

## 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

引用本文:

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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0690>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 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>

#### 不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 郑宪清, 李双喜, 张娟琴, 何宇, 吕卫光

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2569–2577 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0476>

#### 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>

#### 南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>

#### 地膜残留污染防控技术现状及发展趋势

薛颖昊, 曹肆林, 徐志宇, 靳拓, 贾涛, 严昌荣

农业环境科学学报. 2017, 36(8): 1595–1600 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0298>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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 Ze-yu, SUN Duo-xin, YANG Rong, 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.



开放科学 OSID

# 张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素

杜泽玉<sup>1,2</sup>, 孙多鑫<sup>3</sup>, 杨荣<sup>1\*</sup>, 苏永中<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 临泽内陆河流域综合研究站, 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 甘肃省农业技术推广总站, 兰州 730000)

**摘要:**通过对地膜残留量区域分布特征及影响因素的调查研究, 准确评估区域地膜残留污染现状, 为提出区域性农田地膜污染防治措施提供科学依据。选择河西走廊张掖绿洲 105 个农田样地作为研究对象, 监测农田土壤中地膜残留量, 同时调查样地作物、土壤质地、地膜使用情况等指标, 并进行统计分析与地统计分析。结果显示: 张掖绿洲农田地膜残留量介于 0.79~114.72 kg·hm<sup>-2</sup> 之间, 平均值为 25.63 kg·hm<sup>-2</sup>, 表现出西北部高于东南部的分布趋势, 地膜残留量的空间异质性强且呈高斯模型分布特征; 各县区地膜残留量表现为临泽县(49.07 kg·hm<sup>-2</sup>) > 高台县(33.72 kg·hm<sup>-2</sup>) > 甘州区(23.33 kg·hm<sup>-2</sup>) > 山丹县(11.32 kg·hm<sup>-2</sup>) > 民乐县(10.44 kg·hm<sup>-2</sup>)。地膜残留量受覆膜方式、覆膜年限、作物类型等因素影响: 全覆膜、人工、机械覆膜 3 种地膜使用方式下地膜残留量差异显著( $P < 0.05$ ), 均值分别为 37.35、27.46、15.26 kg·hm<sup>-2</sup>; 连续覆膜 10 a 以上, 地膜残留量显著增加( $P < 0.05$ ); 种植作物中玉米农田(35.39 kg·hm<sup>-2</sup>)地膜残留量最多。研究区整体残膜污染处于中污染水平, 其中临泽、高台县污染较重, 覆膜年限是研究区地膜残留量空间变异的主要因素, 贡献率达 33.24%, 作物类型次之(31.73%), 张掖地区应因地制宜地合理调整农业种植结构并完善地膜使用政策, 同时推广残膜机械回收技术, 以减轻地膜污染。

**关键词:** 地膜残留量; 区域分布; 影响因素; 张掖绿洲

中图分类号: X71 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2020)12-2789-09 doi:10.11654/jaes.2020-0690

## Spatial distribution characteristics and influencing factors of plastic film residue in Zhangye Oasis

DU Ze-yu<sup>1,2</sup>, SUN Duo-xin<sup>3</sup>, YANG Rong<sup>1\*</sup>, SU Yong-zhong<sup>1</sup>

(1. Linze Inland River Basin Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resource, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Gansu General Station of Agro-technology Extension, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Knowledge of plastic film residue amounts in agricultural soil is still lacking. Spatial distribution characteristics and influencing factors of residual film amounts were investigated to accurately evaluate the situation of regional plastic film pollution and provide a scientific basis to propose regional plastic film reduction measures. To this end, 105 farmland plots were selected in the Zhangye Oasis, Hexi Corridor. The amounts of residual film in farmland soil were monitored and the impact indicators including vegetation category, soil type, and plastic-film use were also investigated. The obtained data above was analyzed through statistical and geostatistical analyses. Results showed that the amount of residual film in the farmland of the Zhangye Oasis ranged from 0.79 kg·hm<sup>-2</sup> to 114.72 kg·hm<sup>-2</sup>, with an average value of 25.63 kg·hm<sup>-2</sup>, showing a higher distribution trend in the northwest than in the southeast. The spatial heterogeneity of the amount of residual plastic film in the study area was high with a distribution characteristic of a Gaussian model. The average values of

收稿日期: 2020-06-17 录用日期: 2020-08-24

作者简介: 杜泽玉(1996—), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 从事农业生态学研究。E-mail: duzeyu@nieer.ac.cn

\*通信作者: 杨荣 E-mail: yangrong@lzb.ac.cn

基金项目: 中国科学院 A 类先导专项(XDA23060302); 黑河流域自然资源要素综合观测试点(DD20208065)

**Project supported:** The Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences(XDA23060302); Pilot Project of Comprehensive Observation for Natural Resource Elements in Heihe Basin(DD20208065)

residual film by county were of the order Linze County ( $49.07 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > Gaotai County ( $33.72 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > Ganzhou District ( $23.33 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > Shandan County ( $11.32 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > Minle County ( $10.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ). The amount of residual film was affected by film-covering modes, mulched years, crop types, and other factors. There were significant differences ( $P < 0.05$ ) in the amount of residual film under the three kinds of film-covering modes, namely a whole film mulching mode, artificial film mulching mode, and mechanized film mulching mode, with mean values of  $37.35$ ,  $27.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , and  $15.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , respectively. The amount of residual film increased significantly after continuous film covering for more than 10 years ( $P < 0.05$ ). Maize fields ( $35.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) had the largest amount of residual film. Generally, the residual film pollution in the study area was at a medium level; Linze and Gaotai counties are heavily polluted, while Shandan and Minle counties are slightly polluted. Geographical analysis indicated that the number of mulched years was the dominating factor, which alone could explain 33.24% of the residual film spatial variability of the region, followed by the vegetation categories (31.73%). To reduce the pollution of plastic film, it is necessary to adjust the structure of agricultural planting, improve the policy of using plastic film according to local conditions, and popularize the mechanical recovery technology for residual film.

