨 / 年，其中国外 PLA 产能约为 23 万吨 / 年，主要有美国 Nature Works 公司和荷兰 Total Corbion 公司。目前国内年产量在 1.5 万吨，主要有浙江海正，此外安徽丰原、河南金丹等也有一定的产能，但国内 2020 年以来在建和拟建项目产能超过 50 万吨。

聚碳酸亚丙酯（PPC）是一种二氧化碳与环氧丙烷交替共聚物，由于 PPC 的保温保墒性能最接近聚乙烯，是全生物降解地膜性能改善的重要成分，一般在可以添加 10% 左右。我国在 PPC 的研究和生产方面居于世界前列，相关技术和专利主要掌握在中国科学院长春应用化学研究所、中山大学等机构，目前实际产量在 1 万吨 / 年左右，主要生产企业有吉林博大东方新材料有限公司、河南天冠集团有限公司和江苏中科金龙化工股份有限公司等，2021 年开始新建的 PPC 产能超过 10 万吨。

三、全生物降解地膜研发评价与应用

2010 年以后，中国农业科学院、山东农业大学等与德国 BASF 和日本昭和电工开始在我国进行全生物降解地膜产品的评价，国内的金发科技、蓝山屯河等开始寻求利用企业生产的 PBAT 生产全生物降解地膜。此后 PBAT 生产企业与地膜生产企业都将目光投向了全生物降解地膜产品，尤其是 2015 开始，农业农村部组织相关单位开展降解地膜产品、性能、安全性、应用特点等试验示范工作，极大促进了全生物降解地膜产品研发与应用。

通过近 10 年努力，我国全生物降解地膜有了长足的进步。

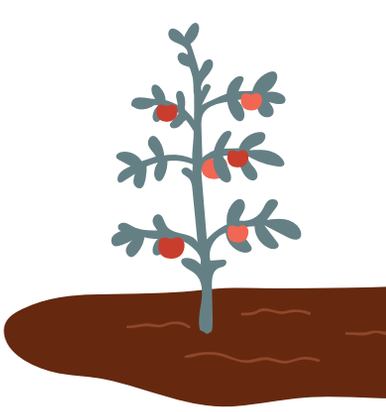
一是产品性能得到大幅度提高。10 微米厚全生物降解地膜初始机械强度能达传统地膜 85% 左右；抗老化能力提高，开始破裂时间可超 70 天；水蒸气透过率从原来 800g/m²/24h 下降到 200g/m²/24h 左右，保墒性能提高，土壤的增温功能增加。

二是建立了全生物降解地膜产品评价方法。研究明确了全生物降解地膜特征参数与农业生产应用的相互关系，建立了基于国家标准（GB/T35795-2017）的，以产品机械强度、水蒸气透过量、破裂时间、经济成本等指标的评价体系（表 2）。基于全生物降解地膜产品特性、作物对地膜覆盖功能需求，构建了由地膜产品安全性、操作性、功能性、降解性和经济性，以及配套农艺技术构成的 “五性一配套” 的全生物降解地膜产品评价和应用技术规范。

表 2. 全生物降解地膜评价指标阈值与国标指标对照表

项目	初始抗拉强度（N）	开始破裂时间（天）	水蒸汽透过量 (g/m²/d)	5cm 土层增温（℃）	产品成本（元 /m²）
GB/T35795	≥1.6	60~90	<800	——	——
阈值	≥1.6	60~90	＜ 500	2.0	0.32

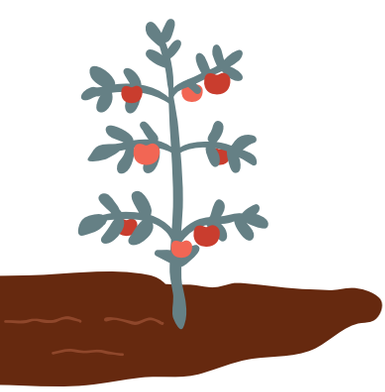
注：地膜厚度为 0.01 mm；抗拉强度和水蒸气透过量为初始值；增温值为春季华北地区，全生物降解地膜保持完整时的温度测定值。



