

艾福轲, 雍 宸, 张 洋, 等. 生物降解农用地膜发展现状及其环境影响和经济效益的综述[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 8-15.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.002

# 生物降解农用地膜发展现状及其环境影响和经济效益的综述

艾福轲<sup>1,2,3</sup>, 雍 宸<sup>2</sup>, 张 洋<sup>1</sup>, 范小妮<sup>1</sup>, 张浩睿<sup>1,2,3</sup>, 焦映钢<sup>1</sup>, 李亚猛<sup>1</sup>, 张全国<sup>1</sup>, 黄红英<sup>2,3</sup>,  
李连豪<sup>1</sup>, 张志萍<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学/农业农村部可再生能源新材料与装备重点实验室, 河南郑州 450002;

2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014; 3. 江苏省固体有机废弃物资源化利用协同创新中心, 江苏南京 210014)

**摘要:**生物降解农用地膜通过微生物直接降解而减少塑料废弃物,是替代传统塑料农用地膜的合理材料。如何从环境影响和经济效益双重因素考虑,提高生物降解农用地膜的应用性能和推广力度是亟待解决的问题。本文在介绍生物降解农用地膜分类的基础上,根据国际上近几年生物降解农用地膜的发展现状及趋势,系统介绍了生物降解农用地膜的各个种类,包括活体植物覆盖农用地膜、农业废弃物地膜、糖基及其衍生物农用地膜、多肽类农用地膜、纸基农用地膜、液态农用地膜,总结了不同材料生物降解农用地膜在环境影响、降解性能、经济效益等方面的差异性。生物降解农用地膜的降解性能与其材料的关联性较强,多数生物降解农用地膜的增产效果明显,但相较于塑料地膜没有成本优势。最后阐述了生物降解农用地膜所面临的挑战,并展望其未来的发展趋势,生物降解农用地膜的发展需要从科研、企业、用户、政策等多方面推进,作为传统塑料地膜的替代品,其研发与应用影响深远,对环境保护及经济发展有着不可小觑的作用。

**关键词:**地膜;材料;生物降解;环境;经济效益;挑战

**中图分类号:**S223.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)01-0008-08

## 农用地膜覆盖具有提高地温、防害虫、抑制杂草、减轻土壤污染、减少耕地水土流失等作用<sup>[1-4]</sup>。

应用农用地膜覆盖技术改变了作物生长环境,极大地促进了农业发展,为粮食生产以及食品安全提供了保障。20 世纪中叶,日本科学家首次将聚乙烯塑料薄膜用于农用地膜栽培试验,证实了农用地膜可以有效促进作物生长并提高产量<sup>[5]</sup>。20 世纪 60 年代末,意大利、苏联、美国等开始将地膜用于经济作物和农作物的栽培<sup>[6]</sup>。随着塑料加工技术的进步及其成本的降低,塑料薄膜作为地膜开始广泛应用于世界各国的农业生产。

收稿日期:2022-03-28

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFE0206600);国家自然科学基金青年科学基金(编号:21808093);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(19)2003];江苏省重点研发计划(编号:BE2020335);河南省科技攻关项目(编号:212102110235)。

作者简介:艾福轲(1999—),男,河南安阳人,硕士研究生,主要从事农业工程方面的研究。E-mail:ak954649553@163.com。

通信作者:张志萍,博士,教授,主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:zhangzhiping715@163.com。

TLR6-mediated NF-κB signalling[J]. British Poultry Science, 2021, 62(2):199-210.

[61]王 博,王晓溪,徐慧星,等. 黄芩苷对肺炎支原体感染肺上皮细胞增殖的影响[J]. 中国中医药科技,2021,28(4):557-560.

[62]Grienke U, Richter M, Walther E, et al. Discovery of prenylated flavonoids with dual activity against influenza virus and *Streptococcus pneumoniae*[J]. Scientific Reports, 2016, 6:27156.

[63]Zampini I C, Villena J, Salva S, et al. Potentiality of standardized extract and isolated flavonoids from *Zuccagnia punctata* for the treatment of respiratory infections by *Streptococcus pneumoniae*; *in vitro* and *in vivo* studies[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 140(2):287-292.

[64]张国荣,刘 楠,刘 莉. 肺炎克雷伯菌肺炎对小鼠 NLRP3 炎症通路的影响[J]. 世界临床药物,2019,40(2):95-100.

[65]Sun Z J, Li Q, Hou R R, et al. Kaempferol-3-O-glucorhamnoside inhibits inflammatory responses via MAPK and NF-κB pathways *in vitro* and *in vivo*[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2019, 364:22-28.

[66]王月华,王变变,尹旭升,等. 中国蜂胶水提物抗肿瘤活性功效成分研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):153-156.

[67]Cisneros J A, Robertson M J, Mercado B Q, et al. Systematic study of effects of structural modifications on the aqueous solubility of drug-like molecules[J]. ACS Medicinal Chemistry Letters, 2017, 8(1):124-127.

