

李妍超, 李海萍, 王永显, 等. 青岛市农田土壤残膜污染现状及其治理对策[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(3): 226-233.

LI Yan-chao, LI Hai-ping, WANG Yong-xian, et al. Pollution Status and Control Countermeasures of Polyethylene Mulch Film Residue in Farmland Soils of Qingdao City, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(3): 226-233.

青岛市农田土壤残膜污染现状及其治理对策

李妍超¹, 李海萍², 王永显², 孙亚萍², 王凯荣^{1*}, 杨青贤³

(1.青岛农业大学资源与环境学院 青岛市农村环境工程研究中心, 山东 青岛 266109; 2.青岛市农业环保能源工作站, 山东 青岛 266071; 3.即墨市农业局, 山东 即墨 266200)

摘要:地膜覆盖技术应用带动了我国农业生产力的显著提高和生产方式的改变,对保障我国农产品安全供给做出了重大贡献,但随着地膜应用量和使用年限的不断增加,大量残留地膜造成的“白色污染”严重影响了农业生产的进行,对农业环境的安全与健康也构成了巨大的威胁。本文在青岛市5个农业主产区选择了27个代表性作物种植片区,对常年覆膜农田土壤地膜残留现状进行了调查。结果表明:青岛市农田土壤中地膜残留量在 $10.7\sim 69.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间,平均残留量为 $32.3\pm 15.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,中位值 $27.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中有7个作物种植片区的残膜量均值超过 $40\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最高残留量均值达到 $69.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,具有一定的残膜污染作物损害风险。青岛市农田土壤中地膜残留量与种植模式、覆膜年限之间没有明显相关性,而与当季残膜回收率有关。农田土壤中残膜大小以大于 100 cm^2 的最多,且90%以上残膜分布在 $0\sim 20\text{ cm}$ 耕作层。为控制农田土壤地膜残留污染,提出3点建议:一是建立和完善地膜残留污染综合治理机制;二是强化超薄型聚乙烯(PE)地膜的质量提升与达标地膜的应用;三是积极研发推广生物可降解地膜,从源头解决PE地膜残留污染问题。

关键词:地膜残留;实地调研;治理对策;青岛

中图分类号:X53

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)03-0226-08

doi: 10.13254/j.jare.2016.0310

Pollution Status and Control Countermeasures of Polyethylene Mulch Film Residue in Farmland Soils of Qingdao City, China

LI Yan-chao¹, LI Hai-ping², WANG Yong-xian², SUN Ya-ping², WANG Kai-rong^{1*}, YANG Qing-xian³

(1.College of Resources and Environment, Qingdao Engineering Research Center for Rural Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2.Qingdao Agricultural Environmental Protection and Rural Energy Extension Station, Qingdao 266071, China; 3.Jimo Agricultural Bureau, Jimo 266200, China)

Abstract: The benefits of using polyethylene(PE) mulch films in agriculture are well established in China. However, residues of PE films contaminate soils. Disposing of used films may lead to off-site environmental pollution, especially contributing to white pollution. We conducted a study to measure the amount of PE film residue in a number of farmland soils(27 sites) previously subjected to long-term film mulching across five main agriculture production regions of Qingdao, China. The amount of film residue in soils was highly variable with the mean being $32.3\pm 15.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Seven sites exceeded $40\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ with the highest being $69.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. There was no evident correlation between the amount of film residue in soil and the type of cropping system or the number of years of surface mulching, but was related to the recovery rate of the film in the current season. About 1.6% of the recovered PE films was in pieces less than 2 cm^2 , 7.3% was between 2 cm^2 and 20 cm^2 , 19.2% was between 20 cm^2 and 100 cm^2 , and the remainder(71.9%) was in pieces greater than 100 cm^2 . More than 90% of the residue PE films was in the $0\sim 20\text{ cm}$ ploughing soil layer, while 5% was in the $20\sim 30\text{ cm}$ layer. A number of key steps are suggested to control the ongoing pollution of PE film residue in farmland: (1) Establish and implement a comprehensive program for controlling soil PE film

收稿日期:2016-12-22

基金项目:农业部农业生态环境保护项目资助(091621 10402229019)

作者简介:李妍超,女,山东平度人,在读硕士研究生,研究方向为农业环境保护。E-mail:736161225@qq.com

*通信作者:王凯荣 E-mail:krwang1@163.com

residue pollution in agriculture involving both government and industry initiatives; (2) Upgrade the quality of PE film to increase the proportion that can be recovered after harvest and recycled; (3) Develop and promote new biodegradable films to as cost-effective alternatives PE residual pollution.

