

残膜对棉田土壤水盐、氮素及产量的影响

徐 阳, 何新林, 杨丽莉, 李玉环, 衡 通

(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 为探讨滴灌条件下棉田中地膜残留含量对土壤水盐及作物生长的影响,在棉田设置 150(T1),230(T2),465(T3),857(T4),1 250(T5),1 640(T6) kg/hm²、原试验地土壤(CK1)和无残膜对照组(CK2)8 种残膜含量处理,分析了地膜残留含量对滴灌棉田中的土壤水盐、土壤和作物根系氮素以及产量的影响。结果表明:随着残膜含量的增加,土壤含水率逐渐降低,土壤盐分的富集效果逐渐增强;0—40 cm 土层土壤水盐变异程度与残膜含量呈正相关,T5 和 T6 的土壤水盐变异系数(CV)明显较大,水分 CV 分别为 0.52,0.44,盐分 CV 分别为 0.34,0.31;土壤中的氮素含量随着残膜含量的增大逐渐增多,根系全氮含量与残膜含量呈负相关;棉花产量随残膜含量的增加逐渐降低,当残膜含量>230 kg/hm²时,下降幅度显著增强,T3、T4、T5 和 T6 较 CK2 产量分别下降 14.19%,21.69%,29.19%,37.29%。研究结果可为新疆覆膜滴灌棉田可持续发展和对残膜污染的防控提供理论基础和科学支撑。

关键词: 棉田; 地膜残留含量; 土壤水盐; 变异系数; 氮素

中图分类号: S562;S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)05-0312-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2021.05.042

Effects of Residual Film on Soil Water-salt, Nitrogen and Yield in Cotton Field

XU Yang, HE Xinlin, YANG Lili, LI Yuhuan, HENG Tong

(School of Water Conservancy and Construction Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: In order to investigate the effects of residual film content on soil water-salt and crop growth in cotton field under drip irrigation, eight treatments of residual film contents, 150 (T1), 230 (T2), 465 (T3), 857 (T4), 1 250 (T5) and 1 640² kg/hm (T6), original soil (CK1) and no residual film control (CK2), were set in a cotton field. The effects of residual film contents on soil water-salt, soil and crop root nitrogen and yield in drip irrigated cotton field were analyzed. The results showed that with the increases of residual film contents, soil water contents decreased gradually, and the enrichment effect of soil salt increased gradually. The variation degree of soil water and salt was positively correlated with the residual film content in 0—40 cm soil layer, and the Coefficient of variation CV of soil water and salt in T5 and T6 was significantly larger, the CV of water content was 0.52 and 0.44 and salt was 0.34 and 0.31 respectively. The nitrogen contents in soil increased with the increases of residual film contents, and the total nitrogen contents in root were negatively correlated with the residual film contents. The yield of cotton decreased gradually with the increases of residual film contents. When the residual film content was more than 230 kg/hm², the decline was significantly enhanced, compared with CK2, the yield of T3, T4, T5 and T6 decreased by 14.19%, 21.69%, 29.19% and 37.29% respectively. This study could provide theoretical basis and scientific support for the sustainable development of mulched drip irrigation cotton field and the prevention and control of residual film pollution in Xinjiang.

Keywords: cotton field; residual film content; soil water and salt; coefficient of variation; nitrogen

地膜覆盖具有改善土壤水热状况、减少土壤水分无效蒸发的作用,极大地提高了我国农作物产量和经

济效益,是干旱半干旱地区农业生产中一项重要的抗旱措施。截止 2019 年新疆地膜覆盖面积达 3.55 ×

收稿日期:2021-03-28

资助项目:国家自然科学基金项目(U1803244);兵团科技攻关计划项目重点支持项目(2018AB027)

第一作者:徐阳(1996—),男,硕士研究生,主要从事干旱区生态水文研究。E-mail:2474133814@qq.com

通信作者:何新林(1966—),男,教授,主要从事水文水资源及农业水资源高效利用研究。E-mail:hexinlin2002@163.com

10⁶ hm²,地膜使用量 2.43×10⁵ t,是 1991 年的 7 倍多;使用地膜的农作物也由最初的玉米、棉花等几种扩大到现在的小麦、番茄、蔬菜等数 10 种,其中棉花用量占 85% 以上,棉田覆膜率达 100%^[1-2]。随着长期覆膜滴灌和地膜种植投入数量的持续增加,棉田残膜污染日益严重,一方面由于地膜的成分主要是高分子聚合物,难以分解,可以在土壤中残留数百年^[2];另一方面,不仅残膜回收机械的普及率和回收率均较低,而且农民在种植时大量的使用,回收却相对较少,造成土壤中长期存在大量的地膜碎片^[3]。整个新疆地区农田平均地膜残留含量为 206.46 kg/hm²^[4],其中石河子地区地膜残留含量为 121.85~352.38 kg/hm²^[5],并且以每年 16.37 kg/hm² 的趋势增加^[2]。残膜破坏了土壤的结构,不仅影响水肥传输,还会降低微生物活性^[6];严重污染土壤环境,导致土壤质量的急剧恶化,削弱了土地资源的生产潜力,对农业的可持续发展造成极大的负面影响。

前人对地膜残留对农田及作物影响已开展诸多研究,王志超等^[7]、牛文全等^[8]研究表明,残膜会影响土壤水分特征曲线形状,土壤的保水性能随残膜量的增加逐渐降低;张建军等^[9]研究发现,玉米全生育期土壤含水率均随着残膜量的增加而降低,残膜量为 22.45,45.00,67.50 kg/hm² 处理的平均土壤贮水量分别较对照减少了 7.8,12.0,16.8 mm; Mumtaz 等^[10]研究发现,残膜减小了土壤孔隙度,使通气性变弱,严重影响土壤中的空气流通及循环,导致土壤板结。已有研究^[8,11]表明,残膜通过改变或阻断土壤孔隙连续性影响到土壤容重和土壤质地均匀性,阻碍土壤水分移动,使得土壤水分和盐分分布的均衡性遭到破坏,增强了土壤水分垂直的变异程度,阻碍土壤盐分向下运移,导致土壤次生盐渍化。祖米来提·吐尔干等^[12]通过新疆棉田试验研究发现,土壤中硝态氮和铵态氮含量随着残膜含量的增加而增加,在花铃期残膜量为 900 kg/hm² 处理相对无残膜处理的硝态氮和铵态氮平均分别增加了 36.6% 和 40.1%,棉花产量下降 1 226 kg/hm²; Gao 等^[13]研究发现,残膜含量>240 kg/hm² 时,玉米、马铃薯和棉花平均减产率为 16.10%。已有研究^[7-13] 成果在很大程度上使得农业生产更加的科学,但是大多集中在残膜对于土壤水盐运移、土壤结构以及产量的影响,在膜下滴灌的条件下残膜对土壤水盐结合养分以及产量的影响研究较少。

