

DOI: 10.11766/trxb201906030257

高维常, 蔡凯, 曾隍涛, 林叶春, 吴思, 罗小宝, 潘文杰, 李震. 农用地膜残留对土壤氮素运移及烤烟根系生长的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1556–1563.

GAO Weichang, CAI Kai, ZENG Yuntao, LIN Yechun, WU Si, LUO Xiaobao, PAN Wenjie, LI Zhen. Impacts of Mulching Plastic Film Residue on Migration of Soil Nitrogen and Growth of Flue-cured Tobacco Roots[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(6): 1556–1563.

农用地膜残留对土壤氮素运移及烤烟根系生长的影响*

高维常¹, 蔡凯¹, 曾隍涛², 林叶春¹, 吴思³, 罗小宝¹, 潘文杰¹,
李震^{4†}

(1. 贵州省烟草科学研究院, 烟草行业山地烤烟品质与生态重点实验室, 贵阳 550081; 2. 贵州省烟草公司, 贵阳 550004; 3. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 4. 黔西南州烟草公司, 贵州兴义 562400)

摘要:为了揭示不同残膜量对土壤硝态氮和铵态氮运移及烤烟根系生长的影响, 设置 0 (CK)、450 kg·hm⁻² (T1)、900 kg·hm⁻² (T2) 以及 1350 kg·hm⁻² (T3) 四个残膜梯度, 进行土柱淋溶试验和盆栽试验, 测定土壤硝态氮和铵态氮含量以及烤烟根长、根表面积、根体积、平均根系直径、根尖数和干物质累积量等指标。结果表明, 地膜残留对土壤养分运动产生阻滞作用, 硝态氮和铵态氮的迁移明显减弱; 随着残膜量的增加, 烤烟根长、根表面积、根体积等根系形态参数逐渐降低, 根系生长受到抑制。当残膜量高于 900 kg·hm⁻² 时, 对烤烟根部和地上部生长产生明显影响。因此, 地膜残留会明显阻碍土壤养分的运移并制约烤烟的生长发育。

关键词: 残膜; 硝态氮; 铵态氮; 烤烟; 根系形态

中图分类号: S153 **文献标志码:** A

Impacts of Mulching Plastic Film Residue on Migration of Soil Nitrogen and Growth of Flue-cured Tobacco Roots

GAO Weichang¹, CAI Kai¹, ZENG Yuntao², LIN Yechun¹, WU Si³, LUO Xiaobao¹, PAN Wenjie¹, LI Zhen^{4†}

(1. Guizhou Academy of Tobacco Science, Upland Flue-cured Tobacco Quality & Ecology Key Laboratory of China Tobacco, Guiyang 550081, China; 2. Guizhou Tobacco Corporation, Guiyang 550004, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 4. Qianxinan Prefecture Tobacco Company, Xingyi, Guizhou 562400, China)

Abstract: To explore impacts of mulching plastic film residue (MPFR) on migration of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in soil and growth of flue-cured tobacco roots. A pot experiment coupled with soil column leaching test and was conducted and had the pots divided into four groups or treatments different in amount of MPFR in the soil, i.e. 0 (CK),

* 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑[2018]2335、黔科合基础[2019]1212) 和中国烟草总公司贵州省公司科技项目 (201933、201722) 资助 Supported by the Science and Technology Project of Guizhou Province of China (Nos. [2018]2335 and [2019]1212) and the Science and Technology Project of Guizhou Provincial Corporation of China Tobacco Company (Nos. 201933 and 201722)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhenli56@163.com

作者简介: 高维常 (1983—), 男, 副研究员, 主要从事农田污染防治与栽培技术研究。E-mail: gzyksg@163.com

收稿日期: 2019-06-03; 收到修改稿日期: 2019-08-12; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2019-09-24

