

我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术

严昌荣¹, 刘恩科¹, 舒帆², 刘勤¹, 刘爽¹, 何文清^{1*}

(1.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081; 2.中华人民共和国农业部财务司, 北京 100125)

摘要:地膜覆盖技术已成为我国农业应用最为广泛的农艺技术之一,但同时地膜残留污染也成为影响农业可持续发展的一个重大问题,系统分析梳理地膜覆盖种植技术、地膜残留污染的特点及防控技术对于该技术合理利用具有重要意义。本文在已有工作基础上,系统分析了我国地膜覆盖种植技术应用情况、地膜残留污染特点和防治技术。结果表明,20世纪80年代以来,我国地膜用量及覆盖面积一直呈大幅度上升态势,年增长率在8%左右,1991—2011年20年间,地膜使用强度增加了3~10倍,但存在明显区域差异。总体上,北方省区的地膜使用强度大,增长幅度快。地膜覆盖应用作物也从经济作物扩大到粮食作物,应用面积最大作物依次为玉米、蔬菜、棉花、烟草和花生等。地膜覆盖技术的应用产生了巨大效益,但同时也带来了一系列污染危害。长期覆膜农田土壤中都存在程度不同的残膜污染,残留量一般在71.9~259.1 kg·hm⁻²。西北地区是残膜污染最严重的地区,土壤中残膜量远远高于华北和西南地区。残留地膜大小和形态多种多样,主要有片状、蜷缩圆筒状和球状等,在土壤中呈水平、垂直和倾斜状分布。目前,我国地膜残留污染防治技术滞后,人工回收是普遍和主要的回收形式,其他防治技术如机械回收、节约型地膜应用、生物降解地膜尚未较大规模应用。当前,为防止地膜残留污染进一步加剧,急需修订完善地膜标准和加强质量监管,提高可回收性;推广节约型地膜使用技术和残膜回收技术;开展地膜覆盖技术适应性研究,促进技术合理利用。

关键词:地膜覆盖技术;残留污染特点;防控技术

中图分类号:X53

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)02-0095-08

doi: 10.13254/j.jare.2013.0223

Review of Agricultural Plastic Mulching and Its Residual Pollution and Prevention Measures In China

YAN Chang-rong¹, LIU En-ke¹, SHU Fan², LIU Qin¹, LIU Shuang¹, HE Wen-qing^{1*}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Dry-land Farming Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 2. Department of Finance of Ministry of Agriculture P. R. China, Beijing 100125, China)

Abstract: Agricultural plastic film mulching is one of important technologies, but the plastic film pollution has been a serious issue for agricultural sustainable development in China. System analysis of this technique and its residue pollution and control ways have vital practical significance for rational application of agricultural plastic film. In this paper, on the basis of our previous work, agricultural plastic film mulching, its residue pollution and control technologies were concluded. Some important conclusions were found that, the amount of plastic film and mulching area had kept increasing with annual increasing rate about 8% since the 80s of the 20th century. From 1991 to 2011, the density of plastic film utilized increased 3~10 times, but it has very sharply different spatial pattern in different province. In general, the north and west China has high value, and the increase rate is also huge in the past 20 years. The crops of utilized mulching plastic film have extended from cash crops to grain crops, and the order of crop area is followed by maize, vegetable, cotton, tobacco and peanut. The main functions of mulching plastic film are keeping soil moisture and increasing soil temperature, against weeds and insect. At the same time, its side effects appear with continuous utilization. The main problems are residues left in soil to destroy soil structure, impress soil permeability, impede seed germination as well as water and nutrients uptaking, and block crop root system development. It has very serious pollution for the field utilized plastic mulching film for long term. The residual amount in soil is about 71.9~259.1 kg·hm⁻², and has sharply spatial difference. The residual amount in soil. In Northwest China, is more serious than that in North China and Southwest China. Because of difference of tillage and application ways, there are great differences on the area and shape of the plastic film piece left in soil. The main types of shapes are flaky, crisper, cylindrical and spherality existed in soil as horizontal, vertical and incline state. In present, there are machinery harvesting technique, re-

收稿日期:2013-11-28

基金项目:国家自然科学基金(31370522);国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD09B01)

作者简介:严昌荣(1961—),男,湖北荆门人,研究员,博士生导师,主要研究方向为旱作农业和农业环境保护。E-mail: yanchangrong@caas.cn

*通信作者:何文清 E-mail: Hewenqing@caas.cn

ducing plastic film mulching technique, replacing technique with biodegradable plastic film to against this pollution. For plastic film residues pollution countermeasures, it is necessary to revise the standard of plastic film and strive monitoring the quality of plastic film, improve the retrievability of plastic residue; It is also necessary to extend reducing plastic film mulching technique, harvesting techniques and increase harvesting rate of residue; strength the adaption study and promote the rational utilization of agricultural plastic film.

