

## 我国农用地膜污染治理方式研究进展

李文婷, 杨三维, 韩小英 (省部共建有机旱作农业国家重点实验室, 山西农业大学农业经济管理学院, 山西太原 030006)

**摘要** 农用地膜污染治理直接关系到我国农业的可持续发展。为加快农田“白色污染”治理, 从地膜覆盖栽培技术的适宜性研究、残膜回收利用技术以及传统地膜替代产品研发三个方面, 对我国农膜污染主要治理方式进行了总结分析, 提出以下建议: 要做好覆膜栽培技术适宜性的系统研究, 规范地膜的使用条件; 加强技术规范和市场监管, 推广 0.01 mm 以上标准地膜; 加强技术研究, 提高残膜回收机具的效率和生物降解地膜的性能; 加强宣传教育, 制定相应的政策鼓励废旧地膜回收和再利用。

**关键词** 农用地膜; 污染治理; 适宜性; 回收利用; 替代产品

中图分类号 S181 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)16-0010-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.16.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Research Progress on Control Methods of Agricultural Plastic Film Pollution in China

LI Wen-ting, YANG San-wei, HAN Xiao-ying (State Key Laboratory of Sustainable Dryland Agriculture (in preparation), College of Agricultural Economics & Management, Shanxi Agricultural University, Taiyuan, Shanxi 030006)

**Abstract** Agricultural plastic film pollution control is directly related to the sustainable development of agriculture in our country. In order to speed up the control of “white pollution” in farmland, in this paper, the main control methods of agricultural film pollution in China were summarized and analyzed from three aspects: the suitability of film mulching cultivation technology, the recycling technology of residual film and the development of traditional film substitute products. It suggests: study on suitability of plastic film cultivation techniques and standardize application conditions of plastic film; strengthen technical specifications and market supervision, popularization of standard plastic film above 0.01 mm to facilitate recycling; strengthen technical research, improve the efficiency of residual film recycling machinery and the performance of biodegradable mulch film; strengthen publicity and education, formulate corresponding incentive policies to encourage the recycling and reuse of waste plastic film.

**Key words** Agricultural plastic film; Pollution control; Suitability; Recycling; Substitute products

地膜覆盖栽培技术自 1978 年从日本引进, 40 多年来已在我国得到迅速推广应用, 对农业产生了巨大影响, 使农业生产方式和区域种植结构发生了革命性的变化<sup>[1]</sup>。据统计, 1982 年我国农用地膜使用量为 0.6 万 t, 覆盖面积 11.7 万 hm<sup>2</sup>, 2018 年达到 140.9 万 t, 1 776.47 万 hm<sup>2</sup>, 应用地域从北方干旱、半干旱地区向南方高山、冷凉地区扩展, 现已覆盖全国所有省(区、市)(图 1)<sup>[2]</sup>。2019 年, 我国农用地膜使用量为 137.9 万 t, 覆盖面积 1 762.81 万 hm<sup>2</sup>, 占全国总耕地面积的 13.0%<sup>[3]</sup>。西瓜、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都已使用上地膜<sup>[4]</sup>。在西北、东北和华北部分地区, 地膜覆盖已成为玉米生产应用最广的农艺技术之一。新疆棉花地膜覆盖技术应用面积已达到播种面积 90% 以上, 形成了不覆膜就无法进行棉花生产的局面<sup>[5]</sup>。Sun 等<sup>[6]</sup>通过整合分析 1979 年以来我国田间试验大数据后发现, 覆膜栽培可使 51 种作物产量平均提高 45.5%, 水分利用效率平均提高 58.0%。

然而, 覆膜栽培在增加作物产量的同时, 却给环境带来了恶劣影响。传统农用地膜的主要成分是聚乙烯, 这种物质相对分子质量大, 理化性能稳定, 自然条件下极难完全降解。随着覆盖年限、面积和用量的增加, 残膜在土壤中逐渐累积, 破坏土壤结构, 降低地力水平, 影响作物生长发育, 危害生态

环境, 造成“白色污染”<sup>[7-9]</sup>。2020 年生态环境部、国家统计局、农业农村部共同发布的《第二次全国污染源普查公报》显示, 截止到 2017 年, 我国覆膜农田土壤中地膜多年累积残留量高达 118.48 万 t。全国大部分耕作土壤均有不同程度的地膜残留污染。毕继业等<sup>[10]</sup>通过构建地膜覆盖技术对农作物产量影响的评价模型后研究发现, 湖北省在使用地膜覆盖技术 36 年后, 残膜造成的农作物减产率将大于由覆膜技术引起的农作物增产率, 残膜对农作物产量的负效应再持续 16 年将抵消由覆膜技术增加的全部农作物产量。由此可见, 地膜污染治理迫在眉睫。

