



中国地膜覆盖 及残留污染防控

Application of Mulch Films and Prevention of
Its Residual Pollution in China

严昌荣 何文清 刘 爽 曹肆林 等 编著



科学出版社

中国地膜覆盖及残留污染防治

Application of Mulch Films and Prevention of
Its Residual Pollution in China

严昌荣 何文清 刘 爽 曹肆林等 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

全书分为六章。第一章介绍了地膜覆盖的起源和作用机制、地膜覆盖对我国农业生产的影响及应用现状和趋势。第二章重点介绍西北绿洲农业区、黄土高原旱作区、华北平原丘陵区、西南武陵山区和东北风沙干旱区的农业生产特点和地膜应用现状。第三章分作物种类介绍了地膜覆盖技术模式及特点,主要作物包括玉米、棉花、花生、烟草、马铃薯和水稻等。第四章介绍地膜残留污染防控研究调查方法、地膜残留污染特点及主要危害。第五章重点介绍了新型可降解地膜的种类及特性。第六章介绍了我国现有地膜回收机械的特点和适应性。另外,本书还有七个附件,分别介绍了可生物降解地膜评价报告、国内外相关标准及规范、有关研究成果的新闻报道,以及相关企业及产品信息。

本书可供从事农业与环境管理、科研、生产等领域的人员、专业技术人员、教学人员和相关专业的研究生、本科生等参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国地膜覆盖及残留污染防控 / 严昌荣等编著. —北京:科学出版社, 2015.8

ISBN 978-7-03-045339-6

I. ①中… II. ①严… III. ①地膜栽培 ②农用薄膜—污染防治—中国 IV. ①S316②X71

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第187192号

责任编辑:李秀伟 / 责任校对:朱光兰

责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年8月第一次印刷 印张:18

字数:350 000

定价:148.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

Preface

20 世纪 90 年代, 美国经济学家布朗曾向世界发问: “21 世纪谁来养活中国?” 因为这个世界确实不存在一个其他国家能养活拥有 13 亿多人口的中国, 于是乎中国的粮食安全问题就上升到一个异常高的高度, 并由此产生许多观点。实际上, 中国人必须自己养活自己, 正如农业部部长韩长赋所说, “中国人的饭碗要牢牢端在自己手里, 因为中国是 13 亿人口的大国, 所以中国人的饭碗靠别人、靠国际市场靠不住。……另外, 解决中国 13 亿多人粮食安全问题也是对人类、对世界的一个贡献”。农业是一个社会和技术的交织体, 投入、资源和技术是支撑中国粮食安全的 3 个支柱。一方面, 我国农业需求的土地资源和水资源严重不足, 数量挖潜十分有限; 另一方面, 农业自然灾害和环境污染问题的加剧要求人们加大对农业资源环境保护力度, 这就使得农产品生产供给和生态环境保护的矛盾进一步加剧。基于中国农业资源现状和环境条件, 粮食安全必然需要在技术和农业投入品上进行突破, 包括作物新品种、新技术和新型肥料等, 事实也确实如此, 如近年来, 中国科学家通过培养杂交稻、超级稻、杂交玉米, 研发新型肥料和温室技术等提高农作物产量, 在保障农产品供给方面发挥了巨大作用。

覆盖作为一种非常传统的农业技术, 如秸秆覆盖、西北地区的砂石覆盖, 已经具有十分悠久的历史, 也产生了良好效果。20 世纪 50 年代, 随着塑料科学的发展, 日本科学家发明了地膜覆盖技术, 并应用于蔬菜生产。1978 年, 地膜覆盖技术自日本引入中国, 通过 30 多年的应用与实践, 该技术与我国传统农业的精耕细作技术密切结合, 形成了一系列适合不同区域和作物的技术模式, 为中国农业发展作出了卓越贡献。据统计, 我国地膜使用量从 1982 年的 0.6 万 t 增加到 2013 年的 136.2 万 t, 提高了 200 多倍, 覆盖面积达 2333 万 hm^2 。据分析, 我国适宜地膜覆盖栽培的农田面积在

5000 万 hm^2 以上, 未来仍有继续发展的空间。例如, 该技术的应用扩大了玉米种植区域, 北界北移 2~3 个纬度, 播种时间提前 5~10d, 每年增产玉米 100 亿~150 亿 kg, 贡献了相当于全国玉米总产量的 5%~8%。地膜覆盖使西北内陆棉区迅速扩大, 地膜覆盖种植棉花的面积从 20 世纪 80 年代不到全国棉花总面积的 10% 上升到 2010 年的 31.8%, 每年增产棉花 150 万~200 万 t, 贡献了相当于全国棉花产量的 20%~30%。

