

内蒙古农田耕层土壤地膜残留现状及发展趋势

尹少媛, 赵宝平, 米俊珍, 刘宏金, 郭晓宇, 武岩, 包菡, 杨帆, 武俊英, 刘景辉

引用本文:

尹少媛, 赵宝平, 米俊珍, 刘宏金, 郭晓宇, 武岩, 包菡, 杨帆, 武俊英, 刘景辉. 内蒙古农田耕层土壤地膜残留现状及发展趋势[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(9): 1985–1992.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-0223>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

山东省花生种植区耕层土壤残膜赋存特征

王学霞, 宋宁宁, 薛颖昊, 王甲辰, 梁丽娜, 李梦佳, 刘淑丽, 刘东生

农业环境科学学报. 2021, 40(8): 1729–1737 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0059>

张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素

杜泽玉, 孙多鑫, 杨荣, 苏永中

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2789–2797 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0690>

地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响

张丹, 王洪媛, 胡万里, 杨虎德, 徐钰, 马兴旺, 赵沛义, 刘宏斌

农业环境科学学报. 2017, 36(2): 293–301 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-1008>

捡拾方式对绿洲棉田地膜残留和棉花产量的影响

马兴旺, 赵靓, 李磐, 杨涛, 冶军, 闵伟, 侯振安

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2489–2494 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0956>

新疆棉花转产区土壤和农产品中邻苯二甲酸酯(PAEs)污染分析和评价

彭伟, 赵玉杰, 王璐, 贺泽英, 张艳伟, 耿岳, 刘潇威

农业环境科学学报. 2018, 37(12): 2678–2686 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0173>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

尹少媛, 赵宝平, 米俊珍, 等. 内蒙古农田耕层土壤地膜残留现状及发展趋势[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(9): 1985–1992.
YIN S Y, ZHAO B P, MI J Z, et al. Current scenario and future trends of plastic film residue in farmland topsoil in Inner Mongolia, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(9): 1985–1992.



开放科学 OSID

内蒙古农田耕层土壤地膜残留现状及发展趋势

尹少媛¹, 赵宝平^{1*}, 米俊珍¹, 刘宏金², 郭晓宇², 武岩², 包菡², 杨帆², 武俊英¹, 刘景辉¹

(1. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农牧业生态与资源保护中心, 呼和浩特 010010)

摘要:为评估内蒙古农田地膜残留污染现状, 本研究于2021年4月选择内蒙古覆膜年限为1~40 a的10个旗县的30个农田地膜残留监测点为研究对象, 对各监测点农田耕层土壤地膜残留量分布特征及影响因素进行调查。结果表明: 内蒙古耕地耕层(0~30 cm)土壤平均地膜残留量已高于我国农田残留量限值, 且3个区域残留量差异明显, 表现为北方高原山区>东北湿润平原地区>西北干旱半干旱平原区; 农户的回收意识更加影响农田残膜量; 土壤残膜主要集中在0~10 cm土层中, 且表现为随覆膜年限增加, 0~10 cm土层中的残膜含量比例减少, 10~30 cm的土层残膜含量比例随覆膜年限增加而增加; 随着种植年限的增加, 小面积残膜量(<4 cm²)在深层土壤不断增加。研究表明, 内蒙古农田残膜污染较为严重, 10 cm以下土层中的残膜量和碎片化呈加重趋势, 应加强地膜回收、生物降解膜替代等措施, 以缓解区域作物种植体系中残膜污染问题。

关键词:残膜; 时空变化; 残膜分布; 影响因素

中图分类号: X71 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2022)09-1985-08 doi:10.11654/jaes.2022-0223

Current scenario and future trends of plastic film residue in farmland topsoil in Inner Mongolia, China

YIN Shaoyuan¹, ZHAO Baoping^{1*}, MI Junzhen¹, LIU Hongjin², GUO Xiaoyu², WU Yan², BAO Han², YANG Fan², WU Junying¹, LIU Jinghui¹
(1. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Agriculture and Animal Husbandry Ecology and Resource Protection Center, Hohhot 010010, China)

Abstract: To evaluate the current situation of farmland plastic film residue pollution in Inner Mongolia and provide a scientific basis for the prevention, control, and treatment of farmland plastic film pollution, in April 2021, 30 farmland plastic film residue monitoring points in 10 banners and counties with a history of film covering usage of 1~40 years were selected. The distribution characteristics and influencing factors of farmland plastic film residue in each monitoring point were determined. The average residue of plastic film in the cultivated layer (0~30 cm) of Inner Mongolia has been higher than the limit of farmland residue in China, and the difference in residue in the three regions is noticeable, indicating that plastic residues in the northern plateau and mountain region were highest, followed by the northeast humid, northwest arid, and semi-arid plain regions. Farmers' awareness of recycling has a considerable impact on the amount of residual film in farmland. Additionally, residual soil film is mainly concentrated in the 0~10 cm soil layer, and the proportion of residual film in the 0~10 cm soil layer decreases with the increase of film covering years. The content of residual film in the 10~30 cm soil layer increases with the increase of film covering years. With the increase of planting years, the amount of residual film (<4 cm²) in a small area increases in deep soil. The residual film pollution of farmland in Inner Mongolia is concerning, and the amount and fragmentation of residual film in the soil

