

李元桥, 何文清, 严昌荣, 等. 残留地膜对棉花和玉米苗期根系形态和生理特性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(2): 108-114.

LI Yuan-qiao, HE Wen-qing, YAN Chang-rong, et al. Effects of Agricultural Plastic Residual Films on Morphologic and Physiological Characteristics of Root System of Cotton and Maize in Seedling Stage[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(2): 108-114.

残留地膜对棉花和玉米苗期根系形态和生理特性的影响

李元桥^{1,2}, 何文清^{1,2}, 严昌荣^{1,2}, 郭 瑞^{1,2}, 赵彩霞^{1,2*}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 农业部旱作节水农业重点实验室, 北京 100081)

摘 要:通过盆栽试验,研究不同残膜量(0、90、180、360、540、720、900 kg·hm⁻²)对苗期棉花和玉米生长(干物质、株高和叶面积)、根系形态(根长、根表面积)和根系生理(根系活力、过氧化氢酶 CAT、过氧化物酶 POD)的影响,并探究对两种作物根系影响差异显著的残膜量临界值。结果表明,在 0~540 kg·hm⁻² 残膜量范围内,残膜对苗期棉花的株高和叶面积不会造成显著降低的影响;随着残膜量的增加,苗期玉米株高和叶面积逐渐降低,在 90 kg·hm⁻² 残膜梯度下开始显著降低。随着残膜量的增加,苗期棉花和玉米的根长、根表面积以及根系活力、CAT 和 POD 活性呈现先增加后降低的趋势,最大值出现在 90~180 kg·hm⁻² 残膜量梯度范围内,最小值出现在 900 kg·hm⁻² 残膜量。由于玉米的须根系众多,根系与残膜接触的面积大,导致苗期玉米产生显著差异的残膜量临界值小于苗期棉花。残膜量在 90~180 kg·hm⁻² 区间内,残膜会作为一种适度胁迫,作物苗期根系会主动进行适应性的生长,超过该范围残膜会对作物根系的生长造成阻碍作用。

关键词:残留地膜;根系形态;根系生理;胁迫;棉花;玉米

中图分类号:X53

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)02-0108-07

doi: 10.13254/j.jare.2016.0200

Effects of Agricultural Plastic Residual Films on Morphologic and Physiological Characteristics of Root System of Cotton and Maize in Seedling Stage

LI Yuan-qiao^{1,2}, HE Wen-qing^{1,2}, YAN Chang-rong^{1,2}, GUO Rui^{1,2}, ZHAO Cai-xia^{1,2*}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Dryland Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: Pot experiments were conducted to study the effects of residual films (0, 90, 180, 360, 540, 720, 900 kg·hm⁻²) on growth (dry matter, height and leaf area), root morphology (root length and root surface area) and root physiology (root activity, CAT and POD) for cotton and maize in seedling stage, and the work was also to find the critical value of residual films which made obvious difference for two different crops in growth in seedling stage. The results showed that within the range from 0 to 540 kg·hm⁻², residual films had no significant effect on the cotton height and leaf area in seedling stage, while maize height and leaf area decreased sustainably with the increase of residual films, which began to decrease markedly from the residual level of 90 kg·hm⁻². Root growth and physiological indexes for cotton and maize increased firstly and then decreased with the increasement of residual films. The largest values of the root length and root surface area or the root activity, CAT and POD occurred in residual level of 90 to 180 kg·hm⁻². Maize had the less critical values of residual films than cotton in seedling stage because maize had developed root system and exposed to more residues. It was concluded that appropriate residual films (90 to 180 kg·hm⁻²) may promote the growth of seedling root, and residual films which is over that range will have a negative effect on the growth of seedling root.

Keywords: residual film; root morphology; root physiology; stress; cotton; maize

收稿日期:2016-08-27

基金项目:国家自然科学基金(31370522);国家“十二五”科技支撑计划“旱作农业关键技术研究及示范”项目(2011BAD09B01);农业部公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503105)

作者简介:李元桥(1991—),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事节水灌溉施肥与管理方面的研究。E-mail:lyq949674373@163.com

*通信作者:赵彩霞 E-mail:cauzcx@163.com

地膜覆盖技术在增温抗寒、保墒蓄水、防治杂草等方面发挥着重要的作用^[1-2],随着地膜使用量和地膜覆盖面积的不断增加,残留在土壤中的碎片越来越多,残膜导致的“白色污染”给农业生产和环境带来严重的危害^[3-4]。据统计,过去 30 年大约 20 Mt 地膜已经投入使用,2 Mt 的残膜被遗留在土壤中,我国主要覆膜区域的平均地膜残留量为 50~260 kg·hm⁻²。

