

张 策,赵玉玲,程东娟,等. 土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):261–264.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.07.062

# 土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响

张 策<sup>1</sup>, 赵玉玲<sup>2</sup>, 程东娟<sup>1</sup>, 王丽玄<sup>1</sup>, 刘 亮<sup>1</sup>

(1. 河北工程大学水电学院, 河北邯郸 056021; 2. 河北工程大学矿测学院, 河北邯郸 056038)

**摘要:**进行室内盐碱土膜孔沟灌与沟灌水分入渗试验,总结土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水盐运移分布的影响及灌水方法对土壤水盐运移分布的影响。结果发现,相同入渗时间下,土壤容重越大,盐碱土膜孔沟灌累积入渗量越小,且累积入渗量与入渗时间符合幂函数关系;相同入渗时间下,水平、垂直湿润锋运移距离均随土壤容重的增大而减小,与时间之间表现出良好的幂函数关系;随着距灌水沟沟底膜孔中心距离的增加,土壤含水量减小,土壤含盐量增加;灌水时间一定时,土壤容重越大,盐分淋洗区越小;相同灌水量条件下,膜孔沟灌入渗时间比沟灌长,湿润锋运移距离大,湿润区内相同位置处,膜孔沟灌含盐量小于沟灌,试验结束时,膜孔沟灌的脱盐效果比沟灌好。

**关键词:**土壤容重;膜孔沟灌;盐碱土;水盐运移

**中图分类号:** S275.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)07–0261–04

土壤盐碱化已经日渐成为限制我国乃至全世界范围内农业可持续发展的问题之一<sup>[1]</sup>。我国盐碱地面积约有 3 700 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>,目前有待开发使用的盐碱地约有 80%,有很大的发展潜能<sup>[3–4]</sup>。膜孔灌溉技术是一种通过地膜输送水,利用灌水孔和作物孔实施灌溉的新型节水灌溉技术<sup>[5]</sup>,而膜孔沟灌是膜孔灌溉技术的一种灌溉方式。在干旱地区,淡水资源短缺,盐碱地改良措施逐渐向节水新型灌溉技术发展。目前,国内学者在盐碱土膜下滴灌方面的研究表明,膜下滴灌对盐碱土有一定的淋洗作用<sup>[6–9]</sup>。但是,目前对膜孔沟灌的研究较少,而土壤容重对土壤水分入渗影响很大<sup>[10]</sup>,因此本

试验主要探究土壤容重对盐碱土膜孔沟灌土壤水盐运移分布的影响,并通过对比沟灌来研究膜孔沟灌对盐碱地改良的影响,以期对膜孔沟灌在盐碱土改良中的推广应用提供一定根据。

## 1 材料与方法

为了探究土壤容重对盐碱土膜孔沟灌和不同灌水方法下土壤水盐运移分布的影响,笔者于 2017 年 3 月 1 日至 5 月 1 日,在河北工程大学农业水土精准实验室内进行同容重下沟灌与膜孔沟灌水分入渗试验,不同容重下盐碱土膜孔沟灌水分入渗试验,膜孔沟灌、沟灌入渗试验装置如图 1 所示。

试验土箱尺寸为 15 cm × 20 cm × 30 cm。土样为粉质壤土,初始含盐量为 3.75%。试验采用横截面为 5 cm × 6 cm 的马氏瓶供水,恒定水头高度为 6 cm。将土样风干、粉碎、过 2 mm 筛,按照预设的土壤初始含水量(8%)进行配土,依据设计按照土壤容重为 1.30、1.35、1.40  $\text{g}/\text{cm}^3$  分别称取 5 cm 试验土箱高度所对应的土壤质量,装入土箱,压实,使土箱内厚度为 5 cm,压实后的土壤表面用铲子刮毛,以保证层间结合良好。如此往复,依次分层装入土箱。

沟灌和膜孔沟灌横断面均为梯形,根据试验的对称性,对 1/2 垄沟进行研究。进行膜孔沟灌试验时,使用 1/4 膜孔进

收稿日期:2017–11–10

基金项目:河北省自然科学基金(编号:E2016402169);国家重点研发计划(编号:2017YFD0300905–04);设施蔬菜水肥菌时空施用阈值及改良土壤技术研究(编号:17226914D);邯郸市科学技术研究与发展计划资助项目(编号:1723209055–2,1721203048–2)。  
作者简介:张 策(1991–),女,河北衡水人,硕士研究生,主要从事节水灌溉原理与技术、土壤环境研究。E-mail:1325411917@qq.com。

通信作者:赵玉玲,硕士,副教授,硕士生导师,主要从事摄影测量与遥感、形变灾害监测、工程测量研究。E-mail:zhaoyuling@hebeu.edu.cn。

效果[J]. 广西农学报,2008,23(4):9–11.