收稿日期: 2022-03-07 录用日期: 2022-06-09

作者简介: 尹少媛(1998—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 硕士研究生, 从事土壤与产地环境污染管控与修复研究。E-mail: 1310569445@qq.com

*通信作者: 赵宝平 E-mail: zhaobaoping82@163.com

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-07); 农业农村部农田地膜和面源污染监测项目

Project supported: Special Fund for the Construction of Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-07); Monitoring Project of Farmland Mulch Film and Non-point Source Pollution of Ministry of Agriculture and Rural Affairs

layer below 10 cm is increasing. Measures such as plastic film recovery and biodegradable film replacement should be strengthened to alleviate the residual film pollution in the regional crop planting system.

Keywords: residual film; temporal and spatial variation; residual membrane distribution; influence factor

地膜覆盖栽培可有效减少农田土壤水分的蒸发,提高土壤水分的利用效率,使土壤保持适宜的温度、湿度,是一项既能防止水土流失,又能提高作物产量的常用措施,已经成为当前国内外广泛使用的农业技术,在我国提高农业生产力中发挥着重要作用^[1]。随着地膜投入量不断增加、地膜覆盖面积不断加大以及覆膜年限的增加,我国农田土壤中地膜残留量越来越大^[2-3],导致我国农田生态环境出现严重的“白色污染”问题^[4]。WANG等^[5]在我国西北地区进行了一次大规模残膜调查,发现小尺寸残膜的微塑料含量高于中大型尺寸,在施肥地块中,地膜微塑料颗粒数量约为未施肥地块的2倍^[6]。残膜微塑料累积会破坏土壤结构,研究发现土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮、土壤酶活性和土壤微生物群落多样性与地膜在土壤中的残留水平明显相关^[7],累积的残膜会影响土壤中水分和养分的运移,降低土壤肥力^[8],阻碍作物根系生长,最终导致作物减产^[3,9]。我国新疆、内蒙古、甘肃等地区气候干旱、水资源紧缺,地膜用量较大且覆盖面积很广,导致这些地区残膜污染较严重,这严重影响了我国农业可持续发展^[10]。

当前关于内蒙古农田地膜污染治理现状研究大多集中在农膜残留分布特性调查及影响因素分析方面^[11-12],然而对内蒙古不同种植区域、不同覆膜年限及不同土层残膜分布状况及发展趋势等方面的了解还不足。因此,本次研究采用实地调查与问卷相结合的方法,根据内蒙古气候特点,选择内蒙古自治区东北湿润平原区、北方高原山地区和西北干旱半干旱平原区3大典型区域的30个监测点,对监测点地膜使用、回收与残膜污染现状进行了调研,并对相关样地土壤取样,分析地膜残留量、残片数目及残膜在土壤中的空间分布情况,旨在为内蒙古农田地膜的科学使用及残膜回收提供数据支持,同时为全国耕地土壤残膜污染评价提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地

选择内蒙古自治区东北湿润平原区(呼伦贝尔市扎兰屯市、通辽市开鲁县、兴安盟扎赉特旗)、北方高原山地区(赤峰市喀喇沁旗、赤峰市翁牛特旗、乌兰察

布市化德县、乌兰察布市凉城县)和西北干旱半干旱平原区(鄂尔多斯市达拉特旗、巴彦淖尔市临河区、巴彦淖尔市杭锦后旗)3大区域作为残膜调查的代表性区域。样地选择首要标准是连续覆膜种植作物的农田,此外,考虑到覆膜年限、地膜使用量、土壤质地等影响因素,每个典型区域选择3~4个样地作为调查对象,共计30个样地(表1)。

根据调查情况选择以下3个代表性区域进行描述:一是喀喇沁旗王爷府镇团结地村(118.61°E, 41.83°N),农田残膜量属于较高水平且远超国家农田残膜量限值,土壤类型主要为砂土,覆膜作物主要为玉米,是一年一熟的单作制,早在1986年就开始使用覆膜栽培,到2021年覆膜35 a,目前采用机械覆膜。喀喇沁旗无回收残膜的网点,离田的残膜有20%就近焚烧处理,80%堆置田头。二是化德县朝阳镇补龙湾村(114.16°E, 41.84°N),农田残膜量最少的地区,主要覆膜作物为甜菜和露地蔬菜,一年两熟制,从1995年开始使用覆膜栽培,到2021年覆膜26 a,目前采用机械覆膜、机械回收,且设有残膜回收网点。三是巴彦淖尔市临河区干召庙镇民主村(107.29°E, 40.76°N),农田残膜量属于较低水平且未超过国家农田残膜量限值,该地早在1982年就开始使用覆膜种植技术,到2021年覆膜39 a,是调查地区中覆膜年限最长的地区,土壤类型主要为壤土,覆膜作物主要为露地蔬菜,是一年一熟的单作制,目前采用机械覆膜、复合(机械-人工)回收,且设有残膜回收网点。