开展合理网络化试验和规模化应用。通过长期开展全生物降解地膜产品和应用评价能力的试验网络，已对 20 多种全生物降解地膜产品在 12 种作物上进行了应用评价，应用面积从 2015 年的几公顷级逐渐扩大到 2020 年的 16700 公顷，涉及到全国绝大多数区域和代表性作物（表 3）。已有研究结果显示，华北马铃薯、西北加工西红柿、烟草、甜菜和水稻等作物上，全生物降解地膜能够完全能够满足生产需要，具有可替代性。

表 3. 近 5 年全国全生物降解地膜应用区域作物和规模

年份	省区	主要作物	规模
2015	云、贵、鄂、渝、京、冀、鲁、辽，甘、新、蒙	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜	百亩级
2016	琼、云、贵、鄂、渝、京、冀、鲁、甘、辽，新、蒙	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜	百亩级
2017	琼、云、贵、鄂、渝、京、冀、鲁、豫、甘、辽，新、蒙	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜	千亩级
2018	琼、云、贵、川、鄂、渝、京、冀、鲁、豫、晋、东北 3 省，甘、新、蒙	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜	6 万亩
2019	除西藏外的全国所有省区	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜、杂粮、水稻	10 万亩
2020	除西藏外的全国所有省区	烟草、玉米、马铃薯、花生、棉花、蔬菜、杂粮、水稻	25 万亩



传统地膜与全生物降解地膜比较

一、主要功能差异及影响

1. 传统地膜物理机械强度高，具有更好的可操作性。

与传统地膜相比，全生物降解地膜的机械强度，包括拉伸强度、断裂标称应变保留率，直角撕裂强度等，要明显较弱，这是由于基础材料本身的特性决定的，在以机械覆膜作业为主的农区，有可能成为一个限制因素。需要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全生物降解地膜创造条件。

2. 全生物降解地膜的增温保墒性能需要进一步加强。

与普通 PE 地膜相比，全生物降解地膜的增温保墒功能还是存在一定的差异。一般情况先，全生物降解地膜的水蒸气透过率是传统地膜的 10 倍左右（图 7），在使用时，土壤水分的丢失速率快，保墒性能差，在没有灌溉条件的情况下，作物水分利用效率降低，同时，水分丢失也导致热量损失，使得增温性变差，同样条件下，5cm 土温相差 1℃ 以上。

3. 降解可控性与农作物需求存在差异。

全生物降解地膜由于强度差，易于破裂，存在传统地膜完全不存在的问题是，覆盖所具有的增温、保墒和杂草防除功能满足作物的需求，尤其是压制杂草能力要弱于传统地膜（表 4）。

表 4. 传统地膜和全生物降解地膜主要功能参数（10 微米）

地膜种类	传统地膜	全生物降解地膜
抗拉强度值 (横 / 纵) （N)	≥1.6	≥1.5
断裂标称应变保留率（横 / 纵）（%）	≥260	≥250/150
直角撕裂负荷（横 / 纵）（N)	≥0.8	≥0.50
水蒸气透过量（（g/(m^2·d））	<50	<800
5cm 土壤增温（℃）	2-4	1-3

2021-2-3　　2021-4-19

图 7. 全生物降解地膜与传统地膜覆盖自由水面水分蒸发

二、环境安全性比较

PE、PPC 和 PLA 微塑料对蚯蚓行为和生长发育的影响的研究结果显示，微塑料浓度比塑料种类影响更大。当微塑料污染超过 40 g kg^{-1}，蚯蚓就会表现出明显的回避行为。总的来说，生物降解材料（PPC 和 PLA）的生物友好性并不显著。不同种类地膜产品微塑料（传统地膜、传统地膜残片、全生物降解地膜、全生物降解地膜残片）生物安全性评价发现，随着微塑料浓度升高，蚯蚓摄食的微塑料数量增加，蚯蚓死亡率显著增加，体重增长率及繁殖率则显著下降。

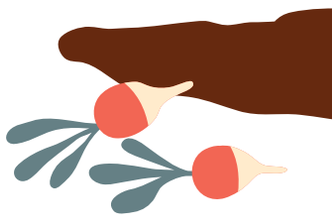
两类地膜产品塑化剂含量检测及风险评价结果显示，具有危害的 6 种邻苯二甲酸酯（PAEs）塑化剂检出率为 100%，全生物降解地膜中 Σ6PAE（32.5 mg·kg^{-1}）显著高于 PE 地膜（13.4 mg·kg^{-1}），地膜塑化剂含量与材料密切相关，与颜色、厚度和力学性能无关。但地膜应用对土壤塑化剂贡献微乎其微，地膜残留对农产品饮食健康未造成风险。