[8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:309–311.

[9] 周晓阳,周世伟,徐明岗,等. 中国南方水稻土酸化演变特征及影响因素[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4811–4817.

[10] Barak P, Jobe B O, Krueger A R, et al. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin[J]. Plant and Soil, 1997, 197(1):61–69.

[11] 刘 永,成少华,李 晴,等. 滨海县耕地质量现状及肥力变化趋势分析[J]. 现代农业科技,2010(21):309–309.

[12] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415–421.

[13] 李忠芳,张水清,李 慧,等. 长期施肥下我国水稻土基础地力变化趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1394–1402.

[14] 侯朋福,薛利祥,俞映惊,等. 稻田径流易发期不同类型肥料的氮素流失风险[J]. 农业环境科学学报,2017,36(7):1353–1361.

[15] 李贵树,赵紫娟,黄元仿,等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):162–167.

[16] 周小萍,陈百明,张添丁. 中国“藏粮于地”粮食生产能力评估[J]. 经济地理,2008,28(3):475–478.

[17] 李 锐. 不同基础地力对水稻产量和肥料利用效率的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2011.

[18] 谢金学,吴金书,谭和芳,等. 氮磷钾配合施肥对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2008(5):258–260.

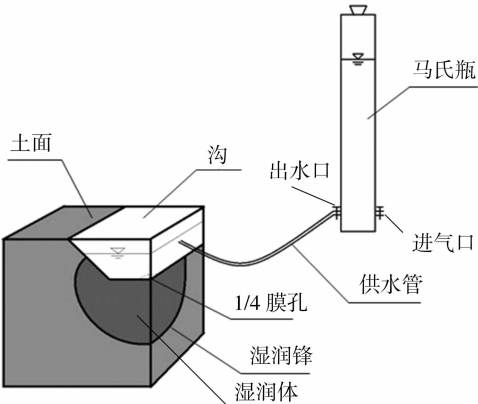


图1 盐碱土膜孔沟灌、沟灌入渗装置

行盐碱土膜孔沟灌水分入渗试验,该膜孔直径为 5 cm,试验时将塑料薄膜铺设在灌水沟及垄上,在膜和土壤表面间涂抹凡士林,以防渗水,1/4 膜孔位置为土箱灌水沟一角,在膜上铺粗沙,以防漂膜。灌水沟断面为梯形,本试验装置利用半个灌水沟进行分析(图 1),上沟宽度 10 cm,底沟宽度 5 cm,沟深度 6 cm,沟长度 15 cm。试验过程中,依据由密到疏的原则,分别在 1、3、5、7、10、15、20、30、45、60、90、120 min 时观测并记录马氏瓶液面下降刻度和灌水沟内水深,描绘湿润锋。

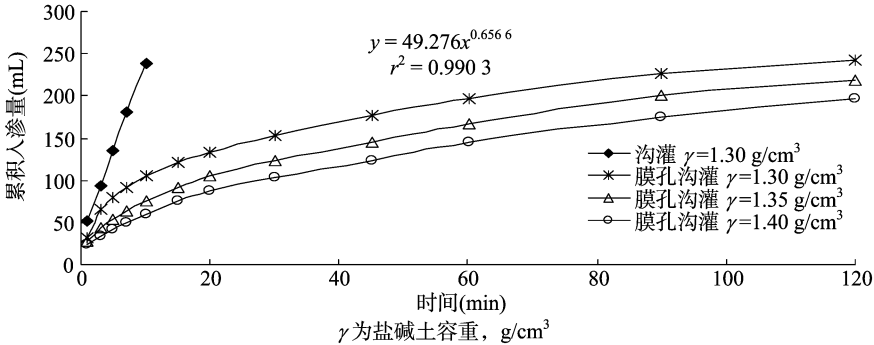


图2 沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌累积入渗量曲线

对沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌的累积入渗量与时间之间的关系用幂函数进行拟合,结果(表 1)发现,入渗过程中,随入渗时间的延长,入渗速率不断减小,原因可能是在土壤中水流向下运动时,逐渐占据土壤孔隙,土壤中的空气被压缩,导致土壤中空气的运动受到限制,从而产生阻碍入渗水流向下运动的空气顶托力,导致土壤的入渗速率不断减小。

