

高宇, 王金莲, 赵沛义, 等. 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 Yu, WANG Jin-lian, ZHAO Pei-yi, et al. 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.

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

高宇^{1,2,3,4}, 王金莲⁵, 赵沛义^{1,2,3,4*}, 贾有余^{1,2,3,4}, 任永峰^{1,2,3,4}, 刁生鹏^{1,2,3,4},
李焕春^{1,2,3,4}, 聂晶¹, 狄彩霞¹

(1. 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; 2. 内蒙古旱作农业重点实验室, 呼和浩特 010031; 3. 农业部内蒙古耕地保育科学观测实验站, 呼和浩特 011705; 4. 农业部武川农业环境科学观测实验站, 呼和浩特 011705; 5. 乌兰察布市集宁区农牧业局, 内蒙古 乌兰察布 012000)

摘要: 为寻求阴山北麓农牧交错带马铃薯种植适宜的农用地膜厚度, 揭示地膜厚度对马铃薯生长发育、土壤水热状况及地膜残留的影响规律, 并评价其经济效益, 选择当地主栽作物马铃薯为研究对象, 在膜下滴灌栽培方式下通过设置4种地膜厚度(0.006、0.008、0.011 mm和0.012 mm)的田间试验, 研究地膜厚度对马铃薯生长发育及地膜残留的影响。结果表明, 增加地膜厚度对株高有促进作用, 出苗率在0.008 mm处理最高。生育期土壤水热状况: 增厚地膜可提升4周内0~20 cm土壤贮水量, 随后作用相反, 播后4周是土壤贮水量响应的拐点, 并且在5周内可促进地表以下5 cm处的土壤积温。0.008 mm处理的产量、商品薯率 and 经济效益均最高。土壤残膜量随地膜厚度增加而增大, 但回收难度随之降低, 且加深翻耕深度加重了20~30 cm土层的残膜污染, 需要通过加强残膜回收机具的研发利用来削减残膜系数, 降低农田白色污染, 提高土壤环境承载力。推荐阴山北麓农牧交错带马铃薯种植采用0.008 mm地膜配套适宜残膜回收机具以获得优良的经济效益与生态效益。

关键词: 地膜厚度; 马铃薯; 生长发育; 残膜污染

中图分类号: X712; S316

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2018)05-0439-08

doi: 10.13254/j.jare.2017.0311

Effect of film mulch thickness on potato growth, water heat condition and residual film pollution

GAO Yu^{1,2,3,4}, WANG Jin-lian⁵, ZHAO Pei-yi^{1,2,3,4*}, JIA You-yu^{1,2,3,4}, REN Yong-feng^{1,2,3,4}, DIAO Sheng-peng^{1,2,3,4}, LI Huan-chun^{1,2,3,4}, NIE Jing¹, DI Cai-xia¹

(1. Institute of Resources and Environment and Testing Technology Sciences, IMAAAHS, Hohhot 010031, China; 2. Inner Mongolia Key Laboratory of Dryland Farming, Hohhot 010031, China; 3. Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Inner Mongolia), MOA, Hohhot 011705, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Wuchuan County (Inner Mongolia), MOA, Hohhot 011705, China; 5. Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Jining District, Ulanqab City (Inner Mongolia), Ulanqab 012000, China)

Abstract: The purpose of this study was confirmed the suitable agricultural film mulch thickness and response laws of crops growth and development, soil water content and temperature, and film mulch residue by film mulch thickness at north Yin Mountain in agro-pastoral ecotone. The field experiments were conducted in four film mulch thickness (0.006, 0.008, 0.011 mm and 0.012 mm) set for mulched-potato planting by drip irrigation. The results showed that the film mulch thickness could promote the plant height and the seedling emergence rate was shown highest at 0.008 mm. During the potato growth period, the soil water content and temperature had been shown

收稿日期: 2017-12-07 录用日期: 2018-03-08

基金项目: 内蒙古农牧业科技创新基金项目(CXJJ2017N12); 国家“十二五”科技支撑项目(2015BAD22B01); 内蒙古科技计划项目(20170218)

作者简介: 高宇(1990—), 男, 辽宁凌源人, 硕士研究生, 主要从事旱地作物丰产高效栽培理论与技术研究。E-mail: 906311055@qq.com

*通信作者: 赵沛义 E-mail: zhpy1972@163.com

that the thickened film mulch could increase the soil water storage capacity in 0~20 cm soil layer in first 4 weeks but it would decrease the soil water storage capacity after forth week. The forth week was the response turning point of soil water storage capacity. In addition, it also could promote the accumulated temperature on soil surface between 0~5 cm in first 5 weeks. The 0.008 mm film mulch usage could achieve the highest potato yields, marketable tuber rate and economic benefits. The plastic film residual quantity and 20~30 cm soil layer pollution degree after deep plowing were aggravated with the thickness of film mulch increasing. However, the higher plastic film residual quantity could be collected more easily by plastic film residue recovery machine. The coefficient of plastic film residue could decrease through the recovery machine development and utilization. From the results of field experiment, the 0.008 mm film mulch was recommended with suitable plastic film residue recovery machine for potato planting at north of Yin Mountain in agro-pastoral ecotone.