Keywords: polyethylene mulch film residue; field investigation; pollution control countermeasures; Qingdao

塑料地膜通过改变土壤能量平衡从而改善作物生长小气候^[1]。田间小气候的改变引起土壤温度和湿度变化,进而影响作物生长与产量^[2]。大量研究和实践证明,地膜覆盖栽培能较好地缓解季风气候区环境要素剧烈波动对农作物生长的干扰,提高作物对环境需求的满足度^[3]。与常规种植相比,地膜覆盖栽培技术具有显著的增温保墒效果,能够克服低温干旱等不利条件,促进作物稳产高产。同时,覆膜还可以使部分作物的栽培范围扩大,提高农田复种指数^[4]。地膜覆盖栽培已成为我国干旱、半干旱、低洼和盐碱、寒冷地区农作物增产、节水与保温的重要措施^[5]。我国是世界上塑料地膜使用最多的国家,蔬菜、棉花、玉米和花生覆膜种植最为广泛^[6]。然而,长期使用超薄型聚乙烯(PE)地膜覆盖也带来了一系列环境问题,主要是残膜在土壤中的积累,导致土壤结构破坏,影响土壤水分和养分的运移,阻碍作物根系生长,最终导致作物减产^[7-8]。20世纪90年代初,农业部组织开展了全国17个省(市)典型农区农膜残留调查,发现凡采样地膜覆盖栽培的农田均有不同程度的土壤农膜残留问题,残留量为71.9~231.0 kg·hm⁻²,其中新疆绿洲棉区地膜残留量最大^[4]。科研人员对新疆棉田地膜残留污染问题进行了深入的调查研究,并提出了相应的处理对策^[9-12]。20世纪80年代,青岛市引进地膜覆盖栽培技术,90年代中期开始在农业主产区大面积推广应用。目前,全市地膜年覆盖面积达18.0×10⁴ hm²,覆膜栽培作物主要有冬春播蔬菜、花生、马铃薯等。迄今为止,尚未针对农田土壤地膜残留污染情况进行过系统调查。本文依托农业部农业生态环境保护项目,对青岛地区长期覆膜种植农田耕层土壤地膜残留现状进行实地调研,探明青岛市不同种植模式农田地膜残留水平,旨在为华北集约农区农膜污染防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

青岛市地处山东半岛东南部沿海、胶东半岛东部,东经119°30′~121°00′、北纬35°35′~37°09′,为北温带季风气候区。年平均气温12.7℃,极端最高气温38.9℃,极端最低气温-16.9℃,年均降水量688.2 mm。

全市土地总面积11 282 km²,其中耕地面积41.87×10⁴ hm²,约占土地总面积的37.1%。农业生产主要分布在莱西市、平度市、胶州市、即墨市和黄岛区等5个区域,主要农作物为玉米、小麦、花生、马铃薯、蔬菜和果树等。从20世纪90年代开始,地膜覆盖栽培技术先后在这些区域的花生和冬(春)菜生产上推广应用。

在青岛市的5个农业主产区,即莱西、平度、即墨、胶州和黄岛5个县级区市,选择长期覆膜种植的27个代表性作物种植区(片区)进行调查,包括莱西市沽河街道、日庄镇和河头店镇,平度市古岬镇、南村镇、蓼兰镇、李园镇和旧店镇,即墨市金口镇、移风店镇、大信镇、段泊岚镇、北安街道、刘家庄中心社区,胶州市铺集镇和胶西镇,黄岛区宝山镇、六汪镇和藏南镇等19个行政镇(街道)。在每个片区选择一块代表性田块(样地)进行调查,样地总面积14.31 hm²。调查区作物种植模式包括小麦-玉米-花生两年三熟、蔬菜-蔬菜-蔬菜两年三熟、蔬菜-马铃薯-玉米两年三熟、蔬菜-马铃薯一年两熟、玉米-蔬菜一年两熟、小麦-玉米-花生一年一熟等。调查样点分布见图1,样地基本信息见表1。

1.2 调查方法

1.2.1 历年农膜残留量

依据农业部《农田土壤中地膜残留普查标准》和《青岛市农田土壤中地膜残留普查方案》,于2014—2015年,在全市范围内选择27个代表性作物种植区(片区),每个片区选择1块有代表性的地块(样地),每个样地再按梅花形设5个面积为1 m×2 m的调查样点,调查0~30 cm土层地膜残留总量。

1.2.2 当季农膜残留量

在上述代表性种植区内,抽样调查农户当季作物覆膜量、作物收获时和作物收获后旋耕机械带出的地膜量,计算地膜回收率。

1.2.3 不同土层农膜残留量

在上述代表性种植区的各调查样地中,随机选取一个0.5 m×0.5 m的采样调查点,用筛分法调查0~10、10~20 cm和20~30 cm等3个土壤层次的地膜残留量。