表 1 沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌累积入渗量与时间关系

灌水方法	$\gamma$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$I$ (mL)	$r^2$
沟灌	1.30	$49.276t^{0.6566}$	0.9903
膜孔沟灌	1.30	$39.139t^{0.3993}$	0.9779
膜孔沟灌	1.35	$27.290t^{0.4409}$	0.9991
膜孔沟灌	1.40	$20.868t^{0.4683}$	0.9946

注: $t$  为入渗时间, min;  $I$  为累积入渗量;  $r^2$  为决定系数。

2.2 不同土壤容重条件下膜孔沟灌及不同灌水方法对盐碱土湿润锋运移距离的影响

由图 3、图 4 可以看出,沟灌和膜孔沟灌的水平、垂直湿润锋运移距离均随灌水时间的增加而增加;同一入渗时间下,膜孔沟灌土壤容重越大,湿润锋运移距离越小;相同灌水条

当膜孔沟灌水时间达到 2 h 时,立即关掉马氏瓶出水口和进气口阀门,停止试验。沟灌灌水量与同一容重下的膜孔沟灌灌水量一致,计算得到容重为  $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$  条件下膜孔沟灌试验结束时的灌水量为 243.3 mL,待沟灌灌水量达到该值时(11.6 min),停止试验。试验结束后,在垂直灌水沟土壤剖面的水平和垂直方向进行网格取土,网格尺寸为  $2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$ ,采用烘干法测定该土样含水量,取部分烘干后土样放入烧杯中,以水土比 5 mL : 1 g 加入纯水,搅拌均匀后静置 30 min,用电导率仪测定电导率,再根据标准曲线将其换算成土壤含盐量。

2 结果与分析

2.1 不同土壤容重条件下膜孔沟灌及不同灌水方法对盐碱土累积入渗量的影响

由图 2 可知,盐碱土膜孔沟灌条件下,不同容重土壤的累积入渗量和入渗速率变化趋势基本一致,随灌水时间的增加,累积入渗量不断增大,入渗速率逐步减小。相同入渗时间,土壤容重越小,盐碱土膜孔沟灌累积入渗量越大;沟灌条件下,随着灌水时间的增加,累积入渗量也不断增大,与膜孔沟灌变化趋势一致;灌水量相同的情况下,同一时间沟灌较相同容重下膜孔沟灌的大得多,其入渗时间更短。

件下,沟灌湿润锋垂直运移距离比同一容重下的膜孔沟灌小。

由表 2 可知,沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌的水平、垂直湿润锋运移距离与时间之间较好地符合幂函数关系。

由图 3、图 4 可知,土壤容重对盐碱土膜孔沟灌水分运移影响较明显。这可能是因为土壤容重越大,土壤结构越密实,细小孔隙越多,大孔隙越少土壤水分运移阻力越大,饱和导水率越小,湿润锋运移距离越小<sup>[11]</sup>。相同时间下,沟灌的水平湿润锋运移距离比同一容重下的膜孔沟灌大,这可能是因为沟灌水分入渗通过整个灌水沟(整个沟底和部分沟坡)进行,土壤与水接触面积大,而膜孔沟灌仅通过灌水沟一角的膜孔进行水分入渗,土壤与水接触面积小;沟灌与膜孔沟灌垂直湿润锋运移距离差距不大,图中反映不太明显。相同灌水量下,沟灌入渗时间短,试验结束时,沟灌水平、垂直湿润锋运移距离均比相同容重下的膜孔沟灌小得多,这可能是因为膜孔沟灌水分通过灌水孔入渗,而沟灌水分通过整个沟底及沟坡向土壤中入渗。