地膜覆盖具有提高地温、抑制地表水分蒸发、提高肥效、保持土壤疏松、抑草灭草、抑盐保苗、增加冠层光照均匀程度和增加反射光等功能, 有效改善农作物生长发育条件, 抗御不良环境, 充分利用有限的光、热、水和养分资源, 促进种子萌发和作物生长, 是一种积极的“促根栽培”法。一般情况下, 地膜覆盖能够使作物生育期内平均地温提高 3~6℃, 增加地积温 300℃ 左右, 使 0~20cm 土壤含水量提高 2.6~3.5 个百分点, 降水利用率大幅度提高。在我国, 地膜已经成为农业生产的重要物质资料之一, 地膜覆盖技术的应用带动了农业生产力的飞跃和生产方式的改变。覆盖作物种类也从经济作物扩大到棉花、玉米、小麦和水稻等大田作物, 对保障我国农产品供给和粮食安全作出了重大贡献。

与其他任何一种技术一样, 人们在享受其带来好处的同时, 必然也要面对其负面作用。随着地膜覆盖技术的普及和应用, 地膜残留污染问题日益严重, 调查资料显示长期覆膜农田土壤中地膜残留量为 71.9~259.1 kg/hm^2 , 从区域上看, 西北农田土壤中残膜量要远高于华北和西南地区。地膜残留污染主要危害表现在阻碍土壤毛管水和自然水的渗透, 影响土壤吸湿性, 降低土壤通透性, 影响土壤微生物活动和土壤肥力, 土壤残膜可导致作物出苗慢、出苗率低、缺苗断垄多等现象严重, 地膜残留还可能降低农产品质量。此外, 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功能不良甚至死亡; 漫天飞舞的残膜影响环境景观, 造成“视觉污染”等。总之, 地膜残留已给农业生产和环境造成了严重的不良影响。合理利用地膜覆盖技术和加强残膜污染防治技术研究已成为一个重要议题。

本书的撰写与出版是课题组及合作专家多年心血的结晶，并得到了中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、辽宁省农业科学院、农业部都市农业（南方）重点实验室、新疆农垦科学院、甘肃省农业科学院、联合国粮食及农业组织（FAO）中国办公室、金发科技股份有限公司、苏州崑盛电子科技有限公司、广东上九生物降解塑料有限公司、山东天壮环保科技有限公司、河南龙都天仁生物材料有限公司、日本昭和电工株式会社、德国 BASF 公司（中国）、广东益德环保科技有限公司、山东青岛康文生物塑料有限公司、英国 AESL（Advanced Enzyme Science Limited）公司的大力支持；中国农业科学院蔬菜花卉研究所王耀林研究员对本书有关章节进行润色修改、宁夏农林科学院程炳文研究员在野外调查中给予了无私的帮助；胡玮同学绘制了种植模式示意图；科学出版社李秀伟编辑对本书出版给予了鼎力支持，在此一并致谢。同时还要特别感谢国家自然科学基金项目“地膜残留对土壤水氮运移和棉花根系影响研究（No.31370522）”、2015 年农业部行业专项“残膜污染农田综合治理技术方案（201503105）”、科技部“十二五”国家科技支撑计划课题“旱地农田高效用水关键技术研究 with 典型示范（2012BAD09B01）”、农业部 948 项目“可生物降解地膜产品、材料及关键生产工艺引进（2014-Z6）”等、农业部旱地作物水分生产力提升创新团队、中国农业科学院生物性节水与旱作农业创新团队的资助。

由于地膜覆盖技术应用的广泛性和普遍性，以及地膜残留污染的独特性，加之我们在资料掌握、野外调查及撰写等方面还存在不足，书中不妥之处在所难免，作者殷切希望广大同仁和读者不吝赐教，批评指正，以促进地膜覆盖技术合理应用和地膜残留污染问题的解决，推动我国农业的可持续发展。

作者

2015 年 1 月

前言

第一章 地膜覆盖的特点和基本概况..... 1

- 第一节 地膜覆盖的起源和作用机制..... 1
- 第二节 地膜覆盖对农业生产的影响..... 8
- 第三节 地膜覆盖应用现状及发展趋势..... 13

第二章 主要覆膜农区及地膜应用..... 19

- 第一节 西北绿洲农业区..... 19
- 第二节 黄土高原旱作区..... 21
- 第三节 华北平原丘陵区..... 23
- 第四节 西南武陵山区..... 25
- 第五节 东北风沙干旱区..... 26
- 第六节 不同地区地膜应用比较..... 28