Keywords: thickness of film mulch; potato; growth and development; pollution of plastic film residue

我国农作物覆膜栽培技术于20世纪70年代由日本引入,多年的理论与实践证实了地膜覆盖具有增温保墒、增产保肥、降低地表蒸发、提高水肥利用率、增加土壤微生物活性等提升农业系统生产力的作用^[1-5]。但随着地膜覆盖面积的扩大,覆盖地膜造成的污染日趋严重,残膜在自然条件下极难分解,可残存于土壤中200~400年^[6]。残留的地膜既破坏土壤结构又影响农作物正常生长发育,一定年份内增产的前提下,需要承担农业生态环境恶化与未来多年连续减产的双风险^[7]。2015年我国各类农作物覆膜种植2333万 hm^2 ,使用量为136.2万t,以甘肃为典型区域的残膜污染调查探明其残留量达78.45~220.05 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[8]。地膜残留的主要原因之一是地膜生产企业准入门槛低,其市场运行以利益导向为主,对国家强制性标准的执行力缺失,因此对污染回收等后续工作带来诸多不便^[9]。

李仙岳等^[10]、王志超等^[11-12]研究了不同土壤残膜量对滴灌湿润峰与湿润土体的影响,得出残留地膜阻碍水分常态迁移,削弱水分入渗性能的结论;但也有学者在2001年对内蒙古地区农田残膜开展调研的成果中指出,按当时的农用地膜发展情况,一定年限内残膜不会对作物生长形成明显威胁^[13]。综合来说,地膜污染问题已经成为环保方面优先考量的重大问题,覆膜效应也是国内外学者的研究热点^[14-21],且在内蒙古阴山北麓农牧交错带这一典型地域,关于地膜厚度对马铃薯生长发育及土壤残膜污染的研究尚待完善,亟需做进一步的试验研究与分析论证,故本研究分析了马铃薯生长发育、土壤贮水量、土壤温度、经济效益、土壤残膜等监测指标,旨在为降低农田土壤残膜污染、提高土壤环境承载力提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2011—2013年在位于阴山北麓农牧交错

带的内蒙古农牧业科学院武川旱农中心开展。该区域属中温带半干旱大陆性季风气候,海拔1576 m,年降水量200~400 mm,年蒸发量高达1850 mm。年平均气温2.7℃,无霜期110 d左右。年均风速4~6 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,全年>8级大风日数20~80 d,沙尘暴日数10~15 d。地形以缓坡丘陵为主,土壤以栗钙土、灰褐土、石质土为主,沙性较重。

1.2 试验设计

试验根据地膜厚度设4个处理:0.006、0.008、0.011 mm和0.012 mm,地膜宽度均为75 cm,供试作物为马铃薯(克新1号),采用膜下滴灌种植,机械化播种覆膜,平均株距为30 cm,膜上行距为30 cm,膜间行距为70 cm(图1),小区面积600 m^2 (宽5 m、长120 m),3次重复,随机排列。试验所用地膜均为新疆蓝山屯河化工股份有限公司生产的0.006、0.008、0.011、0.012 mm厚度聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜,地膜组成原材料主要为聚乙烯,地膜物理机械性能:断裂伸长率 $\geq 100\%$,拉伸负荷 ≥ 1.0 ,直角撕裂负荷 ≥ 1.0 。2011、2012、2013年试验分别于4月25日、4月28日、4月27日播种,并于9月24日、9月27日、9月25日收获。从试验田出苗数量达到50%以上开始进入苗期,待出全苗后7 d进入块茎形成期;出现花蕾植株数量达到50%后进入现蕾期;开花植株数量达到50%后进入盛花期,到花朵枯萎90%以上结束。

1.3 样品采集与分析方法

残膜的采集:试验期间采样4次,分别为2011年

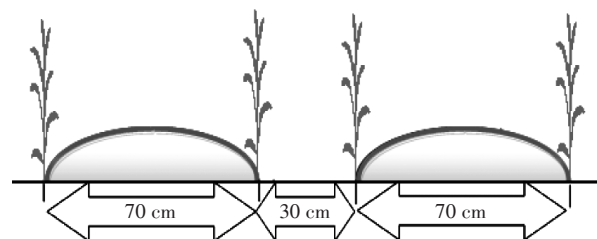


图1 马铃薯覆膜种植示意图

Figure 1 Diagram of potato mulch planting

春季播种之前(地膜基础残留量),2011、2012、2013年秋季收获之前(此时地膜未受扰动)。采样方法为在每个处理内随机选取6个样方(200 cm×100 cm),将样方中0~20、20~30 cm两个土层的土壤用铁锹挖出过筛,同时捡拾收集残留地膜。