450 kg·hm⁻² (T1), 900 kg·hm⁻² (T2) and 1 350 kg·hm⁻² (T3); contents of soil nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in different soil layers were determined, and length, surface area, volume, diameter and number of root tips and dry matter accumulation of flue-cured tobacco were also measured. MPFR in the soil retarded movement of soil nutrient, and hence migration of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in the soil significantly; MPFR inhibited development of flue-cured tobacco roots and affected, morphology parameters of the roots, such as length, surface area and volume, which decreased gradually with increasing amount of MPFR. When MPFR in the soil reached ≥ 900 kg·hm⁻² in amount, it significant impeded growth of the underground and aboveground parts of the flue-cured tobacco. So, it is quite obviously that mulching plastic residues in the fields will inhibit migration of soil nutrients and growth and development of the flue-cured tobacco therein.

Key words: MPFR (mulching plastic film residue); Nitrate nitrogen; Ammonium nitrogen; Flue-cured tobacco; Roots morphology

土壤是人类赖以生存和发展的基石。当前土壤污染除农药^[1]、重金属^[2]污染外,由于大量使用的农用地膜降解难、循环利用难度大和成本高,导致其在农田土壤中大量累积而造成土壤污染^[3]。诸多研究表明,残膜会增大农事作业阻力,恶化农田土壤质量,造成作物减产,引起次生环境污染^[4-6]。近年来,为积极应对土壤污染问题,广大研究者正在积极探索解决方案^[7-8]。

我国是世界第一植烟大国,常年植烟面积约 140 万 hm²,地膜是我国烟草栽培必要的生产资料,已广泛使用多年,几乎所有烟田均要覆膜,地膜用量一般约 80 kg·hm⁻²。由于以往使用的几乎全为非降解膜,因此残膜在我国烟田中广泛存在。据苏国樟等^[9]对贵州毕节烟区 26 个代表性烟田的残膜调查发现,0~25 cm 土层残膜平均总重量为 194.3 kg·hm⁻²,残膜片数高约 49 万张,92.2%的残膜分布于地表和 10 cm 以上土层。虽然我国烟田残膜现象普遍,但对烟田地膜的已有研究主要集中于地膜覆盖及其方式对土壤理化性质、烤烟根系发育、产量和品质的影响上^[10],而关于残膜对土壤中物质迁移以及残留于土壤中对烤烟生长发育的影响迄今鲜有报道。氮素在所有营养元素中对烤烟产量、质量影响最大^[11]。硝态氮及铵态氮是烤烟能够吸收的主要有效氮源,不同形态的氮素营养(铵态氮、硝态氮)影响着烤烟的某些有机成分的含量和烟叶产量^[12]。为此,本文通过贵州代表性烟田土壤淋溶试验和盆栽试验,初步探明不同残膜量对土壤硝态氮和铵态氮迁移及烤烟根系生长的影响,旨在为我国烟田的残膜防治、土壤健康和可持续利用提供科学建议。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自位于贵州省开阳县龙岗镇的典型黄壤表土(0~20 cm),基础地力为 pH 5.72,有机质 44.06 g·kg⁻¹,全氮 2.2 g·kg⁻¹,碱解氮 126.6 mg·kg⁻¹,硝态氮 33.79 mg·kg⁻¹,铵态氮 21.28 mg·kg⁻¹,有效磷 58.06 mg·kg⁻¹,速效钾 554.5 mg·kg⁻¹,总体上属于植烟肥力略高的土壤^[13]。所取土壤经自然风干、去杂和研磨后,过 20 目筛(0.85 mm)用于淋溶试验和盆栽试验。

供试地膜为贵州科泰天兴农业科技有限公司生产的厚 0.08 mm 的烟用无色地膜。

供试烤烟品种为贵州省烟草科学研究院良种繁育研究中心提供的 K326,采用漂浮育苗。

1.2 试验设计

残膜量和大小设置:烟田地膜残膜量和大小组成依据课题组前期的调查结果确定,淋溶试验和盆栽试验均设置 4 个残膜量:无地膜(CK),地膜残留量分别为 450 kg·hm⁻² (T1)、900 kg·hm⁻² (T2) 和 1 350 kg·hm⁻² (T3),各处理 3 次重复。残片大小构成为:小于 10 cm²、20 cm²左右和 30 cm²左右的膜片分别占残膜总量的 20%、60%和 20%。

