



## 可降解农用地膜的材料研究与应用现状

薛颖昊<sup>1,2</sup>, 孙占祥<sup>3\*</sup>, 居学海<sup>2</sup>, 习斌<sup>2</sup>, 靳拓<sup>2</sup>, 贾涛<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125;  
3. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

**摘要:** 简述了可降解地膜的发展历史, 将现有可降解农用地膜分成全生物降解地膜和崩解型地膜 2 个部分, 综述了合成型生物降解地膜、天然生物聚合型生物可降解地膜、氧化催化剂地膜和光敏剂地膜的组成、性能指标、降解原理及其在农业上的研究应用, 并指出国内可降解地膜存在的问题和未来的发展方向, 为可降解地膜向更多作物种类的推广应用提供了理论依据。

**关键词:** 地膜; 生物降解; 崩解; 应用

中图分类号: TQ321

文献标识码: B

文章编号: 1001-9278(2020)05-0087-10

DOI: 10.19491/j.issn.1001-9278.2020.05.014

## Current Status of Research and Applications of Degradable Materials for Agricultural Soil Films

XUE Yinghao<sup>1,2</sup>, SUN Zhanxiang<sup>3\*</sup>, JU Xuehai<sup>2</sup>, XI Bin<sup>2</sup>, JIN Tuo<sup>2</sup>, JIA Tao<sup>2</sup>

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;  
2. Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China;  
3. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** This paper briefly introduced the history of degradable agricultural soil films, which could be classified into two categories: biodegradable and disintegrating soil films. The paper also summarized the composition, performance, degradation mechanisms, and agricultural applications of synthetic biodegradable, natural bio-based biodegradable, oxidation-catalytic and photosensitive soil films. Moreover, the existing problems and development direction of degradable soil films in China were discussed. These viewpoints provided a theoretical basis for the application of degradable agricultural soil films in a broader range in future.

**Key words:** mulching film; biodegradability; disintegration; application

### 0 前言

塑料地膜的使用在农业上被称为“白色革命”。除保护农作物免受恶劣天气、昆虫和鸟类等不利生长条件的影响外,农用地膜的应用可以提高表层温度、保墒和促进植物幼苗和根系的生长。短期应用塑料地膜覆盖技术可以促进农作物增产 55%~142%<sup>[1]</sup>。塑料地膜已被用于种植玉米、棉花、甘蔗、水稻、蔬菜和果树<sup>[2-3]</sup>。

塑料地膜的原材料主要为聚乙烯(PE),其制造原料主要是从石油、煤炭和天然气中提取的<sup>[4]</sup>,来源有保

障。PE材料易于加工,具有优异的耐化学性、高耐用性、柔韧性、无异味和毒性。1938年,英国科学家首次将PE制成薄膜<sup>[5]</sup>。Waggoner等比较研究了不同覆盖物(PE膜、稻草、纸地膜和铝膜)引起的微气候变化,认为PE膜是最有效的地膜覆盖物<sup>[6]</sup>。因此,PE一直是最主要的农业地膜材料。然而,PE材料的相对分子质量大、性能稳定、在自然环境下难以降解,在土壤中可以残存200~400年。通常使用的PE地膜材料厚度均非常低,如美国使用的典型塑料薄膜厚度仅为15.2~50.8 μm<sup>[7]</sup>,如此低的厚度导致使用于土壤的地膜难以回收。残膜在土壤中逐年累积形成隔层,不仅直接给

收稿日期: 2020-04-08

农业农村部农业生态环境保护专项(2110402)

\* 联系人, sunzx67@163.com

农业耕作和播种造成了不利影响,还阻碍了土壤耕层水、气、肥的运动,破坏了土壤结构,使农业生态环境遭到极大破坏,造成严重的“白色污染”<sup>[8-9]</sup>。此外,残膜的不当处理,如焚烧塑料残膜,产生有机污染物呋喃和二噁英等有害化学物质<sup>[10]</sup>及细微颗粒(直径小于2.5 mm),引起中风、哮喘、肺功能下降等呼吸道疾病,干扰生物体内分泌系统,诱发癌症,危害人类健康安全<sup>[11]</sup>。鉴于此,世界各国相继出台了严格的限塑令以及废弃塑料回收法律体系<sup>[12]</sup>。与此同时,开发全新的与PE塑料地膜具有同等增温、保墒、防虫、除草效果的可降解地膜,已成为农业研究的重要热点之一。目前使用度和关注度最高的是全生物降解地膜和崩解型可降解地膜。

## 1 全生物降解地膜

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。其组成材料主要来源于淀粉、纤维素、壳聚糖及其他天然多糖类材料。在自然环境中,这类材料最终将被分解成水和二氧化碳,不会破坏土壤。按照制备方法不同,全生物降解地膜可分为两类:合成型生物降解地膜和天然生物聚合型生物降解地膜。

### 1.1 合成型生物降解地膜

合成型生物降解地膜通常是将含有酯键的可被生物降解的结构引入到分子结构中。已被商业化开发的主要品种有聚羟基脂肪酸酯(PHA)、聚 $\beta$ -羟丁酸(PHB)、聚丁二酸丁二醇酯(PBS)、聚丁二酸-己二酸丁二酯(PBSA)、聚乙醇酸(PGA)、聚乳酸(PLA)、聚己内酯(PCL)、聚对苯二甲酸丁二醇-己二酸丁二醇共聚酯(PBAT)等。

PHA是一种可由微生物合成的线性聚酯,具有生物降解性、生物相容性以及可再生等特性。根据烷基取代基(R)的大小,PHA的力学性能不同<sup>[13]</sup>,故从硬脆性塑料到柔性塑料或强韧性弹性体都可以得到。许多细菌可将聚羟基磷灰石作为细胞内的储存物质,这些物质含有丰富的碳源和少量的氮,PHA的生物量占其细胞干重的30%~80%。

PHB属于PHA家族中的一员,于1926年在巨大芽胞杆菌中发现。与PHA不同的是,PHB的烷基取代基(R)是甲基。与传统塑料相比,PHB具有结晶度高、韧性差、加工窗口窄等缺点,需要通过与其他生物可降解聚合物的共聚或共混来改善性能<sup>[14]</sup>。PHB可被多种微生物(细菌、真菌和藻类)降解<sup>[15]</sup>,其降解产物为3-羟基丁酸,是正常血液的组成成分之一,因此无环境危害性。