传统的塑料农用地膜一般为高分子合成材料,广泛使用聚乙烯膜和聚氯乙烯膜,在土壤中极难自行分解,也不受微生物侵蚀,一般降解时间长达几百年<sup>[7-8]</sup>。地膜残留在土壤里,会使土壤透气性降低,增加农作物吸收水分和养分的难度,降低耕地质量,导致农作物减产<sup>[9]</sup>。残膜回收技术难度大、资金投入高,且回收再利用的收益并不理想。利用生物降解农用地膜替代传统农用地膜,是目前解决地膜污染的较佳途径。

## 1 生物降解农用地膜的种类

为提高农业生产效率,解决塑料制品带来的“白色污染”,自 20 世纪 70 年代起,国际上开始研发替代塑料制品的可环境降解的新型材料。随着经济和科技水平的提高,生物降解农用地膜越来越受科研人员的青睐<sup>[10]</sup>。生物降解农用地膜可分为直接利用型和间接利用型(图 1)。

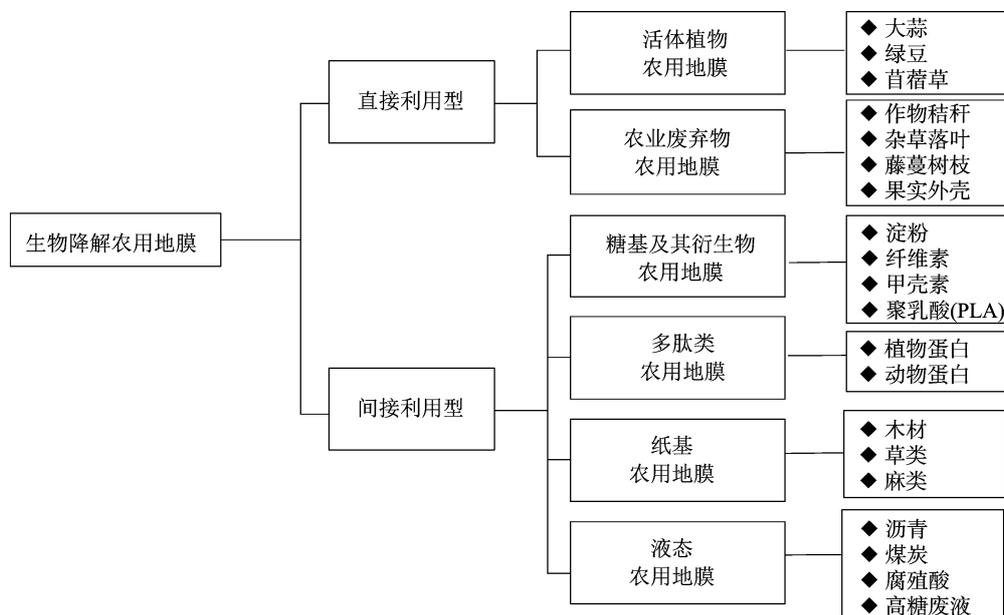


图1 生物降解农用地膜分类及材料选择

### 1.1 直接利用型

直接利用型农用地膜是指将活体植物或农业废弃物等覆盖于农田中,其中活体植物覆盖也被称为间种,即在同一块土地上种植 2 种及 2 种以上植物<sup>[11]</sup>。

**1.1.1 活体植物农用地膜** 活体植物农用地膜指覆盖作物与所需经济作物间种,在不影响经济作物生长的情况下,抑制杂草生长,防止土壤结构退化<sup>[12]</sup>。田丽杰等研究发现,平欧杂交榛子与黄花乌头间种,在活体地膜的作用下,对保存率、苗高、成品根质量、种子产量都有明显促进效果<sup>[13]</sup>。Tu 等在柑橘园铺设全草覆盖地膜,第 1 年开始就能明显减少地表径流和土壤侵蚀<sup>[14]</sup>。但使用此类地膜时,主要作物与活体农用地膜之间常存在着资源竞争。

**1.1.2 农业废弃物地膜** 农业废弃物包括作物秸秆、杂草落叶、果实外壳、藤蔓树枝等,是最早用作地膜的天然可生物降解材料<sup>[15]</sup>。中国土地广阔,农

作物秸秆等废弃物回收不便,而焚烧污染环境,所以大部分用来直接覆盖还田形成“地膜”。中国东北黑土地目前有机质缺乏,秸秆覆盖形成的“地膜”可以适当补充有机质。Zhao 等研究发现,废弃秸秆覆盖型地膜比普通地膜更适用于中国旱地以及其他相似地区小麦的种植<sup>[16]</sup>。Tian 等用研磨机将板栗树枝、板栗壳和总苞粉碎成小块,然后作为地膜覆盖板栗树周围的土壤,结果表明此类地膜增加了土壤水分,抑制了杂草生长和板栗枯萎病,最终提高板栗的品质和产量<sup>[17]</sup>。此类地膜还可以改善土壤理化性质、生物活性等,可以减缓蔬菜的连作障碍<sup>[18]</sup>。但农业废弃物地膜用量过大会导致农作物减产,而且其中的虫卵和微生物等易造成田间病虫害的发生<sup>[19]</sup>。

### 1.2 间接利用型

间接利用型农用地膜是指利用可再生降解的

材料制作而成的降解地膜,包括糖基及其衍生物农用地膜、多肽类农用地膜、纸基农用地膜、液态农用地膜等类型。

1.2.1 糖基及其衍生物农用地膜 糖基农用地膜是指以多糖及其衍生物为主要材料制作而成的可降解地膜。多糖是自然界中含量最丰富的大分子化学物质之一,其中淀粉、纤维素、壳聚糖及其他糖基衍生物在受到微生物作用时容易被降解,适合制作可降解农用地膜。