残膜量的测定:将收集的残膜带回实验室,去除附着在残膜上的杂物,然后用超声波清洗仪进行洗涤,洗净后用吸水纸吸干残膜上的水分,小心铺展放在阴凉干燥处,自然风干后用万分之一的电子天平称量,记录残膜量。

残留系数=(试验后残膜量-试验前残膜量)/铺设量×100%

作物生长与土壤水热指标:覆膜作物生长期间,观测出苗率、作物生育进程;在马铃薯块茎形成期、现蕾期和盛花期测定株高;覆膜后两个月内,利用日本生产的HIOK3912自动温度探头对不同处理5 cm土壤温度进行监测,间隔1 h记录1次,文中所用温度数据均为作图所需数据时间范围内所有监测数据平均值;覆膜后2个月内,每周利用土钻法分0~10、10~20 cm两个土层测定土壤贮水量;秋季进行测产。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2007进行数据处理与图表制作,采用SPSS 16.0进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 地膜厚度对马铃薯生长发育影响

3年测定结果(表1)表明,不同厚度的地膜对马铃薯出苗率影响不同,其中,0.008 mm地膜覆盖下的马铃薯出苗率最高,为90.0%~98.77%,平均95.17%,显著高于其他处理。其次是0.011 mm和0.012 mm处理,出苗率平均分别为87.89%和85.61%,0.006 mm处理出苗率最低。这可能是由于0.006 mm地膜破裂处较多,保温保墒性能大幅降低,而0.011 mm和

0.012 mm厚度地膜完整性和保墒性虽然较好,但出苗孔附近地膜厚度过大阻碍了作物幼苗破土与前期生长,导致保苗率降低。因此地膜太厚或太薄均不利于马铃薯出苗保苗。

从马铃薯关键生育期株高3年平均值(表1)看,与0.006 mm厚度地膜相比,0.008、0.011 mm和0.012 mm厚度地膜的株高在块茎形成期分别增加0.66、0.96 cm和0.9 cm,增幅为4.69%~6.82%;在现蕾期分别增加了0.86、0.73 cm和1.66 cm,增幅为2.04%~4.65%;在盛花期分别增加了0.37、1.7 cm和2.27 cm,增幅为0.68%~4.22%。各时期平均仅增加1.08 cm,可见增加地膜厚度对马铃薯的株高影响较小,但处理间差异显著。

2.2 地膜厚度对土壤温度的影响

地温自动监测结果(图2)表明,不同厚度地膜对土壤增温效果不同,且处理间差异随生育期的推进而变化。播种后1~5周,5 cm地温随地膜厚度增加而增加,与0.006 mm处理相比,0.008、0.011 mm和0.012 mm处理的年均地温在前5周分别增加0.46、0.93 ℃和1.24 ℃,增幅为2.48%~6.75%;播种后第6周开始,0.008 mm地膜地温逐渐超过其他处理,成为最高,其次是0.006、0.012 mm地膜,0.011 mm地膜的地温最低。

2.3 地膜厚度对耕层土壤贮水量的影响

在播种后1~4周,0~20 cm土壤贮水量随着地膜厚度的增加而增加。从3年的平均值(图3)看,与0.006 mm地膜相比,0.008 mm地膜的贮水量增加1.64~3.32 mm,0.011 mm地膜的贮水量增加2.61~9.62 mm,0.012 mm地膜的贮水量增加3.68~16.67 mm。播种4周以后,地膜厚度对土壤贮水量的影响总体上表现为地膜厚度增加,土壤贮水量降低。同一年度内,土壤贮水量与降水量在一定程度上呈正相关。

2.4 地膜厚度对马铃薯产量和收益的影响

3年测产结果(表2)表明,地膜厚度对马铃薯产

表1 地膜厚度对马铃薯株高与出苗率的影响
Table 1 The influence of film mulch thickness on plant height and potato seedling emergence

地膜厚度	出苗率/%			3年平均株高/cm		
	2011年	2012年	2013年	块茎形成期	现蕾期	盛花期
0.006 mm	70.79±0.70dD	89.48±0.89cC	84.67±0.83bB	14.07±0.15cC	35.67±0.35cC	53.73±0.54cC
0.008 mm	98.77±0.97aA	96.73±0.96aA	90.00±0.90aA	14.73±0.13bB	36.53±0.37bB	54.10±0.53cC
0.011 mm	80.66±0.80bB	93.69±0.91bB	89.33±0.89aA	15.03±0.14aA	36.40±0.36bB	55.43±0.55bB
0.012 mm	77.37±0.77cC	93.47±0.93bB	86.00±0.8 bB	14.97±0.14aA	37.33±0.37aA	56.00±0.55aA

注:同列不同小写字母代表0.05水平差异显著,不同大写字母代表0.01水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters represent significant differences at 0.05 level, and different capital letters represent significant differences at 0.01 level. The same below.