**Keywords:** residual plastic film amount; spatial distribution characteristics; influencing factors; Zhangye Oasis

自20世纪80年代我国推广地膜覆盖技术以来,地膜覆盖面积不断扩大,根据许咏梅等<sup>[1]</sup>的研究结果,全国农田地膜使用面积以8.76%的速率扩大,使用量增速达到了11.94%。到2016年我国地膜使用量已达 $1.47 \times 10^6 \text{ t}$ ,占全世界地膜使用量的50%以上,且地膜使用率仍快速持续上升<sup>[2]</sup>。地膜覆盖技术的采用使冷凉、干旱区域的农业生产方式大幅改善,可耕作面积扩大、可耕种作物种类增多,尤其是作物产量显著增加<sup>[3]</sup>。付鑫等<sup>[4]</sup>研究表明,对玉米作物采用地膜覆盖技术,可使土壤中硝态氮的含量增加189.14%,显著提高氮肥有效性。地膜覆盖还可以蓄水保墒<sup>[5]</sup>,使水分利用效率提高13.3%<sup>[6]</sup>,显著改善农田水肥条件,使玉米增产高达60.7%<sup>[7]</sup>。虽然,地膜覆盖技术已经成为农业不可或缺的管理方式之一,但地膜易破碎、残膜回收率远低于地膜使用率以及残膜难降解等问题导致农田土壤中地膜残留量不断增加,对环境造成诸多危害,如土壤板结、次生盐渍化、土壤肥力降低等,最终影响作物产量与品质。据估计,我国残膜总量已达 $2 \times 10^6 \text{ t}$ ,但回收率不足66.7%<sup>[1]</sup>,残留的地膜已逐渐成为农田生态环境和农业可持续发展的制约因素。在此背景下,针对一些地膜使用量较高的区域开展地膜残留量调查,摸清并了解不同区域地膜残留现状及其环境危害,对提出有针对性的地膜调控措施以减轻农业环境危害风险,保证作物持续稳定增产具有重要的意义。

国内外学者围绕地膜污染的一些研究集中在残膜的危害<sup>[8-12]</sup>(如残膜对作物生长及产量的影响<sup>[13-15]</sup>)、影响残膜污染的主要因素<sup>[14,16-18]</sup>以及残膜污染的区域差异<sup>[1,14]</sup>等方面。河西走廊目前是我国最大的玉米制种基地,面积达 $10 \text{ 万} \text{ hm}^2$ <sup>[19]</sup>,其干旱少雨的自然条件

决定了农作物的高质高产基本依靠地膜覆盖,该地年地膜使用总量可达 $1.52 \times 10^5 \text{ t}$ ,而年残留总量达 $4.5 \times 10^4 \text{ t}$ ,且呈逐年增长趋势<sup>[16]</sup>。地膜残留污染风险高且严重危害农田生态环境和土壤健康。在河西走廊最具代表性的张掖绿洲,前期已开展过一些地膜残留污染方面的调查研究,但这些研究大多样本数量偏少,区域代表性不高且在地膜残留量空间变异的驱动因子分析方面涉及甚少<sup>[16-17]</sup>,目前亟待增加样本量,对区域地膜残留污染状况进一步翔实了解。因此,本次调查选择河西走廊典型区域——张掖绿洲农田为研究区,对105个样地的地膜残留量进行实地监测,揭示主要影响因素(覆膜方式、年限、作物、土壤质地等)对地膜残留量变化的影响规律及贡献率,研究结果可为当地地膜污染治理工作提供可参考标准,也可为相关政府部门制订地膜管理政策提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概述

张掖绿洲位于河西走廊中段、祁连山北侧山前洪积平原,涵盖沿黑河中游(从鹰落峡至正义峡)分布的各片绿洲<sup>[20]</sup>。研究区气候特征表现为典型的荒漠气候,多年平均气温达 $7.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 、降水量 $137.16 \text{ mm}$ 、日照时数 $3\,103.42 \text{ h}$ 、蒸发量 $2\,000 \sim 2\,350 \text{ mm}$ 。土壤类型以绿洲灌淤土、风沙土及灰棕漠土为主<sup>[21]</sup>。张掖绿洲平坦开阔的地形、丰富的黑河水资源加上地膜覆盖技术的推广使其成为重要的内陆封闭灌溉农业区之一<sup>[22-23]</sup>。调查区总面积 $421.4 \text{ 万} \text{ hm}^2$ <sup>[24]</sup>,根据《甘肃农村年鉴》,2016年研究区内各县区耕地面积分别为民乐县 $6.44 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 、甘州区 $6.39 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 、山丹县 $4.39 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 、高台县 $3.63 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 、临泽县 $2.79 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 。目前,张

掖绿洲是全国最大的杂交玉米制种基地,在地膜覆盖技术被广泛应用于张掖绿洲耕地保水保墒,促进作物增质增产的背景下,22 a时间里研究区地膜覆盖面积扩大了21.9倍,地膜用量增长了32.3倍<sup>[23]</sup>,2016年调查区施用地膜的总量已达6 455 t,同年粮食总产量高达131.43万t,各种作物中玉米产量高达74.1万t,占粮食总产量的55.64%,玉米成为主要的地膜消耗作物。

## 1.2 样品采集与测定

### 1.2.1 残膜样品采集与处理

样品采集于2019年6月上季作物收获后、整地前进行。采样地块地理位置信息通过GPS定位仪确定,同时记载该调查地块的归属县区村镇、作物种类、土壤类型、地膜厚度(研究区98个样地地膜厚度 $\geq 0.01$  mm,其余7个样地地膜厚度为0.008 mm)、覆膜年限、覆膜方式等基本信息。本次调查共采集105个样地样本,各县区样本量分别为民乐县20、甘州区20、山丹县25、高台县15、临泽县25,总体包括四县一区的87个乡镇、17个村社及1个良种场,基本覆盖了各县区的农田地块(图1)。每个调查样地选取3个1 m $\times$ 1 m的样方,在周围铺上帆布,用铁锹将样方表层土(0~20 cm)放入筛子中,边筛土边人工捡拾残留地膜,残膜以肉眼可见为标准,小心清除附在残膜上的土,防止残膜破裂,然后将地膜放入自封袋中并编号,带回实验室后浸泡1 h左右,待残膜表面泥土等物质松散,