1.2 残膜样品采集

2021年4月,为不影响各地区作物按时种植,在整地播种前进行残膜样品采集,每个样地随机选取5个样方,采样面积为1 m²(1 m×1 m)。先剥离表层地膜,每10 cm为一层,分别在0~10、10~20 cm和20~30 cm 3个土层中取土,再分别过10目筛,仔细拣出肉眼可见的残膜,并注意在收集完成后尽可能恢复土壤原貌。

1.3 残膜样品处理

先将收集的残膜带到实验室用自来水清洗,再用超声波清洗仪(BRANSON 5800)进一步清洗30 min,取出后放置于阴凉干燥处晾干,展开卷曲的残膜(切勿将残膜撕碎),用万分之一天平称量,记录地膜残留

表 1 内蒙古残膜监测点地膜使用及回收情况(2021 年)

Table 1 Input and recovery of plastic film at monitoring points in Inner Mongolia(2021)

地区 Region	样地 Sampling site	地址 Address	覆膜年限 Year of film mulching/a	覆膜量 Input of plastic film/(kg·hm ⁻²)	地膜厚度 Film thickness/mm	回收率 Rate of recovery/%	土壤质地 Soil texture	覆膜作物 Crop type	回收方式 Recovery style
东北湿润 平原区	S1	扎兰屯市高台子村	11	89.96	0.010	85.93	壤土	玉米	机械回收
	S2	扎兰屯市成吉思汗镇	11	82.46	0.010	85.39	砂土	玉米	机械回收
	S3	扎兰屯市蘑菇气镇	10	83.96	0.010	86.59	砂土	玉米	机械回收
	S4	开鲁县开鲁镇	9	59.97	0.010	85.67	壤土	蔬菜	机械回收
	S5	开鲁县建华镇	15	59.97	0.010	85.15	壤土	蔬菜	机械回收
	S6	开鲁县东风镇	20	59.97	0.010	85.53	壤土	蔬菜	机械回收
	S7	扎赉特旗音德尔镇	18	67.47	0.012	80.00	壤土	玉米	机械回收
	S8	扎赉特旗新林镇	17	89.96	0.010	78.63	黏土	甜菜	机械回收
	S9	扎赉特旗巴彥高勒镇	8	67.47	0.010	80.48	壤土	玉米	机械回收
北方高原 山地区	S10	喀喇沁旗小牛群镇	28	81.99	0.008	—	砂土	玉米	不回收
	S11	喀喇沁旗王爷府镇	35	70.28	0.008	—	砂土	玉米	不回收
	S12	喀喇沁旗锦山镇	14	73.49	0.008	—	砂土	玉米	不回收
	S13	翁牛特旗乌丹镇	10	74.96	0.010	80.00	砂土	玉米	机械回收
	S14	翁牛特旗乌敦套海镇	10	74.96	0.010	80.00	砂土	玉米	机械回收
	S15	翁牛特旗广德公镇	17	67.47	0.010	80.05	砂土	玉米	机械回收
	S16	化德县白音特拉村	26	59.97	0.010	87.21	砂土	蔬菜	机械回收
	S17	化德县民建村	26	59.97	0.010	86.89	砂土	甜菜	机械回收
	S18	化德县朝阳镇	26	59.97	0.010	86.51	砂土	蔬菜	机械回收
	S19	凉城县马坊滩村	31	59.97	0.010	84.96	壤土	甜菜	复合(机械- 人工)回收
	S20	凉城县弓沟沿村	31	59.97	0.010	84.67	壤土	玉米	复合(机械- 人工)回收
	S21	凉城县岱海镇	31	59.97	0.010	84.96	壤土	其他	复合(机械- 人工)回收
西北干旱 半干旱平 原区	S22	达拉特旗王爱召镇	16	52.47	0.008	86.12	壤土	玉米	机械回收
	S23	达拉特旗昭君镇	16	52.47	0.008	85.89	砂土	玉米	机械回收
	S24	达拉特旗展旦召苏木乡	16	52.47	0.008	86.02	壤土	玉米	机械回收
	S25	杭锦后旗团结镇	35	52.47	0.010	81.22	黏土	向日葵	机械回收
	S26	杭锦后旗沙海镇	29	53.97	0.010	74.50	砂土	向日葵	机械回收
	S27	杭锦后旗头道桥镇	35	52.47	0.010	73.00	砂土	蔬菜	机械回收
	S28	临河区狼山镇	39	49.48	0.010	76.92	壤土	玉米	复合(机械- 人工)回收
	S29	临河区白脑包镇	39	59.97	0.010	84.10	壤土	蔬菜	复合(机械- 人工)回收
	S30	临河区干召庙镇	39	49.48	0.010	77.82	壤土	蔬菜	复合(机械- 人工)回收