本研究采用田间小区试验,设置 8 个残膜量梯度,分析残膜量对棉田土壤水盐、土壤和作物根系氮素以及产量的影响,阐明长期规模化推广膜下滴灌技术连作不同残膜量对棉田土壤水盐、养分以及带来的环境效应的影响,对这些问题的深入研究有助于完善

对残膜危害的认识,为减少残膜污染、减少产量损失和绿洲农业可持续发展等均有着极为重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2020 年 4—10 月在石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室(86°03′27″E,44°18′25″N)开展,海拔 412 m,地下水埋深 5 m 以下,日照时间 2 318~2 732 h,0℃ 以上的活动积温为 4 070℃,10℃ 以上的活动积温为 3 649℃,该地区属于典型的温带大陆性气候,年均降水量 210 mm,蒸发量 1 660 mm,无霜期 171 天,年均气温(7.7±0.9)℃,土壤为中壤土,0—80 cm 土层土壤平均容重为 1.59 g/cm³。

1.2 试验设计

本研究采用大田试验,试验小区面积 16.2 m×11.6 m,在已有研究^[1,14] 的基础上,棉田残膜量设为 8 个处理:T1、T2、T3、T4、T5、T6、CK1 以及 CK2,分别为 150,230,465,857,1 250,1 640 kg/hm²,原试验地土壤和无残膜对照组(0 kg/hm²),每个处理 3 次重复。供试棉花品种为“东盛 1442 号”,采用“1 膜 2 管 4 行”种植方式(图 1),将残膜裁剪为 0~4,4~25,>25 cm² 3 种面积类型,按残膜数量比例 1:7:2 混匀,然后按照各处理所需残膜量进行分配,再将其与耕层 40 cm 土壤按各层所占残膜混合,并在各处理之间设有保护行。棉花 4 月 21 日播种,9 月 28 日收获,作物生育期共灌水 11 次,用水表记录,肥料随水滴施,棉花生育期的灌水及施肥管理见表 1。

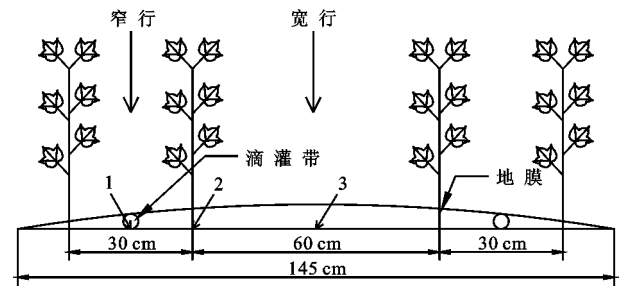


图 1 棉花种植模式与土壤水盐测量位置

表 1 棉花各生育期的灌水及施肥管理

生育期	时间/d	时期 (月-日)	灌水 周期/d	灌水 次数	施肥 次数
出苗期	13	04-21 至 05-03			
苗期	35	05-04 至 06-07		1	1
蕾期	29	06-08 至 07-06	7	3	3
花铃期	48	07-07 至 08-23	7	7	7
吐絮期	36	08-24 至 09-28	7		

1.3 测试项目及方法

1.3.1 棉花全生育期土壤水盐变化 于 2020 年棉花生长季每隔 15~16 天,使用 Trime-Pico IPH2 (测量精度±2%) 分别在图 1 中的 1,2,3 的 3 个位置(即滴灌带下、植株下(距滴头 15 cm 处)和膜间(距滴

头 45 cm 处))的 0—80 cm 土层每 10 cm 测量 1 次得到相应土壤体积含水率和土壤盐分含量。

1.3.2 棉花花铃期土壤水盐变化 棉花进入花铃期(7 月 7 日至 8 月 23 日)时,每隔 7~8 天(7 月 10 日、7 月 18 日、7 月 25 日和 8 月 2 日、8 月 10 日、8 月 18 日)在图 1 中 1,2,3 的 3 个位置分别用 Trime-Pico IPH2 在 0—80 cm 土层每 10 cm 土层深度测量 1 次得到相应土壤体积含水率和土壤盐分含量。

1.3.3 全生育期土壤和根系氮素 在棉花的苗期、蕾期、花铃期和吐絮期分别在各处理均匀选择 3 处位置,其中一处用土钻取出土层深度为 10,30,50 cm 的土将其均匀混合,3 处做法相同;在这 4 个生育期分别在各处理取出具有代表性的 3 株棉花,得到根系;采用凯氏定氮法^[15]测定各处理土壤和根系全氮含量。

1.3.4 产量和灌溉水利用效率 根据棉花吐絮情况,采摘 3 次并记录铃数,称量每次采摘的产量,最后换算成单位面积总产量。灌溉水利用效率(IWUE)=籽棉产量(kg/hm²)/灌溉定额(mm)。

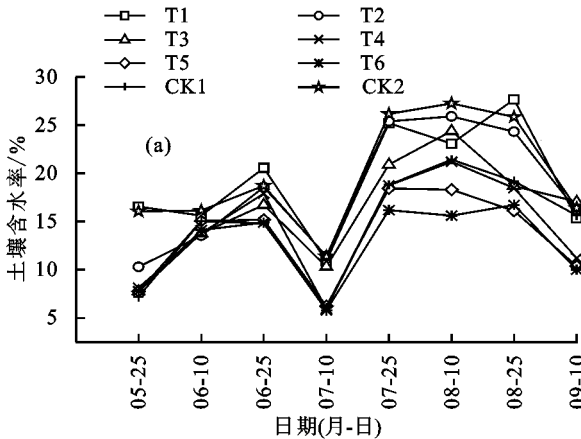
1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 软件处理原始数据,使用 Origin 2018 软件绘图,SPSS Statistics 25.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同残膜含量对土壤水盐含量的影响

