

泥炭和生物炭深埋对 滨海盐渍土水分入渗特性的影响

杨 懋 李燕妮 孙军娜 张振华

(鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264039)

摘要: 通过一维垂直积水入渗试验, 将不同厚度(2.5、5 cm)的隔层材料(泥炭、生物炭)填埋至土层20 cm处, 探究泥炭和生物炭添加对黄河三角洲滨海盐渍土水分入渗特性的影响。结果表明: 泥炭隔层在水分入渗过程中出现优先流现象, 泥炭和生物炭添加处理均能显著增加入渗历时, 降低水分入渗速率和累积入渗量; 水分入渗结束后, 各添加处理均改变了水分的再分布, 其中泥炭隔层添加较为显著, 提高了0~20 cm土层的含水率(10%~12%); 各处理的土壤盐分随水分入渗向深层土壤迁移, 并在土层底部聚集。因此, 与生物炭隔层相比, 泥炭是更优的选择, 且隔层越厚, 阻水减渗效果越明显。该研究结果可为滨海盐渍土的开发应用提供科学依据。

关键词: 泥炭; 生物炭; 施加方式; 水分入渗; 水盐分布

中图分类号: S156.4⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2021)03-0267-06

土壤盐渍化是当今世界最为严重的生态环境问题之一, 也是限制耕地有效利用和致使农业生产水平低下的直接影响因素^[1], 因此受到社会各界的普遍关注。位于我国山东东部的黄河三角洲和莱州湾地区, 由于该区域地下水埋深浅、矿化度高, 土壤母质以泥沙为主且受海水浸渍严重, 形成特有的滨海盐渍土。滨海盐渍土导气导水能力差、保水保肥能力弱、极易板结, 严重制约作物的生长, 影响其出苗率和生长过程, 导致作物减产、品质下降^[2-3]。水分入渗过程和分布特性决定土壤对降雨和灌溉水的有效利用, 以及地表径流和水土流失程度^[4-5], 从而进一步影响作物根区的水分分布和对水分的有效利用状况, 最终影响作物生长及产量^[6]。如何通过添加改良剂改善土壤结构、改变土壤水分入渗特性、提高土壤水分利用效率以及培肥土壤, 是当前盐渍土改良备受关注的重大问题。

近年来利用泥炭和生物炭改良土壤的研究逐渐成为热点。泥炭富含有机质和腐植酸, 比表面积较大^[7], 表面含有(或可吸附)多种有机官能团, 具有较强的持水性和离子吸附交换能力^[8]。研究发现, 泥炭添加到土壤后, 能增加土壤有机质、降低土

壤容重、改变土壤团聚体特性^[9]。生物炭是生物有机质在缺氧或低氧条件下高温裂解产生的固体产物, 通常含碳量为40%~75%, 具有多孔性、比表面积大、离子交换能力强等特点^[10-11]; 生物炭也可以降低土壤容重, 改善土壤孔隙度, 进而影响土壤持水能力与水分入渗特征。已有研究表明, 通过施加泥炭和生物炭可提高土壤的持水能力, 改变土壤水分再分布的状况。目前, 秸秆、泥炭和生物炭等改良材料的添加大多是混施在土壤中^[12], 或覆盖在地表^[13], 但将这几种材料埋在土壤一定深度, 对比其保水、控盐效果的研究较少。因此, 本研究通过室内一维土壤水分入渗实验, 对比研究不同厚度的泥炭、生物炭填埋对水分入渗过程的影响, 以及水盐空间分布的特征, 以期为滨海盐渍土的改良提供更多的参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土样为黄河三角洲滨海盐渍土, 于2019

收稿日期: 2021-03-07; 修回日期: 2021-04-09

基金项目: 国家自然科学基金(41977087, 41771256)

第一作者简介: 杨懋(1994—), 男, 安徽太湖人, 硕士研究生, 研究方向为区域水土资源利用与调控。E-mail: 38736102@qq.com

通信作者简介: 张振华(1971—), 男, 河北藁城人, 教授, 硕士研究生导师, 博士, 研究方向为节水灌溉和土壤物理。E-mail:

zhangzh71@163.com

年 4 月取自中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站(37°45′50″N, 118°59′24″E); 采样深度为 0~60 cm, 土样去除枯落物等杂质后自然风干, 磨碎后过 2 mm 筛备用供试, 基本理化性质见表 1。试验所用泥炭购自山东省寿光市鲁盛生物科技股份有限公司, 泥炭为沼泽植物的残体, pH 值为

