

秸秆施入深度对土壤水分运移和水吸力变化的影响

程东娟, 周 客, 王利书, 齐 鸣

(河北工程大学, 河北 邯郸 056021)

摘要: 为了研究秸秆还田下秸秆施入深度对土壤水分运移和水吸力变化的影响,通过室内模拟试验,对不同秸秆施入深度条件下土壤水分运移分布特性进行了模拟。玉米秸秆粉碎成<5 mm 的小段且干燥放置,在秸秆施入深度内按干土重的 1% 配比均匀混施。设置无秸秆还田(CK)、秸秆施入深度 15 cm(S15)、秸秆施入深度 20 cm(S20)、秸秆施入深度 25 cm(S25)、秸秆施入深度 30 cm(S30) 5 个处理,并用微型张力计(T5)测定土壤水吸力值。结果表明:秸秆施入深度对土壤水分入渗特性有影响。随着秸秆施入深度的增加,土壤湿润锋运移距离和累积入渗量减小;秸秆施入深度对湿润锋运移影响较明显;相同入渗深度下,含有秸秆土层的含水量比不含有秸秆土层的含水量明显增加。秸秆施入深度对土壤水吸力有重要影响,土壤水吸力的变化反映了土层中水分的变化,不同土层深度下,土壤水吸力的变化趋势大致相同。不同秸秆施入深度,导致各处理在同一土层深度下,土壤水吸力峰值和达到峰值的时间出现差异,秸秆施入深度越深,土壤水吸力的峰值相对较大,达到峰值的时间相对较长。

关键词: 秸秆; 施入深度; 湿润锋; 累积入渗量; 土壤水吸力

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2020)01-0116-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.01.017

Effect of Straw Application Depth on Soil Moisture Transport and Water Suction Changes

CHENG Dongjuan, ZHOU Ke, WANG Lishu, QI Ming

(Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056021)

Abstract: In order to study the effects of different straw application depths on soil water transport and water suction changes, the characteristics of soil water transport and distribution under different straw application depths were simulated by laboratory simulation test. Corn straw was crushed into small sections of less than 5 mm and stored in dry space. For the given application depth, straw was mixed with dry soil evenly with 1% application ratio. Five treatments were set up: no straw returning (CK), straw application depth of 15 cm (S15), straw application depth of 20 cm (S20), straw application depth of 25 cm(S25), straw application depth of 30 cm (S30). Soil water suction value was measured by micro-tensiometer(T5). The results showed that the application depth of straw had an effect on soil water infiltration characteristics. With the increase of straw application depth, the transport distance of wetting front and the cumulative water infiltration amount decreased. The influence of straw application depth on wetting front migration was obvious. At the same infiltration depth, the moisture content of soil layer containing straw increased significantly than that without straw layer. Straw application depth had an important impact on soil water suction, the changing trend of soil water suction values at different soil depth was roughly the same. Different straw application depth led to the difference of soil water suction peak and peak time under the same soil layer depth. The deeper straw application was applied, the greater the peak value of soil water suction and the longer the time to reach the peak value.

Keywords: straw; application depth; wetting front; cumulative infiltration; soil water suction

我国是一个农业大国,每年秸秆产量 7.9 亿 t,约占世界的 39.5%,大量的秸秆被焚烧、丢弃,造成了资源的浪费。秸秆还田能够有效改善土壤结构,提升土壤肥力,促进作物的生长^[1-3]。李荣等^[3]研究表明,秸

秆还田能够增加土壤养分含量,调节土壤碳氮比,增强土壤的蓄水保墒能力;刘继龙等^[4]认为,秸秆覆盖处理能够增强土壤水分特性,秸秆的集雨效果显著,有效减少土壤水分无效蒸发;隋鹏祥等^[5]研究认为,秸秆还田提高水分利用效率和土壤含水量,增加作物产量。但通过改变秸秆施入深度对土壤水分特性、土壤水吸力影响研究相对较少。本文通过室内土柱试验,研究不同秸秆施入深度对土壤水分入渗特性的影响,以期为提高秸秆利用率、促进作物生长和田间水量的高效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

