

张丹, 王洪媛, 胡万里, 等. 地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 293–301.

ZHANG Dan, WANG Hong-yuan, HU Wan-li, et al. Effect of film thickness on crop yield and soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(2): 293–301.

## 地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响

张丹<sup>1</sup>, 王洪媛<sup>1</sup>, 胡万里<sup>2</sup>, 杨虎德<sup>3</sup>, 徐钰<sup>4</sup>, 马兴旺<sup>5</sup>, 赵沛义<sup>6</sup>, 刘宏斌<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部面源污染控制重点实验室, 北京 100081; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 3. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070; 4. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100; 5. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐 830000; 6. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 呼和浩特 010031)

**摘要:**农用地膜(以下简称地膜)已成为我国干旱、冷凉地区土壤增温、保墒和作物增产的重要措施。为摸清我国地膜厚度应用现状, 研究地膜厚度对作物产量和土壤环境的影响, 2011年, 在全国范围内针对棉花、玉米、马铃薯、花生等主要覆膜作物分别布置172、99、30、58个调查点, 采用问卷调查的方法对我国地膜厚度应用现状进行系统调查。根据调查结果, 2011—2013年, 在新疆、甘肃、内蒙古、山东4省分别针对以上4种作物, 设置不同地膜厚度处理, 系统分析了地膜厚度对土壤温度和含水量、作物产量、经济效益以及地膜残留强度等的影响。研究表明, 我国主要覆膜作物现用地膜厚度较薄, 96.7%的地膜厚度集中在0.004~0.008 mm之间。增加地膜厚度能够提高土壤温度和含水量, 但对不同作物的产量影响不同; 随着地膜厚度增加(0.004~0.012 mm), 棉花和玉米产量不断增加, 而马铃薯和花生产量先增加后减少; 地膜厚度对作物经济效益有一定影响, 但处理间无显著性差异( $P>0.05$ )。地膜厚度显著影响地膜残留强度( $P<0.05$ ), 除了马铃薯外, 其余作物地膜残留强度和地膜厚度均呈显著负相关关系( $P<0.05$ )。综上所述, 增加地膜厚度对于我国主要覆膜作物有一定的增产作用, 但增产幅度有限, 而在残膜回收的基础上增加地膜厚度能够显著降低地膜残留强度。为应对我国农田地膜残留问题, 建议我国地膜厚度标准提高至0.010~0.012 mm较为适宜。

**关键词:**地膜厚度; 土壤环境; 作物产量; 经济效益; 残膜

中图分类号: X712 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2017)02-0293-09 doi:10.11654/jaes.2016-1008

### Effect of film thickness on crop yield and soil environment

ZHANG Dan<sup>1</sup>, WANG Hong-yuan<sup>1</sup>, HU Wan-li<sup>2</sup>, YANG Hu-de<sup>3</sup>, XU Yu<sup>4</sup>, MA Xing-wang<sup>5</sup>, ZHAO Pei-yi<sup>6</sup>, LIU Hong-bin<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Nonpoint Source Pollution Control, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 2. Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yunnan 650205, China; 3. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 4. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 5. Institute of Soil Fertilizer and Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 6. Institute of Plant Nutrition and Analysis of Inner-Mongolia Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010031, China)

**Abstract:** Film mulching in cropland is a key agricultural technique for increasing soil temperature, conserving soil moisture and improving crop yield in the arid and cold regions of China. This study aimed to inventory the application status of different thicknesses of films in China, and to investigate the effects of film thickness on crop yield and soil environment. Film application status was obtained by a national questionnaire-survey on 172 cotton fields, 99 maize fields, 30 potato fields and 58 peanut fields in 2011. Based on the survey, film thickness

收稿日期: 2016-08-06

作者简介: 张丹(1991—), 女, 山东邹平人, 硕士研究生, 从事农田养分循环与环境研究。E-mail: zhangdan0630@126.com

\* 通信作者: 刘宏斌 E-mail: liuhongbin@caas.cn

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003014)

Project supported: The Special Scientific Research Fund of Agricultural Public Welfare Profession of China(201003014)

was categorized, and filed experiments were conducted from 2011 to 2013 to investigate the impacts of representative thicknesses of film on soil temperature, soil moisture content, crop yield, economic efficiency and the amount of residual film in Xinjiang, Gansu, Inner Mongolia and Shandong respectively for cotton, maize, potatoes and peanuts. Results showed that the most of China's mulching film were ultrathin, and 96.7% of the films surveyed had a thickness of 0.004~0.008 mm. Enhancing film thickness managed to improve soil temperature and moisture status, but it resulted in different yield responses depending on crops. An increase of film thickness from 0.004 to 0.012 mm increased yields of cotton and corn but decreased potato and peanut yields. Film thickness tended to influence farm economy, but the difference between treatments was no significant ( $P < 0.05$ ). Film thickness influence damounts of residual in the soil significantly ( $P < 0.05$ ). For all crops except potato, the amount of film residual was significantly negatively correlated with the film thickness ( $P < 0.05$ ). Despite a variation of effects on crop yields, increasing film thickness could reduce the strength of residual films in the soil, which would largely benefit collection of residual films. Therefore, we suggest an increase of the national standard of film thickness, for example to 0.010~0.012 mm as suggested by this study, to solve the severe problem of soil film residual in China.