6.1, 有机质含量为 $682 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 阳离子交换量为 $11.2 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。生物炭原材料为玉米秸秆, 制备温度 $450 \text{ }^\circ\text{C}$, 制备时间 0.5 h, pH 值为 8.0, 有机质含量为 $418 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 阳离子交换量为 $2.1 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。生物炭和泥炭均风干后过 2 mm 筛备用。

表 1 供试土样的基本理化性质

Tab.1 Basic physicochemical properties of the experimental soil

土壤质地	颗粒组成 /%			田间持水量 /%	饱和含水率 /%	pH 值	电导率 /($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	含盐量 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	砂粒	粉粒	黏粒					
粉壤土	11.6	48.7	39.7	27.5	38.5	7.4	1.9	4.8

1.2 试验设计

土壤水分入渗试验装置包括土柱和供水设备。土柱为内径 6.2 cm、高 60 cm 的有机玻璃。供水设备是内径 5.4 cm、高 50 cm 的马氏瓶, 供水水质为实验室制备的去离子水, 水头控制在 1.5 cm。土柱填装前, 在有机玻璃内部均匀涂抹凡士林, 防止在水分入渗时沿边壁产生优先流; 底部铺设 5 cm 石英砂作为反滤层, 防止土壤颗粒堵塞土柱排水口。

试验分为 5 种处理(表 2)。对照组(CK): 填装 45 cm 均质土; 其余处理在填装 25 cm 均质土后, 分别均匀铺设相应厚度的隔盐材料, 上下层用滤纸隔开, 再分别填装 20 cm 均质土样, 每种处理 3 个重复。为保证土壤质地的均一性, 采取分层填装的方式, 每 5 cm 填装一次土壤。土壤的添加容重为 $1.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。添加材料容重的测量方法: 将泥炭、生物炭填装到 100 cm^3 环刀中, 墩实, 称重, 测得容重分别为 0.17 、 $0.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

表 2 不同处理的土柱填装方式

Tab.2 Different treatments of soil column

处理	添加方式
CK	45 cm 均质土样
N5	25 cm 均质土样+5 cm 泥炭+20 cm 均质土样
N2.5	25 cm 均质土样+2.5 cm 泥炭+20 cm 均质土样
S5	25 cm 均质土样+5 cm 生物炭+20 cm 均质土样
S2.5	25 cm 均质土样+2.5 cm 生物炭+20 cm 均质土样

土柱填装好放置 24 h 后, 开始垂直一维土柱积水入渗试验。试验过程中根据“先密后疏”的原则观测马氏瓶水位以及湿润锋深度, 并计算累积入渗量。当整个土柱的含水量达到田间持水量

(27.5%) 时, 停止供水。放置 2 d 后, 分别在 2.5、7.5、12.5、17.5、22.5、27.5、32.5、37.5、42.5 cm 土层深度取土, 测定其含水率和电导率。其中, 土壤含水率利用烘干法测定, 电导率按照水土比 1:5 浸提, 用 DDS-307A 电导率仪(上海雷磁)测定。

1.3 数据分析方法

采用 Microsoft Office Excel 2016、SPSS 24.0 分别进行数据整理、绘图及统计分析, 运用单因素方差分析(One-way ANOVA)和邓肯(Duncan)法检验各处理间的显著性差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 各处理对土壤水分入渗的影响

2.1.1 湿润锋运移

不同处理对湿润锋运移距离的影响见图 1。由图 1 可知: 当湿润锋运移至隔层(20 cm)之前, 各处理的入渗历时接近, 湿润锋运移曲线重合度大, 其入渗速率基本相同; 随着入渗时间的增加, 各处理之间湿润锋运移距离差异逐渐显现, 其中, 添加泥炭处理以优先流的形式突破隔层(约 200 min), 并引发湿润锋前进的不均匀性, 但这种现象随入渗深度的增加逐渐消失。与 CK(370 min)相比, 泥炭和生物炭添加均显著增加了入渗历时($P < 0.05$), 且隔层越厚效果越明显: 泥炭处理 N5 的入渗历时最长, 增幅为 151.4%; 其次分别是 S5(135.1%) 和 N2.5(127.0%); S2.5 增幅最小, 增幅为 110.8%。

