

丁凡,吕军,刘勤,等.我国棉花主产区变化与地膜残留污染研究[J]华中农业大学学报,2021,40(6):60-67.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.06.008

我国棉花主产区变化与地膜残留污染研究

丁凡^{1,2},吕军³,刘勤¹,郭莹¹,何文清¹,王林⁴,严昌荣¹

1.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081; 2.沈阳农业大学土地与环境学院,沈阳 110866;
3.石河子农业科学研究院,石河子 832000; 4.新疆生产建设兵团农业技术推广总站,乌鲁木齐 830011

摘要 地膜覆盖是我国农业应用最为广泛的农艺技术之一,极大地促进了我国棉花产业的发展,推动了我国棉花主产区的变化。笔者采用实地调研和文献统计数据,对我国主要棉区地膜应用和残留污染特点进行大范围采样,获取第一手数据;同时,对过去几十年中与棉花地膜覆盖技术应用数据进行整理归纳,总结了我国棉花生产格局的变化特点,分析了地膜覆盖技术对我国棉花产业的影响,探讨了主要棉区农田土壤地膜残留污染特点和趋势。结果显示,我国棉花的主产区从过去的黄河和长江流域迁移到现在的西北内陆地区(主要是新疆),其种植面积占全国的70%。新疆等西北内陆地区自1986年开始规模化应用地膜覆盖技术后,棉花单产(皮棉)快速上升,现在已经超过2000 kg/hm²,大幅度超过长江和黄河流域的棉花单产。同时,新疆棉区地膜覆盖应用所带来的残留污染已成为该区域农业可持续发展面临的一个重大问题,新疆连续10 a和20 a覆膜的棉田土壤中残膜量分别为259.70±36.78 kg/hm²和307.90±35.84 kg/hm²。因此,地膜覆盖是我国棉花生产格局变化的主要驱动力之一,对保持我国棉花生产的稳定至关重要,但同时棉田地膜残留污染非常严重,必须尽快研究棉田地膜残留污染的应对策略,实现地膜残留污染的有效防控。

关键词 棉花;地膜覆盖;种植区域;地膜残留污染;防控措施

中图分类号 S 562: X 712 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)06-0060-08

地膜作为我国四大农资产品之一,深刻改变了我国农业生产方式,扩大了作物种植区域^[1-2]。据中国农业统计年鉴,2014—2019年全国地膜用量基本稳定在143万t左右,地膜覆盖面积近0.2亿hm²(3亿亩)。地膜覆盖技术可以增温保墒、抑制杂草,使我国蔬菜、玉米、花生、棉花等农作物大幅度增产增收^[3]。普通地膜是以聚乙烯为原料的化工产品,在自然条件下很难降解^[4-6]。随着地膜投入量的不断增加、地膜覆盖面积的增大以及大量不符合国家标准的超薄地膜的使用(回收困难)和覆膜年限的增加,我国农田土壤中地膜残留量越来越多。尤其在在我国西北、华北的棉花种植区,大量残膜给当地棉田土壤环境及农业生产带来了严重的影响,造成土壤结构变差、农事操作受阻、作物发芽率低、农村景观变差、河流污染等一系列农艺和环境问题^[7-10]。笔者在分析地膜覆盖技术对我国棉花生产的影响以及我国三大棉区土壤地膜残留污染特点的基础上,结

合棉花地膜覆盖应用与残留污染的发展趋势,提出我国棉田地膜残留污染的应对策略,以期地为地膜覆盖技术在我国棉花生产上合理利用提供科学依据。

1 我国棉花生产格局变化特点

我国是全球第一大棉花生产国和消费国。在过去50年来,棉花播种面积呈现先增加后降低的变化趋势:20世纪70年代,种植面积接近400万hm²;80年代以后,除了1996—2000年下降到400万hm²以下,种植面积一直稳定在500万hm²左右;近10 a受到经济结构调整等因素影响,种植面积呈现下滑的态势,2016—2020年种植面积只有323万hm²(表1)。

棉花种植区域也发生了天翻地覆的变化。20世纪90年代以前,西北内陆地区棉花播种面积占比很低,90%以上棉花种植集中在长江流域和黄河流域两大棉区,主要分布在长江流域的湖北、湖南、江西、

收稿日期:2021-07-10

基金项目:中国农业科学院创新工程项目;英国自然环境研究理事会项目(NE/V005871/1)

