

残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展

邹小阳^{1,3}, 牛文全^{1,2}, 刘晶晶⁴, 李元², 张明智⁴, 段晓辉²

(1. 中科院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:残膜作为一种持续性农业污染物,对农业生态系统的危害作用备受国内外学者关注,关于残膜对土壤性质和作物生长发育的不利影响已被很多研究证实。综述了残膜分布状况和残膜对土壤理化性质和生物性质、作物生理指标等方面的影响,具体概述了中国残膜的分布特征,残膜对土壤体积质量、孔隙度、土壤透气性、土壤重金属、酚酸酯类化合物质量分数、土壤酶活性和作物生长发育等方面的影响。为减弱残膜对土壤性质和作物的不利影响,今后应在以下几方面进行深入研究:不同类型作物的最佳揭膜期和地膜厚度;研发和推广新型残膜回收机械;残膜对农业生态系统的长期效应;残膜对不同土壤和区域的影响规律。

关键词:残膜;土壤性质;作物;潜在风险

中图分类号:X53

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.07.009

邹小阳,牛文全,刘晶晶,等.残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展[J].灌溉排水学报,2017,36(7):47-54.

0 引言

地膜覆盖技术在农业领域的应用源于20世纪50年代,日本首次在草莓种植中采用覆膜技术,随后推广至其他作物^[1]。1978年该技术引入我国,覆膜具有促进作物早熟、增温保墒、抑制杂草和防治病虫害等诸多优点^[2-7],目前已推广应用到棉、粮、瓜、果、茶等40余种作物,农膜使用量和覆盖面积均呈持续增长趋势^[8]。覆膜种植技术提高农业生产力和改变生产方式的同时,会产生一些负面效应。由于地膜主要成分为低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)和线性低密度聚乙烯(LLDPE)等高分子聚合物^[9],分子结构十分稳定,可在土壤中残留200~400 a^[10]。大量研究表明,残膜不仅破坏土壤结构,抑制微生物活性,阻碍水肥传输,引起作物减产,而且增大农事作业阻力,造成次生环境污染,对农业生产和生态环境构成巨大威胁^[11-13]。调查发现,我国引入覆膜种植技术以来,地膜使用量增加了200多倍,达249.32万t,地膜残留量约为总使用量的1/4~1/3^[14-15],随覆膜年限的延长而增加,残膜对土壤和作物的危害加剧。国家相关部门对残膜污染问题的重视程度加强,2015年我国农业部颁发的《关于打好农业面源污染防治攻坚战实施意见》中明确了未来5a的残膜污染治理目标,力争到2020年将残膜回收率提升至80%以上,实现残膜资源化利用。

基于中国知网、维普、万方、Web of Science和Google Scholar等中英文数据库,采用关键词(地膜残留、残膜、土壤、作物)检索关于残膜危害土壤和作物的研究文献。部分文献中的试验数据以图形式表示,采用Image J 2x 2.1.4.7软件对图进行数值化。兹对我国残膜污染现状、残膜对土壤性质和作物生长的影响进行了综述,以为残膜污染的防治和修复提供参考依据。

1 地膜的概念和残膜污染的形成

地膜也称地面覆盖薄膜,通常以聚乙烯或聚氯乙烯等高分子聚合物为主要原料,同时添加各种助剂经

收稿日期:2016-05-11

基金项目:国家支撑计划课题(2015BAD24B01)

作者简介:邹小阳(1993-),男。硕士研究生,主要从事土壤水分运动研究。E-mail:zouxiaoyang14@mails.ucas.ac.cn

通信作者:牛文全(1972-),男。研究员,主要从事灌溉理论与节水技术研究。E-mail:nwq@nwsuaf.edu.cn

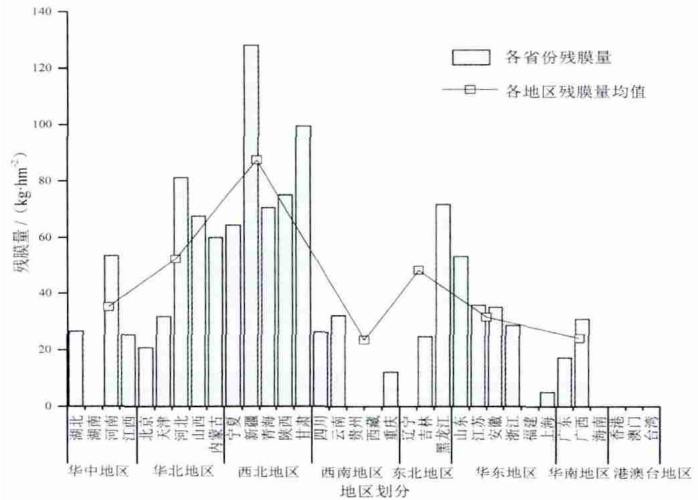
吹塑形成的薄膜^[9]。地膜具有保水保土和增温保墒等功能,应用规模逐年扩大^[16],地膜在农业生产和水土资源高效利用方面发挥了重要作用^[17]。目前,我国农民为降低生产成本,倾向使用厚度低于0.008 mm的薄地膜,在节约成本的同时也降低了地膜抗拉强度和使用寿命。该类薄地膜受自然风化作用、田间机械作业和动物踩踏的影响,极易破碎,与土壤、秸秆、作物残茬等缠绕,破坏土壤-作物生态系统平衡,恶化农田环境。残膜回收机械的推广率和回收率均较低,且人工捡拾残膜费时费力,农民对残膜回收的积极性不高,造成了现阶段我国残膜污染日趋加剧的局面^[11]。

