

农用地膜污染防治战略研究

许咏梅¹, 房世杰², 马晓鹏¹, 朱倩倩¹

(1. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业科学院科研管理处, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 本文在分析我国农用地膜覆盖面积与使用量逐年加大、使用区域由西部向东部急速扩张特征的基础上, 探讨了残膜污染态势、残膜造成的土壤理化性质恶化程度以及生态环境恶化风险。从普通聚乙烯地膜降解难且产品质量标准不达标、地膜回收困难再利用效率低、可降解地膜工艺不成熟、尚无可替代产品以及地膜污染缺乏监管机制四个方面梳理了地膜污染的成因。在此基础上, 提出了加强地膜标准化生产控制, 严格执行地膜厚度 ≥ 0.01 mm的国家标准; 优化地膜田间科学合理使用, 开展作物适时揭膜技术推广; 改进提高残膜回收机效能, 努力实现地膜零残留; 加大可降解地膜研发力度, 推广可降解地膜田间应用的农用地膜防治战略, 为我国农用地膜合理利用提供参考。

关键词: 农用地膜; 污染态势; 防治战略措施

中图分类号: F304 **文献标识码:** A

Prevention and Control Strategy for the Pollution of Agricultural Plastic Film

Xu Yongmei¹, Fang Shijie², Ma Xiaopeng¹, Zhu Qianqian¹

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

2. Scientific Research Administrative Office, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: Coverage and use of agricultural plastic films in China has been increasing year by year, and its use area expands rapidly from west to east. Based on these characteristics, this paper discussed the pollution condition of residual plastic films, the deterioration of soil physicochemical properties caused by residual plastic films, and the risks of ecological environment deterioration. And then four causes of plastic film pollution were summarized. Common PE plastic films are difficult to degrade and are always substandard; the plastic films are difficult to recycle and have a low reuse efficiency; the technology of degradable plastic films is immature; and there is a lack of substitute products and supervision mechanism. On these bases, some control strategies for agricultural plastic film pollution were put forward to provide references for the rational utilization of agricultural plastic films in China. For example, standardized production of the plastic films should be promoted and the national standard of plastic film thickness ≥ 0.01 mm should be strictly enforced; the scientific and rational use of plastic films in the field should be emphasized and the timely film uncovering technology should be promoted; the efficiency of residual film recovery machines should be improved, striving to realize zero residual of plastic films; greater efforts should be devoted to the research and development of degradable plastic films and the field application of degradable plastic films should be popularized.

Keywords: agricultural plastic films; pollution condition; prevention and control measures

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2018-09-27

通讯作者: 许咏梅, 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 研究员, 主要研究方向为土壤质量提升技术; E-mail: xym1973@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国农业资源环境若干战略问题研究”(2016-ZD-10)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

近年来,我国农作物地膜覆盖面积迅速增长,2016年达到 $1.84 \times 10^7 \text{ hm}^2$,成为世界上地膜覆盖栽培面积最大的国家。但是,农用地膜在提高作物产量的同时,其残留在耕地土壤中的碎片已成为我国北方地区主要的面源污染问题之一。本文在分析农用地膜利用和污染态势及其成因的基础上,从地膜标准化生产控制、地膜田间科学合理使用、残膜高效回收以及推广可降解地膜等四个方面提出了我国农用地膜污染防治的战略措施,以期为提升耕地土壤环境质量提供科学参考。

二、我国农用地膜使用与污染态势分析

(一) 农用地膜利用现状

1. 地膜覆盖面积和使用量显著增加

我国地膜覆盖面积从1992年的 $5.934 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增长到2016年的 $1.84 \times 10^7 \text{ hm}^2$,递增了2.11倍,年均增长率为8.76%,平均每年增加 $5.195 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。地膜使用量从1992年的 $3.803 \times 10^5 \text{ t}$ 增长到2016年的 $1.47 \times 10^6 \text{ t}$,增加了2.87倍,年均增长率为11.94%,平均每年增加 $4.54 \times 10^4 \text{ t}$,已占世界地膜使用总量的50%以上(见图1)(数据来源于《中