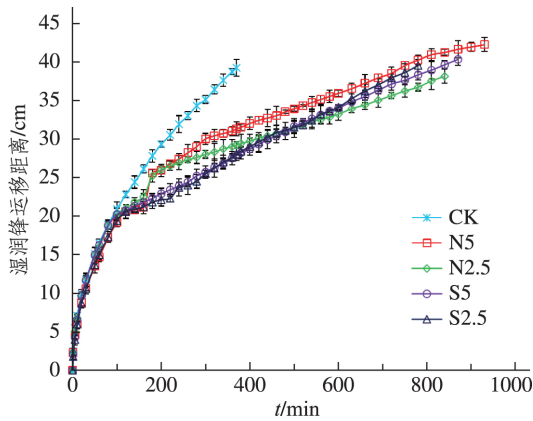


图 1 不同处理对湿润锋运移距离的影响
Fig.1 Effects of different treatments on wetting front migration in soil column

2.1.2 累积入渗量

不同处理对累积入渗量的影响见图 2。由图 2 可知: 入渗开始至 100 min 左右时(湿润锋到达 20 cm 前), 各处理的累积入渗量曲线较陡, 曲线变化趋势基本一致; 随着入渗时间增加(大于 100 min), 泥炭和生物炭添加处理均显著降低了累积入渗量。与同厚度生物炭添加相比, 泥炭添加对累积入渗量的影响更大, 且泥炭隔层越厚累积入渗量降低程度越高。以入渗历时 300 min 为例, 与 CK(11.1 cm) 相比, N5、S5、N2.5、S2.5 处理的累积入渗量分别显著降低了 27.7%、25.1%、26.6%、25.1% ($P < 0.05$)。

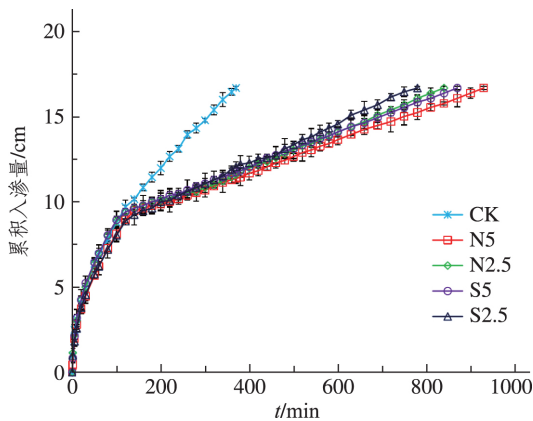


图 2 不同处理对累积入渗量的影响
Fig.2 Effects of different treatments on cumulative infiltration in soil column

2.1.3 入渗速率

不同处理对不同时段水分入渗速率的影响见图 3。由图 3 可知: 在第 2 h 时, 各处理之间的入

渗速率差异并不明显, 这与湿润锋运移距离和累积入渗量所反映的规律一致; 在前 3 h, 各处理之间的入渗速率迅速下降; 从第 3 h 以后, 各处理的水分入渗速率趋于平稳。这表明当湿润锋进入隔层后, 泥炭和生物炭添加处理的入渗速率迅速降低。从整个水分入渗过程看: 与 CK ($2.71 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$) 相比, N5、S5、S2.5、N2.5 处理的平均入渗速率分别降低了 60.2%、57.6%、56.1%、52.8%, 且泥炭隔层的阻渗效果更强, 入渗速率更低。

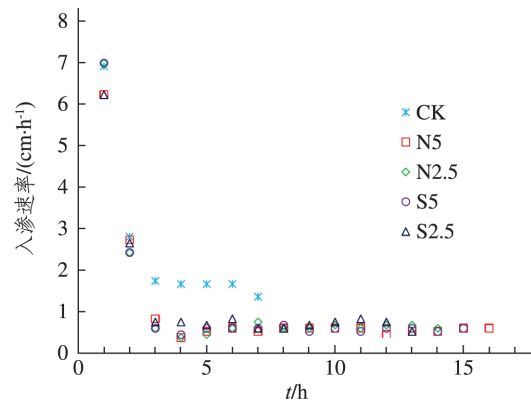


图 3 不同处理对入渗速率的影响
Fig.3 Effects of different treatments on infiltration rate in soil column