2 我国残膜分布特征

残膜在土壤中的分布受地膜材质、土壤理化性质等自然因素和农耕作业等人为因素的影响,使残膜在不同区域、土层和残膜面积上均存在明显差异。

2.1 残膜分布的区域差异性

由于地膜使用量、覆膜率和种植模式不同,残膜空间分布存在明显区域性,残膜的区域特征与地膜使用量的空间分布规律类似^[11]。根据我国地理区域划分,分为8个区域,分别为华东地区(包括山东、江苏、安徽、浙江、福建、上海);华南地区(包括广东、广西、海南);华中地区(包括湖北、湖南、河南、江西);华北地区(包括北京、天津、河北、山西、内蒙古);西北地区(包括宁夏、新疆、青海、陕西、甘肃);西南地区(包括四川、云南、贵州、西藏、重庆);东北地区(包括辽宁、吉林、黑龙江);港澳台地区(包括香港、澳门、台湾)。汇总前人的调查结果发现,大部分研究关注我国华中、华北、西北、西南、东北、华东和华南地区。为消除覆膜年限对残膜量的影响,筛选覆膜年限5 a内的研究结果,取平均值代表各省份的残膜量水平,绘制华中^[18-22]、华北^[16,23-29]、西北^[30-49]、西南^[50-52]、东北地区^[27,28,53-54]、华东地区^[20,24,55-56]、华南地区^[20,57]和港澳台地区各省份残膜量和各地区残膜量均值的变化趋势(图1)。



注 图中无柱状条表示数据缺省,各地区残膜量均值为残膜量的算术平均值。

图1 我国农田残膜的区域分布规律

由图1可知,华中地区的河南省残膜量最高,达到53.54 kg/hm²,这是因为河南省是华中地区覆膜种植面积最大的省份,且覆膜宽度均高于湖北省和江西省;在华北地区,残膜量最高省份为河北省,高达81.25 kg/hm²,最低残膜量出现在北京市,为20.85 kg/hm²,造成该差异的原因是北京市的地面硬化率高于华北地区^[58],河北省地膜使用量高达6.22万 t,且花生和棉花覆膜种植面积占全省覆膜面积的58.9%;在西北内陆地区,残膜量从高到低的省份(自治区)分别为新疆维吾尔自治区、甘肃省、陕西省、青海省和宁夏回族自治区,新疆维吾尔自治区的残膜量高达128.12 kg/hm²,是现有调查资料中我国残膜量最高的地区,这与其棉花覆膜种植面积大和地膜使用量高有关;西南地区的残膜量水平较低,残膜污染最严重的省份为云南省,四川省和重庆市的残膜量较云南省分别降低了18.29%和62.25%,这是因为云南省的旱地农业面积高于四川省和重庆市,覆膜种植面积较高^[59];华东地区山东省、江苏省、安徽省、浙江省和上海市的残膜量依次递减,与地膜使用量的变化规律一致;华南地区残膜量最高为广西壮族自治区,为30.96 kg/hm²。

华中、华北、西南、东北、华东和华南地区的残膜量较西北地区分别降低了59.84%、40.23%、73.12%、44.87%、63.89%和72.41%。针对我国残膜分布存在显著区域差异的现状,今后应当根据各省市的自身特色,调整农业生产结构,建立健全农业生态环境保障体系,并推广适宜本地区的农作方式,提高地膜使用效率和降低地膜残留量。

2.2 残膜累积效应

残膜在自然条件下难以分解,且回收率低(<1/3),残膜量随覆膜种植年限的增加而增大。何文清等^[11]调查发现覆膜5~10、10~15和15 a以上,农田耕层的残膜量分别为173.6、309.5和409.6 kg/hm²,随覆膜年限逐渐增加。马辉等^[16]发现连续覆膜2、5和10 a,棉田残膜量分别为59.1、75.3和103.4 kg/hm²,残膜数量呈递增

趋势。杨彦明等^[29]发现残膜的累积效应可使残膜较少的耕地转变为残膜污染严重的耕地,与地膜使用量无显著正相关关系。牟燕等^[33]发现甘肃省典型旱作区的残膜量和残膜数量均随覆膜年限增加而增大。周明东等^[47]以新疆棉田、玉米田和加工番茄田为研究对象,发现残膜量均随覆膜年限的增加呈上升趋势。董合干等^[48]调查发现,连续覆膜25 a的棉田,残膜量和残膜个数与覆膜年限均呈正相关关系。以上研究表明随覆膜年限延长,残膜在土壤中的累积量增大。