图 2 为棉田各处理生育期 0—80 cm 土层日平均含



水率(SWC)和日平均盐分含量值,从图 2 可以看出,整个生育期不同残膜量下土壤水分和盐分含量均存在差异。T1~CK2 处理的平均 SWC 分别为 19.37%, 18.20%, 16.21%, 14.42%, 13.43%, 12.64%, 14.77%, 19.74%,说明平均 SWC 随着残膜含量的增加逐渐降低;根据推算 CK1(原试验地土壤)处理的残膜量在 T3~T4 处理之间,约为 780 kg/hm²。经过分析,平均 SWC 与残膜含量为极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-1.0;其中 CK2、T1 和 T2 处理的平均 SWC 明显高于其他处理,T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理的平均 SWC 相较于 CK2 分别下降 17.88%, 25.17%, 26.95%, 31.97% 和 35.97%。其中在花铃期各处理 SWC 的差异明显大于在花铃期前后的差异,在花铃期棉花植株生长加快,灌溉水量和蒸发量大幅上升,表层和根系层的水分运动剧烈,根据以上分析和图 2a 可知,随着残膜量的增加土壤含水率逐渐降低,可见土壤水分含量受残膜影响较大。

CK2、T1、T2、T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理在全生育期的 0—80 cm 土层平均盐分含量分别为 2.65, 2.49, 2.67, 2.32, 2.35, 2.21, 2.65, 2.51 dS/m,经过分析,0—80 cm 土层平均盐分含量与残膜含量无显著性差异($P>0.05$),盐随水动,残膜会影响土壤水分移动和盐分移动,进而影响到盐分在土壤中的分布,但是残膜量多少对棉田 0—80 cm 土层的平均盐分含量影响不显著。

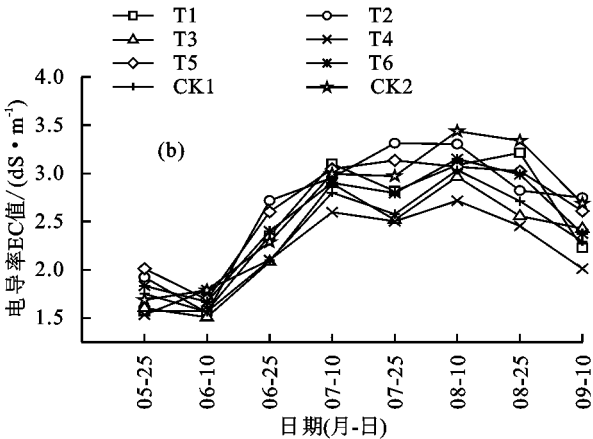


图 2 不同残膜含量处理下棉田日平均含水率和日平均盐分含量的变化动态

2.2 花铃期水盐的分布特征

2.2.1 花铃期土壤水分分布特征 花铃期是棉花整个生育过程中所需肥水量最大的一个重要阶段,是产量形成的关键时期,对于棉花的产量和品质有着至关重要的作用^[16]。本研究对棉花花铃期不同残膜量处理 0—80 cm 土层土壤含水率的空间分析。由图 3 可知,随着残膜含量的增加,各土层的土壤含水率变化趋势均逐渐减小,且无残膜处理的 CK2 和 T1、T2 处理的土壤含水率显著高于其他处理;T3、CK1、T4、T5 和 T6

处理在 70—80 cm 土层平均含水率相较于 CK2 分别下降了 21.86%, 26.12%, 27.72%, 34.65%, 43.53%,并且对比 T5、T6 与 CK2 发现,随着土层深度的增加土壤含水率差异越大,表明残膜阻碍了土壤水分向下移动。图 3 中各处理土壤含水率随土层深度自上而下逐渐增加,并出现波动现象,随着残膜含量的增加波动越明显,从 T5 和 T6 可看出,残膜阻碍了水分向周围扩散,造成根层土壤的水分不均匀分布,水分胁迫严重影响棉花生长。

