

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.029

中国棉花地膜覆盖产量效应的 Meta 分析

李 昊 李世平 南 灵 李 河 郭清卉
(西北农林科技大学经济管理学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为定量分析近 30 a 地膜覆盖对棉花的增产效应,整合已发表的相关田间试验数据,利用 Meta 分析方法系统分析地膜覆盖对棉花的产量效应及影响因素。具体过程包括:异质性检验、综合效应量计算、发表偏倚检验、敏感性分析、累积 Meta 分析和亚组分析。结果表明,所收集的数据不存在发表偏倚和极端值,分析结果可信度较高。与不覆盖相比,覆盖地膜的棉花产量平均提高 17.2%。自 1986 年以来,覆盖地膜的棉花累积平均增产率为 1.2% ~ 18.0%。在平作、年均气温小于 12℃ 或年降水量小于 500 mm 的地区及采用厚度 0.008 mm 地膜覆盖时,地膜覆盖条件下棉花的增产率较高,分别为 17.8%、21.5%、19.1% 和 17.3%;3 个区域的覆膜增产率由大到小表现为:西北棉区(24.5%)、黄河流域棉区(16.5%)、长江流域棉区(10.5%);近年来,覆盖地膜仍可在一定程度上提高棉花产量,但其增产率已呈下降趋势,应采取必要的应对措施。

关键词: 棉花; 产量; 地膜; Meta 分析; 残膜; 农田污染

中图分类号: S11*4; S562; S626.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)07-0228-08

Meta-analysis of Effect of Plastic Film Mulching on Cotton Yield in China

LI Hao LI Shiping NAN Ling LI He GUO Qinghui
(College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Plastic film mulching, known as the “white revolution”, has been widely used in cotton cultivation in China, since it makes the cotton planting area expanded from the south toward the north and from the east toward the west. However, it is unclear about if and how the yield increasing effect of plastic film mulching is influenced by different planting patterns, climatic factors, film thicknesses, regions and experimental durations in China. To solve these questions, a total of 29 papers containing 48 groups of data were selected on the subject of cotton yield and plastic film mulching from the published papers before 15th November, 2016 and analyzed by meta-analysis. The main steps included heterogeneity test, comprehensive effect size calculation, publication bias test, sensitivity analysis, cumulative meta-analysis and influence factor analysis. Results showed that there were no publication bias and no extreme value among the collected data, thus the analysis results were highly credible. Plastic film mulching averagely increased cotton yield by 17.2% compared with no mulching. The cumulatively average yield of cotton mulched with plastic film was increased by 1.2% ~ 18.0% since 1986. Under flat planting, in regions where annual mean temperature was lower than 12℃ or annual precipitation was less than 500 mm, and using 0.008 mm plastic film, the yield increasing rate under plastic film mulching was higher, which was 17.8%, 21.5%, 19.1% and 17.3%, respectively. The yield increasing effect with plastic film mulching was the highest in the northwest region with a mean value of 24.5%, followed by the Yellow River Basin with a mean value of 16.5%, then by the Yangtze River Basin with a mean value of 10.5%. In recent years, plastic film mulching could improve cotton yield to a certain extent, but its yield increasing rate was declined, and necessary measures needed to be taken. This research would provide valuable information for the application of plastic film mulching and further increase the yield of cotton in China.

Key words: cotton; yield; plastic film; Meta-analysis; residual plastic film; farmland pollution

收稿日期: 2016-12-06 修回日期: 2017-01-04
基金项目: 国家社会科学基金项目(15XJY010)和陕西省国土资源厅项目(K332021305、K332021306)
作者简介: 李昊(1988—),男,博士生,主要从事资源经济与环境管理研究,E-mail: lihao23@163.com
通信作者: 李世平(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事资源经济与环境管理研究,E-mail: lishiping68@126.com

引言

棉花是仅次于粮食的第二大农作物,也是主要的纺织原材料和战略物资,在国民经济、人民生活中占有重要地位。中国是世界主要产棉国之一,约占全球总产量的 31%^[1]。棉花喜高温、耐旱耐盐碱,可无限生长,其产量和品质对光照、辐射、积温等环境条件极为敏感^[2]。地膜覆盖栽培技术因其具有显著的增温、保墒、减蒸、抑盐^[3]及提高光效^[4]等诸多优点,已成为目前中国棉花生产的主要种植模式。

研究表明,覆盖地膜可有效降低盐害,促进棉花由营养生长向生殖生长转化,且能改善纤维品质等各项指标^[5],提高棉花产量^[6]。与平作不覆盖相比,起垄覆膜可促进棉苗生长、增强光合特性、提高生物量累积,同时能显著降低棉花叶片中脯氨酸和丙二醛含量及超氧化物歧化酶活性^[6-7]。在轻、中度盐碱区,覆膜可有效降低出苗至幼苗期耕层土壤盐分含量,改善根区土壤水热状况,提高成苗率^[8],且较不覆盖可显著提高叶面积指数、叶绿素含量与叶片气体交换量^[9]。但也有研究发现,残留在土壤中的地膜会使土壤容重增加,孔隙度下降,通透性减弱,影响土壤溶质运移和微生物活性^[10-11]。受残膜隔离影响,种子发芽困难、根系生长受阻^[10],不利于作物对土壤水分和养分的吸收利用,进而影响产量^[4,12]。