2.3 残膜分布的层次性

经农业耕作,大量表层残膜从地表进入深土层,分布于土壤耕作层。但由于各地区耕作措施不同,不同土层的残膜分布不一致。严昌荣等^[1]对我国典型农区进行调查,发现残膜主要集中于0~30 cm耕作层,0~10、10~20和20~30 cm土层残膜分配比例分别为>50%、10%~40%和<10%。蔡金洲等^[20]调查发现,南方平原区残膜主要集中于0~20 cm土层,该土层的残膜平均量为11.27 kg/hm²,约占0~30 cm耕作层残膜总量的78.9%。王鹏等^[31]调查了新疆建设兵团0~40 cm土层残膜的分布状况,发现0~10、10~20、20~30和30~40 cm土层残膜量的分配比例分别为67%、18%、11%和4%。刘建国等^[44]发现长期连作棉田中,0~30 cm土层中残膜量所占比例达85%,随覆膜年限增加,0~15 cm土层残膜量降低,而15~30 cm土层残膜量和残膜破碎度均增加。靳伟等^[49]发现新疆棉田0~30 cm土层的残膜量随土层深度增加而递减的趋势。黄晶晶等^[52]发现四川攀西地区,90%以上的残膜集中于0~20 cm土层,耕作层以下残膜量随覆膜年限增加呈线性累积趋势。曾招兵等^[57]调查发现,广东省覆膜种植农区的残膜主要分布于0~20 cm土层,占残膜总量的80%以上。根据上述研究,初步认为残膜在0~40 cm土层均有分布,主要集中于0~30 cm耕作层,随土层深度增加而减少。南方和北方残膜在土层中的分布情况存在细微差异,可能是因为种植模式和覆膜次数不同,及耕作机械工作的土层深度不同产生的差异。

2.4 残膜形态多样性

在自然因素和人为因素的影响下,土壤中残膜形态结构发生变化。残膜呈片状、棒状、球状和卷曲圆筒状等不规则形态,残膜在土壤中的分布形态也呈现多样化,主要为水平状、倾斜状和垂直状分布^[28]。残膜在土壤中受温度、光照、土壤微生物和人为翻耕因素影响逐渐破碎,形成大膜(>25 cm²)、中膜(4~25 cm²)和小膜(<4 cm²),随覆膜年限增加,小膜数量逐渐增多。徐刚等^[28]通过电镜扫描,发现残膜表面存在不同程度的龟裂和片状分层现象,且表层出现裂孔和丝状残片;华北和东北地区土壤中残膜尺寸小于15 cm,东北地区大膜数量低于华北地区。牟燕等^[33]发现在不同覆膜年限地块中,不同面积残膜所占比例大小分别为:小膜>中膜>大膜。马彦等^[35]通过问卷调查和实地调研方法研究发现,甘肃地区0~30 cm土层中小膜、中膜和大膜数量分别为56.5、28.5和12万块/hm²,残膜数量随面积增大而递减。严昌荣等^[46]发现新疆石河子地区,土壤中小膜数量最多。

以上研究初步表明,残膜中以小膜为主,残膜在土壤中的分布形状呈不规则形。但现阶段根据残膜面积分类的标准未统一,使一些研究丧失了参考价值。对田间残膜形状和分布形态缺少研究,需在统一的残膜面积分类标准前提下,加强残膜分布形态对土壤性质的影响研究,为残膜影响土壤水动力学性质的相关研究提供理论基础。

3 残膜对土壤和作物的潜在风险

为改善地膜的柔软性、耐寒性和光稳定性,在生产中添加邻苯二甲酸酯类等增塑剂,增塑剂挥发至空气中对作物生长产生很大的危害^[60]。大量研究表明,残膜不仅对土壤体积质量、孔隙度、土壤透气性和导水率等物理性质产生很大的影响,而且对土壤中重金属、酞酸酯类化合物质量分数、作物生长发育和土壤酶活性

