



田馨,张涵,孙诗冉,罗鑫兰,赵淑梅,郑亮. 地膜材料与厚度对地膜回收及棉花生长的影响[J]. 中国农业大学学报,2025,30(01):206-214.
TIAN Xin,ZHANG Han,SUN Shiran,LUO Xinlan,ZHAO Shumei,ZHENG Liang. Influence of plastic film material and thickness on plastic film recovery and cotton growth[J]. *Journal of China Agricultural University*,2025,30(01):206-214.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.01.18

地膜材料与厚度对地膜回收及棉花生长的影响

田馨 张涵 孙诗冉 罗鑫兰 赵淑梅 郑亮*

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要 为优选适宜棉花种植的地膜材料和厚度,选用3种不同材料的聚乙烯材料地膜,A地膜(FB2230)、B地膜(90%FK1828+10%树脂)和C地膜(80%DFDA7042+20%FK1828),设置10、15和20 μm 共3种厚度,以市售传统线性低密度聚乙烯地膜(DFDA7042)作为对照(CK),在新疆乌苏地区棉田中进行地膜对比试验。用电子拉力试验机测试不同覆盖时期地膜的力学性能,结合含杂率、回收率、覆膜后土壤温湿度情况以及棉花产量对地膜性能进行综合评估。结果表明:1)力学性能方面,在纵向断裂拉伸强度上A、B和C地膜至少优于CK地膜42.8%、33.1%和12.9%。A地膜最优,B次之,2种地膜在15 μm 时机械性能最好,抗拉且不易变形,适用于机械化揭膜生产。2)回收性能方面,随着厚度增大,地膜含杂率下降,回收率上升。A和B地膜厚度为15 μm 时回收效果较好,易回收且含杂少。3)地膜材料方面,A地膜材料FB2230强度和抗老化能力均较为优异,B地膜材料FK1828覆膜初期强度高,抗老化能力欠佳,但FK1828作为混合材料具有良好的应用前景,同时在提高地温上效果较好,能促进棉花产量提升。综上,主要材料为聚乙烯FB2230和FK1828的地膜,厚度为15 μm 时力学性能好,回收率高且卷入杂质少,能有效保持地温,增加棉花产量,适宜用于棉花种植和机械化回收。

关键词 地膜材料;力学性能;含杂率;拾净率;土壤温湿度

中图分类号 S31;X71

文章编号 1007-4333(2025)01-0206-09

文献标志码 A

Influence of plastic film material and thickness on plastic film recovery and cotton growth

TIAN Xin, ZHANG Han, SUN Shiran, LUO Xinlan, ZHAO Shumei, ZHENG Liang*

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to optimize the suitable plastic film material and thickness for cotton cultivation, three different materials of polyethylene plastic film, A plastic film (FB2230), B plastic film (90% FK1828+10% resin) and C plastic film (80% DFDA7042+20% FK1828), were selected. Three thicknesses of 10, 15 and 20 μm were set, and the commercially available linear low-density polyethylene plastic film (DFDA7042) was used as the control (CK). Plastic film experiments were conducted in cotton fields in the Wusu region of Xinjiang. Electronic tensile testing machine was taken to test the mechanical properties of plastic film at different coverage periods, and the performance of plastic film by combining impurity content, recovery rate, soil temperature and humidity after film covering, and cotton yield were comprehensively evaluated. The results show that: 1) In terms of mechanical properties, the A, B, and C films have at least 42.8%, 33.1% and 12.9% better longitudinal tensile strength than CK films. Among which, the A film has the best mechanical properties, followed by the B film. Both films have the best mechanical properties at 15 μm ,

收稿日期:2024-03-06

基金项目:现代农业产业技术体系北京市创新团队(BAIC01-2023-20)

第一作者:田馨(ORCID:0009-0004-9577-4312),硕士研究生,E-mail:15091176683@163.com

通讯作者:郑亮(ORCID:0000-0002-8699-5429),副教授,主要从事设施园艺工程研究,E-mail:zhengliang@cau.edu.cn

with tensile strength and less deformation, making them suitable for mechanized film production. 2) In terms of recycling performance, with the increase of thickness, the impurity content of the plastic film decreases and the recycling rate increases. Both the A and B plastic films have good recovery effect at 15 μm , which are easy to recover and contain less impurities. 3) In terms of plastic film materials, A plastic film material FB2230 has excellent strength and anti-aging ability, B plastic film material FK1828 has good initial strength and poor anti-aging ability, but FK1828 has better application prospect as a mixed material. At the same time, FK1828 displays better effect on increasing ground temperature, and can promote cotton yield. In summary, at a thickness of 15 μm , plastic films that the main components of are polyethylene FB2230 and FK1828. have better mechanical properties, higher recovery rate and less impurities. The films can effectively maintain soil temperature during the planting process, increase cotton yield, and are suitable for cotton planting and mechanized recycling.