为研究秸秆施入深度对土壤水分运移分布特性的影响,在室内进行一维垂直均匀土柱入渗试验^[6]。试验于 2018 年 12 月在河北工程大学实验室进行。试验所用土样为壤土,经过风干、粉碎,过 2 mm 孔径土筛,按照土壤初始含水率 3% 进行配土,秸秆施入层和底层(不施秸秆)土壤容重均为 1.25 g/cm³。将土样分层装入土柱,每层高 2 cm,土样压实打毛后再装入下一层。玉米秸秆粉碎成 <5 mm 的小段且干燥放置,依据文献^[7-9]在秸秆施入深度内按干土重的 1% 配比均匀混施。

试验采用的土柱内径为 5 cm、高 40 cm 的透明有机玻璃管,土柱每层高为 2 cm 且中间有 1 个取土孔,分别在土柱外侧距离土柱表面 5,15,21,25 cm,插入 T5 微型水势传感器,用于测量土壤水吸力。T5 微型水势传感器采用美国 METER 品牌,其原理是土壤水势通过陶瓷杯传递到传感器内部,造成传感器内水压变化,位于传感器内的压力传感器以模拟信号输出压力变化情况,得到相应的水势。适用于小型土柱模拟试验中土壤水势测定和水分流动监测。试验采用标记土柱外侧透明薄膜,获得湿润锋。土柱通过马氏瓶供水,维持水头恒定 3 cm,通过马氏瓶下降的水位高度,获得累积入渗量。试验重复 3 次。试验装置见图 1。

1.2 试验设计

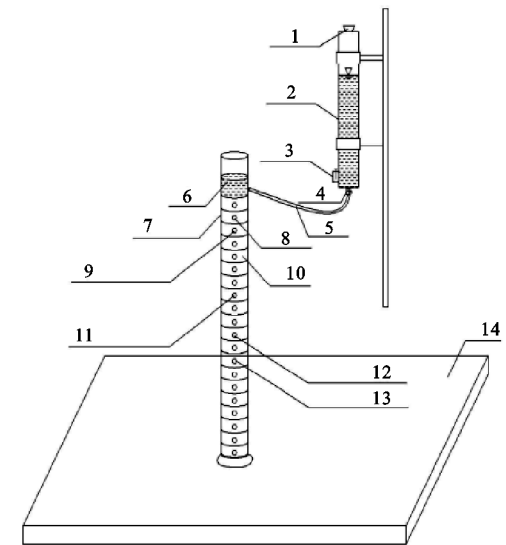
试验设置 5 个处理,分别为无秸秆还田(CK)、秸秆施入深度 15 cm(S15)、秸秆施入深度 20 cm(S20)、秸秆施入深度 25 cm(S25)、秸秆施入深度 30 cm(S30)。

1.3 测定项目及方法

在入渗过程中每隔 30 min 读取马氏瓶读数,通过马氏瓶减少的水量并扣除土表恒定水头水量后可计算从入渗开始到观测时刻时段内的累积入渗水量,即累积入渗量。从入渗开始,每隔 30 min 测量湿润锋的位置,通过记号笔在土柱外表面标记,以土柱表面为原点,不同时刻标记湿润锋的位置记为该时刻对

应湿润锋的运移距离,即湿润锋位置^[10]。

当湿润锋运移距离 32 cm 时结束试验,从土层表面向下用小勺取土,取土位置分别是 0—2,2—4,6—8,10—12,14—16,18—20,22—24,26—28,30—32 cm。将所取土样烘干测其含水率。



注:1 为橡胶塞;2 为马氏瓶;3 为进气口;4 为出水口;5 为供水管;6 为水层;7 为有机玻璃杯;8 为取土层;9 为 5 cm 处插入 T5;10 为土层;11 为 15 cm 处插入 T5;12 为 21 cm 处插入 T5;13 为 25 cm 处插入 T5;14 为台架。