量;再将展开的残膜置于带网格(1 cm×1 cm)的A4纸张上,分别以残膜面积<4、4~25 cm²和>25 cm²为标准,分类统计收集到的残膜的数量。

1.4 问卷调查

取残膜样品的同时,对监测地块的农户进行问卷调查。调查内容包括覆膜年限、覆膜量、地膜厚度、回收量、回收方式、土壤类型和种植作物等。由表 1 可知,调查样地作物种植覆膜年限在 8~39 a,地

膜每年使用量为 49.48~89.96 kg·hm⁻²,地膜厚度 0.008~0.012 mm,其中≥0.010 mm 的地膜占 80% 以上,每年地膜回收率大约为 81%,北方高原山地区的回收率达到 84.03%。

1.5 数据分析

基于 SPSS 25.0,运用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行各项指标之间的差异性分析。文中数据均为平均值±标准误,用 Origin 2021b 制图。

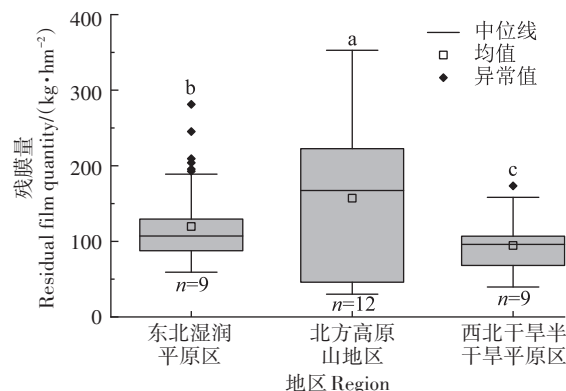
2 结果与分析

2.1 不同作物种植区残膜分布特征

2021 年内蒙古自治区 30 个地膜监测点 0~30 cm 土层的残膜量如图 1 所示。3 个区域残膜分布情况如图 2 所示。作物耕层土壤中残膜平均含量在 $127.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 3 个区域差异显著, 东北湿润平原的农田土壤残膜量为 $59.21 \sim 188.93 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 北方高原山地区残膜量为 $30.09 \sim 352.81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 西北干旱半干旱平原区残膜量为 $39.66 \sim 158.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对比《农田地膜残留量限值及测定》(GB/T 25413—2010) 中的农田地膜残留量限值 ($75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 内蒙古残膜监测点只有 28% 的作物种植区土壤残膜量低于残留量限值。

不同覆膜年限土壤残膜质量和片数如图 3 所示。随着覆膜年限增加, 土壤残膜质量和残膜片数有先减小后增加的趋势。与 <14 a 相比, 14~28 a 和 >28 a 样地残膜质量显著减少了 5.45% 和 0.61% ($P < 0.05$), 见

图 3A。残膜数量显著减少了 4.88% 和 1.94% ($P < 0.05$), 见图 3B。此外, 处于较大四分位数的残膜质量



不同字母表示不同区域之间差异显著 ($P < 0.05$)
Different letters indicate significant differences among different regions ($P < 0.05$)

图 2 不同区域 0~30 cm 土层中残膜量比较

Figure 2 Comparison of residual film amount in 0~30 cm soil layer in different regions