国农村统计年鉴》1992—2016年)。

2. 地膜使用区域由西部向东部急速扩展

对各省覆膜面积的变化统计表明,1992年山东、四川、新疆、湖北是四个主要的覆膜大省(区),其中山东农田覆膜面积为 $7.26 \times 10^5 \text{ hm}^2$,四川为 $6.618 \times 10^5 \text{ hm}^2$,主要应用于蔬菜栽培;新疆覆膜种植 $6.167 \times 10^5 \text{ hm}^2$,湖北覆膜种植 $5.125 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其余各省农田覆膜面积均在 $3.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以下。川鲁地区的地膜覆盖栽培面积远超过西北地区(见图2)。至2016年,覆膜面积超过 $5 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的省(区)增加到12个,其中超过 $1 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 省(区)为8个,以山东、甘肃、内蒙古、河北、河南为代表的中原地区覆膜栽培大省已经形成;云南、四川成为西南地区覆膜栽培的主要种植区。超过 $1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的地膜大省(区)为新疆和山东,分别达到了 $3.405 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $2.092 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。地膜覆盖栽培技术从我国中部向西北、东北、南方地区扩展,已覆盖全国所有省(市、区)(见图2)。

(二) 农用地膜污染态势

当前我国地膜残留总量近 $2 \times 10^6 \text{ t}$,回收率不足2/3,耕地土壤平均残留量为 60 kg/hm^2 [1]。西北干旱绿洲区是我国农膜使用量最大的区域,耕地农膜残留污染也最为严重,如新疆地膜覆盖总面积已