图 1 试验装置示意

1.4 数据的处理与分析

图中所用的数据均是重复 3 次的平均值,采用 Excel 和 SPSS 软件分别进行作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆施入深度对湿润锋运移的影响

由图 2 可知,不同秸秆施入深度处理的湿润锋运移距离随时间变化的趋势一致,湿润锋运移距离随着时间的延长而逐渐增大;同一入渗时刻下,秸秆施入深度越深,湿润锋运移距离越小,且均小于对照,并随着入渗时间延长各处理湿润锋运移距离差别越明显。

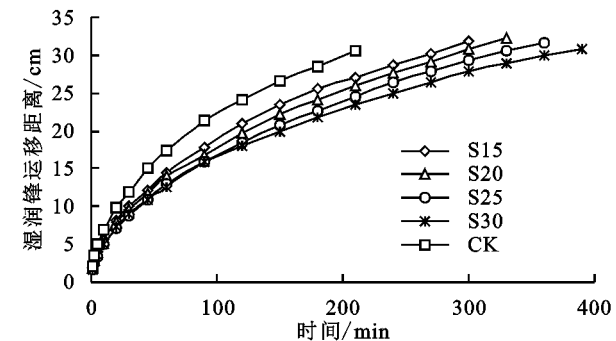


图 2 秸秆施入深度对湿润锋运移的影响

选取 6 个典型入渗时间,在 0.05 显著水平上进行 Duncan 多重比较(表 1)发现,秸秆施入深度对湿润锋有影响,随着入渗时间延长,差异越明显。

表 1 不同入渗时间秸秆施入深度对湿润锋
运移距离影响

处理	单位:cm					
	1 min	60 min	90 min	120 min	180 min	270 min
S15	1.83a	14.47a	17.73a	21.03a	25.57a	30.10a
S20	1.93a	13.97a	16.83ab	19.70b	24.20b	29.23ab
S25	1.63a	12.93b	16.00b	18.53c	22.70c	27.83bc
S30	1.63a	12.60b	15.87b	18.10c	21.70c	26.50c

注：表中数据为平均值；同列不同字母表示处理在 5% 水平差异显著。下同。

2.2 秸秆施入深度对累积入渗量的影响

由图 3 可知，秸秆施入深度对累积入渗量有影响，累积入渗量随着入渗时间的延长而逐渐增大。不同秸秆施入深度下，累积入渗量均小于对照。对比图 2 可知，累积入渗量随时间的变化规律与湿润锋运移距离大致相同。

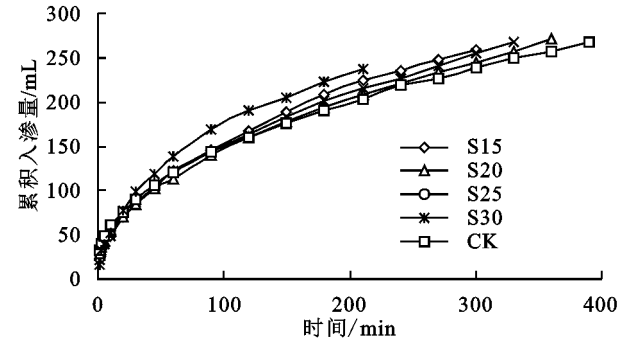


图 3 秸秆施入深度对累积入渗量的影响

选取 6 个典型入渗时间，在 0.05 显著水平上进行 Duncan 多重比较(表 2)。秸秆施入深度对累积入渗量有影响，随着入渗时间延长，差异越明显。秸秆施入深度对湿润锋的影响大于对累积入渗量的影响，秸秆的存在一定程度上减缓了水分运移的速度，同时秸秆需吸附一定含量的水分，导致水流连续性通道被截断，水分停留相同深度时间增大。

表 2 不同入渗时间秸秆施入深度对累积入渗量的影响

处理	单位:mL					
	1 min	60 min	90 min	120 min	180 min	270 min
S15	21.93a	122.49a	146.25a	166.17a	207.69a	247.53a
S20	21.29a	123.05a	143.21a	164.33a	200.81ab	240.89ab
S25	28.26a	112.74a	140.83a	160.40a	194.58ab	233.71ab
S30	32.62a	119.98a	143.27a	159.83a	190.31b	226.07b