先人工去除残膜表面的泥土,再用超声波清洗仪清洗残膜10 min,最后将清洗过的残膜在阴凉干燥处晾干并称质量。

### 1.2.2 地膜残留量计算和污染评价标准

将每个样地内3个样方的残膜质量相加求平均值,即为该样地表层土壤的地膜残留量:

$$M = 10\,000(W_1 + W_2 + W_3) / 3$$

式中: $M$ 为调查样地表层土壤的地膜残留量, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;  $W_n$ 为每个样方表层土壤的残膜总净质量, $\text{kg}$ ; 3为样方的数量。

本文参照《农用地膜残留量限值及测定》(GB/T 25413—2010)和《农田地膜残留调查与评价技术规程》(DB23/T 2033—2017),对研究区地膜污染状况进行等级划分,依次为:地膜残留量0~25  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 属于低污染;25~50  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 属于中污染;50~75  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 属于高污染;>75  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 属于重污染。

### 1.3 数据处理

通过对地膜残留量点位数据进行地统计分析来研究其空间变化,根据决定系数、残差等地统计指标<sup>[25]</sup>,选择最优空间插值模型——高斯模型。基于ArcGIS10.2软件中Geostatistics模块普通克里金插值(Ordinary Kriging)绘制研究区农田残膜污染空间分布图,以分析空间变异特征。普通克里金是在变异函数和结构分析的基础上,根据样本空间位置不同和样本间相关程度不同,对每个样本赋予不同的权,进行

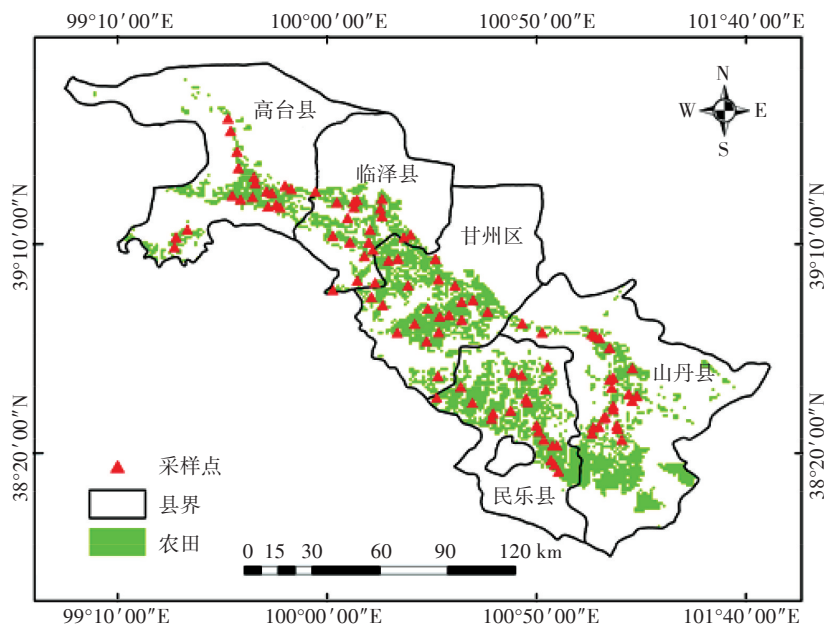


图1 地膜残留污染区采样点分布

Figure 1 Location of the sampling sites



滑动加权平均<sup>[26]</sup>。

$x$  代表空间位置,  $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$  为调查区域上的一系列采样点,  $Z(x_1), \cdots, Z(x_n)$  为相应采样点的地膜残留量数值。根据普通克里金的插值原理, 未采样点  $x_0$  处的值  $Z(x_0)$  可采用一个线性组合来估计:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \lambda_i (i=1, 2, 3, \cdots, n) \text{ 为待求权系数}$$

其变异函数定义为:

$$\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{2} E [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (i, j=1, 2, 3, \cdots, n)$$

式中:  $\gamma(x_i, x_j)$  为采样点  $x_i, x_j$  之间的变异函数;  $E$  为数学期望;  $\lambda_i$  为第  $i$  个样本的数值<sup>[27]</sup>。

采用 SPSS 对按地区、作物、土壤质地、覆膜年限、覆膜方式等不同因素分组的地膜残留量进行描述统计分析。并按照残膜污染评级标准, 统计每个地区及各影响因素下不同污染等级的地膜残留量样本分布频率。计算不同因素、不同水平下的地膜残留量变异系数(CV), 揭示地膜残留量的离散程度和差异大小, 其公式如下:

$$CV = SD / MN \times 100\%$$

式中:  $SD$  为样本标准差;  $MN$  为样本平均值。

变异系数越大, 表示数据间离散程度越高, 数据差异越大。

通过单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)研究各因素对地膜残留量的影响。在地理探测器软件中计算不同影响因素的地理探测  $q$  统计值( $q$  值表示自变量解释了  $100 \times q\%$  的因变量), 分析地膜残留量空间变异的主要因素。采用 GS+ Version 9.0、SPSS 20.0、ArcGis 10.2 和 Origin 2017 进行数据处理和画图。

2 结果与分析

2.1 残膜污染空间变异特征

张掖绿洲农田地膜残留量的变异函数理论模型及参数如表1所示。根据决定系数和残差, 选择最优拟合模型为高斯模型, 在此模型下, 块金值为0.242, 表示该地区地膜残留量空间变异性受试验误差或小于试验取样尺度等随机因素影响较小; 基台值为1.166, 表明地膜残留量的空间变异程度大, 空间异质性特征明显; 基底效应为20.8%, 表明张掖绿洲农田地膜残留量具有强烈的空间自相关性, 造成地膜残留量空间变异的随机因素占20.8%, 但随机因素影响不可忽视; 变程为1 714.7 m, 表明张掖地区地膜残留量