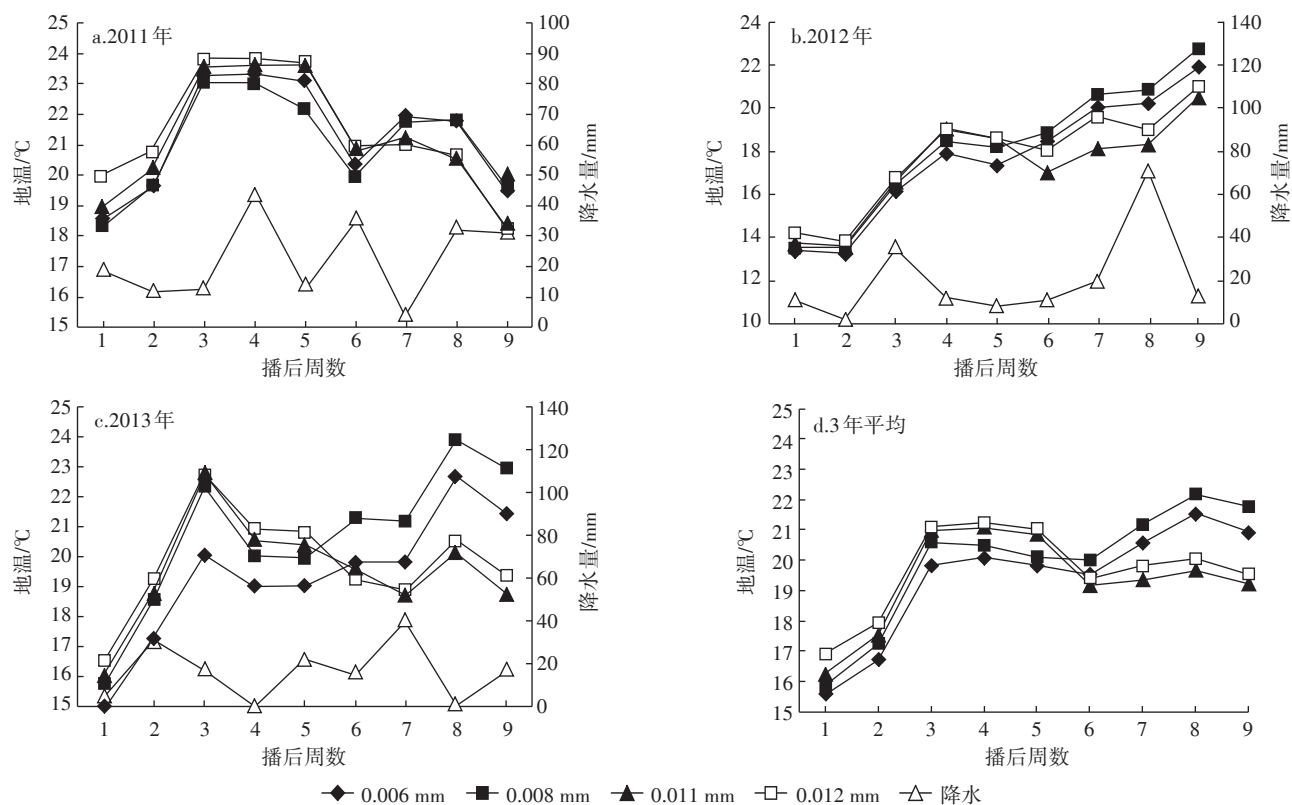


图2 不同厚度地膜处理5 cm土壤温度变化

Figure 2 Soil temperature at 5 cm soil layers under different thickness of film mulch