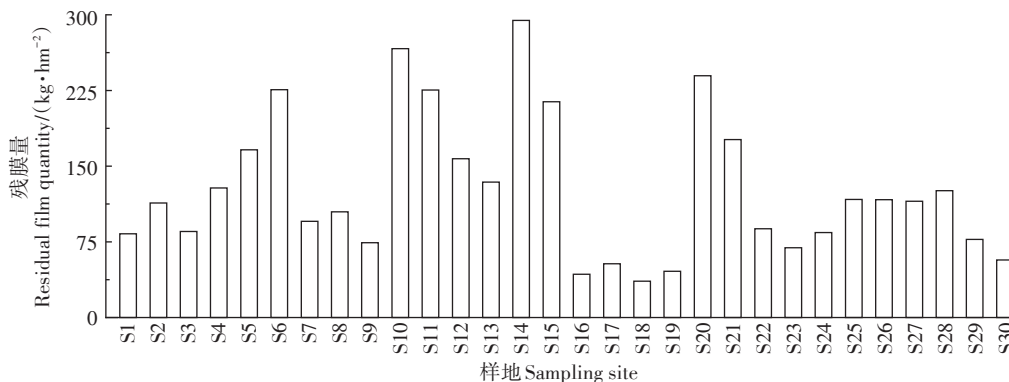
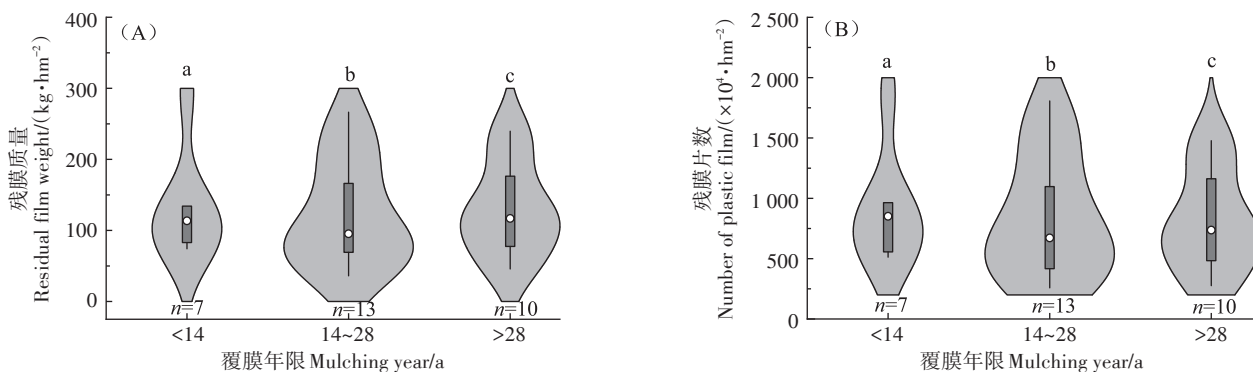


图 1 30 个样地 0~30 cm 土层中的地膜残留量

Figure 1 Residual amount of plastic film in 0~30 cm soil layer of 30 sample sites



不同字母表示不同覆膜年限之间差异显著 ($P < 0.05$); 小提琴图两侧曲线代表核密度图, 越胖表示该位置的数据量越多
Different letters indicate significant differences among different film covering years ($P < 0.05$); The curves on both sides of the violin diagram represent the nuclear density diagram, the fatter it is, the more data there is in this position

图 3 不同覆膜年限土壤残膜质量和片数

Figure 3 Residual film weight and film number of soil with different film covering years

和残膜片数都有随覆膜年限增加而增加的趋势,即整体来看,土壤残膜质量和残膜片数的最大值会随着覆膜年限增加而增大。

2.2 不同覆膜年限耕层土壤残膜分布特征

土壤中的残膜主要分布在浅层土壤(0~10 cm),其含量总体随土层深度增加而逐渐降低,且随着覆膜年限增加,残膜表现出向深层下移的趋向(图4A)。0~10 cm残膜含量所占比例为47.8%~64.2%,整体表现为>28 a最少,14~28 a次之,<14 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a含量所占比例显著降低($P<0.05$)。10~20 cm所占比例为30.3%~36.4%,表现为<14 a最少,14~28 a次之,>28 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a所占比例显著增加($P<0.05$)。20~30 cm所占比例为5.4%~15.8%,表现为<14 a最少,14~28 a次之,>28 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a所占比例显著增加($P<0.05$)。

土壤中的地膜残片也主要分布在0~10 cm土层中,且残片数随土壤深度增加而逐渐降低,随种植年限增加,残片表现出向深层土壤下移的趋向(图4B)。0~10 cm残片数所占比例为46.5%~59.6%,表现为>28 a最少,14~28 a次之,<14 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a残片数所占比例显著降低($P<0.05$)。10~20 cm所占比例为24.3%~29.2%,表现为14~28 a最少,>28 a次之,14 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a残片数所占比例显著降低($P<0.05$)。20~30 cm所占比例为11.2%~27.0%,表现为<14 a最少,14~28 a次之,>28 a最多。与<14 a相比,14~28 a和>28 a残片数所占比例显著增加($P<0.05$)。

2.3 不同面积残膜分布特征

2.3.1 不同覆膜年限不同面积残膜分布特征

调查发现小面积残膜(<4 cm²)比例会随覆膜年限增加而增加,达到一定的数值后略有降低(表2)。不同覆膜年限样地>25 cm²和4~25 cm²残片数量和比例均显著低于<4 cm²($P<0.05$)。>25 cm²残片数随覆膜年限增加而减少,<4 cm²残片数随覆膜年限增加而增加,>25 cm²和4~25 cm²所占比例总体表现为随覆膜年限增加而降低的趋势,<4 cm²所占比例表现为随覆膜年限增加而增加的趋势。