淋溶试验:采用间歇淋溶法,用 200 目(0.075 mm)滤布封住 PVC(聚氯乙烯)管(内径 7 cm、长 35 cm)底口,将混有残膜的土壤均匀装入管中,土壤高度保持 30 cm,土表放置 2 cm 厚的石英砂,以防加水时扰乱土层,再留 3 cm 高度空间作为灌水用。装填完成后,在各 PVC 管中分别加去离子水 200 mL,

平衡 48 h。然后加 $137.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氮 (N) 营养液各 150 mL, 入渗 24 h 后, 分别用 450 mL 的去离子水分 3 次进行淋溶, 每次淋溶间隔时间为 24 h。最后按 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 及大于 25 cm 的深度取出淋溶后 PVC 管中土壤测定分析。

盆栽试验: 采用盆底直径 30 cm、盆高 30 cm、盆口直径 45 cm 的塑料盆进行盆栽试验, 每盆装土 20 kg, 每个处理 16 盆, 每盆种 1 株烟, 肥料为烤烟专用基肥 (N : P_2O_5 : K_2O = 10 : 10 : 25) 和追肥 (N : P_2O_5 : K_2O = 10 : 0 : 30), 单盆 (株) 施肥量基肥为 40.90 g、追肥为 27.27 g, 在移栽前将基追肥同土混匀一次性施入。

1.3 观测项目与方法

淋溶试验土壤硝态氮和铵态氮含量测定: 利用全自动间断化学成分分析仪 (Smartchem 200, AMS, 意大利) 参照操作说明书测定各土层硝态氮和铵态氮含量。

盆栽试验根系参数和生物量测定: 于栽后 30 d 每个处理各取 3 株烤烟, 采用根系扫描分析系统 (WinRHIZO, Regent, 加拿大) 测定植株根系生物学性状, 包括总根长、总根表面积、总根体积、平均根系直径和根尖数。于栽后 30、60 和 90 d 每处理各取 3 株烤烟, 在 105°C 下杀青, 75°C 烘干, 用百分之一

天平测定植株地上部和地下部 (根系) 的干物质量。

1.4 数据统计分析

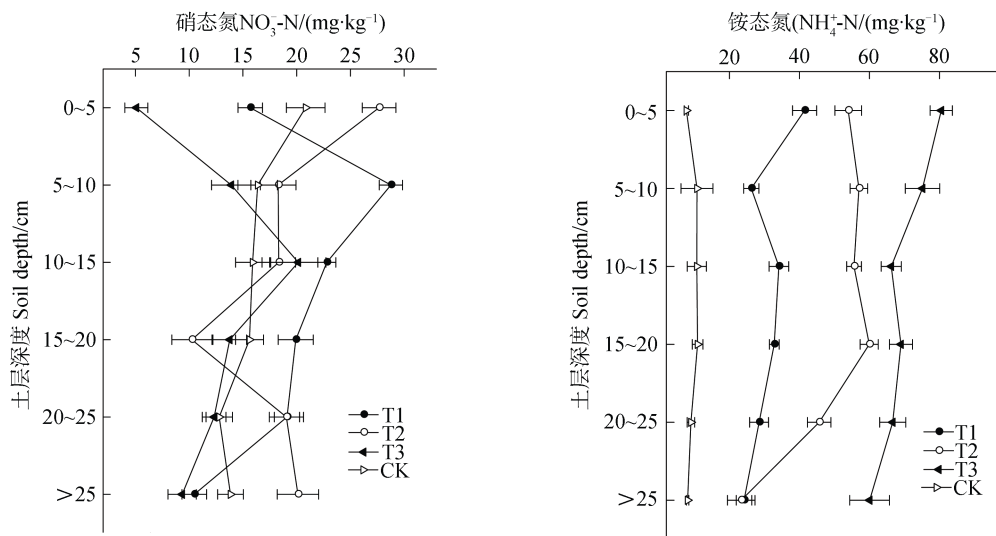
数据处理和统计采用 Microsoft Excel 2016 和 DPS 17.10 软件, 用邓肯 (Duncan) 新复极差法比较不同处理间的差异显著性, 用 SigmaPlot12.0 软件作图。