表1 空间异质性的特征参数

Table 1 Characteristic parameters of the spatial heterogeneity

| 区域化变量<br>Regionalized variable    | 块金值Nugget<br>$C_0$ | 基台值Still<br>$C_0 + C$ | 基底效应Substrate effect<br>$[C_0 / (C_0 + C)] / \%$ | 变程Range<br>$A/m$ | 决定系数<br>$R^2$ | 残差<br>$RSS$ | 最优模型<br>The best model |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|------------------|---------------|-------------|------------------------|
| 地膜残留量Residual plastic film amount | 0.242              | 1.166                 | 20.8                                             | 1 714.7          | 0.949         | 0.025       | 高斯 Gaussian model      |

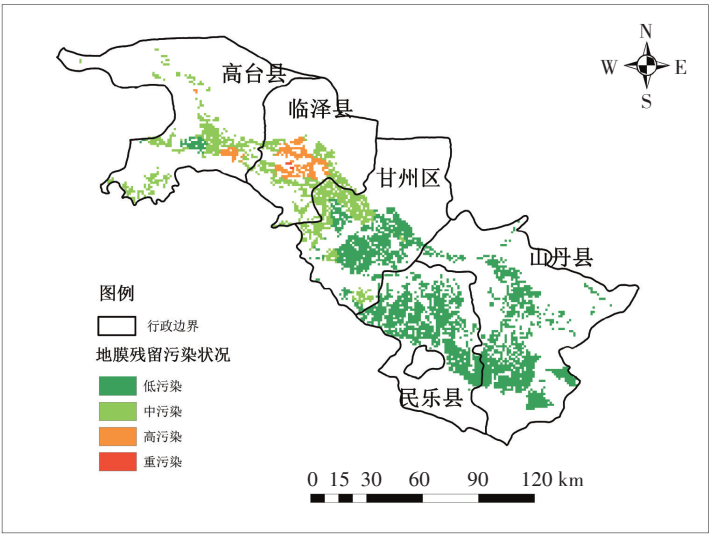


图2 残膜污染等级的空间分布

Figure 2 Spatial distribution of residual film pollution level

表2 不同覆膜方式下的地膜残留量及频率分布

Table 2 Residual plastic film amount and their frequency distribution for different film-covering modes

| 覆膜方式<br>Film-covering modes                 | 地膜残留量<br>Residual plastic film<br>amount/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 变异系数<br>CV/% | 变幅<br>Range/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 地膜残留量分布频率<br>Frequency distribution of residual plastic film amount/% |      |      |     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|-----|
|                                             |                                                                 |              |                                        | 低污染                                                                   | 中污染  | 高污染  | 重污染 |
| 全覆膜<br>Whole film mulching mode(n=40)       | 37.35a                                                          | 61.04        | 5.26~114.72                            | 30.0                                                                  | 52.5 | 12.5 | 5.0 |
| 人工覆膜<br>Artificial film mulching mode(n=18) | 27.46a                                                          | 69.73        | 1.84~75.83                             | 50.0                                                                  | 38.9 | 5.6  | 5.6 |
| 机械覆膜<br>Mechanized film mulching mode(n=46) | 15.26b                                                          | 99.10        | 1.30~90.35                             | 91.3                                                                  | 4.3  | 2.2  | 2.2 |

注:同一列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: The different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments at  $P<0.05$  levels.

的空间自相关范围在1 714.7 m内,变程大于采样间距1 000 m,符合内插条件。

调查区存在不同程度残膜污染(图2),高、重残膜污染主要分布在张掖绿洲西北部,约占总调查样地面积的7.71%。中度残膜污染主要分布在西北部高、重残膜污染区外缘且向四周扩展,其面积占到26.36%。其余65.93%的地区为低残膜污染,主要分布在张掖绿洲东南大部分地区。调查区地膜残留量均值为25.63 kg·hm<sup>-2</sup>,整体处于中污染水平,变异系数83.74%,表明各区域之间地膜残留量差异显著。县区之间残膜污染特征不尽相同,地膜残留量均值表现为:临泽县>高台县>甘州区>山丹县>民乐县。临泽县内残膜污染程度变异性较高,均值为49.07 kg·hm<sup>-2</sup>,污染程度以中、高污染为主,其中鸭暖镇古寨村地膜残留量最大(114.72 kg·hm<sup>-2</sup>)。高台县中污染区分布最多,各村镇中骆驼城镇前进村地膜残留量最小(11.57 kg·hm<sup>-2</sup>),罗城镇花墙子村地膜残留量最大(75.83 kg·hm<sup>-2</sup>)。甘州区以低残膜污染为主,最小值为5.26 kg·hm<sup>-2</sup>(新墩镇隋家寺村),最大值为49.87 kg·hm<sup>-2</sup>(安阳乡五一村)。山丹县和民乐县残膜污染均为轻度污染,山丹县陈户镇岸头村三社地膜残留量最小(9.15 kg·hm<sup>-2</sup>),李桥乡河湾村四社地膜残留量最大(22.17 kg·hm<sup>-2</sup>),民乐县地膜残留量最小值为0.79 kg·hm<sup>-2</sup>,出现在南丰镇陈圈村,最大值为19.80 kg·hm<sup>-2</sup>,出现在新天镇韩营村。

## 2.2 残膜污染的影响因素

### 2.2.1 覆膜方式、年限对残膜污染的影响

从表2可以看出,采用全覆膜和机械覆膜的地区较多,其样本量分别占38.5%和44.2%,人工覆膜的地区较少(17.3%)。各覆膜方式的残膜污染分布情况具体表现为全覆膜农田中度残膜污染分布频率最高,而人工覆膜和机械覆膜方式下低残膜污染分布频率