近年来, 我国各级政府越来越重视农用地膜的污染治理工作, 积极推动残膜污染治理, 取得了一定成效, 但任务依然艰巨。该研究梳理了国内农用地膜污染主要治理方式的研究进展, 从地膜覆盖栽培技术的适宜性研究、残膜回收利用技术以及传统地膜替代产品研发三方面进行了总结归纳, 对其中存在的问题和未来发展方向进行了分析和展望, 以期为加快我国农田“白色污染”治理和农业可持续发展提供参考。

### 1 地膜覆盖栽培技术的适宜性研究

农用地膜是继种子、农药、化肥之后的第四大农业生产资料。农用地膜的使用, 能有效控制膜下土壤的温度和湿度, 减少水分和养分的流失, 促进作物的高产和稳产, 增加农民收益<sup>[11]</sup>。然而有研究者发现, 在我国北方, 特别是半干旱地区, 年度降水量变率大, 土壤墒情变化莫测, 地膜覆盖的增产作用受到了一定限制, 有些情况下甚至会出现严重减产。韩思明等<sup>[12]</sup>研究发现, 地膜覆盖穴播小麦产量高低与土壤底墒关系密切。夏闲期降水多底墒好的年份小麦增产, 夏闲

**基金项目** 山西省农业科学院博士研究基金项目(YBSJJ1807); 山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室自主研发项目(202001-3, 202105D121008-1-3); 国家重点研发计划项目(2018YFD1001000)。

**作者简介** 李文婷(1983—), 女, 山西运城人, 助理研究员, 博士, 从事生态农业和旱作栽培研究。

**收稿日期** 2021-11-29; **修回日期** 2021-12-26

期降水少底墒差的年份会出现增产不增收。李凤民等<sup>[13]</sup>研究覆膜春小麦产量变化时发现,覆膜增产不仅取决于播前土壤水分,后期降水不足同样会严重影响产量形成,导致减产和水分利用效率下降。张振华等<sup>[14]</sup>研究表明,覆膜春玉米抽雄开花期和灌浆期水分亏缺会造成产量下降,使玉米减产。张冬梅等<sup>[15]</sup>研究发现,覆膜处理提高了土壤温度,使玉

米生育期明显提前,但在玉米抽雄前后遭受重伏旱的情况下,最终导致玉米严重减产。笔者 2019 年在陕西榆林进行杂粮栽培试验时也发现,由于当年该地出现严重春夏连旱,覆膜播种后种子出苗极其困难,人工补水才顺利出苗,但最终产量仍然受到了严重影响。