Meta 分析是对同一主题下的多个研究结果进行综合分析的方法,通过效应指标量化将各个研究进行整合,系统分析特定措施的综合效应及影响因素。目前,国内 Meta 分析在农业及农业工程领域的应用研究仍处于起步阶段,主要包括地膜覆盖对马铃薯产量的影响^[13]、深松对小麦玉米产量的影响^[14]、秸秆还田对农田土壤 N₂O 排放及影响因

素^[15]等。本文通过收集已发表的关于中国地膜覆盖下棉花产量的田间试验数据,以不覆盖为对照,应用异质性检验、综合效应量计算、发表偏倚检验、敏感性分析、累积 Meta 分析和亚组分析定量研究地膜覆盖对棉花产量的影响,旨在揭示地膜覆盖对棉花产量的作用机制及影响因素,并为进一步提高中国棉花产量提供依据和建议。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究通过对中国知网、维普、万方、Web of Science、Springer、Engineering Village、Google Scholar 等中英文数据库进行检索,收集截止 2016 年 11 月 15 日国内外发表的关于中国地膜覆盖对棉花产量效应的田间试验研究论文。为减少偏差并满足 Meta 分析对数据的要求,基于以下标准确定该研究的样本:①试验区位于中国范围内,试验地点明确、年份清楚。②试验处理同时包括地膜覆盖和不覆盖。③文中列有 2 种处理的产量均值及标准差,或提供了各重复的产量,或试验年限大于等于 2 a。④试验所用地膜厚度和种植方式清晰。经以上标准筛选,共获得 29 篇文献,包含 48 组数据。

1.2 数据分类

所收集的数据主要涉及河北、河南、山西、山东、江苏、安徽、湖北和新疆共 8 个省、自治区。考虑到行政区划的完整性、政策及耕作制度的相似性,将中国棉花种植区域划分为 3 个棉区^[16]:黄河流域棉区(包括河北、山东、河南、山西、陕西、北京和天津等)、长江流域棉区(包括浙江、江苏、上海、安徽、江西、湖北、湖南和四川等)和西北棉区(包括新疆、甘肃等)。所有研究中,地膜均为聚乙烯塑料薄膜,地膜覆盖均为全生育期覆盖。具体样本信息如表 1 所示。

表 1 样本基本信息
Tab.1 Basic information of selected samples

区域	省、自治区	棉花品种	土壤质地	海拔高度/m	年降水量/mm	年均气温/℃	种植模式	覆膜厚度/mm
黄河流域棉区	河北、山西、山东、河南	鲁棉研 28、鲁棉研 24、冀棉 228、冀棉 298、中棉 12、晋棉 11、晋棉 28、中棉所 41、农大棉 7 号、中棉 50、徐州 553、	中壤土、壤质潮土、褐土、壤土、褐化潮土、黄潮土、砂壤土	2 ~ 767	463 ~ 727	9.9 ~ 14.3	平作、垄作	0.006、0.008
长江流域棉区	江苏、安徽、湖北	中棉所 79、泗抗 3 号、鲁棉 15 号、鄂棉 18 号	盐碱地、砂壤土、黄棕土	2 ~ 119	864 ~ 1 200	14.1 ~ 15.8	平作、垄作	0.008
西北棉区	新疆	新陆早 13、新陆中 21、新陆早 48	壤土、中壤土、砂壤土	412 ~ 1 007	43 ~ 213	6.6 ~ 11.4	平作、垄作	0.008

1.3 数据分析

1.3.1 标准差计算

标准差是 Meta 分析的一个重要参数,可反映各

独立研究的重要性。当文献列有产量标准差时,直接使用;当文献没有提供产量标准差但有多组重复试验的产量,或既未提供产量标准差也无重复试验

的产量但包含多年试验时,自行计算标准差。

1.3.2 效应量计算与整合

利用各研究中地膜覆盖(试验组)和不覆盖处理(对照组)的平均产量、标准差及重复数计算效应值^[17]

$$\ln R = \ln(Y_e/Y_c)$$

式中 R ——反应比

Y_e ——试验组产量,kg/hm²

Y_c ——对照组产量,kg/hm²

为了更加直观地反映地膜覆盖的增产效应,将效应值 $\ln R$ 转换为增产率 Z_Y ^[17]

$$Z_Y = (\exp(\ln R) - 1) \times 100\%$$

Z_Y 的 95% 置信区间若全部大于 0,说明覆盖地膜对棉花产量具有显著正效应;若全部小于 0,说明覆盖地膜对棉花产量具有显著负效应;若包含 0,则说明覆盖地膜对棉花产量无显著影响。

1.3.3 异质性检验

基于异质性检验结果选择固定或随机效应模型。通过构建异质性检验 Q 统计量进行检验,其计算公式^[18]为

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i (E_{si}^2 - \overline{E_s})^2 = \sum_{i=1}^n w_i E_{si}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n w_i E_{si})^2}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