图 1 青岛市农田土壤地膜残留调查样点分布

Figure 1 Distribution of sampling plots for film residue survey in farmland soils in Qingdao City

1.2.4 不同尺寸农膜残留量

按照尺寸 $>100\text{ cm}^2$ 、 $100\sim 20\text{ cm}^2$ 、 $20\sim 2\text{ cm}^2$ 和 $<2\text{ cm}^2$ 进行分类并称重。

1.3 数据分析

应用 DPS、Excel 软件对调查数据进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同种植区农田土壤地膜残留量

表 2 为青岛市各农业区常年覆膜栽培农田土壤地膜残留量调查结果。全市农田土壤中地膜平均残留量为 $32.3\pm 15.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (中位值 $27.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 其中莱西平均 $30.9\pm 15.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平度平均 $40.2\pm 9.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 即墨平均 $22.9\pm 9.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 胶州平均 $21.9\pm 9.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 黄岛平均 $58.6\pm 10.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。不同覆膜作物残留量从高到低依次为: 马铃薯、花生、大蒜、生姜、西

表 1 青岛市农田土壤地膜残留量调查样地基本信息

Table 1 Basic information of sampling plots for film residue survey in farmland soils in Qingdao City

样区号	调查样方地点	土壤类型	片区主要种植模式	样地当季种植作物	片区覆膜年限/年
LX-01	莱西沽河办事处东沙埠村	砂壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	15
LX-02	莱西沽河办事处西沙埠村	砂壤	蔬菜-马铃薯-玉米两年三熟	马铃薯	15
LX-03	莱西河头店镇泥湾头村	砂壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	15
LX-04	莱西沽河街道办事处三教村	粘壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	15
LX-05	莱西日庄镇三曲埠村	砂质粘壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	13
LX-06	莱西日庄镇日东村	砂质粘壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
PD-01	平度蓼兰镇蒲家村	砂姜黑土	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	22
PD-02	平度旧店镇北庙东村	沙壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
PD-03	平度旧店镇大曲埠村	沙壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	26
PD-04	平度南村镇前吕家村	棕壤	蔬菜-马铃薯一年两熟	马铃薯	25
PD-05	平度古岈镇寨子	棕壤	玉米-大蒜一年两熟	大蒜	26
PD-06	平度李园街道东崔家营村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JM-01	即墨北安街道周戈庄村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JM-02	即墨大信镇前进村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JM-03	即墨段泊岚镇东瓦二村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JM-04	即墨刘家庄中心社区袁家庄村	砂壤	蔬菜-蔬菜一年两熟	生姜	32
JM-05	即墨金口镇神仙埠村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	31
JM-06	即墨移风店镇三湾庄村	砂壤	蔬菜-蔬菜-蔬菜两年三熟	西红柿	8
JZ-01	胶州铺集镇范家庄村	潮土	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JZ-02	胶州胶西镇北杜村	潮土	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JZ-03	胶州胶西镇花二埠村	潮土	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
JZ-04	胶州胶西镇石家河崖村	潮土	马铃薯-玉米一年两熟	马铃薯	10~15
JZ-05	胶州胶西镇石家河崖村	潮土	马铃薯-蔬菜一年两熟	马铃薯	10~15
JZ-06	胶州胶西镇宋戈庄村	潮土	马铃薯-蔬菜一年两熟	马铃薯	10~15
HD-01	黄岛宝山镇张八朱村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	10~15
HD-02	黄岛六汪镇王家庄村	棕壤	小麦-玉米-花生两年三熟	花生	20
HD-03	黄岛藏南镇赵家沟村	沙砾棕壤	小麦-玉米-花生一年一熟	花生	20

红柿,残膜量依次为:38.0±16.4、33.8±9.6、27.3±4.8、26.4±4.3、23.1±1.1 kg·hm⁻²。各农业区地膜残留量不存在显著的差异性($P=0.99,r=0.05$)。土壤地膜残留量≤20 kg·hm⁻²的片区占 25.9%(7 个)。地膜残留量≥50 kg·hm⁻²的片区占 20.0%(5 个)。由于青岛市各农区的作物种植制度具有高度的不连续性,农户多根据市场行情和劳动力情况安排种植,一般 2~3 年有一次较大的种植模式变更。因此作物种植模式和地膜使用年限并不是农区土壤中地膜残留量的决定性因素。但是,通过表 3 可以得出:青岛市农田土壤中地膜残留量与农户对残膜回收的重视程度有一定的相关性。青岛市当季地膜的平均回收率为 72.3%,在土壤残膜量低的胶州市几个片区,当季地膜回收率平均达到 88.5%,而土壤残膜量高的黄岛区,当季地膜的回收率仅为 59.6%。