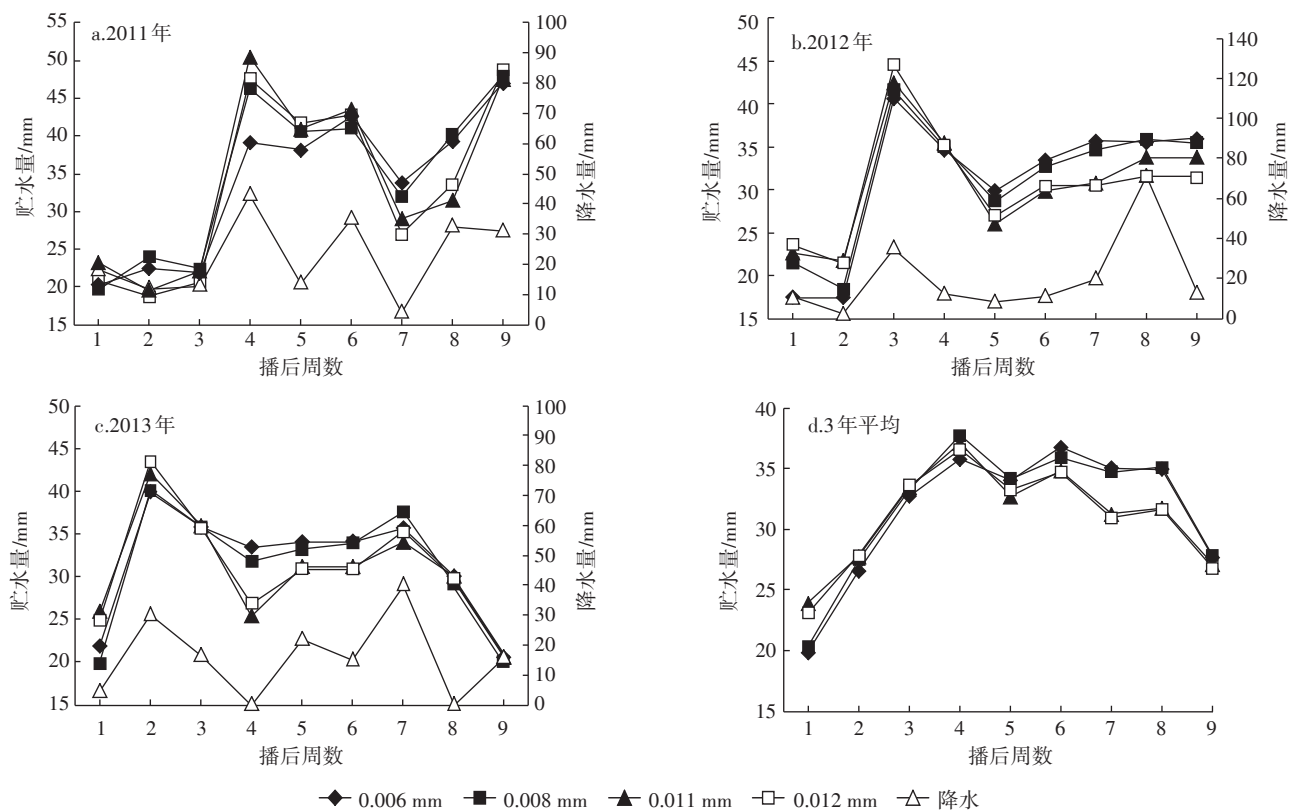


图3 不同厚度地膜处理0~20 cm土壤贮水量变化

Figure 3 The soil water storage within 0~20 cm soil layers under different thickness of film mulch

表2 不同厚度地膜处理马铃薯产量差异
Table 2 Difference in potato yield under different thickness
of film mulch

年度	地膜厚度	商品薯率/%	平均产量/kg·hm ⁻²	方差分析
2011	0.006 mm	—	40 168.65±34.69AB	F=10.58, F _{0.01} =9.78
	0.008 mm	—	43 752.20±220.49A	
	0.011 mm	—	38 751.95±83.33AB	
	0.012 mm	—	36 335.15±110.97B	
2012	0.006 mm	89.78	19 276.30±29.90b	F=6.39, F _{0.05} =4.76
	0.008 mm	89.87	21 894.30±31.43a	
	0.011 mm	89.03	21 727.55±19.06a	
	0.012 mm	88.87	21 577.45±102.19a	
2013	0.006 mm	83.94	29 281.30±53.91B	F=14.07, F _{0.01} =9.78
	0.008 mm	85.64	36 101.38±198.43A	
	0.011 mm	72.73	32 282.80±40.20AB	
	0.012 mm	79.21	35 451.05±51.80B	

量影响较大,0.008 mm地膜的产量和商品薯率最高,与其他处理的差异在不同年份间有所不同。0.008 mm处理3年的产量分别为43 752.20、21 894.30 kg·hm⁻²和36 101.38 kg·hm⁻²,较当年最低产量处理增加20.41%、13.58%和23.29%,且与产量最低处理均呈现显著差异;不同年份商品薯率也均以0.008 mm处理为最高,可见0.008 mm厚度地膜对马铃薯增产效果明显且有利于提高马铃薯商品率。

表3 不同厚度地膜处理马铃薯收益对比
Table 3 Contrast of income under different thicknesses of film mulch

年度	地膜厚度/mm	产量/kg·hm ⁻²	产出/元·hm ⁻²	投入/元·hm ⁻²					纯收益/元·hm ⁻²
				地膜	管理	滴灌带	其他	合计	
2011	0.006	40 177.5	32 142.0	461.2	4500	2400	8550	15911.2	16230.8
	0.008	43 752.0	35 002.5	676.9	4500	2400	8550	16126.9	18875.6
	0.011	38 752.5	31 002.0	821.2	4500	2400	8550	16271.2	14730.8
	0.012	36 327.0	29 061.0	896.2	4500	2400	8550	16346.2	12714.8
2012	0.006	19 276.5	19 276.5	516.0	4500	2400	8550	15966.0	3310.5
	0.008	21 894.0	21 894.0	583.3	4500	2400	8550	16033.3	5860.7
	0.011	21 727.5	21 727.5	651.1	4500	2400	8550	16101.1	5626.4
	0.012	21 577.5	21 577.5	830.7	4500	2400	8550	16280.7	5296.8
2013	0.006	29 578.5	41 409.0	488.1	5250	3000	8550	17288.1	24120.9
	0.008	33 916.5	47 482.5	554.4	5250	3000	8550	17354.4	30128.1
	0.011	30 921.0	43 288.5	655.9	5250	3000	8550	17455.9	25832.6
	0.012	31 119.0	43 566.0	675.9	5250	3000	8550	17475.9	26090.1