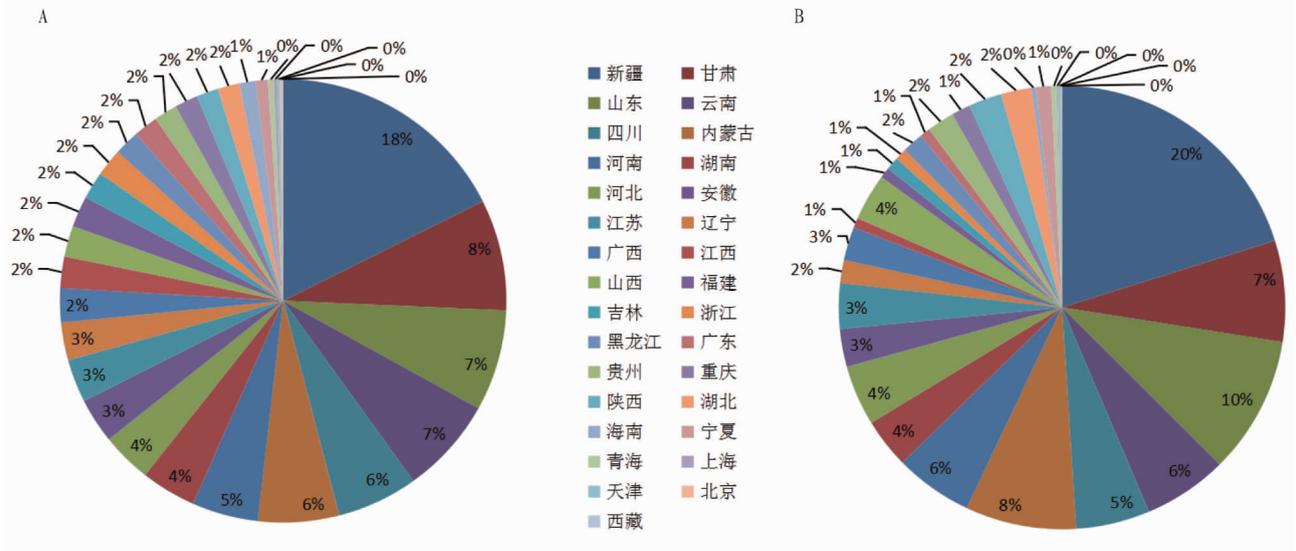


图 1 2019 年我国各地区农用地膜使用量占比 (A) 和覆盖面积占比 (B)

Fig.1 The proportion of agricultural plastic film usage (A) and coverage area (B) in various regions in China in 2019

覆膜栽培在我国不同地区对作物的影响也有较大差异。栗锡龄<sup>[16]</sup>研究发现,山西晋中平川区中熟型春播玉米不易应用地膜覆盖,否则会导致减产。韩小英等<sup>[17]</sup>基于 GIS 对山西省谷子种植气候进行区划分析后发现,山西省五台山、芦芽山、恒山等地区由于气候高寒,年均温低,积温小,蒸发量大,不适宜种植谷子。翟治芬<sup>[18]</sup>研究发现,西藏、青海的大部分地区和东北的大兴安岭、长白山地区由于热量不足等原因,不适宜覆膜栽培玉米。刘健峰等<sup>[19]</sup>研究表明,与东北、华北和南方地区相比,覆膜措施在西北地区增产效果更好。杨建设等<sup>[20]</sup>发现在不同生态类型区地膜覆盖小麦必须配套相应的栽培技术才能保证增产。由此可见,覆膜栽培技术并不适合我国所有的地区及作物,只有科学应用才能达到较好的增产效果。

从经济效益的角度出发,农民若想通过覆膜栽培技术增收,覆膜增产带来的经济效益必然要大于地膜的购买、铺设和回收成本。也就意味着,若是二者持平或是前者更低,再考虑到生态效益,农民是不需要也不应该进行覆膜栽培的。然而,虽然上述学者对覆膜栽培的适用条件进行了一些研究,但就整体而言,我国对地膜覆盖栽培技术的适宜性还缺乏系统深入的了解,还没有一个统一明确的标准能对该技术在不同条件下的使用提供参考或指导,农民在生产时往往出现地膜滥用的现象,既不利于增产增收,也给环境带来极大污染,对资源造成了浪费。因此,如何系统深入的了解覆膜对土壤环境和作物生长的影响,探讨覆膜栽培的适宜条件,完善不同条件、不同作物地膜覆盖技术,是我国地膜产业减

量增效发展急需考虑的问题。

## 2 残膜回收利用技术的研究

日本、韩国、欧洲、美国和南美洲等地区使用的地膜主要以高厚度( $\geq 0.02$  mm)、高强度为主,使用后不宜破碎,回收效率高。我国市场上生产流通的普通聚乙烯地膜不同产品间质量差异很大。20 世纪 90 年代制定的地膜国家标准(GB 13735—92)中规定,地膜标称厚度为(0.008 $\pm$ 0.003) mm。但在实际生产中,为了降低成本,大部分地膜的厚度都没有达到标准,0.005 mm 以下的超薄地膜随处可见。为规范生产、引导使用、提高质量和促进回收,参考国际相关标准,2017 年发布的 GB 13735—2017《聚乙烯吹塑农用地膜覆盖薄膜》强制性国家标准将地膜最低厚度提高到 0.010 mm(负极限偏差为 0.002 mm)<sup>[21]</sup>。但 2019 年初,相关机构通过电商平台和农资销售市场购买了 104 个地膜样品进行检测,发现其中符合国标强制性指标要求的只有 2 个,不合格率达 98.1%,低于 0.010 mm 的样品占 95.2%,低于 0.008 mm 的样品占 85.6%,低于 0.006 mm 的样品占 62.5%<sup>[22]</sup>。这些超薄地膜强度低,使用过程中非常容易破碎,与土壤、秸秆混杂在一起,给回收工作带来了极大困难。