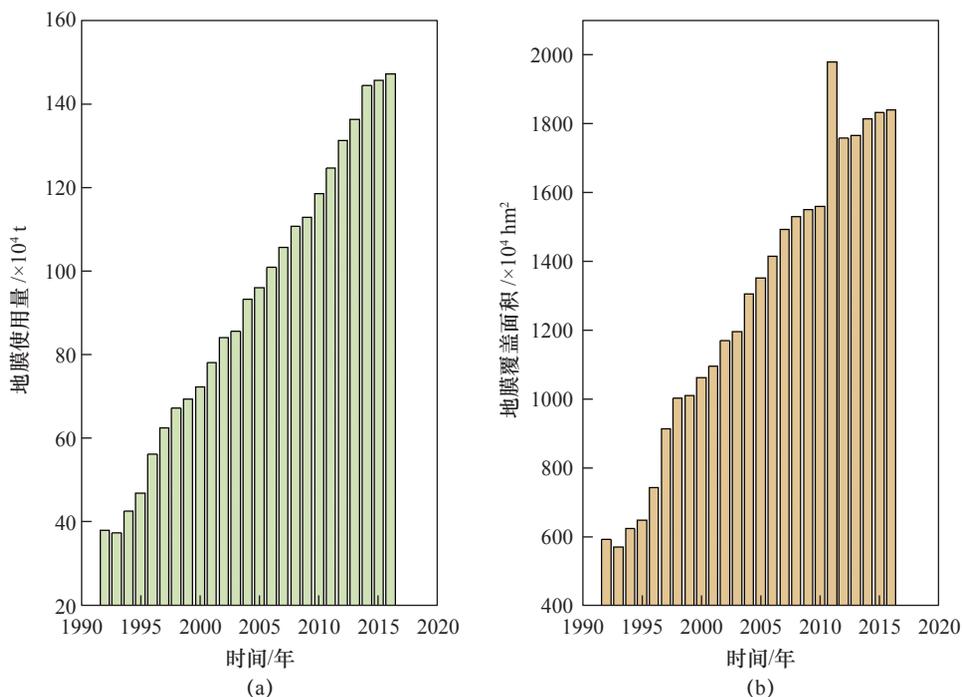


图1 1992—2016年全国农用地膜使用量和覆盖面积变化趋势

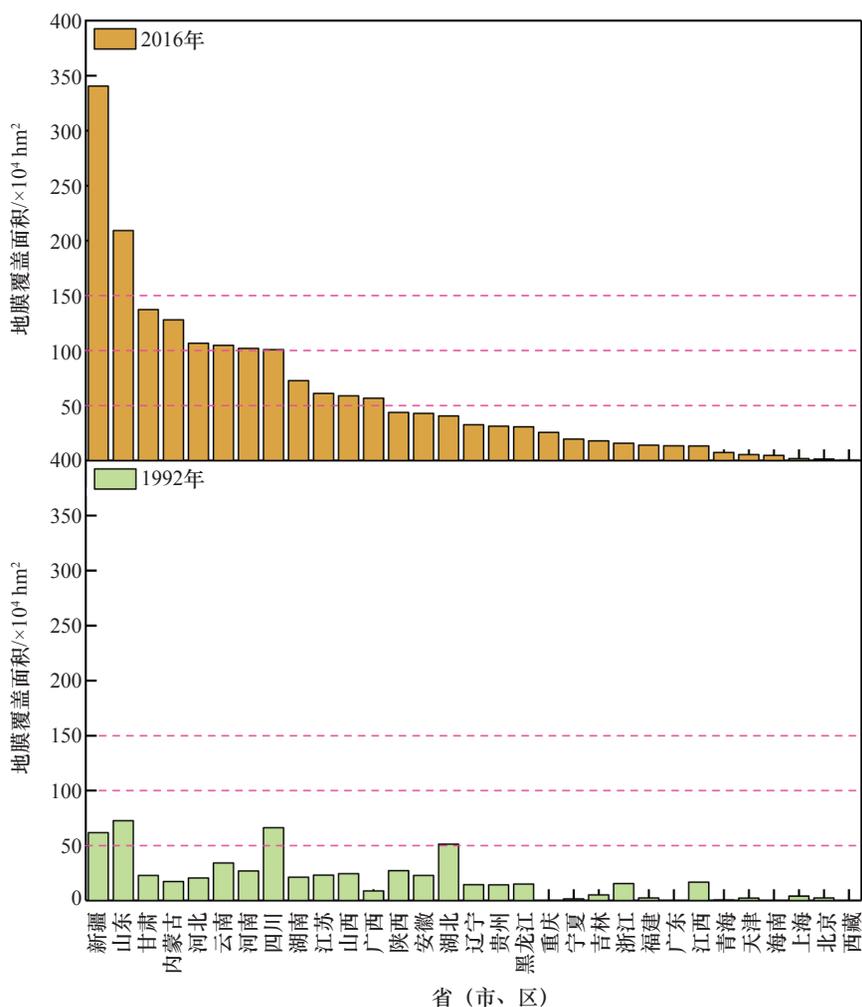


图2 各省(市、区)农田覆膜面积

近 $3.405 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 达到其耕地总面积的 50% 以上。对其 20 个县的数据调查显示, 农田地膜残留量平均为 255 kg/hm^2 , 是全国平均值的 5 倍, 其中地膜残留量大于 225 kg/hm^2 的农田占 80%, 农田残膜污染严重。

我国其他地区耕地残膜污染也较严重。调查发现 [2], 甘肃陇东地区平均地膜残留量为 139 kg/hm^2 , 陕西地区平均地膜残留量为 110 kg/hm^2 , 华北平原覆膜棉区平均地膜残留量为 80.5 kg/hm^2 , 湖北恩施烟田平均残留量为 71.9 kg/hm^2 , 北京、河北、山东等地蔬菜的地膜平均残留分别达到了 48 kg/hm^2 、 58 kg/hm^2 、 40.5 kg/hm^2 , 河南等地的花生种植区平均地膜残留已达到 66 kg/hm^2 , 残膜累积污染明显。