青岛市农田土壤中地膜残留的形状主要有片状、

线状和团粒状。残膜大小以大于 100 cm² 的最多,平均占 71.9%;20~100 cm² 大小的占 19.2%;2~20 cm² 的占 7.3%;<2 cm² 的碎片仅占 1.6%(表 2)。

通过对青岛部分种植区的地膜回收率调查发现,地膜残留量与回收率之间呈负相关($r=-0.64$),当季地膜回收率越高,残留量越少。

2.2 不同土层残膜分布特征

从表 4 结果可知,青岛市农田土壤中残留地膜 90%以上分布在耕作层,其中 0~10 cm 土层平均残留量为 26.1 kg·hm⁻²,占 77.7%;10~20 cm 土层平均残留量为 5.92 kg·hm⁻²,占 17.3%;20~30 cm 土层平均残留量为 1.73 kg·hm⁻²,仅占 5.0%。通过对不同覆膜作物不同土层残留量比较发现:覆膜马铃薯 0~10 cm 和 10~20 cm 残留最高分别为 28.4±11.8、6.4±5.0 kg·hm⁻²,覆膜生姜 20~30 cm 残留量最低,为 2.0 kg·hm⁻²。各土层内的地膜残留量达到显著性差异($P<0.01$)。

表 2 青岛市不同种植区农田土壤地膜残留量(kg·hm⁻²)

Table 2 Amount of PE films residue in farmland soils in different planting areas in Qingdao City(kg·hm⁻²)

样区号	残膜总量	>100 cm ² 膜	100~20 cm ² 膜	20~2 cm ² 膜	<2 cm ² 膜
LX-01	12.68±2.19	9.04	2.55	1.08	0.01
LX-02	58.75±18.42	41.30	11.87	5.33	0.25
LX-03	32.52±4.51	20.97	6.57	3.20	1.78
LX-04	26.62±7.77	19.62	5.37	1.17	0.46
LX-05	24.50±6.07	18.06	4.94	1.16	0.34
LX-06	30.17±14.00	22.27	4.09	2.15	1.66
PD-01	50.81±3.44	34.46	9.26	5.30	1.79
PD-02	51.41±8.00	35.89	10.39	3.31	1.82
PD-03	38.52±18.55	27.39	7.79	2.23	1.11
PD-04	31.49±5.44	23.21	5.36	1.19	1.73
PD-05	27.28±4.81	20.11	5.51	1.50	0.16
PD-06	41.57±2.48	29.64	7.40	4.26	0.27
JM-01	20.11±4.50	14.82	4.06	1.12	0.11
JM-02	14.92±3.96	10.99	3.01	0.91	0.01
JM-03	14.40±4.50	10.61	2.81	0.97	0.01
JM-04	26.37±4.32	19.43	3.3	3.61	0.03
JM-05	38.71±7.23	24.53	7.82	6.34	0.02
JM-06	23.05±1.91	16.98	4.65	1.41	0.01
JZ-01	26.84±9.62	19.02	5.42	2.17	0.23
JZ-02	11.75±0.99	8.66	2.37	0.64	0.08
JZ-03	10.70±2.74	7.89	2.14	0.61	0.06
JZ-04	36.44±17.16	25.86	7.36	3.21	0.01
JZ-05	26.94±16.64	19.86	4.45	2.15	0.48
JZ-06	18.63±4.56	13.74	3.78	1.09	0.02
HD-01	57.65±10.33	42.49	11.64	3.37	0.15
HD-02	48.88±7.83	36.04	9.87	2.29	0.68
HD-03	69.27±18.75	53.06	13.83	1.58	0.80

表 3 青岛市部分种植区地膜回收率调查

Table 3 Investigation on recovery rate of PE films in Qingdao City

调查区	投入量/ kg·hm ⁻²	回收量/ kg·hm ⁻²	回收率/%
黄岛区藏南镇赵家沟村	37.50	20.70	55.2
黄岛区六汪镇崔戈庄村	44.10	23.70	53.7
黄岛区宝山镇大陆崖村	40.20	28.05	69.8
莱西市沽河街道办事处西沙埠村	54.75	36.90	67.4
莱西市沽河街道办事处三教村	39.45	25.20	63.9
莱西市日庄镇三曲埠村	37.80	22.65	59.9
胶州胶西镇石家河崖村	37.50	32.40	86.4
胶州胶西镇石家河崖村	37.50	33.75	90.0
胶州胶西镇石家河崖村	37.50	33.45	89.2