土壤中的残留地膜具有韧性和延展性,与作物根系直接接触,对作物根系的生长发育势必造成影响。李青军等^[5]研究发现当残膜量小于 900 kg·hm⁻²时,棉花根系的生长呈现出适应性变化,在耕作层残膜使棉花的根表面积、根长密度、根干重和根冠比增加。刘建国等^[6]研究发现随着覆膜年限增加,残膜破碎度增加,丛生型和鸡爪型的棉花根系形态呈现先增加后下降的变化趋势。解红娥等^[7]研究发现残膜对直根系作物棉花的产量影响较小,对须根系作物玉米的产量影响较大。高青海等^[8]通过盆栽试验研究发现,土壤中残留地膜降低了根系鲜重、根系活力等,严重抑制了番茄幼苗的生长。

根系生理指标包括根系活力、过氧化氢酶、过氧化物酶等。作物的根系活力高,根系的各种生理生化代谢较为旺盛,吸收水分和养分的能力提高,从而保证了作物正常生长发育。过氧化物酶(POD)是一种含铁的蛋白质,对植物呼吸代谢有重要作用^[9]。过氧化氢酶(CAT)可还原细胞产生的 H₂O₂,防止其积累。目前关于残留地膜对作物根系生理的影响研究较少,本文通过选取棉花和玉米两种不同根系的作物(玉米为须根系作物,侧根数量多;棉花根系为直根系作物,主根发达,侧根细)来进行残膜盆栽试验,研究不同残膜量对棉花和玉米幼苗时期的根系形态和根系生理的影响,从残留地膜对作物根系生理的响应来阐释残膜对作物根系的影响机理,并比较 2 种作物幼苗在残膜胁迫时,根系生长和根系生理的差异,并明确残膜对 2 种作物根系影响差异显著的残膜量临界值。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物为玉米和棉花,相应品种分别为新陆

早 48 号和宁玉 524。试验用土取自农业部旱作节水寿阳野外观测站,土壤质地为砂壤土,其供试土壤理化性质见表 1^[10]。将土样风干后过 2 mm 筛备用。每盆装土 16 kg,沙土比为 5:3,即土 10 kg,沙子 6 kg。

1.2 试验设计

采用直径 30 cm,高为 20 cm 的柱形花盆。参考 Yan 等^[11]全国残膜调查,将试验设置 7 个处理,分别为 T0、T1、T2、T3、T4、T5、T6,分别代表土壤残膜量为 0、90、180、360、540、720、900 kg·hm⁻²,2 种作物的残膜处理分别设置 4 个重复。

根据花盆的横截面积和土壤中地膜的大小^[11-12],将地膜裁剪成面积为 25~50 cm² 和 0~25 cm² 两类,根据严昌荣等^[11,13]的残膜分布调查,将面积 25~50 cm² 和 0~25 cm² 两类残膜的质量比例设置为 7:3,按上述要求将残膜均匀混入土壤中,各处理均拌入氮 131 kg·hm⁻² CO(NH₂)₂。

播种前先透灌花盆,放置 2 d 后,每个花盆播入 5 粒种子,每个处理种植 20 棵,待幼苗长到 3 叶 1 心时,留出 2 棵长势好的植株,置于旱棚中。定植后 45 d,选取生长一致的 6 株植株,把整盆土壤及植株幼苗脱盆,用清水反复冲洗根系直至干净,擦干后,装入自封袋,3 份贮存于 4 ℃冰箱冷藏室,用于根系形态的测定。取 3 份根鲜样测定其根系活力,并将测定剩余样品贮存于-80 ℃冰箱中,用于根系生理特性指标的测定。

1.3 测定的指标与方法

根系形态:采用 Epson Perfection V700 Photo 型根系扫描仪,将得到的根系照片用 WinRHIZO 分析根长、根表面积以及根平均直径等。

根系活力的测定采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法^[15]。CAT 活性的测定采用紫外分光光度计法^[16];POD 活性的测定采用愈创木酚法^[17]。

1.4 数据分析

采用单因素方差分析及 LSD 置后检验来确定各处理的指标差异显著性($P=0.05$)。应用 SAS 9.0 软件进行各参数的均值比较,采用 Sigmaplot 12.0 绘制图表。

表 1 供试土壤的理化性质
Table 1 Soil physical and chemical nature

有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	碱解氮 Available nitrogen/mg·kg ⁻¹	田间持水量 Field capacity/%	土壤容重 Soil bulk density/g·cm ⁻³	pH 值	有效磷 Available phosphorus/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available potassium/mg·kg ⁻¹
9.00	85.3	36.2	1.30	8.5	5.10	42.03

