

# 几种保水材料对砂质潮土水分参数的影响

仝昊天, 韩燕来, 李培培, 梁小东, 陈 龙

(河南农业大学 资源与环境学院, 郑州 450002)

**摘 要:**针对砂质潮土水分容量低、持水性差、渗透性强的问题,通过土柱试验比较几种保水材料与沙土培养前后对水分运动参数的改善效果。试验保水材料为:2%生物炭、2%秸秆和 0.1%保水剂,施入方式包括 2 种:与沙土混匀和 25 cm 处铺层。结果表明:2%生物炭和 2%秸秆与沙土混匀总入渗时间分别为各自铺层处理的 1.88 倍和 1.66 倍,入渗完成时入渗率降低;而 0.1%保水剂在土柱中铺层比混匀延长 1.82 倍。不同土柱总入渗时间依次为保水剂铺层>保水剂混匀>秸秆混匀>生物炭混匀>不添加保水材料的对照(CK)=秸秆铺层>生物炭铺层。混匀处理土柱培养 30 d 后,各土柱总入渗完成时间均大于培养前,其中生物炭与秸秆总入渗时间分别提高了 2.88 倍与 1.50 倍,极大改善沙土漏水。与 CK 相比,生物炭、秸秆和保水剂的饱和导水率分别降低了 6.1%,22.3%,82.4%;培养 30 d 后分别降低了 77.2%,10.5%,79.1%。综上,保水剂铺层施用效果好于混匀,而其余材料与沙土混匀效果较好;随施用时间延长,生物炭和秸秆对沙土水分参数的改善效果较为明显,本结果可以为砂质潮土渗透、持水能力的改良提供方法及数据参考。

**关键词:**生物炭; 秸秆; 保水剂; 入渗率; 含水量; 持水性能

中图分类号:S157.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0116-07

## Effects of Application of Water-Retaining Materials on Water Infiltration and Water Retention Characteristics of Sandy Soil

TONG Haotian, HAN Yanlai, LI Peipei, LIANG Xiaodong, CHEN Long

(College of Resources and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to improve the water parameters of sandy soil with low water capacity, poor water holding capacity and strong permeability, a soil column experiment was used to compare the improvement of sand soil water parameters of application of different water-retaining materials before and after incubation. There are three water-retaining materials: 2% biochar, 2% straw and 0.1% water-retaining agent, and two application methods: mixing with soil and layering at 25 cm of the soil column, six soil column treatments, and a control without water-retaining material (CK); some of the above treatments were selected to incubate at 25°C for 30 d. The radial motion parameters of water in different treatments were studied, including wetting front infiltration time, infiltration rate, saturated hydraulic conductivity and soil water content in different soil layers. The results showed that the infiltration time of the mixture treatments of 2% biochar and 2% straw were 1.88 times and 1.66 times than the corresponding layering treatments, respectively, and the infiltration rate decreased when the infiltration was completed; in the 0.1% water retention agent columns, on the contrary, the layering treatment was 1.82 times than the mixing treatment; the infiltration durations of different soil columns decreased in the order: layering with 0.1% water retention>mixing with 0.1% water retention agent>mixing with 2% straw>mixing with 2% biochar>CK = layering with 2% straw>layering with 2% biochar; after incubation of the mixing columns at suitable condition, the infiltration time of each material was higher than that before, and the total infiltration time of 2% biochar and 2% straw increased by 2.88 times and 1.50 times, respectively, which showed significant decline of the leakage of sandy soil; compared with CK, the saturated hydraulic conductivity of the treatments of biochar, straw and water retention agent decreased

收稿日期:2018-08-22

修回日期:2018-10-07

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0301103);河南省科技攻关计划(农业领域)项目(172102110057)

第一作者:仝昊天(1995—),男,河南濮阳人,在读硕士研究生,研究方向为土壤培肥。E-mail:tht1995@126.com

通信作者:李培培(1982—),女,河南开封人,副教授,博士,主要从事土壤改良、水肥高效利用研究。E-mail:peipeilee@163.com

by 6.1%, 22.3% and 82.4%, respectively, before incubation, and decreased by 77.2%, 10.5% and 7.91%, respectively, after column incubation. In conclusion, the effect of layering with water-retaining agent was better than that of mixing treatments, while mixing biochar and straw with soil showed better for improvement of soil water parameters. With the extension of the application time, the improvement of sandy soil parameters affect by biochar and straw greatly increased, especially the biochar application. The results can provide method and data reference for the improvement of sandy soil infiltration and water-retaining.