农田残膜的回收分人工捡拾和机械回收两种,目前我国主要以人工捡拾为主。系统普查结果表明,国内 90% 残膜回收是通过人工捡拾完成。但从全国范围看,大多数农民对废弃地膜的捡拾积极性不高,总体效率低。2017 年,我国地膜使用总量为 143.7 万 t,实际回收量却只有 20 万 t 左右,回收率不到 14%。主要原因为:首先,大多数农民对残膜污染危

害的认识不足,缺乏环境保护意识,很少有农民愿意主动去清理农田里的废弃地膜;其次,超薄地膜成本低,老化后残膜过于破碎,回收需要付出更多的人力和时间成本,费时费力效益低;再次,相应的监督、管理和激励机制还不够完善,现有政策扶持与资金支撑的范围相对较小,不能很好地激励农民进行废旧地膜回收,也不利于相关政策和工作的规范化实施<sup>[23-25]</sup>。

我国残膜回收机具的研究始于 20 世纪 80 年代,重点围绕起膜、收膜、脱膜、集膜等关键部件以及膜土分离部件和膜杂分离机构等进行<sup>[26]</sup>。根据地域和农业技术措施等的不同,开展研究的机具也多种多样,有基于种植作物类型研究的机具,如玉米田地膜回收机、马铃薯田地膜回收机、棉田地膜回收机等;有基于农艺作用时间研究的机具,如苗期地膜回收机、秋后残膜回收机、播前残膜回收机等;有基于关键收膜部件研究的机具,如搂耙式地膜回收机、滚筒式地膜回收

机等;有基于地域特点研究的机具,如山地地膜回收机、西北旱作农业区 1FM-110 型地膜回收机等<sup>[27-29]</sup>。截止到目前,关于残膜回收机具的研究已经有了很大进展,但由于受造价、操作和功率损耗的限制,市场上出售的残膜回收机主要有 2 种,一种是搂耙式(图 2A),一种是筛铲式(图 2B)。前者结构简单、造价低、操作容易,但工作时只能收集地表和浅层农田的大块地膜,拾净率低,膜杂分离难度大;后者在收集残膜的同时对农田进行了整地和翻土,作业功能集成度高,但由于要对土壤进行筛分,工作效率低、功率大,工作过程中尘土大、工作环境恶劣。就全国范围而言,残膜机械回收整体效率比较低。只有西北地区,特别是新疆、甘肃和内蒙古等地区,地膜回收的机械化程度相对较高<sup>[22]</sup>。因此,如何研发改进残膜回收机具,研制出捡拾率高、功率损耗低、价格便宜且结构简单的回收机具是提高我国残膜回收效率的关键。



注:A.搂耙式残膜回收机;B.筛铲式残膜回收机

Note: A. Rake type residual film recovery machine; B. Screen shovel type residual film recovery machine

图 2 我国市场上常见的 2 种残膜回收机类型

Fig. 2 Two common types of residual film recycling machines in Chinese market

回收地膜的处理方式一般是丢弃、焚烧、填埋或交给回收加工企业再利用<sup>[30-32]</sup>。根据抽样调查,我国 80%左右的回收地膜被丢弃、焚烧或填埋,只有 20%左右能得到再利用。再利用方式一般是废旧地膜回收加工企业将回收的地膜清洗粉碎后,通过热熔等过程加工生产再生塑料颗粒,用再生颗粒生产铝塑板、聚乙烯管材、塑料制品或土工材料等深加工产品<sup>[33-35]</sup>。但由于人工捡拾和机械化回收工作效率不高,常常导致回收加工企业原料供应不足,无法满足实际生产能力,从而影响加工企业的生存。再加上企业回收地膜再利用过程中虽有国家补贴,但整体效益不高,净化回收地膜的过程中产生新污染带来的环保压力也对企业造成了一定的困扰,这些都影响到了企业的回收积极性,进而影响回收地膜的再利用效率。

### 3 传统地膜替代产品的研究

农用地膜因为难降解而成为“白色污染”,那么解决地膜的降解问题,研发易降解、无污染的地膜替代产品就成为防治“白色污染”的关键。我国现在研发的地膜替代产品有秸秆、纸地膜、液态地膜、保水剂、生物降解地膜等<sup>[36-38]</sup>。在这

