

李 兴,勾芒芒,屈忠义,等. 生物炭对沙壤土水分特征的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):280-283.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.066

生物炭对沙壤土水分特征的影响

李 兴¹,勾芒芒²,屈忠义³,徐效清¹

(1. 内蒙古师范大学/内蒙古节水农业工程研究中心,内蒙古呼和浩特 010022; 2. 内蒙古机电职业技术学院水利与土木建筑工程系,内蒙古呼和浩特 010070; 3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古呼和浩特 010020)

摘要:为探明生物炭对沙壤土水分特征的影响,明确生物炭在改良沙壤土持水性能方面的应用潜力和价值。采用室内试验土柱法研究在沙壤土中掺加 4 种不同比例的生物炭(10、20、40、60 g/kg)对土壤结构、土壤含水率、垂直入渗和扩散程度的影响。结果表明:沙壤土中掺加生物炭能够降低土壤容重、增加孔隙度。土壤水分特征曲线表明,随着生物炭含量的增加,土壤持水能力增加,干土加 60 g/kg 生物炭的处理最高,比对照提高 0.67 倍。随着入渗时间的延长,生物炭可有效抑制沙壤土的垂直入渗率和扩散度。120 min 后,入渗率分别比对照减少 24%、49%、50%、59%;土壤含水率为 24.9% 时,土壤扩散率分别比对照减小 45.00%、79.11%、80.56%、83.33%。生物炭能够提高沙壤土的持水、保水性能,对改善沙壤土水土环境具有一定的促进作用。

关键词:生物炭;沙壤土;水分运移;保水

中图分类号:S156.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)12-0280-04

内蒙古干旱、半干旱地区是我国水资源匮乏、水土流失比较严重的区域,沙壤土是这个地带的主要土壤类型,因其持水性差、土壤肥力贫瘠等缺点制约着当地农业的生产和发展。如何提高沙壤土的持水能力、增强土壤水分的有效性、改善农业土壤水环境一直以来是科研人员研究的重点和难点^[1-7]。近年来,随着生物炭在温室气体固碳减排中的重要作用,生物炭在农业科学领域的应用研究也成为了国内外研究的热点^[8-13]。

生物炭(biochar)是指农林废弃物等生物有机材料在缺氧或低氧条件下缓慢高温裂解获得的富含碳的有机质^[14-17]。由于其特有的多孔性、较大的比表面积等特点能够有效地改善土壤结构,具有一定的持水性能。Glaser 等研究发现生物炭具有一定的吸水能力,尤其是氧化后的生物炭可以提高沙质土壤的持水量,从而改善土壤持水性^[18]。国内学者研究表明,生物炭对于较黏土壤可增大土壤通透性,改善土壤水分入渗能力^[19]。然而,有关生物炭对沙壤土水分运移规律影响的机理研究还有待深入开展。

本研究针对该地区沙壤土持水性差的特点,以花生壳炭为供试材料,全面开展生物炭影响沙壤土水分运移规律的机理研究,为进一步应用生物炭改良沙壤土提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试沙壤土取自内蒙古呼和浩特市和林试验示范基地,均为耕作表层土壤(0~25 cm),取回的土样进行风干处理,破碎后过孔径 2.0 mm 筛,之后用激光粒度分析仪测试土壤

的颗粒组成,土壤机械组成和基本性质:沙粒含量为 64.15%、粉粒含量为 16.49%、黏粒含量为 19.36%,土壤类型为沙壤土,容重为 1.39 g/cm³,孔隙度为 43.52%,pH 值为 7.85,电导率为 141.8 μS/cm。供试生物炭为花生壳炭,采购于辽宁金和福农业开发有限公司生物炭肥厂家,经粉碎后过 2 mm 筛,生物炭中碳含量为 47.17%、氮含量为 0.17%、氢含量为 3.83%、碳/氮为 67.03、pH 值为 9.04。试验时间为 2015 年 5 月中旬及 2016 年 5 月中旬,试验于内蒙古农业大学土力学实验室进行。

1.2 试验设计及测定方法

1.2.1 试验设计 将风干研磨后的表层沙壤土和花生壳炭过 2 mm 筛后进行均匀混合,设 5 个处理:处理 1 为对照,不添加生物炭(CK);处理 2 为干土+生物炭 10 g/kg(C1);处理 3 为干土+生物炭 20 g/kg(C2);处理 4 为干土+生物炭 40 g/kg(C3);处理 5 为干土+生物炭 60 g/kg(C4)。每个处理均设 3 个重复。

1.2.2 土壤容重和孔隙度测定 首先使用击实仪将沙壤土(CK)按设定容重(1.39 g/cm³)分 3 层均匀装入体积为 100 cm³的环刀中,然后其他各处理的填装过程均同对照组的击实次数和击实压力保持一致,以下试验设计的填土容重和方法与此相同。