**Keywords:** biochar; wheat straw; water retaining agent; infiltration rate; water content; water holding capacity

黄淮海平原是我国主要的冬小麦夏玉米产区,其中沙薄地分布广泛,以黄河故道及沿黄两岸为主,面积约 203.1 万  $\text{hm}^2$ ,主要的土壤类型为砂质潮土,该类型土壤种植最大的障碍就是其保水能力不足<sup>[1]</sup>,土壤质地为砂质,结构疏松,有机质含量低,养分匮乏,漏水漏肥现象严重,属于中低产田。目前,水资源短缺,加剧了该地砂质潮土区农业生产的问题,如何在有限的水资源条件下,改善沙土水分保持,减少水分的渗漏,以较少的水获取较大的产量已成该地区亟待解决的问题。

保水剂是近年来快速发展的一项用来抗旱节水的材料,具有羧基、羟基等亲水性基团,且吸水性极强和保水性优良的新型高分子树脂,它能吸收大量的水,可有效提高土壤水分含量和减少氮素损失<sup>[2-3]</sup>。在旱作区使用保水剂可以提高冬小麦不同时期土壤含水量与水分利用率<sup>[4]</sup>,增加小麦穗长、穗粒数和千粒重,从而提高小麦的产量<sup>[5]</sup>。有研究认为保水剂的效果受施用方式的影响,保水剂的层施和混施对土壤入渗性能产生影响,但受限于土柱高度及入渗时间,对其后续效果探索并不明确<sup>[6]</sup>。生物炭是指生物质在相对低温的条件下,经厌氧热解而形成的一类较稳定且含碳丰富的固体物质,具有丰富的表面活性官能团、孔隙度、较大的比表面积,是一种呈碱性且吸附能力强的多用途材料<sup>[7]</sup>。生物炭施入土壤后有一定保水作用,几种土壤类型上的研究皆表明其能增加田间土壤水分含量<sup>[8-10]</sup>,而 Jeffery 等<sup>[11]</sup>研究认为生物炭对土壤的水文能力改善效果并不明显,但肖茜等<sup>[12]</sup>的研究认为生物炭对湿润锋进程与累积入渗量的影响受添加量及土壤质地的影响。综上,生物炭在沙土保水中的认识并不统一,保水机理的研究尚有缺失。虽然生物炭材料本身的稳定性较好,但长期的环境作用可能会导致其理化性质发生一定的改变。近期研究认为生物炭在老化的过程中其理化性质及微观结构都发生较大变化,而这些改变将影响它对土壤 pH 值以及肥水环境等协调能力<sup>[13]</sup>。因此生物炭与沙土培养自然老化后,对沙土中水的入渗能力、持水能力的影响状况和机理需要深入探究。

本研究利用土柱试验对比研究保水剂、生物炭和秸秆等材料对沙土水分参数的改善,通过分析不同施入方式和时间条件下土柱的湿润锋、入渗率、不同土层的含水量及饱和导水率的变化,对不同处理的水分参数进行对比分析。研究结果可以为砂质土壤地区作物种植的保水改良提供理论依据与技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验土壤于 2017 年 7 月 3 日取自河南省郑州市花园口黄河滩区耕地,是典型的河南黄河滩地区的砂质潮土,取 0—40 cm 土层土壤样品,带回实验室处理。试验前将土壤过 2 mm 筛剔除植物根系及杂物后,自然风干备用。砾石和石英砂用水冲洗后风干备用。土壤机械组成为 87.1% 砂粒、3.6% 粉粒、8.1% 黏粒,土壤质地为砂土。

保水用试验材料:秸秆为小麦秸秆,烘干粉碎后过 20 目筛备用;生物炭购自商丘三利生物能源有限公司,原料为小麦秸秆,经厌氧 500℃ 高温炭化而成,过 20 目筛备用;保水剂为细颗粒状聚丙烯酰胺类化学保水剂。

### 1.2 试验装置

入渗装置选用圆柱一维积水入渗装置。包含有高 50 cm,壁厚 0.2 cm,内径 14.6 cm 的有机玻璃柱和高 35 cm,内径 9.5 cm,量程为 2 000 ml 的马氏瓶。玻璃柱和马氏瓶之间用硬质橡胶导管连接,底部铺有高度为 1.5 cm 的砾石,砾石上部是 0.5 cm 厚的石英砂,石英砂与土壤之间以纱布隔开,玻璃柱底部侧边开有小孔。铺设打底砾石和石英砂以及小孔是为了消除气相阻力对入渗的影响。土柱可用高度共计 40 cm,其中填充试验用土和保水材料,试验过程中通过马氏瓶向土柱表层提供深度为 2 cm 的稳定水头,进行积水入渗试验。

### 1.3 试验设计与方法

本研究共设计 2 个试验:试验 1 研究不同保水材料铺层和混匀 2 种施用方式土柱的水分参数,试验 2 研究土柱培养 30 d 后水分参数的变化。

试验设计 1: 试验设置了 7 个处理, 分别为在 25 cm 处, 2% 的生物炭铺层; 在 25 cm 处, 2% 的秸秆铺层; 在 25 cm 处, 0.1% 的保水剂铺层; 2% 生物炭和沙土混匀; 2% 秸秆和沙土混匀; 0.1% 保水剂和沙土混匀; 不添加任何材料的空白对照 (CK)。