2.2 各处理对土壤水盐再分布的影响

2.2.1 水分分布

不同处理对土壤剖面含水率的影响如图 4 所示。由图 4 可知: CK 处理土壤含水率分布比较均匀, 添加泥炭和生物炭后明显改变了水分再分布的趋势。从上层土壤 (0~20 cm) 来看, 与 CK (30.1%) 相比, N5、N2.5、S5、S2.5 处理上层土壤的平均含水率分别提高了 11.9%、11.8%、2.4%、3.1%; 由差异性分析可知, N5、N2.5 处理 0~20 cm 平均土壤含水率显著高于 CK 处理 ($P < 0.05$)。从下层土壤 (20~45 cm) 来看, 各处理隔层以下 (20~45 cm) 平均土壤含水率为 CK (27.5%) > S2.5 (24.8%) > S5 (24.2%) > N2.5 (23.5%) > N5 (22.9%); 由差异性分析可知, 与 CK 相比, 添加泥炭和生物炭后 20~45 cm 土壤平均含水率显著降低 ($P < 0.05$), 而添加生物炭处理后平均土壤含水率又在一定程度上高于泥炭处理。

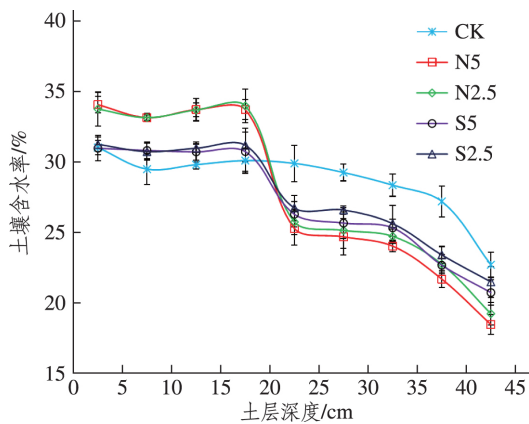


图 4 不同处理对土壤剖面含水率的影响

Fig.4 Effects of different treatments on soil profile distribution of water content

2.2.2 盐分分布

不同处理对土壤剖面电导率的影响见图 5。由图 5 可知:从整体上看,土壤盐分随水分入渗而向深层土壤迁移,并在土层底部聚集;从上层土壤(0~20 cm)来看,各处理的平均电导率均在 $0.26 \sim 0.29 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 之间,并无显著性差异。此外,添加泥炭和生物炭处理后,20~45 cm 土层的平均电导率($3.9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)远高于 0~20 cm 土层的平均电导率($0.28 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)增加了大约 13 倍,但各处理之间并无显著性差异($P>0.05$)。

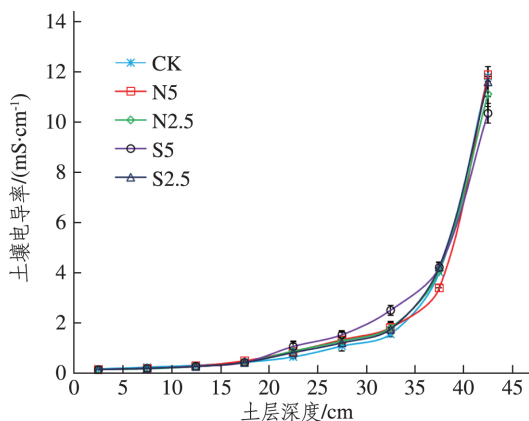


图 5 不同处理对土壤剖面电导率的影响

Fig.5 Effects of different treatments on soil profile distribution of electrical conductivity

3 讨论

3.1 各处理对土壤水分入渗的影响

本实验中,所有添加处理均显著减缓了湿润锋向深层土壤迁移,降低了土壤水分入渗速率

(图 1~3)与赵永敢等^[14]对内蒙古粉砂壤土添加秸秆隔层的研究结果一致。这主要由于埋设泥炭和生物炭所形成的隔层切断了土壤毛管,改变了土壤质地的均匀性和土体构型,破坏其导水能力的连续性,使土壤水势发生突变^[15-16],导致水分入渗的形式也发生相应变化。当水分入渗至隔层与均质土交界处,粗质隔层与细质土层所形成的“孔隙差异界面”造成了导水能力的差异^[17],致使单位时间内进入隔层的水分流流量减小,从而降低湿润锋推进速度和土壤水分入渗速率,使单位时间内的累积入渗量也相应减少。