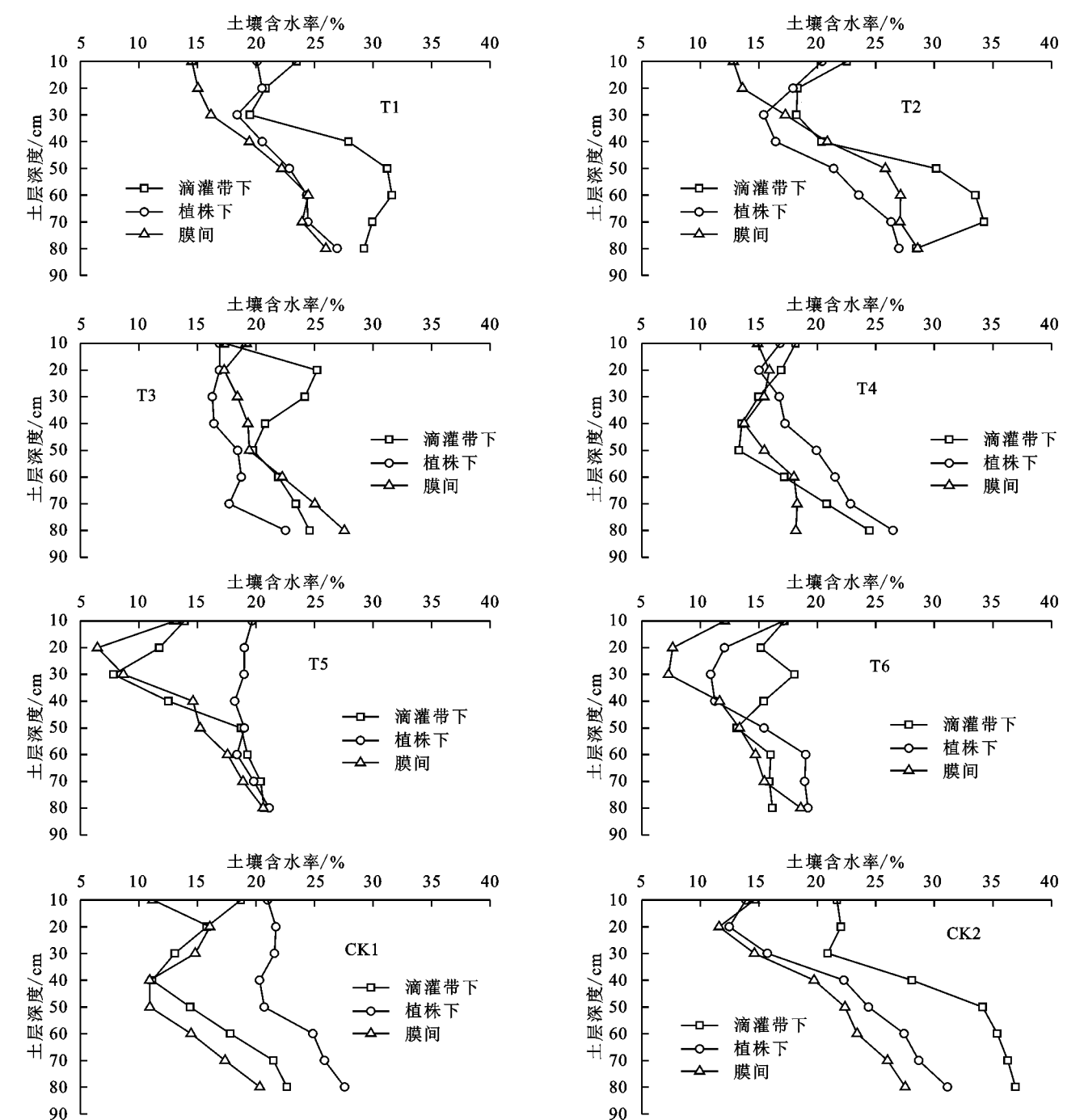


图3 花铃期不同残膜含量处理下土壤含水率的空间分布

CV 值表明土壤特性参数的变异程度, $CV \leq 0.1$ 为弱变异性, $0.1 < CV \leq 1$ 为中等变异性, $CV > 1$ 为强变异性。通过 SPSS Statistics 25.0 进行分析得到了不同残膜量处理的土壤含水率 CV 值。由表 2 可知, 2020 年试验区棉花花铃期不同残膜量处理 0—80 cm 土层土壤含水率呈中等变异性, 自上而下逐渐减小。CK2、T1、T2、T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理土壤含水率在 0—40 cm 土层的变异系数分别为 0.4, 0.39, 0.33, 0.36, 0.41, 0.36, 0.52, 0.44(图 4a), 随残膜量的增加有逐渐增大的趋势; 在 40—80 cm 土层的变异系数分别为 0.27, 0.27, 0.28, 0.27, 0.39, 0.36, 0.28, 0.3, 表明在土层 0—40 cm 比 40—80 cm 土壤含水率

的变异程度大。且当残膜量较小时($< 230 \text{ kg/hm}^2$) 土壤含水率的变异系数明显小于无残膜对照组, 说明少量残膜抑制了土壤含水率的变异程度。

2.2.2 花铃期土壤盐分分布特征 由图 5 可知, 各处理土壤盐分含量存在差异, 经过分析得到 CK2、T1、T2、T3、CK1、T4、T5 和 T6 各处理在土层 0—40 cm 与 0—80 cm 的平均盐分含量的均值比分别为 90.04%, 101.07%, 92.28%, 102.67%, 100.69%, 106.16%, 106.77%, 106.83%, 呈逐渐增大的趋势, 由此可知, 在 0—40 cm 土层的土壤盐分富集效果随着残膜量的增大逐渐增强。各处理 0—20 cm 土层土壤盐分含量变化较大, 说明表层土壤受残膜以及外界环境影响

干扰较大;20—60 cm 土层为棉花的主要根系层,由于棉花花铃期天气变化及残膜分布多样性,该土层土壤含盐分含量变化无明显规律;60—80 cm 土层受灌溉及降水的影响,由图 5 中无残膜处理 CK2 可知,土壤盐分随水向下运移,并积累在 60—80 cm 以下土

壤中,但由 T5 和 T6 看出在土层 0—40 cm 有明显富集现象,说明残膜过多时导致棉田土壤盐分在耕作层富集,残留在土壤中的地膜会抑制盐分向土壤深层运移,进而影响到棉花根系盐分的淋洗效果,并且导致土壤次生盐渍化。

表 2 花铃期各处理土壤含水率在垂直方向上的变异系数

土层深度/cm	T1	T2	T3	T4	T5	T6	CK1	CK2
0—10	0.40	0.38	0.37	0.35	0.38	0.35	0.41	0.36
10—20	0.41	0.32	0.38	0.34	0.61	0.49	0.32	0.47
20—30	0.36	0.30	0.36	0.34	0.64	0.53	0.40	0.41
30—40	0.37	0.32	0.32	0.40	0.46	0.39	0.50	0.36
40—50	0.33	0.28	0.35	0.37	0.33	0.31	0.47	0.29
50—60	0.30	0.28	0.25	0.36	0.27	0.30	0.44	0.29
60—70	0.23	0.26	0.24	0.33	0.27	0.30	0.35	0.26
70—80	0.23	0.30	0.25	0.37	0.23	0.28	0.30	0.24