最高。全覆膜农田地膜残留量均值为37.35 kg·hm<sup>-2</sup>,残膜污染程度最高,比人工覆膜和机械覆膜分别高出9.89 kg·hm<sup>-2</sup>和22.09 kg·hm<sup>-2</sup>。全覆膜污染最严重的地区为临泽县鸭暖镇古寨村。残膜污染各水平下覆膜方式频率分布具体表现为低残膜污染分布中,机械覆膜方式比人工覆膜和全覆膜高出41.3%、61.3%;中、高、重残膜污染样地覆膜方式均以全覆膜为主。从LSD比较结果来看,全覆膜、人工覆膜与采用机械覆膜方式造成的残膜污染存在显著差异( $P<0.05$ )。

根据调查数据可将覆膜年限分为4组:≤5 a、5~10 a、10~20 a、>20 a。从单因素方差分析结果来看,地膜残留量受地膜覆盖年限的影响显著( $P<0.05$ )。LSD比较结果显示(表3),覆膜年限4个水平之间,10~20 a与≤5 a、5~10 a、>20 a与≤5 a、5~10 a覆膜年限下的地膜残留量都存在极显著差异( $P<0.01$ ),即覆膜年限10 a以上和10 a以下的地膜残留量差异极显著。具体残膜污染分布特征(图3)表现为,10 a以下残膜污染均为低污染,10 a以上残膜污染以中度污染为主。10~20 a覆膜年限下,低、中、重污染分布频率比20 a以上的地膜覆盖残膜污染分别高出8.4%、0.6%、2.7%,而20 a以上,地膜高污染分布频率比10~20 a高

表3 不同覆膜年限下地膜残留量LSD比较结果

Table 3 LSD multi-comparison results of residual plastic film amount in different mulched years

| 覆膜年限<br>Mulched years/<br>a | 地膜残留量<br>Residual plastic film<br>amount<br>$\bar{x}_i$ /(kg·hm <sup>-2</sup> ) | $\bar{x}_i-8.17$ | $\bar{x}_i-12.77$ | $\bar{x}_i-33.77$ |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| >20                         | 36.74                                                                           | 28.57**          | 23.97**           | 2.97              |
| 10~20                       | 33.77                                                                           | 25.60**          | 21.00**           |                   |
| 5~10                        | 12.77                                                                           | 4.60             |                   |                   |
| ≤5                          | 8.17                                                                            |                  |                   |                   |

注:\*\*,  $P<0.01$ ; \*,  $P<0.05$ 。

Note: \*\*,  $P<0.01$ ; \*,  $P<0.05$ .

出11.8%,可以看出随着覆膜年限增加,土壤残膜污染程度加剧。在覆膜年限影响下,残膜污染最严重的区域分布在临泽县鸭暖镇古寨村。

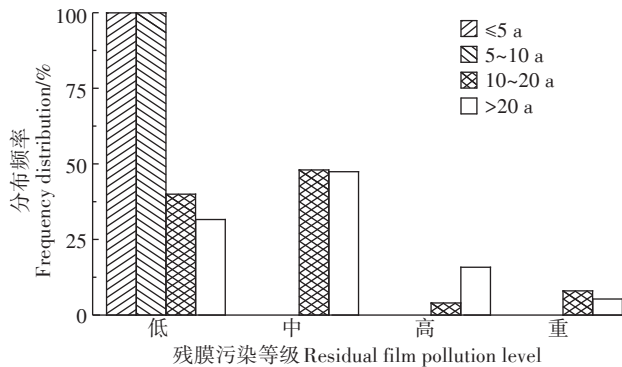


图3 不同覆膜年限下的地膜残留量频率分布

Figure 3 Frequency distribution of residual plastic film amount in different mulched years

### 2.2.2 作物类型对残膜污染的影响

张掖绿洲农田主要种植马铃薯、蔬菜、玉米、中药材等,其中玉米样地最多,马铃薯、蔬菜次之,中药材最少。蔬菜和玉米样地地膜残留量均值较高,分别比种植马铃薯高出  $20.88 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $22.95 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。残膜污染严重程度整体表现为玉米 ( $35.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 蔬菜 ( $32.37 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 马铃薯 ( $11.49 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 中药材 ( $9.42 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。种植马铃薯和中药材的样地均处于残膜低污染水平,种植蔬菜的样地残膜中、高及重污染频率合计已超50%,而种植玉米的样地残膜中、重污染分布频率要比种植蔬菜分别高出9.71%和2.63% (图4)。对4种作物下的地膜残留量进行LSD比较分析,结果显示种植玉米、蔬菜和种植马铃薯、中药材对

地膜残留量的影响差异显著 ( $P < 0.05$ )。种植玉米残膜污染最严重的地区为临泽县鸭暖镇古寨村。

### 2.2.3 土壤质地对残膜污染的影响

调查区土壤质地以壤土分布最多(51%),黏土、砂壤土次之(27%、19%),砂土分布最少(3%)。不同土壤质地下,残膜污染严重程度为砂壤土 ( $35.27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 壤土 ( $30.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 砂土 ( $13.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) > 黏土 ( $11.48 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。壤土和砂壤土的残膜污染较严重,地膜残留量最高值(临泽县鸭暖镇古寨村,  $114.72 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )的样地土壤质地为壤土。壤土的低残膜污染分布频率比砂壤土高13.1%,砂壤土的中、高、重污染分布频率分别比壤土高出6.1%、0.7%、6.3%。砂土和黏土质地的样地均为低残膜污染。LSD分析结果显示,砂壤土、壤土与黏土之间的地膜残留量差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

### 2.3 地膜残留量空间差异驱动因子分析

根据因子探测的结果可知(表4),不同因子的决定力  $q$  值存在差异。 $q$  值从大到小依次为覆膜年限 > 作物 > 覆膜方式 > 土壤质地,覆膜年限是影响地膜残留量空间变化分布的第一主导因素,贡献率达33.24%,作物类型是第二主导因素,其贡献率为31.73%,其次是覆膜方式、土壤质地,贡献率分别为21.79%、18.79%。由此可知,覆膜年限是造成研究区地膜残留量空间变化的重要因素。