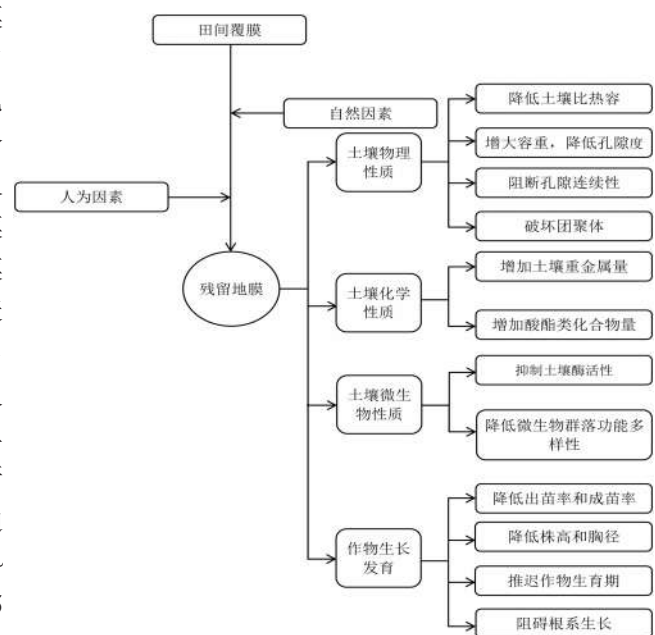


图2 残膜对土壤和作物的潜在危害

产生不利影响,威胁农业可持续发展(图2)。

3.1 残膜对土壤物理、化学和微生物性质的影响

残膜主要影响土壤耕作层,对毛管水、降水和灌溉水入渗产生阻碍作用,影响土壤吸湿性,减缓水分运移速度,减少土壤水分入渗量^[12]。王频^[10]认为残膜会降低土壤比热容,加快土壤热传递,使土壤降温加快。靳伟^[49]发现,残膜量越多,土壤体积质量越大,而土壤含水率和孔隙度越小。吾普尔江等^[61]认为土壤中残膜会阻断或改变土壤孔隙连续性,增大水分入渗阻力,降低土壤水分入渗率,削弱土壤抗旱能力。魏迎春等^[62]认为残膜会破坏土壤结构,增大地下水下渗难度,引起土壤次生盐渍化。Chen等^[63]研究发现残膜会破坏土壤团聚体结构,造成土壤板结,严重污染土壤环境和微生物生存环境。

残膜改变土壤结构和孔隙度等物理性质,从而影响土壤水分运移。目前关于残膜量、残膜埋深等对土壤水力学性质和土壤结构的影响开展了大量研究。刘建国等^[44]分析了长期连作下残膜对土壤性质的影响,发现土壤孔隙度、田间持水率与残膜量呈正相关关系。李仙岳等^[64]研究表明湿润锋运移距离、湿润体和土壤饱和导水率均随残膜量增加而减小,且入渗速率的不确定性增加。王志超等^[65-66]研究发现随着残膜埋深增加,土体内含水率增加,湿润体面积缩小。李元桥等^[67]分析了不同残膜量对土壤水分入渗过程的影响,发现湿润锋的变化趋势在0~10 cm和10~20 cm土层之间存在差异。解红娥等^[68]研究发现残膜量与土壤体积质量呈对数递增关系,与土壤水分运移速率呈对数递减关系。目前关于残膜对土壤物理结构的研究多为定性描述,通过可视化技术定量研究残膜对土壤物理性质的影响较少。

农膜中添加了稳定剂和增塑剂等各种化学品,在自然条件下分解产生毒害作用。于立河等^[69]研究发现,生产地膜过程中添加的邻苯二甲酸酯类物质具有生物累积性和低水溶性,渗入土壤后,危害土壤环境和食物链安全。于立红等^[70]通过盆栽和大田试验,发现土壤中重金属质量分数随残膜量增加呈显著上升趋势,高残膜量土壤的重金属质量分数明显高于低残膜土壤,土壤中Cd质量分数均超标。目前主要通过分析残膜中添加物对土壤性质的危害来间接反映残膜对土壤化学性质的影响,关于残膜自然分解产生的有害物质对土壤化学性质的影响缺少长期监测。

残膜会减小土壤孔隙度和降低通气性,破坏土壤空气循环过程,影响土壤微生物生理活动。Mumtaz等^[71]认为残膜会阻隔土壤空气的流通通道,使CO₂体积分数上升,恶化微生物和蚯蚓等昆虫生存环境,破坏土壤生态系统的良性循环。秦华等^[72]发现残膜分解过程中产生的邻苯二甲酸二酯明显抑制土壤脱氢酶活性,降低土壤微生物群落功能多样性。Wang等^[73]发现土壤中磷酸酶和尿酸氧化酶对邻苯二甲酸二酯较敏感。现阶段关于残膜对土壤酶活性的影响研究较多,但关于残膜对土壤中其他细菌、微生物量和微生物碳氮等方面的影响研究较少,今后应加强该方面的研究,为残膜污染区制定科学的施肥制度和实现土壤可持续利用提供理论依据。