Keywords mulching film materials; mechanical properties; impurity content; pickup rate; soil temperature and humidity

近年来,我国地膜用量和覆膜种植面积持续增加,西北地区尤其新疆、甘肃、宁夏等地农田地膜覆盖比例达80.0%以上^[1]。大面积的地膜投入导致地膜残留量增大,长期覆膜农田的地膜残留量达到了259.1 kg/hm²^[2]。残膜“白色污染”对农业生产造成巨大损失,覆膜13年以上的棉田,由残膜导致的减产占比高达17%^[3]。如何提高地膜回收率,减少残膜污染是农业生产研究的重要问题。

目前,减少地膜残留的主要措施有,增大地膜强度以提高地膜回收率,通过农作物轮作倒茬及改变农作制度以减少地膜用量,以及使用可降解地膜以促进地膜无害化降解。改变农作制度和应用可降解地膜2种措施虽绿色环保,但均受成本、作物、地理位置和气候的限制,未实现大面积应用^[4]。在地膜推广面积不断扩大和机械化作业普及的现状下,如何优化厚度和材料来提高地膜强度进而减少机械回收残留成为解决残膜污染的有效出路^[5]。有研究证明,地膜厚度由0.008 mm增加到0.01 mm,拉伸强度可以提升25%^[6],0.01 mm厚度地膜相比0.008 mm厚度回收率提高5.2%^[7]。增加地膜厚度有利于提高其抗拉能力,但也会提高生产成本,而地膜材料同样也影响地膜的抗拉能力。线性低密度聚乙烯(LLDPE)/低密度聚乙烯(LDPE)共混薄膜中LDPE含量的增加,可以改善LLDPE的熔体流变性能,提高共混膜的抗撕裂强度^[8]。低分子量乙烯均聚物(LMW)和双峰高密度聚乙烯(HDPE)共混时提高LMW含量可以增加HDPE的拉伸强度和弯曲强度^[9]。

综上,地膜厚度和材料对地膜力学性能和回收性能有很大影响,但现有研究内容多聚焦于厚度或材料单一指标的对比,对两者结合的地膜力学性能

和回收性能探索较少。本研究拟选取不同材料的聚乙烯地膜,结合不同厚度梯度设置处理,在新疆棉田内开展地膜性能对比试验,对地膜的拉伸强度、回收性能、覆盖后土壤温湿情况以及棉花产量等进行综合评估,以期机械回收时地膜材料和厚度的选取提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点为新疆乌苏市西湖镇(84.64°(E), 44.54°(N)),气候为干旱型大陆性气候。该地区日照充沛,年平均日照时数2 600~2 800 h,年平均无霜期184 d,年平均降雨量163.2 mm,蒸发量2 081.6 mm,相对湿度58%,平均气温7.6℃。

1.2 试验材料

试验选择3种不同材料的聚乙烯地膜:A地膜(FB2230)、B地膜(90%FK1828+10%树脂)和C地膜(80%DFDA7042+20%FK1828),以市售传统线性低密度聚乙烯地膜(DFDA7042)作为对照CK,设置10、15和20 μm 厚度梯度,处理编号和地膜材料详见表1。

试验地膜成分中3种聚乙烯材料的特性如下:1)FB2230为双峰聚乙烯树脂,其加工性能和机械性能优良,吹塑生产可形成粗糙薄膜表面增强散射光;2)FK1828为线性低密度聚乙烯,加工性能好和减薄潜力强,在生产过程挤出量高耗能低;3)DFDA7042为线性低密度聚乙烯,其机械性能较好,但熔体粘度高加工性能较差。

试验种植棉花品种为‘新陆早76号’,播种日期为2021-04-28,采收日期2021-10-10。肥水管理、病虫害防治等栽培管理措施按正常田间管理进行。

表1 不同处理地膜的组成材料及厚度
Table 1 Composition materials and thickness of different treated plastic films

处理 Treatments	地膜材料 Plastic film materials	地膜/ 厚度 μm Thickness	处理 Treatments	地膜材料 Plastic film materials	地膜/ 厚度 μm Thickness
A-10	FB2230	10	C-10	80%DFDA7042+20%FK1828	10
A-15	FB2230	15	C-15	80%DFDA7042+20%FK1828	15
A-20	FB2230	20	C-20	80%DFDA7042+20%FK1828	20
B-10	90%FK1828+10% 树脂	10	CK-10	DFDA7042	10
B-15	90%FK1828+10% 树脂	15	CK-15	DFDA7042	15
B-20	90%FK1828+10% 树脂	20	CK-20	DFDA7042	20

注:A、B、C分别表示成分为FB2230、90%FK1828+10% 树脂、80%DFDA7042+20%FK1828的地膜;CK为对照处理,地膜成分为DFDA7042。处理以“地膜名称-厚度”命名。下表同。
Note: A, B and C represent plastic films with components FB2230, 90% FK1828+10% resin and 80% DFDA7042+20% FK1828, respectively. CK is the control treatment. The plastic film component is DFDA7042. The treatment is named with “film name-thickness”. The following table is the same.