试验设计 2: 选取试验 1 中材料与沙土混匀的土柱进行培养, 包括 2% 生物炭与沙土混匀, 并在培养箱中 25℃ 培养 30 d (2% 生物炭混匀—30 d); 2% 秸秆和沙土混匀, 并同样培养 30 d (2% 秸秆混匀—30 d); 0.1% 保水剂和沙土混匀, 并培养 30 d (0.1% 保水剂混匀—30 d)。

试验方法: 沙土进行土柱填装时, 每填装 5 cm 厚度的沙土压实 (以尽量避免由于掺混不均匀引起土壤容重变化带来的误差), 每个处理设置 6 个重复。填装到 40 cm 后, 在沙土上铺上一层纱布, 再覆盖 0.5 cm 厚度的石英砂, 以防止水流将土壤冲开, 导致下渗不均。

试验于 2017 年 7 月 7 日—8 月 5 日于河南农业大学资源与环境学院实验室内进行。

#### 1.4 测定指标

马氏瓶通水后即开始观察并记录湿润锋及入渗率变化情况, 前 30 min 每 1 min 测量记录 1 次, 30 min 后每 5 min 测量并记录 1 次, 直至入渗完成。在入渗结束后随机选择 3 个重复试验继续等待, 先用橡胶塞堵住玻璃导管, 待水将打底砾石部分灌满后, 打开橡胶塞, 待水流稳定后, 用 10 ml 量筒接经由玻璃导管导出的水。每 1 min 读 1 次数, 共读数 10 min。用来计算饱和导水率, 计算方法参照文献 [15]。另外 3 个重复在入渗结束后立即将 2 cm 水头排净, 取出 0—5, 5—15, 15—25, 25—35, 35—40 cm 的 5 个层次的土测含水量。

#### 1.5 数据统计与分析

应用 Excel 对所得数据进行整理分析, 利用 SPSS 23 进行方差分析及 LSD 法多重比较 ( $p < 0.05$ ), 采用 Origin 2016 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 混匀和铺层两种施用方式间湿润锋及入渗率的差异性

2% 生物炭的铺层处理的湿润锋入渗完成用时 45 min, 混匀处理的时间为 85 min, 而 CK 处理入渗完成的时间为 60 min, 混匀比铺层入渗时间提升了 1.88 倍, 比 CK 提升了 1.42 倍。2% 秸秆铺层处理湿润锋入渗完成时间 (60 min) = CK 处理 (60 min) < 混匀处理 (100 min), 混匀比铺层入渗时间提升了 2.04 倍。而 0.1% 保水剂铺层处理优于混匀, 由图 1 可知, 其铺层处

理的湿润锋入渗时间为 319 min, 混匀处理入渗时间 170 min。保水剂铺层的处理阻碍水分渗漏最为明显, 入渗时间是 CK 的 5.32 倍, 是混匀处理的 1.88 倍, 而混匀处理的入渗时间是 CK 的 2.83 倍。

虽然保水剂铺层处理对水分下渗阻碍效果最好, 但是在湿润锋下渗到 25 cm 之前, 3 个铺层处理的湿润锋位移趋势基本一致; 而 3 个混匀处理前期下渗趋势基本一致, 在中后期才逐渐分开, 表现出了不同的入渗效果, 且在前期 3 个混匀处理对水分入渗阻碍效果大于 3 个铺层处理。整体上, 总入渗时间是保水剂铺层 > 保水剂混匀 > 秸秆混匀 > 生物炭混匀 > CK = 秸秆混匀 > 生物炭混匀。

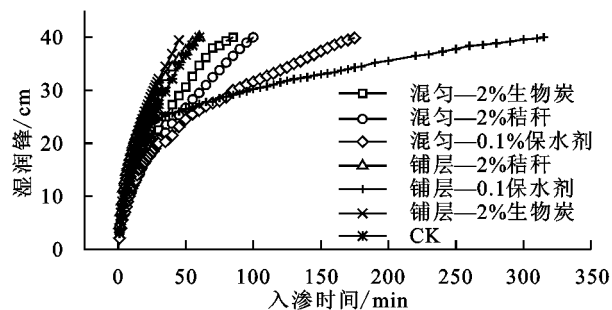


图 1 不同材料间混匀和铺层处理的湿润锋位移比较

几种材料不同施用方式间的入渗率比较见图 2, 各处理的入渗率随时间变化的趋势大致相同, 入渗开始阶段入渗率较大, 在前 5 min 内迅速减小, 随后减小趋势越来越小并逐渐趋于恒定。

生物炭和秸秆的铺层处理入渗率均大于混匀处理和 CK, 与湿润锋的描述一致, 说明水在两种材料铺层处理中入渗能力较高。生物炭铺层在入渗完成后的入渗率为 0.52 cm/min, 是混匀处理 0.14 cm/min 的 3.71 倍, 是 CK 处理 0.3 cm/min 的 1.73 倍。秸秆铺层处理入渗完成时入渗率为 0.2 cm/min, 和秸秆混匀入渗完成时入渗率 0.2 cm/min 一致, 是 CK 处理入渗完成时的 0.66 倍。保水剂的 2 个施用方式处理入渗的前期, 铺层的入渗率大于混匀处理, 但是随着时间推移, 铺层处理的入渗率发生了急速下降, 并低于混匀处理, 直到混匀处理快完成入渗时, 两者的入渗率基本趋于一致。保水剂铺层和混匀两种方式入渗完成时的入渗率分别为 0.04 cm/min 和 0.08 cm/min, 分别比 CK 降低 7.75, 3.87 倍。进一步说明了保水剂可以阻碍水分在沙土中的入渗, 降低沙土的漏水能力。