3 讨论

青岛市的地膜覆盖栽培技术最早在夏直播花生上推广应用,之后扩展到冬春播蔬菜和马铃薯等作物上。地膜覆盖对促进冬春播蔬菜发芽和早期生长^[13]、花生花芽分化和产量提升具有显著作用^[14],尤其是黑白配色地膜覆盖栽培对花生的增产效果更是显著大于普通白色地膜^[15-16]。地膜与秸秆覆盖相结合,对提高夏季茶园水分利用效率,改善茶园生态环境,促进茶苗生长也都有显著的正面效应^[17]。但是,连续多年的地膜覆盖栽培也带来了农田土壤地膜残留污染问题。对青岛市主要农业区的调查结果表明,青岛市耕层土壤中地膜总残留量为 10.7~69.3 kg·hm⁻²,平均 32.3 kg·hm⁻²(表 2)。据已有调查数据统计^[11,18-19],我国新疆绿洲农业区土壤中地膜残留量变幅为 20.1~263.3 kg·hm⁻²,平均达 231.0 kg·hm⁻²;西北黄土旱塬区和东北风沙旱作区地膜平均残留量在 100 kg·hm⁻² 左右;华北棉花蔬菜区、西南烟草区、华中花生玉米区地膜平均残留量均在 50 kg·hm⁻² 以下。青岛市农田土壤地膜平均残留量与华北棉花蔬菜区、西南烟草区和华中花生玉米区处于基本相同的水平。青岛市各农业主产区的种植制度虽然较为丰富,但地膜覆盖栽培比例和面积较大的只有花生和冬春播蔬菜,马铃薯采用地膜覆盖栽培的比例和面积较小,小麦和玉米很少采用地膜覆盖,这应是青岛市农田土壤地膜残留量相对较少的原因之一。此外,青岛市土壤残膜的回收率相对较高,最低回收率为 53.7%,最高达到了 90.0%(表 3),而新疆地区农田土壤残膜的回收率平均不到 60%^[11]。青岛市农田土壤中地膜残留量与地膜覆盖栽培年限之间没有明显的相关性,这与我国新疆等其他许多地区的调查结果不同,可能也与青岛地区覆膜作物(花生、蔬

表 4 青岛市农田土壤残膜分层分布特征(kg·hm⁻²)

Table 4 Layer distribution characteristics of residual films in farmland soils in Qingdao City(kg·hm⁻²)

样区号	残膜总量	0~10 cm 土层	10~20 cm 土层	20~30 cm 土层
LX-01	12.68±2.19	9.04	2.08	1.56
LX-02	58.75±18.42	43.33	14.07	1.35
LX-03	32.52±4.51	24.78	4.57	3.17
LX-04	26.62±7.77	20.08	4.72	1.82
LX-05	24.50±6.07	19.40	3.92	1.18
LX-06	30.17±14.00	23.89	4.99	1.28
PD-01	50.81±3.44	37.24	12.36	1.21
PD-02	51.41±8.00	37.71	11.69	3.01
PD-03	38.52±18.55	30.50	5.43	2.59
PD-04	31.49±5.44	24.94	4.99	1.56
PD-05	27.28±4.81	22.27	3.67	1.34
PD-06	41.57±2.48	34.92	5.40	1.26
JM-01	20.11±4.50	14.92	4.17	1.02
JM-02	14.92±3.96	11.00	3.17	0.75
JM-03	14.40±4.50	10.62	2.65	1.14
JM-04	26.37±4.32	20.44	3.96	1.97
JM-05	38.71±7.23	31.53	4.51	2.67
JM-06	23.05±1.91	19.98	2.66	0.41
JZ-01	26.84±9.62	19.25	5.43	2.16
JZ-02	11.75±0.99	9.13	1.98	0.64
JZ-03	10.70±2.74	8.53	1.52	0.65
JZ-04	36.44±17.16	30.37	4.85	1.22
JZ-05	26.94±16.64	22.34	3.43	1.17
JZ-06	18.63±4.56	13.76	3.66	1.21
HD-01	57.65±10.33	44.65	9.77	3.23
HD-02	48.88±7.83	38.43	8.54	1.91
HD-03	69.27±18.75	53.86	12.11	3.30

菜等)换地栽培较频繁、以及地膜当季回收率较高有一定关系。

青岛市各农业主产区土壤中残膜大小以大于 100 cm² 的最多,平均占 71.9%;20~100 cm² 大小的占 19.2%;2~20 cm² 的占 7.3%;小于 2 cm² 的碎片仅占 1.6%。而在我国新疆地区,棉田土壤中残膜大小以面积<4 cm² 的小碎片居多,占了 70%左右;面积 4~25 cm² 的中型碎片占 20%;面积>25 cm² 的大碎片所占比例仅为 10%左右^[12]。河北棉田土壤中也是以面积<4 cm² 的小块膜最多,面积 4~25 cm² 的中块膜次之,面积>25 cm² 的大块膜最少^[20]。而山西棉田土壤中 74%的残膜为面积 10~15 cm² 的中型碎片^[21]。土壤残膜面积大小显然与土地耕种方式有关。我国植棉区,尤其是新疆棉区,多采用机械铧式犁和圆盘犁翻耕和破碎土壤,对土壤中残留地膜的破碎性较大。而在青