1.3 测试指标及方法

试验地膜覆盖时长为180 d,在环境一致且不影响作物正常生长的位置进行取样,每隔40 d左右割取面积为80 cm×30 cm的地膜样品。取样部位使用相同材料的新地膜进行修补,所取样品依据GB/T 1040.1—2018《塑料拉伸性能的测定 第1部分:总则》^[10]和GB/T 1040.3—2006《塑料拉伸性能的测定 第3部分:薄膜和薄片的试验条件》^[11]的要求测试拉伸性能。选择标准中的1B型试样,电子式拉力试验机(Zwick Z020,Zwick,德国)选用二通道0~50 N 档位,钳口速度100 mm/min,试样标距50 mm。断裂伸长率计算公式为:

$$\delta = \frac{L_1 - L}{L} \tag{1}$$

式中:δ为断裂伸长率,%;L为试件原始长度,mm;L₁为试件拉伸后的长度,mm。

地膜含杂率测试参考由佳翰等^[12]的方法,地膜覆膜前称重,使用后地膜回收并称重,记录测区内废旧地膜当年覆盖残留质量。将样品带回实验室反复清洗至水不再混浊后晾干称重。地膜含杂率公式如下:

$$P = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \tag{2}$$

式中:P为含杂率,%;W₀为覆盖后未清洗地膜质量,g;W₁为清洗后地膜质量,g。

地膜回收率计算参考窦芙蓉等^[13]的方法,计算

公式为:

$$X = \frac{W - W_2 - W_3}{W} \times 100\% \tag{3}$$

式中:X为回收率,%;W₂为当年废旧地膜覆盖残留质量,g;W₃为往年废旧地膜覆盖残留量,取0.05 g;W为实际覆盖地膜质量,g。

土壤温度和湿度采用土壤温湿度传感器(四合一测试仪,石家庄鼎佩科技有限公司,中国)测量,测点位于地膜下方土壤5 cm处,同一采样区域测试5点。棉花采样方法及产量计算公式参考王斌等^[14],测定单位面积棉花株数、铃数以及单铃质量,其中单铃重按棉株上、中、下部位分别采50朵完全吐絮棉花测定,产量=单位面积株数×每株铃数×单铃质量。

1.4 统计分析

试验数据采用Microsoft Excel 2010 进行整理和计算,数据结果用SPSS 26.0进行方差分析,处理间采用Tukey法进行差异显著性分析,显著性水平为P<0.05。

2 结果与分析

2.1 地膜物理性能及其对地膜回收的影响

2.1.1 不同处理地膜的力学性能

断裂拉伸强度和断裂伸长率可衡量地膜受拉时的抗拉能力和变形能力,各处理地膜纵向断裂拉伸强

度和断裂伸长率结果见表 2。

覆膜前,厚度>15 μm 时各处理地膜的纵向断裂拉伸强度大小为 A>B>C>CK,断裂伸长率 CK 断裂伸长率先减后增。除 15 μm 厚度的 C 地膜断裂伸长率大于 CK 对照,其余处理排序为 CK>C>B>A。覆膜 180 d 后,各处理地膜纵向断裂拉伸强度和断裂伸长率均有下降,厚度 10 及 15 μm 时各处理地膜断裂拉伸强度大小为 A>CK>C>B,断裂伸长率为 A< B<C<CK,厚度 20 μm 的 CK 地膜覆膜后拉伸性能下降幅度大,相较于同厚度的其他地膜纵向断裂

拉伸强度降为各处理最低,断裂伸长率也有较大下降。覆膜 180 d 后,A 和 B 地膜的纵向断裂拉伸强度降低最多,相较于初始值分别降低了 31.2%~39.7% 和 31.9%~43.5%。B 和 CK 地膜的纵向断裂伸长率降低最多相较于初始值分别降低了 90%~100% 和 110%~279%,C 地膜纵向断裂伸长率降低最少为 20%~40%。综上,覆膜前,厚度 15 μm 的 A 和 B 地膜纵向力学性能较好,抗拉且不易变形。覆膜 180 d 后,A 地膜纵向断裂拉升强度和断裂伸长率虽然降低较多,但仍保持较高强度。

表 2 不同处理地膜覆膜前后的纵向断裂拉伸强度和断裂伸长率
Table 2 Longitudinal tensile strength and elongation at break of plastic film before and after different treatments

处理 Treatments	断裂拉伸强度/MPa Longitudinal tensile strength at break		断裂伸长率/% Longitudinal elongation at break	
	覆膜前 Before lamination	覆膜后 ^① After lamination	覆膜前 Before lamination	覆膜后 After lamination
A-10	53.7	32.4	250	220
A-15	50.6	34.8	350	300
A-20	68.3	45.3	310	200
B-10	35.4	24.1	370	280
B-15	42.2	25.3	460	370
B-20	40.2	22.7	490	390
C-10	34.7	26.2	420	380
C-15	34.9	29.4	510	490
C-20	35.6	24.8	600	560
CK-10	37.6	28.6	490	380
CK-15	30.9	30.4	470	500
CK-20	30.2	15.9	630	351

注:①覆膜时间为 180 d,表 3 同。
Note: ① The lamination time is 180 days, Table 3 is the same.