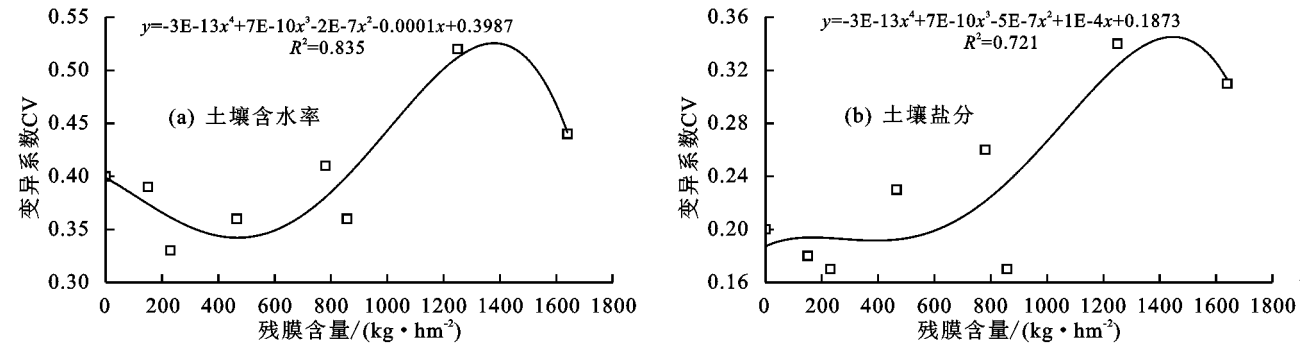


图 4 残膜含量与对应 0—40 cm 土壤水盐 CV 的关系

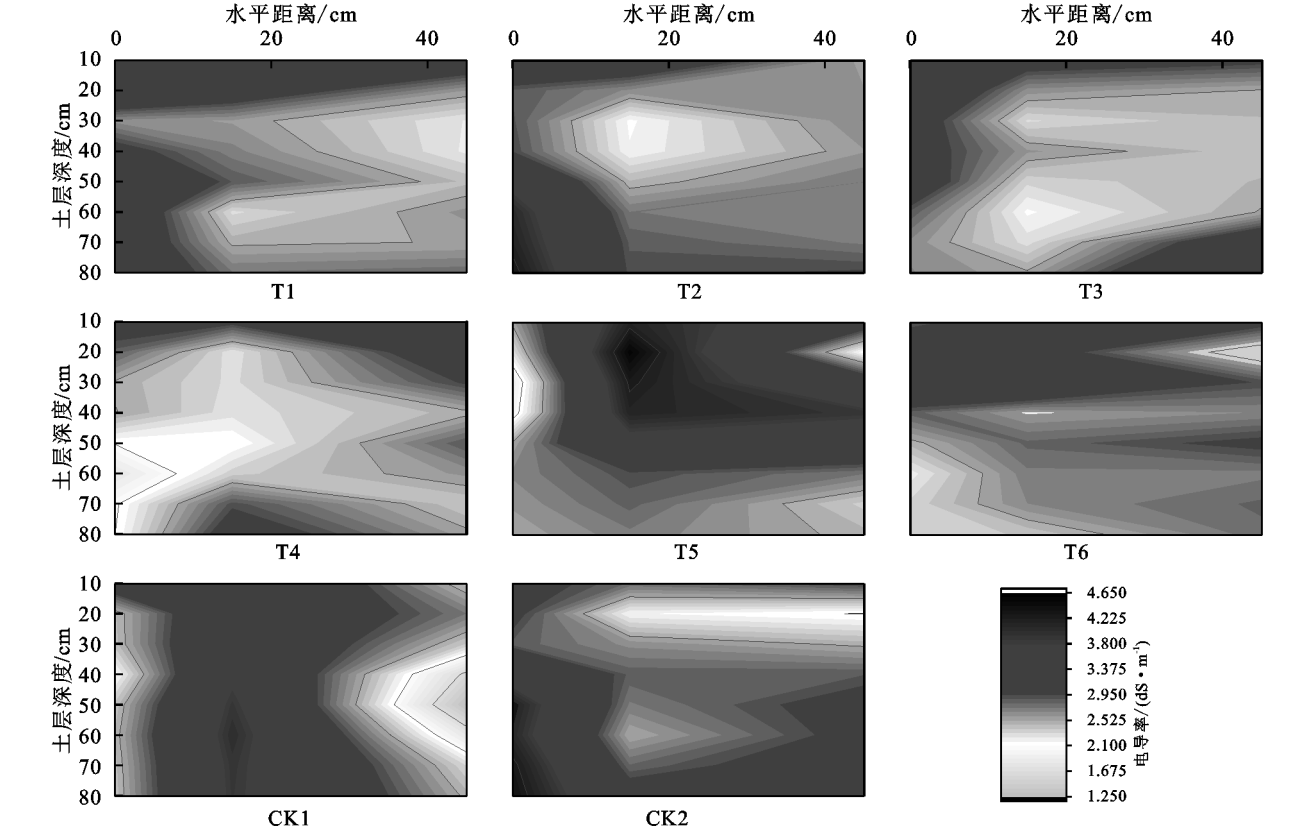


图 5 花铃期不同残膜含量处理下土壤盐分的空间分布

通过分析得到不同残膜量处理的土壤盐分变异系数,由表 3 可知,不同残膜量处理 0—80 cm 土层土

壤盐分的变异程度小于土壤含水率,且自上而下呈先增大后减小的趋势,由于在覆膜滴灌棉田中水的蒸发

和灌水频繁,盐分会随着土壤水分运移,再加上在土壤深度 40 cm 至表层分布有残留地膜,而其下没有,因而中间土层盐分变异系数较大。CK2、T1、T2、T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理土壤盐分在 0—40 cm 土层的变异系数分别为 0.20,0.18,0.17,0.23,0.26,0.17,0.34,0.31(图 4b),随残膜量的增加有逐渐增大的特点;在 40—80 cm 土层的变异系数分别为 0.22,0.19,0.25,0.23,0.27,0.23,0.12,0.14,无显著性差异($P>0.05$),表明在土层 40—80 cm 土壤盐分的变异系数随着残膜含量的增加无明显的变化规律。

2.2.3 花铃期土壤水盐分析 采用 Origin 2018 软件对残膜量与对应 0—40 cm 土壤水盐的变异系数均

值绘制出回归分析图。由图 4 可知,残膜影响了作物根区土壤水盐生存环境,在 0—40 cm 土层中,当残膜量在 1 250(T5),1 640(T6) kg/hm²时的土壤水盐的变异系数明显较大,说明当土壤中有残膜较多时,土壤水盐的变异程度越大,会影响土壤水分和盐分分布的均衡性,也会导致作物在需水时恰好缺水,对棉花生长发育的各个生理过程都会造成不同程度的影响;由图 3 可知,T5 和 T6 的土壤含水率较小。由图 5 可知,在 T5 和 T6 的根系层盐分含量较大,十分不利于作物生长,需做相应的措施减少土壤中的残膜。研究对于进一步认识和思考不同残膜量对大田土壤水盐分布影响提供了更多的证据。

表 3 花铃期各处理土壤盐分在垂直方向上的变异系数

土层深度/cm	T1	T2	T3	T4	T5	T6	CK1	CK2
0—10	0.14	0.19	0.16	0.13	0.23	0.21	0.23	0.17
10—20	0.18	0.12	0.25	0.20	0.41	0.31	0.17	0.23
20—30	0.19	0.18	0.32	0.20	0.38	0.42	0.23	0.18
30—40	0.20	0.21	0.21	0.16	0.32	0.30	0.40	0.20
40—50	0.25	0.26	0.21	0.18	0.17	0.11	0.37	0.23
50—60	0.21	0.26	0.19	0.23	0.09	0.22	0.28	0.23
60—70	0.17	0.25	0.26	0.27	0.11	0.12	0.22	0.22
70—80	0.15	0.24	0.26	0.25	0.23	0.21	0.13	0.17