Keywords: plastic film mulching technique; feature of plastic film residue pollution; prevention technology of plastic film residue

在我国,地膜已经成为农业生产的重要物质资料之一,地膜覆盖技术应用带动了农业生产力的飞跃和生产方式的改变。地膜覆盖技术已在全国范围得到广泛应用,覆盖作物种类也从最初的经济作物扩大到棉花、玉米、小麦和水稻等大田作物。地膜覆盖技术的应用在大范围内提高粮食单产 20%~30%,对保障我国粮食安全作出了重大贡献^[1]。但同时,地膜覆盖技术的广泛应用也带来了一系列环境问题,在局部地区地膜残留已给农业生产和环境造成了严重的不良影响。

1 地膜覆盖技术的应用现状和重要性

1.1 地膜覆盖技术应用情况

我国地膜使用量和覆膜面积持续增加。统计数据显示^[2],我国地膜使用量从 1982 年 0.6 万 t 增加到 2011 年的 124.5 万 t,增加了 200 多倍,未来还仍有继续增加趋势(图 1)。农作物地膜覆盖面积也一直保持持续增长态势,1982 年农作物地膜覆盖面积仅为 11.7 万 hm^2 ,1991 年达到 490.9 万 hm^2 ,2001 年上升到 1 096 万 hm^2 ,2011 年农作物地膜覆盖面积达 1 979.1 万 hm^2 ,主要分布在冷凉和干旱区域。

地膜使用强度不断增加。用地膜使用量(kg)除以耕地面积(hm^2)的商值来反映各地地膜使用强度,即单位耕地面积的地膜使用量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),选择 1991 年、

2001 年和 2011 年 3 个年份数据^[3],分别计算了全国各省地膜使用强度。图 2 显示全国所有省(区)在过去 20 年的地膜使用强度都呈现增加趋势,幅度一般在 3~10 倍,但不同省(区)的地膜使用强度提高幅度存在明显差异,总体上,北方地区提高幅度大,使用强度大,如甘肃地膜使用强度由 1991 年不到 $1.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 提高到 2011 年 $13\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,新疆地膜使用强度由 1991 年 $7.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 提高到 2011 年 $34.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,东北黑龙江和吉林由 1991 年的 $0.7\sim 0.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 提高到 2011 年 $2.5\sim 3.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在花生种植面积较大的辽宁省,地膜使用强度要远高于黑龙江和吉林,达到了 $7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上。调查数据还显示,西北玉米和棉花产区、东北的花生产区、华北的花生和棉花产区、西南烟草产区及所有蔬菜集中产区,是地膜使用强度较高的区域。地膜覆盖应用的作物种类急剧增加,地膜覆盖栽培技术最初主要用于经济价值比较高的蔬菜、花卉种植上^[4-5],经过过去几十年的理论研究与生产实践,地膜覆盖栽培技术应用得到了飞速发展,现已扩大到花生、西瓜、甘蔗、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上。在新疆、山东、山西、内蒙古、陕西和甘肃等高寒冷凉、干旱及半干旱地区,地膜覆盖技术已推广应用到大部分农作物种植上,并呈现持续增长的趋势。

1.2 地膜覆盖技术的重要性

地膜覆盖具有增温保墒、防病抗虫和抑制杂草等作用,具有显著的增产效果。已有试验和应用效果显示地膜覆盖技术能使粮食作物增产 20%~35%,经济作物增产 20%~60%。地膜覆盖已经成为西北、东北和华北部分地区玉米生产应用最广的农艺技术之一,2011 年甘肃地膜覆盖面积近 133.33 万 hm^2 ,占全省农作物播种面积 1/3 以上,其中全膜双垄沟播技术就贡献了 50 多亿 kg 粮食,占全省粮食产量的 50%;在黑龙江西部干旱区,膜下滴灌等抗旱节水技术也是促进农业增产增效的有效措施;新疆棉花地膜覆盖技术应用面积占播种面积 90%以上,形成了没有地膜覆盖就无法进行棉花生产的局面。

地膜覆盖可改变作物生长小环境,扩大了农作物

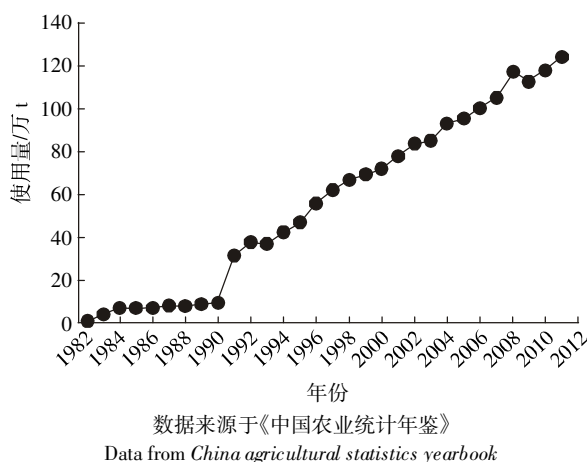


图 1 1982—2011 年全国地膜使用量增长曲线

Figure 1 The amount of mulching plastic film from 1982 to 2011 in China

种植区域。与常规种植相比,地膜覆盖不仅可以使农作物稳产早熟,还可使部分喜温作物的栽培北界北移 2~5 个纬度,即向北推进 500 多 km,使作物种植海拔向上提升 500~1 000 m^[1,6]。大量试验研究与推广应用结果表明,在黄淮海平原、黄土高原、长江流域及以南