2 结果与分析

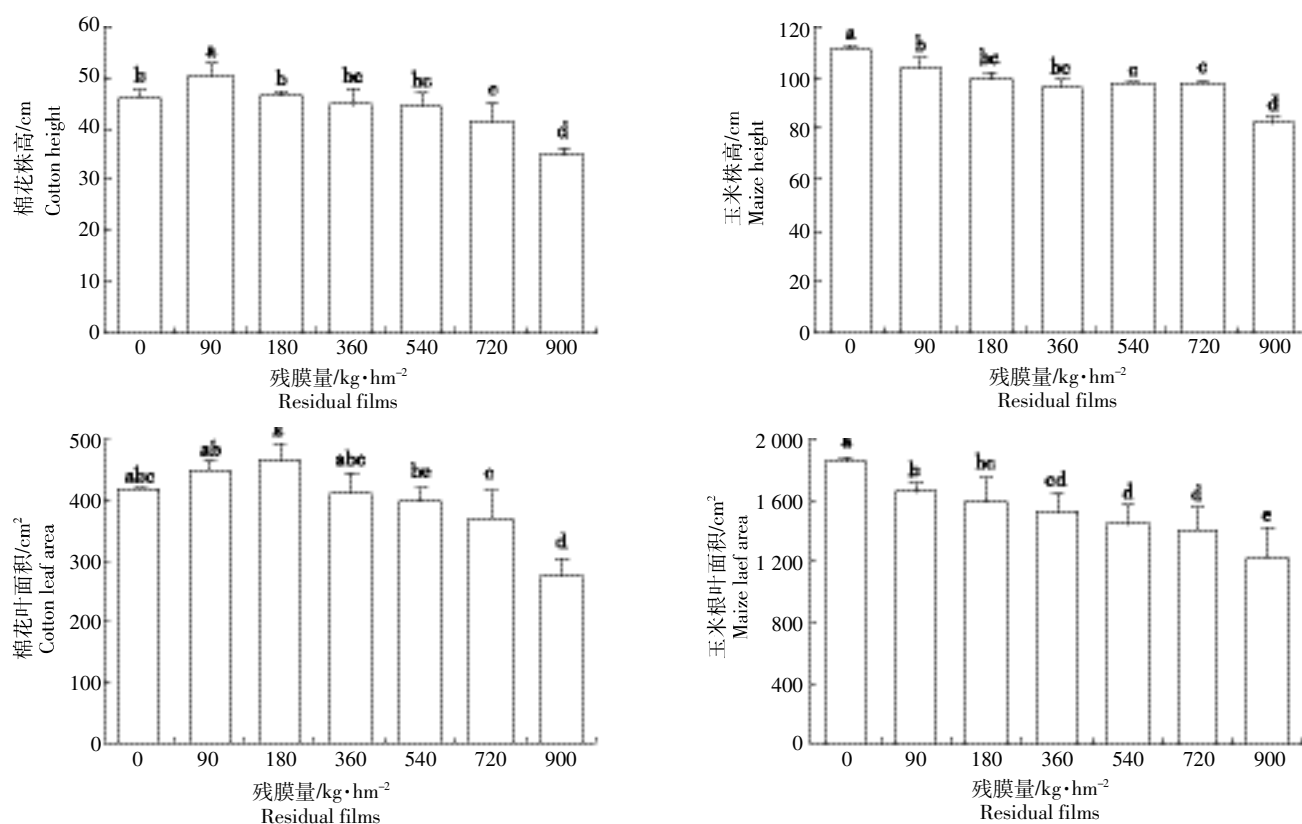
2.1 不同残膜量对苗期棉花和玉米生长的影响

残膜的存在会影响苗期棉花和玉米的生长^[5-7], 苗期棉花和玉米的株高及叶面积的变化如图 1 所示, 随着残膜量的增加, 棉花株高和叶面积呈现先增加后降低的趋势。残膜量在 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花株高达到最大, 为 50.4 cm , 与其他处理差异显著 ($P < 0.05$)。T₂、T₃、T₄ 处理与 T₀ 相比差异不显著, 残膜量在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时株高达到最小, 为 35.2 cm , 与其他处理差异显著 ($P < 0.05$); 破盆取根时棉花的叶面积 T₀、T₁、T₂、T₃、T₄、T₅、T₆ 分别为 418.7 、 450.9 、 466.1 、 413.3 、 398.4 、 370.4 、 277.0 cm^2 , 残膜量在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时叶面积达到最大, T₂ 与 T₀、T₁、T₃ 差异不显著, 与 T₄、T₅、T₆ 差异显著 ($P < 0.05$)。随着残膜量的增加, 玉米株高和叶面积呈现逐渐降低的趋势。无残膜时玉米株高和叶面积达到最大, 分别为 111.5 cm 和 1853.5 cm^2 , 与其他处理差异显著 ($P < 0.05$), 残膜量在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时株高和叶面积达到最小, 与其他处理差异显著 ($P < 0.05$); T₁