丁凡,E-mail:dingfan1985@syau.edu.cn

通信作者:严昌荣,E-mail:yanchangrong@caas.cn

安徽和江苏,以及黄河流域的河北、山东和河南等省。20 世纪 90 年代以后,西北内陆棉区(特别是新疆)迅速扩大,新疆棉花播种面积的占比迅速增加,由 1986—1990 年的年均 7.7% 迅速攀升到 1991—1995 年的 12.4%,1996—2005 年又进一步提高到 23% 以上,目前

棉花播种面积占比已经超过了 70%,而黄河和长江流域的棉花种植面积和占比均迅速下降,黄河流域在 1986—1990 年种植面积占比 62.5%,而近 5 a 占比仅为 16.6%;长江流域在 1976—1980 年占比 47.9%,而近 5 a 仅占 13.4%(表 1)。

表 1 我国三大棉花主产区(主要省)棉花播种面积和比例

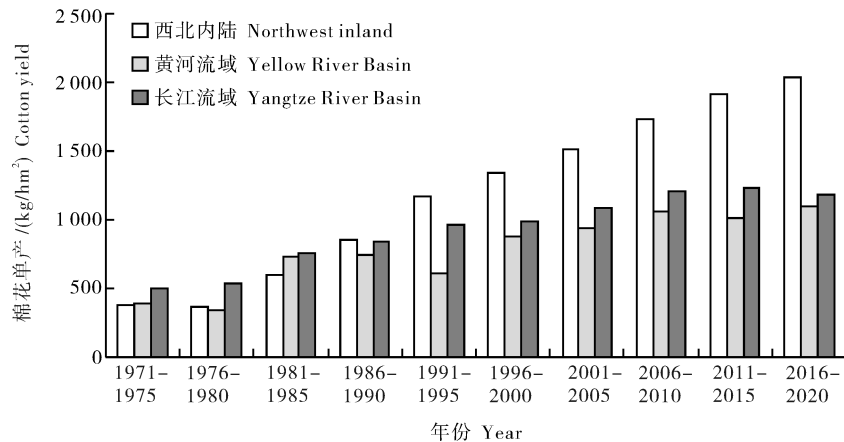
Table 1 Cotton planting areas and proportion for the three main planting regions of China

年份 Year	西北内陆 Northwest inland		黄河流域 Yellow River Basin		长江流域 Yangtze River Basin		面积小计/ 万 hm ² Sum
	面积/万 hm ² Area	占比/% Proportion	面积/万 hm ² Area	占比/% Proportion	面积/万 hm ² Area	占比/% Proportion	
	1971—1975	15.3	4.0	183.6	48.4	180.2	
1976—1980	15.6	4.1	179.8	47.9	179.7	47.9	375.1
1981—1985	26.6	5.3	295.5	59.5	174.8	35.2	496.9
1986—1990	35.8	7.7	290.6	62.5	138.8	29.8	465.2
1991—1995	65.8	12.4	287.9	54.1	178.5	33.5	532.2
1996—2000	93.8	23.7	160.6	40.6	140.9	35.6	395.2
2001—2005	108.5	23.5	223.0	48.2	130.8	28.3	462.3
2006—2010	161.1	31.5	210.8	41.2	139.7	27.3	511.6
2011—2015	178.7	42.3	136.0	32.2	108.0	25.5	422.7
2016—2020	226.0	70.0	53.7	16.6	43.2	13.4	323.0

注:数据来自农业农村部信息中心统计资料,表中数据为 5 a 的平均值。Note: Data is obtained from Information Centre in Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Values are the means among five years.

棉花单产受到农业生产条件、品种和植棉技术等多种要素的综合有利影响,持续增加。从 20 世纪 70 年代以来,我国棉花平均单产一直处于稳定增长状态,分别从 20 世纪 70 年代的 375 kg/hm²、80 年代的 750 kg/hm²、90 年代的 975 kg/hm²,增加到现在的 1 500 kg/hm² 左右,其中新疆棉区棉花单产为 2 000 kg/hm²,长江和黄河流域棉区棉花单产 1 100

kg/hm² 左右(图 1)。1985 年以前,西北内陆棉区的棉花单产只有黄河流域棉区的 81.5%,长江流域棉区的 83.7%;1986—1995 年西北内陆棉区的棉花单产分别增加到黄河流域棉区和长江流域棉区的 151.2% 和 116.6%;1996 年以后,西北内陆棉区棉花单产水平与后二者的差异进一步拉大,分别达到了 157.8% 和 128.0%。