**Keywords:** thickness of agricultural plastic film; soil environment; crop yield; economic benefit; residual plastic film

地膜的应用为作物生长发育、产量和农业效益的提高做出了重要贡献<sup>[1]</sup>。中国是世界上地膜消费大国,2013年我国地膜使用量达到1.4 Mt,农作物地膜覆盖面积为1.766亿 $\text{hm}^2$ ,新疆、甘肃、内蒙古、山东等省份是我国主要的覆膜地区,地膜覆盖面积占全国40%以上<sup>[2]</sup>,其中棉花、玉米、马铃薯、花生地膜应用面积较大<sup>[3]</sup>。

地膜是人工合成的高分子聚合物,自然条件下难以降解<sup>[1]</sup>,其不合理的应用给我国生态环境造成较大的“白色污染”问题<sup>[4]</sup>。农田中残膜强度逐年增加,例如,新疆地区的农田残膜强度每年以11.2~18.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的速率增加<sup>[5-7]</sup>,残膜强度最高达到500  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上<sup>[8]</sup>。残膜大量存在将破坏土壤结构,降低土壤肥力,影响作物的生长发育,造成农作物减产<sup>[6,9]</sup>,同时,“白色污染”会影响环境景观,导致牲畜误食,危害牲畜安全<sup>[10-11]</sup>。

为了避免残膜污染问题,美国和日本等发达国家生产的地膜厚度要求不低于0.020 mm,且使用后进行强制回收<sup>[12]</sup>。我国1992年制定的《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜标准》(GB 13735—1992)<sup>[13]</sup>,规定聚乙烯地膜最小厚度为0.008 mm,但在实际应用过程中,地膜厚度主要集中在0.004~0.008 mm之间<sup>[14]</sup>。研究表明,地膜厚度与地膜残留强度密切相关,同等条件下,地膜越薄,越易老化破碎,回收越困难,导致残留强度越大<sup>[15]</sup>。我国现用地膜厚度低是造成残膜污染严重的重要原因之一。陈发<sup>[16]</sup>提出地膜厚度若从0.008 mm增加到0.010 mm,其抗拉强度将增加25%。可见,增加地膜厚度可有效提高残膜的回收率,实现从源头控制残膜污染。新疆、甘肃等省份已率先将地方标准中地膜生产的最低厚度标准提高到0.010 mm<sup>[17-18]</sup>;但其他省份如山东、内蒙古等地膜使用大省,仍使用

0.008 mm 限值标准。因此,修改地膜国家标准,提高地膜厚度变得势在必行。

我国在地膜应用过程中,存在地膜厚度应用现状不清,对作物产量和土壤环境影响的研究较少,缺乏相应的理论基础等问题。为了探讨我国北方主要覆膜作物的适宜地膜厚度,本研究于2011年在全国范围内针对棉花、玉米、马铃薯、花生等主要覆膜作物分别布置172、99、30、58个调查点,采用问卷调查的方法对我国地膜厚度应用现状进行系统调查。根据调查结果,2011—2013年,在新疆、甘肃、内蒙古、山东4省分别针对以上4种作物,通过设置不同的地膜厚度处理,分析地膜厚度对土壤温度和含水量、作物产量和经济效益以及地膜残留强度等因素的影响,最终确定主要覆膜作物的适宜地膜厚度。为我国修订地膜厚度标准,科学规范地使用地膜提供了理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 地膜厚度调查

为系统了解我国主要覆膜作物地膜厚度应用现状,2011年在全国范围内针对棉花、玉米、马铃薯、花生等主要覆膜作物分别布置172、99、30、58个调查点,采用问卷调查的方法对调查点所在地块农户进行调查,了解地膜厚度相关信息。调查点布置以作物覆盖面积为主,兼顾区域的空间分布,尽可能覆盖主要种植区。

### 1.2 试验地概况

2011—2013年,在新疆、甘肃、内蒙古以及山东分别开展为期3年的棉花、玉米、马铃薯和花生适宜地膜厚度研究试验:(1)棉花试验点位于新疆尉犁县(41.3°N,86.3°E),属于西北内陆地区,干旱缺水是新疆棉花生长的限制性因素,棉田的覆膜率接近100%;

(2)玉米试验点位于甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站(39.4°N,99.0°E),该点位于甘肃省河西走廊中部,干旱指数达15.96,属于典型干旱灌溉地区;(3)马铃薯试验点位于内蒙古农牧业科学院武川旱农中心(41.1°N,111.5°E),该区域属于中温带半干旱大陆性季风气候,早春温度较低;(4)花生试验点位于山东省泰安市(36.0°N,117.0°E),属于暖温带半湿润季风气候。各试验点气候特征及其基础土壤理化性质见表1。

### 1.3 试验设计与方法

试验均采用大田随机区组设计,棉花、玉米、马铃薯以及花生分别设置4个不同地膜厚度处理,各作物的最低地膜厚度处理为对照(CK)。具体试验设计、地膜处理方式及施肥情况见表2。

### 1.4 测定项目与方法

自玉米、马铃薯、花生覆膜开始,利用电子地温计(玉米、花生测定间隔为7d)或自动温度探头(HIOK3912,日本)(马铃薯测定间隔为1h或30min,计算覆膜后各周的平均值,其中2011、2012年测定间隔为1h,2013年测定间隔为30min)测定膜下5cm深度土壤温度,玉米至少连续观测30d,直到玉米完全遮盖地膜,其余作物连续观测2个月。同时,采用烘干法测定0~20cm土层土壤含水量。马铃薯和花生

土壤含水量测定自覆膜后开始,间隔为7d,连续测定2个月左右,玉米土壤含水量测定时间为第一次灌水后第5、9、17、25d。

作物收获后,测定各作物经济产量。2011年试验开始前以及2013年作物收获后测定土壤中地膜残留强度,其中花生农田地膜残留强度测定时间为2011年作物种植前和2012年作物收获后,具体测定方法为:每个处理地块随机选取5个样方,每个样方大小为100cm×200cm,深度为20cm,人工收集残膜。将采集到的残膜带回实验室用超声波清洗仪进行洗涤(>20min),洗净后小心展开卷曲的残膜,放在干燥阴凉处自然风干,最后称取残留地膜的质量,即地膜残留强度。

相关计算公式如下:

地膜成本(元·hm<sup>-2</sup>)=地膜用量×地膜单价

产值(元·hm<sup>-2</sup>)=作物产量×作物单价

净收益(元·hm<sup>-2</sup>)=产值-地膜成本-其他投入(化肥、农药、劳动力等)