株高与 T₂、T₃ 差异不显著, 与 T₄、T₅ 差异显著; T₁ 叶面积与 T₂ 差异不显著, 与 T₃、T₄、T₅ 差异显著。

2.2 不同残膜量对苗期棉花和玉米根系生长的影响

苗期棉花和玉米根系形态的变化如图 2 所示, 随着残膜量的增加, 苗期棉花单株总根长、根表面积呈现先增加后降低的趋势。残膜量在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花根长和根表面积达到最大, 分别为 642.04 cm 和 459.00 cm^2 , T₂ 总根长与其他处理差异显著 ($P < 0.05$), T₁、T₃ 与 T₀ 差异不显著, T₂ 根表面积与 T₀、T₁、T₃ 差异不显著, 残膜量在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时根长和根表面积达到最小, 分别为 363.77 cm 和 263.77 cm^2 , T₆ 总根长与 T₀、T₁、T₂、T₃ 差异显著 ($P < 0.05$), 与 T₄、T₅ 差异不显著。随着残膜量的增加, 苗期玉米单株总根长和根表面积呈现先增加后降低的趋势。残膜量在 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时苗期玉米总根长和根表面积达到最大, 分别为 1536.53 cm 和 2013.11 cm^2 , 总根长 T₁、T₂ 分别与 T₀ 差异显著 ($P < 0.05), T₃、T₄ 分别与 T₀ 差异不显著, 根表面积 T₁ 与 T₀、T₂ 差异不显著, 残膜量在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时总根长和根表面积达到最小, 总$



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同

Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments ($P < 0.05$). The same below

图 1 残膜对苗期棉花和玉米生长的影响

Figure 1 Effect of residual films on growth of cotton and maize in seedling stage