PBS由丁二酸和丁二醇缩聚而成,目前已经商业化。PBS具有一系列令人满意的性能,如良好的力学性能、可熔融处理能力、生物降解性和环境兼容性。PBS的加工性能优于PLA和PGA。PBS的生物降解性已经在液体培养实验、堆肥生产测试和土壤填埋实验中得到了充分验证<sup>[16-17]</sup>。但是,PBS的降解速率较慢,生物相容性和生物活性不足,限制了其应用。因此,一般需要采用等离子体修饰的方法对其进行表面修饰来克服这些缺陷。目前,PBS在食品包装、餐具、农用薄膜、生物医用高分子材料等领域得到了推广。虽然PBS的价格相对于其他合成型生物降解塑料来说价格偏低,但仍然高于传统塑料。

PBSA由PBS添加己二酸制得。PBSA的相对分子量较大,其性能和生物降解速率由丁二酸和丁二醇的性质决定。

PGA是最简单的线性脂肪族聚酯,在脂肪族聚酯中的降解速度最快。其低相对分子质量产物可以被微生物充分降解利用,是理想的可降解材料。但是,PGA的造价高昂,成型加工难度大,其主要应用于医疗领域,在可降解农用地膜领域应用较少<sup>[18]</sup>。

PLA是一种具有生物可再生特性的生物降解材料,其制备原料来源于植物资源,如玉米。PLA的生产过程无污染,而且产品可以生物降解,实现了物质在自然界中的循环,因此是聚酯中理想的绿色高分子材料,其降解速率取决于其结晶度。PLA也有脆性大、稳定性差的缺点,可通过开环聚合的方法得到高相对分子质量的PLAs,以达到提高性能的目的<sup>[19]</sup>。

PCL又称 $\epsilon$ -己内酯,是一种室温半刚性材料,可被多种溶剂溶解。PCL在室温下具有良好的柔韧性和稳定性。但其熔点只有65℃左右,加工困难,基本不单独使用。同时PCL的生产成本较高,导致了PCL制品的价格一直居高不下。自然界中的很多微生物和真菌均可降解PCL,其降解速率可通过制备丙交酯的方法控制。

PBAT兼具PBA和PBT的特性,既有较好的延展性和断裂伸长率,也有较好的耐热性和抗冲击性能,同时还具有优良的生物可降解性。PBAT合成成功后可以直接加工使用,是目前生物降解塑料研究中非常活跃的和市场应用最好的可降解材料之一。但PBAT的价格昂贵,因此在不影响其生物可降解性的前提下可通过填充改性的方式来降低PBAT的制造成本,以利于其在市场推广。

以上合成型生物可降解聚酯中,PHA、PHB和PLA除了可以人工合成外,也可以来自微生物,并具有

底物成本低、生产温度低、能耗低等优点<sup>[20]</sup>。PHB具有良好的生物降解性,主要用于医用高分子材料,但也存在一些固有缺陷,如脆性低和成本高<sup>[21]</sup>。PLA具有可用性、市场需求强劲和价格低廉等优点,表现出最高的应用潜力<sup>[22]</sup>。此外,PLA与其他材料如PE或PP共混,可减少相对分子质量添加剂的用量,提高其力学性能和可降解性<sup>[23]</sup>。这些合成型聚酯丰富了生物可降解材料的种类,正在逐步取代传统石油基塑料。

### 1.2 天然生物聚合型生物可降解地膜

自然界中,天然高分子聚合物有很多种,比如淀粉、蛋白质、纤维素、壳聚糖以及果胶等。这些天然高分子物质储量丰富、可再生、价格低廉,并具有优异的生物降解性能,在生物降解地膜的研究中受到广泛关注。这些聚合物所携带的化学键可被微生物分泌的酶所降解。但是,有一些聚合物的力学性能不佳,因此需要通过共混、共聚、接枝和交联等方法来进行改性<sup>[24-25]</sup>,以使其具备热塑性。

淀粉是可再生的,提取简单,价格低廉,具有完全生物降解性。然而,由于淀粉对水高度敏感,而且与其他石化聚合物相比,淀粉的力学性能相对较差,因此其用途有限。将淀粉与其他聚合物混合是解决上述问题的方法之一。与合成型聚合物相比,微生物对淀粉基聚烯烃组分的降解速度更快<sup>[26]</sup>。近些年来,许多生物可降解淀粉基热塑性共混物得到了广泛的发展和研究,如淀粉与聚乙烯醇(PVA)、PLA、PCL、PHB和PBS等进行改性共混。

蛋白质是热塑性杂环聚合物,其基本组成单位是氨基酸。相同或者不同氨基酸分子之间可形成共价连接,其性能根据氨基酸组成的不同而各异,使得蛋白质具有广泛的化学和功能潜质。以自然形态存在的蛋白质既不溶于水也不能熔融,需要将其与增塑剂混合,使其具备可加工性<sup>[27]</sup>。动物和植物均能提供蛋白质,动物蛋白如胶原蛋白可用于医学领域,植物蛋白如谷蛋白和大豆蛋白已被用于可食用薄膜,但涉及到蛋白质基农业地膜的研究仍然较少。

纤维素是另一种广为人知的植物多糖,是线性聚合物,具有非常长的大分子链,由纤维二糖重复组成。纤维素具有结晶性,不溶于所有的有机溶剂,其生物降解是由真菌分泌的过氧化物酶催化的酶氧化过程。为了克服纤维素不溶性的问题,一种方法是在其重复单元上进行一个或多个羟基反应产生不同的衍生物,使其具备可加工性。醋酸纤维素(CA)是一种重要的纤维素衍生物,可从农副产品中获得,主要用于纤维或薄膜应用<sup>[28]</sup>。但是其具有较高的玻璃化转变温度,限制

了其热处理加工能力。另一种方法是将CA与柔性聚合物通过接枝反应形成热塑性衍生物。麻类纤维是从麻类植物中提取的一类天然植物纤维,主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,还有少量的果胶和蜡。果胶由杂多聚糖组成,为植物茎叶提供柔性,蜡涂层保护内部结构免受水渗透和昆虫侵害。麻类纤维本身热稳定性和吸湿性有限,与石油类树脂的相容性差,因此,为了弥补这些缺点,Kalia等采用化学改性、碱化、乙酰化等方法对植物纤维进行改性,使其具备可加工性<sup>[29]</sup>。在我国,已有多个厂家研制了使用麻类纤维制成的麻地膜<sup>[30]</sup>,应用于农业生产。甲壳素、纤维素和淀粉等天然聚合物,因其自身材料特点,很难单独进行热塑加工,通常作为填充剂填充PE、聚丙烯(PP)和聚苯乙烯等以制备不完全生物降解材料;还可与PHB等化学合成脂肪族聚酯共混生产可完全生物降解材料,以降低化学合成聚合物薄膜的成本。