新增纯收益率(%)=[(各处理净收益-CK净收益)/CK净收益]×100%

3年(或2年)累计残膜强度(kg·hm<sup>-2</sup>)=试验后残膜强度-试验前残膜强度

残留系数(%)=3年(或2年)累计残膜强度/3年

表1 试验地气候特征和基础土壤理化性质概况

Table 1 Detailed information of climate and soil basic physical and chemical properties in experimental sites

省份 Province	经度 Longitude/°	纬度 Latitude/°	年均温度 Annual temperature/°C	年均降雨量 Annual precipitation/mm	年均蒸散量 Annual evapotranspiration/mm	无霜期 Frost-free days/d	土壤类型 Soil type	土壤质地 Soil texture	有机质 SOM/g·kg <sup>-1</sup>	全氮 TN/g·kg <sup>-1</sup>	速效磷 Olsen-P/mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾 Available K/mg·kg <sup>-1</sup>
新疆 Xinjiang	86.3	41.3	10.9	53.6	2 361.4	186	潮土	壤土	12.1	—	20.3	161.0
甘肃 Gansu	99.0	39.4	7.0	<130	2075	153	灌淤土	轻壤土	7.9	—	24.7	82.0
内蒙古 Inner Mongolia	111.5	41.1	2.7	200~400	1500	110	栗钙土	砂壤土	15.0	—	9.2	39.1
山东 Shandong	117.0	36.0	12.8	687.7	1071	≈200	褐土	砂壤土	15.2	1.37	34.4	93.0

表2 试验设计、地膜处理措施及施肥概况

Table 2 Detailed information of experimental design, field and fertilizer management

省份 Province	作物 Crop	品种 Variety	处理 Treatments/mm	地膜宽度 Film width/cm	地膜覆盖度 Film coverage/%	覆膜日期 Mulching times	地膜覆盖时间 Mulching times/d	覆膜方式 Covering method	回收方式 Recycle method	小区面积 Plot area/m <sup>2</sup>	N/kg·hm <sup>-2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>	K <sub>2</sub> O/kg·hm <sup>-2</sup>
新疆 Xinjiang	棉花	—	0.006(CK)、0.008、0.010、0.012	125	85	4月10日	≈210	机械覆膜	机械回收	360.0	486.2	276.0	90.0
甘肃 Gansu	玉米	沈丹16号	0.006(CK)、0.008、0.010、0.012	90	95	4月30日	≈180	人工覆膜	人工捡拾	28.8	300.0	225.0	0
内蒙古 Inner Mongolia	马铃薯	克新1号	0.006(CK)、0.008、0.011、0.012	75	75	4月22日	≈180	机械覆膜	人工捡拾	2 200.0	75.0	150.0	60.0
山东 Shandong	花生	鲁花8号	0.004(CK)、0.006、0.008、0.010	60	60	5月17日	≈150	机械覆膜	人工捡拾	304.0	120.0	67.5	150.0

(或2年)累计地膜用量

### 1.5 数据处理

采用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA),统计分析处理间作物产量、经济效益、地膜残留强度、残膜系数等显著性差异,多重比较采用 Duncan 法( $P=0.05$ ),平均值在  $P<0.05$  水平下的任何差异具有统计学意义。利用 Origin 8.5 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 我国现用地膜厚度

我国现用地膜厚度范围较大,为 0.004~0.025 mm,其中 96.7%的地膜厚度集中在 0.004~0.008 mm 之间(图 1)。不同覆膜作物的地膜厚度分布特征略有差异,棉花、玉米以及马铃薯应用最广的地膜厚度为 0.008 mm,分别占应用总量的 43.6%、63.6% 和 63.3%;花生地膜用量最大的厚度为 0.004 mm,占总用量的 48.3%。

### 2.2 土壤温度和含水量

连续 3 年监测结果显示,地膜厚度对土壤温度影响较大(图 2),在玉米和花生监测期内,土壤温度基本呈现随着地膜厚度增加而增加的趋势,0.012 mm 处理下玉米和花生的土壤平均温度达到最高,分别为 29.8 °C 和 32.7 °C,比 CK 提高 1.2~1.8 °C。而对于马铃

薯而言,其覆膜前期(1~40 d)土壤温度随着地膜厚度增加而增加,各处理增温效果大小顺序为 0.012 mm>0.011 mm>0.008 mm>0.006 mm,覆膜 40 d 后,0.008 mm 以上地膜比 0.008 mm 以下(包含 0.008 mm)地膜增温效果差。

玉米灌水后土壤含水量监测结果显示(图 3),随灌溉天数增加,各处理土壤含水量均不断降低,与薄地膜( $<0.008$  mm)相比,厚地膜( $\geq 0.008$  mm)土壤水分减少速率相对缓慢,例如在灌水后第 25 d,0.008、0.010、0.012 mm 覆膜处理的土壤含水量为 40.6~45.8 mm,高于 0.006 mm 处理土壤含水量(29.1 mm),即厚地膜的保墒作用强于薄地膜。对马铃薯和花生土壤含水量监测是从覆膜后开始,相同作物不同处理间土壤(0~20 cm)含水量随时间的变化趋势基本相同,且监测期内土壤水分含量受降雨及灌溉的影响变化幅度较大。马铃薯覆膜前 40 d,土壤含水量基本表现为地膜越厚,含水量越大,40 d 后随着地膜厚度增加,土壤含水量反而降低,与该作物土壤温度变化趋势基本一致。对于花生,各处理表现为随地膜厚度增加土壤含水量增加,各处理 3 年土壤含水量平均值范围为 11.9~13.1 mm,其中 0.008 mm 地膜覆盖处理土壤含水量最高,为 13.1 mm,比 0.004 mm 处理增加 10.1%。