秸秆和生物炭粒径较大的材料直接使用, 不能对沙土中的水分入渗起到阻碍效果, 反而因为其疏水性, 对水分的入渗起到了促进的作用; 而保水剂这种高分子吸水材料, 铺层使用对水分的入渗阻碍效果比混匀效果更好。

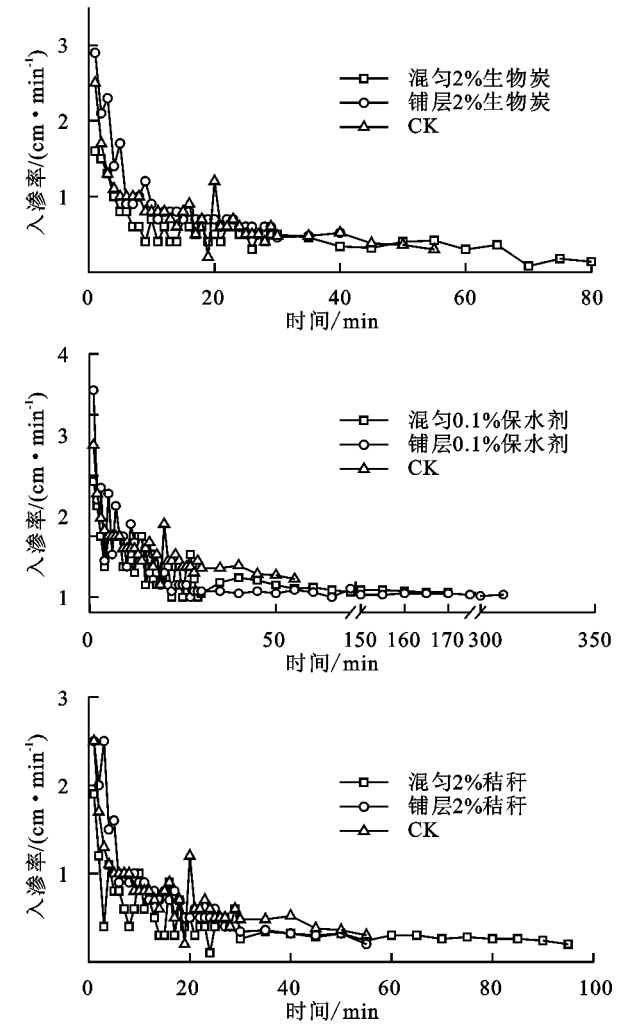
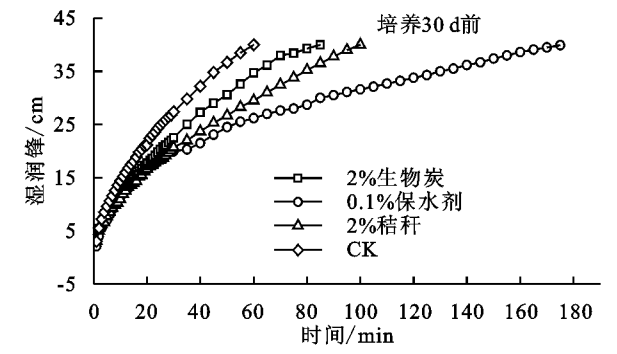


图 2 不同材料间混匀和铺层两种不同施用方式入渗率比较



2.3 水分下渗完成后不同处理土层间含水量

不同处理各层次间土壤含水量如图 5 所示,在所有的处理中,0—5 cm 土层的含水量均高于其余 4 个土层含水量。2%生物炭处理的 5 个土层含水量由培养前的 28.4%,23.8%,22.9%,22.5%,22.0%增加到培养后的 30.6%,27.4%,25.8%,24.6%,22.8%;2%秸秆处理培养前各层含水量为 25.7%,24.7%,25.0%,24.9%,24.7%,培养后为 27.8%,24.7%,26.3%,23.3%,22.1%。可以看出,生物炭和秸秆经 30 d 培养后增加了土壤的持水能力。

2.2 不同材料培养 30 d 后湿润锋及入渗率比较

3 种保水处理培养 30 d 前后的湿润锋时间对比见图 3,CK 入渗完成时间 60 min,与之相比,几个保水处理对水份的入渗都起到了抑制作用,其中加入 0.1%保水剂的处理入渗完成时间为 175 min,是 CK 的 2.92 倍;2%秸秆(100 min)和 2%生物炭(85 min)两个处理对比 CK 分别提升 1.67 倍,1.42 倍。