### 1.3 全生物降解地膜的应用现状

生物降解地膜可以有效解决地膜残留的污染问题,对农作物的生长具有较好的促进作用,市场潜力巨大,但目前依然存在不少技术问题,尚属于起步阶段<sup>[31]</sup>。生物可降解地膜已先后在马铃薯<sup>[32]</sup>、甘薯<sup>[33]</sup>、草莓<sup>[34]</sup>等多种农作物生产上得到了应用。

田间试验表明,生物可降解地膜与普通PE地膜一样,具有保温、保墒的作用;且在土壤性状及促进作物生长方面不亚于普通PE地膜<sup>[40]496[41]44[49]87</sup>。但是应用于不同作物的地膜,在厚度、密度等常用指标上各不相同,这可能是与作物的生长特性、使用环境及生产商等因素有关(表1、表2)。纯聚酯类地膜因聚合物自身的化学性质一般具有固有缺陷,如PBS的降解速率较慢,生物相容性和生物活性不足;PHB的脆性大,PLA的稳定性差。因此,在农业生产中使用纯聚酯制备的生物降解地膜可能会因为上述缺点发生作物减产的情况<sup>[35][38]198</sup>。少部分研究也报道了PBAT膜与PE膜在棉花和玉米上的应用,发现与PE膜相比,使用PBAT膜对作物产量无显著影响<sup>[43]151</sup>。胡伟等<sup>[36]37</sup>研究了PBS膜与商业Mater-Bi膜的降解特性,在农田填埋90 d后,PBS膜降解率仅为44.45%,而Mater-Bi膜的降解率可达96.3%;与PE膜相比,PBS膜和Mater-Bi膜分别造成作物减产7.08%和减产2.16%。

PBAT聚合物自身交联程度较低,极易破碎,常被用于短期作物<sup>[52]</sup>。在PBAT中共混PLA不但可提高地膜材料的韧性,而且PLA的水解产物可以催化PBAT的降解,方便调节材料的生物降解性<sup>[53]</sup>。淀粉价格便宜,易于加工,也常被用于共混聚合物的制备。



表1 部分已商业化生物可降解地膜的材料信息

Tab. 1 Material information of some commercial biodegradable mulching films

产品名	生产厂家	型号	组分
Mater-Bi®	Novamont(意大利)	CF-04P	PBAT、TPS(玉米)、植物油
Ecovio®	Basf(德国)	M2351	PBAT、PLA(~7%)
Bioplast®(B-SP4)	Group Sphere Iberica Biotech(西班牙)	GF106	PBAT、TPS(土豆)
Bioplast®(B-SP6)	Group Sphere Iberica Biotech(西班牙)	GF106+GS2189	PBAT、TPS <sup>a)</sup> (土豆)、PLA
BioFlex®	FkuR(德国)	F1130	PBAT、PLA(~30%)
BioFilm®	Limagrain/Carbios/G. Barbier(法国)	BF3012	PBAT、面粉
Mirel®	Metabolix(美国)	P5001-4	PBAT、PHB
MIMgreen®(Paper)	MimCord(西班牙)	—	纤维素
Polyethylene(PE)	Solplast(西班牙)	—	PE-LLD <sup>b)</sup>

注:a)为热塑性淀粉;b)为线性低密度聚乙烯。

表2 不同生物降解地膜材料的常用指标和推广应用

Tab. 2 Common indicators and application of different biodegradable mulching films

主要成分	膜厚/ $\mu\text{m}$	密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	断裂伸长率/%	作物
PHA	8	12	350	马铃薯 <sup>[35]</sup>
PBS	12	10.5~12.6	—	番茄 <sup>[36-37]</sup> 、胡椒 <sup>[37]</sup>
PBSA	4~12	8~13	—	棉花 <sup>[38]</sup> 、甘蔗 <sup>[39]</sup>
PLA	4.5~15	42.1~71.5	—	番茄 <sup>[37]</sup> 、胡椒 <sup>[37,40]</sup>
PCL、淀粉	—	—	—	油菜 <sup>[41]</sup> 、玉米 <sup>[42]</sup>
PBAT	10~30	—	15~48	棉花 <sup>[38,43]</sup> 、玉米 <sup>[43]</sup>
淀粉类	10~15	—	—	胡椒 <sup>[40]</sup> 、棉花 <sup>[38]</sup> 、烤烟 <sup>[44]</sup>
蛋白质类	—	—	—	莴苣 <sup>[45]</sup>
纤维素类	15	85	—	胡椒 <sup>[40]</sup> 、番茄 <sup>[46]</sup>
麻地膜	—	—	—	芦笋 <sup>[47]</sup> 、番茄 <sup>[48]</sup>
PLA、PHB	15~37	27~85	246	辣椒 <sup>[49]</sup> 、番茄 <sup>[46]</sup> 、莴苣 <sup>[46]</sup>
PLA、PBAT	15~17	85	—	番茄 <sup>[46]</sup> 、莴苣 <sup>[46]</sup> 、覆盆子 <sup>[50]</sup> 、葡萄 <sup>[51]</sup>
PBAT、淀粉	—	—	—	覆盆子 <sup>[50]</sup>
PLA、PBAT、淀粉	15~17	85	—	番茄 <sup>[46]</sup> 、莴苣 <sup>[46]</sup>

因此,人们常常采用PBAT与PLA、淀粉、PHB等聚合物混合的方法来制备生物降解地膜,以期获得能满足农艺性能的地膜材料。Touchaleaume等<sup>[51]</sup><sup>[435]</sup>研究发现,与裸地相比,无论使用PBAT/PLA膜、PBAT/淀粉膜还是PE膜,葡萄藤均提前一年开始结果;采用PBAT/PLA膜、PBAT/淀粉膜处理的葡萄产量与PE膜无显著差异。Mosnáčková等<sup>[49]</sup><sup>[84]</sup>采用PLA/PHB膜处理辣椒,与未覆膜处理的辣椒相比,前者产量提高了21%,维生素C含量提高了60%~65%,类胡萝卜素含量提高了113%。Zhang等研究发现,PBAT/PLA膜、PBAT/淀粉膜和PE膜对覆盆子的产量没有显著影响。此外,PCL/淀粉共混膜也在油菜、玉米等作物上得到了应用,作物产量与PE膜均无显著差异<sup>[41]</sup><sup>[43]</sup><sup>[42]</sup><sup>[128]</sup>。这也从侧面说明,混合聚合物类生物可降解地膜可能更适用于农业生产应用。