地区,地膜覆盖可使部分蔬菜上市期提早 5~15 d,增产 20%~50%,西(甜)瓜早熟 7~15 d,增产 30%~100%;在东北和西北低温寒冷地区,主要蔬菜和瓜类采收提早 7~20 d,增产 20%~80%,个别作物产量甚至可以提高一倍以上^[4,7]。在西南地区,地膜覆盖使烟草种植的

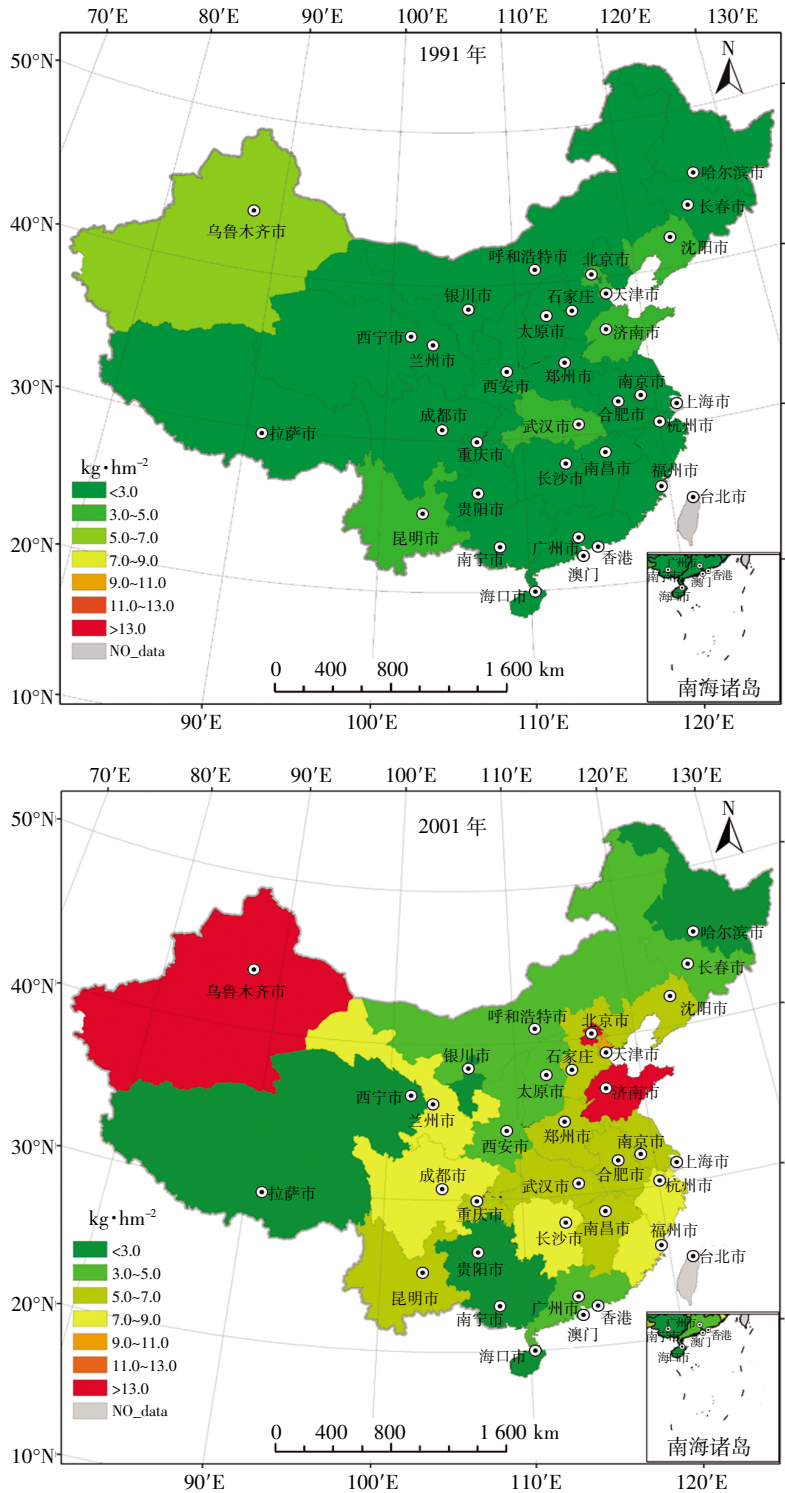
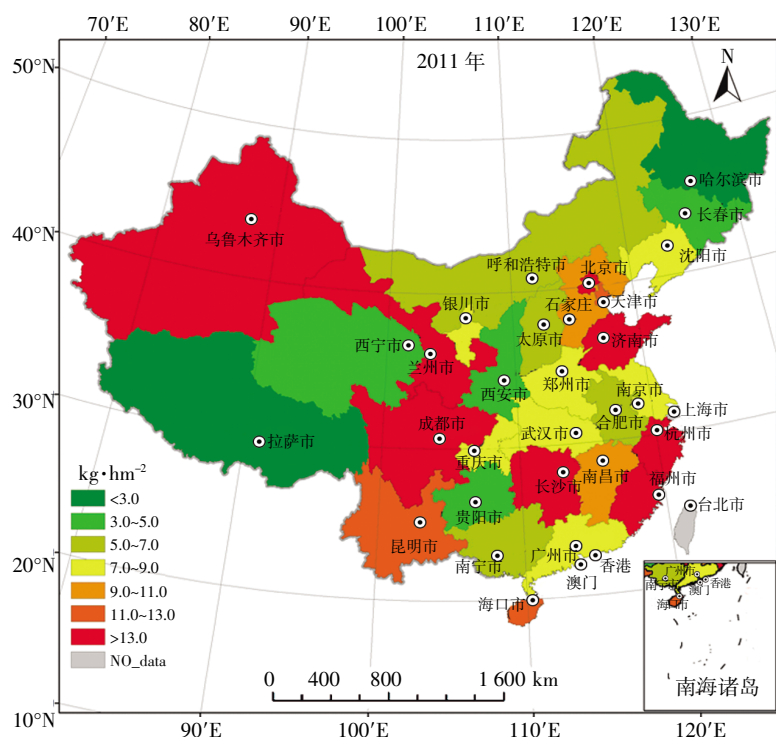