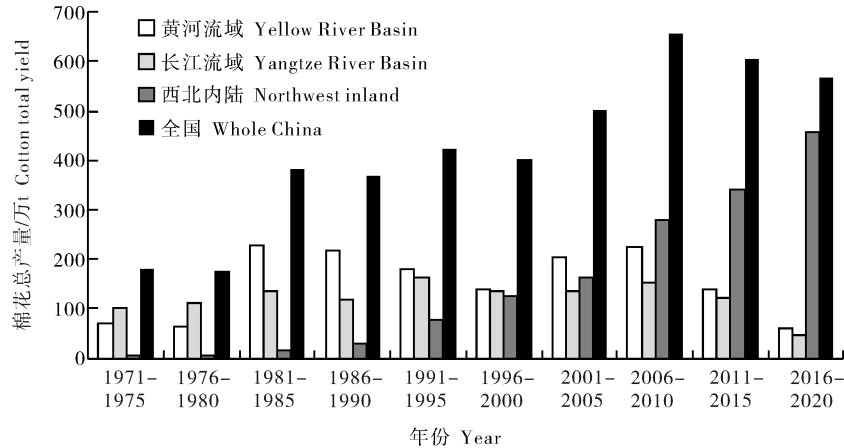
数据通过对国家统计局多年统计年鉴数据整理获得。Data was obtained from State Statistics Bureau in China.

图 1 1971—2020 年我国三大棉花主产区棉花单产变化情况

Fig.1 Cotton yield per hectare in three cotton main planting region during 1971—2020

20 世纪 70 年代我国棉花总产量保持在 178 万 t 左右,80 年代迅速增加,随后稳定在 400 万 t 左右,2000 年之后,持续增加到 600 万 t,2010—2020 年有所减少,但保持在 550 万 t 以上(图 2)。黄河流域棉花总产量在 20 世纪 80 年代初迅速增加到 228.3 万 t,之后持续减少到 1996—2000 年的 140.7

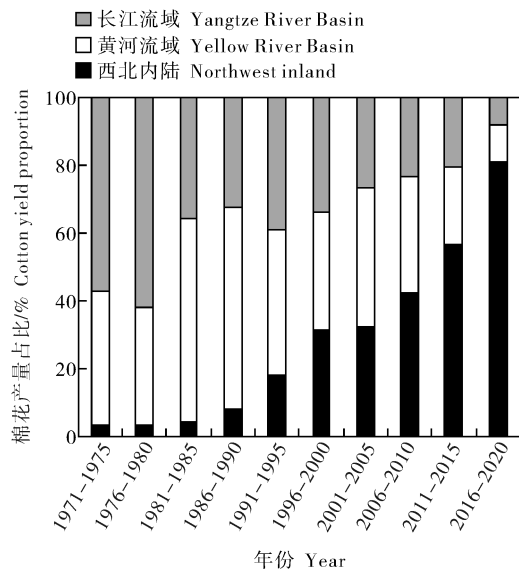
万 t,2000—2010 年有所增加,2010 后又迅速减少到 2016—2020 年的每年 60 万 t。长江流域的棉花总产量与黄河流域变化趋势基本一样(图 2)。过去几十年来,西北内陆棉区的棉花产量则持续提高,棉花总产量从 1991—1995 年的 77.3 万 t 提高到 2016—2020 年的 459.0 万 t(图 2),占全国棉花总产量的 81.1%(图 3)。



数据来自国家统计局网站。Data was obtained from State Statistics Bureau in China.

图 2 1971—2020 年全国三大棉区皮棉总产量

Fig.2 Total cotton yield in the three main cotton planting region during 1971—2020



数据来自国家统计局网站。Data was obtained from State Statistics Bureau in China.

图 3 1971—2020 年全国三大棉区

皮棉产量的占比情况

Fig.3 The proportion of three main cotton planting region in national total yield during 1971—2020