地膜厚度是地膜材料的基本指标之一。膜厚直接

影响地膜的降解速度,地膜越薄越容易降解<sup>[39]</sup><sup>[22]</sup>。生物可降解地膜的膜厚应根据降解时间、农作物的种类和地理区域来选择。与传统的石化PE类地膜材料不同,生物可降解地膜的力学性能能否满足农艺生产是一个值得研究的关注点。Briassoulis等<sup>[54]</sup>比较了商业化生物降解地膜与PE膜的力学性能;从整体上来看,商业化生物降解地膜可满足EN 17033和EN 13655的测试标准;与PE膜相比,生物可降解地膜具有较低的断裂伸长率和较高的水蒸气渗透率。自然界的风化作用会导致地膜的断裂伸长率迅速降低<sup>[37]</sup><sup>[210]</sup><sup>[49]</sup><sup>[83]</sup>,导致地膜提前裂解,影响使用,因此生物降解膜需要保持适当的物理和力学性能。

土壤环境因素,如土壤湿度和土壤温度,对农作物的生长具有重要影响。低温是限制农业生产的主要因素之一。适宜的土壤温度可以促进植物生长,保持根系活力,提高作物产量<sup>[42]</sup><sup>[130]</sup>。生物降解膜在植物生长

初期对土壤温度的提高作用与PE膜大致相同,在生长后期则出现差异<sup>[41]50 [55]</sup>。而生物降解膜在裂解之前,覆盖的土壤湿度与PE膜也无明显差异<sup>[43]150</sup>。这说明与PE膜一样,生物降解膜具有良好的保温保墒性能。在干旱地区,采用生物降解膜覆盖联合滴灌的方式可有效提高作物的水分利用率<sup>[38]200</sup>。此外,生物降解膜在抑制杂草生长<sup>[37]215</sup>、抑制虫害<sup>[50]375</sup>等方面也不亚于PE膜。生物降解膜对土壤生态的影响不容忽视,其裂解产物会对土壤微生物产生轻微毒性<sup>[56]</sup>,甚至会对农作物产生潜在的生态毒性<sup>[46]107</sup>。

综上所述,生物降解地膜的力学性能影响其实际应用。与PE膜一样,生物降解膜可对土壤水热条件施加影响,改变了土壤的水分和温度环境。然而,每种类型的生物降解膜都有各自的优缺点。虽然生物降解膜可以被自然降解,但这并不意味着生物可降解地膜对环境就完全没有危害。应加大对可降解地膜降解产物环境风险的评估,特别需要侧重于对土壤微生物群落等方面研究。随着新国标GB/T 35795-2017《全生物降解农用地面覆盖薄膜》和欧盟标准EN 17033《Plastics Biodegradable mulch films for use in agriculture and horticulture Requirements and test method》的相继发布,相信生物降解膜的使用和评估将得到有效规范。

## 2 崩解型地膜

崩解型地膜,其主要原料是PE,掺入促进PE降解的光敏剂、氧化催化剂等功能助剂和部分可降解物质吹塑而成,主要原理是利用光敏剂、氧化催化剂等催化作用加快PE地膜的降解。

### 2.1 氧化催化剂地膜

氧降解添加剂通常被添加进聚烯烃类聚合物(PO),如PE和PP<sup>[57]</sup>。向PO内加入1%~5%的预降解剂,再混以Fe、Mg、Ni和Co等金属盐可制成氧化催化剂地膜。氧化催化剂的反应机理是在光热条件下,添加剂通过释放自由基,攻击聚合物分子中的化学键,实现材料的过氧化而发生降解<sup>[58]</sup>。在这个过程中,金属组分扮演了催化剂的作用。氧降解是一种非生物过程,自由基攻击导致聚合物由疏水性转变为亲水性,吸收水分,改变了材料的力学性能,导致材料破碎<sup>[59]</sup>。

与传统地膜相比,尚不清楚氧化催化剂地膜是否在减少海洋垃圾方面具有优势<sup>[60]4 777</sup>。因为氧化催化剂地膜的降解通常没有明确的时间框架<sup>[61]</sup>。Napper和Thompson<sup>[60]4 780</sup>发现氧降解和传统塑料地膜在任何自然环境中都不能快速降解,在某些情况下只是分解成小块(如露天环境下),在土壤和海洋环境中降解则至

少需要3年以上。Koutny等发现2种氧化催化剂塑料的降解速度都比常规塑料要快,因为这2种塑料都含有预氧化剂,这些预氧化剂被并入聚合物链中,以加速光氧化和热氧化<sup>[62]</sup>。Al-Salem等<sup>[63]</sup>认为氧化催化剂膜作为一种废弃的塑料固体废物,在未来的热处理中具有良好的应用前景。过去的研究工作集中在海洋环境和土壤埋藏条件下氧降解物的行为。其目的通常是评估毒性水平和对当地环境的影响。Markowicz等最近对包括氧化催化剂膜在内的10种不同等级的聚合物进行了评价,他们工作的目的是确定堆肥材料的适用性和对环境的潜在影响<sup>[64]</sup>,研究表明,含重金属的预氧化聚合物不适合工业堆肥,环境中可能释放的金属离子也可能对堆肥或处理后的材料造成严重威胁。Camann等<sup>[65]</sup>也提出了类似的观点。

### 2.2 光敏剂地膜

在通用的地膜塑料中添加光敏剂可制得光敏剂地膜。光敏剂是一类可以促进或引发聚合物发生光降解反应的物质。光敏剂本身由有机部分和过渡金属组成,在光降解地膜中的含量较少。常用的光敏剂包括过渡金属螯合物、硬脂酸盐、卤化物、羰基化合物和多环芳烃。光敏剂能吸收波长300 nm的光线,常见光敏剂如二苯甲酮、对苯醌等在受到光照后,与相邻分子发生脱氢反应,光敏剂将解离并转化为活性自由基,导致聚合物的分子链断裂,引发光降解。