2.3 不同土壤容重条件下膜孔沟灌及不同灌水方法对盐碱土土壤水分分布的影响

由图 5 可以看出,沟灌及不同土壤容重下盐碱土膜孔沟

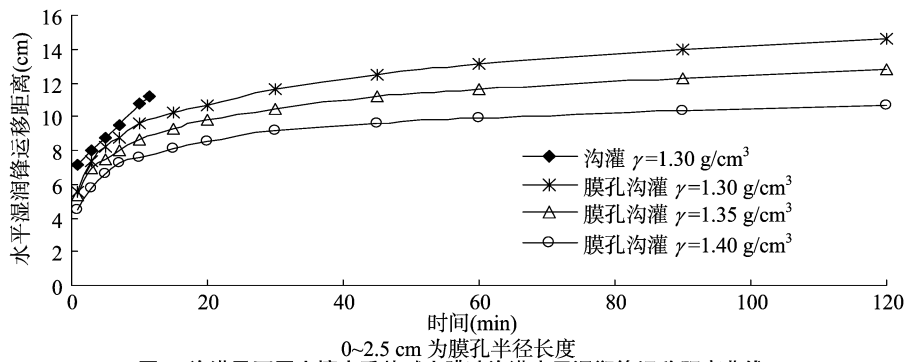


图3 沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌水平湿润锋运移距离曲线

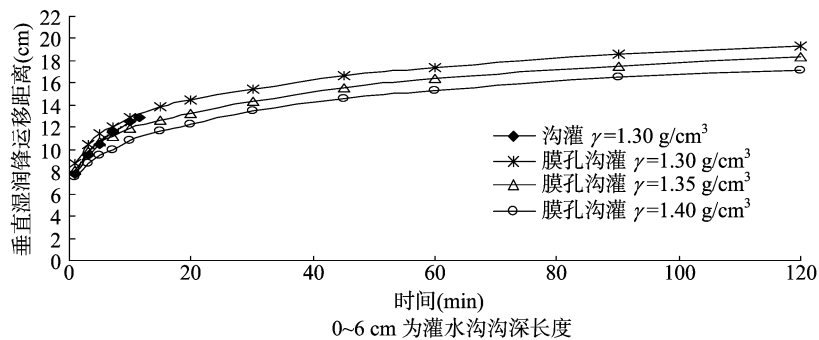


图4 沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌垂直湿润锋运移距离曲线

表 2 沟灌及不同土壤容重盐碱土膜孔沟灌湿润锋运移距离与时间关系

灌水方法	$\gamma$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$R_z$		$R_x$	
		数值 (cm)	$r^2$	数值 (cm)	$r^2$
沟灌	1.30	$6.8027t^{0.1868}$	0.9403	$7.6838t^{0.2071}$	0.9937
膜孔沟灌	1.30	$5.9068t^{0.1958}$	0.9930	$8.7196t^{0.1679}$	0.9996
膜孔沟灌	1.35	$5.5808t^{0.1809}$	0.9918	$8.0863t^{0.1702}$	0.9984
膜孔沟灌	1.40	$4.8894t^{0.1751}$	0.9707	$7.2288t^{0.1804}$	0.9954

注： $\gamma$  为盐碱土容重， $\text{g}/\text{cm}^3$ ； $R_z$  为水平湿润锋运移距离，cm； $R_x$  为垂直湿润锋运移距离，cm； $t$  为入渗时间，min。