第三章 主要地膜覆盖技术模式及特点..... 29

- 第一节 玉米..... 29
- 第二节 棉花..... 43
- 第三节 花生..... 52
- 第四节 烟草..... 58
- 第五节 马铃薯..... 67
- 第六节 水稻..... 76

第四章 地膜残留污染特征与危害..... 82

- 第一节 地膜覆盖及残留污染调查方法..... 82
- 第二节 地膜残留污染时空分异特点..... 85
- 第三节 地膜残留污染的主要危害..... 94

第五章 地膜成分特性和污染防治策略	104
第一节 地膜成分与潜在危害分析	104
第二节 塑料可降解性及新型地膜	107
第三节 农艺防治技术与残膜综合利用	115
第六章 典型残留地膜回收机械	119
第一节 苗期残膜回收机械	119
第二节 秋后残膜回收机械	133
第三节 播前残膜回收机械	152
第四节 其他残膜回收机械	160
附件	167
附件 1 2011 年日本昭和电工株式会社降解地膜 评价报告	168
附件 2 2012 年日本昭和电工株式会社降解地膜 评价报告	201
附件 3 可降解地膜评价技术规范（草案）	217
附件 4 氧化 - 生物双降解生态地膜地方标准 （山东）	227
附件 5 农用残膜回收利用技术规范（宁夏）	240
附件 6 中央电视台和报刊采访的相关报道	248
附件 7 主要可降解地膜生产企业介绍	268
索引	277

第一章

地膜覆盖的特点和基本概况

第一节 地膜覆盖的起源和作用机制

一、地膜覆盖的起源和在中国的应用

地膜覆盖技术是 20 世纪 50 年代日本科学家发明并最早用于草莓生产。在地膜覆盖技术发明初期，重点覆盖作物是蔬菜，尤其是保护地蔬菜生产中地膜覆盖的比例非常高。由于该技术具有良好的增温保墒和防除杂草作用，其在日本得到迅速发展和应用。与此同时，覆膜栽培作物也逐渐由最初的蔬菜扩展到烟草、花卉、薯类、棉花和玉米等作物上。20 世纪 70 年代末，我国农业科研工作者利用废旧薄膜（原来用于小拱棚等的塑料薄膜，这种地膜的厚度一般为 0.02mm）进行小面积蔬菜和棉花平畦覆膜试验。1978 年 6 月，时任农业部副部长朱荣访问日本，参观了日本地膜覆盖技术试验基地，回国后向有关农业科研和管理单位介绍了日本塑料薄膜地面覆盖技术，并要求开展相关研究。1978 年 9 月，我国有关单位的科研人员在国际农机展览会获得塑料薄膜样品，由长沙市塑料三厂和旅大市（1981 年 2 月 9 日后改称为大连市）塑料研究所以这些样品为样本，开展了中国地膜产品研发，生产出厚度为 0.015~0.020mm 的国产地膜，并在农业上开展了相关覆膜种植试验（北京市朝阳区农业科学研究所，1979）。

随着塑料行业的科技进步，尤其是地膜材料的研发、吹膜工艺的进步和完善，覆膜机械的应用，地膜产品和覆膜方式的不断改进，使得技术迅速得到普及应用。国内外许多专家、领导和技术人员都为地膜覆盖技术在中国的应用和推广倾注了大量心血和汗水。例如，日本专家石本正一（Shourichi Yishimoto）先生一直致力于中日农业科技交流合作，在 1979 年，石本正一先生最早向中国传授了地膜覆盖技术，无偿提供相关地膜产品和技术资料，并投入大量资金和组织日本专家到中国进行地膜覆盖技术的推广，他是推进我国地膜覆盖技术