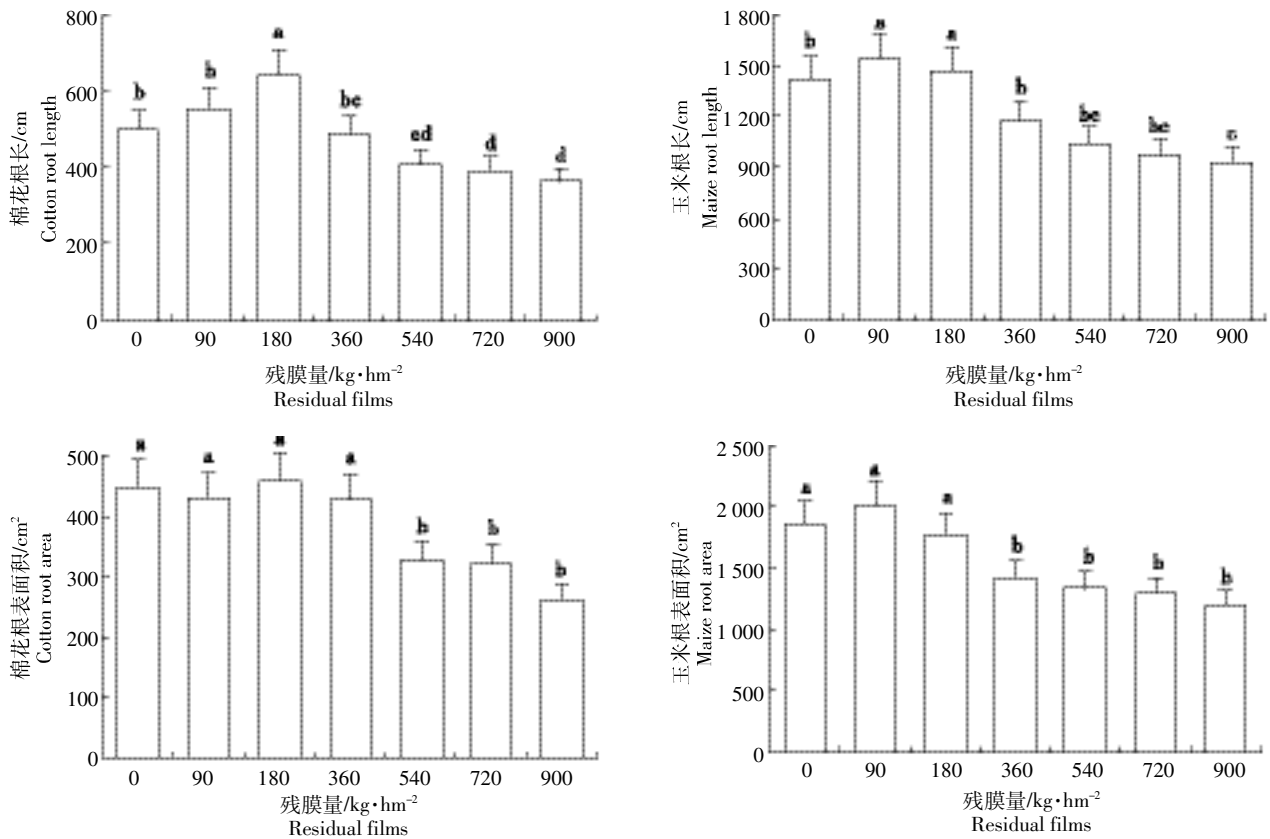


图 2 残膜对苗期棉花和玉米根系形态的影响

Figure 2 Effect of residual films on root growth of cotton and maize in seedling stage

根长 T6 与 T0、T1、T2、T3 差异显著 ($P<0.05$), 与 T4、T5 差异不显著。根表面积 T6 与 T0、T1、T2 差异显著。

不同残膜梯度下苗期棉花和玉米干物质的变化见表 2。棉花的地上部干重和地下部干重随着残膜量的增加先增加后降低, 残膜量在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花地上部干物质达到最大, 但与 T0、T1、T3 差异不显著, 与 T4、T5、T6 差异显著。随着残膜量的增加, 玉米地上部干重逐渐降低, 无残膜时地上部干重达到最大, 与其他处理差异显著 ($P<0.05$), 残膜量在 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时地上部干重达到最小, 与其他处理差异显著 ($P<$

0.05); T1 与 T2、T3 差异不显著, 与 T4、T5 差异显著。玉米地下部干重随着残膜量的增加先增加后降低, 残膜量在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时玉米地下部干物质达到最大, 为 $2.94 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 与 T0、T1 差异不显著, 与 T3、T4、T5、T6 差异显著。

2.3 残膜对苗期棉花和玉米根系生理的影响

苗期棉花和玉米根系生理的变化如图 3 所示, 随着残膜量的增加, 苗期棉花的根系活力、CAT 和 POD 活性呈现先增加后降低的趋势。残膜量在 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时根系活力达到最大, 为 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$, 与其他

表 2 残膜对苗期棉花和玉米干物质的影响

Table 2 Effect of residual films on dry matter of cotton and maize in seedling stage

处理 Treatments	残膜量 Residual films/kg·hm ⁻²	棉花地上部干重 Cotton shoot biomass/g·株 ⁻¹	棉花地下部干重 Cotton root biomass/g·株 ⁻¹	玉米地上部干重 Maize shoot biomass/g·株 ⁻¹	玉米地下部干重 Maize root biomass/g·株 ⁻¹
T0	0	3.10±0.38ab	1.02±0.22ab	10.05±0.35a	2.89±0.21a
T1	90	3.10±0.29ab	1.02±0.23ab	8.25±0.15b	2.91±0.12a
T2	180	3.40±0.30a	1.12±0.24a	8.01±1.41b	2.94±0.16a
T3	360	3.15±0.46ab	1.04±0.25ab	7.41±1.31bc	2.24±0.36b
T4	540	3.03±0.12b	1.00±0.27b	6.45±0.55c	1.95±0.16b
T5	720	3.00±0.25b	1.00±0.28b	6.32±0.90c	1.91±0.31b
T6	900	2.60±0.17c	0.86±0.07c	4.55±0.45d	1.38±0.17c