式中 w_i ——第 i 个研究的权重

n ——效应量个数

E_{si} ——第 i 个研究的效应量

$\overline{E_s}$ ——所有研究效应量的平均值

当显著性 $P_Q < 0.05$ 时,选用随机效应模型;当 $P_Q \geq 0.05$ 时,选用固定效应模型。

1.3.4 发表偏倚检验

发表偏倚是小样本效应的一种常见现象。小样本通常比大样本研究存在更大的处理效应^[19],易于

发表,由此产生发表偏倚^[20]。本研究采用漏斗图和回归检验法进行发表偏倚检验。公式^[20]为

$$t_i = \beta_1 + \beta_0(1/S_{ei}) + v_i$$

其中 $v_i = \varepsilon_i/S_{ei}$

式中 t_i —— t 检验统计量

β_0 ——回归系数 β_1 ——截距

S_{ei} ——第 i 个研究的标准差

ε_i ——残差 v_i ——残差与效应量之比

1.3.5 敏感性分析

敏感性分析通过逐一移除单个效应量对其余效应量进行整合,观察综合效应量、95% 置信区间及异质性检验等是否发生较大变化,从而剔除离群值并检测结果的稳健性。

1.3.6 累积 Meta 分析

累积 Meta 分析是将各研究依次引入 Meta 分析过程的一种方法,可反映效应量的估计值及精度随时间的变化趋势^[21]。

1.3.7 亚组分析

亚组分析通过将文献按照一定标准划分为不同组别,并分别对其进行 Meta 分析以寻找异质性来源。

1.3.8 数据处理

采用 R3.3.2 编程软件处理数据;使用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖对棉花产量的综合效应量和发表偏倚

对地膜覆盖棉花的产量计算综合效应量(表 2),结果表明,异质性检验达到显著水平($P_Q < 0.05$),因此采用随机效应模型。与不覆盖相比,覆盖地膜的棉花产量平均提高 17.2% (置信区间 11.6% ~ 23.1%)。发表偏倚检验表明,不存在发表偏倚($P_B > 0.05$)。图 1 为发表偏倚检验漏斗图。

表 2 地膜覆盖对棉花产量的综合效应量和发表偏倚

Tab.2 Comprehensive effect size and publication bias of plastic film mulching on cotton yield

模型	增产率/%	置信区间/%		Z	P	Q	P_Q	τ^2	I^2 /%	n	Z_B	P_B
		下限	上限									
随机效应模型	17.2	11.6	23.1	6.32	<0.05	2 193	<0.05	0.028	99.4	48	1.757	0.079

注: Z 为效应量检验的统计量; P 为效应量检验显著性值; Q 为异质性检验 Q 统计量; τ^2 为总体异质性估计值; I^2 为总体变化中异质性占比; Z_B 为发表偏倚检验 Z 统计量; P_B 为发表偏倚检验 P 值。下同。

2.2 地膜覆盖对棉花产量的敏感性分析

对地膜覆盖的棉花产量进行敏感性分析(表 3),结果表明,任意独立样本的移除对整体样本的增产率(14.6% ~ 17.8%)、95% 置信区间(11.0% ~

23.7%)及增产率显著性($P < 0.01$)均未产生明显变化,且仍存在显著的异质性($P_Q < 0.01$)。其中第 3 个结果对整体的影响相对较大,但仍未显著改变原 Meta 分析结果($P < 0.05$),不能将其视为极端

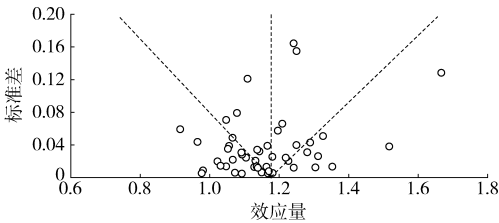


图 1 发表偏倚检验漏斗图

Fig. 1 Funnel plot by publication bias test

值。因此,可认为所收集的数据可信度较高。

2.3 地膜覆盖对棉花产量的累计 Meta 分析

对地膜覆盖的棉花产量按试验时间顺序进行累

积 Meta 分析(图 2,年份后数字表示同一年不同的试验样本数据)。结果表明,自 1986 年以来,与不覆盖相比,覆盖地膜的棉花累积平均增产率为 1.2%~18.0%。其中,2000 年之前,呈快速增加趋势;2001—2010 年之间,呈小范围波动状态;2010 年之后,则基本稳定,但表现出缓慢降低趋势。累积增产率的 95% 置信区间呈“大一小一大”的变化规律。可见,近 30 a 来,地膜覆盖在很大程度上促进了棉花增产,但近几年,这种累积促进效应有所降低。