的核心人物之一。在 1984 年，中国地膜覆盖栽培研究会成立时，石本正一被聘为荣誉顾问，并捐赠 1000 万日元作为研究会的活动经费，还出资与农业部合作在北京、上海、沈阳和大连建立“中日合作设施园艺试验农场”，在北京和宁夏开展地膜覆盖技术的示范推广，合作进行“黄土沙漠综合节水灌溉技术”项目，努力推进地膜覆盖技术在农业抗旱节水方面的应用。为了推广地膜覆盖技术，石本正一先生先后 105 次访问中国。他的工作也得到中国政府和人民的高度赞扬，他先后被国务院授予“十位杰出国际友人”称号，也是中国政府“友谊奖”和中国国际科技合作奖的获得者。中国农业科学院蔬菜花卉研究所王耀林研究员是我国最早从事地膜覆盖技术研究和应用的专家之一，在农作物地膜覆盖栽培高产机制及应用研究方面取得了突破成果，直接带动了我国地膜覆盖技术的应用和发展。他先后主持实施了国家经贸委、农业部“塑料薄膜地面覆盖栽培高产机理及应用技术研究”、“中日合作特殊农用地膜研究”和“中日合作建立设施园艺试验农场”等重大科技项目，其研究成果“聚乙烯地膜及地膜覆盖栽培技术”获 1985 年国家科技进步奖一等奖，为地膜覆盖技术在我国推广应用作出了卓越贡献。

二、地膜覆盖的作用机制

增加地温、抑制地表水分蒸发和保持水分、抑草灭草、抑盐保苗、增加作物冠层光照均匀程度和增加散射光等是地膜覆盖的显著特点，也是能够提高农作物产量和改善农产品品质的关键。其根本是有效改善农作物生长发育条件，抵御不良环境，充分利用有限的光、热、水和养分，促进种子萌发出土，加速根系和地上部生长，延长作物有效生育期，从而实现农产品早熟、高产和优质的良好效果。

1. 改善冠层光照条件，提高作物产量和品质

根据颜色，地膜可分为无色与有色两大类，无色地膜即透明地膜，有色地膜又可分为银色反光膜、黑色防草地膜、绿色地膜等。不同颜色地膜的光学特性差异十分显著，这也能在很大程度上对农作物 / 林果冠层光照条件产生影响。一般来说，反光膜对作物冠层光照强度和均匀性的影响最为明显，银色反光膜的反射率一般为 35%~95% 甚至以上，其次是乳白色地膜、无色地膜和其他颜色地膜，反光率为 20%~30%，黑色地膜的反光率最差，只有 1%~2%，相当于裸露地面的 1/3（表 1-1）。

表 1-1 不同颜色地膜透光率、反光率和热辐射透射率 (%)

Tab. 1-1 The transmittance, reflectivity and radiation transmission rate of different colored mulch films

地膜种类	透光率	热辐射透射率	反光率
无色地膜	90	90	10
反射膜	≤ 15		≥ 35
乳白色地膜	40	80~90	20~30
黑色地膜	1~3	30~40	2

注：透光率为透过透明或半透明体的光通量与其入射光通量的比例 (%)。反光率表示物体反射光线的能力，是太阳光照射在物体上反射的概率。反射能力强的是高反光率景物，如白雪反光率为 98%；反射能力弱的是低反光率景物，黑色物体则不反射光线，如碳黑的反光率是 2%；通常可摄对象中高反光率和低反光率的物体不一样多，平均反光率约为 12.5%，所以 12.5% 为“中性灰”

同时，地膜自身和地膜下凝结的微细水珠对光的反射也能够在一定程度上增加作物冠层反射光和散射光强度，改善作物冠层中下部分的光照条件，延缓叶片衰老和延长叶片有效光合作用时间。旱地玉米冠层光照强度的测定结果显示，与裸地玉米相比，在 7 月中旬，覆膜玉米农田距地面 25cm 和 50cm 的有效光合辐射强度分别增加 $6.1\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 和 $15.9\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；在 9 月则分别增加 $33.7\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 和 $21.2\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，玉米冠层中下部分有效光合辐射强度增加 26%~207% (表 1-2)。

表 1-2 山西寿阳旱地地膜覆盖玉米冠层下有效光合辐射变化 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]

Tab. 1-2 The photosynthetic active radiation of maize canopy plastic film mulched on dry-land in Shouyang, Shanxi Province

7 月				9 月			
距地面 25cm		距地面 50cm		距地面 25cm		距地面 50cm	
覆膜	CK	覆膜	CK	覆膜	CK	覆膜	CK
29.6	23.5	46.3	30.4	50	16.3	34.9	13.7

注：孙东宝在 2011~2012 年田间测试数据

采用反光地膜覆盖技术改善水果品质是目前广泛应用的技术之一，已有研究结果显示，该技术能有效地促进葡萄、番茄、桃子和苹果果实的着色，提高着色指数和改进果品品质，影响鲜花的色彩等 (图 1-1)。