表1 残膜对部分作物的危害

作物名称	残膜量	试验类型	残膜的危害	参考文献
小麦	0、37.5、75、150、225、300、375和450 kg/hm ²	田间试验 一季	随残膜量增大,小麦出苗推迟,基本苗和整齐度均下降,单株根质量和单产减小,小麦抗旱性和抗病性削弱。	[60]
茄子	2.5、5.0、7.5和10.0 g/m ²	小区试验 一季	地上鲜质量、根鲜质量、主根长和株高较对照分别降低13.95%~42.07%、8.47%~43.92%、25.64%~44.62%和6.79%~14.84%。	[60]
白菜	2.5、5.0、7.5和10.0 g/m ²	小区试验 一季	根鲜质量和主根长较对照分别降低31.79%~41.04%和30.11%~46.02%。	[60]
棉花	0、250、500、1 000、1 500和2 000 kg/hm ²	大田试验 一季	产量降低21.1%~45.2%,成苗率下降13%~21.1%。	[44,48,74]
花生	0、45、90、180、360、720和1 440 kg/hm ²	田间试验 一季	随残膜增多,单株果数、产量、花生分枝数、叶面积、干物质量和根系吸收面积减少。	[75]
番茄	45、90、180、360、720和1 440 kg/hm ²	小区试验 4个月	残膜量低于360 kg/hm ² 时,对番茄生育性状无明显影响,残膜量为720 kg/hm ² 和1 440 kg/hm ² 时,番茄产量较无残膜降低18.1%和18.8%。	[76]
水稻	50 g(埋深5 cm),50 g(埋深10 cm)	田间试验 一季	埋深10 cm残膜使水稻产量降低6%~10%。	[77]

3.2 残膜对作物生长发育的潜在威胁

残膜破坏土壤结构,阻碍土壤水肥运移,造成作物种子发芽率降低,抑制农作物生长发育(表1)。董合干等^[48]发现根系较为发达的棉花品种更适应残膜污染的土壤,棉花的成苗率和产量均随残膜量增加而降低。赵素荣等^[60]研究发现残膜对玉米、小麦、花生、茄子和白菜作物的生育性状和产量均产生负面影响。姜益娟等^[74]在残膜田间微区试验和盆栽试验中发现,残膜量与棉花出苗率呈负相关关系,含残膜处理出苗率比无残膜低9.9%~19.1%。孙孝贵等^[78]调查发现棉花种子播在含残膜土壤中,烂种率和烂芽率均增大,侧根数减少。辛静静等^[79]基于大田试验,发现玉米出苗率随残膜量增加而降低,残膜对玉米的影响程度在苗期和拔节期最为明显。以上研究均以作物的一个生长周期为研究对象,缺少长期监测试验,并且残膜对作物不同生育阶段生长发育和干物质积累的影响规律尚不清楚,今后应加强残膜对作物不同生育期生长发育和干物质积累的影响研究,同时进行长期定位监测试验。

4 结论与展望

残膜作为一种持续性农业污染物,改变土壤物理结构,阻碍土壤水肥运移和空气流通,威胁土壤生物生存,影响作物的生长发育,导致作物减产和果实品质恶化,并妨碍农事操作和破坏环境景观。为减弱残膜对土壤性质和作物的不利影响,今后应在以下几个方面努力。

4.1 探明不同作物的最佳揭膜期和地膜厚度

揭膜期的选择十分重要,需选在对作物后期生长影响较小的时期,且土壤湿润疏松,无板结。已有研究发现,山西地区海拔高于1 000 m的玉米地,最佳揭膜期为喇叭口期,而海拔低于1 000 m地区的最佳揭膜期可提前至拔节期^[80]。新疆地区棉花的最佳揭膜期为第一次灌水前,地膜回收率提升至90%以上^[81]。现阶段对玉米和棉花等覆膜种植作物的最佳揭膜期研究较多,今后应加强其他覆膜种植作物最佳揭膜期的研究,确保农业生态安全。

我国普遍使用的地膜为薄地膜,厚度一般低于0.008 mm,抗拉强度低,极易破碎。当地膜厚度增至0.012 mm,抗拉强度提升2.03倍,残膜回收机的捡拾率相应提高2.75倍^[82]。并适当添加抗老化剂,以延长地膜使用寿命,增强地膜保温保墒能力,利于人工揭膜。今后需完善相关法律法规,禁止生产和使用厚度低于0.008 mm的地膜。不同区域和作物类型的最佳地膜厚度存在差异,张富林等^[83]发现当地膜厚度超过临界值后,残膜量随地膜厚度增加而增大,加剧了残膜污染。因此,未来研究应充分考虑地膜厚度和生产成本2个因素,研究各地区不同作物的最佳地膜厚度,实现作物高产优质和经济效益良好的目标。

4.2 研发和推广新型残膜回收机械

传统的人工回收残膜方式存在诸多缺点,如劳动强度大、工作效率低下、残膜回收率低和劳务费较高等。残膜机械回收技术随覆膜种植技术的发展而逐渐兴起。残膜机械回收可提高劳动生产率和残膜清理效率,及时清除残膜对土壤结构和作物生长发育的不利影响。残膜回收机械的研发方面还存在以下问题:残膜缠绕卷膜轮、挑膜齿轮等零件,降低机械的作业效率和稳定性;残膜和作物秸秆难分离,降低了残膜回收再利用的经济效益;机械卸膜的自动化程度不高,需人为协助,增加了残膜回收成本。残膜回收机械的推广存在农民积极性不高和残膜回收作业无统一收费标准等问题。针对上述问题,今后需加强膜秆分离技术、自动卸膜技术和深耕层残膜回收技术的研发,并建立合理的残膜回收利用体系和统一的收费标准,以提高残膜回收率和农民对残膜回收机械的认可程度。