2 我国棉花生产格局变化驱动力分析

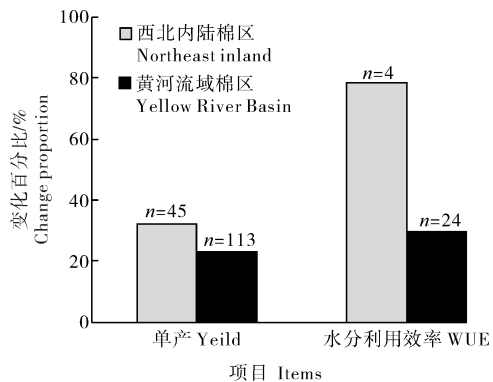
在 20 世纪 80 年代后期,长江流域和黄河流域

棉区的长期连作使棉花病虫害越来越严重,棉花种植的经济效益逐渐降低,导致农民种植棉花的积极性下降^[11-14];同时也与地膜覆盖在西北内陆尤其是新疆广泛应用有很大关系,在新疆,棉花播种期是影响棉花生长发育和产量的一个重要因素,若播种过早,土壤温度较低会阻碍种子发芽,导致出苗稀疏、出现病害,且易遭晚霜危害;若播种过晚,虽然棉苗出土迅速,但吐絮延迟,产量降低。地膜覆盖解决了新疆棉花生产中早期地温低和积温不够的问题,再加上新疆光照条件好、气候干燥和棉花种植时病虫害较少等有利因素,使新疆棉花的种植面积迅速扩大,占全国棉花播种面积比例逐年攀升(表 1)。

黄河流域棉区从 1981—1990 年播种面积占全国比例的 56.5% 逐渐下降到现在的 31.5%,长江流域棉区种植面积也从 1970—1981 年播种面积占比 44.4% 下降到现在的 25.1%,两大棉区的绝对种植面积也在下降(表 1);三大主要棉区在棉花品种、施肥技术等基本处于同步发展,而西北内陆棉区最大特点是 1986 年后开始规模化应用地膜覆盖栽培技术,尤其从 2000 年开始,膜下滴灌技术在棉花生产开始了规模化应用,棉花单产快速上升,并大幅度超过其他棉区。棉花新品种和种植技术的突破,尤其

是育苗移栽与地膜覆盖的结合,极大提高了这2个棉区棉花单产水平,从而实现区域棉花总产量的基本稳定。而在新疆棉区,地膜覆盖技术则是该区棉花生产产生巨变的关键,其有效解决了该区域棉花播种期地温低和前期积温不够的问题,改善了棉花生产条件。新疆棉区地膜覆盖对棉花生产贡献分析结果显示,该技术应用使棉花每年增产150万~200万t,相当于全国棉花产量的20%~30%,充分表明地膜覆盖在棉花生产中起到了至关重要的作用。

为了研究地膜覆盖对棉花单产和水分利用效率的影响,笔者收集了近20年来西北内陆棉区和黄河流域棉区的相关文献,其中西北内陆棉区地膜覆盖对棉花单产影响的数据有45对,黄河流域棉区113对;涉及地膜覆盖影响棉花水分利用效率的数据西北内陆棉区有4对,黄河流域棉区有24对。通过对数据进行Meta统计分析发现,地膜覆盖对棉花单产影响巨大,增产幅度都超过20%,在西北内陆和黄河流域棉区应用使棉花单产分别提高了32.0%和22.9%,水分利用效率分别提高了78.5%和29.7%(图4)。这一方面说明地膜覆盖对棉花单产和水分利用效率影响极大,另一方面也表明地膜覆盖对棉花单产和水分利用效率的影响存在区域差异,在西北内陆降水稀缺和前期低温的区域,地膜覆盖的作用更大。总体而言,地膜覆盖栽培对棉花单产水平贡献巨大。



n 为样本量,数据来自孙东宝整理未发表数据库。*n* is sample number. Data was obtained from a unpublished database owned by SUN Dongbao.

图4 地膜覆盖条件下不同棉区棉单产和水分利用效率增加的百分比

Fig.4 The change proportion for cotton yield and water use efficiency (WUE) under plastic film mulching

分析地膜在棉花生产上的应用历史可以发现,

新疆地区最早开展了棉花地膜覆盖栽培试验^[15],1980年全国棉花地膜覆盖面积为0.4万hm²,1982年棉花覆膜面积达到5.3万hm²^[16],1985年更是达到83.3万hm²^[17]。1992年棉花地膜覆盖面积达到了140万hm²,占全国农作物地膜覆盖面积29.6%^[18]。20世纪90年代后期及21世纪,在黄河流域棉区研发出育苗移栽技术,具有显著的经济和社会效益。在西北内陆棉区,棉花膜下滴灌新技术应用大幅度提高了棉花单产,改善了棉花品质。2015年,全国植棉面积379.9万hm²,其中新疆190.5万hm²,几乎是100%应用了地膜覆盖,黄河和长江流域棉区植棉面积189.5万hm²,其中132.6万hm²约占70%的面积进行了地膜覆盖。比较西北内陆棉区新疆和黄河流域棉区河北、山东和河南等省的地膜使用强度发现,1986年以来,西北内陆棉区的地膜使用强度增长速率都远远高于黄河流域,也说明西北内陆棉区棉花种植对地膜覆盖技术的高度依赖^[9]。