入渗水流进入泥炭隔层后,土壤水分沿泥炭内的大孔隙结构优先迁移^[18],并率先穿过隔层到达下层土壤,因此,泥炭隔层以下容易出现“指状”优先流的现象^[19]。但随着入渗过程进行,当泥炭隔层含水率达到一定量时,其导水率与细质土层相似,水分入渗速率也趋于稳定,优先流现象逐渐消失。

3.2 各处理对土壤水盐空间分布的影响

水分入渗阶段结束后,可以发现 CK 土壤含水率分布比较均匀,而其余添加处理都明显改变了土壤剖面的水分分布趋势(图 4),这与王春颖等^[16]对层状夹沙土的研究结果一致。由于添加泥炭和生物炭处理后,形成了“炭-土双层土壤结构”水分分布模型^[5],因此改变了水分的空间分布格局,优化了耕层的水分分布。所有添加处理均在一定程度上提高了上层土壤含水率,其中泥炭添加处理更为显著,生物炭添加处理并没有显著性差异。这是泥炭特殊的微孔隙结构导致的,其对土壤毛管的阻隔作用强烈,阻隔了水分的下移^[20],且与泥炭本身具有较强的持水性相关^[21]。而与泥炭隔层相比,生物炭处理保水效果明显较差,这是由于生物炭可以增强土壤水分的渗透性,使其水分保持在土壤下层^[5]。对比研究结果发现,生物炭添加处理使隔层以下的平均含水率要比泥炭处理高。

随着湿润锋的向前推移,上层土壤盐分被带到土壤水分所到达之处,盐分在土壤底部聚集(图 5),这与文献[22]的研究结果一致。另外,有研究发现,添加隔层有利于土壤水盐达到扩散平衡,提高上层土壤的洗盐效率^[23]。但本文在入渗结束后,各处理的上层土壤盐分含量差异不大,这由于本实验的入渗水量较多,均达到田间持水

量,盐分得到充分溶解,因此各处理之间的洗盐效果差别不大。此外,仲昭易等^[24]发现通过填埋秸秆可以形成不导水的阻隔层,当底层土壤毛管水上升至隔层时,能够有效抑制地下水继续向上蒸发;而泥炭自身有一定的蓄水吸盐效果,对土壤毛管的影响十分强烈,能够阻止地下水向土壤表层运移^[21]。因此,泥炭隔层可能在蒸发过程中进一步降低上层土壤的盐分。但添加泥炭、生物炭隔层对抑制潜水蒸发的效果还有待进一步研究。综上所述,通过施加泥炭和生物炭不仅可以降低土壤容重,还可以提高上层土壤含水率和土壤肥力,甚至抑制潜水蒸发,降低耕层土壤盐分,从而为作物生长提供良好的土壤环境。