表 3 地膜覆盖对棉花产量的敏感性分析

Tab. 3 Sensitivity analysis of plastic film mulching on cotton yield

样本 序号	增产 率/%	95% 置信区间/%		Z	Q	I ² /%	样本 序号	增产 率/%	95% 置信区间/%		Z	Q	I ² /%
		下限	上限						下限	上限			
1	17.4	11.7	23.5	6.31	2 191.79	99.44	25	17.1	11.4	23.1	6.22	2 192.09	99.44
2	17.3	11.6	23.3	6.26	2 192.61	99.45	26	17.7	12.0	23.6	6.43	1 469.46	99.36
3	14.6	11.3	18.0	9.16	1 936.81	98.24	27	16.9	11.2	22.9	6.12	2 181.20	99.44
4	17.0	11.2	23.0	6.13	2 173.09	99.45	28	17.3	11.5	23.3	6.21	2 192.35	99.45
5	16.5	11.0	22.3	6.14	2 128.02	99.41	29	16.8	11.1	22.8	6.11	1 983.84	99.43
6	17.1	11.4	23.1	6.22	2 192.20	99.44	30	17.0	11.3	23.1	6.14	2 184.64	99.45
7	17.2	11.5	23.3	6.19	2 169.00	99.40	31	17.1	11.4	23.2	6.18	2 191.20	99.45
8	17.4	11.6	23.4	6.25	2 168.77	99.36	32	17.5	11.7	23.5	6.30	2 190.50	99.45
9	17.4	11.7	23.5	6.27	2 141.61	99.39	33	17.7	12.0	23.6	6.44	2 181.36	99.43
10	17.5	11.7	23.5	6.31	2 169.75	99.43	34	17.4	11.7	23.5	6.28	2 191.70	99.45
11	16.9	11.2	23.0	6.13	2 181.40	99.45	35	17.5	11.7	23.5	6.30	2 189.74	99.44
12	17.5	11.8	23.6	6.35	2 172.48	99.44	36	17.1	11.3	23.1	6.15	2 179.63	99.45
13	17.0	11.3	23.1	6.14	2 113.97	99.44	37	17.4	11.7	23.5	6.28	2 188.06	99.44
14	16.9	11.2	22.9	6.12	2 031.44	99.43	38	17.3	11.6	23.4	6.24	2 192.41	99.45
15	16.9	11.2	22.9	6.12	2 154.47	99.44	39	17.4	11.6	23.4	6.25	2 192.05	99.45
16	17.1	11.3	23.1	6.14	2 171.26	99.45	40	17.2	11.5	23.2	6.19	2 191.39	99.45
17	17.5	11.8	23.5	6.33	2 161.58	99.43	41	17.2	11.4	23.2	6.17	2 187.85	99.45
18	17.3	11.5	23.3	6.20	2 192.10	99.45	42	17.3	11.5	23.3	6.21	2 191.97	99.44
19	17.7	12.0	23.6	6.42	1 955.35	99.41	43	17.3	11.5	23.3	6.21	2 191.13	99.44
20	17.2	11.5	23.3	6.18	2 182.75	99.44	44	17.3	11.5	23.3	6.20	2 190.00	99.44
21	17.3	11.5	23.3	6.21	2 192.20	99.45	45	17.2	11.4	23.3	6.18	2 108.85	99.38
22	17.4	11.6	23.4	6.27	2 192.42	99.45	46	17.2	11.4	23.2	6.17	2 077.71	99.38
23	17.8	12.1	23.7	6.53	2 181.28	99.42	47	17.2	11.4	23.2	6.18	2 155.22	99.42
24	16.6	11.0	22.4	6.17	2 182.88	99.42	48	17.4	11.6	23.4	6.25	2 192.04	99.45

注: $I^2 > 50\%$ 时说明存在较大异质性。 Z 的显著性 P 值、 Q 的显著性 P 值和 τ^2 值均一致,分别为 $P < 0.01$ 、 $P_Q < 0.01$ 和 $T^2 = 0.03$ (其中样本 3 $T^2 = 0.01$)。

2.4 地膜覆盖对棉花产量的影响因素分析

地膜覆盖对棉花的增产效应因不同种植模式、海拔高度、年均气温、年降水量、地膜厚度、种植区域和种植年份而差异较大,但均未达到显著水平(图 3)。

平作条件下地膜覆盖的平均增产率为 17.8% (置信区间 11.4%~24.2%),而垄作条件下的增产率较低,平均为 10.3% (置信区间 5.0%~15.6%)。在海拔高度小于 100 m 和大于等于 100 m 的地区,覆盖地膜的增产效应差异较小,分别为 15.0% (置

信区间 8.3%~21.8%) 和 17.4% (置信区间 11.6%~23.2%)。与年均气温大于等于 12℃ 或年降水量大于等于 500 mm 的地区相比,地膜覆盖在年均气温小于 12℃ 或年降水量小于 500 mm 的地区更能充分发挥其增温保墒效应,增产率提高幅度较大,前者平均达 21.5% (置信区间 13.7%~29.3%),后者平均达 19.1% (置信区间 8.2%~30.1%)。不同厚度的地膜在保温保水及耐久性方面存在一定差异,从而影响增产效应。使用厚度