与土壤培养 30 d 后,湿润锋入渗完成时间均大于未培养的处理。2%生物炭培养 30 d 后其入渗时间为 245 min,是未培养的 2.88 倍,CK 的 4.08 倍。2%秸秆在土壤中培养 30 d 后其入渗时间是 150 min,是未培养的 1.5 倍,CK 的 2.5 倍;0.1%保水剂培养 30 d 后入渗时间是 235 min,是未培养的 1.34 倍,CK 的 3.92 倍。

图 4 为各保水材料培养前后的入渗率,可见,所有处理的入渗率均随时间趋于平缓,CK 的入渗率均大于保水处理,除了保水剂,其余材料培养后入渗完成时的入渗速率均降低。2%生物炭与沙土混合培养 30 d 后入渗率为 0.08 cm/min,比培养前降低 42.9%;秸秆培养后入渗率 0.16 cm/min,比培养前降低 20.0%;0.1%保水剂培养后入渗率 0.1 cm/min,比培养前增加 25.0%。

总体比较,不同处理的持水效果依次为:2%生物炭混匀培养 30 d>0.1%保水剂混匀培养 30 d>0.1%混匀保水剂>2%秸秆混匀培养 30 d>2%秸秆混匀>混匀 2%生物炭>CK。

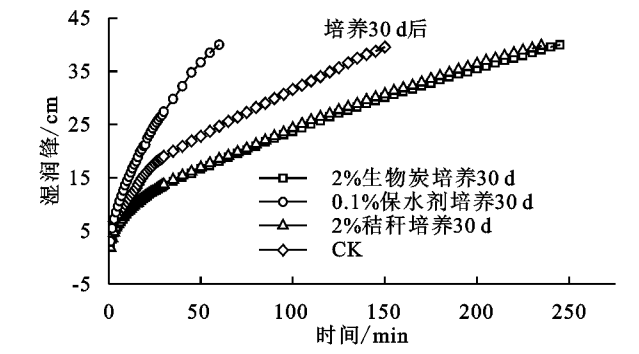


图 3 不同材料之间湿润锋位移比较

2.4 不同处理土柱的饱和导水率

不同材料与沙土混合培养前后饱和导水率见表 6,除了 2%秸秆处理,其余各处理土柱培养后饱和导水率均呈现下降的趋势。CK 的饱和导水率培养前后无显著差异;2%生物炭培养前与 CK 相比没有显著差异,而培养后显著低于培养前和 CK,为 0.28 cm/min,比培养前降低 75.0%,比 CK 降低 77.2%;0.1%保水剂培养前后的饱和导水率最小,为 0.21~0.22 cm/min,培养前后无显著差异,培养后比 CK 显著降低了 79.1%。生物炭与沙土混匀培养后,对土