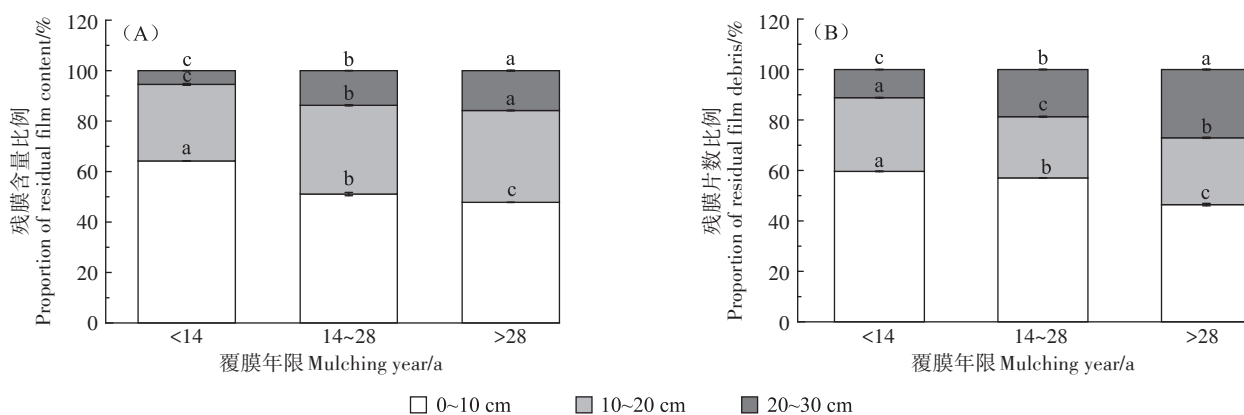
2.3.2 不同土层不同面积残膜分布特征

调查发现随土壤深度增加小面积残片(<4 cm²)比例有增加的趋势(表3),且残片主要集中在土壤浅层(0~10 cm)。3个土层均表现为>25 cm²残片数显著低于4~25 cm²和<4 cm²残片数($P<0.05$),各土层>25 cm²残片比例显著低于4~25 cm²和<4 cm²残片比例($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 监测点作物种植区残膜分布特征及发展趋势

本研究对内蒙古作物种植地区30个样地土壤耕层(0~30 cm)的残膜调查发现,内蒙古自治区农田地膜残留量介于36.03~294.48 kg·hm⁻²之间,平均值为127.09 kg·hm⁻²,远高于黄淮海、河西走廊张掖绿洲和山东的覆膜农田残膜含量^[13-15],低于新疆的农田土壤耕层平均地膜残留量(206.46~405.00 kg·hm⁻²)^[16-17]。这可能主要是由于农田地膜使用量和种植模式有区域特征,造成残膜量出现区域分布差异大的现



不同小写字母表示相同土层不同覆膜年限之间差异显著($P<0.05$)
Different lowercase letters indicate significant differences among different mulching years in the same soil layer($P<0.05$)

图4 不同覆膜年限土壤残膜空间分布特征

Figure 4 Spatial distribution characteristics of soil residual film in different mulching years

表2 不同覆膜年限下不同残膜面积的分布数量和比例

Table 2 Distribution quantity and proportion of different residual film sizes under different film covering years

残膜面积 Film size/cm ²	<14 a		14~28 a		> 28 a	
	片数	比例	片数	比例	片数	比例
	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%
>25	27.50±2.50c	4.67±0.97c	12.00±0.82c	2.27±0.54c	5.33±1.25c	0.90±0.16c
4~25	336.29±3.07b	43.59±1.10b	265.33±0.47b	37.83±0.17b	317.40±1.84b	40.39±1.27b
<4	426.30±2.54a	54.26±0.44a	428.33±1.25a	58.61±1.64a	431.67±1.70a	57.35±0.57a

注:不同小写字母代表残膜大小之间差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different sizes of residual films ($P<0.05$). The same below.

表3 不同土层中不同残膜面积的分布数量和比例

Table 3 Distribution quantity and proportion of different residual film sizes in different soil layers

残膜面积 Film size/cm ²	0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm	
	片数	比例	片数	比例	片数	比例
	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%	Quantity of film/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	Percentage/%
>25	63.67±0.47c	14.73±1.14b	46.29±1.19c	16.83±1.04c	7.85±1.65c	8.13±1.52c
4~25	164.81±1.23b	41.64±0.70a	113.56±2.20b	40.16±0.93b	57.23±1.37b	38.88±1.66b
<4	170.30±0.92a	42.82±0.98a	132.67±1.25a	45.26±1.52a	88.07±0.73a	54.72±2.48a

象^[3,14,18],新疆、内蒙古等地区气候干旱、水资源紧缺,因此地膜使用量较大、地膜覆盖面积较广,残膜污染也较严重^[11,14,19]。农田地膜残留量是农田残膜污染的最主要衡量指标,反映了该地区长期覆膜种植下土壤中的残膜量化值^[3]。对比《农田地膜残留量限值及测定》(GB/T 25413—2010)中的农田地膜残留量限值(75 kg·hm⁻²),内蒙古作物种植区有7个调查样地的土壤残膜量未超过国家农田残膜限值标准,6个调查样地土壤残膜量与国家农田残膜限值标准相当,17个调查样地土壤残膜量超过国家农田残膜限值标准,说明内蒙古作物种植区残膜污染状况较严重。