图 2 全国各省 1991、2001 年和 2011 年的地膜使用强度

Figure 2 The intensity of mulching plastic film used in 1991, 2001 and 2011 in China



数据来源于《中国农业统计年鉴》

Data from China agricultural statistics yearbook

续图 2 全国各省 1991、2001 年和 2011 年的地膜使用强度

Continued figure 2 The intensity of mulching plastic film used in 1991, 2001 and 2011 in China

海拔高度大幅度升高,如云贵川高原区由于春迟秋早、积温不足、无霜期短在一定程度上限制了烟草种植,地膜覆盖技术的应用有效解决了上述问题,实现了烟草种植的优质高产高效^[8-9]。地膜覆盖极大地改善了生产条件,尤其增温保墒方面,已有研究结果显示地膜覆盖是干旱凉爽地区提高农作物产量和水分利用效率的一项有效措施,如山西地膜覆盖玉米较常规种植的产量高出 30%~60%,水分利用效率提高 30%~70%^[10]。在蔬菜生产上,地膜覆盖不仅使蔬菜早熟增产,同时还可改善蔬菜品质,缩短淡季和延长供应期,有效改善和提升蔬菜供应水平^[11-12]。

地膜覆盖面积将继续保持快速增长状态。由于地膜覆盖在北方干旱、半干旱区和西南山区有效解决了“蓄住天上水、保住地里墒、用好用活天然降水”,以及春季低温和积温不足等生产难题,使其成为了广大旱作区抗旱节水增粮的主推技术。如甘肃和宁夏未来 3 年地膜覆盖种植面积在现有基础上分别增加 25% 和 71%,达到 166.67 万 hm^2 和 53.33 万 hm^2 ;黑龙江则计划在现有 40 万 hm^2 基础上增加 133.33 万 hm^2 。据测算,未来 10 年我国地膜覆盖种植面积将以 8%~10% 速度增加,农作物覆盖面积可能增加 1 倍,达到 0.33

亿 hm^2 左右,地膜用量也将从现在 120 多万 t 增加到 200 万 t 以上。

2 地膜残留污染的危害和特点

2.1 地膜残留污染的主要危害

由于地膜不易分解的特性,土壤中残膜会对土壤产生一系列不利影响,主要是阻碍土壤毛管水和自然水的渗透,影响土壤吸湿性,从而对土壤水分运动产生阻碍,使其移动速度减慢,水分渗透量减少。土壤中残膜还可能降低土壤通透性,影响土壤微生物活动和土壤肥力水平;在新疆等地区,还可能导致地下水下渗困难,造成土壤次生盐碱化等。地膜属聚烯烃类化合物,在生产过程中需加入一些添加剂,如邻苯甲酸-2 异丁酯和酞酸酯类增塑剂,这些物质可通过植物呼吸作用由气孔进入叶肉细胞,破坏叶绿素并抑制其形成,危害植物生长。残膜的集聚影响土壤通透性,造成土壤板结和地力下降,影响作物正常吸收水分和养分,影响种子发芽和导致作物根系生长发育困难。大量研究结果显示,土壤中残膜导致小麦出苗慢,出苗率低,缺苗断垄多现象严重,冬前分蘖少,根系扎得浅,生长发育不良,部分不能穿透残膜碎根系片呈弯