### 2.3 产量和成本效益

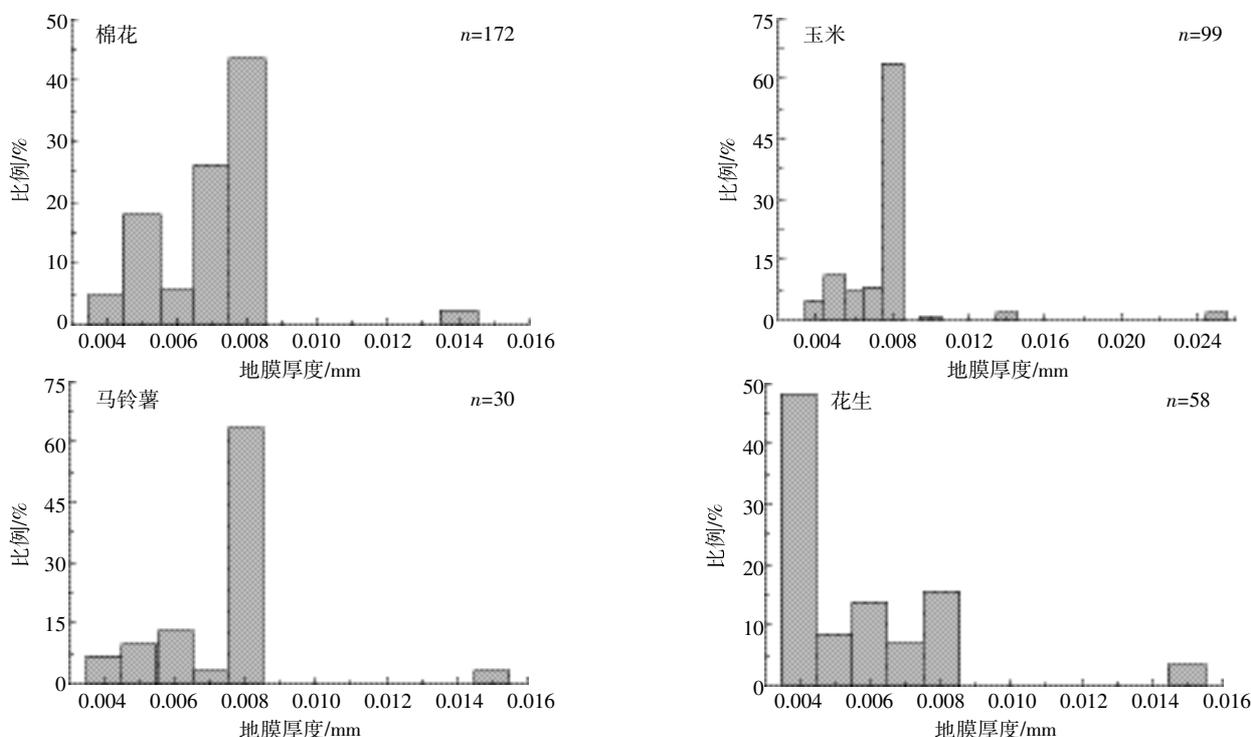


图 1 我国主要覆膜作物地膜厚度分布现状

Figure 1 The distributions of film thickness with different ranges in the main mulching crops