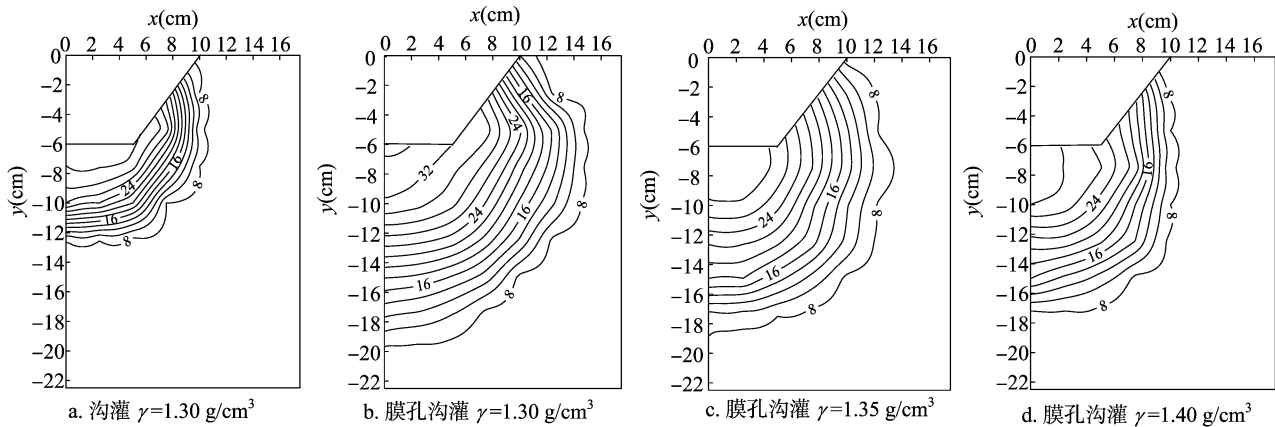


图5 沟灌及不同容重盐碱土膜孔沟灌土壤水分分布等值线

灌土壤剖面水分分布规律大体一致：即以膜孔所在位置[点(0，-6)]为中心呈椭圆分布，距灌水沟沟底膜孔中心点(0，-6)的距离越大，土壤含水量越小。土壤含水量等值线在灌水沟沟底膜孔[点(0，-6)]处，相对稀疏，而在湿润锋附近分布较汇集，说明在灌水沟膜孔周围，土壤含水量变化较小，随

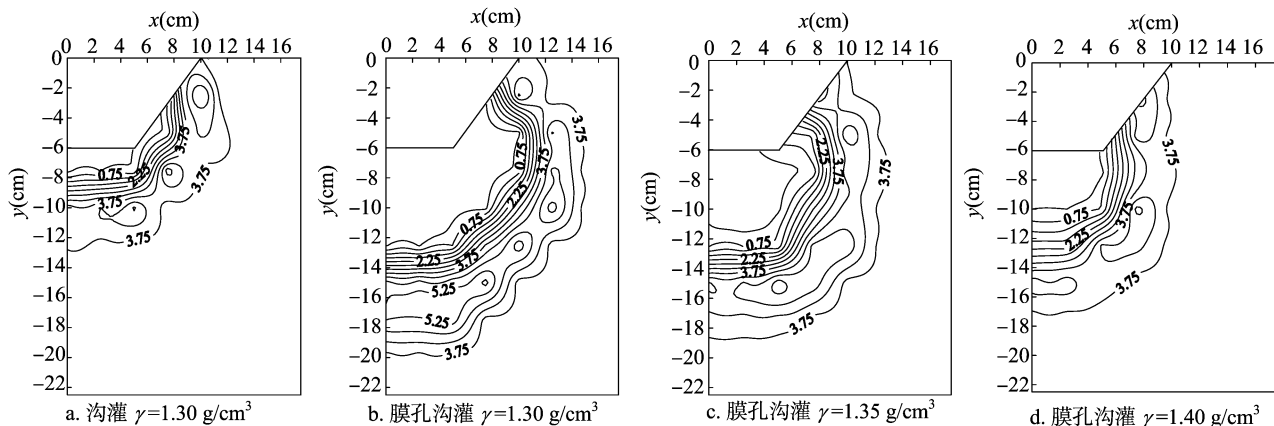
着距膜孔距离的增大，土壤含水量变化增大。在相同灌水时间下，同一位置土壤容重越大，土壤含水量越小，原因是随着土壤容重增大，土壤密度增大，较大孔隙数量减小，小孔隙增多。相同灌水量条件下，膜孔沟灌比同一容重下沟灌的湿润范围大，原因可能是膜孔沟灌的水分通过灌水孔入渗，而沟

灌的水分通过整个沟底及沟坡向土壤中入渗。

## 2.4 不同土壤容重条件下膜孔沟灌及不同灌水方法对盐碱土土壤盐分分布的影响

由图6可以看出,沟灌及不同容重盐碱土膜孔沟灌的土壤盐分分布规律大体一致,即在膜孔位置[点(0, -6)]附近,土壤盐分含量较低,小于盐碱土初始含盐量(3.75%),距膜孔距离越大,土壤盐分含量越大,在湿润锋(图6中土壤含盐量为3.75%的曲线)附近盐分含量达到最大。可以明显看出,膜孔,即点(0, -6)附近是盐分淋洗区,而湿润体边缘(图6中湿润区中靠近土壤含盐量为3.75%的曲线)为盐分累积区。相同灌水时间下,淋洗区内同一位置土壤盐分含量随土