2 结果

2.1 不同残膜量对土壤氮素运移的影响

不同残膜量对土壤硝态氮和铵态氮运移的影响如图 1 所示。

就淋溶试验各土层中硝态氮含量而言 (图 1 左), 不同处理硝态氮含量的剖面分布趋势较为复杂, CK 处理 0~5 cm 土层硝态氮含量最高, 为 $20.84 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 20~25 cm 土层最低, 为 $12.80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。相比之下, 有残膜的 3 个处理各土层硝态氮含量波动较大。T1 的处理 5~10 cm 土层硝态氮含量最高, 为 $28.77 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 大于 25 cm 土层最低, 为 $10.48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。T2 的处理 0~5 cm 土层硝态氮含量最高, 为 $27.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 15~20 cm 层最低, 为 $10.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。T3 处理 10~15 cm 土层硝态氮含量最高, 为 $20.15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 0~5 cm 土层最低, 为 $5.08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。就差异显著性而言, CK、T1、T2 三个处理各土层



注: CK、T1、T2、T3 处理分别代表土壤中残膜量 0、450、900、1 350 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 下同。Note: Treatment CK, T1, T2 and, T3 means pots containing 0, 450, 900 and, 1 350 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ of mulching plastic film residue, respectively, the same below.

图 1 各处理残膜量对土壤氮素运移的影响

Fig. 1 Impacts of MPFR (mulching plastic film residue) on migration of soil nitrogen relative to treatment

之间硝态氮含量差异不显著, 但 T3 0~5 cm 土层与 10~15 cm 土层之间差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 10~15 cm 土层与大于 25 cm 土层之间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

就淋溶试验各土层中铵态氮含量而言(图 1 右), 不同处理铵态氮的剖面分布规律较为清晰, CK 处理在各土层中铵态氮含量几乎一致, 有残膜的 3 个处理各土层铵态氮含量则出现明显的波动, 并表现出随着残膜量的增加, 铵态氮流失降低的趋势。CK 处理 5~10 cm 土层铵态氮含量最高, 为 $10.90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 0~5 cm 层最低, 为 $7.70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。T1 处理 0~5 cm 土层铵态氮含量最高, 为 $41.46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 大于 25 cm 土层最低, 为 $24.18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。T2 处理 15~20 cm 土层铵态氮含量最高, 为 $59.93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 大于 25 cm 土层最低, 为 $23.36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。T3 处理 0~5 cm 土层铵态氮含量最高, 为 $80.51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 大于 25 cm 土层最低,

为 $60.05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。就差异显著性而言, CK、T1 处理各土层之间硝态氮含量差异不显著; T2 处理大于 25 cm 土层与 20~25 cm 土层之间差异达显著水平 ($P < 0.05$), 大于 25 cm 土层与其他各层之间达极显著水平 ($P < 0.01$); T3 处理 0~5 cm 土层与 10~25 cm 各层之间差异达显著水平 ($P < 0.05$), 大于 25 cm 土层与 0~10 cm 各层之间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.2 不同残膜量对烤烟根系形态变化的影响

盆栽试验烤烟移栽后 30 d 根系的形态变化见表 1。T1 处理的烤烟根长、根表面积、根体积和根尖数均优于 CK, 两者间除根尖数外, 其他指标均差异不显著。随着残膜量的增加, 烤烟根系生长发育明显受到影响。T2 和 T3 处理的根长、根表面积、根体积和根尖数明显减少, T2 和 T3 处理的根长和根尖数均显著低于 CK。根系直径以 T2 最大, 且显著高于其他处理, 而 T1、T3 和 CK 之间差异不显著。