各处理地膜覆膜前后的横向断裂拉伸强度和断裂伸长率结果见表 3。覆膜前,当地膜厚度为 10 μm 时,只有 B 地膜的横向断裂拉伸强度优于 CK,当地膜厚度>15 μm 时,A 和 B 地膜的横向断裂拉伸强度均优于 CK,而 C 地膜的横向断裂拉伸强度是所有试验地膜中最弱的。对覆膜前不同处理的地膜横向断裂伸长率进行分析,当地膜厚度<15 μm 时,地膜横向断裂伸长率规律表现为 B<C<A<CK,而当地膜厚度为 20 μm 时,除 A 地膜的断裂伸

长率大于 CK 外,其余地膜呈现的规律仍为 B<C<A<CK。覆膜 180 d 后,当地膜厚度为 10 μm 时,所有处理地膜断裂拉伸强度均小于 CK,呈现规律为 CK>B>C>A,当地膜厚度≥15 μm 时,不同处理地膜的断裂拉伸强度规律为 B>C>CK>A;对覆膜 180 d 后不同处理地膜横向断裂伸长率进行分析,可知 A 地膜的横向断裂伸长率为所有地膜中最低的,当地膜厚度<0.015 μm 时,A、B 和 C 地膜的横向断裂伸长率均小于 CK,当地膜厚度为 20 μm

时,B和C地膜的横向断裂伸长率均大于CK,此时变化规律为 $A<CK<B<C$ 。

进一步对所有处理地膜覆膜前后2个横向力学指标的数值变化量进行定量分析。可知,A地膜的横向断裂拉伸强度相较于初始值降低了58.2%~66.6%,横向断裂伸长率相较于初始值降低了56.1%~61.5%,是所有材料中拉伸性能下降最多的。B地膜横向断裂拉伸强度相较于初始值降低了

19.1%~36.8%,横向断裂伸长率相较于初始值降低了-1.8%~8.3%,是各材料地膜中下降最少的。综上,A和B地膜覆膜前的横向力学性能优于C和CK地膜,抗拉且不易变形。覆膜180 d后,B地膜仍有很强的横向抗拉能力,而A地膜的抗拉能力则迅速下降,在4个材料中最弱。因此认为,B地膜横向力学性能强且稳定,耐拉不易变形,15 μm 为其最佳厚度。

表3 不同处理地膜覆膜前后的横向断裂拉伸强度和断裂伸长率

Table 3 Lateral tensile strength and elongation at break before and after mulching with different plastic film treatments

处理 Treatments	断裂拉伸强度/MPa Transverse tensile strength at break		断裂伸长率/% Transverse elongation at break	
	覆膜前 Before lamination	覆膜后 After lamination	覆膜前 Before lamination	覆膜后 After lamination
A-10	19.4	8.1	680	262
A-15	28.7	9.6	800	319
A-20	31.9	12.1	890	391
B-10	23.7	15.4	530	500
B-15	28.8	23.3	560	570
B-20	34.0	21.5	600	550
C-10	16.4	12.6	550	475
C-15	19.0	22.5	610	700
C-20	27.3	16.5	740	573
CK-10	21.1	17.3	700	653
CK-15	25.8	19.3	830	730
CK-20	28.4	13.1	880	515

不同处理地膜的纵向断裂拉伸强度和断裂伸长率随时间的变化见图1。试验表明,A和B地膜的纵向断裂拉伸强度在覆膜180 d的过程中均高于地膜C和CK,其中地膜A的纵向抗拉能力下降最快,地膜B则相对稳定。各处理地膜在厚度为10 μm 时,纵向抗拉能力均会在覆膜后110 d左右骤降,除地膜A外其余材料的地膜在厚度为15和20 μm 时,纵向抗拉能力随时间的变化波动趋势均相当。在覆膜180 d内纵向断裂伸长率的变化较为稳定,表现为随时间增加不断降低,过程中呈现的变化规律均为 $CK>C>B>A$ 。在覆膜40~80 d时,各处理地膜的纵向断裂伸长率下降相对较快,后期则趋于平稳,且随厚度增加,纵向断裂伸长率更稳定。

2.1.2 不同处理地膜的含杂率和回收率

对不同处理地膜的含杂率和回收率数据进行差异性分析,结果见表4。同一材料,不同厚度的地膜,其含杂率和回收率均具有较大的差异:厚度20 μm 的地膜相较于厚度10 μm 的地膜含杂率显著下降,回收率显著提升。同一厚度时,不同材料地膜的含杂率无显著差异,A、B和C地膜的回收率显著高于CK。厚度10 μm 时各处理地膜含杂率排序为 $C>CK>B>A$,厚度 $>15\ \mu\text{m}$ 时含杂率排序为 $CK>C>A>B$ 。各处理地膜回收率均优于CK,B地膜回收率在各个厚度都高于其余处理,除15 μm 厚度时A地膜回收率大于C地膜,变化规律为 $B>A>C>CK$,其余厚度C地膜都优于A地膜,变化规