4.3 开展长期定位监测明确残膜对农业生态系统的长期效应

经各种农事耕作,残膜混入深层土壤后难以降解,长期残留于土壤中,并参与土壤各项生物地球化学循环。因残膜降解时间长达200~400 a,残膜对土壤和作物的长期影响需数年的跟踪观测。但目前该方面的研究主要以土柱、土箱模拟试验和大田一季作物种植试验为主,不能揭示残膜对农田生态系统的长期影响规律。因此,今后应建立残膜对不同类型土壤和作物的长期定位监测点,研究残膜污染区农田生态系统的长期动态变化过程及其对残膜回收等人为干扰的响应和反馈,以揭示残膜对农田生态系统可能产生的长远影响。

4.4 探明残膜对不同区域和农业土壤的影响

目前,我国残膜量水平的调查研究主要集中在新疆维吾尔自治区和河北省等地区,其研究结果大部分局限于该地区特定的气候和耕作条件,而对其他地区的研究不够全面。今后应对我国各地区的残膜量水平

进行全面的普查,为制定全国范围的残膜污染治理标准提供理论依据。

此外,残膜对土壤性质的影响试验主要集中于内蒙古砂壤土^[62-65]和黑垆土^[66],研究结果主要针对特定的土壤类型,对其他土壤类型的研究仍不完善。同时,关于残膜对作物生长发育的影响主要集中于棉花、玉米、花生、白菜和茄子等,对其他作物缺少研究,且较少关注残膜对作物不同生育期根系生长和干物质积累的影响。因此,残膜对土壤性质和作物生长发育的影响具有限定性,今后应探索残膜对不同土壤类型和地区的影响规律,为不同农业生态系统的残膜清理工作和作物栽培提供科学依据。

参考文献:

- [1] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [2] 马丽,李克福,孙国军,等.新疆早熟棉品种覆膜与不覆膜栽培比较试验[J].棉花科学,2015,37(3):27-30.
- [3] ESPI E, SALMERON A, FONTECHA A, et al. Plastic films for agricultural applications[J]. Journal of Plastic Film and Sheeting, 2006, 22(2): 85-102.
- [4] 王秀康,李占斌,邢颖颖.覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):884-897.
- [5] 龚雪文,李仙岳,史海滨,等.番茄、玉米套种膜下滴灌条件下农田地温变化特征[J].生态学报,2015,35(2):489-496.
- [6] 董瑜皎,袁江,吕世华.长期免耕覆膜栽培和氮水平对稻-油轮作田油菜季杂草群落多样性的影响[J].西南农业学报,2015,28(3): 1 027-1 032.
- [7] 黄红宙,赵飞,马罡,等.以覆膜增温为主的综合技术对玉米丝黑穗病控制的初步研究[J].作物杂志,2011(6):86-90.
- [8] 国家统计局农村经济社会调查司.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002-2014.
- [9] REDDY M S, YAMAGUCHI T, OKUDA T, et al. Feasibility study of the separation of chlorinated films from plastic packaging wastes[J]. Waste management, 2010, 30(4): 597-601.
- [10] 王频.残膜污染治理的对策和措施[J].农业工程学报,1998,14(3):185-188.
- [11] 何文清,严昌荣,赵彩霞,等.我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):533-538.
- [12] 曹玉军,程兆东,郑百行,等.地膜覆盖残留的危害及防治对策研究[J].安徽农业科学,2015,43(6):258-259.
- [13] 高青海,陆晓民.残留地膜对番茄苗形态和生理特性的影响[J].热带亚热带植物学报,2011,19(5):425-429.
- [14] 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.
- [15] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [16] 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研究[J].农业环境科学学报,2008,27(2):570-573.
- [17] 李仙岳,彭遵原,史海滨,等.不同类型地膜覆盖对土壤水热与葵花生长的影响[J].农业机械学报,2015,46(2):97-103.
- [18] 赵萌青,许思阳.防治农业面源污染提高人民生活质量——南昌县农业面源污染情况调查[J].农民致富之友,2015(2):286-287.
- [19] 蔡金洲,范先鹏,黄敏,等.湖北省三峡库区农业面源污染解析[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1 421-1 430.
- [20] 蔡金洲,张富林,范先鹏,等.南方平原地区地膜使用与残留现状调查分析[J].农业资源与环境学报,2013,30(5):23-30.
- [21] 蔡金洲,张富林,黄敏,等.湖北省典型区域地膜使用与残留现状分析[J].湖北农业科学,2013,52(11):2 500-2 504.
- [22] 孙志浩.棉田残膜污染调查及其危害[J].河南农业科学,2006(4):61-62.
- [23] 白云龙,李晓龙,张胜,等.内蒙古地膜残留污染现状及残膜回收利用对策研究[J].中国土壤与肥料,2015(6):139-145.
- [24] 张丹,胡万里,刘宏斌,等.华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J].农业工程学报,2016,32(3):1-5.
- [25] 成振华,刘淑萍,孙占潮,等.天津市农用地膜残留状况调查及影响因素分析[J].农业环境与发展,2011(2):90-94.
- [26] 郝俊玲.邯郸市农用地膜残留问题探讨[J].中国种业,2013(12):3-8.
- [27] 杜晓明,徐刚,许瑞平,等.中国北方典型地区农用地膜污染现状调查及其防治对策[J].农业工程学报,2002,21(增刊):225-227.
- [28] 徐刚,杜晓明,曹云者,等.典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J].农业环境科学学报,2005,24(1):79-83.
- [29] 杨彦明,傅建伟,庞彭,等.内蒙古农田地膜残留现状分析[J].内蒙古农业科技,2010(1):10-12.
- [30] 牛瑞坤,王旭峰,胡灿,等.新疆阿克苏地区棉田残膜污染现状分析[J].新疆农业科学,2016,53(2):283-288.
- [31] 王鹏,曹卫彬,张振国.新疆建设兵团地膜残留特点的研究[J].农机化研究,2012(8):108-115.
- [32] 任稳江,刘生学,李耀辉,等.会宁县农田地膜使用与残留污染调查研究[J].甘肃农业科技,2016(1):56-62.
- [33] 牟燕,王联合国,王克鹏,等.甘肃省典型旱作区残留地膜时空分布特点研究[J].甘肃农业科技,2014(7):13-15.
- [34] 杨圆圆,赵伟,刘梦龙,等.渭南市旱作农业地膜覆盖应用现状探讨[J].陕西农业科学,2016,63(3):90-91,98.
- [35] 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.
- [36] 杜梅香.甘肃省典型旱作区残留地膜时空分布特点研究[J].甘肃农业科技,2014(7):13-15.
- [37] 周明冬,秦晓辉,侯洪,等.新疆农田废旧地膜污染治理现状和建议[J].可持续发展,2014,39(5):171-174.
- [38] 马少辉,杨莹.新疆兵团农田地膜污染现状和调查与治理技术分析[J].安徽农业科学,2013,41(35):13 678-13 681.