调查发现覆膜作物为玉米的农田残膜量最多,其次为向日葵和蔬菜(表1),主要原因可能是种植玉米的地块覆膜量较多,其平均覆膜量比菜地多12.7%,此外,虽然菜地的平均覆膜年限比玉米地的平均覆膜年限多7~8 a,且菜地的壤土比例更高,但是由于农户更注意保护菜地的土壤环境,因此对菜地的残留地膜回收力度更大,这与马彦等^[20]在甘肃省的调查类似,但与张丹等^[21]在华北地区的调查不同,我国华北地区土壤耕层地膜残留总量居前3位的作物是蔬菜、棉花和花生,这主要与该地区这3种作物地膜残留强度高、覆膜面积大有关。此外,地膜残留量与地膜厚度也有关,地膜越厚越不易破碎,可以降低捡拾残膜的难度^[15],但本次调查发现仍有20%的地区使用微膜(0.008 mm),因此还要加强宣传使用厚地膜的好处。

内蒙古的地膜残留污染防治还需因地制宜地采取多种措施,使用可降解地膜和机械化回收地膜是地膜残留污染防治的关键措施。调查发现,有70%的地区使用机械回收地膜、10%的地区不回收地膜,而离田的地膜80%堆置田头、20%就近焚烧,长此以往,会使农田残膜污染日趋严重。此外,还应研发适合不同作物、不同区域的低成本可降解地膜,本次调查发现由于玉米秸秆残渣容易与地膜缠绕,很难将二者分离,导致玉米田里残膜量较多且地膜破碎度较高。此外,要增加残膜回收机械的种类和功能,尽可能满足种植模式的多样性,降低回收成本、提高回收效率。

3.2 耕层土壤残膜分布规律及影响因素

本次调查发现,残膜量表现为10~30 cm的土层残膜含量比例随覆膜年限增加而增加,而0~10 cm的土层中残膜含量比例随覆膜年限增加而减少,这一现象与前人的研究结果有所不同^[14,22-23],主要原因可能是农户回收地膜时更注重覆膜年限较长的浅层土壤的残膜回收,因此要加强对农民的深入宣传和教育,调动农民的积极性,增强农民回收残留地膜的意识^[24]。

残膜主要集中在0~10 cm土层中,表现出典型的层状空间分布特点,且残膜含量和残膜片数都有随着土壤深度的增加而减小的趋势,后者表现为在0~10、10~20 cm土层中随覆膜年限增加而降低,而在20~30 cm土层中随覆膜年限增加而增加,主要原因是0~20

cm的土层中面积较大的残片(>25 cm²)占比较大,但在耕种和风化等作用下,20~30 cm的土层中小面积的残膜(<4 cm²)占比较大,即土壤浅层的残膜量高于深层,但随着覆膜年限的增加,残膜有向深层移动的趋势,且小面积残片比例随土壤深度增加而增加,这与马彦等^[20]、王学霞等^[15]和VINOTH等^[25]的研究结果一致。

3.3 地膜残留防治方案

由于内蒙古作物种植区耕层土壤地膜残留量已超过国家标准,因此要加强防治该地区农田地膜残留污染。可从以下三方面探索该地区的地膜污染防治措施:一是加强农用地膜使用回收管理,检查残膜回收网点和回收再利用情况;二是开发推广性价比更高的可降解地膜,取代传统的聚乙烯地膜;三是结合区域特点和作物种类制定残膜回收方案,组织农户、回收企业等多方共同完成好残膜回收工作^[26-28]。

4 结论

(1)本次内蒙古作物种植区耕层(0~30 cm)土壤地膜残留调查发现,平均地膜残留量为127.09 kg·hm⁻²,高于我国农田残留量限值,且3个区域残留量差异明显,表现为北方高原山区>东北湿润平原地区>西北干旱半干旱平原区。内蒙古的地膜残留污染日趋严重,并且农户的回收意识更加影响农田残膜量,因此要研发适合不同作物、不同区域的低成本可降解地膜,并增加残膜回收机械的种类和功能。

(2)土壤残膜主要集中在0~10 cm土层中,表现为0~10 cm的土层中残膜含量比例随覆膜年限增加而减少,而10~30 cm的土层残膜含量比例随覆膜年限增加而增加,且随着种植年限的增加,小面积残膜(<4 cm²)呈现向深层土壤下移的趋势。

(3)内蒙古农田是我国典型的覆膜种植区域,也是残膜污染的重灾区,现阶段仍存在进一步扩大污染的可能,建议采取适当措施加强农用地膜回收力度,推广应用可降解地膜,加大宣传回收地膜的益处,提高农户回收地膜的意识,降低该地区作物种植区出现的地膜污染。