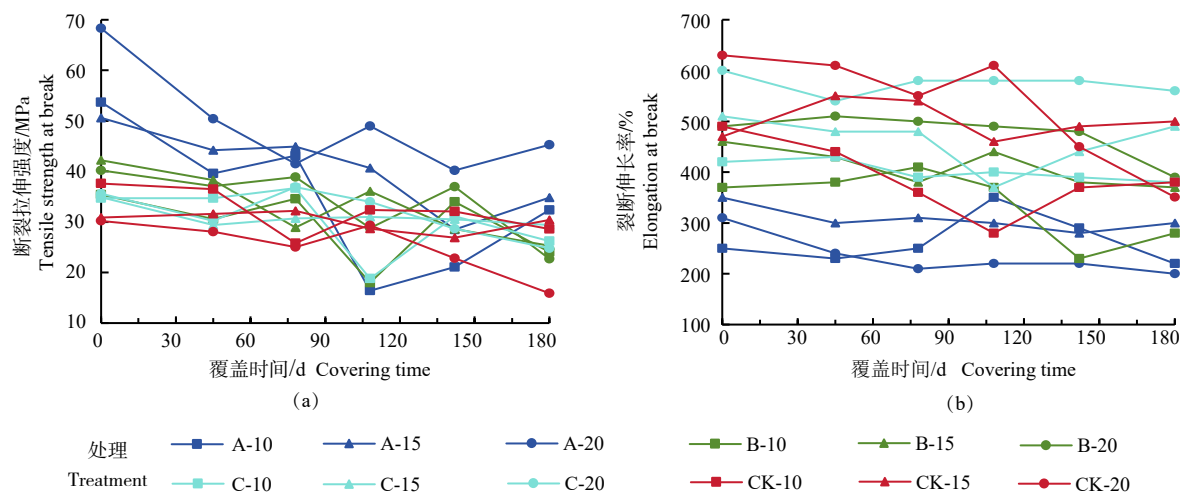


图 1 地膜纵向断裂拉伸强度(a)及断裂伸长率(b)随覆盖时间的变化

Fig.1 Longitudinal tensile strength (a) and elongation at break (b) of the film after 180 days of lamination as a function of time

律为 $B>C>A>CK$ 。A和B地膜纵向力学特性耐拉不易变形,所以含杂率低,回收率高。随着厚度增加,地膜含杂率下降,回收率上升。回收率在地膜厚度 $\geq 15\mu\text{m}$ 时增加相对缓慢,该厚度以上A、B

和C地膜的回收率均高于90%且高于CK地膜。同时力学性能分析也显示,各处理地膜力学性能在 $15\mu\text{m}$ 厚度时强度大且稳定,故综合认为A和B地膜在 $15\mu\text{m}$ 时机械性能好,回收效果好。

表 4 不同处理地膜的含杂率及回收率

Table 4 The impurity content and recovery rate of different treatments of plastic film %

处理 Treatment	含杂率 Impurity rate	回收率 Recycling rate	处理 Treatment	含杂率 Impurity rate	回收率 Recycling rate
A-10	92.15±1.00abc	84.40±1.25d	C-15	91.65±1.25abc	90.30±1.29abc
B-10	92.54±0.89abc	85.73±1.42cd	CK-15	92.29±1.75abc	83.36±1.30d
C-10	93.54±1.10a	84.58±1.99d	A-20	89.34±1.47c	92.20±0.92ab
CK-10	93.05±0.94ab	78.28±2.60e	B-20	88.88±1.64c	93.95±1.64a
A-15	91.60±1.35abc	90.54±1.03abc	C-20	89.71±0.94bc	93.15±2.32a
B-15	90.35±1.12abc	91.79±1.61ab	CK-20	90.56±1.20abc	87.62±1.58bcd

注:数据表示形式为“均值±标准误差”,不同字母代表处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The data is presented in the form of “mean ± standard error”. Different letters represent significant differences between treatments ($P<0.05$). The following table is the same.

2.2 不同处理地膜覆盖下的土壤温湿度

地膜厚度对土壤温湿度影响差异显著,厚度为10和 $20\mu\text{m}$ 时A、B和C地膜土壤温度有显著差异,厚度为 $15\mu\text{m}$ 时A、B和C地膜土壤湿度显著高于CK。同样厚度下,虽然A、B和C地膜间土壤温湿度差异性不显著,但相较CK有较明显的提升(图2)。由温度数据对比可知,A、B和C地膜在

$10\mu\text{m}$ 时保温能力弱于CK,厚度增加到 $>15\mu\text{m}$ 时A、B和C地膜保温性能提升且均大于CK。B地膜厚度 $>15\mu\text{m}$ 时保温能力为各试验地膜中最优,A地膜在 $20\mu\text{m}$ 时保温性能最好,C地膜的保温能力随厚度变化不大。由相对湿度数据对比可知,厚度为10和 $15\mu\text{m}$ 时B和C地膜的保水能力强,厚度为 $20\mu\text{m}$ 时A地膜保水能力强。