3 我国棉区地膜残留污染特点和趋势

在自然、社会等多重因素的作用下形成了我国三大棉花主产区,即西北内陆(主要是新疆)棉区、黄河流域棉区和长江流域棉区。新疆棉区日照充足,前期低温,干旱少雨,属灌溉棉区,膜下滴灌是该区域棉花种植的关键技术。经过近30a连续的地膜覆盖应用,地膜残留已经成为该区域一个重大的农业环境污染问题。黄淮流域棉区日照充足,光热资源适中,但也存在前期地温低、墒情差和杂草等问题,因此,在棉花种植时进行地膜覆盖情况也较为普遍。由于该区域人均耕地面积有限,地膜回收做得相对较好,存在一定程度的地膜残留污染,但与新疆棉区相比,残留污染相对较轻。长江流域棉区光热资源丰富,以移栽棉为主,地膜覆盖在该区域棉花种植上仅存零星应用,基本没有或不存在地膜残留污染问题。

通过对严昌荣等^[19]、何文清等^[20]和王旭峰等^[21]在新疆不同区域地膜残留调查结果的综合分析,可以发现该区域棉田地膜残留量很大,长期覆膜棉田地膜残留量在42~540kg/hm²,平均残留量在200kg/hm²以上。调查结果也显示,棉田中地膜残留呈斑块状分布。南疆地区棉田的地膜残留要比北疆棉田低,对新疆建设兵团南疆团场18个点的调查

结果显示,棉田地膜残留量平均为 184.5 kg/hm^2 ($41.9\sim 414.8 \text{ kg/hm}^2$, 而新疆地区团场 64 个点的地膜残留量平均为 282.4 kg/hm^2 ($123.2\sim 655.0 \text{ kg/hm}^2$)。

在北疆连续 10 a 和 20 a 覆膜单作棉花的农田土壤地膜残留量平均分别为 $259.70\pm 36.78 \text{ kg/hm}^2$ 和 $307.90\pm 35.84 \text{ kg/hm}^2$ 。这说明不同种植模式与覆膜年限对地膜残留量影响很大,覆膜年限越长,土壤中地膜残留量越高。调查结果还显示,棉田土壤中残留地膜基本上分布在耕作层,且主要集中于 $0\sim 20 \text{ cm}$ 表层土壤中,由于翻耕等导致残膜向深层土壤转移。棉田土壤中地膜都呈现出不同形状和大小的碎片,数量在 $1\ 000 \text{ 万}\sim 2\ 000 \text{ 万片/hm}^2$ 。残膜片面积大小差异很大,从 1 cm^2 到 $2\ 500 \text{ cm}^2$ 不等。棉田土壤中单块残膜面积 $>25 \text{ cm}^2$ 的片数比率在 $16\%\sim 25\%$, $4\sim 25 \text{ cm}^2$ 的片数比率在 $44\%\sim 54\%$, $<4 \text{ cm}^2$ 的片数比率在 $21\%\sim 40\%$ 。在棉田耕层土壤中,面积较小的残留农膜一般呈片状,而大块残膜一般以棒状、球状和圆筒状等不规则形态存在^[19]。

黄河流域棉田地膜残留的研究结果显示,覆膜 2.5 和 10 a 的农田地膜残留量分别为 59.1 、 75.3 和 103.4 kg/hm^2 。不同覆膜年限棉田中残膜随着土层加深越来越少,大部分残膜分布在 $0\sim 20 \text{ cm}$ 的表层土壤中, 20 cm 以下的土壤中残膜较少,同一土层中残膜量随着覆膜年限增加而增加^[22]。 $0\sim 10 \text{ cm}$ 土层中残膜片数占总量 $58.5\%\sim 76.4\%$, $10\sim 20 \text{ cm}$ 土层占比 $22.3\%\sim 35.1\%$, $20\sim 30 \text{ cm}$ 土层中占比 $1.3\sim 6.4\%$ ^[20]。棉田土壤中面积 <4 、 $4\sim 25$ 、 $>25 \text{ cm}^2$ 的残膜数量之间的比值约为 $7:2:1$,大部分为面积 $<4 \text{ cm}^2$ 的残膜^[23]。