三、产品生产成本和价格比较

地膜产品的成本和价格决定于多个因素，主要包括原材料成本、生产成本。由于两种地膜的原材料完全不同，现阶段全生物降解地膜的主要原料为聚己二酸丁二醇与对苯二甲酸丁二醇酯的聚合物（PBAT），其他的成份可能还有聚乳酸（PLA）和聚碳酸亚丙酯（PPC）等，这些原料价格一般在 2.0 万元 / 吨左右，加上需要进行改性、生产等等，其市场价格一般在 2.50-3.00 万元 / 吨；而传统地膜的主要原料为聚乙烯，价格一般在 0.75 万元 / 吨 -0.95 万元 / 吨，无需改性，生产成本也相对较低，产品价格一般在 1.00 万元 / 吨 -1.30 万元 / 吨。所以，传统地膜与全生物降解地膜的成本和价格差异十分明显（表 5）。

表 5. 全生物降解地膜与传统地膜产品成本与价格（万元 / 吨）

种类	原料	改性	生产	其他	产品价格
全生物降解地膜	1.80-2.50	0.20	0.15	0.05	2.50-3.00
传统地膜	0.75-0.95	0	0.10	0.05	1.00-1.30



四、产品应用的综合成本分析

一个产品应用的综合成本是产品成本、使用成本和用后的处理成本共同构成的。

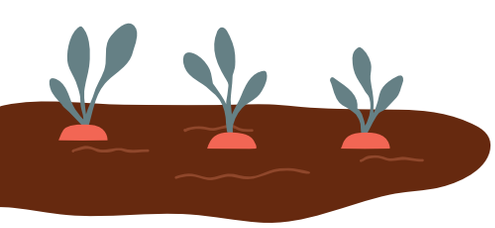
从产品成本出发，传统地膜市场价格在 13 元 /kg 左右，而全生物降解地膜市场价格则在 25-30 元 /kg，传统地膜的全生物降解地膜是传统地膜的 2-3 倍，这是由于二类地膜的原料、加工等方面因素影响的结果，随着生物降解材料技术进步、生产规模化扩大，以及全生物降解地膜产品配方的完善，二类地膜的成本有望缩小到 1.5 倍左右。

二类地膜的使用成本基本一致，没有太大差异，而二类地膜用后的处理方式和成本则差异甚大。根据日本昭和电工株式会社的调查和计算，日本传统地膜应用的综合成本包括地膜产品成本和回收处理成本，二者各占 50%，而全生物降解地膜应用则无回收处理成本。在我国，大规模地膜使用农区，传统地膜回收成本在 450-750 元 / 公顷，处理成本在 150 元 / 公顷。在目前经济技术条件下，全生物降解地膜应用的综合成本是传统地膜的 1.6 倍，随着传统地膜回收处理要求提高，以及农村劳动力成本提高，传统地膜与全生物降解地膜应用的综合成本差异将会越来越小（表 6）。

表 6. 不同类型地膜应用的综合成本构成及差异（元 / 公顷）

种类	产品	应用	回收	处理	综合
传统地膜	1170	300	675	150	2295
全生物降解地膜	3360	300	0	0	3660

注：传统地膜用量 80kg/ha，全生物降解地膜用量 120kg/ha



主要结论和建议

一、地膜覆盖是我国农产品安全供给关键技术

地膜覆盖技术从日本引入中已经过去了 40 多年，在过去的几十年来，围绕我国农业生产条件和具体需求，在地膜产品、覆膜机具、应用作物和模式开展了长期系统的研究，突破了地膜覆盖技术与产品等瓶颈问题。应用规模从百亩级进入到目前的亿亩级（3 亿亩 / 年），在大范围使得农作物水分利用效率和产量提高 30%，技术应用每年产生的直接经济效益超 1200 亿元，对保障我国农产品安全供给发挥了重要作用。