吴韶辉等 (2012) 研究发现覆膜能够提升柑橘树冠中下部光照强度的反射率，树冠下反射率提高 1~3 倍。夏国海等 (1998) 研究结果显示，铺设反光膜对果园不同冠层入射光的影响不大，但果树冠层下部反射光强度显著增强，果树下层果实的着色指数也显著高于对照，整株全红果率平均比对照增加 59.8%。在西北地区，秋后阴雨寡照天气较多，常常导致晚熟油桃着色差、糖分含量低、风味变淡、口感变差、外观和内在品质大大下降，严重影响果农收益，但通过使用反光膜增



图 1-1 不同颜色农膜对果实和鲜花色彩的影响（左图照片为甘肃刘兴禄提供，右图为 Pasquale Mormile 提供）

Fig.1-1 Application of reflective film technology in apple orchards and flower garden

左：反光膜用于苹果着色。右：上 - 无紫外线照射，下 - 有紫外线照射

色技术能够使晚熟油桃含糖量增加 2%，平均着色指数提高 25%~30%，全红果率由 42% 提高到 70%。正常年景下，该技术使油桃增收 1.5 万~2.25 万元/hm²（张超，2011）。

2. 改变地面与大气热交换，提高土壤温度

土壤温度是影响作物生长发育的一个重要因素，它在很大程度上决定土壤中作物种子是否萌动，根系是否生长等。同时，土壤温度又与大气热交换有密切关系，在白天，太阳光照射地面，将光能转为热能使得土壤温度升高，在晚上或寒冷时期，当空气温度低于土壤温度时，正常状态下，温度高的土体热量通过辐射和对流向空气进行热量散失。而地膜覆盖以后，膜下土壤与膜外空气的热量交换方式将发生变化，长波辐射热量由于地膜存在而被阻挡，同时，由于地膜阻隔作用，土壤水分向空气中汽化蒸发的路径基本被阻断，汽化水分在膜下形成露珠使得土壤中的热能得以保持，因此，地面覆盖使得土壤温度增高。地膜覆盖条件下土壤温度增加的幅度受到多个因素影响，首先取决于由膜外透过地膜进入土体热量的多少；其次是膜下土壤吸收的热量，以及土壤透过地膜向大气散失的热量；膜下土壤含水量也是影响因素之一。因此，地膜覆盖对土壤温度的影响是十分复杂的，但总体上地膜覆盖将导致土壤温度提高。

一般情况下，地膜覆盖能够使作物生育期的平均地温提高 1.2~5℃，增加地积温 300℃ 左右，但不同区域和作物之间存在较大差异。在西北地区，地膜覆盖使玉米生育期内 0~25cm 土壤平均地温提高 1.6~3.4℃，地积温增加 200~350℃（李均平等，2013；李荣等，2012；王敏等，2011；张杰等，2010；李成军等，2010；李兴等，2010；朱琳等，2009；程俊珊，2006；黄占斌等，2004）；而地膜覆盖能使马铃薯生育期内地温提高 1.6~5.0℃（贾玉琴等，2013；张维国，

2013; 范士杰等, 2011; 王亚宏等, 2009); 同样, 地膜覆盖能使西北内陆棉花生育期内地温提高 $1.2\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (张朝勇和蔡焕杰, 2005; 胡明芳和田长彦, 2003; 李毅等, 2001; 张权中等, 2000)。在东北地区, 地膜覆盖使玉米生育期内 $0\sim 20\text{cm}$ 土层地温提高 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$, 地积温增加 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ (曹玉军等, 2013; 马树庆等, 2004), 使花生生育期内地温平均增加 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$, 地积温增加 200°C 左右 (尹光华等, 2012; 张龙海, 1998)。在华北山地丘陵地区, 地膜覆盖使玉米生育期内土壤地温提高 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$, 尤其是在 6 月中旬前, 不同层次土壤温度都显著提高 (图 1-2), 地积温也得到提高, 一般为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$, 但不同层次略有差异, 表层土壤地积温增幅比较大, 一般为 8% 左右, 而深层土壤的地积温增温幅度稍小, 一般为 5% 左右 (图 1-3)。玉米苗期土壤温度提高, 有利于玉米的壮苗和全苗 (段德玉, 2004; 刘秀红等, 2003; 崔福柱等, 2001)。在西南山地, 地膜覆盖使烟草生育期内平均地温提高 $1\sim 5^{\circ}\text{C}$, 但地温的提高幅度主要与自然条件有关, 越是高山低温地区, 地膜覆盖的增温效果越明显 (杨承等, 2013; 贾海江, 2012; 许志强等, 2012; 李永涛等, 2011; 靳志丽等, 2007; 殷红慧等, 2006; 罗春燕等, 2005)。此外, 地温升高幅度还与烟草生育期有密切关系: 在烟叶育苗伸根期, 地膜覆盖使地温提高 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$, 而在旺长期为 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$, 这对于烟草生产极为有利。因此, 地膜覆盖能够增加作物生育期地温和地积温, 延长作物有效生育期, 这是地膜覆盖获得早熟高产的重要原因之一。