## 3 讨论

近20年来,各地区地膜使用强度的持续增加和低地膜回收率使农田残膜污染呈现出日趋严重的态

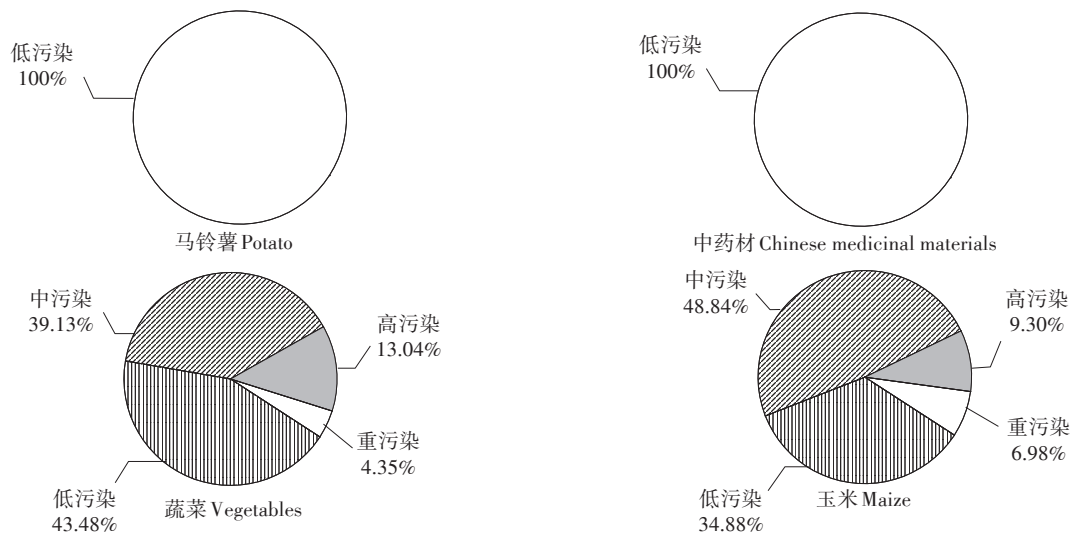


图4 不同种植作物的地膜残留量频率分布

Figure 4 Frequency diagrams of residual plastic film amount in different farm crops



表4 地膜残留量空间变化的因子探测结果

Table 4 Factor detection results of spatial changes in residual plastic film amount

| 影响因子<br>Threat factors | 覆膜年限<br>Mulched<br>years | 覆膜方式<br>Film-covering<br>modes | 作物<br>Farm crops | 土壤质地<br>Soil texture |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------|
| 决定力 $q$ statistic      | 0.332 4                  | 0.217 9                        | 0.317 3          | 0.187 9              |

势<sup>[2]</sup>。2010年全国农田地膜残留量均值为 $59.79\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[28]</sup>,地膜残留总量近 $2\,106\text{ t}$ ,但回收率不足 $66.7\%$ <sup>[1]</sup>。目前,针对东北<sup>[29]</sup>、华北<sup>[12,30]</sup>、内蒙古<sup>[28]</sup>、西南<sup>[31]</sup>等典型残膜污染区域的研究较多,总体来说,北方干旱、半干旱地区比西南冷凉地区地膜使用强度大,地膜覆盖面积广,且北方残膜污染较严重,南北方地膜残留量差异显著。本研究结果表明,张掖绿洲农田地膜残留量空间分布差异性大且空间异质性呈高斯模型分布特征,变幅在 $0.79\sim 114.72\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间,均值为 $25.63\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,整体上低于全国平均水平( $60\sim 165\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )<sup>[32]</sup>,处于中偏低残膜污染状态,这可能与本次调查采样深度( $0\sim 20\text{ cm}$ )有关,其研究结果可能比实际耕层土壤的地膜残留量要低。研究区与东北、华北地区污染水平接近,但比西南地区残膜污染严重。其主要原因可能为:南方地区地形以山地丘陵为主,覆膜耕地面积小且实施人工结合小型机械作业的精耕细作,耕作层普遍较浅,连续覆膜年限短,残膜回收率在 $70\%$ 左右<sup>[33]</sup>。相对而言,北方地区尤其是地广人稀的西北地区气候干旱、水资源紧缺,地膜用量大、覆盖面积广且实施大型机械翻地作业,耕地深度大,连续覆膜时间长且残膜回收率较低。研究区内残膜污染程度分布不均匀,高台县罗城镇花墙子村、临泽县南华镇胜利村、平川镇五里墩村、鸭暖镇古寨村4个样地的农田地膜残留量超过国家地膜残留量限定标准(GB/T 25413—2010,  $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), $96.19\%$ 的调查样地存在残膜重污染隐患。

综合多个对残膜污染影响因素的研究发现,覆膜比例(用量)、覆膜年限、作物种类是制约地膜残留量的主要因素,但土壤质地、农膜本身特性、覆膜方式、距离村庄远近、地膜回收状况等对地膜残留量变化的影响也较突出<sup>[31,34]</sup>。根据以上分析结果并结合本研究区实地调查状况,试验主要考虑覆膜方式、覆膜年限、种植作物、土壤质地4个影响残膜污染的因素。不同覆膜方式导致残膜污染状况存在显著差异<sup>[17]</sup>。这与本研究结果一致,张掖绿洲农田全覆膜、人工覆膜方式下残膜污染较严重,机械覆膜方式下残膜污染