些种类中,生物降解地膜无疑是一个热点。生物降解地膜是指一类在自然条件下可为微生物作用而引起降解的塑料地膜。微生物侵蚀这类地膜后,由于细胞的生长会使聚合物组分解、电离或质子化,从而分裂成低聚物碎片,然后被分解或氧化降解成水溶性碎片,再生成新的小分子化合物,最终分解成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ,因而不会对环境造成危害<sup>[39]</sup>。全国有多家企业和研究机构一直在开展相关工作,已研发生产出多种生物降解地膜产品,如根据降解原理和破坏形式不同,有完全生物降解地膜和添加型可生物降解地膜;根据原材料不同,有淀粉基、纤维素基、聚乳酸(PLA)基和聚(己二酸丁二酯-co-对苯二甲酸丁二酯)(PBAT)基可生物降解地膜等<sup>[40-43]</sup>。相比传统聚乙烯地膜,生物降解地膜既可以基本满足农作物生长发育的需求,又可以解决地膜残留的环境危害,目前在棉花、玉米、马铃薯、小麦等作物上都有了较好的应用效果,并基本形成了与之相匹配的农艺技术<sup>[44-47]</sup>。2019 年,我国生物降解地膜应用面积近 0.67 万  $\text{hm}^2$ ,主要分布在新疆、云南、甘肃、河北、内蒙古、黑龙江、吉林和辽宁等地区<sup>[22]</sup>。

然而,生物降解地膜的使用虽缓解了对生态环境的危害,但在推广应用中还存在着诸多问题。首先在价格上,生物降解地膜由于制备原材料价格较高,售价也比普通地膜高出好几倍,增加了农民的种植成本,农民购买意愿并不强烈;其次在性能上,多数生物降解地膜产品还存在拉伸强度不够、韧性不足等缺点,铺膜时容易断裂,机械化操作比较困难;再次在应用上,生物降解地膜的降解性能还不够稳定,可控性差,破裂时间过早,不能完全满足作物生长关键时期对地膜增温保墒的需求,应用效果较差。另外,生物降解地膜的降解性能目前世界上还没有统一、完整的评价方法和指标,没有针对生物降解地膜制定的相关标准,生物降解地膜产品缺少相应的市场监督管理,技术市场和产品市场都较为混乱<sup>[48-50]</sup>。因此,如何提高生物降解地膜的性能,保证生物降解地膜的降解可控,同时又能降低成本,是当前生物降解地膜产品研发急需解决的问题。

#### 4 建议

覆膜栽培是重要的农艺技术,为保障我国粮食安全和主要农产品有效供给做出了重大贡献,不可或缺,但地膜污染也愈加明显,已严重制约到我国生态文明建设和农业绿色高质量发展,治理刻不容缓。通过对我国农用地膜污染现状和主要治理方式研究进展的总结分析,为加快我国农田“白色污染”治理,提出以下几点建议:

首先,应做好覆膜栽培技术适宜性的研究。系统深入的了解覆膜对土壤环境和作物生长的影响,从作物种类、品种、光照、积温、降雨量、土壤墒情、栽培模式、地膜购买、铺设、回收成本等方面探讨覆膜栽培的适宜条件,完善不同条件不同作物地膜覆盖栽培技术,对地膜的推广应用给予指导和规范,避免地膜的不科学使用。

其次,应加强技术规范和市场监管,从生产和销售源头上把控好地膜的质量,以便于回收。要严格按照国家《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》(GB 13735—2017)标准,积极推广0.01 mm以上的标准地膜,探索以旧换新、政府引导等各类适合当地实际情况的新国标地膜落实机制,打击不合格地膜的生产和销售,让农民真正认识到使用超薄地膜的危害和使用标准地膜的好处,主动使用标准地膜。

再次,应加强对残膜回收机具和传统地膜替代产品的研发。要鼓励各地区各研究单位加强对残膜回收机具的研究,在规模经营主体中加大适宜性残膜回收机械的推广,提高残膜回收率。要加强对地膜替代产品的研发,尤其是生物降解地膜在原材料、配方、工艺和技术等方面的研究,提高生物降解地膜的质量并降低成本,普及新型地膜知识以及提升实际应用效果,在小规模、高价值的经营主体中加大适宜性生物降解地膜的使用。

同时,还应做好宣传教育,制定相应的激励政策鼓励回收和再利用。一方面,要让农民认识到地膜污染的危害性,实行捡拾交售奖励政策,提高农民捡拾积极性。另一方面,可以重点培育地膜回收加工企业,提高废旧地膜再利用能力。可以通过政策支持与资金扶持相结合的办法,加大对企