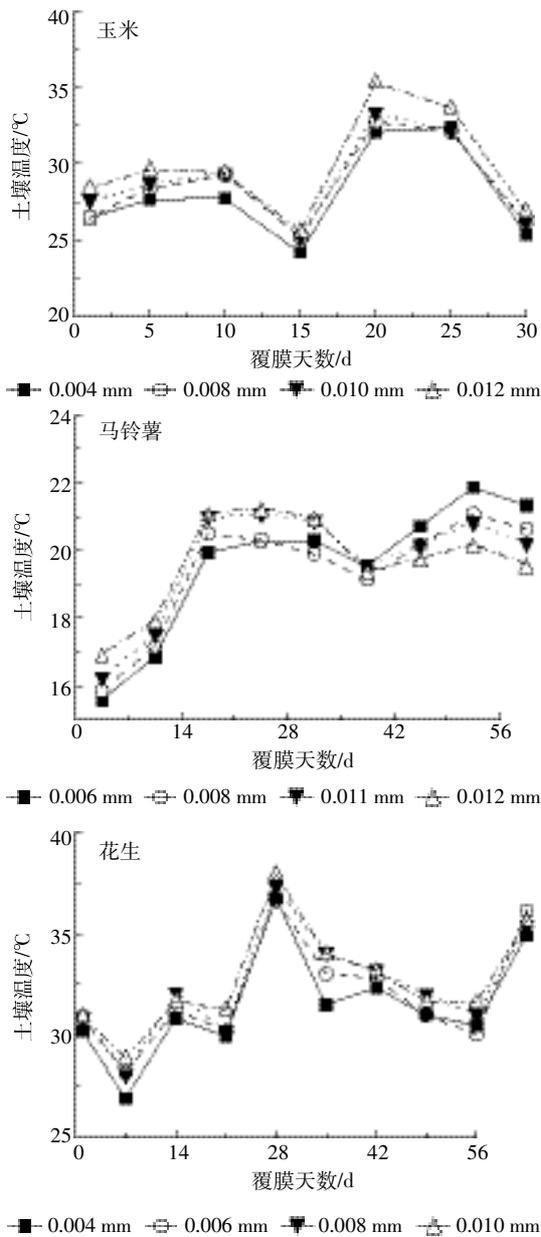


图2 地膜厚度对土壤温度的影响

Figure 2 The effect of film thickness on soil temperature

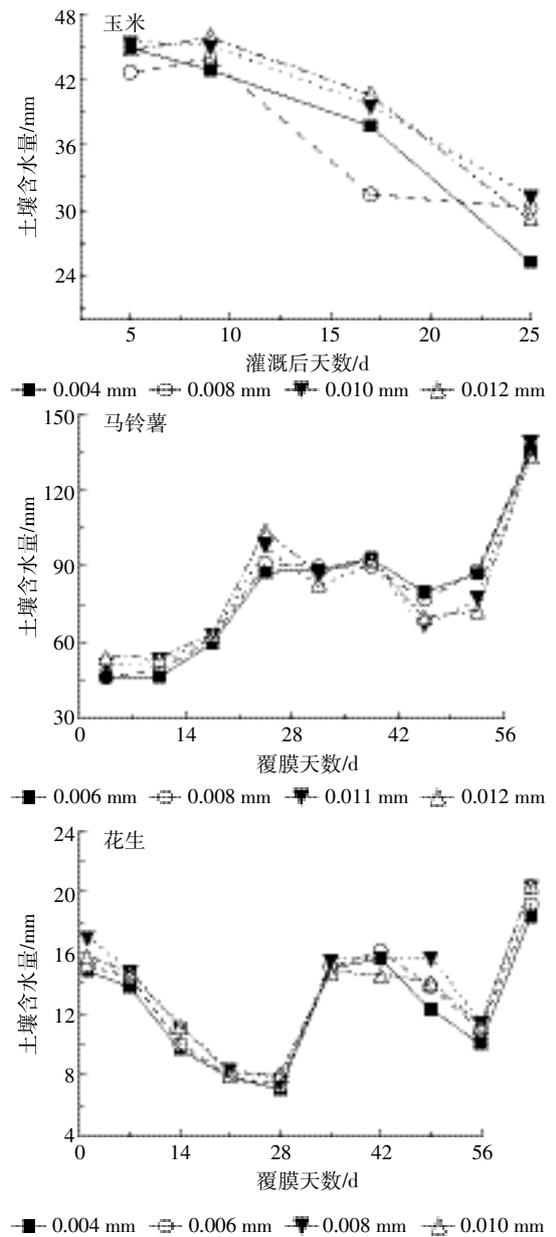


图3 地膜厚度对土壤含水量的影响

Figure 3 The effect of film thickness on soil water content

不同处理作物产量和经济效益结果显示(表3),增加地膜厚度对不同作物的产量和经济效益影响不同。随着地膜厚度增加,棉花和玉米产量不断增加,0.012 mm处理下的棉花籽棉产量和玉米产量达到最大,分别是6 352.5、10 414.4 kg·hm<sup>-2</sup>,比0.006 mm处理下产量提高4.0%和15.4%,其中玉米增产达到显著水平( $P < 0.05$ )。对于马铃薯和花生而言,随着地膜厚度的增加,作物产量先增加后减少,两者产量均在0.008 mm处理时达到最大,分别为33 916.0、4 780.3 kg·hm<sup>-2</sup>,但两者最低产量所对应的处理不同,在0.006

mm处理下,马铃薯产量最低(29 575.5 kg·hm<sup>-2</sup>),而花生在0.010 mm处理下产量最低(4 620.4 kg·hm<sup>-2</sup>)。

随着地膜厚度的增加,地膜用量显著增加( $P < 0.05$ ),地膜投入成本也随之增加。按照我国地膜市场售价12元·kg<sup>-1</sup>计算,地膜厚度每增加0.002 mm,单位成本将增加163.2~270.0元·hm<sup>-2</sup>。2011—2013年,籽棉、玉米、马铃薯以及花生的平均收购价分别为8.5、2.1、1.5、5.2元·kg<sup>-1</sup>。从作物生产的净收益来看,棉花和玉米在0.012 mm处理下达到净收益最大,而马铃薯和花生在0.008 mm处理下净收益达到最大,其规律

表3 地膜厚度对主要覆膜作物产量和经济效益的影响

Table 3 The effect of film thickness on crop yield and economic benefit

作物 Crop	处理 Treatment/mm	地膜用量 Mulching dosage/kg·hm <sup>-2</sup>	地膜成本 <sup>(1)</sup> Mulching cost/元·hm <sup>-2</sup>	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	产值 <sup>(2)</sup> Output value/元·hm <sup>-2</sup>	净收益 <sup>(3)</sup> Net oncome/元·hm <sup>-2</sup>	新增纯收益率 New added pure return rate/%
棉花 Cotton	0.006	50.4d	604.8d	6 108.0a	51 918.0a	51 313.2a	—
	0.008	67.2c	806.4c	6 123.0a	52 045.5a	51 239.1a	-0.1
	0.010	84.0b	1 008.0b	6 166.5a	52 415.3a	51 407.3a	0.2
	0.012	100.8a	1 209.6a	6 352.5a	53 996.3a	52 786.7a	2.9
玉米 Maize	0.006	67.5d	810.0d	9 023.9b	18 950.2b	18 140.2a	—
	0.008	90.0c	1 080.0c	10 006.1a	21 012.8a	19 932.8a	9.9
	0.010	112.5b	1 350.0b	10 125.7a	21 264.0a	19 914.0a	9.8
	0.012	135a	1 620.0a	10 414.4a	21 870.2a	20 250.2a	11.6
马铃薯 Potato	0.006	40.7d	488.4d	29 575.5a	44 363.3a	43 874.9a	—
	0.008	54.3c	651.6c	33 916.0a	50 874.0a	50 222.4a	14.5
	0.011	74.6b	895.2b	30 920.8a	46 381.2a	45 486.0a	3.7
	0.012	81.4a	976.8a	31 121.2a	46 681.8a	45 705.0a	4.2
花生 Peanut	0.004	33.0d	396.0d	4 651.6a	24 188.3a	23 792.3a	—
	0.006	49.5c	594.0c	4 636.6a	24 110.3a	23 516.3a	-1.2
	0.008	66.0b	792.0b	4 780.3a	24 857.6a	24 065.6a	1.1
	0.010	82.5a	990.0a	4 620.4a	24 026.1a	23 036.1a	-3.2

注:(1)地膜价格为12.0元·kg<sup>-1</sup>; (2)籽棉、玉米、马铃薯、花生价格分别为8.5、2.1、1.5、5.2元·kg<sup>-1</sup>; (3)净收益=产值-地膜成本-其他投入(肥料、农药、劳动力等),因相同试验点不同处理其他投入一致,因此本文中净收益≈产值-地膜成本。同列数据后不同字母表示处理间差异达到显著性水平( $P<0.05$ )。下同。

Note: (1)The unit price of film was 12.0 yuan·kg<sup>-1</sup>; (2)The unit price of cotton, maize, potato and peanut was 8.5, 2.1, 1.5 and 5.2 yuan·kg<sup>-1</sup>, respectively; (3)Net oncome=Output value-Mulching cost-Other cost(Fertility, pesticide, and labour power etc.). In this study, Net oncome≈Output value-Mulching cost, because of the other cost between different treatments were mostly same for one crop. Different letters within a column indicate significant differences between treatments( $P<0.05$ ). The same below.