二、传统地膜的功能与经济性决定了其应用广泛性

聚乙烯原材料易获得、成膜性好、易吹制和价格便宜的特点使传统地膜产品具有大规模生产的可能性，同时，传统地膜产品稳定性好，且具有很高的强度使其在应用过程中不会轻易破裂，易于机械化操作，其次是传统地膜的高阻隔性，能够有效地阻止土壤中水分散失，防止土壤热量被水蒸气带走，有效增加土壤问题。这是功能特点有效应对了我国季风气候条件下早春播种存在的问题。成本低廉是该技术应用的另外一个重要因素，在我国，传统地膜的市场价格基本上保持在 13 元左右，在西北大规模用膜地区，甚至可以低到 9 元 /kg。用得起、作用大和效益好是推动地膜覆盖应用的主要动力。

三、地膜残留已形成了我国特有的环境污染问题

全球每年生产和消费 3 亿多吨塑料，能够实现再利用及安全有效处理的比例很低。因而，塑料污染是一个热点和全球性的问题。

地膜作为一种塑料产品，全球年消费量不足 200 万吨，其中 75% 左右为中国所用。在地膜应用的过程中也产生了环境污染问题。所以，塑料污染是全球的，而地膜残留污染是中国的，是我们特有的一个污染问题。在我国，农田地膜污染主要集中在西北干旱、半干旱地区，总体上呈现从西北往东南，地膜残留量逐渐递减的趋势，同时，地膜在农田中是一种斑块状存在，尤其长期使用地膜，又没有很好回收的田块中。

四、全生物降解地膜在局部区域和作物具有替代性

研究明确了全生物降解地膜应用条件和适宜作物；探明了全生物降解地膜降解与环境因子的关系；阐明了典型覆膜农区代表性作物对全生物降解地膜功能需求，建立了“五性一配套”的全生物降解地膜产品和应用的评价技术规范，为全生物降解地膜产品的应用提供了技术保障。在目前技术和经济条件下，全生物降解地膜还不具备完全替代传统地膜可能，这是全生物降解地膜功能性和经济性决定的，除了物理机械性能明显弱于传统地膜外，增温保墒能力不足在一定程度上限制其在冷凉区域，或者是在早春气温低、作物对热量要求高的情况下，全生物降解地膜的功能无法满足作物需要，不具备替代传统地膜的可能性，如西北内陆地区的棉花。

五、二类地膜产品的环境安全性比较

各种塑料，包括常规的聚乙烯和生物降解材料的微塑料对蚯蚓行为和生长发育的影响，得出的结论是微塑料浓度比塑料种类影响更大。生物降解材料（PPC 和 PLA）的生物友好性与传统聚乙烯没有区别。来自全生物降解地膜和传统地膜的对蚯蚓的影响主要因素是浓度，摄食的微塑料数量增加，蚯蚓死亡率显著增加，体重增长率及繁殖率则显著下降；两类地膜产品中都含有塑化剂，其中全生物降解地膜中含量高于传统地膜的，但地膜应用对土壤塑化剂贡献微乎其微，对农产品和人类饮食健康未造成风险。

六、全生物降解地膜应用和评价还需要加强

与传统地膜相比，全生物降解地膜不具备一膜能够适应不同区域、不同作物需求的能力，必须按照特定区域的特定作物对地膜覆盖功能需求，进行全生物降解地膜专用配方的设计和生产应用，实现覆膜的目标。同时，全生物降解地膜应用的配套技术与作物和区域特点密切相关，需要根据全生物降解地膜特性和作物需求，有目的和步骤的进行农艺配套技术改进和应用。此外，由于全生物降解地膜属于新产品，在产品的环境影响，尤其是对农产品质量安全、土壤安全的影响方面需要开展长期定位监测，完善从产品评价到配套农艺技术的相关技术规程。

中欧循环经济
可持续转型系列报告

联系我们

德国国际合作机构（GIZ）
中德农村塑料升级管理项目

地 址

北京市朝阳区亮马河南路14号
塔园外交人员办公大楼2-5
邮编：100600

联系方式

联系人：侯靖岳
电话：+86 （0）10 8527 5589转185
邮箱：jingyue.hou@giz.de
网站：http://transition-china.org/waste

网站

微信