2.3 秸秆施入深度对土壤含水率的影响

由图 4 可知，不同秸秆施入深度下，土壤含水率随深度的变化趋势一致，均随着土壤深度的增大而减小。根据土层含水率在剖面分布可划分为 0—2.5，2.5—30 cm 2 段；在 0—2.5 cm，土壤含水率急剧减小，2.5—30 cm 迅速减小。相同土层深度下，含有秸秆层土壤的含水率比不含秸秆层的大，而未施入秸秆土壤的含水率比 CK 小。秸秆施入深度越深，同一深

度下含有秸秆层土壤的土壤含水率越大，未施入秸秆的土壤含水率越小，如在土层深度 15 cm 处，S20、S25 和 S30 的土壤含水率都大于 S15、CK；S15 的含水率大于 CK；在土层深度 20 cm 处，表现为 S25 和 S30 含水率大于 S20，其他土壤含水率关系表现为 S20>CK>S15；在土层深度 25 cm 处，表现为 S30>S25>CK>S15>S20；在土层深度 30 cm 处，含水率关系表现为 S30>CK>S15>S20>S25。

在湿润深度相同下，秸秆的存在使秸秆下部土层含水率降低，秸秆施入深度越深，效果越明显，体现了秸秆具有储水和阻碍水分向下运移的作用，这与王曼华等^[11]研究秸秆双层覆盖对水盐运动影响结果一致。

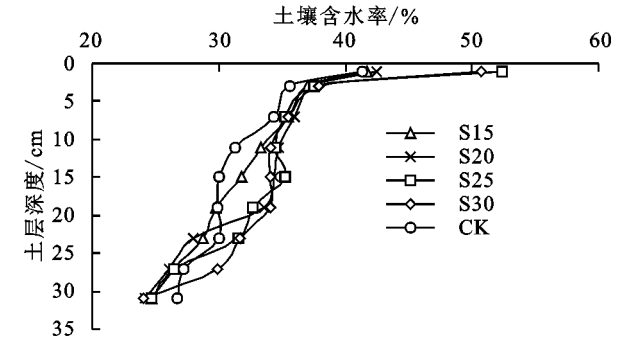


图 4 秸秆施入深度对土壤含水率的影响

2.4 秸秆施入深度对土壤水吸力变化的影响

由图 5 可知，在不同土层深度下，不同秸秆施入深度的土壤水吸力随时间变化趋势基本一致。在土层深度 5 cm 处，除 CK 外，不同秸秆施入深度处理的土壤水吸力随时间变化趋势和差异均不大。各处理土壤水吸力迅速由小到大，再由大到小，且到达峰值时间基本相同。在土层深度 15, 21, 25 cm 处，不同秸秆施入深度处理的土壤水吸力随时间变化趋势相近，但差异明显加大，而且随着土层深度加深，不同秸秆施入深度处理对水吸力达到峰值的时间长短和峰值影响越明显。表 3 为各处理在不同土层深度下土壤水吸力的峰值和峰值对应的时间。

由表 3 可知，秸秆施入深度越深，土壤水吸力到达峰值的时间越长，峰值越大，尤其对土层深度较深范围，本试验条件下 15 cm 以下的这种影响较明显。这是因为：同一深度的土壤含水量随秸秆施入深度增大而减小，其水流通量小，导致相同土层深度下秸秆施入深度大的处理的 T5(微型张力计)与周围土壤水分平衡时间较长，即达到峰值时间越长；由于秸秆施入深度越大，同一深度的土壤含水量越小，所以平衡后 T5(微型张力计)周围的土壤水吸力越大，即土壤水吸力峰值越大。这说明秸秆的存在对土壤水分运移有阻碍作用，使土壤水分在上层运移时间增长，无疑增大了上层土壤的含水量，同时由于秸秆的吸持作