淀粉是高分子碳水化合物,性质较脆,韧性不足,成膜后耐水性和湿强较差<sup>[20]</sup>,一般将淀粉进行改性后制作可降解农用地膜。意大利的 Mater - Bi 地膜,在热塑性淀粉中加入聚己内酯,克服纯热塑性淀粉的低回弹性、高湿敏性和高收缩性<sup>[21]</sup>。美国农业部将玉米淀粉、改性淀粉和 PE 按一定比例混合制作成农用地膜使用,但由于添加了 PE 成分,这类农用地膜并不能完全降解。淀粉在自然界储量丰富且可再生,价格低廉,改性淀粉基农用地膜有很大的研究价值。

纤维素占植物界碳含量的 50% 以上,具有很强的氢键,塑化难度较高,不易成膜,一般要对纤维素进行改性<sup>[22]</sup>。1996 年,河北省利用小麦秸秆生产出的复合材料地膜可在 80 d 内自行降解<sup>[23]</sup>。麻纤维农用地膜一般在田间铺放 50 ~ 70 d 开始出现破裂,麻纤维地膜不仅可降解,还可以改良土壤<sup>[24]</sup>。徐洁等研究了以羧甲基纤维素(CMC)和黄麻落麻纤维为原料的麻地膜制备工艺,地膜的湿强得到显著提高,其保墒性也得到改善<sup>[25]</sup>。麻地膜在农业生产中取得了良好成效,以水稻秸秆制成的纤维素农用地膜也被证实可行<sup>[26]</sup>。

甲壳质又称甲壳素、几丁质,广泛存在于虾、蟹、昆虫等甲壳动物的外壳中。Fernández - Marín 等研究发现,从龙虾中提取的甲壳素与聚乙烯醇混合制成的复合膜具有较好的热稳定性和力学性能<sup>[27]</sup>。Merino 等利用壳聚糖为改性后的淀粉农用地膜涂层,增强了地膜的亲水性、不透明度以及抗菌活性<sup>[28]</sup>。甲壳质以及壳聚糖具有良好的成膜性能,但价格比淀粉和纤维素贵得多<sup>[29]</sup>。

聚乳酸(PLA)又称聚丙交酯,是一种新型的生物降解材料。Gao 等比较了聚乳酸农用地膜、普通塑料农用地膜以及不覆膜对马铃薯和水稻种植的影响,发现聚乳酸农用地膜在降解后在土壤容重、孔隙度和有机质等方面都具有优势<sup>[30]</sup>。聚乳酸农

用地膜的强度较差,热变形温度低,抗冲击能力较差,降解性能不稳定,一般需要改性来增强聚乳酸农用地膜的性能<sup>[31-32]</sup>。

除了以上几种应用较为广泛的生物降解农用地膜外,聚羟基脂肪酸酯(PHA)、聚-β-羟丁酸(PHB)、聚己内酯(PCL)、聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯(PBAT)、聚乙烯醇(PVA)、聚丁二酸/己二酸-丁二醇酯(PBSA)<sup>[33]</sup>等新型可降解材料都已经被制作成地膜应用于农业领域。

1.2.2 多肽类农用地膜 蛋白质也被称为多肽,具有广泛的功能特性,其分子间的结合势能高,而且容易在环境中降解,因此以蛋白质为材料制作而成的薄膜具有更好的机械性能<sup>[34]</sup>。多肽类农用地膜可以分为植物蛋白农用地膜和动物蛋白农用地膜。

植物蛋白农用地膜由大豆、玉米、小麦等植物中提取出的蛋白质加工制作而成。Rhim 等研究了添加双醛淀粉(DAS)对大豆分离蛋白(SPI)膜部分物理性能的影响,发现 DAS 显著提高了 SPI 薄膜在水中的耐破碎能力,从而改善了 SPI 膜在农用地膜覆盖中的性能<sup>[35]</sup>。Salgado 等以甘油为增塑剂,将葵花籽蛋白制作成生物降解膜,该膜在表面疏水性、厚度、密度、含水量、水蒸气渗透性、力学性能等方面表现良好<sup>[36]</sup>。大型水生植物一般在枯萎后被当作废弃物处理,但水生植物的蛋白质含量极其丰富,具有很好的地膜制备潜力<sup>[34]</sup>。

动物蛋白农用地膜是由来自动物的蛋白材料制作而成,这些蛋白主要有胶原蛋白、明胶蛋白以及肌原纤维蛋白。Sartore 等从制革工业废弃物中提取出蛋白质水解物,制作成生物降解农用地膜,具有与聚乙烯地膜相当的良好农艺性能,在保证作物生长和干物质积累的同时,还满足了农作物栽培期内的地膜覆盖效果,并且具有良好的生物降解性能<sup>[37]</sup>。Nilsuwan 等研究了在鸡皮分离蛋白/鱼皮明胶共混膜中添加没食子酸(GA)的影响,发现没食子酸(GA)改善了共混膜的力学性能和抗氧化活性<sup>[38]</sup>。

1.2.3 纸基农用地膜 纸基农用地膜是以植物纸浆为原料,采用常规造纸工艺制作出原纸,再将纸张制作成透光、透水、保温、增温、保墒的农用地膜<sup>[39-40]</sup>。Zhang 等研究发现,植物秸秆生物降解纸农用地膜覆盖,不仅降低了土壤温度,增加了土壤水分,还降低了土壤电导率,提高了土壤酶活性,改善了植株生长,提高了果实产量<sup>[41]</sup>。此外,纸地膜