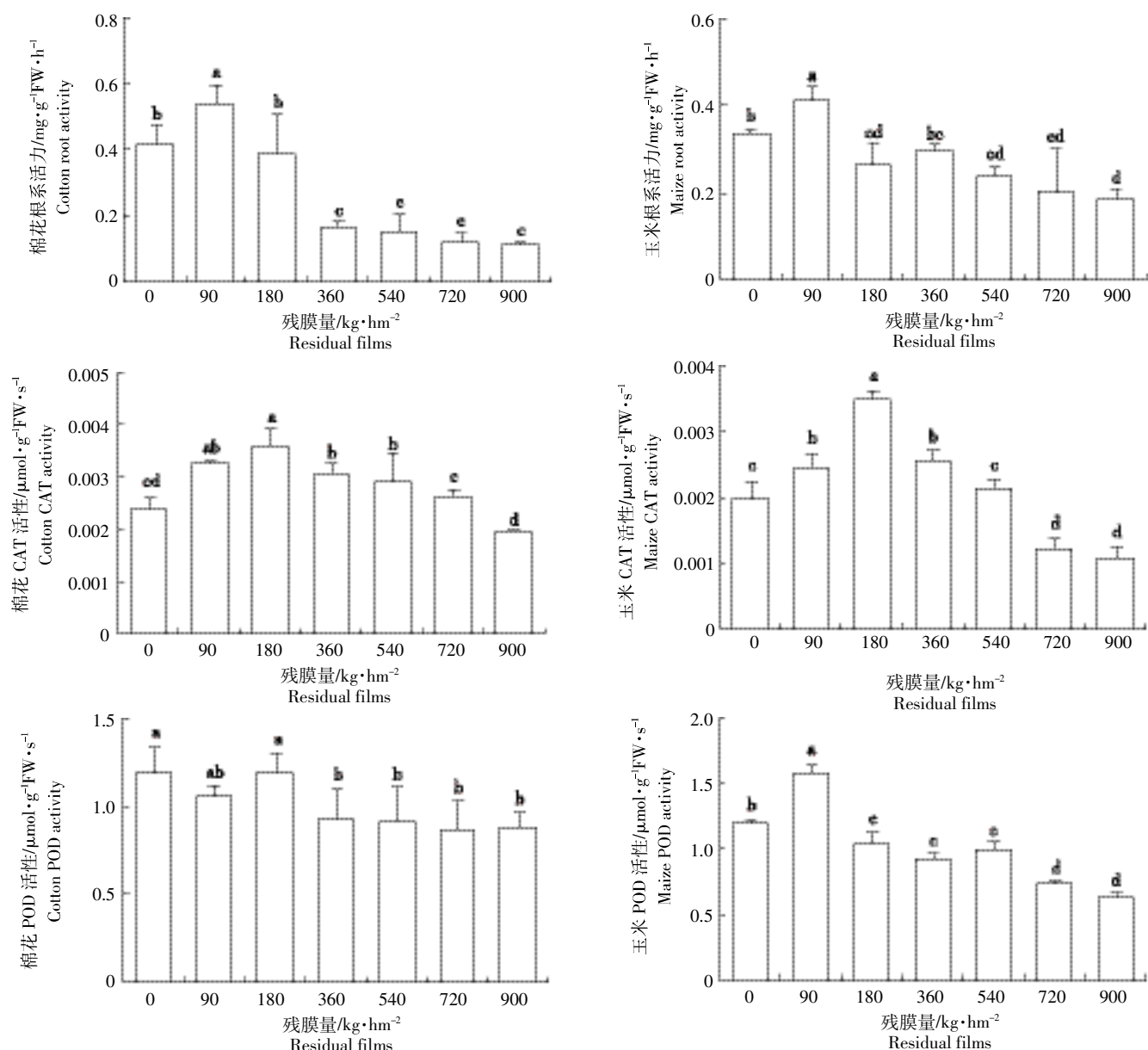


图 3 残膜对苗期棉花和玉米根系生理的影响

Figure 3 Effect of residual films on physiological feature of cotton and maize root in seedling stage

处理差异显著。T2 与 T0 差异不显著,与 T3、T4、T5、T6 差异显著。残膜量在 180 kg·hm⁻² 时 CAT 和 POD 活性达到最大,分别为 0.003 6 μmol·g⁻¹FW·s⁻¹ 和 1.19 μmol·g⁻¹FW·s⁻¹,CAT 活性 T2 与 T0、T3、T5、T6 差异显著,与 T1、T4 差异不显著;POD 活性 T2 与 T0、T1 差异不显著,与 T3、T4、T5、T6 差异显著。

随着残膜量的增加,苗期玉米的根系活力、CAT 和 POD 活性呈现先增加后降低的趋势。残膜量在 90 kg·hm⁻² 时根系活力和 POD 活性达到最大,分别为 0.412 mg·g⁻¹FW·h⁻¹ 和 1.576 μmol·g⁻¹FW·s⁻¹,与其他处理差异显著。根系活力 T2、T4、T5、T6 与 T0 差异显

著;POD 活性 T2、T3、T4、T5、T6 与 T0 相比显著降低。残膜量在 180 kg·hm⁻² 时 CAT 活性达到最大,为 0.003 5 μmol·g⁻¹FW·s⁻¹,与其他处理差异显著;T1、T3 与 T0 差异显著,T4 与 T0 差异不显著,T5、T6 与其他处理差异显著。