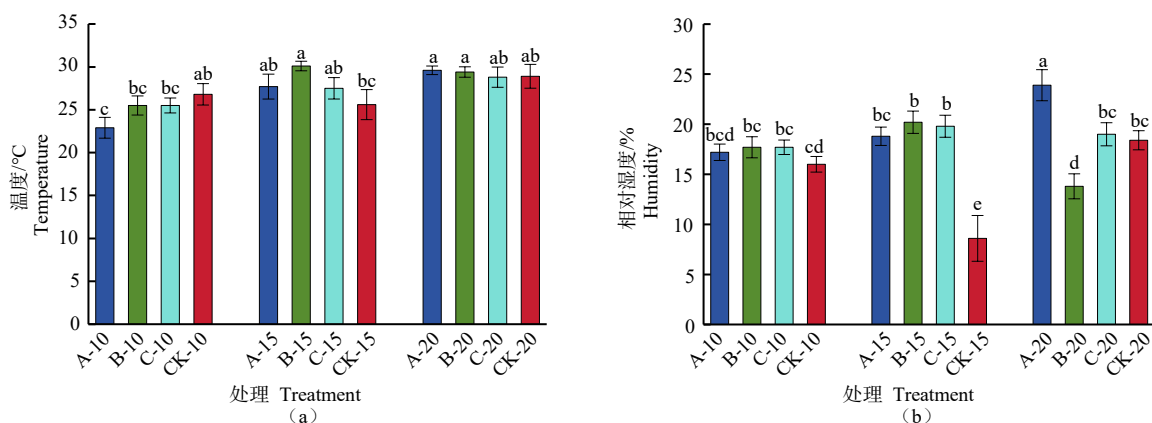


图2 典型晴天(2021-06-16)不同处理地膜覆盖下的土壤温度(a)和相对湿度(b)

Fig.2 Soil temperature (a) and humidity (b) under different treatments of plastic film cover on atypical sunny day (2021-06-16)

2.3 不同处理地膜覆盖下的作物产量

不同处理地膜覆盖下棉花产量对比结果见图3。随着地膜厚度增加,各处理地膜覆盖下的棉花产量呈现增加趋势,其中A、B和C地膜的棉花产量均高于CK。B和C地膜厚度 $\geq 15 \mu\text{m}$ 时,棉花产量相较于A地膜有较大提升。B地膜厚度 $> 15 \mu\text{m}$ 时棉花产量随厚度增加较小,稳定在 $276 \sim 278 \text{ kg/hm}^2$,C地膜 $15 \mu\text{m}$ 厚度与B地膜覆盖棉花产量相近,厚度为 $20 \mu\text{m}$ 时棉花产量增加到 284.85 kg/hm^2 。

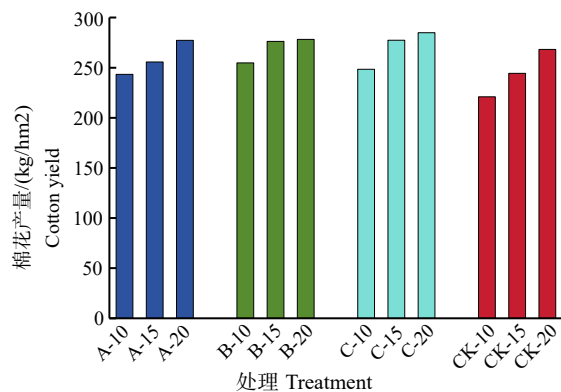


图3 不同处理地膜覆盖下的棉花产量

Fig.3 Cotton yield under different treatments of plastic film coverage

3 讨论

已有研究证明,地膜力学性能主要受厚度和地膜成分影响^[15-17]。厚度增大能提高地膜的力学性能,进而增加回收率。本研究地膜力学性能随厚度增加而增加,在地膜覆盖后90 d内力学性能下降较

大,与郭辉等^[18]通过力学分析预测覆盖后第140天时,卷膜式回收地膜变化规律结论一致。通过数据分析,厚度在 $15 \mu\text{m}$ 以上不同材料地膜拉伸性能在覆膜180 d后仍有较高强度。但地膜并非越厚越好,地膜厚度增加会导致成本上升,且对拉升能力及回收能力的提高有限,故本研究认为 $15 \mu\text{m}$ 厚度的地膜力学性能及经济性较优。地膜材料也是造成为力学性能存在差异的原因,本研究中A和B地膜在 $15 \mu\text{m}$ 厚度以上时,覆膜前纵向断裂拉伸强度远大于C和CK地膜,初始力学性能较好。尤其是A地膜在覆膜180 d后仍保留较强的力学性能,B地膜覆膜后抗拉能力与C和CK相差无几。纵向力学性能上A地膜最优,B地膜次之。聚乙烯材料表现上,A地膜的聚乙烯成分FB2230强度和抗老化能力均较优,B地膜的FK1828覆膜初期强度好,但抗老化能力欠佳,随覆膜时间增长力学性能下降较快。但FK1828可作为混合材料应用,C地膜在CK(DFDA7042)基础上增加了20%的FK1828,其纵向力学性能覆膜前后均优于CK。

力学性能影响地膜的含杂率和回收率。通过不同材料地膜的回收率对比,相同材料地膜随厚度增加,有含杂率下降,回收率上升的趋势,与武灵燕等^[19]结论一致。地膜在厚度相同时,因材料不同回收率和含杂率也有差异,聚乙烯材料FB2230和FK1828的回收性能较好。本试验中B地膜最优,A地膜次之,2种地膜在 $15 \mu\text{m}$ 时纵向力学特性耐拉不易变形,所以含杂率低,回收效果好。