覆盖还可以降低果实硝酸盐含量,增加维生素 C 含量,改善果实部分品质。Li 等将氧化锌(ZnO)溶液和二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)溶液分别刷在纸质地膜表面,制备出具有微纳米粗糙结构的 ZnO/SiO<sub>2</sub> 复合超疏水纸质农用地膜,具有良好的自洁性能、回弹性能和延迟结冰性能<sup>[42]</sup>。Silva 研究发现,再生纸地膜覆盖可有效降低小白菜培育过程的用水量,是聚乙烯的合适替代品<sup>[43]</sup>。湖北省枝城市第一造纸厂制造的多功能农用地膜,可在 2~3 个月内自行降解,增加土壤肥力。纸质地膜在遭受风雨侵袭后,会迅速破裂、降解,受农业气候、自然条件的影响较大,提高纸质地膜的耐水性,改变其吸光特性,是纸基农用地膜的主要研究方向<sup>[44]</sup>。

1.2.4 液体农用地膜 液体农用地膜又称液态农用地膜,是一种乳状悬浮液,使用时兑水直接喷洒在农田表面,即刻形成和土壤表层结合在一起的保温膜<sup>[45]</sup>,这层保温膜具有农用地膜的性质,降解后还可以改良土壤。液态农用地膜的发展一般分为 5 代。第 1 代液态农用地膜以石油沥青或渣油为原料,但成本较高,不利于推广<sup>[46]</sup>。第 2、3、4 代液态农用地膜是以煤炭对造纸黑液、海藻废液、淀粉废液等高糖废液进行改性制作而成。第 5 代液态农用地膜是以腐殖酸主要原料,添加活性剂、交联剂、除草剂等混合而成的多功能可降解黑色液态地膜<sup>[47]</sup>。Xu 等以竹材脱木素、醚化纤维素为原料合成羧甲基纤维素(CMC),然后与聚乙烯醇(PVA)共混,用戊二醛交联,只需在土壤上喷洒,就能迅速在土壤表面形成液态地膜<sup>[48]</sup>。研究发现,这种液态农用地膜具有较强的力学性能、良好的透光率、吸湿率、良好的土壤保湿性能和良好的生物降解性。Liang 等采用简易的二次喷涂工艺,将水溶性腐殖酸(HA)与水性聚氨酯(WPU)共混,然后将共混液(HWPU)喷涂在阳离子淀粉(CS)/木素磺酸钠(LS)薄膜表面,合成液体农用地膜<sup>[49]</sup>。试验表明,这种地膜具有良好的耐腐蚀性和生物降解性,并且能够满足沙尘地区和沙化环境的抑尘固沙要求。Gu 等将厨房泔水(KW)与丙烯酸乳液按不同比例聚合,得到了一系列可喷涂的生物基液态农用地膜<sup>[50]</sup>。试验结果表明,KW-丙烯酸酯农用地膜具有优良的喷雾性能、成膜性能和机械性能,可有效降低土壤水分蒸发(13%~50%),提高土壤温度(1.9%~6.7%)。与裸土相比,可将油菜种子发芽率提高 20%,藜菜产量提高 70%,100 d 后生物降解率达

到 70%。

## 2 生物降解农用地膜的环境影响与经济效益评价

### 2.1 环境影响

生物降解农用地膜的发展起源于“白色污染”的蔓延。中国国家发展改革委在 2021 年 9 月出台的《“十四五”塑料污染治理行动方案》中提到:为进一步加强塑料污染全链条治理,在农业农村环境方面,要加快对生物降解农用地膜的科学研究和推广应用。农膜使用过程中造成的环境污染不可忽视,环境影响也是评价农用地膜的一项重要指标。

对于直接利用型农用地膜,不适合使用单一的标准(如降解周期、降解率等)来评价环境影响。当前研究中没有统一的环境影响评价标准,因此从土壤和作物的角度来分析环境影响是一种较为合理的评价方法。合理的间种覆盖对农作物以及土壤都能起到很好的作用,是值得推广的一种农用地膜覆盖方式。Zhu 等研究发现,禾本科植物与其他作物间作,形成的活体农用地膜既能最大限度地提高生产力,又能最大限度地发挥禾本科植物对土壤的有益作用<sup>[51]</sup>。农业废弃物覆盖还田是目前秸秆类废弃物处理的主要方式,能起到地膜保水保墒的作用,对土壤也会有一定程度的改善,相较于普通地膜覆盖,其 CO<sub>2</sub> 排放量更低<sup>[16]</sup>。但农业废弃物中大量营养物质并不能被土壤固定,造成流失浪费,而且会孳生大量对农作物有害的微生物,过量的秸秆覆盖会阻碍作物的生长<sup>[52]</sup>。

间接利用型农用地膜产生的环境影响一般使用降解性能来评价,农用地膜对于土壤以及作物生长状态的影响也是较为合适的分析角度。ISO 17556—2019 和 EN 17033—2018 规定,塑料在土壤中的降解试验期不得超过 2 年。由表 1 可见,糖基材料一般与 PVA、PAA 等共混改性成膜,其降解率为 60%~72.61%,并且对于物质循环和资源有效利用有积极作用,但相较于新型可降解材料 PLA、PBAT 等,其降解效果明显不足。水解蛋白农用地膜降解性能良好,降解后营养物质丰富,但可能导致土壤碱化。液态农用地膜根据其材料不同,降解性能有明显差异,不同原料也造就了不同液态农用地膜对于特定环境的特殊作用,如防尘固沙、高效释磷、吸附霉菌等。纸基地膜的抑水涂层材料对其降解性能影响颇大。PE 涂层的纸基农用地膜力学性能虽然更优,但对于环境的污染不容小觑。纸地