注:2011、2012、2013年马铃薯种子价格均为3元·kg⁻¹,商品薯价格分别为0.8、1.0、1.4元·kg⁻¹,地膜价格均为12.5元·kg⁻¹。其他投入包括投入的种子6750元·hm⁻²、化肥1500元·hm⁻²、水电300元·hm⁻²。

Note: The price of potato seeds in 2011, 2012 and 2013 is 3 yuan·kg⁻¹, while the price of potato is 0.8, 1.0 and 1.4 yuan·kg⁻¹, and the price of the film is calculated at 12.5 yuan·kg⁻¹. Other inputs include 6750 yuan·hm⁻² for seeds, 1500 yuan·hm⁻² for fertilizers and 300 yuan·hm⁻² for hydropower.

同一年内马铃薯的产出只受产量影响(表3),不同地膜相比,0.008 mm地膜产出最高,2011—2013年分别为35 002.5、21 894.0和47 482.5元·hm⁻²,马铃薯产出的年际间波动较大,主要受产量和价格双重影响,2013年的产量和价格较高,产出最高,2012年的价格较高,但产量很低,所以产出最低。种植马铃薯的纯收益主要受产出和投入共同影响,同一年内不同地膜的纯收益因产量和地膜投入差异而不同,由于地膜投入差异很小,所以地膜的纯收益与产出的规律一致,均以0.008 mm地膜为最高,2011—2013年的纯收益分别为18 875.6、5 860.7、30 128.1元·hm⁻²。年际间的纯收益差异除了受马铃薯产量和价格影响外,还与投入生产资料价格和人工费用有关,虽然2013年的投入增加,但由于产量和价格较高,该年份的纯收益仍为最高(24 120.9~30 128.1元·hm⁻²),2012年的收益最低(3 310.5~5 860.7元·hm⁻²)。

2.5 地膜厚度对地膜残留量的影响

从3年监测结果(表4)看,地膜越厚铺设量越大,3年平均铺设量分别为38 851.5、48 136.5、56 452.5、64 852.5 g·hm⁻²;0~30 cm土层平均残留量分别为11 943、22 972.5、31 681.5、35 746.5 g·hm⁻²,土壤地膜残留量随地膜厚度的增加而增加,土壤残膜多数在0~20 cm土层集中,且残留比例呈现先增加后降低趋势,0~20 cm残留比例分别为67.3%、83.0%、81.0%和

表4 不同厚度地膜处理地膜残留情况对比

Table 4 Different residues of mulch in soil under different thickness of film mulch

监测时间	地膜厚度/mm	残留量/ $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$			0~20 cm 残留比例/%	铺设量/ $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$	0~30 cm 残留系数/%
		0~20 cm	20~30 cm	0~30 cm			
2011 春	—	2415	43.5	2 458.5	98.2	—	—
2011 秋	0.006	5406	778.5	6 184.5	87.4	36 901.5	10.1
	0.008	15 714	159	15 871.5	99.0	54 153.0	24.8
	0.011	21 177	2049	23 226	91.2	65 703.0	31.6
	0.012	24 111	1677	25 789.5	92.5	71 703.0	32.5
2012 秋	0.006	7074	5 893.5	12 967.5	54.6	41 302.5	13.5
	0.008	18 390	5 848.5	24 237	75.9	46 653.0	17.9
	0.011	26 164.5	7830	33 996	77.0	52 102.5	20.7
	0.012	29 125.5	9 625.5	38 751	75.2	66 453.0	19.5
2013 秋	0.006	10 002	6675	16 677	60.0	38 352.0	12.9
	0.008	21 370.5	7437	28 807.5	74.2	43 602.0	10.5
	0.011	28 338	9 487.5	37 824	74.9	51 552.0	7.4
	0.012	30 994.5	11 706	42 699	72.6	56 403.0	7.0
平均	0.006	7494	4449	11 943	67.3	38 851.5	12.1
	0.008	18 492	4482	22 972.5	83.0	48 136.5	17.7
	0.011	25 227	6456	31 681.5	81.0	56 452.5	19.9
	0.012	28 077	7 669.5	35 746.5	80.1	64 852.5	19.7