与作物产量规律基本相似。各作物最大净收益分别比最小净收益提高3.0%~14.5%。虽然地膜厚度对作物净收益水平有一定影响,但处理间净收益无显著性差异( $P>0.05$ ),同时增加地膜厚度对于不同作物的新增纯收益率影响不同,主要受到净收益水平的影响。

#### 2.4 地膜残留强度与残留系数

从表4可以看出,地膜厚度显著影响地膜残留强度( $P<0.05$ ),除了马铃薯外,其余作物地膜残留强度和地膜厚度均呈显著负相关关系( $P<0.05$ ),即随着地膜厚度的增加,地膜残留强度显著降低。棉花和玉米在0.012 mm处理下,3年累计地膜残留强度最低,分别为27.6、39.6 kg·hm<sup>-2</sup>,在0.006 mm处理下地膜残留强度最大(60.6 kg·hm<sup>-2</sup>和81.3 kg·hm<sup>-2</sup>),是0.012 mm处理的2.1~2.2倍。花生在0.010 mm处理下,累计地膜残留强度最低(3.5 kg·hm<sup>-2</sup>),比0.004 mm处理(10.7 kg·hm<sup>-2</sup>)减少67.3%。对于马铃薯而言,土壤残膜强度则随着地膜厚度的增加而显著增加( $P<0.05$ ),0.012 mm处理下3年累计残膜强度最高,达57.2 kg·hm<sup>-2</sup>,是0.006 mm处理下残膜强度(15.3 kg·

hm<sup>-2</sup>)的3.7倍。

处理间地膜残留系数变化规律基本与地膜残留强度一致。棉花、玉米和花生地膜残留系数随着地膜厚度增加而降低。花生的地膜残留系数较低,各处理残膜系数范围为2.1%~16.2%,0.010 mm和0.004 mm处理土壤相差7.7倍。棉花和玉米0.012 mm处理下残留系数分别为9.1%和9.8%,与0.006 mm处理相比,分别减少77.3%和75.6%。马铃薯残膜系数呈现随地膜厚度增加而增加的趋势,0.012 mm处理下其值为23.4%,是0.006 mm处理(12.5%)的1.9倍。

### 3 讨论

#### 3.1 地膜厚度对产量的影响

增加地膜厚度有利于提高土壤保温保墒性能,但对不同作物土壤温度、含水量影响不同。随着地膜厚度的增加,玉米和花生监测期内土壤温度增加,与张富林等研究结果一致,认为增加地膜厚度可提高湖北省南瓜膜下0~5 cm土壤温度<sup>[9]</sup>。其原因主要有以下两方面:一是厚地膜在铺设和应用过程中不容易破

表4 地膜厚度对土壤地膜残留的影响

Table 4 The effect of film thickness on mulching film residue of filed

作物 Crop	处理 Treatment/mm	2年/3年累计地膜用量 Mulching dosage of 2 or 3 years/kg·hm <sup>-2</sup>	2年/3年累计残膜强度 Residue mulching amount of 2 or 3 years/kg·hm <sup>-2</sup>	残留系数 Residual coefficient/%
棉花 Cotton	0.006(CK)	151.2	60.6a	40.1
	0.008	201.6	30.8b	15.3
	0.010	252.0	29.0b	11.5
	0.012	302.4	27.6b	9.1
玉米 Maize	0.006(CK)	202.5	81.3a	40.2
	0.008	270.0	59.1b	21.9
	0.010	337.5	44.2b	13.1
	0.012	405	39.6b	9.8
马铃薯 Potato	0.006(CK)	122.1	15.2c	12.5
	0.008	162.9	37.9b	23.3
	0.011	223.8	51.8a	23.2
	0.012	244.2	57.2a	23.4
花生 Peanut	0.004(CK)	66.0	10.7a	16.2
	0.006	99.0	7.7a	7.8
	0.008	132.0	5.7ab	4.3
	0.010	165.0	3.5b	2.1

注:棉花、玉米、马铃薯残膜监测时间为2011—2013年(3年),花生残膜监测时间为2011—2012年(2年)。

Note: The monitoring time of residual film on cotton, maize and potato were from 2011 to 2013(3 years), and for peanut was from 2011 to 2012(2 years).

裂,其完整性有利于发挥地膜保温作用;二是地膜与地面存在一个稳定气层,相对于薄地膜容易贴服到土壤表面,厚地膜较好的延展性,有利于增加该气层的厚度,因而具有更好的保温效果。对于马铃薯而言,其覆膜前期(1~40 d)土壤温度随着地膜厚度增加而增加,覆膜40 d后,地膜较厚的处理增温效果比地膜较薄处理效果差。这是因为覆膜前期厚地膜处理增温效果显著,促进其苗期的生长发育,马铃薯长势优于薄地膜处理,其作物郁闭度提高,冠层的遮蔽导致辐射到地面的热量减少,所以土壤温度较低。王秀康等对玉米生育期覆膜与不覆膜土壤温度进行比较发现,玉米生长前期,覆膜处理土壤增温显著,玉米长势良好,而生长后期,覆膜处理玉米叶面积较大影响太阳光线的直接照射,造成该处理增温效果变差<sup>[20]</sup>。地膜厚度对土壤含水量影响与温度变化趋势相同,增加地膜厚度可有效减少玉米灌溉后土壤水分蒸发,提高马铃薯苗期和花生整个生育期内土壤含水量,有利于作物产量和土壤水分利用率的提高<sup>[21]</sup>。厚地膜增温保墒作用优于薄地膜,主要原因为,相同条件下厚地膜抗拉伸能力强,铺设及使用过程中不易破碎,其完整性对于发挥地膜保温保水作用至关重要<sup>[22]</sup>。