曲状横向发展^[6,13-17]。此外,土壤中残膜不仅影响土壤、作物正常生长和发育,导致农作物产量降低,还有一系列其他副作用,如残膜碎片可能与农作物秸秆和饲料混在一起,牛羊等家畜误食后造成肠胃消化功能不良,严重时会引起牲畜死亡。由于残膜不回收,或者回收不彻底,加上回收残膜的处理方法欠妥,部分清理出的残膜弃于田边地头,影响环境景观,造成“视觉污染”。另外,随着覆膜年数增加,土壤中不断积累的残膜缠绕农机具妨碍耕作活动^[1,6,18]。

2.2 地膜残留污染的主要特征

各区域由于农作物种类和种植模式的差异,地膜投入量、覆盖比例不同导致农田土壤地膜残留量差异很大。我们调查结果显示甘肃地膜投入量最大,为 75 kg·hm⁻²,河北最少,仅为 33 kg·hm⁻²;西北地区因干旱和寒冷的自然条件使得地膜覆盖应用面积大,覆盖比率高,如西北地区(新疆、甘肃、宁夏)农田地膜覆盖比例达 80%以上,而西南山地(鄂西)和华北(河北省)仅在 40%~50%(表 1)。地膜使用量和使用方式的差异也导致土壤地膜残留量的差异,我们的调查结果表明,长期覆膜农田土壤中地膜残留量在 71.9~259.1 kg·hm⁻²之间,其中新疆最高,湖北最低,从区域上看,西北地区农田土壤中残膜量要远高于华北和西南地区^[19]。

受农事活动和农膜使用情况的影响,土壤中残留地膜大小和形态多种多样,主要有片状、蜷缩圆筒状和球状等,在土壤中呈水平、垂直和倾斜状分布。不同

区域农田土壤中地膜残片数量和面积都差异较大,残膜片数同地膜残留量呈正相关关系。在华北地区,表层土壤残膜片数要多于深层,0~10 cm 土层中残膜片数约占总数 65%,10~20 cm 土层中约占总数 30%,20~30 cm 土层中占总数 5%左右^[20]。随着覆膜年限增加,各土层残膜片数均增加,但比例变化不大,残膜片数与覆膜年限成正比(表 2)。土壤中残膜数量随着覆膜年限增加而增加;浅层土壤残膜数远远高于深层土壤;小片膜多于大片膜;残膜数量变化的规律性不明显,但覆膜时间越长,深层土壤残膜所占比例有所增加。

土壤内地膜残片面积为 1~2 500 cm²,大部分在 4~25 cm²之间。单块残膜面积>25 cm²的片数约占总量 16%~25%,4~25 cm²片数约占总量 44%~54%,<4 cm²片数约占总量 21%~40%。残膜主要分布在 0~30 cm 耕层内,由表 3 看出,0~10 cm 土层中残膜量占总量 50%以上;10~20 cm 土层中占 10%~40%;20~30

表 3 典型地区长期覆膜农田不同深度土层残膜量分布比例(%)^[21-22]

Table 3 The percentage of long term plastic film residual amount of soil profile in typical region(%)^[21-22]

深度 Depth/cm	河北成安县	新疆石河子	陕西铜川	甘肃正宁
0~10	76.4	53.0	78.7	79.6
10~20	22.5	37.3	14.6	9.5
20~30	1.2	9.7	4.7	3.6

表 1 典型省长期覆膜农区地膜使用及农田残留情况
Table 1 The long term utilization of plastic film and its residue in typical region

调查省(区) Province	覆膜年限 Mulching years/a	地膜投入量 Amount of plastic film/kg·hm ⁻²	覆膜比例 Percent age of mulching/%	地膜厚度 Thickness /μm	地膜宽度 Width/cm	残膜量 Amount of residue/kg·hm ⁻²
河北	10	33	46.4	4~6	90	80.5
新疆	20	61.4	84.8	6~8	205	259.1
陕西	15	39	81.0	6~8	70/80	110.2
甘肃	15	75	90.0	8	120	136.7
湖北	10	52.5	53.15	6~8	90	71.9

注:数据来源于作者调查数据。
Note: The data from authors' investigation.

表 2 华北地区棉田不同深度土壤中残膜数量分布^[20]
Table 2 The distribution of plastic film residue of soil profile in cotton field, Northern China^[20]

深度 Depth/cm	2 年 2 years		5 年 5 years		10 年 10 years	
	数量(百万片·hm ⁻²)Number (million individual·hm ⁻²)	比例 Percentage/%	数量(百万片·hm ⁻²)Number (million individual·hm ⁻²)	比例 Percentage/%	数量(百万片·hm ⁻²)Number (million individual·hm ⁻²)	比例 Percentage/%
0~10	2.63	67.0	4.16	76.4	5.64	58.5
10~20	1.13	28.7	1.21	22.3	3.38	35.1
20~30	0.17	4.3	0.07	1.3	0.63	6.4
合计 Total	3.93	100	5.44	100	9.65	100

cm 土层残膜量占 10% 以下。不同区域由于地膜投入量以及农作方式不同,残膜在各个层次分布有所不同,如新疆棉田不仅地膜残留量大,而且还进入到较深土层中,这与新疆棉花生产机械化程度高,翻耕整地作业深,地膜投入量高和回收措施跟不上是一致的^[21-22]。