用,延缓了水分向下运移,当上层土壤含水量较大时,水分才向下运移^[12-15],表现为土壤水吸力下降到达拐点时间延长,其对应土壤水吸力增大,如土层深度 15 cm 时,各处理土壤水吸力到达拐点时间分别为 60 (CK),80 (S15),80 (S20),80 (S25),80 (S30) min,相应拐点吸力值为 72 (CK),140 (S15),197 (S20),236 (S25),204 (S30) hPa;土层深度 21 cm 时,各处理土壤水吸力到达

拐点时间分别为 120 (CK),140 (S15),160 (S20),180 (S25),180 (S30) min,相应拐点吸力为 83 (CK),200 (S15),220 (S20),365 (S25),370 (S30) hPa;土层深度 25 cm 时,各处理土壤水吸力到达拐点时间分别为 140 (CK),185 (S15),200 (S20),230 (S25),240 (S30) min,相应拐点吸力为 237 (CK),334 (S15),380 (S20),400 (S25),520 (S30) hPa。

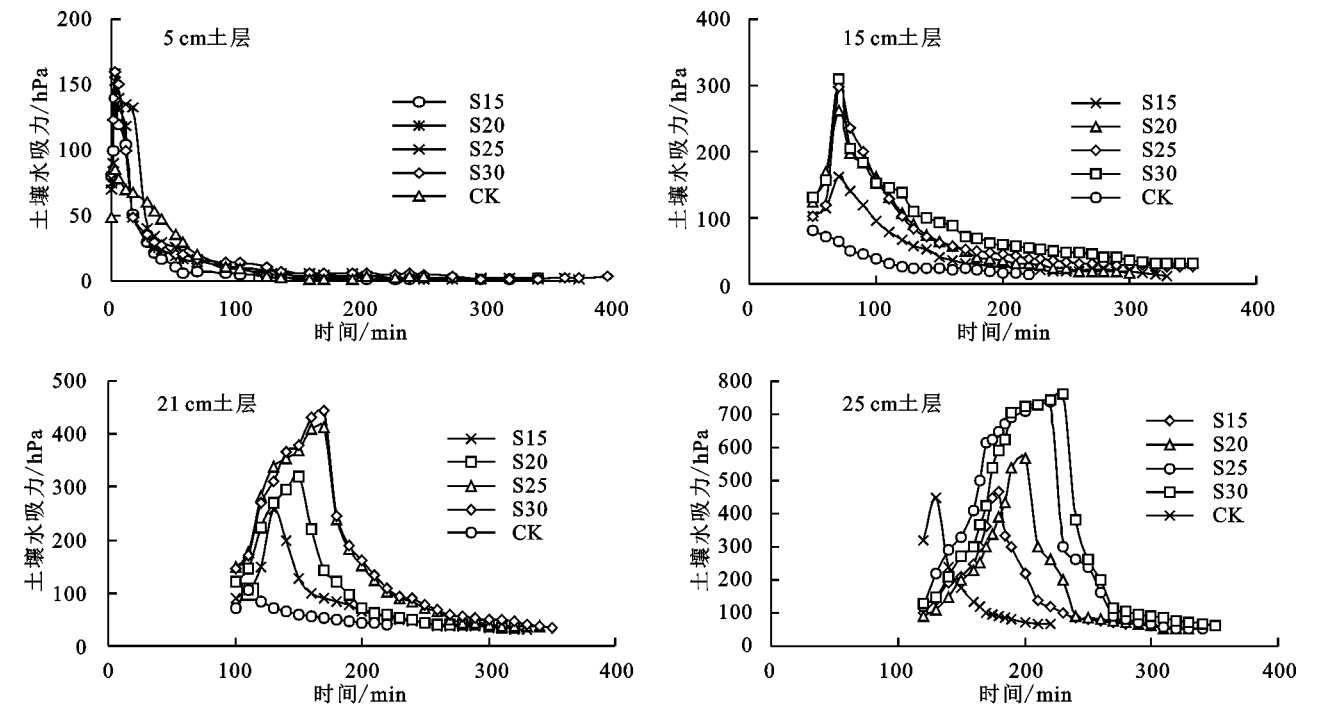


图 5 秸秆施入深度对土壤水吸力的影响

处理	土层深度 5 cm	土层深度 15 cm	土层深度 21 cm	土层深度 25 cm
S15	3 (140)	70 (162)	130 (257)	180 (469)
S20	3 (153)	70 (263)	150 (320)	200 (565)
S25	3 (158)	70 (298)	170 (414)	220 (740)
S30	3 (160)	70 (310)	170 (443)	230 (760)
CK	1 (86)	50 (80)	110 (105)	130 (450)