由于普通聚乙烯(PE)地膜具有不易分解的特性,长期使用地膜的棉田土壤中必然会产生残膜聚集。大量残膜在棉田土壤中的累积会带来一系列的危害,主要是破坏土壤结构,阻碍土壤中水肥运移,降低水肥利用效率;降低土壤通透性,影响土壤微生物活动和土壤肥力水平;还可能导致地下水下渗困难,造成土壤次生盐碱化,影响棉花正常生长和发育,增加了棉花中异性纤维丝的含量,导致棉花产量和品质降低^[24-26]。根据不同区域棉花生产对地膜覆盖的依赖程度,未来不同棉花主产区的地膜残留污染将会随着种植结构、残膜污染治理政策的变化而分化。

在西北内陆棉区,尤其是新疆,棉花生产中对地膜覆盖依赖性大,地膜已经成为棉花生产中必备的生产资料。覆盖方式也从最早的半膜覆盖逐渐发展到目前的全膜覆盖,棉田中地膜覆盖比率已经超过 85% ,导致地膜投入量保持一种稳定上升态势。随着地膜覆盖与滴灌结合形成的膜下滴灌技术的大范围应用,南疆地膜棉花生产中过去广泛应用的头水揭膜措施由于劳动力缺乏和保墒需要被弃用。

因此,在地膜覆盖面积增加、高密度种植模式应用、农村劳动力减少和地膜回收机具缺乏的现状下,该区域棉田地膜残留污染存在进一步加剧的风险。

在黄河流域棉区,虽然地膜覆盖也是一个重要的农艺技术,但相对而言,地膜应用范围和投入强度远低于西北内陆棉区。单位面积地膜投入量一般只有西北内陆棉区的 50% 左右。基本上属于短时期覆盖,在 6 月中下旬进行破膜(揭膜)培土,这时候地膜完整并且强度较高,易于回收。同时,随着棉花新品种抗逆性和丰产性不断提高,种植过程中施肥技术、杂草防除技术的不断完善,该区域棉花生产对地膜覆盖的依赖程度将逐渐减弱,种植面积也从 1981—1990 年的 29.31 万 hm^2 下降到 2011—2015 年的 14.52 万 hm^2 ,下降幅度达到 50.5% ,可以预见,在未来随着农业生产结构调整,棉花播种面积和比例有可能进一步下降,与前面预测棉花地膜覆盖面积相反的是地膜投入量进一步减少,因此,黄河流域棉区的棉田地膜残留将出现减缓的趋势。

4 主要结论与建议

4.1 我国棉花生产格局在过去 50 a 发生了巨大变化

过去 50 a,我国棉花播种总面积呈先增加后降低的变化趋势,20 世纪 70 年代,种植面积接近 400 万 hm^2 ,80 年代以后,除了 1996—2000 年种植面积一直稳定在 500 万 hm^2 左右,近 10 年来,种植面积呈现下滑的态势,2016—2020 年,种植面积只有 323 万 hm^2 。棉花主产区也发生了北移,由 20 世纪 90 年代以前 90% 以上棉花种植集中在长江流域和黄河流域两大棉区逐渐转移到新疆棉区。西北内陆棉区(主要是新疆)种植面积扩大,单产提高,而长江和黄河流域棉区种植面积萎缩、单产相比新疆棉区低将成为一个常态。

4.2 地膜覆盖是我国棉花生产格局变化主要驱动力之一

新疆等西北内陆地区棉花生产受到早期地温低和积温不够两大限制因素,因此该地区在过去并不适合种植棉花。地膜覆盖恰好可以解决早期地温低和积温不够的问题,再加上新疆光照条件好、气候干燥和棉花种植时病虫害较少等有利因素,以及膜下滴灌技术的应用,使新疆棉花单产远超长江和黄河流域。地膜覆盖在西北内陆应用可以使棉花单产提高32.0%,水分利用效率提高78.5%。因此,地膜覆盖技术是我国棉花种植区域北移的主要驱动力之一。