2.3 我国农田地膜残留污染发展趋势

地膜残留污染是一种新型的污染形式,也是我国特有的污染类型,对地膜残留污染特点和危害尚缺乏深入研究。目前大部分工作集中在对局部地区残膜数量、分布,对农作物产量影响等方面,尚缺乏长期、系统和覆盖较大范围的研究,对残膜危害认识还存在不少盲区。同时,在普通地膜替代产品和回收技术方面也缺乏系统研究,以降解膜为主的替代产品尚不成熟;残膜回收主要依靠人工和简单机械进行回收,回收劳动强度大,回收率低,无法满足农业生产实际需要,农田残膜污染呈日趋严重态势。

3 农田地膜残留污染的主要防治技术

3.1 残留地膜机械化回收技术

在欧美和日本等发达国家,地膜覆盖一般用于蔬菜、水果等经济作物,覆盖期相对较短。这些国家使用的地膜较厚,一般为 0.015 mm,主要采用收卷式回收机进行卷收。该类机型结构比较简单,主要由起膜铲和卷膜辊组成,成卷回收的地膜易于处理或继续使用,研究集中在卷膜辊线速度与回收机前进速度如何相互匹配问题上^[23-24]。我国使用的地膜很薄,厚度一般为 0.006~0.008 mm,强度小,覆盖期长,清除时易碎,不易回收,收卷式地膜回收机具难以适应我国实际情况。根据我国地膜残留污染的特殊性,现已开发出了滚筒式、弹齿式、齿链式、滚轮缠绕式和气力式等残膜回收机具,但总体上给残膜回收作业增加了生产成本,农民难以接受;部分机型不适应当前的农业技术要求,作业性能还有待于进一步提高^[25]。

3.2 节约型地膜应用技术

为了减少地膜投入量,选用厚度适中、韧性好和抗老化能力强的地膜,在第一年使用后基本没有破损,第二年可以直接在上面打孔免耕播种,减少地膜投入量和操作用工,达到省时省工和环保的目的,在采用该项技术时,应采用高耐候和强度的地膜,避免由于长期覆盖导致地膜严重碎片化增加回收难度;也可以在保证不影响作物生长前提下,适当减少地膜的田间覆盖度,研究结果显示一些地区的某些作物地膜覆盖度可从 80%~100% 降低到 50%~70%,增产效果

基本没有不变。根据不同作物种类和区域条件,研究推广合理的揭膜时间和揭膜方式,在地膜完成其功能后且又未老化破损前进行揭膜回收,提高地膜回收率,如河北、新疆等地区的棉花头水前揭膜技术,回收率可达 90%。

3.3 新型生物降解地膜替代技术

日本和德国是世界上最早开展生物降解塑料研发的国家。日本生物降解材料已工业化的产品有昭和电工、三菱化学、三井化学公司、库拉利等,其中昭和电工已开发出绿色环保的碧能系列产品,并用于生物降解地膜的生产与开发。德国 BASF 公司也生产出 ECOVIO、ECOFLEX 等地膜产品。进入 21 世纪以来,随着国外 BDP(生物降解材料)生产技术日趋成熟,我国塑料行业也开展降解材料研发工作,但这些降解树脂基本用在包装材料上,在地膜方面尚存在降解时间不可控及成本偏高等问题。目前,高成本是生物降解地膜推广应用的主要障碍因素,以普通 PE 地膜作为对照,选择了德国 BASF 公司的生物降解地膜进行了系统经济评价,表 4 中数据显示在生物降解地膜价格 2 倍于普通 PE 地膜时,由于普通地膜要进行回收、农田中残留地膜会导致棉花减产^[26],从系统成本上看,3 种不同生物降解地膜的成本分别增加 16.5%、47.3% 和 75.8%,如果考虑环境效应,生物降解地膜应具有较好前景。

4 讨论与建议

4.1 修订完善地膜标准和加强质量监管,提高可回收性

地膜质量是影响地膜回收率的重要因素。大多数国家地膜厚度为 0.012 mm,最薄也不能低于 0.008 mm,美国和欧洲国家地膜厚度一般在 0.020 mm,日本为 0.015 mm,由于地膜质量较好,使用后地膜仍比较完整,机械回收后农田土壤中几乎不存地膜残留^[6]。总体上,我国 20 世纪 90 年代制定的地膜标准对强度和厚度要求相对比较宽松,这也是与当时的农业生产条件和经济状况相一致。20 多年后的今天,无论是农业生产环境,还是生产方式都发生了很大变化,原有标准已经无法适应当前农业生产需要。因此,应尽快修订完善相关标准,提高地膜的厚度,提高拉伸负荷、耐老化性能,使地膜具有强度高、耐老化和易回收特点,为地膜回收创造条件。同时,在修订标准时也要综合考虑资源成本和农业生产实际,使其既能满足农业生产需要,也能够满足回收要求。

表 4 生物降解地膜与普通地膜经济性能系统评价表
Table 4 The economics assessment and analysis between biodegradable and PE plastic film

