

我国地膜应用污染现状及其防治途径研究

何文清^{1,2}, 严昌荣^{1,2}, 赵彩霞³, 常蕊芹⁴, 刘 勤^{1,2}, 刘 爽^{1,2}

(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.农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081;
3.河北农业大学, 河北 保定 071001; 4.河北成安县农业局, 河北 成安 056700)

摘 要:地膜是农业生产的重要物质资料之一,我国每年地膜应用量近百万吨,地膜覆盖面积 1 000 多万 hm^2 ,覆盖作物达 40 多种。地膜技术的应用极大地促进了我国农业的发展,但随着地膜应用量和使用年限的不断增加,大量残留地膜造成的“白色污染”不但严重影响了农业生产的进行,而且对农业环境的安全与健康也构成了巨大的威胁。农田残留地膜已经成为影响农业环境、破坏土壤结构、危害作物正常生长发育并造成农作物减产的重要因素之一。通过对统计数据的整理分析,以及在国内外研究文献总结和归纳的基础上,对我国农用地膜应用、污染现状进行了全面的分析和论述。在此基础上,针对我国的地膜污染的现状,从地膜的标准化生产、节约使用、高效回收以及未来需要研发的新材料、新技术等方面提出相应的防治技术途径。

关键词:地膜;残膜污染;防治途径

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)03-0533-06

Study on the Pollution by Plastic Mulch Film and Its Countermeasures in China

HE Wen-qing^{1,2}, YAN Chang-rong^{1,2}, ZHAO Cai-xia³, CHANG Rui-qin⁴, LIU Qin^{1,2}, LIU Shuang^{1,2}

(1.Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China; 2.The Key Laboratory for Agro-Environment & Climate Change, Ministry of Agriculture, P.R.C, Beijing 100081, China; 3.Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 4.Hebei Cheng'an County Agricultural Bureau, Cheng'an 056700, China)

Abstract: Plastic film covers are important in the Chinese agricultural production. In recent years, one million ton per year of plastic film has been applied in the agricultural fields of China. The coverage area has reached over ten millions hectares. Application of plastic film raises agricultural production. With the increase of plastic film application amounts, the pollution by residue of mulching plastic film in the field has become a serious problem. It has affected the neighboring environment, destroyed soil structure, and harmed crops' normal growth. This study analyzed application of and pollution by the mulching plastic film based on a former domestic study results and analysis of statistical data, discusses the field distribution characteristics, the influencing factors and the harmful effects of mulching plastic film residue, and the techniques for preventing and controlling mulching plastic film pollution as well as the development trend in the future are proposed based on forecasted agricultural production situation.

Keywords: plastic film; pollution by plastic film residue; measures of prevention and controlling

地膜是农业生产的重要物质资料之一,地膜技术的应用极大地促进了农业产量和效益的提高,带动了农业生产方式的改变和农业生产力的飞跃发展^[1]。我国是一个地膜覆盖栽培大国,截至 2005 年,我国地膜覆盖面积已经达到 1 350 万 hm^2 ,地膜使用量达到

95.9 万 t,地膜使用已经覆盖新疆、山东、山西、内蒙古、黑龙江、陕西、甘肃等高寒冷凉、干旱及半干旱地区的 40 多种农作物,并呈现持续增长的态势^[2]。地膜是一种人工合成的高分子化合物,在自然条件下需要上百年的时间才能完全降解^[3-5],随着地膜应用量和使用年限不断增加,大量残留地膜造成的“白色污染”不但严重影响农业生产的进行,而且对农业环境的安全与健康也构成了巨大的威胁^[6-9]。因此,如何科学规范地使用农用地膜,同时加强残留地膜的回收与治理,已经成为我国农业实现可持续发展的重要保障。

收稿日期:2008-03-26

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAD07A06,2006BAD17B04);
“十一五”国家 863 项目(2006AA100216)