所有覆膜作物中,玉米厚地膜处理(0.008~0.012 mm)籽粒产量显著高于薄地膜处理(0.006 mm)( $P <$

0.05),与该作物厚地膜处理下增温保墒作用显著密切相关。对于其他作物,各处理产量虽有差异,但达不到显著水平( $P > 0.05$ )。棉花籽棉产量随着地膜厚度增加而增加,0.012 mm处理下其籽棉产量比0.006 mm处理下增产4.0%。马铃薯和花生产量则随着地膜厚度增加表现出先增加后降低的趋势,0.012 mm处理马铃薯产量有所降低,可能因为覆膜后期该处理土壤增温保墒效果降低有关,而对于花生,应用厚地膜影响花生开花期果针下扎,从而造成减产<sup>[23]</sup>。对于大多数作物使用厚地膜有一定的增产作用,但增产幅度有限,并且地膜越厚地膜投入量越大,成本越高,导致最终增产不一定增效。例如,新疆棉花0.006 mm和0.008 mm处理间以及甘肃玉米0.008 mm和0.010 mm处理间,均表现为后者的产量高于前者,但前者的净收益高于后者。可见,覆膜作物不同,地膜厚度对作物产量和经济收益的影响也不同,从效益最大化的角度来看,棉花和玉米0.012 mm处理下效益最高,而马铃薯和花生0.008 mm处理下效益最高。

### 3.2 地膜厚度对土壤环境的影响

由于种植区气候特征、土壤特性以及管理方式等方面差异,造成不同作物残膜强度随地膜厚度变化趋势不同,且作物间残膜强度差异较大。对于棉花、玉米以及花生等残膜进行回收的种植区,增加地膜厚度可

显著降低土壤残膜强度,减少残膜污染。主要因为随地膜厚度增加,其抗拉伸强度和耐候性将有所增加,在应用和回收时不易破碎,有利于回收工作的进行,从而提高残膜回收率<sup>[15]</sup>。但对于马铃薯而言,由于该地区马铃薯地膜回收力度较小,只是在作物收获时人工捡拾地表的大片残膜,造成土壤残膜强度随着地膜厚度的增加而显著增加( $P<0.05$ )。虽然厚地膜应用过程中,碎片化程度降低,但地膜厚度增加,造成单位面积残片质量增加,在不回收或回收力度较小的情况下,必然造成土壤残膜强度增加。

处理间地膜残留系数变化规律基本与地膜残留强度一致,棉花、玉米和花生随着地膜厚度增加其残留系数降低,马铃薯的残留系数则表现出随地膜厚度增加而增加。花生试验点位于华北地区,该地区人均土地面积小,劳动力充足,有利于精耕细作<sup>[5]</sup>,导致各处理该地区地膜残留系数较低,地膜回收率均高于80%,达到《关于打好农业面源污染防治攻坚战实施意见》中实现残膜回收率达到80%以上的目标,与山东花生残膜系数定点监测试验中研究结果基本相同<sup>[23]</sup>。棉花、玉米试验点位于西北地区,该地区人均土地面积大,覆膜历史悠久,地膜覆盖度高,机械回收不彻底,导致土壤中残膜率较高<sup>[24]</sup>。地膜厚度分别达到0.008 mm和0.010 mm以上时,棉花和玉米残膜回收率才能满足80%以上的目标。对于马铃薯,由于回收力度较低,随着地膜厚度增加,地膜残留系数明显增加。由此看出,应用厚地膜的同时,应注重回收工作,才能达到有效降低土壤残膜强度,减少残膜污染的目的。

### 3.3 厚地膜应用前景

目前,我国地膜标准对强度和厚度要求偏低,导致现用地膜厚度较薄,96.7%的地膜厚度集中在0.004~0.008 mm之间。薄地膜在应用过程中强度低,易老化破碎,不利于地膜回收工作<sup>[15]</sup>,是造成残膜污染问题重要原因之一;厚地膜具有强度高、耐老化和易回收特点,可为地膜回收创造有利条件<sup>[16]</sup>。与其他减少残膜污染措施相比,例如应用降解膜,普通厚地膜具有成本低,机械强度高,增温保墒效果显著等优点,更适合大面积推广应用<sup>[11,25-26]</sup>。近年来,部分地区推广应用厚地膜后,农民为减少投入成本,出现厚地膜一膜两年用甚至一膜三年用现象<sup>[27]</sup>。为了避免厚地膜一膜两年用后残膜污染加重,厚地膜生产过程中应适当增加延伸剂和抗老化剂的用量,使其使用两年后,不易碎片化,容易从田间清除,以满足部分地区一

膜两年用需求。

综上所述,推广应用厚地膜是当前解决残膜污染众多措施(加大机械回收力度、推广应用可降解地膜等)中最经济有效的方法之一,国家相关部门应尽快修订完善相关标准,并在修订标准时综合考虑资源成本,增加地膜厚度,提高拉伸负荷、耐老化性能。本研究建议地膜厚度在0.010~0.012 mm之间较为适宜。

## 4 结论

从增产增效的角度,增加地膜厚度对于大多数作物有一定的增产作用,但增产幅度有限,而地膜越厚成本越高,最终导致增产不一定增效。从减少地膜污染的角度,地膜越厚回收效果就会越好,对于保护环境,缓解白色污染具有重要意义。综合考虑,虽然增加地膜厚度会在一定程度上增加农业生产成本,但为了解决地膜残留问题,提高我国地膜厚度标准势在必行。本研究建议地膜厚度为0.010~0.012 mm较为适宜。