指标 Items	PE 地膜 PE plastic film		生物降解地膜 Biodegradable plastic film	
作物种类 Crop	棉花 Cotton		棉花 Cotton	
地膜厚度 Thickness/mm	0.008	0.008	0.010	0.012
地膜宽度 Width/cm	140		140	
地膜颜色 Color	无色透明		无色透明	
地膜价格/元·kg ⁻¹ Price /Yuan·kg ⁻¹	15		30	
每 667 m ² 投入量 Amount per 667 m ² /kg·667 m ⁻²	4.5	5.3	6.7	8
每 667 m ² 投入金额/元·667 m ⁻² RMB/Yuan·667 m ⁻²	61.5	159	201	240
残膜回收费用/元·667 m ⁻² Input for residue collected/Yuan·667 m ⁻²	30			
产量损失/元·667 m ⁻² Yield lose/Yuan·667 m ⁻²	45			
系统投入/元·667 m ⁻² Input/Yuan·667 m ⁻²	136.5	159	201	240
每 667 m ² 投入增加 Increase percentage/%		16.5	47.3	75.8

注:数据来源于作者试验和调查数据;每 667 m² 棉花产量按 300 kg 计算,籽棉价格 5 元·kg⁻¹,残膜污染减产按 3% 计算。
Note: data from authors' trial and investigation; cotton yield 300 kg·667 m⁻², price 5 yuan·kg⁻¹, 3% cotton yield lose due to plastic residue pollution.

4.2 推广节约型地膜使用和残膜回收技术,提高回收率

因地制宜、因作物推广地膜覆盖种植技术,尽量减少地膜的投入量。推广一膜多用、延期利用技术,在不影响作物生长前提下,适当减少地膜覆盖度。结合农业生产实际,推广膜侧种植、半膜覆盖等地膜用量少、增产效果也不错的技术模式,达到少用地膜和少污染的目的。加强适期揭膜回收技术研究和推广,根据作物种类和区域环境条件,研究确定最合理的揭膜时间和揭膜方式,提高地膜回收率。加快残膜回收机具研发,重点研发能够兼顾农事作业和地膜回收的农机具,在不增加作业成本前提下实现地膜的高效回收。

4.3 开展残膜污染调查和技术适应性研究,促进技术合理利用

开展全国地膜污染等级调查,摸清底数,确定重度污染、中度污染和轻度污染区域,因地制宜确定不同的发展和治理措施。开展地膜污染对耕地质量和农作物产量的长期定位研究,获取地膜残留污染的系统微数据,为地膜残留污染治理提供技术和理论支撑。同时加快地膜覆盖技术适应性研究,防止技术滥用,尤其是国家层面的有关行动应该有确定性的技术支撑,确保地膜覆盖技术应用的合理性。

参考文献:

[1] 严昌荣,何文清,梅旭荣,等. 农用地膜的应用与污染防治[M]. 北京:科学出版社,2010:76-86.
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, MEI Xu-rong, et al. Agricultural ap-

plication of plastic film and its residue pollution prevention[M]. Beijing: Science Press, 2010:76-86. (in Chinese)
[2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,1982—2012.
Ministry of Agriculture P. R. China. China agricultural statistics year-book[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1982—2012.(in Chinese)
[3] 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,2002,2012.
Rural Society Investigation Department of National Statistical Bureau. China rural statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2002, 2012.(in Chinese)
[4] 中国农用塑料应用技术学会(王耀林主编). 新编地膜覆盖栽培技术大全[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
Association of China's Agricultural Plastic Application Technology (WANG Yao-lin). New complete collection of plastic film mulching cultivation techniques[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998.(in Chinese)
[5] 杨惠娣. 塑料薄膜与生态环境保护[M]. 北京:化学工业出版社,2000:110-113.
YANG Hui-di. Farmland plastic film and ecological environment protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000:110-113.(in Chinese)
[6] 常瑞甫,严昌荣. 中国农用地膜残留污染现状及防治对策[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2012:13-15,41.
CHANG Rui-fu, YAN Chang-rong. Research report on overall current situation on agricultural plastics residuals pollution and its countermeasures[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2012:13-15, 41.(in Chinese)
[7] Li Feng-ming, Wang J, Xu J Z, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semi-arid Loess Plateau of China[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 78: 9-20.
[8] 陈溪明,林祥永,王金文. 银灰膜、配色膜覆盖栽培对烟田杂草控制效果及烟草产质量影响的初步研究[J]. 中国烟草科学, 2000,21(3):