80.1%。

马铃薯收获时随收获机链条转动,马铃薯块茎和大部分地膜被输送到地表(图4),此过程中所有肉眼可见的残膜均通过人工捡拾被运出农田,可以极大降低土壤中地膜残留。从0~30 cm土层地膜残留系数计算结果(表4)看,在2011年末进行机械收获时,地膜越厚残留系数越大,0.006~0.012 mm的4种地膜残留系数分别为10.1%、24.8%、31.6%和32.5%。2012年后由于利用马铃薯收获机机械化收获,增厚地膜残留系数大幅度下降,但2012年和2013年反映出的地

膜残留系数变化趋势并不相同,2012年地膜残留系数随地膜厚度增加表现为先增加后降低,地膜残留系数分别为13.5%、17.9%、20.7%和19.5%,而2013年地膜残留系数随地膜厚度增加而下降,地膜残留系数分别为12.9%、10.5%、7.4%和7.0%。总的看来,地膜越厚越容易被机械收获输送到地表,降低人为捡拾的难度,减轻地膜残留污染。

3 讨论

马铃薯株高随地膜厚度增加而增高,出苗率随地膜厚度增加先增加后减小,厚度为0.008 mm地膜处理马铃薯出苗率最好,为90.0%~98.77%,平均95.17%,显著高于其他处理;与0.006 mm厚度地膜相比,0.008、0.011 mm和0.012 mm厚度地膜的株高平均值增加0.6、1.1 cm和1.6 cm,增幅为0.68%~6.82%,可见增加地膜厚度有利于促进马铃薯的生长发育,虽增加幅度较小,但处理间差异显著。

不同厚度地膜对土壤增温效果不同,且处理间的差异随着生育期的推进而变化。播种后1~5周,3年平均5 cm地温随着地膜厚度增加而增加,播种5周前,地膜越厚地温越高;播种后第6周开始,0.008 mm地膜地温迅速升高,超过了其他处理,其次是0.006、0.012 mm地膜,0.011 mm地膜的地温最低,距地表5 cm深度土壤温度受降雨影响较大,地膜较厚处理地



图4 随马铃薯收获输送到地表的地膜

Figure 4 The mulch by transporting to the surface with potato harvest

温不及地膜较薄处理高,这与唐文雪等^[22]的研究结果相似,主要因为播种后5周内降雨量较小,随着气温的升高,地膜的增温作用显著,起主导作用,且随着地膜厚度增加,其保温作用增强,故表现为0.012 mm厚度下土壤温度最高;播种5周后,马铃薯冠层面积尚小,地膜覆盖对土壤温度起主导作用,随着地膜厚度的增加,地膜对太阳辐射的阻隔作用加大,土壤增温效应减弱。对马铃薯而言,其土壤温度在覆膜前期表现为随着地膜厚度增加而增加,覆膜后期,地膜较厚的处理增温效果较差,与张丹等^[23]研究结果一致。

不同厚度地膜0~20 cm贮水量变化趋势基本相同,而且与降(灌)水趋势一致,同一周内贮水量随降(灌)水增减而增减;4种地膜厚度相比,在播种后4周前,0~20 cm土壤贮水量表现为地膜越厚,贮水量越大;播种后4周基本是不同厚度地膜贮水量变化的拐点,从播种5周后,地膜厚度增加,贮水量降低。在播种后1~4周,0~20 cm土壤贮水量随着地膜厚度的增加而增加。从3年的平均值看,与0.006 mm地膜相比,0.008 mm地膜的贮水量增加1.64~3.32 mm,0.011 mm地膜的贮水量增加2.61~9.62 mm,0.012 mm地膜的贮水量增加3.68~16.67 mm。播种4周以后,地膜厚度对土壤贮水量的影响总体上表现为地膜厚度增加,土壤贮水量降低。同一年度内,土壤贮水量与降水量在一定程度上呈正相关。

马铃薯产量与商品薯率随地膜厚度增加先升高后降低,且0.008 mm地膜产量最高;4种厚度地膜投入差异不大,但收益差异显著,均表现为0.008 mm处理收益最高,其他处理收益年度间趋势不同。0~30 cm土层中残留的地膜量随着地膜厚度的增加而增加;地膜越厚,单位面积铺设量越大,耕层残留量也越大;地膜残留系数随着地膜厚度的增加而增加。而周乐^[24]研究认为在不同厚度地膜覆盖玉米种植中,0.010 mm地膜厚度产量优于0.008 mm地膜。周明冬等^[25]研究表明0.010 mm和0.012 mm厚度地膜种植利润最佳,其结果差异主要由于作物生长差异及地区降雨差异所致,但在地膜回收难易程度上均表现为0.012 mm最佳。利用0.008 mm地膜能够获得较高的经济效益和生态效益,但在今后工作中应注意地膜回收机具的研发^[26-27]。

4 结论

从经济效益与生态效益双重考虑,本研究认为阴山北麓农牧交错带马铃薯种植采用0.008 mm以上

地膜比较适宜,建议在生产中配套应用适宜的残膜回收机具。

参考文献:

- [1] Hou X Y, Wang F X, Han J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of northwest China[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2010, 150(1):115-121.
- [2] 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(2):68-78.
- [3] 蔡昆争, 骆世明, 方 祥. 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(6):1903-1911.
CAI Kun-zheng, LUO Shi-ming, FANG Xiang. Effects of film mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 26(6):1903-1911.
- [4] 刘 洋, 栗岩峰, 李久生, 等. 东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(10):93-104.
LIU Yang, LI Yan-feng, LI Jiu-sheng, et al. Effects of mulched drip irrigation on water and heat conditions in field and maize yield in sub-humid region of northeast China[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2015, 46(10):93-104.
- [5] 戚迎龙. 西松辽平原玉米滴灌水氮耦合及地膜覆盖影响效应研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016:62-65.
QI Ying-long. Effects of water-nitrogen coupling and plastic film mulching on matic drip irrigation west Songliao Plain[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016:62-65.
- [6] 舒 帆. 我国农用地膜利用与回收及其财政支持政策研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2014.
SHU Fan. The utilization and recycling of agricultural land in China and its financial support policy research[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [7] 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.
- [8] 秦志伟. 地膜, 一把白色“双刃剑”[N/OL]. 科学网(新闻), 2016-08-24.
QIN Zhi-wei. Mulch, a white "double-edged sword"[N/OL]. Science Web(news), 2016-08-24.
- [9] 刘艳霞. 中国农村地膜残留污染现状及治理对策思考[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.
LIU Yan-xia. The present situation of residual pollution in China's rural land and its countermeasures[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014.
- [10] 李仙岳, 史海滨, 吕 焱, 等. 土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(8):84-90.
LI Xian-yue, SHI Hai-bin, LÜ Ye, et al. Effects of different residual plastic film quantities in soil on drip infiltration and its uncertainty analysis[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(8):84-90.

- [11] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农用地膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 101-106.
WANG Zhi-chao, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, et al. The influence of agricultural land film residue on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2015, 46(5): 101-106.
- [12] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 103-109.
WANG Zhi-chao, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, et al. Water characteristic curve model for soil with residual plastic film[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(14): 103-109.
- [13] 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 hazard of agricultural residues in Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2001(2): 36-37.
- [14] 王 俊, 李凤民, 宋秋华, 等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 205-210.
WANG Jun, LI Feng-min, SONG Qiu-hua, et al. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 205-210.
- [15] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075.
BU Yu-shan, MIAO Guo-yuan, ZHOU Nai-jian, et al. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [16] 陈锡时, 郭树凡, 汪景宽. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 435-439.
CHEN Xi-shi, GUO Shu-fan, WANG Jing-kuan, et al. Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 435-439.
- [17] 李凤民, 鄢 旬, 王 俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330-333.
LI Feng-min, YAN Xun, WANG Jun, et al. The mechanism of the decline of spring wheat yield was caused by mulch coverage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(3): 330-333.
- [18] 侯晓杰, 汪景宽, 李世朋. 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 655-661.
HOU Xiao-Jie, WANG Jing-Kuan, LI Shi-Peng. Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 655-661.
- [19] 薛少平, 朱 琳, 姚万生, 等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 71-73.
XUE Shao-ping, ZHU Lin, YAO Wan-sheng, et al. Influence of straw and plastic-film mulching on sustainable production of farmland[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(6): 71-73.
- [20] 李明思, 康绍忠, 杨海梅. 地膜覆盖对滴灌土壤湿润区及棉花耗水与生长的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 49-54.
LI Ming-si, KANG Shao-zhong, YANG Hai-mei. Effects of plastic film mulch on the soil wetting pattern, water consumption and growth of cotton under drip irrigation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(6): 49-54.
- [21] 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 mulch on crop yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(11): 172-175.
- [22] 唐文雪, 马忠明, 魏 焘, 等. 不同厚度地膜连续覆盖对玉米田土壤物理性状及地膜残留量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(5): 126-133.
TANG Wen-xue, MA Zhong-ming, WEI Tao, et al. Effects of continued mulching of plastic film with different thickness on soil physical properties and film residues in maize field[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18(5): 126-133.
- [23] 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.
- [24] 周 乐. 不同厚度地膜对土壤及玉米生产和地膜残留的影响[J]. 中国农技推广, 2017, 33(4): 54-56.
ZHOU Le. Effects of different thickness of mulch on soil and maize production and membrane residue[J]. *Chinese Agricultural Technology Promotion*, 2017, 33(4): 54-56.
- [25] 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]. 干旱区资源环境, 2016, 30(10): 121-125.
ZHOU Ming-dong, WANG Xiang-jin, DONG He-gan, 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.
- [26] 高德梅. 残膜回收机械化现状及存在的问题[J]. 新疆农机化, 2012, 3(3): 17-20.
GAO De-mei. The status quo and problems of mechanized residue recovery[J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2012, 3(3): 17-20.