作者简介:何文清(1974—),男,副研究员,主要从事农田污染及节水农业方面的研究。E-mail:hwq201@cjac.org.cn

通讯联系人:严昌荣 E-mail:Yancr@cjac.org.cn

1 我国地膜的应用现状与特点

1.1 使用量、覆膜面积持续增加

根据过去十几年农用地膜覆盖面积及使用量统计数据显示^[10-11],我国农作物地膜覆盖面积一直保持持续的增长态势。1981年农作物覆盖面积仅为15万 hm^2 ,1991年达到490.9万 hm^2 ,2001年上升到1096万 hm^2 ,2005年更进一步达到1350万 hm^2 ,是1981年覆盖面积的797.8倍(图1)。农膜使用量也大幅度上升,统计表明,使用量从1991年31.9万t增加到2005年的95.9万t,增加了近3倍(图2),增长速度非常快。

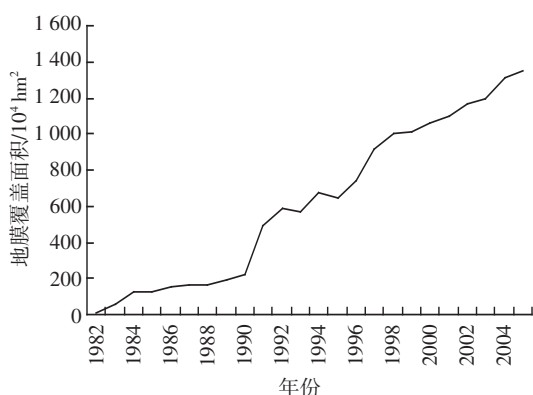


图1 1982—2005年我国地膜的覆盖面积

Figure 1 Coverage area of plastic film in China from 1982 to 2005

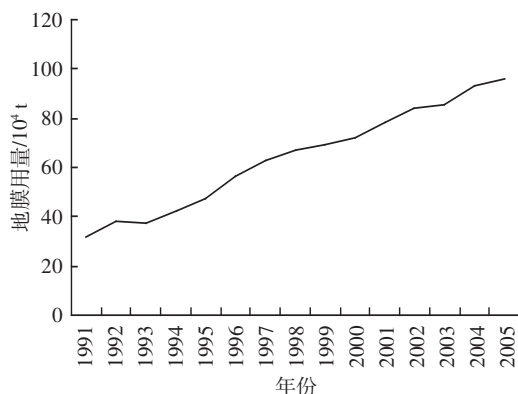


图2 1991—2005年我国农用地膜使用量

Figure 2 Application amount of plastic film in China from 1991 to 2005

1.2 地膜应用区域分布广泛

根据2005年我国农业统计数据来看^[10-11],地膜的应用区域在全国分布已经非常广泛,从北方的干旱、半干旱区域到南方的高山、冷凉地区均有一定面积的应用,特别是东北区的黑龙江、吉林、辽宁以及内蒙古部分地区,华北区的山东、河南、河北三省,西北区的新疆、甘肃以及西南区的四川、云南冷凉山区是主要

的应用和分布区域。从覆膜面积来看,山东、新疆和河北是地膜应用的大省,2005年覆膜面积均在100万 hm^2 以上,三省的覆膜总面积占全国总面积的38.9%(图3)。从地膜使用总量来看,山东、新疆、河北也居全国前列,使用量山东为14.44万t,新疆为10.22万t,河北为6.36万t,三省用量的总和占全国总用量的32.2%(图4)。

1.3 地膜覆盖的作物种类不断增加

我国自1979年从日本引进地膜栽培技术,最初用于经济价值比较高的蔬菜、花卉种植,经过几十年的理论与实践,地膜栽培技术取得了飞速的发展,目前已扩大到花生、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的栽培种植,以粮、棉、油、糖、菜、瓜、果、烟为重点应用的地膜覆盖栽培面积平均每年递增46.7万 hm^2 ^[11]。近些年来,在新疆、山东、山西、内蒙古、黑龙江、陕西、甘肃等高寒冷凉、干旱及半干旱地区,地膜覆盖技术已逐渐推广应用到40多种农作物的种植,尤其是在蔬菜、玉米和棉花种植方面应用广泛,并呈现持续增长的趋势。地膜覆膜栽培已成为促进农业增产的一项重要技术措施。