- 43-45.
- CHEN Xi-ming, LIN Xiang-yong, WANG Jin-wen. Effects of silver gray film and match color film mulching on control of weeds in tobacco fields and tobacco yield and quality[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2000, 21(3): 43-45. (in Chinese)
- [9] 包燕宏. 烟草地膜覆盖栽培技术[J]. 现代农业科技, 2009(9): 208, 210.
- BAO Yan-hong. Cultivation techniques of tobacco under plastic film mulching[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009(9): 208, 210. (in Chinese)
- [10] 王罕博, 龚道枝, 梅旭荣, 等. 覆膜和露地旱作春玉米生长与蒸散动态比较[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 88-94.
- WANG Han-bo, GONG Dao-zhi, MEI Xu-rong, et al. Dynamics comparison of rain-fed spring maize growth and evapotranspiration in plastic mulching and un-mulching fields[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(22): 88-94. (in Chinese)
- [11] 黄晓梅, 鞠剑峰, 聂术忱. 地膜辣椒不同施肥水平与增产效果[J]. 北方园艺, 1998(3): 124.
- HUANG Xiao-mei, JU Jian-feng, NIE Shu-chen. The effect of plastic film mulched on pepper yield under different fertilizer levels [J]. *Northern Horticulture*, 1998(3): 124. (in Chinese)
- [12] 王芳梅, 崔亚胜, 崔军涛, 等. 地膜覆盖技术在瓜类作物上的应用[J]. 西北园艺, 2009(3): 51-52.
- WANG Fang-mei, CUI Ya-sheng, CUI Jun-tao, et al. The application of plastic mulching technology in melon crops[J]. *Northwest Horticulture*, 2009(3): 51-52. (in Chinese)
- [13] 程桂荪, 刘小秧, 刘渊君, 等. 农田地膜残片允许值的研究[J]. 土壤肥料, 1991(5): 27-30.
- CHENG Gui-sun, LIU Xiao-yang, LIU Yuan-jun, et al. Study on permissible value of plastic residual piece in field soil[J]. *Soil and Fertilizer*, 1991(5): 27-30. (in Chinese)
- [14] 南殿杰, 解红娥, 高两省. 棉田残膜对土壤理化性质及棉花生长发育影响的研究[J]. 棉花学报, 1996, 8(1): 50-54.
- NAN Dian-jie, XIE Hong-e, GAO Liang-sheng. Study of the influence of the residue film on soil and cotton growth in the cotton fields [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1996, 8(1): 50-54. (in Chinese)
- [15] 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.
- ZHAO Su-rong, ZHANG Shu-rong, XU Xia, et al. Study on the agricultural plastic sheeting residue pollution[J]. *Agro-environment and Development*, 1998(3): 7-10. (in Chinese)
- [16] 高青海, 陆晓民. 残留地膜对番茄幼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.
- GAO Qing-hai, LU Xiao-min. Effects of plastic film residue on morphology and physiological characteristics of tomato seedlings[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2011, 19(5): 425-429. (in Chinese)
- [17] Lu Sheng-zeng, Zhou Zhen-feng, Yan Xi-Shi. Environmental problems and control ways of plastic film in agricultural production[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 295-298: 2187-2190.
- [18] 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.
- YAN Chang-rong, MEI Xu-rong, HE Wen-qing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(11): 269-272. (in Chinese)
- [19] 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.
- HE Wen-qing, YAN Chang-rong, ZHAO Cai-xia. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 533-538. (in Chinese)
- [20] 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.
- MA Hui, MEI Xu-rong, YAN Chang-rong, et al. The residue of mulching film of cotton field in North China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 570-573. (in Chinese)
- [21] 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.
- YAN Chang-rong, WANG Xu-jian, HE Wen-qing, et al. Study on the residue of plastic film in cotton field in Shihezi, Xinjiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3470-3474. (in Chinese)
- [22] 何文清, 严昌荣, 刘爽, 等. 典型棉区地膜应用及污染现状的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1618-1622.
- HE Wen-qing, YAN Chang-rong, LIU Shuang, et al. The use of plastic mulch film in typical cotton planting regions and the associated environmental pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(8): 1618-1622. (in Chinese)
- [23] 曹肆林, 王序俭. 残膜污染治理研究现状及专利战略[J]. 农业机械, 2008(20): 77-78.
- CAO Si-lin, WANG Xu-jian. The research status of plastic film residual pollution control and the patent strategy[J]. *Agricultural Machinery*, 2008(20): 77-78. (in Chinese)
- [24] 曹肆林, 王序俭, 王敏, 等. 1LZ系列联合整地机的设计与试验[J]. 西北农业学报, 2012, 21(5): 202-206.
- CAO Si-lin, WANG Xu-jian, WANG Min, et al. Design and experimental research on 1LZ series combined tillage machine[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2012, 21(5): 202-206. (in Chinese)
- [25] 曹肆林, 王序俭, 沈从举, 等. 残膜回收机械化技术的专利分析研究[J]. 中国农机化, 2009(4): 48-50.
- CAO Si-lin, WANG Xu-jian, SHEN Cong-ju, et al. Patent analysis on mechanization technology of retrieving the used plastic film[J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2009(4): 48-50. (in Chinese)
- [26] 赵彩霞, 何文清, 刘爽, 等. 新疆地区全生物降解膜降解特征及其对棉花产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8): 1616-1621.
- ZHAO Cai-xia, HE Wen-qing, LIU Shuang, et al. Degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton in Xinjiang Region, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(8): 1616-1621. (in Chinese)