4.3 我国棉花主产区是地膜残留污染的重灾区

由于地膜的使用强度和回收程度不同,我国三大棉花主产区地膜污染情况不尽相同。新疆棉区棉花生产地膜覆盖使用强度大,地膜回收率低,地膜残留已经成为该区域一个重大的农业环境污染问题。黄河流域在棉花种植时对地膜覆盖依赖性相对较低。且由于人均耕地面积有限,地膜回收做得相对较好,存在一定程度地膜残留污染,但与新疆棉区相比,残留污染相对较轻。长江流域棉区光热资源丰富,以移栽棉为主,地膜覆盖在该区域棉花种植上仅存零星应用,基本不存在地膜残留污染问题。

4.4 棉田地膜残留污染的防控建议

①加强政策和标准规范制定。目前我国地膜标准对强度和厚度要求偏低,应尽快修订完善相关标准;②开展地膜应用适宜性研究。推广一膜多用、延期利用技术,以及膜侧种植、半膜覆盖等地膜用量少、增产效果好的技术模式,加强适期揭膜回收技术研究和推广;③加快西北内陆棉区地膜回收机械研制。回收机械与作物农艺相结合,棉花品种、种植模式与农机相配套,提高回收机械化水平;④重视生物降解地膜产品研发和示范。重点研究生物降解地膜的降解可控性与产品配方,缩小其与普通PE地膜在增温保墒功能方面的差异,通过技术改造和规模化生产,实现原材料和地膜产品的成本大幅度下降,提高市场竞争能力,促进规模化应用。

参考文献 References

- [1] 王晓方,申茂向. 塑料地膜——中国农业发展的希望和曙光[R].北京:中华人民共和国科学技术部农村科技司,1998.
- [2] 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 C R, MEI X R, HE W Q, 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 with English abstract).
- [3] 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 (in Chinese with English abstract).
- [4] MOLLER E, GEVERT T, HOLMSTROM A. Examination of a low density polyethylene (LDPE) film after 15 years of service as an air and water vapour barrier [J]. Polymer degradation and stability, 2001, 73(1): 69-74.
- [5] 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. YANG H D. Farmland plastic film and ecological environment protection [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 110-113 (in Chinese).
- [6] 王敬国. 农用化学物质利用与污染防治[M].北京:北京出版社, 2001. WANG J G. The utilization and pollution control of agricultural chemicals [M]. Beijing: Beijing Press, 2001 (in Chinese).
- [7] 王颖. 残膜污染治理的对策和措施[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 185-188. WANG Y. Measures to reduce the pollution of residual of mulching plastic film in farmland [J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(3): 185-188 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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. XU G, DU X M, CAO Y Z, et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China [J]. Journal of agro-environment science, 2005, 24(1): 79-83 (in Chinese with English abstract).
- [9] 严昌荣,何文清,刘爽,等.中国地膜覆盖与残留污染防治[M].北京:科学出版社, 2015. YAN C R, HE W Q, LIU S, et al. Application of mulch films and prevention of its residual pollution in China [M]. Beijing: Science Press, 2015 (in Chinese).
- [10] 丁凡,李诗彤,王展,等.塑料和可降解地膜的残留与降解及对土壤健康的影响:进展与思考[J].湖南生态科学学报,2021,8(3):83-89. DING F, LI S T, WANG Z, et al. Residue and degradation of plastic and degradable mulch in cropland and their effects on soil health: progress and perspective [J]. Journal of Hunan ecological science, 2021, 8(3): 83-89 (in Chinese with