2 我国地膜残留污染现状、特点与危害

2.1 地膜残留污染的现状

地膜原料是人工合成的高分子化合物,在自然条件下很难分解或降解。我国地膜应用已经有20多年的时间,由于人们环保意识的滞后,缺乏有力的残膜回收措施,再加上近些年来,生产厂家为降低成本,产品越来越薄($<0.008\text{ mm}$),造成地膜强度低,易破碎,并且在使用后难以捡拾回收,从而导致土壤中残膜污染越来越严重。据农业部20世纪90年代初对全国17个省市调查结果表明,所有农膜覆盖过的农田土壤均有不同程度的农膜残留,残留量平均为 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最高达 $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[1]。近些年来,国内一些研究人员以及农业环境监测部门也对地膜的残留情况进行了初步的调查,在地膜广泛应用的区域,都有不同程度的残留污染,如河南省中牟、郑州、开封等地花生地耕层土壤地膜残留量年均均为 $66\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最高可达 $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[12],河北省邯郸地区棉田土壤地膜残留量达 $59.1\sim 103.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[13]。而在这些地区中,尤以新疆地区棉田土壤污染最严重。根据最新调研结果表明,新疆地区棉田耕层中平均残膜量为 $265.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,是全国平均水平的4.5倍,最高达 $381.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而且随

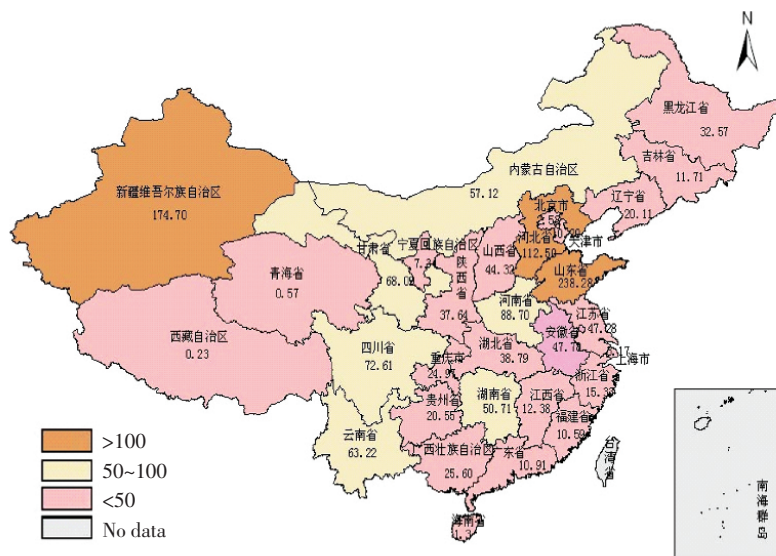
图 3 2005 年全国地膜使用面积 (10⁴ hm²) 分布图

Figure 3 Distribution of coverage area of plastic film in China in 2005

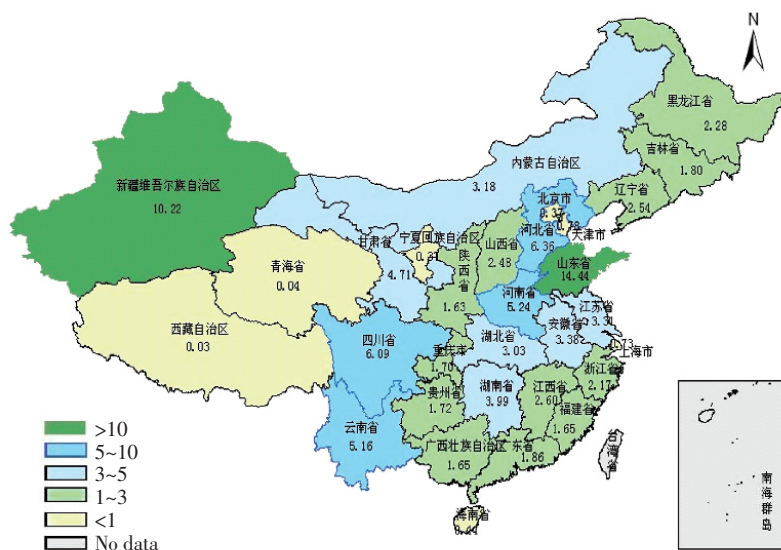
图 4 2005 年全国地膜使用量 (10⁴ t) 分布图

Figure 4 Distribution of application amount of plastic film in China in 2005

着覆膜年限越长,污染越严重^[14]。

2.2 地膜污染的特点

2.2.1 残膜污染的累积性

残膜一般在土壤可以残存 200~400 a, 长时间内的累积污染是残膜污染的最大特点。由于缺乏有力的回收措施,导致覆膜年限越长,污染越严重。马辉等^[13]研究表明,覆膜 2、5 和 10 a 农田耕层中(0~30 cm)地膜总残留量分别达到 59.1、75.3 和 103.4 kg·hm⁻²,残膜总数分别为 393、544、965 万块·hm⁻²。根据我们在新疆的农八师 147 团最新调查结果显示,覆膜 5~10 a