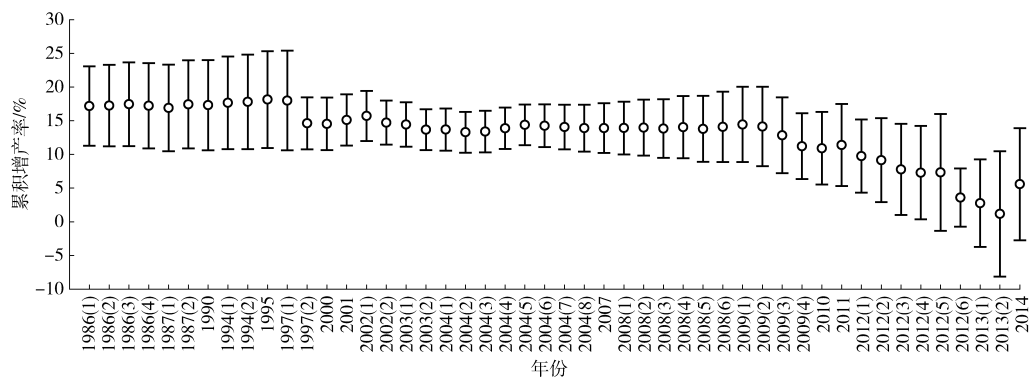


图2 累积 Meta 分析
Fig.2 Cumulative Meta-analysis

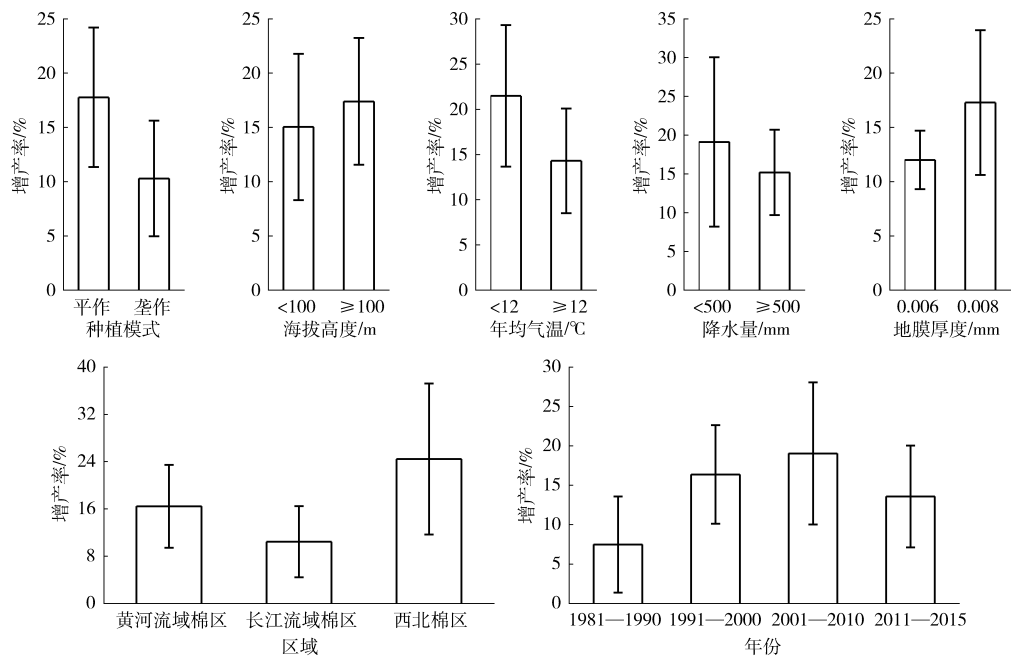


图3 地膜覆盖对棉花产量的影响因素分析
Fig.3 Analysis of factors affecting cotton yield under plastic film mulching

0.008 mm 地膜可平均提高棉花产量 17.3% (置信区间 10.6% ~ 24.0%), 而厚度 0.006 mm 地膜的增产率相对较低, 平均为 12.0% (置信区间 9.3% ~ 14.7%)。地膜覆盖的区域效应是区域海拔高度、年均气温和年降水量等诸多因素综合作用的结果。3 个区域地膜增产率由大到小表现为: 西北棉区 (24.5%)、黄河流域棉区 (16.5%)、长江流域棉区 (10.5%)。地膜覆盖下棉花增产效应随时间呈先升高后降低的趋势, 即在 1991—2000 年和 2001—2010 年间增产率较高, 分别为 16.4% (置信区间 10.1% ~ 22.6%) 和 19.0% (置信区间 10.0% ~ 28.1%); 而在 1981—1990 年间仅为 7.5% (置信区间 1.4% ~ 13.6%); 近 5 a 来, 地膜覆盖的增产率呈下降趋势, 平均为 13.6% (置信区间 7.1% ~ 20.0%)。可见, 平作、年均气温较低或年降水量较低的地区与使用 0.008 mm 的地膜有利于提高地膜覆盖的增产效应。

3 讨论

3.1 地膜覆盖对棉花生产的意义

地膜覆盖的大面积推广应用使中国农业生产方式和区域种植结构发生了重大变化。具体到棉花, 主要包括以下 4 方面: ①提高土壤温度。棉花属喜温作物, 热量资源是影响其生长发育和产量形成的关键因素^[2]。棉花生长前期, 较高的土壤温度可提早现蕾和开花, 同时有助于培育健壮根系。②促进早发。地膜覆盖下, 棉花的显著特点是生育进程明显加快。地膜覆盖的棉花播种期一般较直播棉提前 7 ~ 10 d, 可将苗期控制在终霜期之后。在黄河流域, 棉花以 4 月下旬出苗较为安全, 覆盖地膜使棉苗在膜内生长, 可有效避免低温和霜冻危害^[22-23]。此外, 地膜棉移栽后缓苗较快, 一般可比露地移栽缩短 4 d 左右^[23]。③扩大种植范围。地膜覆盖使中国棉花种植区实现由南向北、由东向西的成功转移, 称为

“白色革命”。在盐碱地中,土壤盐分遵循“盐随水来,盐随水走”的规律^[23]。盐碱土壤覆膜后,土壤水分运动由垂直蒸发变为膜下循环,土壤盐分上升速度减慢,并逐渐向膜侧边缘运移,使得棉苗根区土壤盐分显著下降,从而为棉花生长创造适宜的环境,同时也扩大了棉花种植区域^[9,23]。另外,地膜覆盖使新疆成为中国重要的产棉区,其播种面积由20世纪80年代占全国棉花播种总面积的10%以下,提高到现阶段的30%以上;单产水平由先前的全国最低发展为目前的高于全国平均产量^[22]。④提高棉花产量。地膜覆盖可调节和改善棉田土壤水热条件,促进棉花产量和品质的提高。