膜在成膜过程中添加的湿强剂、防水剂等化学助剂也有一部分是不可降解的。这些化学助剂的生物降解性和对土壤的影响有待进一步研究。

总的来说,生物降解农用地膜的环境评价应该不仅仅局限于对其降解性能的描述,农用地膜对于土壤、作物、空气等的影响同样需要建立起规范的评价体系。

## 2.2 经济效益评价

传统的塑料农用地膜因其工艺成熟、价格低廉、效益显著等优点被广泛应用于农业领域,但塑料地膜的回收利用不足等问题造成了严重的环境污染<sup>[61]</sup>。环境友好的生物降解农用地膜取代传统塑料农用地膜的一大挑战,便是经济效益问题。近

年来随着科技水平的进步,生物降解农用地膜的经济效益有了些许改善。

农作物地膜覆盖体系的经济效益评价通常从生产收益和投入成本 2 个角度分析。生产收益一般通过直观的产量分析进行评价。农作物生产成本是较为复杂的,一般可将其归纳为材料、机械作业、人工、回收成本以及其他费用,其他费用包括水电费、车费、油费等,其中机械作业与人工费用占比较大<sup>[62]</sup>。针对现有不同类型的生物降解农用地膜应用实例,从投入成本和生产收益对其经济效益进行统计分析。由表 2 可知,直接利用型农用地膜对于农作物的增产效果起积极作用,间作地膜覆盖模式最高可达单作的 4 倍,但相对而言会产生额外的人

表 1 部分间接利用型生物降解农用地膜的降解性能、特点及不足

地膜	降解时间 (d)	降解效果/降解率 (%)	特点	不足	文献
玉米淀粉/PVA	80 ~ 90	62	实现物质循环	保湿效果略差	[53]
马铃薯淀粉/PVA	60	60	升温较为明显	结构性能变弱	[54]
淀粉/PAA	60	72.61	提高土壤吸湿性	土壤酸化	[55]
羧甲基纤维素/PVA	60	64	原料为竹材纤维素	纤维素提取繁琐	[48]
PLA	730	完全降解	减少地膜残留量	玉米增产不明显	[56]
PBAT	120	基本完全降解	降解性能较好	影响作物产量	[57]
PBAT	58	35	利于微生物附着	后期保水性变差	[58]
水解蛋白	60	95	利于干物质积累	土壤碱化	[37]
厨房泔水/丙烯酸	100	70	有效利用泔水	隔热性能不足	[50]
淀粉/腐殖酸/聚氨酯	90	76.35	防尘固沙	降解不完全	[49]
黄原菌菌丝体/柠檬酸发酵残渣	90	40/21	高效释磷/吸附霉菌	保温性能不足/降解性能略差	[59]
棕色牛皮纸/PE	120	部分降解	保温效果良好	PE 涂层难以降解	[60]

表 2 部分生物降解农用地膜经济效益评价方法及结论

地膜	作物	地区	评价方法	结论	文献
枸杞/牧草	枸杞	中国宁夏	产量分析	增产幅度 400%	[51]
板栗壳	板栗	中国河北	产量分析	增产幅度 42%	[17]
秸秆	玉米/小麦	Meta 分析	产量分析	增产幅度 7.3%/3.5%	[63]
PE 或 PBAT	棉花	中国新疆	产量分析	增产幅度 21.3%/6.6%	[57]
PLA	玉米	中国甘肃	成本分析	PLA 比 PE 节省成本 139.5 元/hm <sup>2</sup>	[56]
PBAT/PLA	马铃薯	中国内蒙古	经济效益	与 PE 地膜无显著差异	[64]
PBAT、PPC	玉米/甘薯	中国北京	经济效益	PE > PBAT > PPC	[65]
甲壳素	玉米	中国辽宁	产量分析	增产幅度 13.49%	[66]
水解蛋白	卵叶女贞	意大利	成本分析	与 PE 地膜成本相当	[67]
PPC	花生	中国陕西	产量分析	产量 10 324 kg/hm <sup>2</sup>	[68]
苕麻纤维	棉花	中国湖南	产量分析	增产幅度 6.0%	[69]
禾美特液态地膜	大豆	中国黑龙江	产量分析	增产幅度 12.48%	[70]
山东科技液态地膜	朝天椒	中国黑龙江	产量分析	增产幅度 16.6%	[71]

力物力消耗,且对于农作物种类的要求较高,在大规模的种植条件下,成本也会上升。PLA、PBAT 等糖基衍生物地膜已经开始应用于农业生产,对农作物产量的增幅略低于 PE 地膜,但总体经济效益有追上 PE 地膜的趋势。

多肽类农用地膜使用天然产品作为原材料,其中一些来自可再生的农业资源,另一些来自皮革工业的废弃物,使蛋白基农用地膜与聚乙烯薄膜的成本相当,有助于降低多肽类农用地膜的成本<sup>[60]</sup>。传统造纸工艺生产的纸基农用地膜需要添加多种湿强剂和树脂才能满足农用地膜的使用标准,生产成本远高于普通农用地膜;涂层浸渍法制备的纸质农用地膜最适合当前纸质农用地膜的推广应用,可用于纸膜的不同部位,最大限度地降低生产成本<sup>[37]</sup>。第 5 代液体农用地膜以腐殖酸为主要原材料,其他辅料多为农业或工业废弃物;从成本来看,液体农用地膜更具有发展潜力。有研究表明,液态农用地膜的使用会提高农作物的产量,提高经济效益,使得大豆增产 28.4%,小麦增产 9.96%,马铃薯增产 33.2%~46.5%,棉花增产 16.0%~21.7%,玉米增产 6.2%~17.4%<sup>[47]</sup>。