- [39] 李斌,王吉奎,蒋蓓.新疆棉区残膜污染及其治理技术[J].农机化研究,2012(5):228-232.
- [40] 张江华,蒋平安,申玉熙,等.新疆农田地膜污染现状与对策[J].新疆农业科学,2010,48(8):1656-1659.
- [41] 李月梅.青海省农田地膜残留状况调查与分析[J].黑龙江农业科学,2015(9):51-54.
- [42] 高福新,吴耿明.昌吉州残膜污染情况分析对策[J].新疆农机化,2006(5):13-17.
- [43] 张琴,刘鼎.石河子总场土壤残膜污染情况调查研究[J].石河子科技,2011(3):47-49.
- [44] 刘建国,李彦斌,张伟,等.绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(2):246-250.
- [45] 冯武焕,朱永利,赵科刚,等.西安种植业面源污染调查分析[J].中国农学通报,2014,30(15):152-156.
- [46] 严昌荣,王序俭,何文清,等.新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J].生态学报,2008,28(7):3470-3474.
- [47] 周明东,胡万里,耿运江,等.新疆农田地膜残留的影响因素分析[J].安徽农业科学,2015,43(27):189-191.
- [48] 董合干,刘彤,李勇冠,等.新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J].农业工程学报,2013,29(8):91-99.
- [49] 靳伟,张学军,鄢金山,等.新疆棉田残膜残留量及相关特性的测定试验研究[J].安徽农业科学,2015,43(2):238-239.
- [50] 何为媛,李玫,李真熠,等.重庆市地膜残留系数研究[J].农业环境与发展,2013(3):76-78.
- [51] 康平德,胡强,鲁耀,等.云南丽江典型玉米种植区地膜残留研究[J].湖南农业科学,2013(3):56-58.
- [52] 黄晶晶,庞良玉,罗春燕,等.四川攀枝花地区地膜残留量及影响因素[J].西南农业学报,2012,25(6):2203-2206.
- [53] 赵蕾,王晓红,程杰,等.龙江县地膜残留污染现状及解决对策[J].黑龙江农业科学,2016(1):154-157.
- [54] 胡会军,张秀芝,李强,等.吉林省主要覆膜作物地膜残留情况调查[J].农业资源与环境学报,2013,30(6):50-52.
- [55] 浦碧霞.山东省农业面源污染现状与防治对策[D].济南:山东大学,2013.
- [56] 陈秀芬.治理残膜污染,保护农业生态环境[J].北京农业,2011(12):174-175.
- [57] 曾招兵,姚建武,李盟军,等.广东省典型地区地膜残留现状分析[J].中国农学通报,2014,30(32):189-193.
- [58] 李伟峰,欧阳志云,陈求稳,等.基于遥感信息的北京硬化地表格局特征研究[J].遥感学报,2008(4):603-612.
- [59] 刘光华,罗心平.云南热区现代农业发展的思考[J].中国农学通报,2007,23(10):340-343.
- [60] 赵素荣,张书荣,徐霞,等.农膜残留污染研究[J].农业环境与发展,1998(3):7-10.
- [61] 吾普尔江·托乎提,艾海提·牙生,巴雅尔.论地膜污染与防治对策[J].新疆环境保护,2000,22(3):176-178.
- [62] 魏迎春,唐琳.农用地膜对土壤的污染及其防治探讨[J].西藏农业科技,2010,32(1):39-41.
- [63] CHEN Y S ,WU C F,ZHANG H B ,et al. Empirical estimation of pollution load and contamination levels of phthalate esters in agricultural soils from plastic film mulching in China[J]. Environmental Earth Sciences,2013,70(1):239-247.
- [64] 李仙岳,史海滨,吕焱,等.土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J].农业工程学报,2013,29(8):84-90.
- [65] 王志超,李仙岳,史海滨,等.残膜埋深对滴灌条件下粉砂壤土水分入渗影响的试验研究[J].土壤,2014,46(4):710-715.
- [66] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J].农业机械学报,2015,46(5):101-106.
- [67] 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[J].农业工程学报,2015,31(6):145-149.
- [68] 解红娥,李永山,杨淑巧,等.农田残膜对土壤环境及作物生长分布的影响研究[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):153-156.
- [69] 于立河,王鹏,于立红.地膜中酞酸酯类化合物对土壤—大豆污染的研究[J].土壤与作物,2012,1(2):79-83.
- [70] 于立红,王鹏,于立河,等.地膜中重金属对土壤—大豆系统污染的试验研究[J].水土保持通报,2013,33(3):86-90.