表 1 残膜对烤烟根系形态的影响

Table 1 Impacts of MPFR on morphological parameters of the flue-cured tobacco root relative to treatment

处理 Treatment	根长 Root length/ cm	根表面积 Root surface area/ cm ²	根体积 Root volume/ cm ³	根直径 Root diameter/ mm	根尖数 Root tip number
T1	809.5±16.3aA	212.1±15.5aA	4.44±0.35aA	0.83±0.06bB	1 729±139aA
T2	377.7±12.0bBC	115.3±16.0bcAB	2.81±0.46abAB	0.96±0.03aA	472±200cB
T3	298.1±19.4bC	76.01±10.8cB	1.55±0.40bB	0.81±0.05bB	661±134cB
CK	648.8±16.4aAB	170.1±10.1abAB	3.56±0.34aAB	0.84±0.04bB	1 482±126bA

注: 同列不同大小写字母分别表示处理间差异达到 0.05 和 0.01 的显著性。下同。Note: Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 or 0.01 levels, respectively. The same below.

2.3 不同残膜量对烤烟干物质的影响

盆栽试验不同残膜梯度下不同时期烤烟地上部和根部的干物质质量见表 2。根部干物质质量和地上部干物质质量随着残膜量的增加逐渐减少, 根部干物质质量和地上部干物质质量在不同时期均表现为: CK>T1>T2.T3 (T1 处理在栽后 30 d 除外)。CK 处理烤烟根部干物质质量和地上部干物质质量在栽后 60 d 和 90 d 均表现最大。T1 处理栽后 30 d、60 d 和 90 d 的烤烟根部干物质质量和地上部干物质质量与 CK 较为接近, 且均未达到显著水平。T2 和 T3 处理各时期烤烟根部干物质质量和地上部干物质质量低于 CK 和 T1, 从差异显著性来看, 根部干物质质量在 30 d 和 90 d 时, T2、T3 显著低于 CK ($P < 0.05$), 在 60 d 时, T3 显著低

于 CK ($P < 0.05$); 而地上部干物质质量在 90 d 时, T3 显著低于 CK ($P < 0.05$), 其余各指标间差异不显著。

根系形态参数与烟株根部、地上部相关性见表 3。总根长、总根表面积、总根体积均与根部干物质质量、地上部干物质质量呈极显著正相关。说明残膜对烟株根系造成影响的同时, 必将影响烟株地上部的正常生长。

3 讨论

3.1 残膜对土壤养分迁移的影响

地膜具有韧性和延展性, 残留于土壤中, 其分布的随机性会影响水分在土壤中的正常运移与分布^[14]。

表 2 残膜对烤烟干物质质量的影响

Table 2 Impacts of MPFR on dry matter accumulation of the flue-cured tobacco relative to treatment

处理 Treatment	根部干物质质量 Dry mass of root/ (g·plant ⁻¹)			地上部干物质质量 Dry mass of above ground/ (g·plant ⁻¹)		
	30 d	60 d	90 d	30 d	60 d	90 d
	T1	0.40aA	12.64abA	35.13abA	4.28aA	55.94aA
T2	0.23bA	9.40abA	26.10bA	2.88aA	49.76aA	154.6abA
T3	0.16bA	6.54bA	23.51bA	1.74aA	43.26aA	137.9bA
CK	0.34aA	15.05aA	53.71aA	3.68aA	66.41aA	196.5aA

表 3 烤烟根系形态与干物质相关性

Table 3 Correlations between root morphology and dry matter of the flue-cured tobacco

	根部干物质质量 Dry mass of root	地上部干物质质量 Dry mass of above ground
总根长 Total root length	0.840**	0.755**
总根表面积 Total root surface area	0.804**	0.818**
总根体积 Total root volume	0.737**	0.848**

注: **表示根系形态与地下、地上干物质的相关性极显著 (0.01 水平)。Note: ** mean significant correlation at $P < 0.01$ level.