注:表中括号内数据为土壤水吸力的峰值(hPa);括号外数据为峰值对应的时间(min)。

在不同土层深度下,各处理的土壤数值达到一定数值后变化很小,表现在各处理土壤水吸力在到达拐点后其吸力值变化很小,如土层深度 21 cm 处,土壤水吸力到达拐点后,其值变化幅度减小;虽然各处理土壤水吸力在到达拐点后其吸力值变化很小,但对稳定值大小有影响,基本表现为秸秆施入深度越大,其土壤水吸力越大,如在 300 min 时,S15 在土层深度 5,15,21,25 cm 的土壤水吸力分别为 2,18,35,61 hPa;S20 在土层深度 5,15,21,25 cm 的土壤水吸力分别为 2,16,36,63 hPa;S25 在土层深度 5,15,21,25 cm 的土壤水吸力分别为 1,28,41,68 hPa;S30 在土层深度 5,15,21,25 cm 的土壤水吸力分别为 1,35,51,90 hPa。

不同土层深度不同秸秆施入深度处理的土壤水吸力值由小到大,再由大到小,表明了张力计先释水再吸水,即张力计陶土头周围土壤先从张力计中吸持水分,随着上面的水分运移到陶土头周围土壤,土壤中水分向张力计中运移,所以土壤水吸力的最大值为土壤水分运移到该深度时对应的基质吸力。由不同土层深度各处理土壤水吸力的峰值大小可知,秸秆还田深度对基质吸力有影响,秸秆还田深度越大,对应基质吸力越大,尤其在土壤较深范围。另外,水分运移到不同土层深度时,土壤水吸力到达峰值的大小不同,同一处理,土层深度越大,水吸力到达峰值越大,即土层深度越大,其湿润锋附近的基质吸力越大,这说明湿润锋附近的基质吸力不是常数,是随着土层深度变化的^[16-17]。

3 结论

(1)与秸秆不还田(CK)比较,不同秸秆施入深度处理能显著降低湿润锋运移距离和累积入渗量的大小,秸秆施入深度越大,差异越明显。随着秸秆施入深度的增加,相同入渗深度,累积入渗量和湿润锋运移距离减小。通过对累积入渗量和湿润锋运移距离

在不同入渗时间下进行统计分析,秸秆施入深度越深,累积入渗量和湿润锋运移距离在不同处理下差异明显。秸秆施入深度对湿润锋运移影响较明显。

(2)不同秸秆施入深度下,秸秆层的上部土壤含水量比不施入秸秆大,而秸秆层下部土壤的含水量比不施入秸秆小;相同入渗深度下,含有秸秆土层的含水量比不含有秸秆土层的含水量明显增加。

(3)秸秆施入深度影响土壤水吸力在不同土层深度中的大小。入渗相同深度,秸秆施入深度越深,土壤水吸力峰值越大,达到峰值所需时间越长。秸秆能够改变土层孔隙状况,使 T5 微型传感器周围的土壤环境发生改变,导致在不同土层深度下土壤水吸力峰值出现差异。不同土层深度下,土壤水吸力随着水分入渗 T5 微型传感器周围,土壤水吸力在峰值处骤降。从峰值时刻开始到下降趋于平稳,这段时间内土壤水吸力随时间变化用幂函数拟合程度较好。

参考文献:

- [1] 安丰华,王志春,杨帆,等.秸秆还田研究进展[J].土壤与作物,2015,4(2):57-63.
- [2] 赵宏波,何进,李洪文,等.秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响[J].农业机械学报,2018,49(增刊1):60-67.
- [3] 李荣,侯贤清,吴鹏年,等.秸秆还田配施氮肥对土壤性状与水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2019,50(8):289-298.
- [4] 刘继龙,李佳文,周延,等.秸秆覆盖与耕作方式对土壤水分特性的影响[J].农业机械学报,2019,50(7):333-339.
- [5] 隋鹏祥,张文可,梅楠,等.不同秸秆还田方式对春玉米产量、水分利用和根系生长的影响[J].水土保持学报,2018,32(4):255-261.

(上接第 115 页)

- [23] Bodman G B, Colman E A. Moisture and energy conduction during down-ward entry of water into soil [J]. Soil Science of America Journal,1944,(8)2:166-182.
- [24] 贾书岭.非饱和重塑土渗透特性试验研究[D].西安:长安大学,2017.
- [25] 姚贤良,程云生.土壤物理学[M].北京:农业出版社,1986.
- [26] Miller C J, Yesiller N, Yaldo K, et al. Impact of soil type and compaction conditions on soil water characteristic [J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,2002,128(9):722-742.

- [6] 郑欣荣,王利书,齐鸣,等.秸秆还田下灌水量对土壤水分运移特性研究[J].节水灌溉,2018(11):20-23,28.
- [7] 闪佳黛.秸秆还田下微咸水入渗特征及土壤水盐运移分布影响[D].河北 邯郸:河北工程大学,2017.
- [8] 郑健,王燕,蔡焕杰,等.秸秆颗粒形态对沟灌入渗特征影响的试验研究[J].排灌机械工程学报,2016,34(1):66-72,80.
- [9] 王珍,冯浩.秸秆不同还田方式对土壤入渗特性及持水能力的影响[J].农业工程学报,2010,26(4):75-80.
- [10] 张金珠,王振华,虎胆·吐马尔白.具有秸秆夹层层状土壤一维垂直入渗水盐分布特征[J].土壤,2014,46(5):954-960.
- [11] 王曼华,陈为峰,宋希亮,等.秸秆双层覆盖对盐碱地水盐运动影响初步研究[J].土壤学报,2017,54(6):1395-1403.
- [12] 王珍,冯浩,吴淑芳.秸秆不同还田方式对土壤低吸力段持水能力及蒸发特性的影响[J].土壤学报,2011,48(3):533-539.
- [13] 王苓,张民,刘之广,等.土壤水吸力对控释尿素养分释放特征的影响[J].土壤学报,2017,54(2):434-443.
- [14] 信秀丽,张佳宝,朱安宁.土壤水吸力空间分布规律的时间稳定性研究[J].农业工程学报,2008,24(5):15-19.
- [15] 邹焱,陈洪松,苏以荣,等.红壤积水入渗及土壤水分再分布规律室内模拟试验研究[J].水土保持学报,2005,19(3):174-177.
- [16] Azmi M, Ramli M H, Hezmi M A, et al. Estimation of soil water characteristic curves (SWCC) of mining sand using soil suction modeling [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2019,527(1):6987-6997.
- [17] Li X, Zhang L M, Wu L Z. A Framework for unifying soil fabric, suction, void ratio, and water content during the dehydration Process [J]. Soil Science Society of America Journal,2014,78(2):387-399.
- [27] Yang S, Lu T H. Study of soil-water characteristic curve using microscopic spherical particle model [J]. Pedosphere,2012,22(1):103-111.
- [28] Indrawan I G B, Rahardjo, H, Leong E C. Effects of coarse-grained materials on properties of residual soil [J]. Engineering Geology,2006,82(3):154-164.
- [29] Hu X, Li Z C, Li X Y, et al. Influence of shrub encroachment on CT-measured soil macropore characteristics in the Inner Mongolia grassland of northern China [J]. Soil and Tillage Research,2015,150:1-9.
- [30] 关连珠.普通土壤学[M].北京:中国农业大学出版社,2007.