壤饱和和导水率降低幅度最大,而 2% 秸秆培养后饱和导水率呈现显著增加的趋势。

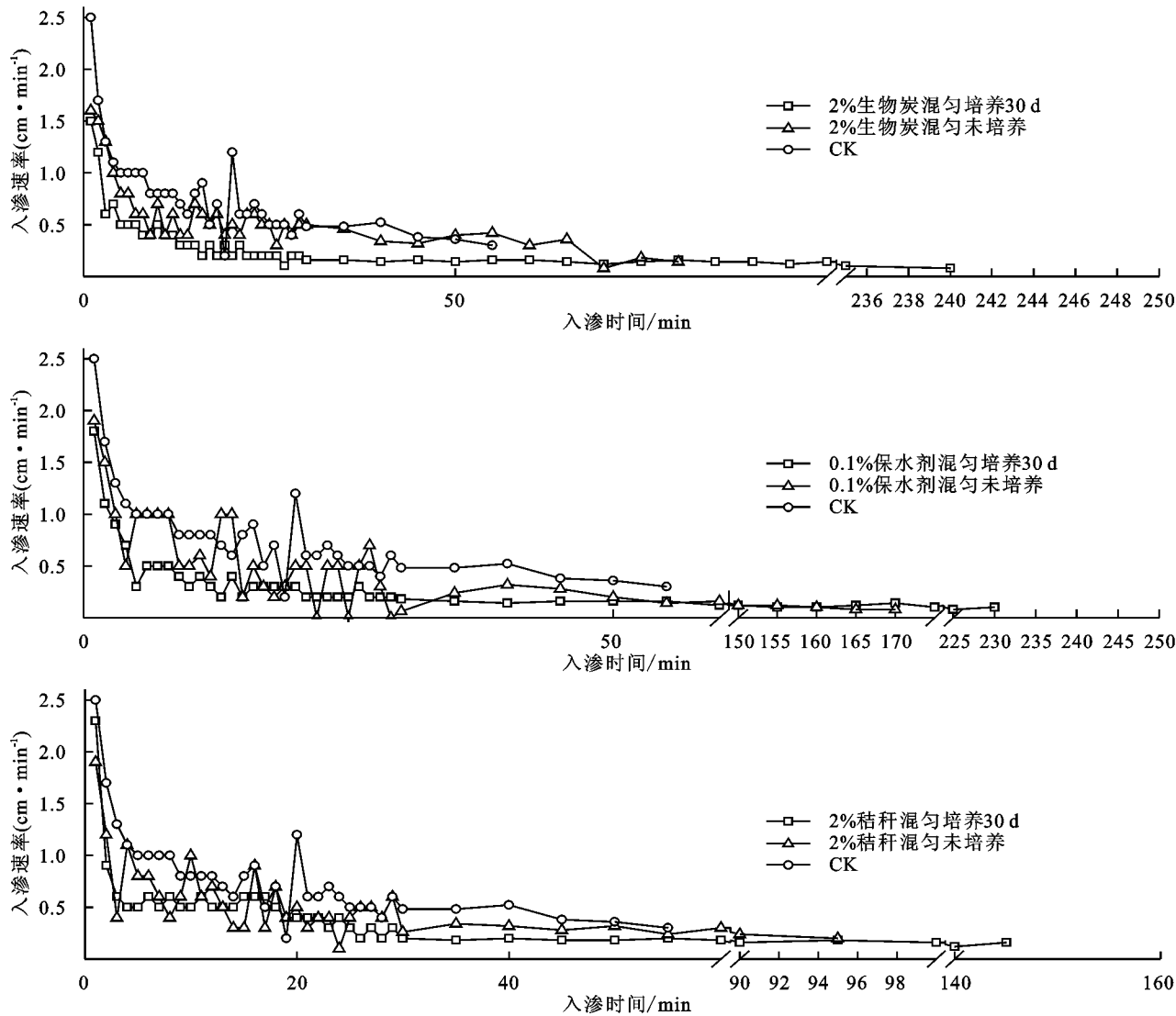


图 4 不同处理随时间的入渗率比较

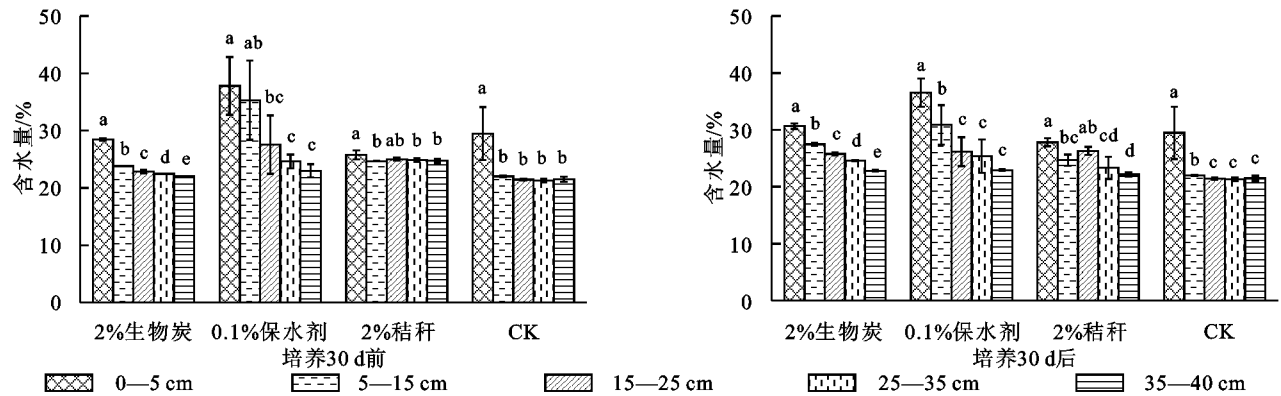


图 5 不同处理各层次土壤含水量对比

3 讨论

3.1 不同保水材料与土壤混匀或铺层的差异

秸秆和生物炭处理与沙土混匀的持水效果比铺层好,相反保水剂的铺层处理效果最好,原因是保水剂有高度的吸水性,只有完全吸水膨胀饱和后才开始

下渗,所以铺层后形成封闭的水膜,湿润锋下移速率大大降低<sup>[6]</sup>。而秸秆粉末和生物炭材料本身孔隙较大,其铺层造成土壤大的孔隙,使沙土漏水更为严重。秸秆和生物炭混匀效果优于铺层,尽管混匀后对沙土的持水性能改善也不理想,但秸秆材料在土壤里会发生腐解<sup>[17]</sup>,生物炭会发生表面结构的改变<sup>[13]</sup>,培养一

段时间后,随着秸秆和生物炭理化性质的变化,对沙土保水和持水性能有所改善。

表 6 不同处理土柱的饱和导水率 cm/min

处理	培养前	培养后
CK	1.19a	1.15a
2%生物炭	1.12a	0.28d
2%秸秆	0.93b	1.08a
0.1%保水剂	0.22de	0.21e