邹小阳等^[15]研究发现残膜阻滞系数随残膜增多而增大,认为残膜在土壤中形成隔离层,形成了一个不连续水分运动通道,会降低土壤水分的垂直入渗能力和水平能力。王春颖等^[16]认为残膜阻碍土壤水分的垂直入渗和水平运移的机理一致,残膜在土壤中形成隔离层,破坏了土壤质地均匀性和土体构型,改变残膜与土壤交界面土水势,减少了土壤中大孔隙数量,降低土壤过水能力,导致残膜对土壤水分水平运动的阻滞作用逐渐增强。有研究^[17-18]表明,随着土壤中残膜量的增加,土壤容重增加,孔隙度降低,影响土壤的通气性。同时,长期残膜作用下会降低土壤有机质、全氮、硝态氮、铵态氮和 Olsen-P 含量^[19]。本研究结果(图 1)表明,地膜残留于土壤中,对土壤中硝态氮和铵态氮的迁移干扰较大。对照处理各土层中硝态氮和铵态氮含量基本一致。而有地膜残留的处理,硝态氮和铵态氮在各层土壤中出现明显波动。虽然这一波动无明显的规律,但总体而言,随着残膜量的增加,铵态氮在土层中的流失明显减少,硝态氮的流失也有所减弱。原因可能是残膜在土壤中形成新的隔离层,地膜的残留导致土壤容重增加、孔隙度降低,土壤水

分的入渗能力减弱,原运动通道被打破,发生阻滞所导致^[15-18]。

3.2 残膜对烤烟根系生长的影响

根系的生长发育受到自身遗传因素和外部环境因素特别是土壤的共同影响,根系的形态结构是其生长发育水平和对外界环境适应的直接体现^[20],根系形态指标直接反映了根系的生长状况。本研究(表 1)表明,当土壤残膜量为 450 kg·hm⁻²时,烤烟根长、根表面积、根体积和根尖数分别为 809.5 cm、212.1 cm²、4.44 cm³和 17 291 根,均高于对照,这与他人^[18, 21-22]在棉花上的研究结果一致。但随着残膜量的增加,烤烟根系生长发育明显受到影响,当残膜量增加至 900 kg·hm⁻²和 1 350 kg·hm⁻²时,根长、根表面积、根体积和根尖数明显减少,并显著低于对照。这可能是因为残膜量累积到一定量后,阻碍了烟株根系对水分和养分的吸收,从而制约了根系的生长发育。根直径是影响根系穿透土壤能力的重要因素,根直径越大,其遇到坚硬土壤时抵抗弯曲和偏转的能力越强,成功穿透土壤的可能性越大^[23]。本研究发现,当土壤中混入残膜,有利于烤烟根系直径的增粗,根系直径最大值出现在残膜量为

900 kg·hm⁻²时,为 0.96 mm,并与对照和其他处理差异达显著 ($P<0.05$),这可能与根系在受到地膜残留胁迫时自身做出相应的调节有关。

根系作为一种不定形营养器官^[24],首先感受土壤环境的变化^[25-26]并做出响应。很多研究表明,烟草、大豆等植物根系性状,尤其是根系形态指标与地上部之间呈显著正相关^[27-30],生产中可以通过地上部的长势及内含物的充实程度来预测根系的生长状况,也可通过根系的生长发育状况预测地上部的干物质累积情况,本研究结果与上述趋势一致。同时,本研究(表 2)表明残膜量为 450 kg·hm⁻²时,早期对烤烟地上部和根部干物质的积累影响较小,但到中后期影响逐渐突显。当残膜量增加至 900 kg·hm⁻²和 1 350 kg·hm⁻²时,不同时期烤烟根部干物质质量和地上部干物质质量均明显低于 CK,且到 90 d 时呈显著性差异。这也进一步说明在烤烟生育前期,残膜量较低时对土壤的干扰较小,甚至在一定程度上还有利于提高土壤的孔隙度和通透性,促进烤烟根系和地上部生长;但随着烤烟的生育进程,以及残膜量累积到一定量时,对土壤则产生了较大干扰,明显制约了烤烟根部和地上部生长。