1.2.3 土壤水分特征曲线测定 土壤水分特征曲线能够较好地描述土壤水能态与土壤含水率之间的关系,是研究土壤水分有效性的重要指标(或参数)。将各处理的土样按照测定的容重分层均匀装入体积为 100 cm³的环刀中,浸水饱和 12 h。应用 1500F1 型 1.5 MPa 压力膜仪测定土壤水分特征曲线。各处理土样分别在 0.002、0.004、0.006、0.008、0.010、0.050、0.080、0.100、0.300、0.500、0.700、1.000、1.200 MPa 下土壤达到平衡后取出称质量,全部结束后取出移至铝盒中,在 105℃下烘干至恒质量,测定不同吸力下的土壤体积含水率,并拟合土壤水分特征曲线。

收稿日期:2017-10-13

基金项目:内蒙古自然科学基金(编号:2015MS0569)。

作者简介:李 兴(1981—),男,内蒙古兴安盟人,博士,副研究员,主要从事水环境保护研究。E-mail:lixinggm@163.com。

1.2.4 土壤水分垂直入渗和水平扩散的测定 土壤水分垂直入渗和扩散率是水分进入土壤参与水循环和水分迁移的一个重要环节,研究土壤水分动力学参数和运动规律是分析降水和灌溉入渗的重要因素。水分入渗是一个复杂的过程,如果入渗过快可能导致深层渗漏,作物根系不能充分及时地吸收水分;然而,如果入渗过慢则容易致使作物根系吸水困难并导致水分胁迫^[1,13]。本研究开展了以上 2 个因素的试验工作,具体测定方法如下:

(1) 垂直入渗试验。试验设备主要分为 2 个部分,用 PVC 制作的渗吸筒和供水马氏瓶。渗吸筒直径 15 cm、高 40 cm,上部装有一个直径 10 cm、高 10 cm 的内环,内环的顶端与渗吸筒齐平,下端插入土内 10 cm。内环上方安置一个直径 6 cm、高 60 cm 的马氏瓶,稳定持续地给土壤供水。试验安排:将不同处理土壤均匀混合装入土柱中,为保证土柱的密度较为均匀,将每个处理的混合土样按 10 cm 分层装土。当马氏瓶供水后开始计时,计时时间为 120 min。测定不同处理土壤的垂直入渗速率,整个试验装置如图 1 所示。

(2) 水平扩散试验。采用水平土柱进行扩散率的测定。水平土柱由多个内径为 4 cm、长为 1.75 cm 的 PVC 内环组成,总长为 49 cm。试验段由 24 个圆环组成,将生物炭和沙壤土的不同混合土壤均匀搅拌后,用与之直径相仿的平头木棒分 3 次压实填装,测定时将马氏瓶发泡位置调节在橡皮管口与土柱中央平齐又刚好出水为好,即不允许有水头差的存在,土壤入渗时只靠其本身基模吸力,以此计算土壤水扩散率 $D(\theta)$ ^[1]。

1.3 统计分析

采用 Excel 2007 进行数据整理和绘图,采用 SAS 10.0 v

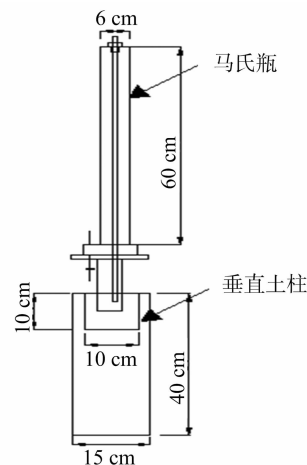


图1 垂直入渗试验装置示意

进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭对土壤容重、孔隙度的影响

从图 2 可知,随着生物炭含量的增加,土壤结构发生改变,土壤容重逐渐减小、孔隙度增大。与对照相比,C1、C2、C3、C4 处理容重分别降低 1.4%、2.9%、5.0%、9.4%,孔隙度分别增加 1.4%、2.8%、4.8%、8.9%。这是由于生物炭本身结构具有多孔性,微孔形状各异,数量较多,这些排列紧密的微孔不仅增加了生物炭的比表面积,同时能够改善土壤结构,增加土壤孔隙度,有利于土壤通气及水分的交换。