3 讨论

本文通过设置 7 个残膜梯度,研究了残留地膜对棉花和玉米苗期根系形态和生理的影响。株高和叶面积是反映作物发育强度的重要指标,残膜的存在会影响作物的发育。辛静静等^[14]研究发现残膜梯度为

180、360 kg·hm⁻² 和 720 kg·hm⁻² 的玉米在苗期株高分别比无残膜处理低 3.3%、11.9%和 16.8%，并认为残膜对苗期玉米叶面积影响明显。而本文研究结果表明残膜在 0~540 kg·hm⁻² 范围内对苗期棉花的株高和叶面积不会造成显著降低的影响，随着残膜量的增加，苗期玉米株高和叶面积呈现逐渐降低的趋势。棉花株高和叶面积从 900 kg·hm⁻² 残膜梯度开始显著降低；玉米株高和叶面积在 90 kg·hm⁻² 残膜梯度下开始显著降低。

土壤中的残留地膜具有韧性和延展性，与作物根系直接接触，根系在生长过程中难以穿透残膜，进而残膜会影响根系的生长发育。根系形态指标直接反映了根系的生长状况，本文研究表明苗期棉花的根系根长和根表面积在 180 kg·hm⁻² 出现最大值，苗期玉米根系根长和根表面积在 90 kg·hm⁻² 出现最大值，说明适量的残膜能够刺激根系形态的生长，根系产生适应性变化，这与李青军等^[5]、刘建国等^[6]、解红娥等^[7]的研究结果一致，残膜量超过 180 kg·hm⁻²，根系形态指标随残膜量的增加逐渐降低，苗期棉花在 540 kg·hm⁻² 梯度上的根表面积显著降低，苗期玉米在 360 kg·hm⁻² 梯度上根长和根表面积显著降低。

苗期棉花和玉米的根系活力、CAT 活性和 POD 活性随着残膜量的增加都呈现先增加后降低的变化趋势，最大值出现在 90 kg·hm⁻² 或 180 kg·hm⁻² 这两个残膜梯度上，说明残膜量在 90~180 kg·hm⁻² 区间内，残膜会增加作物苗期根系生理活性，苗期棉花 POD 活性从 360 kg·hm⁻² 残膜梯度起显著降低，苗期玉米 POD 活性从 180 kg·hm⁻² 残膜梯度开始显著降低。另外棉花根系活力在 360~900 kg·hm⁻² 残膜范围内过

小，是因为开始取根时，流水冲掉的根系较多，使得取到的根尖数量较少，以致测定其根系活力时选根不足，属于操作上的失误。

残膜对苗期棉花和玉米根系生理指标的影响，表明适量的残膜会提高根系抗逆性酶的含量，进而刺激根系的生长，根系产生适应性变化，使根系根长和根表面积增加，进而提高地上部的株高、叶面积和干物质。比较苗期棉花和玉米生长和根系生理指标，苗期棉花的开始显著降低的残膜梯度大于苗期玉米，这可能是因为玉米是须根系作物，苗期须根多，在土壤中的伸展范围广，与残膜接触的程度大，受残膜影响大；而棉花是直根系作物，苗期侧根细小，主根发达，故受残膜的影响小(图 4)。

4 结论

(1)在 0~540 kg·hm⁻² 残膜量范围内，残膜对苗期棉花的株高和叶面积不会造成显著降低的影响；随着残膜量的增加，苗期玉米株高和叶面积逐渐降低，在 90 kg·hm⁻² 残膜梯度下开始显著降低。

(2)随着残膜量的增加，棉花和玉米的根系形态和生理指标都呈现先增加后降低的趋势，根长和根表面积以及根系活力、过氧化物酶和过氧化氢酶活性的最大值出现在 90 kg·hm⁻² 或 180 kg·hm⁻² 残膜梯度上。残膜量在 90~180 kg·hm⁻² 区间内，残膜会作为一种适度胁迫，作物苗期根系会主动进行适应性的生长，超过该范围残膜会对作物根系的生长造成阻碍作用。