3. 阻止土壤水分散失, 提高作物水肥利用效率

地膜覆盖改变了农田土壤水分分布与运动状态。由于地膜切断了土壤水分向大气蒸发的通道, 抑制土壤水分的蒸发, 把蒸发的水分阻隔于地膜下, 在干旱土壤无重力水存在和土壤温度梯度的作用下, 使土壤深层水分不断向上层运动。同时, 覆膜能提高雨水收集率、抑制土壤水分蒸发、提高降水入渗率和保蓄率, 有利于充分利用有限的降水, 形成了膜下小环境的土壤水分运动, 有明显的保水作用, 降水利用率达 $30\%\sim 60\%$ (梁馨文等, 2009; 田媛等, 2007; Tian et al., 2003; 胡芬和陈尚谟, 2000)。

地膜覆盖使马铃薯降水利用效率大幅度提高, 一般为 $57.0\sim 92.5\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 提高幅度达 $35\%\sim 110\%$, 产量达 $2.1\sim 4.5\text{t}/\text{hm}^2$, 增产率达 $36\%\sim 117\%$ (薛俊武等, 2014; 谭雪莲等, 2011; 王亚宏等, 2009)。也有研究结果显示, 宁夏中南部地区的砂田应用地膜覆盖后能显著提高土壤水分的保蓄能力, 使 $0\sim 20\text{cm}$ 土壤含水量比常规种植高出 $2.6\sim 3.5$ 个百分点, 农田降水利用率和籽瓜水分利用效率分别达 $74.0\%\sim 78.5\%$ 和 $10.0\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ (傅亲民等, 2011)。同时, 地膜覆盖的增温保墒功能有利于形成易于土壤微生物生长和繁殖的环境, 而土壤微生物活动能