我国地膜回收率较低, 农用地膜污染呈不断加重和扩散趋势。以新疆石河子垦区调查数据为例, 连续覆膜 20 年和 10 年棉田中的地膜残留量分别为 326 kg/hm^2 和 278 kg/hm^2 , 其中连续 20 年覆膜种植

棉花-加工番茄土壤中残留量高达 358 kg/hm^2 。即使在南方地区, 如湖北省农膜覆盖玉米连续种植 5 年, 残留地膜也达到 140 kg/hm^2 。另外, 近 20 多年来我国大多数省(市、区)耕地地膜覆盖系数呈增加趋势, 增加量在 0.06%~20.03%, 其中, 上海、西藏和江西增加量较大, 均在 17% 以上; 吉林、湖北、四川、青海和浙江的增加量在 4%~10%。单位耕地面积上地膜覆盖程度不断加大, 表明地膜残留累积污染的风险越大。

(三) 农膜污染造成土壤理化性质恶化, 环境污染风险增加

1. 残膜碎片障碍耕层形成, 土壤理化性质下降, 作物减产

由于我国使用的农膜厚度 $< 0.008 \text{ mm}$, 超薄膜易破碎, 碎片面积 $1 \sim 25 \text{ cm}^2$ 的数量约为 $1 \times 10^7 \sim 2 \times 10^7$ 片/ hm^2 , 与 0~20 cm 耕层土壤混合在一起,

人为形成了残膜碎片障碍层。试验表明,当农田残膜量为 225 kg/hm^2 时,容重较无残膜土壤增加 18.2%,土壤孔隙度降低 13.8%[3],0~120 cm 土层的土壤体积含水率下降、土壤水分下渗速度缓慢、生育期内土壤贮水量减少 [4,5]。

残膜对棉田土壤养分也有不同程度的影响,连作 10 年、15 年和 20 年后,土壤速效磷下降 29.14%、22.09% 和 38.34%,土壤速效钾先增加但随后明显降低 [6],残留地膜不利于土壤中养分的矿化释放,导致当季供肥能力下降。另有研究表明,农膜回收率低的农田连续覆膜 3~5 年后,小麦产量下降 2%~3%,玉米产量下降 10% 左右,棉花产量下降 10%~23%,蔬菜产量下降 14.6%~59.2% [7,8],作物减产显著。

2. 地膜降解物致使环境污染风险增加

残留地膜在土壤中可释放出无机污染物和有机污染物,对土壤性质和农作物的生长造成影响。残留地膜中含有的增塑剂、抗氧化剂和阻燃剂是导致土壤有机物污染的主要原因,其中增塑剂多为酞酸酯类化合物,逐渐释放到环境中,对空气、水和土壤等造成污染,通过食物链进入人体危害健康,环境和健康风险加剧。

三、农用地膜残留污染成因

(一) 普通聚乙烯 (PE) 地膜材料降解难

农用地膜都是由高分子的聚乙烯化合物及其树脂制成的,这些物质具有分子质量大、性能稳定、耐化学侵蚀、能缓冲冷热等特性,很难在自然条件下进行光降解和热降解,也不易通过细菌和酶等生物方式降解,在一般情况下,残膜可在土壤中存留 200~400 年 [9],将导致严重的区域农业面源污染。

(二) 地膜质量标准不达标,回收困难,再利用效率低

按照 1992 年我国轻工业部颁布实施的《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜标准》(GB 13735—1992),规定聚乙烯地膜最小厚度为 0.008 mm,但地膜实际厚度主要集中在 0.004~0.008 mm,考虑市场及价格,地膜生产商更倾向于生产超薄型地膜(见表 1)。

地膜再利用效率低。以甘肃为例,2015 年,再生颗粒的市场销售价格是 7500 元/t,2017 年为 4200~4800 元/t,下降了约 50%,再生颗粒的生产成本为 4000 元/t,废旧农膜加工企业的市场利润率不足 2%。加工企业难以享受税收、电费等优势政策,也进一步限制了地膜回收。