2.3 不同残膜量对土壤和根系中氮素的影响

氮是植物生长的必需养分,对植物生长发育有着十分明显的影响;保持适宜的氮素供应有利于产量器官的发育,获得更高的产量。由图 6 可知,在整个生育期,土壤中氮素含量的变化趋势均表现为随着残膜量的增大而增多。但是对各个生育期有明显的差异,经统计分析:在苗期,由于只施肥 1 次,氮素含量相对小于其他生育期,只有 T3 和 T6 与 CK2 存在显著差异($P<0.05$);随着棉花的生长发育,施含氮肥量的增加,土壤中的氮素相应增多,但由于残膜的存在,会阻碍水分和养分在土壤中的运输,造成作物根系吸收存在差异,在蕾期,各处理的土壤全氮含量有了很大的不同,残膜含量较大的 T5 和 T6 的土壤全氮含量显然大于其他处理,各处理间土壤含氮量达到极显著性差异($P<0.01$);在花铃期,棉花的生长最旺盛,灌水次数与施肥次数也大幅增多,不同处理的土壤含氮量也达到极显著性差异($P<0.01$),其中 T1 和 T2 与 CK2 差异不显著,T3 与 CK2 存在显著性差异($P=0.03$),CK1、T4、T5、T6 相对 CK2 平均分别增加了 26.76%,30.99%,36.62%,39.44%,为极显著性差异($P<0.01$);在吐絮期,部分存在显著性差异,T3、CK1、T4、T5 和 T6 的土壤全氮含量均高于 CK2。这不利于作物对氮肥的利用,不仅浪费了资源,还会对水质、土壤和大气等环境带来一定的污染。

随着根系氮素的适当增多,可以促使根系向纵深

方向生长,有利于吸取土壤中的水分和养分,对作物的生长发育和产量的形成过程有着至关重要的影响。各处理根系全氮含量在整个生育期随时间为先增加后降低的趋势;各处理根系全氮含量与残膜含量呈负相关关系,其中 T1、T2 与 CK2 的差异不显著,T3、CK1、T4、T5 和 T6 较 CK2 平均分别降低 20.74%,16.09%,24.26%,22.78%,22.31%。各生育时期大致表现为显著性差异,此差异及根系全氮含量随着氮素的增加而增大;在吐絮期各处理的根系全氮含量明显低于其他生育期,氮素会运输到茎、叶和棉铃,这时的棉花生长缓慢,而且施肥也减少,在吐絮期各处理根系全氮含量差异较小;在花铃期差异最大,表明残膜会抑制作物根系吸收土壤中的养分。

2.4 不同残膜量对棉花产量和 IWUE 的影响

由表 4 可知,随着残膜量的增加,单株铃数、铃重和籽棉产量与灌溉水利用效率 IWUE 均呈减小的趋势;与 CK2 相比,T6 的单株铃数平均减少了 20.48%,单铃重平均下降了 24.56%,IWUE 平均降低了 18.75%。当残膜量>230 kg/hm²时,产量有明显的下降,通过分析,残膜含量与棉花产量呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.982。T1 和 T2 处理与 CK2 的单株铃数、铃重和产量无显著性差异($P>0.05$);T3、CK1、T4、T5、T6 与 CK2 的产量有显著性差异($P<0.05$),较 CK2 产量平均分别下降 14.19%,18.88%,21.69%,29.19%,37.29%。综上,十分有必要采取措