的农田耕层中残膜量为 173.6 kg·hm⁻², 10~15 a 为 309.5 kg·hm⁻², 15 a 以上的地块达 409.6 kg·hm⁻²。

2.2.2 残膜分布的层次性

残留在土壤中地膜主要分布在耕作层,但由于各地农作措施的不同,残膜在各层次中分布的数量也不一致。齐小娟等^[15]研究表明,土壤中残膜集中分布在 0~10 cm,一般要占残留地膜的 2/3 左右,其余则分布在 20~30 cm,再往下基本没有分布。马辉等^[13]研究结果为,0~10 cm 土层中残膜的片数约占总量的 58.5%~76.4%, 10~20 cm 土层中约占总量的 22.3%~35.1%,

20~30 cm 土层中占总数的 1.3%~6.4%左右,大部分残膜集中在 0~20 cm 层土壤中。而新疆地区由于机械化程度高,土壤耕翻尺度深,所以在 30 cm 以下的土壤仍有分布。

2.2.3 残膜形态的不规则性

土壤中残留地膜大小和形态多种多样,受农事耕作和农膜使用情况的影响,主要有片状、卷缩圆筒状和球状等,它们在土壤中呈水平、垂直和倾斜状分布。由于各地农作措施的各异,地膜残片的面积差异较大,在山西,棉田的地膜残片的面积一般在 10~15 cm²,约占地膜残留量的 73.9%,其次是小于 5 cm²的残片,约占 13%^[16]。在新疆长期应用地膜的棉区,土壤中有 34%残留地膜面积小于 5 cm²,而华北和东北地区土壤中地膜残片较大,多在 20~50 cm²。

2.3 残留地膜污染的危害

2.3.1 破坏土壤结构,降低耕地质量

由于土壤中大量残膜的存在,导致了土壤物理结构层次的变化,使得土壤水分、养分向下运移受到阻碍,土壤空隙度、通透性降低,不利于土壤空气的循环和交换,最终造成耕地质量下降^[6,16-18]。赵素荣研究发现当农膜残留量由 0 提高到 225 kg·hm⁻²时,土壤容重增加 18.2%,土壤孔隙度降低 13.8%、土壤含水量降低 11.7%,而且这些土壤参数随残留农膜碎片增大而劣变^[9]。南殿杰的试验结果,水分下渗速度与土壤中地膜残留量呈对数相关关系,当残留量达到 360 kg·hm⁻²时,水分下渗速度明显减慢,只相当于对照的 2/3^[20]。还有研究表明,在新疆等干旱地区由于残膜的存在导致地下水难以下渗,造成土壤次生盐碱化等^[21]。

2.3.2 影响作物生长发育,导致作物减产

残膜对作物生长发育的危害主要表现在两个方面,一是由于残膜改变了土壤正常的结构层次,造成水分、养分的运移被阻断,从而导致作物营养不良,大幅度减产。第二就是由于土壤中残膜存在,导致作物在生长的時候经常会使幼小的根系被残膜缠绕,从而导致水分、养分的吸收被阻断,造成作物死苗。已有研究表明在土壤中地膜残留量达到 37.5 kg·hm⁻²时,小麦基本苗较对照降低了 25%,冬前分蘖数较对照降低了 17%,表现出苗慢,出苗率低,根系扎得浅,有些根系由于无法穿透残膜碎片而呈现弯曲横向发展,残留地膜对玉米、茄子、白菜和花生根系的生长具有明显的抑制作用^[22-23]。在新疆棉区的模拟试验发现在棉田土壤中残膜达到一定数量后,烂种和烂芽率大幅度提高,棉苗侧根比正常减少 4.8~7.6 条,2~3 片真叶期