(三) 可降解地膜工艺不成熟,尚无合适替代产品

由于不同作物对降解地膜的宽度、延展性以及裂解起始期、裂解速率、降解率产品特性等需求差异较大,导致可降解地膜材料与农艺生产的配套性差。例如:降解地膜材料本身延展性与播种机械不能配套,地膜黏连在打孔器上被拉伸,致使种子不能进入孔洞中而播在膜面上,造成约 30% 的播种失败。同一降解地膜在不同气候条件下,裂解的起始期不同,使地膜增温保墒的效应存在地区差异。在使用过程中存在的问题,也制约了降解地膜的大面积推广,短期内还不能全部替代普通 PE 地膜。

(四) 生产管理体系混乱,地膜污染控制缺乏严格的监管机制

据不完全统计,我国拥有大小规模不等的地膜生产企业约 800 家,年生产能力 3000 t 以下的小型企业约 600 家,由于产业政策、价格体系和供求关

表 1 不同厚度地膜铺设用量及投入成本(新疆棉花)

地膜厚度/mm	地膜使用量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	成本/($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)
0.006	45	585
0.007	57	741
0.008	65	845
0.009	70	910
0.010	78	1014
0.012	92	1196

注:地膜单价平均为 13 元/kg。

系等方面的原因,采用的农用树脂品牌多、乱、杂,货源不稳定,地膜产品质量不高,严重影响了地膜的使用和回收。国家对农田地膜污染治理也缺乏相应的法律法规来监督和约束,农民仅将地表残膜简单回收一下,有的则直接就翻到土壤中。地膜回收点设置不足,农民捡拾的残膜也不能得到有效回收,基本都是焚烧或在田间地头堆置,往往造成地膜的二次污染。

四、农用地膜污染防治的战略措施

(一) 推进地膜标准化生产,从源头遏制不合格地膜进入农田

在推进地膜生产标准化过程中,各地应积极制定符合本区域实际情况的地方标准。例如,2014年新疆颁布了《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》地方强制标准(DB65T/3189—2014),标准中明确了农田地膜的最小公称厚度为0.01 mm,并且耐候期必须大于180 d,也就是保证新标准地膜在一个生产周期内不能破碎为碎片,生产结束后便于回收再利用。2016年新疆又颁布了《新疆维吾尔自治区农田地膜管理条例》,从标准到立法层面对农田地膜科学使用给予了规定。新标准还增加了0.012 mm、0.014 mm、0.20 mm三个公称厚度。同时增加了推荐使用天数:厚度0.010 mm、0.012 mm为180天;厚度0.014 mm、0.020 mm为360天,实现从源头控制残膜污染。

(二) 优化地膜覆盖方式,推广适时揭膜等技术

优化地膜覆盖方式,推进地膜科学使用,是减少农田残膜污染的重要环节。开展地膜在不同作物和不同栽培模式下的科学合理施用,一是减少无效的超宽地膜覆盖,降低地膜覆盖率,有效减少地膜使用量。如华南地区(广东、广西),在冬春季反季节瓜菜种植过程中,采用50 cm、100 cm和150 cm三种不同宽度的地膜覆盖栽培,100 cm宽度的地膜西瓜生长和产量均优于50 cm和150 cm,这主要是由于冬季低温旱季,需要增温保墒,春夏季多雨,肥料养分易于淋失,需要保肥。100 cm宽度的地膜在作物早期对土壤的增温保温、干旱保水能力优于50 cm宽度地膜,促进植株根系正常生长;而在作物生长中后期,恰是高温多雨阶段,与150 cm