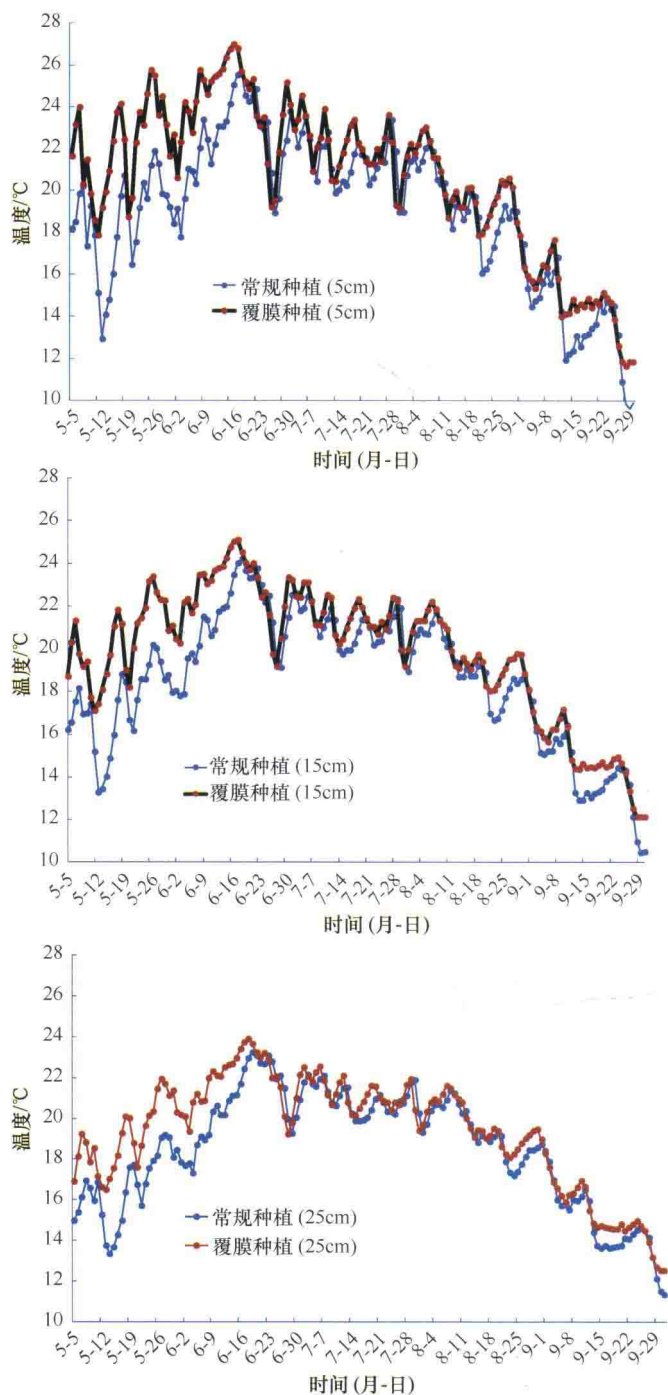


图 1-2 地膜覆盖对华北丘陵区旱地玉米不同层次土壤温度的影响

Fig.1-2 Effect of plastic film mulched maize fields on soil temperature of different layers in hilly areas of Northern China

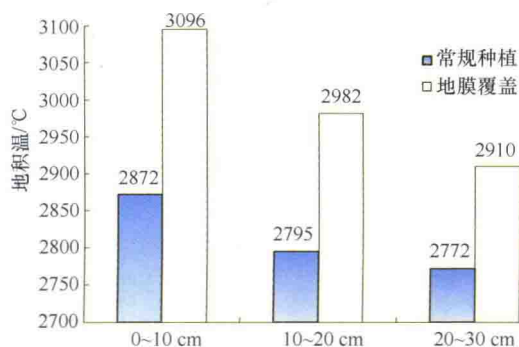


图 1-3 地膜覆盖对华北丘陵区旱地玉米地积温的影响

Fig.1-3 Effect of plastic film mulched maize fields on soil accumulated temperature in hilly areas of Northern China

够加速有机质分解和养分释放，增加土壤肥力，地膜阻隔作用还能防止养分的蒸发或被雨水、灌水冲刷淋溶流失，具有良好的保肥和提高肥效的功能。陈火君等（2010）研究结果显示，华南地区覆膜种植玉米能够实现肥与水隔离，减少化肥流失，与常规种植相比，可减少 30% 的施肥量，玉米收获后土壤养分含量也明显高于常规种植；与常规种植相比，地膜覆盖能使农田地表径流水中 N、P、K 浓度分别降低 39.5%、28.0% 和 43.7%。

4. 降低农田土表蒸发，抑制土壤盐分上移

在许多区域，土壤盐渍化是农业生产面临的另一个挑战。土壤盐渍化是土壤盐分随水分上升到地表，在水分蒸发后盐分留在地表而形成的。由于地膜覆盖改变了土壤中水分运动和分布状态，在地膜下的表层土壤形成一个微型水循环（图 1-4），该技术也间接影响土壤中盐分运移和聚集，一方面含有盐分的土壤水分受地表增温作用上升到地表，另一方面，地膜阻隔水分蒸发到大气，水分又不得不再次凝聚成小水滴重新返回土壤。因此，地膜覆盖使得在膜下形成特殊环境和水分小循环，而这种循环在某种意义上是对表层土壤中盐分淋洗，可以减少土壤耕层中盐离子浓度，形成相对的“低盐耕作层”，为种子萌发和幼苗生长提供有利条件。地膜覆盖虽然不能减少土壤含盐量，但可以改变盐分在土壤中的分布，从而达到抑盐保苗的效果，这也为中轻度盐碱地的开发利用开辟了新途径。有研究结果显示，在内蒙古河套灌区，地膜覆盖与秸秆深埋能够对葵花田土壤水盐时空运动产生明显影响，从葵花播前到收获，地膜覆盖与秸秆深埋能够使土壤积盐量降为 0.06g/kg，分别比耕翻、地膜覆盖和秸秆深埋降低 35.1%、133.8% 和 276.9%，形成一个“高水低盐”的土壤溶液系统（王婧等，2012）。同样，在内蒙古河套地区春玉米行间进行地膜覆盖能减少土壤水分蒸发，提高水分利