岛市花生、蔬菜和马铃薯种植地,多采用小型耘田机械对土壤进行平整,对土壤中残膜的破碎性相对较小。青岛地区地膜多以大碎片状滞留于土壤表层,这种面积较大的残膜利于回收,但是由于缺乏回收工具和农民较低的回收意识导致地膜大量残留。因此在这种情况下,一要积极研发或引进残膜回收工具;二要鼓励农民进行地膜回收,防止连年耕作使大片地膜破碎。

青岛市各农区不同土层的地膜残留量存在显著的梯度分布特征。0~10 cm 土层地膜残留量最高,平均达到 $26.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占土壤中地膜总残留量的 77.7%; 10~20 cm 土层残留量次之,平均 $5.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 17.3%; 20~30 cm 土层最少,平均只有 $1.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 仅占总残留量的 5.0% 左右。这种分布特征与马辉等^[20]报道的华北棉区土壤中残膜的分布特征非常一致,但与新疆棉区土壤中残膜的分布特征有很大的差异性。据严昌荣等^[9]报道,新疆石河子地区棉田 0~10、10~20 cm 和 20~30 cm 土层中残膜量占比分别为 38.7%、31.2% 和 30.2%, 各土层之间的地膜残留量差异不显著。这可能与新疆棉区长期使用大型机械翻耕土地,导致 0~30 cm 土层性质逐渐均一化有关。

青岛市农田土壤地膜残留量的整体水平不高,但在 27 个调查片区中,有 7 个片区的残膜量均值超过 $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中最高残留量均值达到 $69.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 2)。这些地区的土壤残膜量可能已对作物生产造成不利影响。据报道,在河南弱碱性砂质壤土上,当地膜残留量达到 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,将显著影响小麦发芽和冬前分蘖^[2]。在黄河三角洲地区^[23],当土壤中农膜残留量达到 $40.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,可造成小麦和玉米减产 10.3%~12.5%,棉花减产 7.5%~9.4%,大豆减产 6.8%~8.4%。在新疆灰漠灌溉土上^[24],土壤中残膜量达到 $58.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,可使玉米减产 11%~23%,小麦减产 9%~16%,大豆减产 5.5%~9.0%,蔬菜减产 14.6%~59.2%。赵素荣等^[25]通过添加农膜碎片模拟残膜污染实验发现,当土壤添加农膜碎片量为 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,小麦和玉米分别比不添加农膜碎片的对照减产 9.5% 和 10.5%;当土壤中农膜碎片添加量达到 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,小麦和玉米的减产率分别达到 23.8% 和 13.9%。我们在青岛莱西市的田间模拟试验中发现,当地膜残留量由 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高到 $75.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,花生产量由 $8904.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 降低到 $8054.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,减产率达到 9.6% (数据未发表)。不过,也有试验报道,在黑龙江齐齐哈尔地区,当土壤残膜量低于

$360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 情况下,对西红柿的生长和产量影响都不显著^[26]。

地膜残留污染对农作物生长和产量影响的一个重要机制是,残留在土壤耕层的地膜破坏土壤的团聚结构,影响土壤水肥运移过程,阻碍作物根系对水分和养分的吸收利用。据尉海东等^[27]在山东临沂花生种植地的调查,土壤残膜量在 $0 \sim 12.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内,耕层土壤水稳性团聚体占比和土壤抗蚀指数均随地膜残留量增加而降低。赵素荣等^[25]通过模拟残膜污染实验发现,土壤容重与土壤残膜量之间存在显著正相关,而土壤孔隙度和含水率则随土壤残膜量增加而显著降低。当土壤中施加的残膜量为 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,土壤容重比无残膜对照提高 6.6%,含水率和孔隙率分别降低 4.3% 和 4.7%。当土壤残膜量达到 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,土壤容重增加 12.4%,含水量和孔隙度分别降低 9.3% 和 8.3%。综上所述,当农田土壤中地膜残留量积累到一定阈值时,将会导致土壤环境和肥力质量显著退化,影响作物生长,并导致减产,但是不同类型土壤地膜残留污染危害阈值,以及不同作物间对残膜污染危害的敏感性会有一定的差异性。因此青岛市农田土壤地膜残留污染对土壤质量和农作物生产的现实危害性仍需进一步研究确定。