4 结 论

残膜会阻滞烟田硝态氮和铵态氮在土壤中的迁移,残膜量增加会降低硝态氮和铵态氮从土壤中的流失。在烤烟生长前期,适量残膜能够促进烤烟根系形态的生长,但过量则会抑制烤烟根系的生长发育。随着残膜量的增加,根长、根表面积、根体积等根系形态指标逐渐降低。残膜量较低时,在早期对烤烟生长影响较小,但中后期影响逐渐突显。残膜量高于 900 kg·hm⁻²会抑制烤烟根部和地上部的干物质的积累。

参考文献 (References)

- [1] Zhao L, Teng Y, Luo Y M. Present pollution status and control strategy of pesticides in agricultural soils in China: A review[J]. *Soils*, 2017, 49(3): 417—427. [赵玲, 滕应, 骆永明. 中国农田土壤农药污染现状和防控对策[J]. *土壤*, 2017, 49(3): 417—427.]
- [2] Chen W P, Yang Y, Xie T, et al. Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farmlands of China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(2): 261—272. [陈卫平, 杨阳, 谢天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. *土壤学报*, 2018, 55(2): 261—272.]
- [3] Brodhagen M, Goldberger J R, Hayes D G, et al. Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils[J]. *Environmental Science & Policy*, 2017, 69: 81—84.
- [4] Dong H D, Liu T, Han Z Q, et al. Determining time limits of continuous film mulching and examining residual effects on cotton yield and soil properties[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2015, 36: 677—684
- [5] Zhang D, Liu H B, Hu W L, et al. The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(11): 2639—2646.
- [6] Jiang X J, Liu W J, Wang E H, et al. Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, northwestern China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2017, 166: 100—107.
- [7] Zhang T L, Wang X X. Prevention and remediation of soil contamination to strengthen the foundation for green and high-quality agricultural development in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(2): 251—258. [张桃林, 王兴祥. 推进土壤污染防控与修复 厚植农业高质量发展根基[J]. *土壤学报*, 2019, 56(2): 251—258.]
- [8] Chen W P, Xie T, Li X N, et al. Thinking of construction of soil pollution prevention and control technology system in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(3): 557—568. [陈卫平, 谢天, 李笑诺, 等. 中国土壤污染防治技术体系建设思考[J]. *土壤学报*, 2018, 55(3): 557—568.]
- [9] Su G Z, Zhang F G, Fan G Q, et al. Pollution condition and treatment technical analysis of residue film in Guizhou tobacco-growing areas[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2016, 37(7): 273—276. [苏国樟, 张富贵, 樊国奇, 等. 贵州烟区残膜污染状况与治理技术分析[J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(7): 273—276.]
- [10] Xu Z Q, Zhou X H, Xu G, et al. Research advances on plastic film cover of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(25): 117—123. [许志强, 周兴华, 徐钢, 等. 烤烟地膜覆盖研究进展[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(25): 117—123.]
- [11] Li C J, Zhang F S, Li W Q, et al. Nitrogen pr management and its relation to leaf quality in production of flue-cured tobacco in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(2): 331—337. [李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 331—337.]