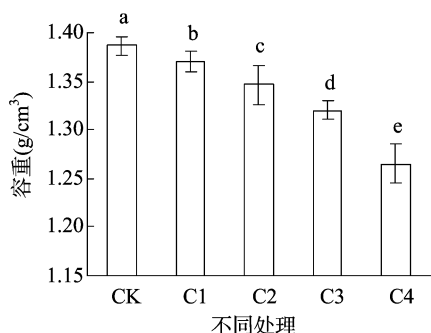


图2 生物炭对沙壤土容重和孔隙度的影响

2.2 生物炭对土壤水分特征曲线的影响

为了准确表征不同处理的土壤水分特征曲线,应用 RETC 软件,利用 van Genuchten 模型对所有处理的试验结果进行曲线拟合,选用关系式 $m = 1 - 1/n$,拟合结果得出 a 、 n 曲线形状参数及决定系数的 r^2 ,不同处理沙壤土模型的拟合值与实测值的决定系数均大于 0.92,说明使用 RETC 软件进行 van Genuchten 模型拟合的土壤水分特征曲线结果是可信的。由图 3 可知,不同处理下土壤水分特征曲线走向趋势基本一致,表现为在低吸力范围内土壤含水率急速下降,之后随着吸力的增加出现一个较长平缓趋势。在相同吸力下,各处理间含水率变化表现为施加生物炭的沙壤土比对照土壤含水率高,同时随着生物炭掺入量的增加含水率表现为增大的趋势,即 $C4 > C3 > C2 > C1 > CK$ 。其中,C4、C3、C2、C1 的平均土壤含水率分别是对照的 1.67、1.51、1.33、1.23 倍。在不同吸力

下,施加生物炭的沙壤土处理组与对照相比平均土壤含水率增幅差异较大。在土壤水吸力 0.002 ~ 0.006 MPa 之间,处理组的平均含水率比对照增加 25.1%;在 0.008 ~ 0.300 MPa 之间比对照增加 33.7%;在 0.500 ~ 1.200 MPa 之间比对照增加 61.1%。从分析可知,同一吸力下添加生物炭可增加沙壤土的土壤含水率,说明生物炭具有很好的持水性。同时,随着压力的增大施加生物炭保持土壤含水率仍旧比对照高,这说明生物炭的多孔性、巨大的比表面积和较强的吸附作用得以充分发挥,从而抑制了水分的流失,有效地保持住沙壤土中的水分含量,从而改善沙壤土的土壤水环境,增加土壤的持水性和水分的有效性。

2.3 生物炭对土壤水分垂直入渗特征的影响

2.3.1 对垂直入渗率的影响 根据试验观测数据按照公式

(1) 计算在任意时刻的土壤水分垂直入渗率,然后将垂直入

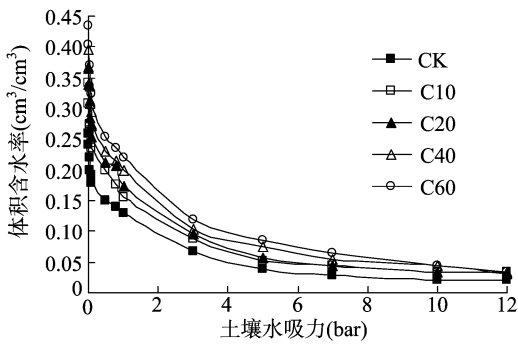


图3 不同处理下的土壤水分特征曲线

渗率和入渗时间按照公式(2)即 Kostiakov 入渗模型进行拟合, r^2 为 0.975 1。

$$K_i = 10(H_0 - H)S_1/S_2t; \tag{1}$$

$$K_i = k_i a. \tag{2}$$

式中: K_i 为 t 时刻的土壤入渗率, mm/min; H 为入渗开始后马氏瓶在任意时刻 t 的水位读数, cm; H_0 为试验开始前 ($t=0$) 马氏瓶的水位读数, cm; S_1 为马氏瓶的断面面积, cm^2 ; S_2 为土柱的断面面积, cm^2 ; k 为入渗系数, mm/min; a 为入渗指数。

不同处理累积入渗量的散点图呈二次多项式关系, 按照公式(3)用二次多项式进行拟合, 拟合的 r^2 为 0.974 2 (表 1)。

$$W_i = AT^2 + BT + C. \tag{3}$$

式中: T 为时间, min; W_i 为累积入渗量, cm; A 、 B 、 C 为经验常数。通过分析可知, 各处理的垂直入渗率随着入渗时间的变化趋势是相同的 (图 4), 在开始入渗前 10 min 内, 入渗率急剧减小, 随后出现平缓且恒定的减小趋势, 直到趋于稳定。在入渗终止时, 生物炭掺量越多, 入渗率越慢, 即 C4、C3、C2、C1 分别比对照减少 59%、50%、49%、24%。

表 1 不同处理沙壤土在任意时刻的水分垂直入渗参数

不同处理	$W_i = AT^2 + BT + C$			r^2
	A	B	C	
CK	-0.002 6	0.641 9	7.476 7	0.975 6
C1	-0.002 0	0.487 8	5.669 9	0.975 6
C2	-0.001 4	0.330 2	4.254 7	0.972 8
C3	-0.001 5	0.337 5	2.750 7	0.971 7
C4	-0.001 1	0.263 3	3.081 7	0.975 4