3.2 覆盖地膜增产的影响因素

3.2.1 耕作模式

垄沟耕作通过改变微地形可增加地表面积,提高昼夜温差,有利于光合产物的累积;可将肥料与向下水流隔离,减少氮素淋溶^[24];同时可促进沟内水分向垄侧运移,减少深层渗漏^[25]。覆盖地膜后,垄作覆膜还具有集雨、保墒和减蒸的功能^[13]。王占彪等^[26]研究表明,在轻度旱碱地,垄作覆膜的棉花铃质量和产量分别较平作覆膜提高7.3%和8.1%。刘燕等^[5]则研究发现,与平作覆膜相比,垄作不覆膜的棉花产量较高。这可能与试验年份的气候条件尤其是作物生育期降水量及降水分布有关。作物生育期内充足的降水和均匀的降水分布可能突显不出覆膜的优越性^[13]。本文综合已有研究成果得出,平作较垄作更有利于提高地膜覆盖的增产率。这也进一步证明了垄作优于平作。

3.2.2 气候特征

降水和气温等气候资源是农业生产的物质基础和根本保障,也是影响地膜覆盖效果的重要因素。何文清等^[12]研究表明,由于年均气温、降水量和空气相对湿度的差异,在河北棉花种植中应用较好的生物降解地膜,在新疆则表现出一定的减产效应。任小龙等^[27]研究发现,玉米生育期降水量为230~440 mm时,起垄覆膜较平作可增加玉米籽粒产量,提高水肥利用效率,尤其在降水量较低时,增产增效更加明显;而当降水量增大时,该效应减弱甚至消失。此外,陇东作为黄土旱塬区的典型代表,由于水分和热量不足,其农业生产一般为一年一熟或两年三熟。全膜双垄覆膜和顶凌覆膜技术的应用,使其原有的冬小麦-冬油菜轮作模式转变为地膜玉米-冬油菜和地膜玉米-冬小麦等模式^[4]。本文基于大尺度研究得出,地膜覆盖在年均气温小于12℃或年降水量小于500 mm地区的增产效应更加明显。这与赵爱琴等^[13]对中国马铃薯地膜产量效应的研究结

果一致。

地膜覆盖的区域效应与气温、降水等气候特征密切相关。西北地区年降水量一般小于400 mm,黄河流域一般在400~700 mm之间,而长江流域降水丰富,一般可达800 mm以上。相应地,地膜覆盖增产率以西北地区最高,平均达24.5%;长江流域最低,平均仅10.5%;黄河流域介于二者之间,平均为16.5%。

3.2.3 地膜厚度

国际上规定,农用地膜的厚度为0.012 mm,最薄不得低于0.008 mm。美国和一些西方国家的农膜厚度一般为0.020 mm,日本为0.015 mm^[28]。中国颁布的GB 13735—1992《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》标准中规定地膜厚度为0.008 mm以上。然而,由于中国目前尚未制定相关的监管措施,企业为了降低成本,普遍生产低于标准厚度的地膜。低于标准厚度的地膜易老化、易破损,增温保墒效果差,且不利于残膜回收^[29]。研究表明,在新疆地膜覆盖棉田中,厚度0.010 mm和0.012 mm地膜的棉花经济效益分别较厚度0.006 mm地膜提高11.7%和15.1%;地膜残留量分别较厚度0.006 mm地膜降低60.4%和54.6%^[29]。在山西玉米种植中,厚度0.008 mm可降解地膜的玉米生育进程、出苗率及生长性状等均优于厚度0.005 mm可降解地膜^[30]。本研究也得出了类似的结论,厚度0.008 mm地膜的棉花平均增产率高于厚度0.006 mm地膜。

3.2.4 试验年份地膜残留

随着地膜覆盖面积的增加和使用年限的延长,加之地膜质量得不到保障,农田中聚积的残膜量逐年增多^[31]。研究发现,新疆棉田中每年有18 kg/hm²的地膜残留在土壤中,覆膜20 a的土壤平均残留量高达(300.65±49.32) kg/hm²^[32]。内蒙古地区2011年农田地膜残留量平均为84 kg/hm²,较2010年全国地膜平均残留量提高40.5%^[33]。甘肃省2013年全省地膜使用量为15.2万t,年残留总量达4.5万t^[34]。董合干等^[35]通过人为设置不同地膜残留密度探究残膜对棉花产量的影响,结果发现,随地膜残留密度的提高,棉花产量呈下降趋势,按2011年的残膜累积速率,覆膜68 a后,残膜密度将达到1 000 kg/hm²,棉花产量将下降13.5%~18.1%;覆膜141 a后,残膜密度将达到2 000 kg/hm²,棉花产量将下降38.3%~45.2%。本文综合分析近30 a的田间试验结果,尽管缺乏连续多年的定位试验数据,但仍发现,地膜覆盖棉花增产率在近5 a来呈下降趋势。这很可能是由于长期覆膜种植开始呈现出的负效应。这也意味着在目前地膜使用现状和残膜

回收技术条件下,若干年后,地膜残留造成的作物减产率可能会高于地膜覆盖引起的作物增产率,甚至抵消覆膜的全部增加产量^[36]。因此,应采用必要的措施缓解和治理残膜污染问题,以进一步提高中国棉花单产。

3.3 应对残膜污染的措施

长期大量的残膜污染不仅限制作物生长,而且会破坏土壤结构,降低土壤肥力,不利于土地的可持续利用和农田生态系统的可持续发展^[35],必须引起足够重视。在生产实践中,可提倡使用新型的液态地膜和可降解地膜等环保型覆盖材料;研制高效实用的地膜回收设备;完善相关政策法规,禁止生产和使用厚度小于 0.008 mm 的农用地膜,以利于残膜回收;建立废旧地膜回收体系;鼓励使用有机肥以改善土壤质地;培育根系发达的作物品种以在一定程度上缓解残膜影响。