- [12] He W J, Tian P, Xiao L L, et al. Effects of different nitrogen forms and proportion on growth and quality of flue-cured tobacco under the integration with water and fertilizer[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2019, 47 (3): 45—49. [贺文俊, 田培, 肖磊磊, 等. 水肥一体化模式下氮素形态及配比对烤烟生长及品质的影响[J]. *贵州农业科学*, 2019, 47 (3): 45—49.]
- [13] Liang H. valuation of soil fertility status for tobacco growing area in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2014. [梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.]
- [14] Li Y Q, He W Q, Yan C R, et al. Effect of residual film on soil infiltration under drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31 (6): 145—149. [李元桥, 何文清, 严昌荣, 等. 点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31 (6): 145—149.]
- [15] Zou X Y, Niu W Q, Liu J J, et al. Ability of retarding water horizontal movement for residual plastic film mixed in soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30 (3): 96—102, 108. [邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分水平运动的阻滞作用[J]. *水土保持学报*, 2016, 30 (3): 96—102, 108.]
- [16] Wang C Y, Mao X M, Zhao B. Experiments and simulation on infiltration into layered soil column with sand interlayer under ponding condition[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26 (11): 61—67. [王春颖, 毛晓敏, 赵兵. 层状夹砂土柱室内积水入渗试验及模拟[J]. *农业工程学报*, 2010, 26 (11): 61—67.]
- [17] 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 of Agricultural Machinery*, 2015, 46 (5): 101—106, 140. [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.]
- [18] Li Q J, Wei C Z, Lei Y W, et al. Influence of white pollution on root growth of cotton[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45 (5): 769—775. [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.]
- [19] Zhang D, Liu H B, Ma Z M, et al. Effect of residual plastic film on soil nutrient contents and microbial characteristics in the farmland[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (2): 310—319. [张丹, 刘宏斌, 马忠明, 等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50 (2): 310—319.]
- [20] Pan X D, Zhang Y, Shao M, et al. Research progress on adaptive responses of crop root structure to drought stress[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19 (2): 51—58. [潘晓迪, 张颖, 邵萌, 等. 作物根系结构对干旱胁迫的适应性研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19 (2): 51—58.]
- [21] Li Y Q, He W Q, Yan C R, 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 (2): 108—114. [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 (2): 108—114.]
- [22] Liu J G, Li Y B, Zhang W, et al. The distributing of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in oasis of Xinjiang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29 (2): 246—250. [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.]
- [23] Clark L J, Price A H, Steele K, et al. Evidence from near-isogenic lines that root penetration increases with root diameter and bending stiffness in rice[J]. *Functional Plant Biology*, 2008, 35 (11): 1163—1171.
- [24] Huang Z C, Tu N M, Zhu Z D, et al. Study on root growth and distribution of flue-cured tobacco during field period[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2012, 18 (1): 35—39. [黄泽春, 屠乃美, 朱宗第, 等. 大田期烤烟根系生长与分布研究[J]. *中国烟草学报*, 2012, 18 (1): 35—39.]
- [25] Jia Z H, Yi J H, Sun Z J. Effects of different mulches on rhizosphere temperature, growth, and physiological properties of fluecured tobacco[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (11): 2075—2078. [贾志红, 易建华, 孙在军. 不同覆盖物对烤烟根温及生长和生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (11): 2075—2078.]
- [26] Han J F, Wang Y F, Zhang X T. Effects of soil moisture on development and activity of tobacco roots[J]. *China Tobacco*, 1992 (3): 14—17. [韩锦峰, 汪耀富, 张新堂. 土壤水分对烤烟根系发育和根系活力的影响[J]. *中国烟草*, 1992 (3): 14—17.]
- [27] Wang Y L, Liu G S, Ding S S, et al. Effects of phosphorus fertilizer on the root system and its relationship with the aboveground part of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26 (5): 1440—1446. [王艳丽, 刘国顺, 丁松爽, 等. 磷用量对烤烟根系及其与地上部关系的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26 (5): 1440—1446.]
- [28] Ma X M, Liu G S, Wang X C, et al. The development of tobacco root system and its relation with plant growth[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2002, 8 (3): 26—29. [马新明,

- 刘国顺, 王小纯, 等. 烟草根系生长发育与地上部相关性的研究[J]. 中国烟草学报, 2002, 8 (3): 26—29.]
- [29] Chai J R. Dynamic accumulation of dry matters and its correlations between above-ground and below-ground of burley tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2008, 29 (2): 33—36. [柴家荣. 白肋烟干物质积累动态及地下部与地上部相关性研究[J]. 中国烟草科学, 2008, 29 (2): 33—36.]
- [30] Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Correlations between characteristics of roots and those of aerial parts of soybean varieties[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28 (1): 72—75. [杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究[J]. 作物学报, 2002, 28 (1): 72—75.]

(责任编辑: 陈荣府)