业的支持力度,鼓励企业开展技术创新,扩大生产规模,提高回收地膜的再利用效率,反过来促进对地膜的回收效率。此外,还应加强对各种配套栽培措施以及耕作制度的研究,通过合理的栽培措施和耕作制度,比如适期揭膜、倒茬轮作等,增加地膜的重复使用率,相对减少地膜的用量,从而减轻地膜污染。

地膜污染的防治是一个长期的工作,需要各部门、各行业和广大农民群众的共同努力、配合和参与。既要立足当下,更要着眼未来。只有实现多措并举的综合治理,才能保证我国地膜污染治理工作取得成效。

#### 参考文献

- [1] 中国农用塑料应用技术学会.新编地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:中国农业出版社,1998:1-15.
- [2] 许咏梅,房世杰,马晓鹏,等.农用地膜污染防治战略研究[J].中国工程科学,2018,20(5):96-102.
- [3] 国家统计局农村社会经济调查司.2020 中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [4] 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.
- [5] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
- [6] SUN D B,LI H G,WANG E L, et al.An overview of the use of plastic-film mulching in China to increase crop yield and water-use efficiency[J].National science review,2020,7(10):1523-1526.
- [7] 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):1-4.
- [8] STEINMETZ Z,WOLLMANN C,SCHAEFER M, et al.Plastic mulching in agriculture.Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?[J].Science of the total environment,2016,550:690-705.
- [9] ZHANG Q Q,MA Z R,CAI Y Y, et al.Agricultural plastic pollution in China:Generation of plastic debris and emission of phthalic acid esters from agricultural films[J].Environmental science & technology,2021,55(18):12459-12470.
- [10] 毕继业,王秀芬,朱道林.地膜覆盖对农作物产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(11):172-175.
- [11] 严昌荣,何文清,刘爽,等.中国地膜覆盖及残留污染防治[M].北京:科学出版社,2015:1-10.
- [12] 韩思明,王虎全.旱作地膜覆盖六播小麦底墒与产量关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(2):91-94.
- [13] 李凤民,鄢珣,王俊,等.地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J].中国农业科学,2001,34(3):330-333.
- [14] 张振华,蔡焯杰.水分亏缺对覆膜玉米生长发育及产量的影响[J].灌溉排水,2001,20(2):13-16.
- [15] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.
- [16] 栗锡龄.晋中平川区中熟型春播玉米不宜应用地膜覆盖[J].山西农业科学,1988,16(4):37-40.
- [17] 韩小英,张蕾,韩伟宏,等.基于 GIS 的山西省子种植气候区划分析[J].山西农业科学,2020,48(4):609-614.
- [18] 翟洽芬.应对气候变化的农业节水技术评价研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [19] 刘健峰,朱博文,张显,等.地膜覆盖措施在中国的区域适用性和区域因子分析:以玉米为例[J].水利与建筑工程学报,2020,18(4):55-62,80.
- [20] 杨建设,信乃全.地膜覆盖小麦的生态适宜性及其配套技术研究[J].生态农业研究,1998,6(4):50-53.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜:GB 13735—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [22] 严昌荣,刘勤.我国地膜应用与地膜残留污染防治新思考[EB/OL].(2020-01-13)[2021-05-27].http://caas.cn/xwzx/zjgd/300299.html.
- [23] 薛颖昊,靳拓,周洁,等.典型区域地膜使用及回收再利用情况的调查分析:基于河北、内蒙古、四川调研数据[J].中国农业资源与区划,2021,42(2):10-15.