光敏剂地膜的理论来源于Scott-Gilead受控光降解理论体系<sup>[66]</sup>。根据Scott-Gilead理论<sup>[67]</sup>,在光照下,聚合物通过光化学反应产生过渡金属离子,这些过渡金属离子反过来又在聚合物基质内引起催化链反应。随后,通过断链或从链端解链的方式引起聚合物相对分子质量的快速减少,以达到聚合物分解的目的。值得注意的是,聚合物的整个崩解过程是由光化学反应开始,由热化学反应维持,微生物在崩解过程扮演了支持和增强作用。这意味着,一旦反应被阳光触发,即使在没有光只有氧气的情况下,反应也会不可逆转的持续进行下去。在该系统中,二烷基二硫代氨基甲酸与过渡金属离子合成金属有机螯合物时,过渡金属离子起到了稳定剂的作用;并且,在金属有机物合成后,过渡金属离子作为促氧化剂存在于聚合物中。复合物中的过渡金属离子在吸收了紫外线能量以后引发氧化反应,这一过程存在诱导期,诱导期的长短取决于聚合物中光敏剂的浓度。Scott-Gilead系统可以改变光敏剂浓度来调节聚合物的使用寿命。

### 2.3 崩解型地膜的应用现状

在国外,Ledent等研究表明,透明光敏剂地膜可以

有效提高土壤温度,使得玉米种子萌发提前了3~10 d,干物质含量增加了9%,改善了玉米根系的生长<sup>[68]</sup>。在番茄种植中,光敏剂地膜具有节水、控制杂草和保持水果洁净的作用<sup>[69]</sup>。有研究发现,与标准黑色地膜相比,使用红色地膜时,番茄产量优势明显,但依旧低于使用红色PE地膜时的番茄产量;研究认为,使用红色地膜的番茄产量增加是由远红外光的反射以及随后的光色素介导的光合产物对果实发育的调控所致<sup>[70]</sup>。

我国是农业大国,光敏剂地膜在农业生产上的试验和应用案例有很多。南殿杰等<sup>[71]</sup>研究了国内外29种不同型号的光降解地膜对棉花田间效应的影响,与普通地膜相比,光敏剂地膜具有相同的土壤环境效应和相近的增产效果。陈明周等<sup>[72]</sup>研究了光敏剂地膜对甘蔗的增产效果及地膜残留状况,发现光敏剂地膜可以完全代替普通地膜,不会影响甘蔗苗期生长和产量。杨友军等<sup>[73]</sup>研究了黑色光敏剂地膜对菠萝种植的影响,表明黑色光敏剂地膜覆盖栽培技术,可发挥与普通地膜类似的促进菠萝生长的作用,同时又具有除草、降解功能,能有效提高菠萝的产量、产值。

综上所述,崩解型地膜同样具有提高地温、保墒、增产、提高效益等作用,但是其尚存在一些不足。我国20世纪70年代末开始从日本引进PE地膜,崩解型地膜也已同步开展了近40年的研究,但至今仍没有突破性技术。一是其主体原料为PE,崩解受光强度、地理、季节、作物品种等因素的制约较大,崩解速率很难准确控制,过早或过晚的崩解均不利于农业生产。二是从标准上看,欧盟采用高温堆肥试验测定二氧化碳排放量,经检测,部分崩解地膜产品无法达到降解地膜标准。在日本和欧洲,较早进行过此类降解材料的研究,但由于环境风险性高,已经禁止生产和使用上述崩解型地膜,而我国覆膜量大面广,更应该谨慎。三是其降解性能饱受争议,有专家指出,这种地膜分解过程实际是PE材料的裂解,改变了地膜的物理性状,裂解成了更小的PE颗粒,并未改变化学性质,甚至会形成塑料碎片和导致二次污染。

### 3 可降解地膜存在的问题与展望

目前,崩解型地膜存在的问题主要有埋藏部分的不溶性、降解后残膜的非持续性分解以及土壤污染问题,不符合生态宜居和治理有效的要求。同时,该材料应用范围有限,产品的降解过程不易控制。生物可降解膜一方面可以通过生态过程完全降解,另一方面其填充材料主要是淀粉和纤维素,具有可再生性。与传统PE膜相比,生物降解膜基本消除了残留膜的危害。

但由于其加工难度大、力学性能差、耐水性差,在农业气候、自然条件、作物多样性等因素的影响下,生物降解膜的可控性差,给推广和应用带来了很大挑战。据预测,绿色环保型产品将是未来市场的主导产品。因此,生物降解地膜替代普通PE地膜是地膜覆盖技术应用的必由之路,生物降解地膜的发展前景良好<sup>[74]</sup>。

2019年1月1日起,《中华人民共和国土壤污染防治法》正式实施,明确国家鼓励和支持农业生产者使用生物可降解农用薄膜。2015~2019年,农业农村部农业生态与资源保护总站在全国13个省累计34个点上开展对比试验和适度示范应用,覆盖了东北风沙区、西南山区、华北平原区、西北旱塬区、西北绿洲5个主要地理区带,试验涉及6种主要覆膜作物(玉米、花生、马铃薯、棉花、烟草、蔬菜),共计27家企业参与了试验示范。其中20家企业采用了全生物降解地膜,另7家采用崩解型地膜。5年的试验结果表明,全生物降解地膜在马铃薯、烟草、设施蔬菜种植上可适度替代PE地膜,但其他作物上短期内难以大面积推广使用。下一步,对于全生物可降解地膜,建议进一步做好性能验证和田间试验,因地制宜,充分考虑地膜降解诱导期、作物、气候、农艺性等因素对地膜性能的要求;同时,针对马铃薯、烟草、设施蔬菜等作物率先进行生物可降解地膜应用的示范推广,累计经验。对于崩解型地膜,考虑到其主要成份仍是塑料,能否完全降解还有待进一步验证,加之欧盟已明令禁止使用这类产品,建议继续做好研发和试验评价,在没有探明其产品稳定性和安全性之前,不宜进行推广应用。

### 4 结语

党的“十九大”提出实施乡村振兴战略,提出了产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕的总要求,以加快推进农业农村现代化为目标,为未来农业农村发展指明了方向。为了解决PE地膜对农业耕地的污染问题,研究不同类型可降解地膜材料在不同田间条件下对作物和土壤的影响是十分必要的。今年年初,国家发展改革委、生态环境部正式印发“禁塑令”——《进一步加强塑料污染治理的意见》,要求以降解安全可控性、规模化应用经济性等为重点,开展可降解地膜等技术验证和产品遴选。自然环境的异质性给生态农业的发展提出了很高的要求,对可降解地膜的发展增加了难度。因而,需要进一步推进技术创新,研发更多的农业膜材料聚合物、更高效的添加剂以及混合生物降解聚合物技术,同时,应加强可降解地膜产品和技术跟踪,重点开展可控性、经济性、安全性验证及环