Dentzman 等的调查表明,大部分农民对于生物降解农用地膜的经济效益以及环保性能抱有较高的期望<sup>[72]</sup>。有研究将 4 种全生物降解农用地膜与传统 PE 农用地膜进行比较得出,政府只要补贴生物降解农用地膜市场价的 50.1%,就能使生物降解农用地膜从经济上成为 PE 农用地膜的替代品<sup>[73]</sup>。

### 3 生物降解农用地膜面临的挑战

从 20 世纪 70 年代起,生物降解农用地膜的发展经历了一个突飞猛进的时代,但其推广与应用依然面临着许多挑战。

相对于传统塑料农用地膜,生物降解农用地膜的拉伸强度、干湿强度、防水能力等均有待提高。生物降解农用地膜的降解性能受自然环境和农业气候的影响较大,降解速度难以控制,降解的可控难度大。

间作覆盖地膜的区域性限制较大,病虫害的治理技术不够成熟,不同作物之间的搭配方式有待研究。农作物直接覆盖型地膜造成的有机资源流失一直是此类地膜的一大弊端,田间病虫害也较为严重。间接利用型农用地膜制作过程中都需要添加一些不易降解的辅助剂,如改性剂、乳化剂、湿强剂

等,这些物质对于环境的影响不可忽略。

经济效益是农业生产最直观的评价指标。生物降解农用地膜相对于传统塑料农用地膜存在价格昂贵、农民难以接受的弊端,而环保性能较好的农用地膜往往成本更高。环保可降解理念的推广也存在问题,目前大多数农民不了解、商家不重视,导致生物降解农用地膜的市场难以扩大。

### 4 总结与展望

生物降解农用地膜的推广应用在解决“白色污染”问题上占有一席之地,其发展还需要投入更多的精力。大力发展可降解材料的研究,降低成本,才能使可降解地膜更容易被接受。研发更加环保有效的治理方法,在不影响农作物生产以及土壤安全的前提下,加大病虫害治理力度。深入研究不同土壤微生物对于不同可降解材料的降解机理,结合不同地区的实际情况,因地制宜推广可降解地膜。建立可量化的生物降解评价体系,实现大规模条件下可控生物体的降解<sup>[74]</sup>。地膜制作中的辅助添加剂尽量采用对环境友好的可降解材料,以防添加剂对环境产生不良影响。政府要起引导作用,从科研、企业、农民等方面制定积极的相关政策,并加大推行力度。在石油资源日渐枯竭、环境污染愈发严重的情况下,生物降解农用地膜作为传统塑料地膜的替代品,其研发与应用将影响深远。生物降解农用地膜的发展虽然面临着许多挑战,但在环境保护以及经济发展方面有着不可小觑的作用。

#### 参考文献:

- [1] 李鹤,李曙光,刘新潮,等. 有机肥及地膜对土壤温度及春小麦水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):85-87.
- [2] Prosdociimi M, Tarolli P, Cerdà A. Mulching practices for reducing soil water erosion: a review[J]. Earth - Science Reviews, 2016, 161: 191-203.
- [3] Lamont W J. Plastics: modifying the microclimate for the production of vegetable crops[J]. HortTechnology, 2005, 15(3):477-481.
- [4] 谢建华,张凤贤,杨业龙,等. 残地膜力学性能试验与分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):178-181.
- [5] 董合忠,徐志民. 棉田地膜污染现状与治理[J]. 中国棉花, 1992,19(6):22-23.
- [6] 褚卫红,石亚辉. 农用地膜在农业生产中的作用、影响及对策[J]. 内蒙古农业科技,2007,35(S1):142-143.
- [7] 苑鹤,刘玥,董红艳,等. 我国地膜使用现状及回收再利用研究[J]. 现代农村科技,2018(6):98-99.
- [8] 张希丽,陈兰鹏. 使用普通地膜与可降解地膜存在的问题及对策