地膜的厚度和材料会影响土壤温湿度。本研究中,在地膜材料一致的情况下地膜厚度增加会提

高土壤温度,与已有研究结论一致^[20-21]。而相对湿度随厚度的变化规律不明显,分析原因为:其一测量位置较浅,环境变化大,所以导致数值不稳定;其二地膜材料本身具有的保湿差异。地膜材料影响土壤温湿度^[22],本研究结果显示,A、B和C地膜厚度分别为20、15和20 μm 时,对土壤温湿度提升效果较好,不同地膜的最适厚度不同,并非地膜越厚保温保湿能力越强。不同地膜聚乙烯材料对土壤温湿度影响各异,FK1828在提高地温上相较于其他材料效果更好,同时其厚度 $\leq 15 \mu\text{m}$ 时也具有较好的土壤保湿效果,FB2230厚度 $\geq 20 \mu\text{m}$ 时其保温保湿效果均较好。棉花产量与地膜厚度成正相关,A、B和C类型地膜覆盖的棉花产量均高于对照CK,尤其B和C地膜厚度 $\geq 15 \mu\text{m}$ 时棉花产量最高。

4 结 论

1) A地膜(FB2230)和B地膜(90%FK1828+10%树脂)2种聚乙烯地膜在试验过程中抗拉抗变形能力强,机械化搂膜过程中不易卷携杂物,回收率高,适用于机械回收,厚度在15 μm 为宜。

2) 随地膜厚度的增加,聚乙烯地膜的力学性能增强,含杂率下降,回收率上升,同时厚度增加有助于提高地温。

3) 地膜聚乙烯材料中FB2230和FK1828能有效提升地膜强度,增加地膜抗变形能力。材料FB2230抗老化能力强,能满足长季节种植的覆膜需求。材料FK1828抗老化能力欠佳,但作为混合材料效果较好,与传统地膜材料DFDA7042混合,能显著增强其力学性能。

参考文献 References

- [1] 严昌荣,梅旭荣,何文清,郑盛华.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, Zheng S H. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11): 269-272(in Chinese)
- [2] 汤秋香,何文清,王亮,林涛,刘恩科,刘勤,杨再磊,严昌荣.地膜覆盖应用及残留污染防控概述[J].新疆农机化,2016(5):5-8
Tang Q X, He W Q, Wang L, Lin T, Liu E K, Liu Q, Yang Z L, Yan C R. An overview about application of plastic film mulching and anti-pollution [J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2016(5): 5-8(in Chinese)
- [3] 刘志锋.浅谈残膜污染对棉花生长的影响及应对措施[J].石河子科技,

- 2009(6):21-22
Liu Z F. Discussion on the influence of residual film pollution on cotton growth and its countermeasures [J]. *Shihezi Science and Technology*, 2009(6): 21-22(in Chinese)
- [4] 程卫东.北疆棉田地膜残留现状与回收治理方案浅析[J].新疆农垦科技,2015,38(12):64-65
Cheng W D. Analysis on the present situation of plastic film residue in cotton fields in northern Xinjiang and its recovery and treatment scheme [J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2015, 38(12): 64-65(in Chinese)
- [5] Picuno P. Innovative material and improved technical design for a sustainable exploitation of agricultural plastic film [J]. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2014, 53(10): 1000-1011
- [6] 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,2008,45(S2):127-134
Chen F. Research, application and suggestion on mechanization technology of residual film recovery in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(S2): 127-134(in Chinese)
- [7] 何文清,严昌荣,赵彩霞,常蕊芹,刘勤,刘爽.我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):533-538
He W Q, Yan C R, Zhao C X, Chang R Q, Liu Q, Liu S. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 533-538(in Chinese)
- [8] Li S C, Li B, Qin X M. Properties of LLDPE film modified by LDPE [J]. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2012, 51(3): 307-310
- [9] Shi X B, Wang J L, Cai X P. Effect of low molecular weight ethylene homopolymer on structure and properties of bimodal high density polyethylene [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 217-219: 603-608
- [10] GB/T 1040.1—2018 塑料拉伸性能的测定 第1部分:总则[S].北京:中国标准出版社,2018
GB/T 1040.1—2018 Plastics-determination of tensile properties Part 1: General principles[S]. Beijing: China Standard Press, 2018(in Chinese)
- [11] GB/T 1040.3—2006 塑料拉伸性能的测定 第3部分:薄膜和薄片的实验条件[S].北京:中国标准出版社,2007
GB/T 1040.3—2006 Plastics-determination of tensile properties Part 3: Test conditions for films and sheets[S]. Beijing: China Standard Press, 2007(in Chinese)
- [12] 由佳翰,张本华,温浩军,康建明,宋玉秋,陈学庚.铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化[J].农业机械学报,2017,48(11):97-104
You J H, Zhang B H, Wen H J, Kang J M, Song Y Q, Chen X G. Design and test optimization on spade and tine combined residual plastic film device [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(11): 97-104(in Chinese)
- [13] 窦芙蓉,杨树铭,周英,梁彤,刘静.《废旧地膜回收技术规范》解读[J].甘肃科技,2016,32(10):79-80,103
Dou F P, Yang S M, Zhou Y, Liang T, Liu J. Interpretation of "technical specification for recycling waste plastic film" [J]. *Gansu Science and Technology*, 2016, 32(10): 79-80, 103(in Chinese)
- [14] 王斌,万艳芳,王金鑫,孙九胜,王新勇,槐国龙,孔立明.PBAT型全生物降解地膜对南疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响[J].农业环境科学学报,2019,38(1):148-156
Wang B, Wan Y F, Wang J X, Sun J S, Wang X Y, Huai G L, Kong L M. Effects of PBAT biodegradable plastic mulch film on soil physical and