- [59] ZHANG Y, XUE Y B, LI H, et al. Inhibition of cell survival by curcumin is associated with downregulation of cell division cycle 20 (Cdc20) in pancreatic cancer cells [J]. *Nutrients*, 2017, 9(1): 1-15.
- [60] MOHANTY C, DAS M, SAHOO S K. Emerging role of nanocarriers to increase the solubility and bioavailability of curcumin [J]. *Expert Opin Drug Deliv*, 2012, 9(11): 1347-1364.
- [61] 凌元亮, 徐磊, 吴辰. 姜黄素通过 miR-199b-5p 抑制结肠癌 SW1116 细胞的增殖、迁移和侵袭 [J]. *中国药理学通报*, 2020, 36(7): 957-964.
- [62] 李文娟, 陈艳华, 王娜, 等. 姜黄素对宫颈癌细胞系中 c-Jun 及 JAK-STAT 信号传导通路的影响机制研究 [J]. *广西医科大学学报*, 2020, 37(2): 213-218.
- [63] 宋珂. 姜黄素调控 MicroRNA-1246 及对膀胱癌 T24 细胞的放疗增敏机制探究 [J]. *中医临床研究*, 2020, 12(5): 1-3.
- [64] 周霖, 庚伟, 安庆, 等. 姜黄素的生物功能在治疗骨关节炎疾病中的研究进展 [J]. *广东医学*, 2019, 40(19): 2831-2834.
- [65] 肖宝平, 陈露, 曾瑛, 等. 姜黄素提高 PC12 细胞的抗氧化能力 [J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 172-179.
- [66] 崔冬月, 李媛媛, 肖宝平, 等. 姜黄素抗氧化的初步机理研究 [J]. *食品安全导刊*, 2019(20): 68-72.
- [67] 李伟锋, 蒋建兰. 姜黄素药理作用的研究现状 [J]. *中国临床药理学杂志*, 2017, 33(10): 957-960.
- [68] 吴洲国. 姜黄素防治流感病毒作用实验研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2009.
- [69] 刘妮, 孟以蓉, 张俊丽, 等. 姜黄素体外抗流感病毒 H1N1、H3N2 实验研究 [J]. *浙江中西医结合杂志*, 2008, 18(9): 534-535.
- [70] 夏承来, 罗红彬, 严鹏科, 等. 姜黄素对 HIV-1 患者 CD4<sup>+</sup>T 细胞 TNF- $\alpha$  表达的影响 [J]. *中药材*, 2011, 34(8): 1318-1320.
- [71] ZHENG Y T, PAN C X, ZHANG Z J, et al. Antiaging effect of *Curcuma longa* L. essential oil on ultraviolet-irradiated skin [J/OL]. *Microchem J*, 2020, 154 [2021-04-25]. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104608>.
- [72] 雷慧. 姜黄油降血脂与抗肿瘤活性研究 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2013.
- [73] 赵泽贞, 温登瑰, 魏丽珍, 等. 姜黄油抗突变作用机理进一步试验研究 [J]. *癌变·畸变·突变*, 1999, 11(2): 75-77.
- [74] 陈功义, 徐端红, 郝振芳. 姜黄油对猪细小病毒体外抑制作用研究 [J]. *中兽医医药杂志*, 2016, 35(3): 8-10.
- [75] 黄博. 姜黄对照药材标定技术及质量评价研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2012.
- [76] 宋玉丹. 姜黄质量研究与评价 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.
- [77] 曾瑾, 李青苗, 王晓宇, 等. 基于抗  $\beta$ 1-42 淀粉样蛋白活性的不同产地姜黄质量评价研究 [J]. *中药药理与临床*, 2019, 35(1): 94-99.
- [78] 廖婉, 高天慧, 林美斯, 等. 姜黄属中药重金属元素与道地性的相关性研究 [J]. *中草药*, 2018, 49(12): 2833-2839.
- [79] 卢莹莹, 徐露露, 解清, 等. 不同产地姜黄重金属含量测定 [J]. *世界中医药*, 2019, 14(5): 1116-1118.
- [80] 陈晋红. 不同产地姜黄药材质量比较研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2009.
- [81] 杨荣, 杨红, 师皎, 等. 7 种药材中重金属及有害元素的化学形态分析 [J]. *中成药*, 2015, 37(2): 350-354.
- [82] 李子宜. 姜黄色素的提取、分离及其在彩妆产品中的应用 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [83] 张卫, 张保军, 李富华. 姜黄色素的市场与产品开发 [J]. *中国食品添加剂*, 2001(3): 48-50.
- [84] 庞倩茹, 陈义娟, 郭松, 等. 姜黄根提取物中姜黄油对黄瓜白粉病的控制作用 [J]. *中国植保导刊*, 2015, 35(2): 63-66.
- [85] 冉启良. 姜黄综合利用的现状 [J]. *食品科学*, 1991(12): 36-38.
- [86] BAMPIDIS V, AZIMONTI G, DE LOURDES BASTOS M, et al. Safety and efficacy of turmeric extract, turmeric oil, turmeric oleoresin and turmeric tincture from *Curcuma longa* L. rhizome when used as sensory additives in feed for all animal species [J]. *EFSA J*, 2020, 18(6): 1-31.