境影响评价,制定完善可降解农用地膜的评价标准体系。

#### 参考文献:

- [1] MBAH C N, NWITE J N, NJOKU C, et al. Physical Properties of an Ultisol under Plastic Film and No-Mulches and Their Effect on the Yield of Maize [J]. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 6(2): 160-165.
- [2] JIANG R, LI X, ZHOU M, et al. Plastic Film Mulching on Soil Water and Maize (*Zea mays* L.) Yield in a Ridge Cultivation System on Loess Plateau of China [J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2016, 62(1): 1-15.
- [3] QU H, TAO H, TAO Y, et al. Ground Cover Rice Production System Increases Yield and Nitrogen Recovery Efficiency [J]. *Agronomy Journal*, 2012, 104(5): 1399-1407.
- [4] SEYMOUR R B. Polymer Science Before and After 1899: Notable Developments During the Lifetime of Maurits Dekker [J]. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 1989, 26(8): 1023-1032.
- [5] MASSEY P H J. Current utilization and new developments in agricultural plastics in U. S. A [C] // Budapest: Plastics in Agriculture: International Colloquium, 1974: 53-66.
- [6] WAGGONER P E, MILLER P M, DE ROO H. C. Plastic Mulching: Principles and Benefits [R]. Bulletin. Connecticut Agricultural Experiment Station, 1960: 634.
- [7] LAMONT W J, BARTOK J W. Production of Vegetables, Strawberries, and Cut Flowers using Plasticulture [M]. New York: Natural Resources, Agriculture & Engineering Service, 2004: 101-113.
- [8] PICUNO P, SICA C, LAVIANO R, et al. Experimental Tests and Technical Characteristics of Regenerated Films from Agricultural Plastics [J]. *Polymer Degradation & Stability*, 2012, 97(9): 1654-1661.
- [9] LIU E K, HE W Q, YAN C R. 'White revolution' to 'white pollution'-Agricultural Plastic Film Mulch in China [J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9(9): 091001.
- [10] JAYASEKARA R, HARDING I, BOWATER I, et al. Biodegradability of a Selected Range of Polymers and Polymer Blends and Standard Methods for Assessment of Biodegradation [J]. *Journal of Polymers & the Environment*, 2005, 13(3): 231-251.
- [11] YUN CHUL H, JONG TAE L, HO K, et al. Effects of Air Pollutants on Acute Stroke Mortality [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, 110(2): 187-191.
- [12] KOOP S H A, LEEUWEN C J V. The Challenges of Water, Waste and Climate Change in Cities [J]. *Environment Development & Sustainability*, 2017, 19(2): 385-418.
- [13] VROMAN I, TIGHZERT L. Biodegradable polymers [J]. *Materials*, 2009, 2(2): 307-344.
- [14] 高海军, 陈 坚, 堵国成, 等. 聚 $\beta$ -羧基丁酸(PHB)降解的研究和展望 [J]. *无锡轻工大学学报: 食品与生物技术*, 1996, 15(2): 174-178.  
GAO H J, CHEN J, DU G C, et al. Research and Prospect of Poly- $\beta$ -hydroxybutyrate (PHB) [J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 1996, 15(2): 174-178.
- [15] KIM M N, LEE A R, YOON J S, et al. Biodegradation of Poly(3-hydroxybutyrate), Sky-Green®; and Mater-Bi®; by Fungi Isolated from Soils [J]. *European Polymer Journal*, 2000, 36(8): 1677-1685.
- [16] MERI-SUHARTINI H M, YOSHII F, NAGASAWA N, et al. Radiation Crosslinking of Poly(butylene succinate) in the Presence of Inorganic Material and Its Biodegradability [J]. *Journal of Polymers & the Environment*, 2001, 9(4): 163-171.
- [17] ZHAO J H, WANG X Q, ZENG J, et al. Biodegradation of Poly(butylene succinate) in Compost [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 97(6): 2273-2278.
- [18] NAIR L S, LAURENCIN C T. Biodegradable Polymers as Biomaterials [J]. *Progress in Polymer Science*, 2007, 32(8): 762-798.
- [19] PEREGO G C G D, BASTIOLI C. Effect of Molecular Weight and Crystallinity on Poly(lactic acid) Mechanical Properties [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, 59(1): 37-43.
- [20] JOHN R P, NAMPOOTHIRI K M, PANDEY A. Fermentative Production of Lactic Acid from Biomass: an Overview on Process Developments and Future Perspectives [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2007, 74(3): 524-534.
- [21] SAMANTARAY S, MALLICK N. Production and Characterization of Poly- $\beta$ -hydroxybutyrate (PHB) Polymer from *Aulosira fertilissima* [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2012, 24(4): 803-814.
- [22] LUNT J. Large-scale Production, Properties and Commercial Applications of Polylactic Acid Polymers [J]. *Polym. Degrad. Stab*, 1998, 59(1/3): 145-152.
- [23] 杨惠娣. 塑料农膜与生态环境保护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 9-18.
- [24] SUN Y, HU Q, QIAN J, et al. Preparation and Properties of Thermoplastic Poly (caprolactone) Composites Containing High Amount of Esterified Starch without Plasticizer [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 139: 28-34.
- [25] VU H P N, LUMDUBWONG N. Starch Behaviors and Mechanical Properties of Starch Blend Films with Different