棉苗死亡提高 1.19%,子叶期棉苗死亡 3.08%,现蕾期推迟 3~5 d,株高降低 6.7~12.9 cm^[21]。但也有研究结果显示有些植物受残留地膜的影响较小,如西红柿株高、茎粗、叶数、植株干重在土壤中残留量低于 360 kg·hm⁻²时受到的影响都不大^[24],这可能是由作物的特性,尤其是根系特性所决定的。

2.3.3 地膜污染的其他危害

土壤残膜的污染,除了导致土壤质量下降以及作物减产外,还会引起其他一系列的危害,主要表现在:第一,影响农事操作,由于大量残膜存在,在进行耕地、整地、播种等农事操作时残膜经常会缠绕在农机具上或堵塞播种机,从而影响农事操作和播种的质量;第二,由于地膜残留在土壤中,或者丢弃在田间地头,经常会引起视觉污染,破坏环境景观;第三,农膜的残片经常会随着作物秸秆被牛羊等家畜误食,导致牲畜中毒死亡^[25];第四,由于回收不力,农民经常会在地里焚烧残膜,塑料燃烧会产生氯化氢(HCl)、二噁英等多种有害气体,造成大气污染。

3 我国残膜污染防治的技术与途径

3.1 实行严格的标准化生产,规范地膜产品的质量

国际上要求地膜厚度为 0.012 mm,最薄也不能低于 0.008 mm^[1],美国和西方国家农膜厚度一般在 0.020 mm,日本为 0.015 mm,我国在 20 世纪 80 年代初期为 0.014 mm。但为了减少成本,获得更大的经济利益和迎合农民的心理和需求,实际生产销售的地膜厚度大多在 0.005~0.006 mm,甚至更薄,导致地膜强度低,易老化破碎,回收十分困难。因此,减少地膜污染,首先在生产上要实行严格的标准化,规范和调整现有企业的生产,保证农膜产品的质量,使地膜产品达到国家厚度标准和拉伸强度,这样在田间使用的时候就不易破碎,提高了残膜回收率,减轻残膜对农田环境的污染。

3.2 开展节约型地膜使用技术的推广和应用,减少地膜的投入量

一是推广一膜多用技术,即选用厚度适中、韧性好、抗老化能力强的地膜产品,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,这样既减少了地膜投入量,又减少了土壤耕作的用工,达到省时省工又环保的目的。二是在保证不影响作物生长的前提下,适当减少地膜的田间覆盖度,如我国地膜推广初期,田间的理论覆盖度是 80%~100%,但通过试验,不同作物在不同地区都有 50%~70%的降

低空间,但增产效果不减,从而达到少用地膜,少污染的目的^[1]。三是通过作物轮作倒茬以及农作制度的改变,减少地膜总的覆盖量。如河北邯郸地区通过粮棉、菜棉轮作倒茬减少地膜单位面积平均覆盖率,进而减轻残膜污染危害,通过更换棉花品种,把春棉变为夏棉,从而实现了棉花裸地种植,大大减少了农田地膜的投入。

3.3 加强地膜回收技术的研究,提高残膜的回收率

加强适期揭膜回收技术的研究,欧美和日本等发达国家由于使用的地膜产品比较规范,韧性好,抗老化能力强,因此一般都在作物收获后进行回收。而对于我国的地膜产品则必须根据不同的作物种类,不同的区域条件,形成最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,提高地膜回收利用效率。如近些年来河北、新疆等地区开展的棉花头水前揭膜技术,由于头水前农膜尚未老化,韧性好,不易破碎,回收率可达90%以上^[26]。山西地区玉米覆膜栽培在拔节期揭膜,即玉米出苗后45 d 揭膜都能大幅度提高地膜的回收率^[27]。

加快研制成熟适用的残膜回收机具。由于地膜应用范围的扩大,手工回收残膜变得越来越困难,机械回收残膜已经成为必然趋势。目前,国内残膜回收主要分为两大类,苗期残膜回收机和收获后残膜回收机^[28],研制出的机型有十几种,如苗期揭膜机械,秋后回收机械,耕层捡拾机械和播前回收机械等,其中一些机型已经比较成熟,但由于额外增加作业成本,并未得到大面积的应用,今后应重点攻关研制常规农事操作与残膜回收能够同时兼顾的农机具及其配套技术措施,在不增加作业成本和农民负担的前提下,实现地膜的高效回收,如目前新疆地区研制的清膜整地联合作业机,残膜回收与茎秆粉碎联合作业机等。