施清除棉田中的残膜，一方面可以提高 IWUE，不仅能节约宝贵的淡水资源，还促进了棉花的生长，使得棉花植株更大、铃数更多，从而提高产量；另一方面，

减少棉田的残膜有利于棉花吸收更多的养分，减少化肥在土壤中残留，既减少了化肥资源的浪费，还有利于对环境的保护。

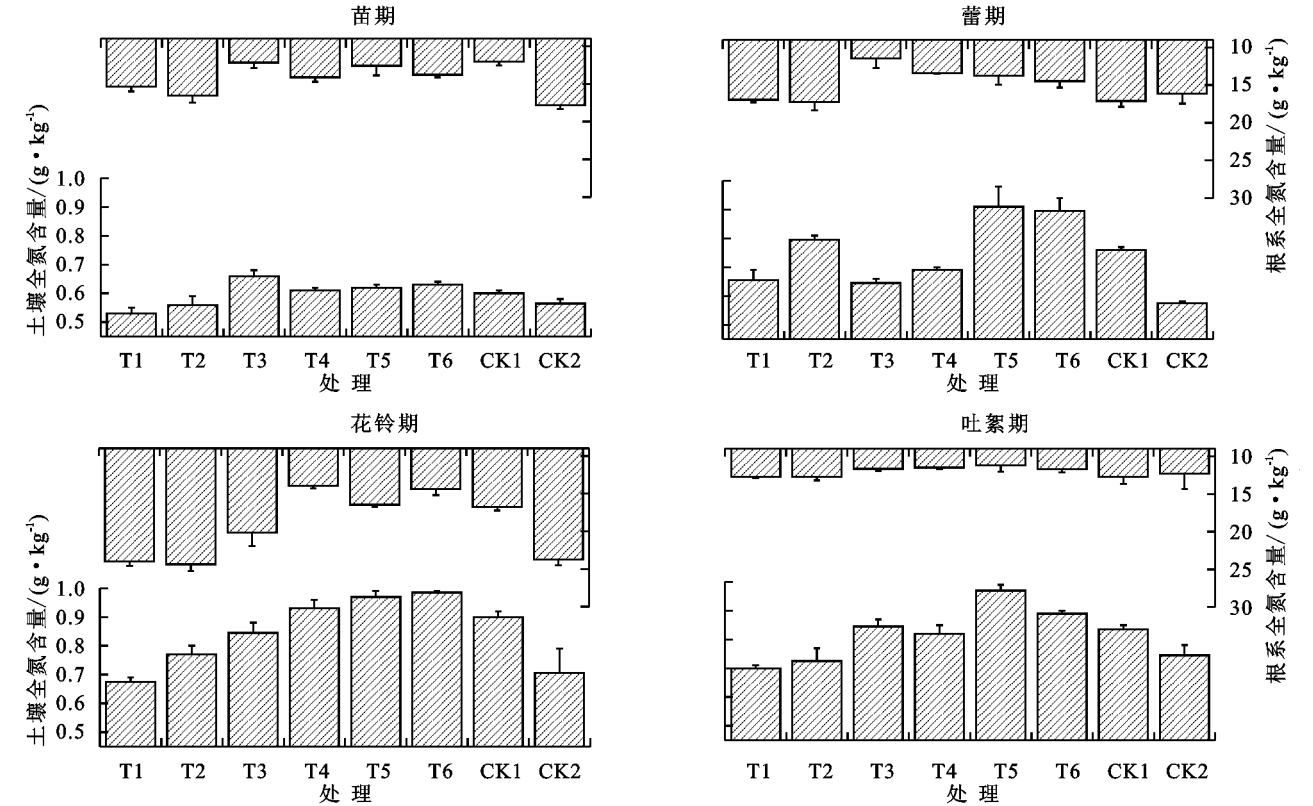


图 6 不同残膜量下土壤和根系全氮含量在全生育期的变化

表 4 不同残膜含量下棉花产量与灌溉水利用效率

处理	灌溉 定额/mm	单株铃数/ 个	单铃重/g	籽棉产量/ (kg·hm ⁻²)	IWUE/ (kg·m ⁻³)
T1	495	6.99±0.08d	5.53±0.09de	4706.74±132.82d	0.95±0.03d
T2	495	6.93±0.15d	5.42±0.11cd	4691.92±405.53d	0.95±0.08d
T3	495	6.18±0.06c	5.27±0.08bc	4066.30±321.42c	0.82±0.06c
T4	495	5.80±0.29ab	4.37±0.14a	3711.06±12.85bc	0.75±0.01bc
T5	495	5.65±0.10a	4.33±0.13a	3355.29±354.74ab	0.68±0.07ab
T6	495	5.59±0.12a	4.24±0.06a	2971.44±117.35a	0.60±0.02a
CK1	495	5.96±0.07bc	5.12±0.10b	3844.06±88.03c	0.78±0.02c
CK2	495	7.03±0.09d	5.62±0.14e	4738.68±173.63d	0.96±0.04d

注：表中数据为平均值±标准差；同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

3 讨论

3.1 不同残膜量对土壤水分分布的影响

随着地膜的持续使用，土壤中地膜残留越来越多，残留地膜不仅会破坏土壤结构，而且基于本身的韧性强，还会缠绕在作物根系上面，抑制作物生长^[12]。有研究^[7-8,17]表明，土壤中残留的地膜碎片会改变或阻断土壤孔隙的连续性，不仅堵塞了毛管水运移路径，而且对重力水的向下运动有较大的阻力，从而造成地膜残留量的增加，减少了水的渗透量，导致深层土壤含水率降低；使水分集中在表层，由于蒸散发的作用，随着残膜含量的增加，农田的无效耗水增大，土壤的保水和持水能力降低，土壤含水率逐渐降

低，本研究结果与此相一致。解红娥等^[18]研究发现，在吐絮期当残膜密度>1 000 kg/hm²时会阻碍水分下渗，使 30—40 cm 土层含水率低于 10—20 cm 土层，本研究在花铃期的结果与此一致；并且各残膜处理土壤含水率出现波动现象，随着地膜残留量的增多，波动越明显，这是因为残膜导致土壤孔隙结构的多重分形特征更加复杂，土壤孔隙的连通性遭到严重破坏^[17]；残膜阻碍了水分的扩散，影响了土壤水分的均匀分布。已有研究^[6]表明，残膜含量的增加会造成土壤孔隙分布不均匀，使水分回流或被阻挡到土壤剖面形成的优势区域，随着灌溉的进行，土壤水分的空间分布会产生明显的不连续性。本研究以灌水量较

大的花铃期不同残膜含量处理下棉田土壤水盐含量来分析,发现不同残膜含量处理下棉田土壤含水率为中等变异,这与韩丙芳等^[19]研究结果一致。本研究发现,土壤含水率的变异程度随着残膜含量的增加总体趋势表现为正相关,这与牛文全等^[8]的研究结果一致,残膜破坏了土壤水分分布的均衡性,抑制土壤水分运移以及作物根系对水分的吸收。

3.2 不同残膜量对土壤盐分分布的影响

盐随水动,残膜会影响土壤水分的正常运移和分布^[20],从而也影响到盐分运移和分布。0—40 cm 土层的土壤盐分富集效果随着残膜量的增大逐渐增强,这与吴凤全等^[11]的研究结果一致,地膜的残留使被蒸发水带到地表的盐分得到累积,导致土壤盐分分布发生变化,破坏土壤盐分分布的均匀性。本研究结果表明,在花铃期不同残膜含量处理下棉田土壤盐分也为中等变异性,但弱于土壤含水率的变异程度,可能是由于本地区井灌井排等技术的应用,使土壤水资源开采量较多,地下水位下降,从而导致地下水仅少量或没有补充盐分^[21]。韩丙芳等^[19]研究发现,土壤盐分的变异程度随着土层深度的增加逐渐减小,本研究部分处理的结果与此一致,一方面由于地膜主要呈不规则形状(如圆筒状和片状)残留在土壤中,在土壤耕层中分布极不规律^[4];另一方面是残留地膜含量的不同所导致。土壤含盐量的变异程度随着残膜含量的增加总体趋势也表现为正相关,表明残留地膜均会加剧膜下滴灌棉田的土壤水盐变异程度,这会严重影响到作物的生长发育。

3.3 不同残膜量对土壤和根系氮素及产量的影响

具有良好通气、持水和保肥性能的土壤,会有效促使作物根系吸收水分和养分;滴灌技术在新疆大面积推广以来,显著提高了氮素的利用效率,增加植株全氮在生殖器官中的分配量,而达到增加产量的效果^[22]。祖米来提·吐尔干等^[12]研究发现,土壤中硝态氮和铵态氮含量随着残膜含量的增加而增加,抑制了棉株对土壤氮素的吸收,生物量和产量均降低。本研究结果表明,土壤中的氮素含量随着残膜量的增大而增多,造成肥料的浪费,地膜残留量越多,影响越明显;在整个生育期根系全氮含量与残膜含量呈负相关关系,各处理根系全氮含量在花铃期最大,与阿不都卡地尔·库尔班等^[23]研究结果一致。棉花单株铃数、单铃重和产量随着残膜含量的增加呈现减小的趋势,与林涛等^[6]、董合干等^[14]研究结果一致;当残膜量 $>230\text{ kg/hm}^2$ 时,残留地膜严重影响了棉籽产量及其形成,产量随着残膜量的增加下降幅度较大。残留地膜对土壤水盐和作物氮素吸收利用的影响十分明显,最终导致减产,贺怀杰等^[2]、胡灿等^[4]调查研究