相对较轻。具体表现为机械覆膜使用率要比全覆膜、人工覆膜分别高 $5.75\%$ 、 $26.75\%$ ,但其地膜残留量却比全覆膜、人工覆膜分别低 $59.1\%$ 、 $44.4\%$ ,并且与全覆膜、人工覆膜方式下的残膜污染各等级频率分布状况差异显著。这可能是由于机械覆膜要求地膜紧实、整齐,无残破、断头、扭曲等现象,大型机械作业要求地膜厚度标准高且地膜宽幅要大于垄宽,相比其他两种覆膜方式,机械覆膜使地膜更易机械回收,地膜残留量相对较少<sup>[35]</sup>。随着覆膜年限的增长,地膜残留量也增加,连续覆膜 $10\text{ a}$ 将使农田残膜污染显著恶化,马辉等<sup>[12]</sup>研究发现,覆膜 $2$ 、 $5$ 、 $10\text{ a}$ 的农田土壤地膜残留量依次递增了 $59.1$ 、 $75.3$ 、 $103.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,且主要分布在表层土壤中,连续覆膜 $10\text{ a}$ 与连续覆膜 $5\text{ a}$ 的地膜残留量之间有显著差异。本研究结果与多数研究结论一致,张掖绿洲农田 $10\sim 20\text{ a}$ 与 $5\sim 10\text{ a}$ 覆膜年限下地膜残留量存在极显著差异( $P<0.01$ ),覆膜 $10\text{ a}$ 以下只存在轻度残膜污染,而覆膜 $10\text{ a}$ 以上出现了重度残膜污染,这表明 $10\text{ a}$ 的覆膜年限可能是残膜污染的突变点。其主要原因是张掖地区干旱少雨,大风、沙尘暴等气候灾害时有发生,恶劣的自然条件使地膜易破碎残积在土壤中,随着覆膜时间的延长,农田大型机械作业耕翻、整地次数增多,使残膜埋深程度加深,残膜碎片面积变小,加大了残膜回收的难度,同时也会降低残膜回收率,最终导致残膜污染加剧。作物类型是残膜污染的主要影响因素,诸多学者对残膜污染典型地区的研究肯定了这一结论<sup>[12,14,28-29,31]</sup>。本调查区玉米作物的残膜污染程度最高,这与河西走廊是我国面积最大的玉米制种基地有一定的关系,张掖市位于河西走廊中段,2019年张掖玉米制种面积已达 $6\text{万 hm}^2$ <sup>[36]</sup>,占到农作物播种面积的 $42.17\%$ 。玉米是研究区主要的种植作物,并且玉米地为提高玉米产量和种子品质高强度使用地膜,因此相较于其他种植作物,种植玉米的地膜残留量最多、污染最严重<sup>[2,23]</sup>。本研究不同土壤质地对地膜残留量的影响表现为砂壤土与黏土,壤土与黏土之间的地膜残留量差异极显著。这与其他学者有关壤土与砂土地膜残留量差异显著<sup>[37]</sup>的研究结论有明显差别,究其原因可能是在本研究中土壤质地不是影响残膜污染的直接因素。分析张掖绿洲地膜残留量空间分布差异的主控因素发现,覆膜年限能够独立解释地膜残留量空间变异的 $33.24\%$ ,作物类型与覆膜年限两者合计可以解释 $64.97\%$ ,从本质来说,覆膜年限和作物类型对地膜残留量空间分布的影响都与研究区气候水文条件密不可分。



## 4 结论

(1)张掖绿洲农田整体上存在中度残膜污染,地膜残留量均值为 $25.63\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,低于全国平均水平,但比西南地区严重,研究区内残膜污染空间差异大、空间异质性高,其中临泽县残膜污染最为严重。

(2)不同覆膜方式下,机械覆膜方式造成的地膜残留量相对较少。耕地连续覆膜10 a及以上残膜污染状况显著恶化。研究区种植玉米的农田普遍存在较严重的残膜污染。

(3)张掖绿洲农田存在残膜重污染风险,覆膜年限是地膜残留量区域变化的主控因素,因地制宜地规范地膜使用是减缓、减轻地膜污染的关键措施。

## 参考文献:

- [1] 许咏梅, 房世杰, 马晓鹏, 等. 农用地膜污染防治战略研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 96-102.  
XU Yong-mei, FANG Shi-jie, MA Xiao-peng, et al. Prevention and control strategy for the pollution of agricultural plastic film[J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(5): 96-102.
- [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, 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.
- [3] 严昌荣, 何文清, 梅旭荣, 等. 农用地膜的应用与污染防治[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 76-86.  
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, MEI Xu-rong, et al. Agricultural application of plastic film and its residue pollution prevention[M]. Beijing: Science Press, 2010: 76-86.
- [4] 付鑫, 王俊, 张祺, 等. 秸秆和地膜覆盖对渭北旱作玉米农田土壤氮组分与产量的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6912-6920.  
FU Xin, WANG Jun, ZHANG Qi, et al. Effects of straw and plastic film mulching on soil nitrogen fractions and corn yield in the Weibei rainfed highland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(19): 6912-6920.
- [5] Zhang S, Lövdahl L, Grip H, et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 102(1): 78-86.
- [6] 孙仕军, 朱振闯, 陈志君, 等. 不同颜色地膜和种植密度对春玉米田间地温、耗水及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(19): 3323-3336.  
SUN Shi-jun, ZHU Zhen-chuang, CHEN Zhi-jun, et al. Effects of different colored plastic film mulching and planting density on soil temperature, evapotranspiration and yield of spring maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(19): 3323-3336.
- [7] 于朝贵, 邱振英. 寒地玉米增产新措施——地膜覆盖栽培[J]. 农业工程技术, 1989(1): 9.  
YU Chao-gui, QIU Zhen-ying. A new measure to increase maize yield in cold region: Plastic film mulching cultivation[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 1989(1): 9.
- [8] 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 Wen-qing, YAN Chang-rong, ZHAO Cai-xia, 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.
- [9] Qi R M, Jones D L, Zhen L, et al. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 703: 134722.
- [10] Zhang G S, Hu X B, Zhang X X, et al. Effects of plastic mulch and crop rotation on soil physical properties in rain-fed vegetable production in the mid-Yunnan plateau, China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, 145: 111-117.
- [11] 王频. 残膜污染治理的对策和措施[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 190-193.  
WANG Pin. Measures to reduce the pollution of residual of mulching plastic film in farmland[J]. *Transactions of the CSAE*, 1998, 14(3): 190-193.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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): 3470-3474.  
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): 3470-3474.
- [15] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 71-83.
- [16] 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 Yan, YANG Hu-de. 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.
- [17] 蒙永军, 杨虎德. 河西走廊覆膜方式和地块面积对地膜残留量的影响调查[J]. 甘肃农业科技, 2012(10): 6-9.  
MENG Yong-jun, YANG Hu-de. Investigation on effect of film-covering modes and land area on plastic film residue in Hexi Corridor[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2012(10): 6-9.
- [18] 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.
- [19] 李世凤, 闫治斌, 王学, 等. 河西走廊玉米制种基地生态区划与评述[J]. 农业科技与信息, 2015(3): 15-16.  
LI Shi-feng, YAN Zhi-bin, WANG Xue, et al. The division and evaluation