3.4 本研究局限性

本研究应用 Meta 分析对地膜覆盖下棉花的产量效应及影响因素进行了初步的定量分析和整合,可在一定程度上反映覆盖地膜对棉花产量的影响机制。但该方法也存在一定的局限性。Meta 分析在文献筛选时严格要求试验处理除地膜覆盖外,其余因素均相同,且需原文提供试验处理产量的标准差或根据文中已有数据可计算标准差。现有的已发表文献或数据量不足,或数据描述不详实,或无法获得标准差。因此,本文用于 Meta 分析的数据,只能说明类似的研究较多,且能满足 Meta 分析的要求,并

不代表其他区域或年份没有相关的研究。另外,覆盖地膜对棉花的产量效应受多种因素的影响,这些因素之间可能存在多种交互作用。本研究只是针对数据较多的因素进行了分析,如棉花品种、土壤肥力、轮作制度、灌水量、施肥量等也是重要的影响因素,但本研究并未涉及。

4 结论

(1)用于 Meta 分析的数据不存在发表偏倚和极端值,分析结果可信度较高。

(2)与不覆盖相比,覆盖地膜可平均提高棉花产量 17.2% (置信区间 11.6% ~ 23.1%)。

(3)自 1986 年以来,覆盖地膜的棉花累积平均增产率为 1.2% ~ 18.0%,其中 2000 年之前,呈快速增长趋势;2001—2010 年期间,呈小范围波动状态;2010 年之后,累积促进效应有所降低。

(4)地膜覆盖棉花的增产率受海拔高度的影响较小;在平作、年均气温小于 12℃ 或年降水量小于 500 mm 的地区及采用厚度 0.008 mm 地膜时,地膜覆盖的增产率较高,分别为 17.8%、21.5%、19.1% 和 17.3%;地膜覆盖在 3 个区域的增产率由大到小表现为:西北棉区 (24.5%)、黄河流域棉区 (16.5%)、长江流域棉区 (10.5%);覆盖地膜对棉花的增产效应随时间呈先升高后降低的趋势。

(5)近年来,覆盖地膜仍可一定程度上提高棉花产量,但其增产率已呈下降趋势,应采取必要的应对措施。

参 考 文 献

1 朱海燕. 中国小麦和棉花价格波动研究[D]. 北京:中国农业大学,1998.
ZHU Haiyan. Research on China's wheat and cotton price fluctuations[D]. Beijing: China Agricultural University, 1998. (in Chinese)

2 王友华,周治国. 气候变化对我国棉花生产的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(9):1734-1741.
WANG Youhua, ZHOU Zhiguo. Effect of climate changing on cotton fiber production[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9): 1734-1741. (in Chinese)

3 ZHAO H, XIONG Y C, LI F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 68-78.

4 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控[J]. 生物工程学报,2016,32(6):748-760.
YAN Changrong, HE Wenqing, XUE Yinghao, 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)

5 刘燕,韩勇,顾超,等. 高垄与覆膜方式对盐碱地棉花生长发育的影响[J]. 棉花科学,2013,35(6):36-39.
LIU Yan, HAN Yong, GU Chao, et al. Effect of high-ridge and plastic film mulching modes to the growth and development of cotton in saline[J]. Cotton Sciences, 2013, 35(6): 36-39. (in Chinese)

6 张俊鹏,冯隽,曹彩云,等. 咸水灌溉对棉花耗水特性和水分利用效率的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(6):107-112. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160614&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.06.014.
ZHANG Junpeng, FENG Di, CAO Caiyun, et al. Effects of saline water irrigation on water consumption characteristics and water use efficiency of cotton[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(6): 107-112. (in Chinese)

7 DONG H Z, LI W J, Tang W, et al. Furrow seeding with plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in a saline field[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(6): 1640-1647.

8 封晓辉,张秀梅,郭凯,等. 覆盖措施对咸水结冰灌溉后土壤水盐动态和棉花生产的影响[J]. 棉花学报,2015,27(2):135-142.
FENG Xiaohui, ZHANG Xiumei, GUO Kai, et al. Effects of different salt control measures after saline water freezing irrigation to soil water, salt dynamics, cotton emergence and yield[J]. Cotton Science, 2015, 27(2): 135-142. (in Chinese)

9 冯国艺,张谦,祁虹,等. 滨海盐碱地免耕条件下覆盖方式对棉苗光合特性及生长的影响[J]. 河北农业大学学报,2014,37(3):13-18.