4 结论与建议

(1) 青岛地区大田土壤中地膜残留量较少,在 $10.7 \sim 69.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,平均残膜量为 $32.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,残留量大小与种植方式和覆膜年限之间没有明显相关,与当季地膜回收率呈负相关($r = -0.64$)。因此建立地膜有偿回收机制,提高农民回收的积极性,并且积极引进地膜回收机械,是治理残膜污染的重要途径之一。

(2) 残膜主要分布在 0~30 cm 耕层内,而且 0~10、10~20、20~30 cm 耕层残留量差异显著($P < 0.01$),各个耕层内残膜所占的比例依次为:0~10 cm 为 77.7% ($26.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、10~20 cm 为 17.3% ($5.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、20~30 cm 为 5.0% ($1.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

(3) 残膜大小以大于 100 cm^2 大碎片居最多,占 71.9%; $20 \sim 100 \text{ cm}^2$ 大小的占 19.2%; $2 \sim 20 \text{ cm}^2$ 的占 7.3%; $< 2 \text{ cm}^2$ 的碎片仅占 1.6%。残膜碎片的大小直接影响到地膜的回收,随着耕作年限的增加残留地膜的破碎化程度加大,更多细小地膜残留在土壤中无法去除。因此在人工去除的同时,推广可生物降解地膜也是一个重要途径。

参考文献:

- [1] Tara J M. Micro climate modification with plastic mulch[J]. *Hort Science*, 2000, 35(2):169-280.
- [2] Lamont W J. Plastics: Modifying the micro climate for the production of vegetable crops[J]. *Hort Technology*, 2005, 15(3):477-481.
- [3] 严昌荣, 何文清, 刘恩科, 等. 作物地膜覆盖安全期概念和估算方法探讨[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9):1-4.
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, LIU En-ke, et al. Concept and estimation of crop safety period of plastic film mulching [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(9):1-4. (in Chinese)
- [4] 王晓方, 申茂向. 塑料农膜——中国农业发展的希望和曙光[R]. 北京: 中华人民共和国科学技术部农村科技司, 1998.
WANG Xiao-fang, SHEN Mao-xiang. Plastic film: The hope and dawn of Chinese agriculture development[R]. Beijing: Department of Rural Science and Technology, Ministry of Science and Technology of People's Republic of China, 1998. (in Chinese)
- [5] 孙云云, 高玉山, 窦金刚, 等. 半干旱区玉米降解地膜覆盖栽培综合效应研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30):27-31.
SUN Yun-yun, GAO Yu-shan, DOU Jin-gang, et al. The comprehensive effects of degradable film mulching on maize cultivation in semi arid area of China[J]. *Chinese Agricultural Bulletin*, 2011, 27(30):27-31. (in Chinese)
- [6] 陈东城. 我国农用地膜应用现状及展望[J]. 甘蔗糖业, 2014(4):50-54.
CHEN Dong-cheng. Application status and development of mulch film in China[J]. *Sugarcane and Canesugar*, 2014(4):50-54. (in Chinese)
- [7] 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. (in Chinese)
- [8] 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, 140.
WANG Zhi-chao, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure [J]. *Chinese Journal of Agricultural Machinery*, 2015, 46(5):101-106, 140. (in Chinese)
- [9] 严昌荣, 王序俭, 何文清, 等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报, 2008, 28(7):3471-3484.
YAN Chang-rong, WANG Xu-jian, HE Wen-qing, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7):3471-3484. (in Chinese)
- [10] 刘建国, 李彦斌, 张伟, 等. 绿洲农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 Jian-guo, LI Yan-bin, ZHANG Wei, 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. (in Chinese)
- [11] 周明冬, 侯洪, 董合干, 等. 新疆农用地膜应用与残留污染现状分析[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(12):2058-2061.
ZHOU Ming-dong, HOU Hong, DONG He-gan, et al. Present situation analysis on the application and residual pollution of agricultural plastic film in Xinjiang[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2015, 56(12):2058-2061. (in Chinese)
- [12] 王亮, 林涛, 严昌荣, 等. 地膜残留量对新疆棉田蒸散及棵间蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14):120-128.
WANG Liang, LIN Tao, YAN Chang-rong, et al. Effects of plastic film residue on evaporate-transpiration and soil evaporation in cotton field of Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(14):120-128. (in Chinese)
- [13] 王殿纯, 田海月, 孙兆法, 等. 地膜覆盖对春菠菜的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(16):40-45.
WANG Dian-chun, TIAN Hai-yue, SUN Zhao-fa, et al. Effect of plastic film mulching on spring-cultivated spinach[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(16):40-45. (in Chinese)
- [14] 杨富军, 赵长星, 闫萌萌, 等. 栽培方式对夏直播花生叶片光合特性及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3):747-752.
YANG Fu-jun, ZHAO Chang-xing, YAN Meng-meng, et al. Effects of different cultivation modes on the leaf photosynthetic characteristics and yield of summer-sowing peanut[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(3):747-752. (in Chinese)
- [15] 吕敬军, 张贵国, 陈香艳, 等. 不同地膜覆盖栽培对花生经济性状及产量的影响与效益分析[J]. 花生学报, 2010, 39(4):38-41.
LU Jing-jun, ZHANG Gui-guo, CHEN Xiang-yan, et al. Effects of different film mulching on the economic character and yield of peanut and benefit analysis[J]. *Journal of Peanut Science*, 2010, 39(4):38-41. (in Chinese)
- [16] 孙涛, 张智猛, 宁堂原, 等. 有色地膜覆盖对花生叶片光合特性及产量的影响[J]. 作物杂志, 2013(6):82-86.
SUN Tao, ZHANG Zhi-meng, NING Tang-yuan, et al. Effects of different color plastic film mulching on the leaf photosynthetic characteristics and yield of peanut[J]. *Crops*, 2013(6):82-86. (in Chinese)
- [17] 孙立涛, 王 玉, 丁兆堂. 地表覆盖对茶园土壤水分、养分变化及茶树生长的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9):2291-2296.
SUN Li-tao, WANG Yu, DING Zhao-tang. Effects of ground surface mulching in tea garden on soil water and nutrient dynamics and tea plant growth[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(9):2291-2296. (in Chinese)
- [18] 袁俊霞. 农用残膜的污染与防治[J]. 农业环境与发展, 2003, 20(1):31-32.
YUAN Jun-xia. The pollution and prevention of agricultural film residue[J]. *Agricultural Environment and Development*, 2003, 20(1):31-32. (in Chinese)
- [19] 严昌荣, 何文清, 薛颖昊, 等. 生物降解地膜应用与地膜残留污染防控[J]. 生物工程学报, 2016, 32(6):748-760.
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, XUE Ying-hao, et al. Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2016, 32(6):748-760. (in Chinese)