均表明,新疆棉田残膜污染问题随着覆膜年份的增加愈加严重,所以必须给予高度重视;从绿洲农业可持续发展和环境保护的战略角度考虑,对于多年膜下滴灌棉田连作的新疆等干旱区一方面可以提高地膜的质量,使其标准化生产,并采取措施提高地膜回收率;另一方面应该加强研发环境友好材料来取代难降解的普通塑料地膜。

4 结论

(1)棉田中土壤含水率随着残膜含量的增加逐渐减小,当残膜含量超过 230 kg/hm^2 后,土壤含水率下降幅度较大,T3、CK1、T4、T5 和 T6 处理的平均 SWC 相较于 CK2 分别下降 17.88%,25.17%,26.95%,31.97%,35.97%;0—40 cm 土层的土壤盐分富集效果随着残膜量的增大逐渐增强。

(2)各处理下棉花花铃期土壤水盐结果为 0—40 cm 土层的土壤水盐变异系数均随着残膜含量的增加而增大,尤其是当残膜含量在 $1\ 250$ (T5), $1\ 640$ (T6) kg/hm^2 时的土壤水盐变异系数明显较大。

(3)土壤中的氮素含量随着残膜量的增大而增加,在花铃期差异最明显,T6 处理相较无残膜处理增加了 39.44%;在整个生育期根系全氮含量与残膜含量呈负相关关系,残膜抑制了作物根系吸收土壤中的养分。

(4)棉花产量在很大程度上反映了地膜残留对棉花所产生的影响,单株铃数、单铃重和籽棉产量与 IWUE 随着残膜含量的增加均呈减小的趋势,T6 处理相较无残膜处理平均分别降低了 20.48%,24.56%,37.29%,18.75%。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 贺怀杰,王振华,郑旭荣,等.典型绿洲区长期膜下滴灌棉田残膜分布现状研究[J].灌溉排水学报,2019,38(2):63-69.
- [3] 邹小阳,牛文全,刘晶晶,等.残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展[J].灌溉排水学报,2017,36(7):47-54.
- [4] 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.
- [5] He H J, Wang Z H, Guo L, et al. Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem[J].Soil and Tillage Research,2018,180(3):194-203.
- [6] 林涛,汤秋香,郝卫平,等.地膜残留量对棉田土壤水分分布及棉花根系构型的影响[J].农业工程学报,2019,35(19):117-125.
- [7] 王志超,李仙岳,史海滨,等.含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J].农业工程学报,2016,32(14):103-109.

moisture contents and dry bulk densities [J]. *Water*, 2020, 12(5):1-16.

[9] Gao Y J, Li Y, Zhang J C, et al. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 85(2):109-121.

[10] 刘利华, 费良军, 陈琳, 等. 膜孔直径对浑水膜孔灌土壤水氮运移特性的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3): 126-131.

[11] Zhong Y, Fei L J, Li Y B. Experimental study on infiltration characteristics of film hole irrigation under the influence of multiple factors [J]. *Irrigation and Drainage*, 2020, 69(3):417-426.

[12] 陈琳, 费良军, 刘利华, 等. 土壤初始含水率对浑水膜孔灌肥液自由入渗水氮运移特性影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2):58-66.

[13] 康守旋, 费良军, 姜瑞瑞, 等. 肥液浓度对浑水膜孔灌多点源入渗水氮运移的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(6):156-161.

[14] 刘利华, 费良军, 陈琳, 等. 浑水含沙率对膜孔灌肥液入渗土壤水氮运移特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(2):120-129.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 牛文全, 邹小阳, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14):110-119.

[18] Parhi P K, Mishra S K, Singh R. A modification to Kostia- kov and modified Kostia- kov infiltration models [J]. *Water Resources Management*, 2007, 21(11):1973-1989.

[19] 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.

[20] 高朝侠, 徐学选, 赵娇娜, 等. 土壤大孔隙流研究现状与发展趋势[J]. *生态学报*, 2014, 34(11):2801-2811.

[21] 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.

[22] Michal S, Vladimira J, Jan S, et al. Experimental investigation of preferential flow in a Near-saturated intact soil sample[J]. *Physics Procedia*, 2015, 69:496-502.

[23] 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.

(上接第 319 页)

[8] 牛文全, 邹小阳, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14):110-119.

[9] 张建军, 郭天文, 樊廷录, 等. 农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(1):100-102.

[10] Mumtaz T, Khan M R, Hassan M A. Study of environmental biodegradation of LDPE films in soil using optical and scanning electron microscopy[J]. *Micron: The international research and review journal for microscopy*, 2010, 41(5):430-438.

[11] 吴凤全, 林涛, 王静, 等. 不同残膜量对棉田土壤水盐运移的影响[J]. *棉花学报*, 2018, 30(5):395-405.

[12] 祖米来提·吐尔干, 林涛, 王亮, 等. 地膜残留对连作棉田土壤氮素、根系形态及产量形成的影响[J]. *棉花学报*, 2017, 29(4):374-384.

[13] Gao H H, Yan C R, Liu Q, et al. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 651:484-492.

[14] 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.

[15] 李俊华, 马富裕, 郑重, 等. 膜下滴施尿素对棉花氮素吸收、分配、利用效率的影响[J]. *土壤肥料*, 2005(4):40-43.

[16] 邢艳萍. 河南商丘棉花花铃期栽培管理技术要点[J]. *农业工程技术*, 2019, 39(2):78.

[17] 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.

[18] 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(增刊 1):153-156.

[19] 韩丙芳, 田军仓, 杨金忠. 膜上灌水对玉米田土壤水盐变化特征的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6):252-257.

[20] 苏里坦, 阿不都·沙拉木, 宋郁东. 膜下滴灌水量对土壤水盐运移及再分布的影响[J]. *干旱区研究*, 2011, 28(1):79-84.

[21] 李玉义, 柳红东, 张凤华, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉技术对土壤盐渍化的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12(1):22-26.

[22] 阮世进, 吕新, 刘阳, 等. 不同配肥模式下滴灌棉花氮素吸收利用规律[J]. *新疆农业科学*, 2020, 57(10):1802-1810.

[23] 阿不都卡地尔·库尔班, 李健伟, 杨培, 等. 机采棉株行距配置对棉花生物量和氮素累积分配及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(8):1406-1416.