- FENG Guoyi, ZHANG Qian, QI Hong, et al. Effects of different surface mulching patterns on photosynthetic characteristics and growth of cotton seedlings in Hebei coastal saline-alkali regions under no-tillage[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2014, 37(3): 13–18. (in Chinese)
- 10 ROY P, SUREKHA P, RAJAGOPAL C. Surface oxidation of low-density polyethylene films to improve their susceptibility toward environmental degradation[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122(4): 2765–2773.
- 11 李云光,王振华,张金珠,等. 液体地膜对滴灌棉花生理特性和产量的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(13):105–112. LI Yunguang, WANG Zhenhua, ZHANG Jinzhu, et al. Effect of liquid mulch on physiological characteristics and yield of drip irrigated cotton[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(13): 105–112. (in Chinese)
- 12 何文清,赵彩霞,刘爽,等. 全生物降解膜田间降解特征及其对棉花产量影响[J]. 中国农业大学学报,2011,16(3):21–27. HE Wenqing, ZHAO Caixia, LIU Shuang, et al. Study on the degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(3): 21–27. (in Chinese)
- 13 赵爱琴,魏秀菊,朱明. 基于 Meta-analysis 的中国马铃薯地膜覆盖产量效应分析[J]. 农业工程学报,2015,31(24):1–7. ZHAO Aiqin, WEI Xiuju, ZHU Ming. Meta analysis on impact of plastic film on potato yield in China[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(24): 1–7. (in Chinese)
- 14 郑侃,何进,李洪文,等. 中国北方地区深松对小麦玉米产量影响的 Meta 分析[J]. 农业工程学报,2015,31(22):7–15. ZHENG Kan, HE Jin, LI Hongwen, et al. Meta-analysis on maize and wheat yield under subsoiling in Northern China[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 7–15. (in Chinese)
- 15 张冉,赵鑫,濮超,等. 中国农田秸秆还田土壤 N_2O 排放及其影响因素的 Meta 分析[J]. 农业工程学报,2015,31(22):1–6. ZHANG Ran, ZHAO Xin, PU Chao, et al. Meta-analysis on effects of residue retention on soil N_2O emissions and influence factors in China[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 1–6. (in Chinese)
- 16 钟甫宁,胡雪梅. 中国棉花生产区域格局及影响因素研究[J]. 农业技术经济,2008(1):4–9.
- 17 HEDGES L V, GUREVITCH J, CURTIS P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology[J]. Ecology, 1999, 80(4): 1150–1156.
- 18 CARD N A. Applied meta-analysis for social science research[M]. New York: Guilford Press, 2011: 198–228.
- 19 SCHWARZER G, CARPENTER J R, RVCKER G. Meta-analysis with R[M]. Switzerland: Springer, 2015: 107–141.
- 20 BEGG C B, BERLIN J A. Publication bias: a problem in interpreting medical data[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society, 1988, 151(3): 419–463.
- 21 LAU J, SCHMID C H, CHALMERS T C. Cumulative meta-analysis of clinical trials builds evidence for exemplary medical care [J]. Journal of Clinical Epidemiology, 1995, 48(1): 45–57.
- 22 严昌荣,何文清,刘爽,等. 中国地膜覆盖及残留污染防控[M]. 北京:科学出版社,2015:43–52.
- 23 王迪轩. 棉花优质高产问答[M]. 北京:化学工业出版社,2013:49–52.
- 24 RESSLER D E, HORTON J, BAKER J L, et al. Testing a nitrogen fertilizer applicator designed to reduce leaching losses[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1997, 13(3): 345–350.
- 25 BARGAR B, SWAN J B, JAYNES D. Soil water recharge under uncropped ridges and furrows[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(5): 1290–1299.
- 26 王占彪,李存东,刘永平,等. 滨海旱碱地微沟覆膜植棉模式的研究[J]. 棉花学报,2012,24(4):318–324. WANG Zhanbiao, LI Cundong, LIU Yongping, et al. Effectiveness of the micro-ditch and overbite-membrane planting model for cotton in a dry and alkaline coastal area[J]. Cotton Science, 2012, 24(4): 318–324. (in Chinese)
- 27 任小龙,贾志宽,陈小莉. 不同模拟雨量下微集水种植对农田水肥利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(3):75–81. REN Xiaolong, JIA Zhikuan, CHEN Xiaoli. Effect of micro-catchment rainwater harvesting on water and nutrient use efficiency in farmland under different simulated rainfall conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 75–81. (in Chinese)
- 28 王晓方,申茂向. 塑料农膜——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: 21–23.
- 29 周明冬,王祥金,董合干,等. 不同厚度地膜覆盖棉花的经济效益和残膜回收分析[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(10): 121–125. ZHOU Mingdong, WANG Xiangjin, DONG Hegan, et al. Effects of different thickness film on plastic film residue and economic benefits in cotton yield[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(10): 121–125. (in Chinese)
- 30 申丽霞,王璞,张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(4): 111–116. SHEN Lixia, WANG Pu, ZHANG Lili. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 111–116. (in Chinese)
- 31 银敏华,李援农,李昊,等. 覆盖模式对农田土壤环境与冬小麦生长的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(4):127–135, 227. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160418&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.018.
- YIN Minhua, LI Yuannong, LI Hao, et al. Effects of mulching patterns on farm land soil environment and winter wheat growth[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 127–135, 227. (in Chinese)
- 32 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 Changrong, WANG Xujian, HE Wenqing, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3470–3474. (in Chinese)
- 33 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. BAI Yunlong, LI Xiaolong, ZHANG Sheng, et al. Study on the current situation of plastic film residue pollution and the countermeasures for the recovery and utilization of residual film in Inner Mongolia[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015(6): 139–145. (in Chinese)
- 34 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. MA Yan, YANG Hude. Investigation on pollution caused by mulching plastic film in Gansu Province and the countermeasures [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(4): 478–483. (in Chinese)
- 35 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. DONG Hegan, LIU Tong, LI Yongguan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 91–99. (in Chinese)
- 36 毕继业,王秀芬,朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(11):172–175. BI Jiye, WANG Xiufen, ZHU Daolin. Effect of plastic-film mulch on crop yield[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 172–175. (in Chinese)