参考文献:

- [1] LIU E K, HE W Q, YAN C R. 'White revolution' to 'white pollution': Agricultural plastic film mulch in China[J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9:091001.
- [2] 徐刚,杜晓明,曹云者,等.典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(1):79-83. XU G, DU X

- M, CAO Y Z, et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1):79-83.
- [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 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, 31(2):95-102.
- [4] KASIRAJAN S, NGOUAJIO M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012, 32(2):501-529.
- [5] WANG S Y, FAN T L, CHENG W L, et al. Occurrence of macroplastic debris in the long-term plastic film-mulched agricultural soil: A case study of northwest China[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 831:154881.
- [6] LI S T, DING F, FLURY M, et al. Macro- and microplastic accumulation in soil after 32 years of plastic film mulching[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 300:118945.
- [7] WANG J, LV S H, ZHANG M Y, et al. Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates and microbial activity in soils[J]. *Chemosphere*, 2016, 151.
- [8] QIAN H F, ZHANG M, LIU G F, et al. Effects of soil residual plastic film on soil microbial community structure and fertility[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2018, 229:261.
- [9] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对土壤水力参数及土壤结构的影响[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(5):101-106, 140. 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 Machinery*, 2015, 46(5):101-106, 140.
- [10] LI Y Q, ZHAO C X, YAN C R, et al. Effects of agricultural plastic film residues on transportation and distribution of water and nitrate in soil[J]. *Chemosphere*, 2020, 242:125131.
- [11] 郭阳,王建军,郭艳琼,等.内蒙古包头市农用地膜污染治理现状及建议[J]. *农业与技术*, 2018, 38(19):179-180. WU Y, WANG J J, GUO Y Q, et al. Present situation and suggestions of agricultural plastic film pollution control in Baotou City, Inner Mongolia[J]. *Agriculture and Technology*, 2018, 38(19):179-180.
- [12] 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 Y L, LI X L, ZHANG S, 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.
- [13] 王金强,居学海,李贵春.基于样方法开展黄淮海蔬菜主产区地膜残留状况研究[J/OL]. *中国农业资源与区划*: 1-7[2022-02-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.s.20220110.0916.005.html>. WANG J Q, JU X H, LI G C. Research on the plastic film residue in main vegetable producing area of Huang Huai Hai based on sampling method[J/OL]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*: 1-7[2022-02-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.s.20220110.0916.005.html>.

- [14] 杜泽玉, 孙多鑫, 杨荣, 等. 张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(12): 2789-2797. DU Z Y, SUN D X, YANG R, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of plastic film residue in Zhangye Oasis[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(12): 2789-2797.
- [15] 王学霞, 宋宁宁, 薛颖昊, 等. 山东省花生种植区耕层土壤残膜赋存特征[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(8): 1729-1737. WANG X X, SONG N N, XUE Y H, et al. Occurrence characteristics of residual film in cultivated soil of peanut planting area in Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(8): 1729-1737.
- [16] HU C, HU Y S, WANG X F, et al. Effect of residual plastic films on survival rate of cotton seeds in south Xinjiang[J]. *International Agricultural Engineering Journal*, 2017, 26(2): 19-25.
- [17] 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.
- [18] ZHANG D, NG E L, HU W L, et al. Plastic pollution in croplands threatens long-term food security[J]. *Global Change Biology*, 2020, 26(6): 3356-3367.
- [19] YAN C, HE W, TURNER N C. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: Importance and problems[J]. *World Agriculture*, 2014, 4(2): 32-36.
- [20] 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 Y, YANG H D. 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.
- [21] 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 D, HU W L, LIU H B, 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.
- [22] 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 H, MEI X R, YAN C R, 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.
- [23] 胡灿, 王旭峰, 陈学庚, 等. 新疆农田残膜污染现状及防控策略[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 223-234. HU C, WANG X F, CHEN X G, et al. Current situation and control strategies of residual film pollution in Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(24): 223-234.
- [24] 熊飞璇, 张金文. 农用地膜残留对作物生长发育的危害及其防治途径[J]. 农业科技与信息, 2016, 31: 80-82. XIONG F X, ZHANG J W. Harm of agricultural plastic film residue to crop growth and development and its control measures[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2016, 31: 80-82.
- [25] VINOTH K M, MERLINE S A. Effect of plastic film mulching on the distribution of plastic residues in agricultural fields[J]. *Chemosphere*, 2021, 273: 128590.
- [26] YANG W, QI J L, ARIF M, et al. Impact of information acquisition on farmers' willingness to recycle plastic mulch film residues in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 297: 126656.
- [27] 靳拓, 薛颖昊, 张明明, 等. 国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 411-420. JIN T, XUE Y H, ZHANG M M, et al. Research advances in regulations, standards and recovery of mulch film[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(2): 411-420.
- [28] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 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, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 533-538.

(责任编辑:宋潇)