壤容重增大而增大,盐分累积区内盐分含量随土壤容重的增大而减小,原因是灌水时间相同,容重越大,土壤导水率越小,平均孔隙流速越小<sup>[12-13]</sup>,阻碍土壤盐分随水分运动而向下运移,因此土壤淋洗范围变小。灌水量相同条件下,与沟灌相比,同一容重膜孔沟灌脱盐区范围较大,且脱盐区内盐分含量较小,盐分累积区位置较深、范围较大,随淋洗进入土壤深层的盐分较多。因此可以看出,土壤容重对盐碱土膜孔沟灌盐分的淋洗有一定影响,膜孔沟灌对盐分的淋洗效果比同一容重的沟灌好,可能是因为灌水量相同时,膜孔沟灌水分入渗时间长,对盐分的淋洗时间长,淋洗范围大。



x 表示水平方向, y 表示垂直方向, 淋洗区为土壤表面到盐分增至土壤初始含盐量(3.75%)之间的区域; 脱盐区为淋洗区中的空白区域

图6 沟灌及不同容重盐碱土膜孔沟灌土壤盐分含量分布等值线

## 3 结论

不同土壤容重下,盐碱土膜孔沟灌累积入渗量、湿润锋运移随时间的变化规律均相似。

相同灌水时间下,土壤容重越大,盐碱土膜孔沟灌累积入渗量越小,水平、垂直湿润锋运移距离均随之减小,同一位置土壤含水量也随之减小,而同一位置土壤盐分含量随之增大。相同灌水量下,沟灌入渗时间比同一容重下的膜孔沟灌短得多;试验结束时,其湿润锋运移距离比同一容重下的膜孔沟灌小,湿润范围小,脱盐区面积小,脱盐效果较差。

沟灌为二维水分入渗,灌水沟沟底附近含盐量较低,对盐分有明显的淋洗作用。膜孔沟灌为三维水分入渗,灌水沟膜孔附近的盐分含量较低,同时含水量较高,对盐碱土盐分淋洗有一定影响。相比沟灌,膜孔沟灌脱盐区范围较大,淋洗盐分较多,对盐碱土盐分的淋洗效果更好,有利于盐碱土地区作物的生长。本试验为盐碱土地区作物膜孔沟灌实施与推进提供了一定的依据。

## 参考文献:

- [1] 李彬,王志春,孙志高,等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.
- [2] 张谦,陈凤丹,冯国艺,等. 盐碱土改良利用措施综述[J]. 天

津农业科学,2016(8):35-39.

- [3] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):32-34,111.
- [4] 俞仁培,陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报,1999(4):15-16,34.
- [5] 贾丽华,费良军. 膜孔灌技术田间试验研究进展[J]. 中国农业信息,2015(24):45-46,131.
- [6] 李向春,李文昊,韩冬梅,等. 绿洲区长期膜下滴灌棉田土壤盐分离子分布[J]. 节水灌溉,2016(7):65-69.
- [7] 李明思,刘洪光,郑旭荣. 长期膜下滴灌农田土壤盐分时空变化[J]. 农业工程学报,2012(22):82-87.
- [8] 牟洪臣,虎胆·吐马尔白,苏里坦,等. 不同耕种年限下土壤盐分变化规律试验研究[J]. 节水灌溉,2011(8):29-31,35.
- [9] 叶含春,刘太宁,王立洪. 棉花滴灌田间盐分变化规律的初步研究[J]. 节水灌溉,2003(4):4-6,46.
- [10] 程东娟,霍自民,汪丽佳. 土壤容重对膜孔灌盐土盐运移分布影响[J]. 水利水电技术,2013(1):121-124.
- [11] 李卓,吴普特,冯浩,等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报,2010(4):611-620.
- [12] 李保国,胡克林,黄元仿,等. 土壤溶质运移模型的研究及应用[J]. 土壤,2005,37(4):345-352.
- [13] 钟韵,费良军,傅渝亮,等. 土壤容重对浑水膜孔灌单点源自由入渗特性的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):88-91,96.