- [20] 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. (in Chinese)
- [21] 安 琼. 塑料对农田生态系的污染及其防治[J]. 农村生态环境, 1996, 12(2):44-47.
AN Qiong. The effect of plastic pollution on farm ecosystem and the control counter measures[J]. *Rural Ecology and Environment*, 1996, 12(2):44-47. (in Chinese)
- [22] 张保民, 王兰芝, 潘同霞, 等. 残膜土壤对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业科学, 1996, 15(2):9-10.
ZHANG Bao-min, WANG Lan-zhi, PAN Tong-xia, et al. Effects of film residue in soil on the growth and development of wheat plants[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1996, 15(2):9-10. (in Chinese)
- [23] 刘宗斌. 黄河三角洲地区农业环境现状与污染防治措施[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(2):149-150, 179.
LIU Zong-bin. Present condition of agricultural environment in the Yellow River delta region and measures for pollution control[J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(2):149-150, 179. (in Chinese)
- [24] 申玉熙, 王维岗. 新疆农业生态环境面临的问题与保护措施[J]. 新疆环境保护, 2004, 26(增刊):75-78.
SHEN Yu-xi, WANG Wei-gang. Facing problem and protective measures of Xinjiang agriculture ecological environment[J]. *Environmental Protection of Xinjiang*, 2004, 26(Suppl):75-78. (in Chinese)
- [25] 赵素荣, 张书荣, 徐 霞, 等. 农膜残留污染研究[J]. 农业环境与发展, 1998(3):7-10.
ZHAO Su-rong, ZHANG Shu-rong, XU Xia, et al. Study on the agricultural plastic sheeting residue pollution [J]. *Agro-environment and Development*, 1998(3):7-10. (in Chinese)
- [26] 蒋丽萍, 马焱萍, 李 博, 等. 残留地膜对番茄生育状况及产量的影响[J]. 福建农业科技, 1998(5):14-15.
JIANG Li-ping, MA Yan-ping, LI Bo, et al. Effects of residual plastic film on the growth and yield of tomato[J]. *Fujian Agricultural Sciences*, 1998(5):14-15. (in Chinese)
- [27] 尉海东, 伦志磊, 郭 峰. 残留农膜对土壤性状的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5):1853-1856.
WEI Hai-dong, LUN Zhi-lei, GUO Feng. Effects of mulch film residues on soil properties[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5):1853-1856. (in Chinese)