- [J]. 现代农业科技,2021(8):150-151.
- [9]李晓兰,相吉山,张艾明,等. 地膜覆盖对玉米田土壤理化性质和线虫群落组成的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):257-260.
- [10]严昌荣,戚瑞敏,薛颖昊,等. 甘肃省中东部农户地膜应用及回收现状[J]. 农业工程学报,2019,35(15):211-216.
- [11]Canali S, Campanelli G, Ciaccia C, et al. Living mulch strategy for organic cauliflower (*Brassica oleracea* L.) production in central and southern Italy[J]. Italian Journal of Agronomy,2015,10(2):90-96.
- [12]方旭飞,王丽学,张钟莉莉,等. 间作条件下不同覆盖方式对玉米品质的影响及综合效益评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(10):79-82.
- [13]田丽杰,王丹,纪万辉,等. 平欧杂种榛与黄花乌头间种模式[J]. 林业科技通讯,2021(4):91-93.
- [14]Tu A G, Xie S H, Zheng H J, et al. Long-term effects of living grass mulching on soil and water conservation and fruit yield of *Citrus* orchard in South China[J]. Agricultural Water Management, 2021,252:106897.
- [15]王丽丽,余海龙,黄菊莹,等. 不同覆盖措施的土壤生态环境效应和作物增产效应述评[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):11-15.
- [16]Zhao H B, Mao A R, Yang H M, et al. Increased dryland wheat economic returns, and decreased greenhouse gas emissions by year-round straw mulching in dryland areas of China[J]. Journal of Cleaner Production,2021,325:129337.
- [17]Tian G R, Li Y. Lignocellulose mulch increases the economic benefit of Chinese chestnut by suppressing weed and ameliorating soil properties[J]. Scientia Horticulturae,2022,291:110576.
- [18]司舒成,胡一帆,朱强龙,等. 基于 CiteSpace 的秸秆还田在蔬菜连作障碍中应用研究分析[J]. 现代园艺,2021,44(15):49-51.
- [19]陈婉华,袁伟,王子阳,等. 作物秸秆还田研究进展[J]. 中国农学通报,2021,37(21):54-58.
- [20]Kaur B, Ariffin F, Bhat R, et al. Progress in starch modification in the last decade[J]. Food Hydrocolloids,2012,26(2):398-404.
- [21]Averous L, Moro L, Dole P, et al. Properties of thermoplastic blends: starch - polycaprolactone [J]. Polymer, 2000, 41(11):4157-4167.
- [22]陈海涛,竹筱歆,刘爽. 水稻秸秆纤维基绿色地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2018,34(7):271-279.
- [23]郁建强. 略论麦草资源的综合利用[J]. 资源节约和综合利用, 1999(4):32-36.
- [24]付登强. 麻地膜覆盖的保水保温特性及对作物的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2008:2-27.
- [25]徐洁,杨建平,郁崇文,等. CMC/黄麻地膜制备工艺优化[J]. 上海纺织科技,2020,48(1):25-29,43.
- [26]明向兰,陈海涛,魏志鹏. 低定量环保型水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2019,35(19):259-266.
- [27]Fernández - Marín R, Labidi J, Andrés M Á, et al. Using  $\alpha$  - chitin nanocrystals to improve the final properties of poly (vinyl alcohol) films with *Origanum vulgare* essential oil[J]. Polymer Degradation and Stability,2020,179:109227.
- [28]Merino D, Mansilla A Y, Gutiérrez T J, et al. Chitosan coated - phosphorylated starch films: water interaction, transparency and antibacterial properties [J]. Reactive and Functional Polymers, 2018,131:445-453.
- [29]Virtanen S, Chowreddy R R, Irmak S, et al. Food industry co - streams: potential raw materials for biodegradable mulch film applications[J]. Journal of Polymers and the Environment,2017,25(4):1110-1130.
- [30]Gao X H, Xie D, Yang C. Effects of a PLA/PBAT biodegradable film mulch as a replacement of polyethylene film and their residues on crop and soil environment[J]. Agricultural Water Management, 2021,255:107053.
- [31]陈红丽,贝建中,王身国. 生物降解高分子:聚己内酯/聚氧乙烯/聚丙烯三元共聚物水解行为的研究[J]. 高分子学报, 2000(5):626-631.
- [32]张鑫,曾武,黄兰清,等. 原位熔融接枝淀粉/PLA 生物可降解材料性能研究[J]. 塑料工业,2009,37(11):45-47.
- [33]安颖蔚,史书强,冯良山,等. 鲜食玉米应用不同厚度 PBSA 降解膜效果研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(10):45-48.
- [34]Assad I, Bhat S U, Gani A, et al. Protein based packaging of plant origin: Fabrication, properties, recent advances and future perspectives [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2020,164:707-716.
- [35]Rhim J W, Gennadios A, Weller C L, et al. Soy protein isolate - dialdehyde starch films[J]. Industrial Crops and Products,1998,8(3):195-203.
- [36]Salgado P R, Molina Ortiz S E, Petruccioli S, et al. Biodegradable sunflower protein films naturally activated with antioxidant compounds[J]. Food Hydrocolloids,2010,24(5):525-533.
- [37]Sartore L, Schettini E, de Palma L, et al. Effect of hydrolyzed protein - based mulching coatings on the soil properties and productivity in a tunnel greenhouse crop system[J]. Science of the Total Environment,2018,645:1221-1229.
- [38]Nilsuwan K, Arnold M, Benjakul S, et al. Properties of chicken protein isolate/fish gelatin blend film incorporated with phenolic compounds and its application as pouch for packing chicken skin oil [J]. Food Packaging and Shelf Life,2021,30:100761.
- [39]吕国华,白文波,国金义,等. 我国纸地膜的研究现状与发展趋势分析[J]. 农机化研究,2012,34(9):249-252.
- [40]李辉,赵传山,姜亦飞,等. 可降解植物纤维农用膜纸的制备与性能[J]. 江苏农业科学,2020,48(6):189-194.
- [41]Zhang X Y, You S Y, Tian Y Q, et al. Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio - based film mulching for summer tomato production: soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality[J]. Scientia Horticulturae,2019,249:38-48.
- [42]Li A L, Li K S, Zhang F Y, et al. Research on low temperature performance of ZnO/SiO<sub>2</sub> composite superhydrophobic paper mulch [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2021, 14:851-863.