- Plasticizers[J]. Carbohydr Polym, 2016, 154: 112-120.
- [26] RUTKOWSKA M, HEIMOWSKA A, KRASOWSKA K, et al. Biodegradability of Polyethylene Starch Blends in Sea Water[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2002, 11(3): 267-271.
- [27] YIHU S, QIANG Z. Improved Tensile Strength of Glycerol-plasticized Gluten Bioplastic Containing Hydrophobic Liquids[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(16): 7665-7671.
- [28] BISWAS A, SAHA B C, LAWTON J W, et al. Process for Obtaining Cellulose Acetate from Agricultural by-products[J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 64(1): 134-137.
- [29] KALIA S, THAKUR K, CELLI A, et al. Surface Modification of Plant Fibers using Environment Friendly Methods for their Application in Polymer Composites, Textile Industry and Antimicrobial Activities: A Review [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2013, 1(3): 97-112.
- [30] 王朝云. 环保型麻地膜研究新进展[J]. 中国麻业科学, 2009, 31(S1): 98-100.  
WANG C Y. Recent Progress of Research on Environment Friendly Bast Fiber Mulch Film[J]. Plant Fiber Sciences in China, 2009, 31(S1): 98-100.
- [31] 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[J]. 生物工程学报, 2016, 32(6): 748-760.  
YAN C R, HE W Q, XUE Y H, et al. Application of Biodegradable Plastic Film to Reduce Plastic Film Residual Pollution in Chinese Agriculture[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2016, 32(6): 748-760.
- [32] BAILES G, LIND M, ELY A, et al. Isolation of Native Soil Microorganisms with Potential for Breaking down Biodegradable Plastic Mulch Films used in Agriculture [J]. J Vis Exp, 2013, (75): 50373-50373.
- [33] LEE J S, JEONG K H, KIM H S, et al. Bio-Degradable Plastic Mulching in Sweetpotato Cultivation [J]. Korean Journal of Crop Science, 2009, 54(2): 135-142.
- [34] BILCK A P, GROSSMANN M V E, YAMASHITA F. Biodegradable Mulch Films for Strawberry Production [J]. Polymer Testing, 2010, 29(4): 471-476.
- [35] 王祥会. 降解地膜覆盖对马铃薯产量及品质的影响[J]. 中国果蔬, 2014, 34(12): 64-66.  
WANG X H. Effects of Different Degradable Mulching Film on Yield and Quality of Potato [J]. China Fruit & Vegetable, 2014, 34(12): 64-66
- [36] 胡伟, 邵华伟, 孙九胜, 等. Mater-Bi 和 PBS 可生物降解膜降解特征及对加工番茄的影响[J]. 北方园艺, 2014(22): 36-38.  
HU W, SHAO H W, SUN J S, et al. Mater-Bi and PBS Biodegradable Membrane Degradation Characteristics and Influence on Processing Tomato [J]. Northern Horticulture, 2014(22): 36-38.
- [37] WORTMAN S E, KADOMA I, CRANDALL M D. Assessing the Potential for Spunbond, Nonwoven Biodegradable Fabric as Mulches for Tomato and Bell Pepper Crops[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 193: 209-217.
- [38] WANG Z, WU Q, FAN B, et al. Testing Biodegradable Films as Alternatives to Plastic Films in Enhancing Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Yield under Mulched Drip Irrigation[J]. Soil and Tillage Research, 2019, 192: 196-205.
- [39] 杨友军, 谢东, 陈明周, 等. 完全生物降解地膜应用于甘蔗种植的研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(1): 19-23.  
YANG Y J, XIE D, CHEN M Z, et al. Research of Truly Biodegradable Mulch Film Applied in Sugarcane Planting[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(1): 19-23.
- [40] MORENO M M, GONZALEZ-MORA S, VILLENA J, et al. Deterioration Pattern of Six Biodegradable, Potentially Low-environmental Impact Mulches in Field Conditions[J]. J Environ Manage, 2017, 200: 490-501.
- [41] GU X B, LI Y N, DU Y D. Biodegradable Film Mulching Improves Soil Temperature, Moisture and Seed Yield of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 171: 42-50.
- [42] YIN M, LI Y, FANG H, et al. Biodegradable Mulching Film with an Optimum Degradation Rate Improves Soil Environment and Enhances Maize Growth[J]. Agricultural Water Management, 2019, 216: 127-137.
- [43] 王斌, 万艳芳, 王金鑫, 等. PBAT 型全生物降解地膜对新疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(1): 148-156.  
WANG B, WAN Y F, WANG J X, et al. Effects of PBAT Biodegradable Plastic Mulch Film on Soil Physical and Chemical Properties and Yields of Cotton and Maize in Southern Xinjiang, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2019, 38(1): 148-156.
- [44] 袁跃斌, 杨静, 刘圣高, 等. 淀粉基可生物降解地膜在烤烟生产中的应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 7824-7825.  
YUAN Y B, YANG J, LIU S G, et al. Research of the Application of Starch-based Biodegradable Film on Flue-cured Tobacco [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(15): 7824-7825.
- [45] 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]. Sci Total Environ, 2018, 645: 1221-1229.



- [46] SERRANO-RUÍZ H, MARTÍN-CLOSAS L, Pelacho A M. Application of an In vitro Plant Ecotoxicity Test to Unused Biodegradable Mulches[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2018, 158: 102-110.
- [47] 李文略, 熊 晖, 张旭娟, 等. 麻地膜覆盖对绿芦笋产量和品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(5): 769-771. LIU W L, XIONG H, ZHANG X J, et al. Effects of Bast-fiber Mulching Film on Yield and Quality of Asparagus[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(5): 769-771.
- [48] 安 霞, 金关荣, 李鲁峰, 等. 麻地膜对设施樱桃番茄 (*Solanum lycopersivon*) 生长及产量的影响[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(3): 1 034-1 038. AN X, JIN G R, LI L F, et al. Effect of Bast-fiber Film on Growth and Yield of Cherry Tomato in the Greenhouse[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(3): 1 034-1 038.
- [49] MOSNÁČKOVÁ K, ŠLOSÁR M, KOLLÁR J, et al. Ageing of Plasticized Poly(lactic acid)/Poly(3-hydroxybutyrate)/Carbon Black Mulching Films during one Season of Sweet Pepper Production[J]. *European Polymer Journal*, 2019, 114: 81-89.
- [50] ZHANG H, MILES C, GHIMIRE S, et al. Polyethylene and Biodegradable Plastic Mulches Improve Growth, Yield, and Weed Management in Floricane Red Raspberry [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 250: 371-379.
- [51] TOUCHALEAUME F, MARTIN -CLOSAS L, ANGELLIER-COUSSY H, et al. Performance and Environmental Impact of Biodegradable Polymers as Agricultural Mulching Films[J]. *Chemosphere*, 2016, 144: 433-439.
- [52] KIJCHAVENGKUL T, AURAS R, RUBINO M, et al. Atmospheric and Soil Degradation of Aliphatic - aromatic Polyester Films[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(2): 99-107.
- [53] OYAMA H T, TANAKA Y, HIRAI S, et al. Water-disintegrative and Biodegradable Blends Containing Poly (L-lactic acid) and Poly (butylene adipate-co-terephthalate) [J]. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 2011, 49(5): 342-354.
- [54] BRIASSOULIS D, GIANNOULIS A. Evaluation of the Functionality of Bio-based Plastic Mulching Films [J]. *Polymer Testing*, 2018, 67: 99-109.
- [55] SINTIM H Y, BANDOPADHYAY S, ENGLISH M E, et al. Impacts of Biodegradable Plastic Mulches on Soil Health [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, 273: 36-49.
- [56] HOU L, XI J, CHEN X, et al. Biodegradability and Ecological Impacts of Polyethylene-based Mulching Film at Agricultural Environment [J]. *J Hazard Mater*, 2019, 378: 120 774.
- [57] LIU X, GAO C, SANGWAN P, et al. Accelerating the Degradation of Polyolefins through Additives and Blending [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131 (18): 40 750.
- [58] WRONA M, VERA P, PEZO D, et al. Identification and Quantification of Odours from Oxobiodegradable Polyethylene Oxidised under a Free Radical Flow by Headspace Solid-phase Microextraction Followed by Gas Chromatography-olfactometry-mass Spectrometry [J]. *Talanta*, 2017, 172: 37-44.
- [59] AMMALA A, BATEMAN S, DEAN K, et al. An Overview of Degradable and Biodegradable Polyolefins [J]. *Progress in Polymer Science*, 2011, 36(8): 1 015-1 049.
- [60] NAPPER I E, THOMPSON R C. Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(9): 4 775-4 783.
- [61] THOMAS N L, CLARKE J, MCLAUCHLIN A R, et al. Oxodegradable Plastics: Degradation, Environmental Impact and Recycling [C]//Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management. ICE Publishing, 2012: 133-140.
- [62] KOUTNY M, SANCELME M, DABIN C, et al. Acquired Biodegradability of Polyethylenes Containing Pro-oxidant Additives[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, 91(7): 1 495-1 503.
- [63] AL-SALEM S M, AL-NASSER A Y, BEHBEHANI M H, et al. Thermal Response and Degressive Reaction Study of Oxo-Biodegradable Plastic Products Exposed to Various Degradation Media [J]. *International Journal of Polymer Science*, 2019, 2019: 1-15.
- [64] MARKOWICZ F, KRÓL G, SZYMAŃSKA - PULIKOWSKA A. Biodegradable Package - Innovative Purpose or Source of the Problem [J]. *Journal of Ecological Engineering*, 2019, 20(1): 228-237.
- [65] CAMANN A, DRAGSBAEK K, KROL S, et al. Properties, Recycling and Alternatives to PE Bags[R]. Project Report, Worcester Polytechnic Institute, 2010.
- [66] MELLOR D C, MOIR A B, SCOTT G. The Effect of Processing Conditions on the u. v. Stability of Polyolefins [J]. *European Polymer Journal*, 1973, 9(3): 219-225.
- [67] SCOTT G. Time Controlled Stabilization of Polyolefins [J]. *Journal of Polymer Science Polymer Symposia*, 2010, 57(1): 357-374.
- [68] LEDENT J F, GROGNA R, CRUYSMANS A. Effect of Plastic Mulching and Seedling Transplantation on Growth and Development of Forage Maize [M]. UK: Hereward and Stourdale Press, 1980: 79-82.