- English abstract).
- [11] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2013: 623. Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agriculture Sciences. Chinese cotton cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2013: 623 (in Chinese).
- [12] 季希富. 简析棉花生产的比较效益及稳棉措施[J]. 农业技术经济, 1993(5): 51-52. JI X F. The comparative benefit of cotton production and its measures [J]. Journal of agrotechnical economics, 1993(5): 51-52 (in Chinese).
- [13] 朱启荣. 中国棉花主产区生产布局分析[J]. 中国农村经济, 2009(4): 31-38. ZHU Q R. The production distribution of cotton in China [J]. Journal of Chinese rural economy, 2009(4): 31-38 (in Chinese).
- [14] 周才清, 徐冰. 试论我国棉花生产的波动性及其原因[J]. 中国棉花, 2005, 32(1): 2-5. ZHOU C Q, XU B. The fluctuation of cotton production and its reason in China [J]. Chinese journal of cotton, 2005, 32(1): 2-5 (in Chinese with English abstract).
- [15] 辽阳棉麻研究所. 棉花地膜覆盖栽培的几个技术问题[J]. 新农业, 1981(21): 6. Liaoyang Cotton and Linen Institute. The technical problems of plastic film mulching cultivation for cotton [J]. Journal of new agriculture, 1981(21): 6 (in Chinese).
- [16] 陈奇恩. 全国棉花塑膜覆盖栽培技术的考察[J]. 新疆农垦科技, 1983(5): 18-23. CHEN Q E. The review of plastic film mulching cultivation for cotton in China [J]. Journal of Xinjiang agricultural reclamation technology, 1983(5): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- [17] 芦平. 全国棉花地膜覆盖栽培技术推广概况[J]. 中国棉花, 1985(2): 2-5. LU P. The overview of plastic film mulching cultivation for cotton in China [J]. Chinese journal of cotton, 1985(2): 2-5 (in Chinese with English abstract).
- [18] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2013. Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agriculture Sciences. Chinese cotton cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2013 (in Chinese).
- [19] 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 C R, WANG X J, HE W Q, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang [J]. Acta ecologica sinica, 2008, 28(7): 3470-3474 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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 W Q, YAN C R, LIU S, 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 with English abstract).
- [21] 王旭峰, 马少辉, 王伟, 等. 风沙作用下塑料地膜破损现状分析及防治措施探索[J]. 农机化研究, 2012, 11: 245-252. WANG X F, MA S H, WANG W, et al. Study analysis about damage of plastic film under the sandstorm and exploration about prevention and control measures [J]. Journal of agricultural mechanization research, 2012, 11: 245-252 (in Chinese with English abstract).
- [22] 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 C R, HE W Q, MEI X R, et al. Agricultural application of plastic film and its residue pollution prevention [M]. Beijing: Science Press, 2010: 76-86 (in Chinese).
- [23] 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 H, MEI X R, YAN C R, et al. The residue of mulching plastic film of cotton field in north China [J]. Journal of agro-environment science, 2008, 27(2): 570-573 (in Chinese with English abstract).
- [24] LIU E K, HE W Q, YAN C R. 'White revolution' to 'White pollution': agricultural plastic film mulch in China [J/OL]. Environmental research letters, 2014, 9: 091001 [2014-07-10]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/9/091001>. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/091001.
- [25] YAN C R, HE W Q, NEIL C T, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: importance and problems [J]. World agriculture, 2014, 4(2): 32-36.
- [26] 王瑟, 张国圣. "白色污染, 难题何解?" [N]. 光明日报, 2014-03-07(8). WANG S, ZHANG G S. White pollution: how to solve it? [N]. Guangming daily, 2014-03-07(8) (in Chinese).

Migration of cotton planting regions and residual pollution of mulch film in China

DING Fan^{1,2}, LÜ Jun³, LIU Qin¹, GUO Ying¹,
HE Wenqing¹, WANG Lin⁴, YAN Changrong¹

1. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;*

3. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Shihezi Academy of Agricultural Science, Shihezi 832000, China;*

4. *General Station of Agriculture technology Extension, Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi 830011, China*

Abstract Plastic film mulching (PFM) is one of the most widely applied agricultural technology in China, which changes the distribution of cotton planting regions and greatly improves the development of cotton industry in China. Two methods including on-site investigations and literature and statistical data collection were used to conduct a large-scale sampling of the characteristics of mulch film application and residual pollution in main cotton areas in China to obtain first-hand data. At the same time, the application and data of cotton film mulching technology in the past few decades are sorted and summarized. The changing characteristics of cotton production pattern in China were reviewed. The effects of mulching technology on cotton industry in China were analyzed. The characteristics and trends of residual pollution of mulch film in the soil of main cotton farmland were discussed. The results showed that cotton yield increased sharply to today's 2 000 kg/hm² in Xinjiang after wide application of PFM technology, which is much larger than that in the Yangtze or Yellow River Basin. Therefore, China's main cotton planting area has migrated from previous Yangtze and Yellow River Basin to today's Northwest inland region. However, residue accumulation of plastic film has become a serious problem and affects sustainable development of cotton industry. The residue accumulation of plastic film in the soil after 10 and 20 years of PFM application in Xinjiang was 259.7±36.78 kg/hm² and 307.9±35.84 kg/hm², respectively. Therefore, PFM technique will continue to play a key role in maintaining the stability of cotton production, and plastic film pollution will be more and more serious in the future. We must take some powerful actions to control residual pollution of plastic derived from PFM in China.

Keywords cotton; plastic film mulching; planting region; residual pollution of mulch film; prevention and control

(责任编辑:张志钰)