(上接第 13 页)

- [24] 郑兆峰, 朱润云, 路遥, 等. 农户地膜回收意愿和行为的影响因素研究 [J]. *生态经济*, 2021, 37(2): 202-208.
- [25] 王太祥, 杨红红. 社会规范、生态认知与农户地膜回收意愿关系的实证研究: 以环境规制为调节变量 [J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(3): 14-20.
- [26] 王久鑫, 赵武云, 刘小龙, 等. 玉米全膜双垄沟残膜回收机优化设计与试验 [J]. *农业机械学报*, 2021, 52(1): 119-128.
- [27] 胡科全, 李兴国, 张印生, 等. 玉米地膜回收机的研究设计 [J]. *现代化农业*, 2020(7): 65-66.
- [28] 李东, 赵武云, 辛尚龙, 等. 农田残膜回收技术研究现状与展望 [J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(5): 204-209.
- [29] 董秋鹏, 蒋永新, 王毅超, 等. 滚筒式残膜回收机机架强度分析与试验 [J]. *农机化研究*, 2021, 43(9): 22-28.
- [30] 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.
- [31] 蒋德莉, 陈学庚, 颜利民, 等. 农田残膜资源化利用技术与装备研究 [J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(1): 179-190.
- [32] 马兆嵘, 刘有胜, 张芊芊, 等. 农用塑料薄膜使用现状与环境污染分析 [J]. *生态毒理学报*, 2020, 15(4): 21-32.
- [33] 马彦, 杨虎德. 甘肃省农田地膜污染及防控措施调查 [J]. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(4): 478-483.
- [34] 马蕾, 吕金良. 我国农用塑料薄膜使用现状及回收机制研究 [J]. *农业科技通讯*, 2019(11): 19-23.
- [35] 梁荣庆, 陈学庚, 张炳成, 等. 新疆棉田残膜回收方式及资源化再利用现状问题与对策 [J]. *农业工程学报*, 2019, 35(16): 1-13.
- [36] 张勇. 土壤环境白色污染的替代产品——液态地膜 [J]. *吉林农业*, 2000(8): 27.
- [37] 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.
- [38] 赵记军, 于显枫, 张绪成. 地膜源头减量化技术可行路径探讨 [J]. *中国农学通报*, 2021, 37(9): 57-63.
- [39] KASIRAJAN S, NGOUAJIO M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review [J]. *Agronomy for sustainable development*, 2012, 32(2): 501-529.
- [40] 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 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(9): 439-443.
- [41] 余旺, 王朝云, 易永健, 等. 国内生物降解地膜研究进展 [J]. *塑料科技*, 2019, 47(12): 156-165.
- [42] 王妮, 王春红, 张红霞, 等. 聚乳酸生物降解地膜研究进展 [J]. *塑料科技*, 2017, 45(11): 115-119.
- [43] 丁茜, 余佳, 蒋馨漫, 等. 生物降解地膜材料的研究进展 [J]. *工程塑料应用*, 2019, 47(12): 150-153.
- [44] 夏文, 林涛, 邓方宁, 等. 生物降解地膜降解性能对新疆棉田籽棉产量形成的影响 [J]. *农业资源与环境学报*, 2020, 37(6): 951-959.
- [45] 马明生, 郭贤仕, 柳燕兰. 全生物降解地膜覆盖对旱地土壤水分状况及春小麦产量和水分利用效率的影响 [J]. *作物学报*, 2020, 46(12): 1933-1944.
- [46] 邓方宁, 林涛, 何文清, 等. 生物降解地膜覆盖对棉田土壤水-热-盐及产量的影响 [J]. *生态学杂志*, 2020, 39(6): 1956-1965.
- [47] 代健康, 崔兴洪, 谭洪应, 等. 可控全生物降解地膜对玉米生长的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(21): 71-72, 133.
- [48] 何文清, 刘琪, 李元桥, 等. 生物降解地膜新材料的发展及产业化前景 [J]. *生物产业技术*, 2017(2): 7-13.
- [49] 冯欢, 何文清, 张凤华, 等. 生物降解地膜性能及对棉花产量的影响评价研究 [J]. *生态环境学报*, 2019, 28(3): 580-586.
- [50] 胡美华, 徐友利, 邵伟强, 等. 全生物降解地膜研发推广应用现状与对策措施 [J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(5): 703-706.