[69] MORENO M, MORENO A, MANCEBO I. Comparison of Different Mulch Materials in a Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Crop[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2011, 7: 454-464.

[70] KASPERBAUER M J, HUNT P G. Far-Red Light Affects Photosynthate Allocation and Yield Tomato over Red Mulch[J]. Crop Science, 1998, 38(4): 1414.

[71] 南殿杰, 解红娥, 李燕娥, 等. 光解地膜棉田效应研究[J]. 山西农业科学, 1994(1): 23-28.

NAN D J, XIE H E, LI Y E, et al. The Effect of Photodegradable Film in Cotton Field[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1994(1): 23-28.

[72] 陈明周, 杨友军, 黄瑶珠, 等. 甘蔗光降解地膜在湛江蔗区的增产效应及其降解效果[J]. 中国糖料, 2009(2): 7-9.

CHEN M Z, YANG Y J, HUANG Y Z, et al. Effect of Photodegradable Plastics Film on Increasing Sugarcane Yield and Film Degradation in Zhanjiang Area [J]. Sugar Crops of China, 2009(2): 7-9.

[73] 杨友军, 黄瑶珠, 陈明周, 等. 菠萝黑色光降解地膜在徐闻主产区的配方筛选[J]. 广东农业科学, 2011, 38(19): 45-46.

YANG Y J, HUANG Y Z, CHEN M Z, et al. Formula Screening Research of Pineapple Black Photodegradable Plastic Film in the Main Producing Areas of Xuwen [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(19): 45-46.

[74] 薛颖昊, 曹肆林, 徐志宇, 等. 地膜残留污染防控技术现状及发展趋势[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(8): 1 595-1 600.

XUE Y H, CAO S L, XU Z Y, et al. Status and Trends in Application of Technology to Prevent Plastic Film Residual Pollution [J]. Journal of Agro - Environment Science, 2017, 36(8): 1 595-1 600.

### 2020年《塑料》杂志征订启事

《塑料》杂志创刊于1972年,是一本国内外公开发行的中国塑料产业内最早的专业技术期刊,是《中文核心期刊要目总览》全国中文核心期刊,《中国科技论文统计源》核心期刊,《中国科学引文数据库》核心期刊,美国《化学文摘》(CA)收录期刊。

《塑料》杂志为读者和企业提供塑料发展趋势和使用化技术的最新信息,多层次、多视角、全方位、及时、准确报道国内外研究热点、先进技术、学科前沿和市场动态,用科学发展观引导产业的健康发展,成为科学技术转化为生产力的桥梁和纽带。

涉及领域:化工、轻工、机械、农业、建材、包装、汽车、电子、医学、军工、环保、信息等产业。

《塑料》杂志为双月刊,双月18日出版,大16开本。中国标准连续出版物号:ISSN 1001-9456(国际),CN 11-2205/TQ(国内)。邮发代号:BM909(国际);82-268(国内)。定价28元/期,全年定价(6期)168元。

订阅方式:

- 1、国内读者请向全国各地邮局订阅,邮发代号82-268。
- 2、国外读者请向中国国际图书贸易集团有限公司订阅,国外代号:BM909。
- 3、读者可自行联系编辑部进行纸质期刊和电子期刊的订阅。

地址:北京市西城区旧鼓楼大街47号,《塑料》编辑部邮编:100009

电话:010-84022529,84035979;传真:010-84022529,64057552

微信服务号:suliaoazhi;E-mail:plastics1972@163.com

网址:www.plasticsci.com.cn

### 中国塑料加工工业协会变更办公地址的通知

各相关单位:

中国塑料加工工业协会于2018年1月1日起,搬迁到新址办公,详细信息如下:

地址:北京市朝阳区东三环南路19号(联合国际大厦910、911房间)。

各部门联系电话不变:办公室:010-65220308(财务),010-65281529 综合业务部:010-65122056,010-65126978

会员部:010-65268096 信息部:010-65225256

会展部:010-65226803,010-65226807,010-65226810

中国塑料加工工业协会