注:不同字母表示处理间差异显著  $p<0.05$ 。

3.2 几种保水材料持水性能的比较

入渗率即湿润锋在土柱中径向移动的速率,它能反映出水在不同处理土柱中的移动速度,进而看出每个处理间的不同持水能力<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,保水剂在沙土持水方面效果最佳(图 1),在沙土中添加保水剂能有效改善土壤结构,为增加作物产量做出较大贡献<sup>[4-5,19]</sup>。与之相比,掺入生物炭和秸秆后,土壤持水效果较 CK 有提升,但提升效果小于保水剂。有研究表明,生物炭并不能很明显地改善土壤的水文能力<sup>[11]</sup>,但是生物炭经老化处理后,可以显著影响土壤的保水能力及土壤中的水含量<sup>[13]</sup>。成熟秸秆的表层富含蜡质等疏水结构,其吸水性和持水性也不佳。

3.3 几种材料与土壤混合培养 30 d 后保水性能比较

培养试验设置了秸秆、生物炭及保水剂 3 种材料与土壤混合培养 30 d,模拟大田试验条件下不同材料与土壤作用后的持水性能。结果表明,与其他材料相比,生物炭与土壤培养 30 d 后对沙土的持水能力提升最为显著。有研究表明生物炭老化后其物理结构有所改变,进而会影响生物炭施入土壤后,对土壤持水能力的改善效果<sup>[8,13]</sup>。生物炭老化是一个亲水性和极性改变的过程,通过扫描电镜及傅立叶红外图谱分析,发现生物炭老化后,其物理结构及表面官能团都有改变,增强了生物炭的亲水性,进而增强了生物炭对水的吸附能力,将水储存在生物炭的孔隙中。所以当生物炭与沙土在适宜的温度和水分条件培养 30 d 自然老化后,其持水能力明显增强。

很多研究表明秸秆还田可以提升土壤持水能力,秸秆与沙土培养 30 d 后,持水能力显著高于未培养,推测为随着秸秆的腐熟,原本富含蜡质疏水性的秸秆表面分解为亲水性的物质表面,提升土壤的持水与保水能力<sup>[20]</sup>。随着培养时间,保水剂保水性能也得到提高,但提升幅度小于秸秆与生物炭,这有可能是保水剂在培养过程中与土壤充分混匀后结合的孔隙更小,增大了比表面积,增大了其持水能力。

3.4 不同土层含水量间的差异

2%生物炭、2%生物炭培养 30 d 和 2%秸秆培养 30 d 这 3 个处理不同层次间含水量差异最明显。整体来说,2%生物炭培养 30 d 土壤含水量略高于其余两个处理,说明生物炭与土壤培养后改良了土壤的蓄水能力。而 0.1%保水剂的处理含水量差异性在 0—5,5—15,15—25 cm 土层最显著,而 25—35,35—40 cm 两个层次出现了较大反差,说明水在下渗的过程中,一直在被上层保水剂吸收,因为重力作用才会有部分水下渗,来形成湿润锋,而下层土壤虽然已经湿润,但是其含水量并未达到最大持水量,保水剂也处于未吸水饱和状态<sup>[21]</sup>。而在 CK、2%秸秆、2%生物炭 3 个处理中,除了 0—5 cm 的土层含水量较高外,其余 4 个层次含水量无显著性差异,说明这 3 个处理并不能显著增加土壤的蓄水能力,使土壤孔隙中能保持住更多的水分。

3.5 不同材料间饱和导水率的差异

土壤饱和导水率是表述土壤渗透性能的重要参数,主要受土壤质地、容重、孔隙结构的影响<sup>[16]</sup>。同一质地土壤其入渗性能越大其土壤传输水分的能力就越大<sup>[22-23]</sup>。影响土壤饱和导水率的重要因素是土壤结构性质<sup>[24-25]</sup>,沙土饱和导水率过高,不利于水分在土壤中的保持。本研究发现在沙土中混合保水剂、生物炭和秸秆,可以不同程度地改变土壤的饱和导水率,这与其他研究得出的结果一致<sup>[26]</sup>。不同处理间饱和导水率的差异反映出不同材料对土壤结构改变的差异,土壤孔隙大小对土壤饱和导水率影响最大<sup>[27]</sup>,所以可以得出混匀材料通过改变土壤孔隙来达到增强持水性的效果。但是要深入认识不同材料在土壤中对沙土水分参数的影响,还需要延长培养时间进一步研究其作用规律。

4 结论

(1) 0.1%保水剂在土柱中铺层处理比混匀处理的入渗时间延长 1.82 倍,2%生物炭和 2%秸秆与沙土混匀入渗时间分别为各自铺层处理的 1.88 倍,1.66 倍。不同土柱总入渗时间依次为 0.1%保水铺层>0.1%保水剂混匀>2%秸秆混匀>2%生物炭混匀>CK=2%秸秆铺层>2%生物炭铺层,说明保水剂在铺层使用时对沙土持水性能的改善最佳,而生物炭和秸秆混匀最佳。

(2) 2%生物炭处理培养 30 d 后入渗时间是未培养的 2.88 倍,是 CK 的 4.08 倍,培养 30 d 后入渗完成时入渗率比未培养降低 42.9%;2%秸秆培养 30 d 后入渗时间是未培养的 1.5 倍,是 CK 的 2.5 倍,培养 30 d 后入