- [43] da Silva G H. Biodegradable mulch of recycled paper reduces water consumption and crop coefficient of pak choi [ J ]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 267 : 109315.
- [44] 张颖, 邢振雷, 宗浩, 等. 小麦秸秆纤维地膜原料打浆工艺参数优化 [ J ]. *农业工程学报*, 2020, 36(11) : 248 - 253.
- [45] 尹光华, 谷健, 郝亮, 等. 液态地膜的研究现状与展望 [ J ]. *化工新型材料*, 2015, 43(6) : 4 - 6.
- [46] 陈保莲, 王仁辉, 程国香. 乳化沥青在农业上的应用 [ J ]. *石油沥青*, 2001, 15(2) : 44 - 47.
- [47] 张勇, 白秀梅, 杜轶. 中国液态地膜的应用、研究与展望 [ J ]. *中国农学通报*, 2018, 34(35) : 63 - 66.
- [48] Xu Y M, Li Q, Man L P. Bamboo - derived carboxymethyl cellulose for liquid film as renewable and biodegradable agriculture mulching [ J ]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 192 : 611 - 617.
- [49] Liang J, Ning R X, Sun Z H, et al. Preparation and characterization of an eco - friendly dust suppression and sand - fixation liquid mulching film [ J ]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 256 : 117429.
- [50] Gu H F, Geng H H, Wang D Y, et al. A new method for the treatment of kitchen waste: converting it into agronomic sprayable mulch film [ J ]. *Waste Management*, 2021, 126 : 527 - 535.
- [51] Zhu L Z, He J, Tian Y, et al. Intercropping Wolfberry with Gramineae plants improves productivity and soil quality [ J ]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 292 : 110632.
- [52] Kaur L, Kaur A, Brar A S. Water use efficiency of green gram (*Vigna radiata* L.) impacted by paddy straw mulch and irrigation regimes in north - western India [ J ]. *Agricultural Water Management*, 2021, 258 : 107184.
- [53] 董国丽. 高原可降解营养地膜的研究 [ D ]. 昆明: 昆明理工大学, 2016 : 67 - 68.
- [54] 李金海, 许远伟, 赵军, 等. 马铃薯淀粉基可降解地膜制备与性能研究 [ J ]. *贵州大学学报(自然科学版)*, 2020, 37(4) : 48 - 51, 124.
- [55] Chen L W, Dai R, Shan Z H, et al. Fabrication and characterization of one high - hygroscopicity liquid starch - based mulching materials for facilitating the growth of plant [ J ]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 230 : 115582.
- [56] 戴红平. 聚乳酸可降解地膜应用试验 [ J ]. *农民致富之友*, 2019(4) : 129.
- [57] 刘晓伟, 何文清, 李志强, 等. 可降解地膜对石河子垦区棉花农艺性状及产量的影响 [ J ]. *中国农学通报*, 2021, 37(7) : 24 - 27.
- [58] 冯晨, 冯良山, 刘琪, 等. 辽西半干旱区不同类型地膜降解特性及其对玉米产量的影响 [ J ]. *中国农业科学*, 2021, 54(9) : 1869 - 1880.
- [59] Ao L L, Qin L Z, Kang H, et al. Preparation, properties and field application of biodegradable and phosphorus - release films based on fermentation residue [ J ]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, 82 : 134 - 140.
- [60] Coolong T. Performance of paper mulches using a mechanical plastic layer and water wheel transplanter for the production of summer squash [ J ]. *HortTechnology*, 2010, 20(2) : 319 - 324.
- [61] Xue Y H, Guo J B, Li C, et al. Influencing factors of farmers' cognition on agricultural mulch film pollution in rural China [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2021, 787 : 147702.
- [62] 高保伟. 棉花生产中不同类型地膜的技术经济效益评价: 基于沙湾县四道河子镇的调查 [ D ]. 石河子: 石河子大学, 2018 : 12 - 16.
- [63] Wang H M, Zheng J, Fan J L, et al. Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: a meta - analysis [ J ]. *Field Crops Research*, 2021, 270 : 108210.
- [64] 武岩, 靳拓, 王跃飞, 等. 内蒙古阴山北麓马铃薯应用 PBAT/PLA 全生物降解地膜可行性分析 [ J ]. *生态环境学报*, 2021, 30(10) : 2100 - 2108.
- [65] 梅丽, 董雯怡, 周继华, 等. 生物降解地膜的性能及在北京鲜食玉米和甘薯生产上的应用 [ J ]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(10) : 54 - 65.
- [66] 王磊. 几种新型地膜在玉米上的应用效果研究 [ J ]. *现代农村科技*, 2021(11) : 62.
- [67] Sartore L, Vox G, Schettini E. Preparation and performance of novel biodegradable polymeric materials based on hydrolyzed proteins for agricultural application [ J ]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2013, 21(3) : 718 - 725.
- [68] 张晓英, 刘艳香, 姜春玲. 生物降解地膜对土壤理化性质及花生产量的影响 [ J ]. *农业开发与装备*, 2021(10) : 171 - 172.
- [69] 谢丕江, 邹如戈, 李玉华, 等. 苕麻地膜在桃源县棉花上的应用试验 [ J ]. *棉花科学*, 2017, 39(5) : 24 - 26.
- [70] 姚亮亮, 王平, 于铭, 等. 3 种液体地膜对大豆根腐病及产量的影响 [ J ]. *农学学报*, 2016, 6(1) : 33 - 36.
- [71] 解国庆. 液体地膜在朝天椒生产上的应用研究 [ J ]. *北方园艺*, 2009(12) : 72 - 74.
- [72] Dentzman K E, Goldberger J R. Organic standards, farmers' perceptions, and the contested case of biodegradable plastic mulch in the United States [ J ]. *Journal of Rural Studies*, 2020, 73 : 203 - 213.
- [73] Yang Y, Li P W, Jiao J, et al. Renewable sourced biodegradable mulches and their environment impact [ J ]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 268 : 109375.
- [74] Tian K M, Bilal M. Research progress of biodegradable materials in reducing environmental pollution [ M ] // Abatement of environmental pollutants. Amsterdam: Elsevier, 2020 : 313 - 330.