- chemical properties and yields of cotton and maize in Southern Xinjiang, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(1): 148-156 (in Chinese)
- [15] 张佳喜, 王学农, 张丽, 喻晨, 蒋永新, 张海春, 刘旋峰, 乔园园, 王祥金, 张珊珊, 侯书林. 农田地膜拉伸性能变化对缠绕式回收的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 41-47
Zhang J X, Wang X N, Zhang L, Yu C, Jiang Y X, Zhang H C, Liu X F, Qiao Y Y, Wang X J, Zhang S S, Hou S L. Effects of mechanical tensile properties of plastic film on plastic recycling method [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(20): 41-47(in Chinese)
- [16] 方旭, 靳伟, 张学军, 罗凯. 农用地膜力学性能试验与分析[J]. 农机化研究, 2019, 41(10): 203-207, 212
Fang X, Jin W, Zhang X J, Luo K. Testing and analysis of mechanical properties of agricultural ground membrane [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(10): 203-207, 212(in Chinese)
- [17] 姜妞, 徐梓航, 胡跃鑫, 韩向艳, 刘忠全. 相对分子质量分布对双峰聚乙烯薄膜树脂性能的影响[J]. 中国塑料, 2019, 33(11): 12-17
Jiang N, Xu Z H, Hu Y X, Han X Y, Liu Z Q. Effect of molecular weight distribution on properties of bimodal polyethylene resin for films [J]. *China Plastics*, 2019, 33(11): 12-17(in Chinese)
- [18] 郭辉, 于欣东, 靳伟, 贺念东, 郭伟宏. 地膜拉伸力学模型及回收厚度研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(1): 173-178
Guo H, Yu X D, Jin W, He N D, Guo W H. Establishment of prediction model for tensile mechanics of plastic film and prediction of film thickness [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(1): 173-178(in Chinese)
- [19] 武灵燕, 赵淑梅, 王平智, 尹宝全, 马云飞, 赵竹青. 温室条件下不同新型地膜回收性能研究[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(9): 173-184
Wu L Y, Zhao S M, Wang P Z, Yin B Q, Ma Y F, Zhao Z Q. Recovery performance of new plastic mulch films with different thickness [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 173-184 (in Chinese)
- [20] 张富林, 蔡金洲, 范先鹏, 高亮, 高立. 地膜南瓜适宜覆膜厚度初步研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(23): 5755-5757
Zhang F L, Cai J Z, Fan X P, Gao L, Gao L. Preliminary studies on suitable thickness of film for pumpkin [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(23): 5755-5757(in Chinese)
- [21] 高宇, 王金莲, 赵沛义, 贾有余, 任永峰, 刁生鹏, 李焕春, 聂晶, 狄彩霞. 地膜厚度对马铃薯生长及农田水热条件和残膜污染的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(5): 439-446
Gao Y, Wang J L, Zhao P Y, Jia Y Y, Ren Y F, Diao S P, Li H C, Nie J, Di C X. Effect of film mulch thickness on potato growth, water heat condition and residual film pollution [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(5): 439-446(in Chinese)
- [22] 李鹏辉, 杜梦旗, 卢锐, 罗新宁. 不同强度地膜对棉花生长及产量影响[J]. 农业与技术, 2022, 42(3): 64-67
Li P H, Du M Q, Lu R, Luo X N. Effect of plastic film with different intensities on cotton growth and yield [J]. *Agriculture and Technology*, 2022, 42(3): 64-67(in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 田馨, 中国农业大学硕士研究生在读。主要从事不同类型地膜机械回收性能、光质对植物光合能力影响等研究。参与省级科技项目, 黄瓜叶片的发育与光合性能对光质的响应及耦合关系机制科研课题。



通讯作者简介: 郑亮, 博士, 中国农业大学水利与土木工程学院副教授, 硕士生导师。主要从事设施环境调控技术及装备、园艺作物环境生理等研究。主持国家自然科学基金、山东省自然科学基金项目, 参与国家现代农业产业技术体系项目、国家重点研发计划等项目。在 *Physiologia Plantarum*、*Photosynthesis Research*、*Scientia Horticulturae*、《农业工程学报》等期刊以第一或通讯作者发表论文15篇。