宽度地膜相比,其土壤水肥调节、保肥、通气的协调保障作用强,从而保证了作物稳健生长。因此从促进作物高产和减少残膜污染的角度考虑,100 cm宽度的地膜是比较适宜的。选择适宜宽度的地膜,可有效降低单位面积地膜使用量,减少农田残膜积累。二是推广适时揭膜技术。在地膜发生破碎老化前,及时将地膜清除出农田。河北、新疆等地区开展的棉花灌头水前揭膜技术,由于地膜尚未老化,韧性好,不易破碎,回收率可达90%以上。在山西地区玉米覆膜栽培中,揭膜适宜时间为拔节期揭膜,即玉米出苗后45天左右,能大幅度提高地膜的回收率;而在海拔1000 m以上的玉米种植地区,适宜的揭膜时期延迟到大喇叭口期,能够在保证85%回收率的同时促进作物增产。

(三) 加强残膜回收机械研发与推广,提高地膜机械化回收力度

残膜回收机的研发应与种植模式相适应。目前研发的重点是秸秆粉碎或拔出与残膜回收联合作业机,代表机型包括新疆农垦科学院4SJ-1.6型和4SJ-2.0型,机具结构相对复杂,在机械高速运转条件下难以保障残膜的回收率,这也是联合作业机研发的重点和难点。甘肃和内蒙古地区残膜回收机研发的重点是小型机械,主要应用作物为玉米和马铃薯。如河北神耕机械有限公司研发的1MC-70型起茬残膜回收机,采用铲式结构,机械前部加装土铲,将根茬与地膜铲起,震动栅条和滚筒筛,使土与地膜分离,将地膜收集至后部框中。在甘肃、内蒙古和山西玉米种植中应用较为广泛。该种机械幅宽较小,工作效率也较低,适宜于条田面积较小的区域[10]。总体来看,残膜回收机械尚需加大研发力度。

(四) 加大降解地膜产品研发力度

研发完全降解地膜,其降解物质不会再造成二次污染。如含氧生物降解地膜,以最终降解产物为CO₂和水为最优。针对区域生态气候特点,作物生育期,在不同区域开展降解地膜的试验示范工作,准确地确定农用地膜裂解及降解规律,为新产品的研发提供依据。据笔者在新疆棉花、玉米、加工番茄三种作物上开展的降解地膜裂解试验表明,地膜裂解率达单位面积的20%时,将失去增温保

降解效应。通过地膜裂解动态监测和田间填埋试验结果显示, 三种地膜裂解面积达到 20% 所需天数存在显著差异, 普通 PE 地膜需要 1061 天, 0.01 mm 厚度降解膜需要 136 天, 而 0.012 mm 厚度降解地膜需要 111 天(见表 2)。因此地膜厚度较大的降解膜裂解时间早于较薄的地膜, 地膜生产中可选择 0.01 mm 厚度。

在关注地膜裂解的同时, 地膜的腐解也是其重要的性能指标。笔者也对上述地膜开展了为期 3 个月的地膜土壤填埋试验, 以明确降解地膜转化为无污染物所需时长(见图 3)。结果表明, 降解地膜腐解率为 2.89%~16.43%, 总体而言, 黑色降解膜腐

解率高于白色膜, 腐解速率随时间增加递减, 表明目前降解地膜的腐解率并非当年能够完全腐解, 存在滞后效应。

综合地膜裂解和腐解特性, 应研发起始裂解期晚, 保证地膜增温保墒, 同时在地膜翻入土壤后又能够快速腐解的产品, 以降低地膜残留。

(五) 构建农用地膜防治的法律法规体系

建议制定和健全残膜污染防控法律法规, 使残膜防治有法可依。制定残膜残留量超标整治措施, 统一并完善地膜生产、残留量标准, 规范产品质量, 将残膜污染防治工作纳入法制管理轨道。

表 2 不同类型地膜裂解变化

膜种类	达到不同裂解率所需时间 /d					
	20%	35%	50%	65%	80%	100%
普通 PE 膜	1061	1384	1642	1863	2062	2296
降解膜 0.01 mm	136	167	192	214	233	256
降解膜 0.012 mm	111	137	158	176	191	210