3.4 研发和推广适用的可降解地膜

研制出可降解、无污染的地膜新材料才是根治残膜污染的理想途径^[29]。20世纪70年代以来,欧美和日本等国科学家提出降解塑料的概念,并对以光降解和生物降解为代表的降解材料进行多年研究^[30],但由于可降解地膜降解和应用的复杂性,同一配方的降解塑料地膜在不同的地方、对不同的作物有不同的降解表现,必须通过应用研究才能推广使用。还有与普通聚乙烯地膜相比,存在成本过高的问题,因此,降解塑料地膜的大面积推广应用一直未能实现。目前,国内研制成功的完全可降解塑料鲜见报道,但可以在不同程度上实现降解的塑料报道却很多。总体来看,我国对

降解地膜研究尚处于试验和探索阶段,存在着生产成本低、产品降解不完全或力学性能和耐水性较差等问题^[31]。未来随着材料科学的发展,以及工艺水平的提高,以生物质为主要原料的生物降解地膜将会是替代传统的聚乙烯地膜解决“白色污染”问题的最终途径。

参考文献:

- [1] 王晓方,申茂向. 塑料农膜—中国农业发展的希望和曙光[M]. 中华人民共和国科学技术部农村科技司, 1998.
WANG Xiao-fang, SHEN Mao-xiang. Farmland Plastic Film—Hope and Dawn of Chinese Agricultural Development[M]. Countryside Science and Technology Department of Science of China, 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 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.
- [3] Kenneth Moller, Thomas Gevert. Arne holmstrom 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.
- [4] 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: 110–113.
YANG Hui-di. Farmland Plastic Film and Ecological Environment Protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 110–113.
- [5] 王敬国. 农用化学物质的利用与污染控制[M]. 北京: 北京出版社, 2001: 73.
WANG Jing-guo. The Utilization and pollution control of Agricultural Chemicals[M]. Beijing: Beijing Press, 2001: 73.
- [6] 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.
WANG Pin. Measures to reduce the pollution of residual of mulching plastic film in farmland[J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(3): 185–188.
- [7] 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 Gang, DU Xiao-ming, CAO Yun-zhe, 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.
- [8] 麻世华,叶东平,麻成军. 农用塑料薄膜的残留危害及控制措施[J]. 现代化农业, 1997(10): 5–6.
MA Shi-hua, YE Dong-ping, MA Cheng-jun. Study on the residual damage and control measures of agricultural plastic film[J]. Modern Agriculture, 1997(10): 5–6.
- [9] 李平娟. 浅论地膜污染与防治对策[J]. 江苏环境科学, 2004, 17(增刊): 35–36.
LI Ping-juan. Shallowly discusses film pollution and countermeasures[J]. Jiangsu Environmental Science and Technology, 2004, 17(S): 35–36.
- [10] 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, 1981–2006.