- ation of ecological environment of maize seed production base in Hexi Corridor[J]. *Agricultural Science - technology and Information*, 2015 (3):15-16.
- [20] 郝兴旺, 张永福, 康建锋. 黑河流域自然地理景观格局变迁与荒漠化研究[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(7):265-268.
- HAO Xing-wang, ZHANG Yong-fu, KANG Jian-feng. Study on transition and desertification of natural geographical landscape pattern in Heihe River basin[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43 (7):265-268.
- [21] 胡文忠. 张掖市土壤母质、土壤与植被的景观多样性比较研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2002.
- HU Wen-zhong. Comparison of the landscape diversity among soil parent material, soil and vegetation in Zhangye, Gansu, China[D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University, 2002.
- [22] 李鸣骥, 石培基. 黑河流域张掖市近38a以来气候变化特征分析[J]. *中国沙漠*, 2007(6):1048-1054.
- LI Ming-ji, SHI Pei-ji. Climate changing characteristics of Zhangye City in Heihe River basin during 1968—2005[J]. *Journal of Desert Research*, 2007(6):1048-1054.
- [23] 辛良杰, 李鹏辉, 李秀彬, 等. 黑河中游绿洲区地膜残留特征及农户行为分析[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(8):1310-1321.
- XIN Liang-jie, LI Peng-hui, LI Xiu-bin, et al. Plastic film residue and farmers' willingness of film recycling in the Oasis area of the Heihe River basin, China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(8):1310-1321.
- [24] 蒙吉军, 李正国. 河西走廊张掖绿洲LUCC的驱动力分析[J]. *地理科学*, 2003, 23(4):464-470.
- MENG Ji-jun, LI Zheng-guo. Analysis on driving factors of LUCC in Zhangye oasis of Hexi Corridor[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(4):464-470.
- [25] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-Scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(5):1501-1511.
- [26] 张小敏, 张秀英, 钟太洋, 等. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. *环境科学*, 2014, 35(2):692-703.
- ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, et al. Spatial distribution and accumulation of heavy metal in arable land soil of China[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(2):692-703.
- [27] 靳国栋, 刘衍聪, 牛文杰. 距离加权反比插值法和克里金插值法的比较[J]. *长春工业大学学报(自然科学版)*, 2003, 24(3):53-57.
- JIN Guo-dong, LIU Yan-cong, NIU Wen-jie. Comparison between Inverse Distance Weighting Method and Kriging[J]. *Journal of Changchun University of Technology (Natural Science Edition)*, 2003, 24(3):53-57.
- [28] 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 Yun-long, LI Xiao-long, ZHANG Sheng, 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.
- [29] 胡会军, 张秀芝, 李强, 等. 吉林省主要覆膜作物地膜残留情况调查[J]. *农业资源与环境学报*, 2013, 30(6):50-52.
- HU Hui-jun, ZHANG Xiu-zhi, LI Qiang, et al. Mulch plastic film residue investigation of the main crops in Jilin Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2013, 30(6):50-52.
- [30] 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 Dan, HU Wan-li, LIU Hong-bin, et al. Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in north China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(3):1-5.
- [31] 黄晶晶, 庞良玉, 罗春燕, 等. 四川攀西地区地膜残留量及影响因素[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(6):2203-2206.
- HUANG Jing-jing, PANG Liang-yu, LUO Chun-yan, et al. Amount of plastic film residues and influence factors in Panxi District of Sichuan Province[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(6):2203-2206.
- [32] 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.
- [33] 蔡金洲, 张富林, 范先鹏, 等. 南方平原地区地膜使用与残留现状调查分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2013, 30(5):23-30.
- CAI Jin-zhou, ZHANG Fu-lin, FAN Xian-peng, et al. The status Quo of film application and residue in the Southern Plains of China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2013, 30(5):23-30.
- [34] 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.
- [35] 郑铁志. 玉米大垄双行覆膜机械化栽培技术要点[J]. *农机科技推广*, 2004(4):26-27.
- ZHENG Tie-zhi. Essentials on mechanized cultivation of maize of large ridge and double rows with plastic film[J]. *Agriculture Machinery Technology Extension*, 2004(4):26-27.
- [36] 张掖市农业农村局. 2019年玉米制种产业形势分析[EB/OL]. (2019-09-09)[2020-06-17]. [http://www.zhangye.gov.cn/nyj/dzdt/gzdt/201909/t20190909\\_319780.html](http://www.zhangye.gov.cn/nyj/dzdt/gzdt/201909/t20190909_319780.html)
- Zhangye Agricultural and Rural Bureau. Analysis on the situation of maize seed production industry in 2019[EB/OL]. (2019-09-09)[2020-06-17]. [http://www.zhangye.gov.cn/nyj/dzdt/gzdt/201909/t20190909\\_319780.html](http://www.zhangye.gov.cn/nyj/dzdt/gzdt/201909/t20190909_319780.html)
- [37] 王鹏, 曹卫彬, 张振国. 新疆建设兵团地膜残留特点的研究[J]. *农机化研究*, 2012, 34(8):107-110, 115.
- WANG Peng, CAO Wei-bin, ZHANG Zhen-guo. Research the characteristics of mulch residue of Xinjiang Production and Construction Group[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34 (8):107-110, 115.