### 参考文献:

- [1] 许香春,王朝云. 国内外地膜覆盖栽培现状及展望[J]. 中国麻业, 2006, 28(1):6-11.  
XU Xiang-chun, WANG Chao-yun. The status and development trend of cultivation mulch film at home and abroad[J]. *Plant Fibers and Products*, 2006, 28(1):6-11.
- [2] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴-2014[M]. 北京:中国统计出版社, 2014.  
The Rural Social and Economic Investigation Department, National Bureau of Statistics. China agricultural statistical yearbook 2014 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.
- [3] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2):95-102.  
YAN Chang-rong, LIU En-ke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(2):95-102.
- [4] LIU En-ke, HE Wen-qing, YAN Chang-rong. 'White revolution' to 'white pollution': Agricultural plastic film mulch in China[J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9(0910019).
- [5] 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.
- [6] 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 plastic film of cotton field in North China[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2008, 27(2):570-573.
- [7] 刘建国,李彦斌,张伟,等. 绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉

- 花生生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(2):246-250.
- LIU Jian-guo, LI Yan-bin, ZHANG Wei, et al. The distribution of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in oasis of Xinjiang[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2010, 29(2):246-250.
- [8] ZHANG Dan, LIU Hong-bin, HU Wan-li, et al. The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(11):2639-2646.
- [9] YANG Ning, SUN Zhan-xiang, FENG Liang-shan, et al. Plastic film mulching for water-efficient agricultural applications and degradable films materials development research[J]. *Materials and Manufacturing Processes*, 2015, 30(2):143-154.
- [10] 黄宇. 基于EKC的中国农业面源污染实证研究[D]. 成都:西南交通大学, 2012.
- HUANG Yu. Empirical research on agricultural non-point source pollution in China based on environmental kuznets curve hypothesis[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [11] 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 Li-xia, WANG Pu, ZHANG Li-li. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(4):111-116.
- [12] 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.
- YAN Chong-rong, HE Wen-qing, LIU Shuang, et al. Application of mulch films and prevention of its residual pollution in China[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [13] 新疆维吾尔自治区农牧业机械试验鉴定站, 新疆维吾尔自治区农业资源与环境保护站. GB/T 25413—2010 农田地膜残留量限值及测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.
- The Xinjiang Uygur Autonomous Region agriculture and animal husbandry machinery test and identification station, The Xinjiang Uygur Autonomous Region agricultural resources and environmental protection station. GB/T 25413—2010 Limit and test method for residual quantity of agricultural mulch film[S]. Beijing: China Standard Press, 2011.
- [14] 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 Ji-ye, WANG Xiu-fen, ZHU Dao-lin. Effect of plastic-film on the crop yield[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(11):172-175.
- [15] 何为媛, 李玫, 李真熠, 等. 重庆市地膜残留系数研究[J]. 农业环境与发展, 2013(3):76-78.
- HE Wei-yuan, LI Mei, LI Zhen-yi, et al. Study on the residual coefficient of plastic film in Chongqing[J]. *Agricultural Environment and Development*, 2013(3):76-78.
- [16] 陈发. 新疆残膜回收机械化技术研究、应用与建议[J]. 新疆农业科学, 2008(S2):127-134.
- CHEN Fa. Research, application and suggestion on the recovery of the residual film in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008(S2):127-134.
- [17] 新疆维吾尔自治区轻工业行业管理办公室, 新疆塑料协会, 自治区质量技术监督检验检疫研究院, 等. DB65/3189—2014 聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
- Autonomous Region Light Industry Management Office, Xinjiang Plastics Association, Institute of Quality and Technical Supervision and Inspection of Autonomous Regions, et al. DB65/3189—2014 Polyethylene blown mulch film for agricultural uses [S]. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [18] 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃省产品质量监督检验中心, 兰州金土地塑料制品有限公司, 等. DB 62/2443—2013 聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
- Agricultural Technology Extension Station of Gansu Province, Product Quality Supervision and Inspection Center of Gansu Province, Lanzhou Golden Land Plastic Products Co., Ltd., et al. DB 62/2443—2013 Polyethylene blown mulch film for agricultural uses[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [19] 张富林, 蔡金洲, 范先鹏, 等. 地膜南瓜适宜覆膜厚度初步研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 52(23):5755-5757.
- ZHANG Fu-lin, CAI Jin-zhou, FAN Xian-peng, et al. Preliminary studies on suitable thickness of film for pumpkin[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 52(23):5755-5757.
- [20] 王秀康, 李占斌, 邢英英. 覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4):884-897.
- WANG Xiu-kang, LI Zhan-bin, XING Ying-ying. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(4):884-897.
- [21] 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]. 农业机械学报, 2016, 47(4):127-135.
- YIN Min-hua, LI Yuan-nong, LI Hao, et al. Effects of mulching patterns on farmland soil environment and winter wheat growth[J]. *Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(4):127-135.
- [22] 张妮, 李琦, 侯振安, 等. 聚乳酸生物降解地膜对土壤温度及棉花产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(2):114-119.
- ZHANG Ni, LI Qi, HOU Zhen-an, et al. Effect of polylactic acid-degradable film mulch on soil temperature and cotton yield[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2016, 33(2):114-119.
- [23] 张丹, 胡万里, 刘宏斌, 等. 华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3):1-5.
- ZHANG Dan, HU Wan-li, LIU Hong-bin, et al. Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in North China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(3):1-5.
- [24] 李付广, 章力建, 崔金杰, 等. 我国棉田生态系统立体污染及其防治对策[J]. 棉花学报, 2005, 17(5):299-303.
- LI Fu-guang, ZHANG Li-jian, CUI Jin-jie, et al. Study of agricultural tri-dimension pollution on ecological system in cotton field and its control tactics[J]. *Cotton Science*, 2005, 17(5):299-303.
- [25] Shogren R L. Biodegradable mulches from renewable resources[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2000, 16(4):33-47.
- [26] Greer L, Dole J M. Aluminum foil, aluminium-painted, plastic, and degradable mulches increase yields and decrease insect-vectored viral diseases of vegetables[J]. *Hort Technology*, 2003, 13(2):276-284.
- [27] 冯禹, 崔宁博, 龚道枝, 等. 基于叶面积指数改进双作物系数法估算旱作玉米蒸散[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9):90-98.
- FENG Yu, CUI Ning-bo, GONG Dao-zhi, et al. Estimation rainfed spring maize evapotranspiration using modified dual crop coefficient approach based on leaf area index[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(9):90-98.