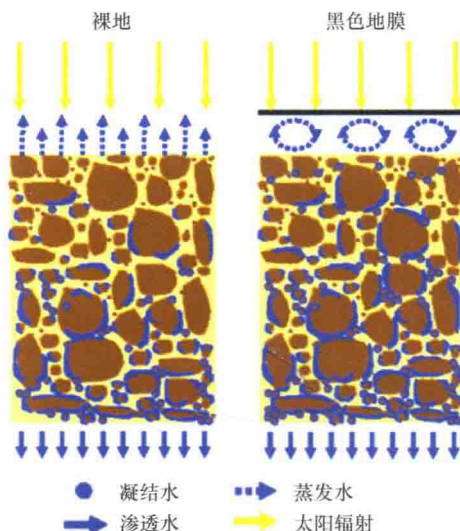


图 1-4 地膜覆盖与裸地土壤水分循环示意图 (Pasquale Mormile 提供)

Fig.1-4 The water cycle diagram of mulching film fields and bare land soils

用率, 通过降低耗水量来抑制土壤返盐, 行间覆膜处理条件下, 0~80cm 土层可溶性盐分降低 1.30g/kg, 可有效预防土壤板结 (吕佳雯等, 2013)。

(本节作者: 严昌荣 何文清 孙东宝)

第二节 地膜覆盖对农业生产的影响

地膜覆盖的增温、保墒和抑制杂草等功能, 以及该技术大规模应用已经对我国农业产生了巨大影响, 使得农业生产方式和区域种植结构发生了革命性的变化。地膜覆盖技术对中国农业产生全方位、深层次的影响, 主要表现在以下几个方面。

一、扩大作物种植区域, 改变作物播期

中国是世界上仅次于美国的第二大玉米生产国, 2000 年总产量达到了 1.66 亿 t (Gulati and Dixon, 2008), 2012 年全国玉米播种面积 3500 万 hm^2 , 单产约 6.0t/ hm^2 , 总产达 2.11 亿 t。据研究, 未来我国玉米种植面积将继续扩大, 玉米种植面积和产量持续增加受到多种因素的影响和作用。第一, 在北方地区, 与大豆和杂粮相比, 玉米种植收益较高, 使得农民会倾向于压缩大豆和杂粮而扩

大玉米种植面积；第二，玉米生产机械化程度不断提高，省工省力，符合我国农村劳动力变化的特点和要求；第三，国内玉米市场需求不断增加，价格走高。除此以外，地膜覆盖技术广泛应用是玉米种植面积和区域扩大的另外一个重要原因，已有研究表明，地膜覆盖减少了春玉米的田间作业工序，并使玉米保持较高产量水平，直接导致农民对玉米种植积极性提高（图 1-5）。据估算，2012 年全国有 667 万 ~800 万 hm^2 玉米采用了地膜覆盖技术，占玉米全部播种面积的 1/4 以上。在地膜覆盖技术发明应用以前，甘肃陇东、宁夏中南部山区和西南高海拔地区，由于积温偏低，玉米无法成熟或者产量低，种植面积较小，或者是种植饲料玉米，而地膜覆盖技术有效解决了这些地区积温不够、生育期短等问题，使得玉米种植区域北界北移了 2~3 个纬度，播种时间提前 5~10d，种植面积也大幅度增加（李荣等，2012；程俊珊，2006）。



图 1-5 甘肃会宁玉米全膜双垄沟种植模式（2013 年何文清摄于甘肃会宁）

Fig.1-5 The model of full film mulching on ridge-furrow on dry land in Huining, Gansu Province

棉花是另外一个受地膜覆盖技术影响最大的作物，20 世纪 80 年代初，徐培秀等（1983）将我国棉区划分为黄河流域棉区、长江流域棉区、西北内陆棉区、北部特早熟棉区和华南棉区等。已有数据显示，20 世纪八九十年代，西北内陆棉区的新疆棉花播种面积占全国 9 个棉花主产省（区）棉花播种面积的 10% 以下，棉花主产区主要集中在长江流域和黄河流域。而 2000 年以后，西北内陆棉区，主要是新疆棉区迅速扩大，新疆棉花播种面积占全国棉花总播种面积从 20 世纪八九十年代不到 10% 迅速增加到 2001~2010 年的 23.0% 和 2011~2012 年的 31.8%，黄河流域棉区播种面积从 20 世纪 90 年代的 61.8% 逐渐下降到 39.5%，长江流域棉区种植面积也从 20 世纪 80 年代的 58.7% 下降到 28.6% 以下，此后，各棉区棉花播种面积与全国棉花总播种面积的比例保持在一种相对稳定的状态（表 1-3）。

我国棉花种植区域变化受多种因素的综合影响。在 20 世纪 80 年代后期，