- [71] MUMTAZ T, KHAN M R, HASSAN M A. Study of environmental biodegradation of LDPE films in soil using optical and scanning electron microscopy[J]. Micron, 2010, 41(5): 430-438.
- [72] 秦华,林先贵,陈瑞蕊,等.DEHP对土壤脱氢酶活性及微生物功能多样性的影响[J].土壤学报,2005,42(5):829-834.
- [73] WANG X H,YUAN X,HOU Z G,et al. Effect of di-(2-ethylhexyl) phthalate on microbial biomass C and enzymatic activities in soil[J]. European Journal of Soil Biology,2009,45(4):370-376.
- [74] 姜益娟,郑德明,朱朝阳.残膜对棉花生长发育及产量的影响[J].农业环境保护,2001,20(3):177-179.
- [75] 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[J].中国油料,1993(3):45-48.
- [76] 蒋丽萍,马焱萍,李博,等.残留地膜对番茄生育状况及产量的影响[J].福建农业科技,1998(5):14-15.
- [77] 李江苏,袁卫东,骆丽英,等.农用地膜残留对水稻生长发育危害的初步研究[C]//第三届全国农业环境科学学术研讨会论文集,大连:中国农业科学技术出版社,2009:29-34.
- [78] 孙孝贵,刘文江,甘润伟.新疆棉田残膜危害及其治理对策[J].中国棉花,2005,33(2):7-8.
- [79] 辛静静,史海滨,李仙岳,等.残留地膜对玉米生长发育和产量影响研究[J].灌溉排水学报,2014,33(3):52-54.
- [80] 李秋洪.论农田“白色污染”的防治技术[J].农业环境与发展,1997(2):17-19.
- [81] 米岁芳,王萍,张慧文.棉花地膜残留及其对策试验研究[J].新疆环境保护,1998(20):27-29.
- [82] 申丽霞,王璞,张丽丽.可降解地膜对土壤、温度水分及玉米生长发育的影响[J].农业工程学报,2011,27(6):25-30.
- [83] 张富林,蔡金洲,范先鹏,等.地膜南瓜适宜覆膜厚度初步研究[J].湖北农业科学,2014,53(23):5755-5757.

Potential Risks of Plastic Film Residuals on Soils and Crops: A Review

ZOU Xiaoyang^{1,3}, NIU Wenquan^{1,2}, LIU Jingjing⁴, LI Yuan², ZHANG Mingzhi⁴, DUAN Xiaohui²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The residuals of plastic films used in producing foods could become a pollutant and their potential adverse impact on agroecological systems has attracted increased attention. Some studies have shown that these residuals have a detrimental effect on soil quality and crop yields. We review in this paper the distribution of plastic-film residuals in China, as well as their impact on soil quality, soil porosity, gaseous permeability of soil, heavy metals, content of phthalate esters, enzymatic activity and crop growth. To reduce the detrimental impact of plastic-film residuals on soil quality and crop development, future research should focus on ①rational film-covering time and film thickness for different crops; ②developing and implementing improved film-removing technologies; ③improving our understanding of the long-term effect of plastic-film residuals on agroecological systems; ④understanding the impact of the residuals on different soil types and textures across China.

Key words: residual plastic film; soil quality; crops; potential risk

责任编辑:赵宇龙