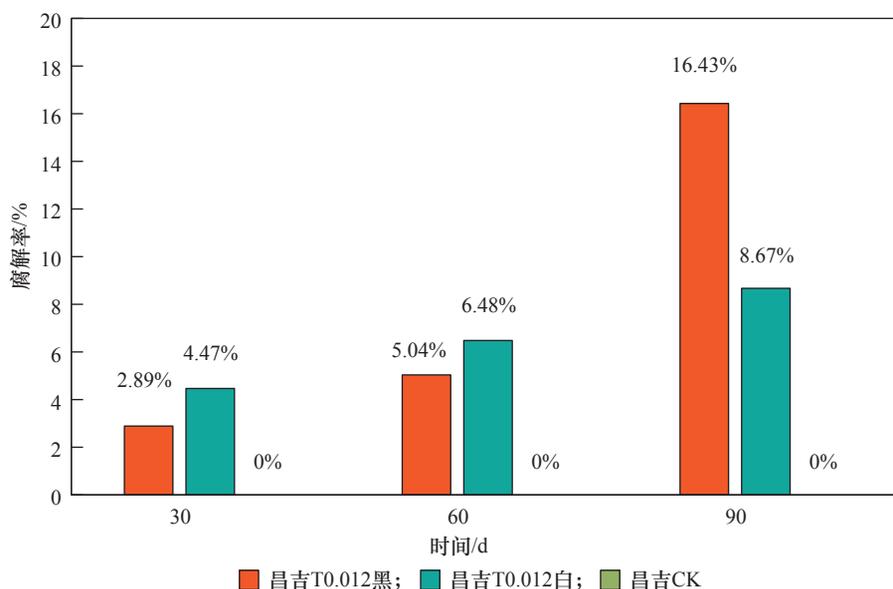


图 3 不同类型地膜腐解率

参考文献

- [1] 汪军, 杨杉, 陈刚才, 等. 我国设施农业农膜使用的环境问题刍议 [J]. 土壤, 2016, 48(5): 863-867.
Wang J, Yang S, Chen G C, et al. Environmental problems and countermeasures of mulch film application in intensive agriculture system in China [J]. Soils, 2016, 48(5): 863-867.
- [2] 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 (2): 95-102.

- Yan C R, Liu E K, Shu F, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014 (2): 95-102.
- [3] 董合干, 王栋, 王迎涛, 等. 新疆石河子地区棉田地膜残留的时空分布特征 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 182-186.
Dong H G, Wang D, Wang Y T, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of mulch residues in cotton field

- in Shihezi, Xinjiang [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(9): 182–186.
- [4] 李仙岳, 史海滨, 吕焯, 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 X Y, Shi H B, Lv Y, et al. Effects of different residual plastic film quantities in soil on drip infiltration and its uncertainty analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(8): 84–90.
- [5] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农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 Z C, Li X Y, Shi H B, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural*, 2015, 46(5): 101–106.
- [6] 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长的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2): 246–250.
Liu J G, Li Y B, Zhang W, et al. The distributing 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.
- [7] 李明洋, 马少辉. 我国残膜回收机研究现状及建议 [J]. *农机化研究*, 2014, 36(6): 242–245.
- Li M Y, Ma S H. Present situation of research on plastic film residue collector in china and some suggestions [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014, 36(6): 242–245.
- [8] 唐仕华, 刘银环, 康发云, 等. 永靖县废旧地膜残留对农作物产量影响的试验初报 [J]. *农业科技与信息*, 2016 (28): 98, 102.
Tang S H, Liu Y H, Kang F Y, et al. Preliminary report on the effect of waste film mulch residue on crop yield in Yongjing county [J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2016 (28): 98, 102.
- [9] 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 H G, Liu T, Li Y G, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(8): 91–99.
- [10] 赵岩, 陈学庚, 温浩军, 等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(6): 1–14.
Zhao Y, Chen X G, Wen H J, et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural*, 2017, 48(6): 1–14.