4 结论

本文通过土壤水分入渗土柱模拟试验,研究了泥炭、生物炭深埋对滨海盐渍土水分入渗和水盐再分布特性的影响。结果发现:添加隔层均改变了土壤水盐时空分布特征,对水盐运移起到了调控效果;添加两种隔层后均能够显著增加入渗时长,降低水分入渗速率,优化土壤水分的空间分布,且隔层越厚,效果越明显,泥炭的阻隔效果要优于生物炭;水分入渗结束后,添加隔层处理均可以提高上层土壤含水率,其中泥炭隔层的效果更为显著。因此,泥炭处理在提高上层含水率、改善水分空间分布方面是更优的选择。该研究结果可为优化滨海盐渍土水盐分布格局的制定提供理论依据,但在大田应用及抑蒸控盐等方面的效果还有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 依力亚斯江·努尔麦麦提,师庆东,阿不都拉·阿不力孜,等.灰色评估模型定量评价于田绿洲土壤盐渍化风险[J].农业工程学报,2019,35(8):176-184.
- [2] 朱瑾瑾,孙军娜,张振华,等.咸淡水交替灌溉对滨海盐碱土水盐运移的影响[J].水土保持研究,2019,26(5):113-117.
- [3] 黄明逸,张展羽,翟亚明,等.咸淡交替灌溉下生物炭对滨海盐渍土及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2020,36(21):88-96.
- [4] 吕刚,吴祥云.土壤入渗特性影响因素研究综述[J].中国农学通报,2008(7):494-499.
- [5] 王艳阳,魏永霞,孙继鹏,等.不同生物炭施加量的土壤水分入渗及其分布特性[J].农业工程学报,2016,32(8):113-119.
- [6] 方圆,冯浩,操信春,等.活性炭对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响[J].水土保持学报,2011,25(6):23-26.
- [7] 王元峰,王辉,马维伟,等.尕斯库勒湖泥炭土土壤理化性质[J].水土保持学报,2012,26(3):118-122.
- [8] REZANEZHAD F,PRICE J S,QUINTON W L,et al. Structure of peat soils and implications for water storage,flow and solute transport: a review update for geochemists[J].Chemical Geology,2016,429:75-84.
- [9] 蔡体久,辛国辉,张阳武,等.小兴安岭泥炭藓湿地土壤有机碳分布特征[J].中国水土保持科学,2010,8(5):109-113.
- [10] 房彬,李心清,赵斌,等.生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响[J].生态环境学报,2014,23(8):1292-1297.
- [11] 勾芒芒,屈忠义.土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J].生态环境学报,2013,22(8):1348-1352.
- [12] 蓝兴福,王晓彤,许旭萍,等.炉渣与生物炭施加对稻田土壤碳库及微生物的影响[J].生态学报,2019,39(21):7968-7976.
- [13] LI Y Y,PANG H C,HAN X F,et al.Buried straw layer and plastic mulching increase microflora diversity in salinized soil[J].Journal of Integrative Agriculture,2016,15(7):1602-1611.
- [14] 赵永敢,王婧,李玉义,等.秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J].农业工程学报,2013,29(23):109-117.
- [15] FRANZLUEBBERS A J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth[J].Soil Tillage and Research,2002,66(2):197-205.
- [16] 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] 曲晨晓,王炜.土壤剖面中砂质夹层的储水作用及机理研究[J].华中农业大学学报,1997(5):43-50.
- [18] 牛健植,余新晓,张志强.优先流研究现状及发展趋势[J].生态学报,2006(1):231-243.
- [19] 牛健植,余新晓.优先流问题研究及其科学意义[J].中国水土保持科学,2005(3):110-116.
- [20] 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.
- [21] SIMHAYOV R B,WEBER T K D,PRICE J S. Saturated and unsaturated salt transport in peat from a constructed fen[J].Soil 2018 4(1):63-81.
- [22] 朱瑾瑾,孙军娜,张振华,等.粉壤土水盐运移对咸淡水交替灌溉的响应[J].排灌机械工程学报,2020,38(3):298-303.
- [23] 乔海龙,刘小京,李伟强,等.秸秆深层覆盖对水分入渗及蒸发的影响[J].中国水土保持科学,2006(2):34-38.
- [24] 仲昭易,张瑜,冯绍元,等.秸秆深埋结合地膜覆盖土壤水盐运移模拟试验研究[J].灌溉排水学报,2019,38(6):25-30.

Effects of Peat and Biochar Application on Water Infiltration Characteristics of Coastal Saline Soil

YANG Mao, LI Yanni, SUN Junna, ZHANG Zhenhua

(School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: In this study, the effects of different interlayer materials (peat and biochar) on water infiltration characteristics of coastal saline soil in the Yellow River Delta were investigated by using one-dimensional vertical water infiltration test. The different interlayer materials with different thickness (2.5 and 5 cm) were buried to 20 cm soil layer in the one-dimensional vertical water infiltration test. The results show that the preferential flow phenomenon appears in the peat barrier during the water infiltration process. The different interlayer materials (peat and biochar) can significantly increase the infiltration duration, and reduce the water infiltration rate and cumulative infiltration. After the soil water infiltration, each addition treatment changes the trends of water redistribution, in which the application of peat layer significantly increases the water content (10%~12%) in 0~20 cm soil layer. Moreover, soil salt in each treatment can migrate to the deep soil with water infiltration, and gather at the bottom of the soil. Therefore, compared with biochar, peat barrier is a better choice, with the increase of barrier layer thickness, the effect of reduce infiltration is more obvious. The results can provide a scientific basis for the application of coastal saline soil.

Keywords: peat; biochar; applying method; soil water infiltration; water and salt distribution

(责任编辑 顾建忠)