渗完成时入渗率比未培养降低 20.0%。不同土柱总入渗时间依次为 2%生物炭混匀培养 30 d>0.1%保水剂混匀培养 30 d>0.1%混匀保水剂>2%秸秆混匀培养 30 d>2%秸秆混匀>混匀 2%生物炭>CK。可以得出生物炭施入初期持水效果不如保水剂和秸秆,与土壤混合培养 30 d 后其持水及蓄水能力高于保水剂;秸秆在施入初期持水效果不如保水剂,与土壤混合培养 30 d 后,其持水能力与蓄水能力大幅度提高,是比较廉价易得的保水材料。

#### 参考文献:

- [1] 孔祥旋,寇长林,孙克刚,等.砂质潮土水分特性研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):98-104.
- [2] 黄震,黄占斌,李文颖,等.不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J].中国生态农业学报,2010,18(2):245-249.
- [3] 廖人宽,杨培岭,任树梅.高吸水树脂保水剂提高肥效及减少农业面源污染[J].农业工程学报,2012,28(17):1-10.
- [4] 杨永辉,吴普特,武继承,等.保水剂对冬小麦土壤水分和光合生理特征的影响[J].中国水土保持科学,2010,8(5):36-41.
- [5] 武继承,郑惠玲,史福刚,等.不同水分条件下保水剂对小麦产量和水分利用的影响[J].华北农学报,2007,22(5):40-42.
- [6] 白文波,宋吉青,李茂松,等.保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J].农业工程学报,2009,25(2):18-23.
- [7] 郑庆福,王永和,孙月光,等.不同物料和炭化方式制备生物炭结构性质的 FTIR 研究[J].光谱学与光谱分析,2014,34(4):962-966.
- [8] 潘全良,陈坤,宋涛,等.生物炭及炭基肥对棕壤持水能力的影响[J].水土保持研究,2017,24(1):115-121.
- [9] 刘园, M. Jamal Khan, 靳海洋,等.秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响[J].土壤学报,2015,52(4):849-858.
- [10] 齐瑞鹏,张磊,颜永毫,等.定容重条件下生物炭对半干旱区土壤水分入渗特征的影响[J].应用生态学报,2014,25(8):2281-2288.
- [11] Jeffery S, Meinders M B J, Stoof C R, et al. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil[J]. Geoderma, 2015, 251/252:47-54.
- [12] 肖茜,张洪培,沈玉芳,等.生物炭对黄土区土壤水分入渗、蒸发及硝态氮淋溶的影响[J].农业工程学报,2015,31(16):128-134.
- [13] 林庆毅,姜存仓,张梦阳.生物炭老化后理化性质及微观结构的表征[J].环境化学,2017,36(10):2107-2114.
- [14] 吴传发,文倩,韩燕来,等.保水剂与秸秆深施对砂质潮土水肥状况及小麦产量的影响[J].土壤通报,2017,48(3):692-700.
- [15] 邢旭光,张盼,马孝义.掺混菜籽油渣减少土壤入渗改善持水特性[J].农业工程学报,2017,33(2):102-108.
- [16] 邵明安,王全九,黄明斌.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [17] 赵亚丽,薛志伟,郭海斌,等.耕作方式与秸秆还田对冬小麦—夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2014,47(17):3359-3371.
- [18] 赵亮,唐泽军,刘芳.粉煤灰改良沙质土壤水分物理性质的室内试验[J].环境科学学报,2009,29(9):1951-1957.
- [19] 杨永辉,武继承,吴普特,等.秸秆覆盖与保水剂对土壤结构、蒸发及入渗过程的作用机制[J].中国水土保持科学,2009,7(5):70-75.
- [20] 路文涛,贾志宽,高飞,等.秸秆还田对宁南旱作农田土壤水分及作物生产力的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(1):93-99.
- [21] 张小娜,冯杰.考虑土壤大孔隙的下渗模型构建及验证[J].武汉大学学报:工学版,2014,47(4):457-462,484.
- [22] 梁向锋,赵世伟,张扬,等.子午岭植被恢复对土壤饱和和导水率的影响[J].生态学报,2009,29(2):636-642.
- [23] 王子龙,赵勇钢,赵世伟,等.退耕典型草地土壤饱和和导水率及其影响因素研究[J].草地学报,2016,24(6):1254-1262.
- [24] 孟晨,牛健植,骆紫藤,等.鹫峰地区不同植被群落土壤性质及饱和和导水率特征[J].水土保持学报,2015,29(3):156-160.
- [25] 曹瑞雪,邵明安,贾小旭.层状土壤饱和和导水率影响的试验研究[J].水土保持学报,2015,29(3):18-21.
- [26] 孙荣国,韦武思,王定勇.秸秆—膨润土—PAM 改良材料对砂质土壤饱和和导水率的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):89-93.
- [27] 赵云鹏,白一茹,王幼奇,等.宁夏引黄灌区土壤饱和和导水率空间分异特征[J].北方园艺,2017(8):166-171.