- Rural Society Investigation Department of National Statistical Bureau. China Rural Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1981-2006.
- [11] 国家统计局农村社会调查总队. 新中国五十年农业统计资料[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.
- Rural Society Investigation Team of National Statistical Bureau. Agriculture Statistic Data of 50 Years Since the Founding of New China[M]. Beijing: China Statistics Press, 2000.
- [12] 刘青松. 农村环境保护[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 137-138.
- LIU Qing-song. Rural Environmental Protection[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2003: 137-138.
- [13] 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.
- [14] 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): 3470-3484.
- 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): 3470-3484.
- [15] 齐小娟, 顾延强, 李文重, 等. 内蒙古农田残留地膜对农作物的危害调查[J]. 内蒙古农业科技, 2001(2): 36-37.
- QI Xiao-juan, GU Yan-qiang, LI Wen-zhong, et al. Investigation on the harm caused by residue film on the crops in Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2001(2): 36-37.
- [16] 安 琼. 塑料对农田生态系的污染及其防治[J]. 农村生态环境, 1996, 12(2): 44-47.
- AN Qiong. The effect of plastic pollution on farm ecosystem and the control countermeasures[J]. *Rural Eco-environment*, 1996, 12(2): 44-47.
- [17] 肖 军, 赵景波. 农田塑料地膜污染及防治[J]. 四川环境, 2005, 24(1): 102-105.
- XIAO Jun, ZHAO Jing-bo. Farmland plastic film pollution and its countermeasures[J]. *Sichuan Environment*, 2005, 24(1): 102-105.
- [18] 王维岗, 申玉熙. 新疆农田废旧地膜污染状况及防治措施[J]. 新疆农业科技, 2002(6): 5.
- WANG Wei-gang, SHEN Yu-xi. Farmland plastic film residue pollution and its countermeasures in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Technology*, 2002(6): 5.
- [19] 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.
- [20] 南殿杰, 解红娥, 李燕娥, 等. 覆盖光降解地膜对土壤污染及棉花生育影响的研究[J]. 棉花学报, 1994, 6(2): 103-108.
- NAN Dian-jie, XIE Hong-e, LI Yan-e, et al. Study of the effect of photodegradable plastic film mulching on soil contamination and cotton growth[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1994, 6(2): 103-108.
- [21] 吾甫尔江·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.
- Wupuerjiang ·Tuohuti, Aihaiti ·Yasheng, Bayaer. Discussion about mulch film pollution and countermeasure of prevention and control[J]. *Environmental Protection of Xinjiang*, 2000, 22(3): 176-178.
- [22] 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜土壤对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业科学, 1996, 15(2): 9-10.
- ZHANG Bao-min, WANG Lan-zhi, PAN Tong-xia, et al. The effect of soil containing film residue on wheat growth and development[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1996, 15(2): 9-10.
- [23] 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜对花生生长发育的影响[J]. 农业环境保护, 1994, 13(4): 184, 178.
- ZHANG Bao-min, WANG Lan-zhi, PAN Tong-xia, et al. The effect of film residue on peanut growth and development[J]. *Agro-Environmental Protection*, 1994, 13(4): 184, 178.
- [24] 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.
- JIANG Li-ping, MA Yan-ping, LI Bo, et al. The effect of residue film on tomato bearing status and its yield[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 1998(5): 14-15.
- [25] 杨俊杰, 李正平, 程树高, 等. 塑料薄膜引起牛胃阻塞的诊治[J]. 新疆农垦科技, 2001, 5(12): 25-26.
- YANG Jun-jie, LI Zheng-ping, CHENG Shu-gao, et al. Diagnosis and treatment of bovine gastric blocked caused by the plastic film[J]. *Xinjiang Agricultural Reclamation Science and Technology*, 2001, 5(12): 25-26.
- [26] 米岁芳, 王 萍, 张惠文. 棉花地膜残留及其对策的试验研究[J]. 新疆环境保护, 1998(20): 27-29.
- MI Sui-fang, WANG Ping, ZHANG Hui-wen. Experimental study on mulching plastic film and controlling measures for cotton fields[J]. *Environmental Protection of Xinjiang*, 1998(20): 27-29.
- [27] 张建中, 等. 论农田“白色污染”的防治途径[J]. 山西农机, 2002, 32(14): 16.
- ZHANG Jian-zhong, et al. Study on the prevention way of farmland white pollution[J]. *Agricultural Machinery of Shanxi*, 2002, 32(14): 16.
- [28] 侯书林, 胡三媛, 孔建铭. 国内残膜回收机研究的现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 186-190.
- HOU Shu-lin, HU San-yuan, KONG Jian-ming. Present situation of research on plastic film residue collector in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(3): 186-190.
- [29] Anu Kapanen, Evelia Schettini, Giuliano Vox, et al. Performance and environmental impact of biodegradable film in agriculture: A field study on protected cultivation[J]. *J Polym Environ*, DOI 10. 2007/s 10924-002-0091-x.
- [30] 唐赛珍, 陶 钦. 中国降解塑料的研究与发展[J]. 现代化工, 2002, 22(1): 2-7.
- TANG Sai-zhen, TAO Qin. Research and development of degradable plastics in China[J]. *Modern Chemical Industry*, 2002, 22(1): 2-7.
- [31] 邱威扬, 邱贤华, 王飞镭. 淀粉塑料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 24.
- QIU Wei-yang, QIU Xian-hua, WANG Fei-di. Starch-based plastic[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 24.