(3)两种不同根系的作物，对残膜具有不同的响应，苗期棉花的生长和根系生理指标开始显著降低的残膜梯度大于苗期玉米。

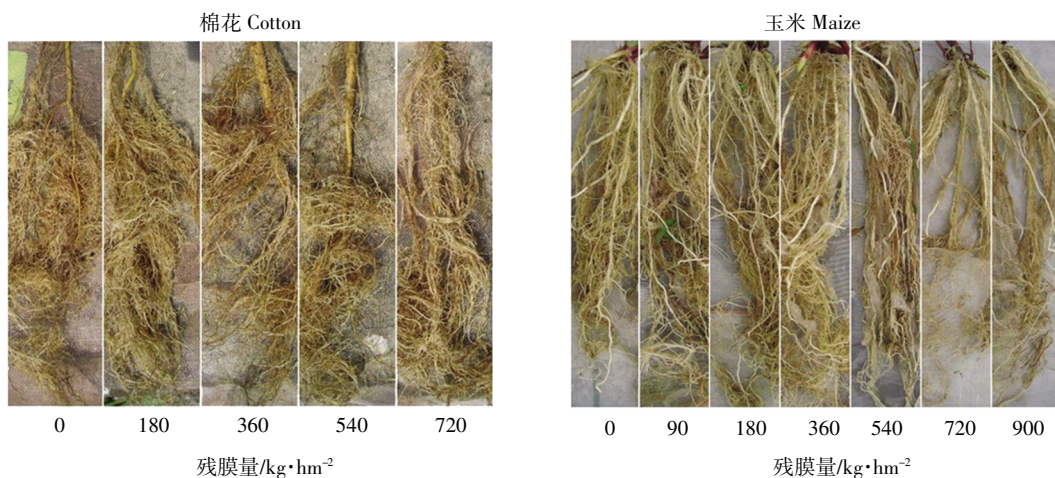


图 4 棉花和玉米根系照片

Figure 4 Root pictures of maize and cotton

参考文献:

- [1] Ammala A, Bateman S, Dean K, et al. An overview of degradable and biodegradable polyolefins[J]. *Progress in Polymer Science*, 2011, 36(8): 1015-1049.
- [2] Fisher P D. An alternative plastic mulching system for improved water management in dryland maize production[J]. *Agricultural Water Management*, 1995, 27(2): 155-166.
- [3] Zeng L S, Zhou Z F, Shi Y X. Environmental problems and control ways of plastic film in agricultural production[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 295: 2187-2190.
- [4] 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(9): 091001.
- [5] 李青军,危常州,雷咏雯,等. 白色污染对棉花根系生长发育的影响[J]. *新疆农业科学*, 2008, 45(5): 769-775.
LI Qing-jun, WEI Chang-zhou, LEI Yong-wen, et al. Influence of white pollution on root growth of cotton[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(5): 769-775. (in Chinese)
- [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 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)
- [7] 解红娥,李永山,杨淑巧,等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(S1):153-156.
XIE Hong-e, LI Yong-shan, YANG Shu-qiao, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(S1):153-156. (in Chinese)
- [8] 高青海,陆晓民. 残留地膜对番茄幼苗形态和生理特性的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2011, 19(5): 425-429.
GAO Qing-hai, LU Xiao-min. Effects of plastic film residue on morphology and physiological characteristics of tomato seedlings[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2011, 19(5): 425-429. (in Chinese)
- [9] Cheeseman J M. Mechanisms of salinity tolerance in plants[J]. *Plant Physiology*, 1988, 87(3): 547-550.
- [10] 高翔,龚道枝,顾峰雪,等. 覆膜抑制土壤呼吸提高旱作春玉米产量[J]. *农业工程学报*, 2014(6): 62-70.
GAO Xiang, GONG Dao-zhi, GU Feng-xue, et al. Inhibiting soil respiration and improving yield of spring maize in fields with plastic film mulching[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014(6): 62-70. (in Chinese)
- [11] Yan C R, He W Q, Neil C, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: Importance and problems[J]. *World Agriculture*, 2014, 4(2): 32-36.
- [12] 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 He-gan, LIU Tong, LI Yong-guan, 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. (in Chinese)
- [13] 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)
- [14] 辛静静,史海滨,李仙岳,等. 残留地膜对玉米生长发育和产量影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(3): 52-54.
XIN Jing-jing, SHI Hai-bin, LI Xian-yue, et al. Effects of plastic film residue on growth and yield of maize[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 33(3): 52-54. (in Chinese)
- [15] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. (第三版). 北京:高等教育出版社, 1990: 34, 123.
ZHANG Zhi-liang. Plant physiology experiment guidance[M]. (Third edition) Beijing: Higher Education Press, 1990:34,123. (in Chinese)
- [16] Kato M, Shimizu S. Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves; phenolic-dependent peroxidative degradation[J]. *Botany-botanique*, 1987, 65(4):729-735.
- [17] Scebba F, Sebastiani L, Vitagliano C. Activities of antioxidant enzymes during senescence of prunus armeniaca leaves[J]. *Biologia Plantarum*, 2001, 44(1): 41-46.