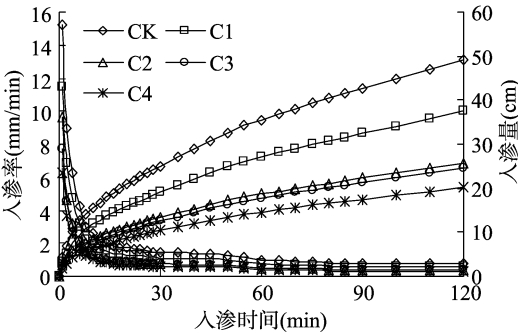


图4 生物炭对沙壤土垂直入渗率和入渗量的影响

2.3.2 对入渗量的影响 由图 4 可知, 随着入渗时间的延长各处理入渗量增加, 但增加程度与生物炭掺量程度成反比, 即在相同入渗时间下, 生物炭掺量越大, 入渗量越小。试验结

束后, C1、C2、C3、C4 的总入渗量分别是对照 (CK) 的 75.98%、52.04%、50.05%、41.04%。

2.4 生物炭对土壤水分水平扩散特征的影响

2.4.1 对湿润峰迁移速率的影响 由图 5 可知, 随着渗透距离的增大, 各处理的湿润峰迁移速率在前期变化较大, 到中长期逐渐减慢直至趋于一个稳定速率; 与对照相比, 掺加生物炭的沙壤土迁移速率减慢, 且生物炭含量越大迁移速率越小, 即 $C4 < C3 < C2 < C1 < CK$ 。到试验结束时 (渗透距离为 42 cm), 处理组的湿润峰迁移速率分别比对照减少 10%、60%、80%、90%。随着渗透距离的增大, 各处理的土壤含水率呈现递减趋势, 与对照相比, 掺加生物炭的量越大土壤含水率越高。水平扩散前期各处理土壤含水率相差较大, 到中长期差距逐渐减小 (图 5)。

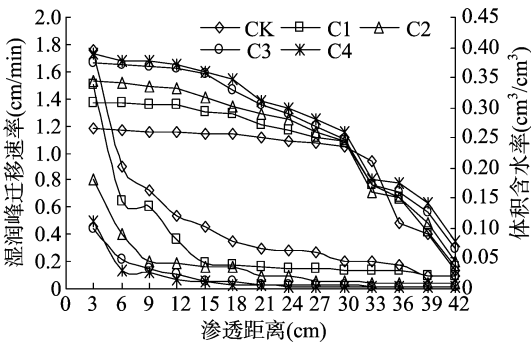


图5 生物炭对沙壤土湿润峰迁移速率和体积含水率的影响

2.4.2 Boltzmann 变换参数与含水率 θ 的关系 通过计算得出 Boltzmann 变换参数 λ , λ 值的大小表示水分在土壤中水平吸渗时湿润锋向前移动的快慢程度。通过图 6 可知, 生物炭对沙壤土的 $\lambda - \theta$ 关系曲线的影响较为明显, 均随含水率的增大而减小。与对照相比, 生物炭掺量越多, θ 值越大, λ 值越小。结果表明, 湿润峰前移速度的快慢程度变化显著, 在初期各处理间前移速度差异不大, 到中长期表现为 C4、C3 处理前移速度明显缓慢, C2、C1 次之, CK 前移速度最快, 这是因为前期水分扩散时, 土壤中的大孔隙容易过水, 不同处理土壤中的前移速度差异不大。因为生物炭具有多孔性和较大的比表面积, 随着水分移动添加生物炭的土壤小孔隙增大, 能够充分地吸持一定的水分, 减缓了土壤水分运移的速度, 增加了土壤的持水性, 抑制了土壤水平方向的水分侧漏。

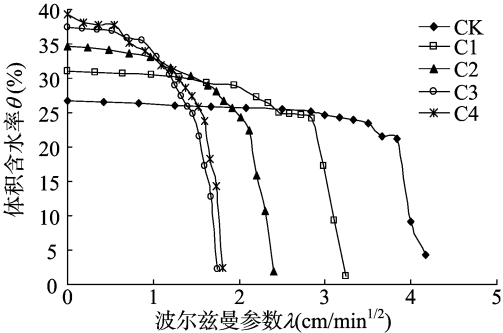


图6 生物炭对体积含水率 θ 与参数 λ 变化关系曲线

2.4.3 扩散率 $D(\theta)$ 与含水率 θ 的关系 由图 7 可知, 土壤扩散率 $D(\theta)$ 与土壤体积含水率 θ 具有极显著的正相关关系, 相关系数都超过 0.86。与对照相比, 随着生物炭掺量的增加

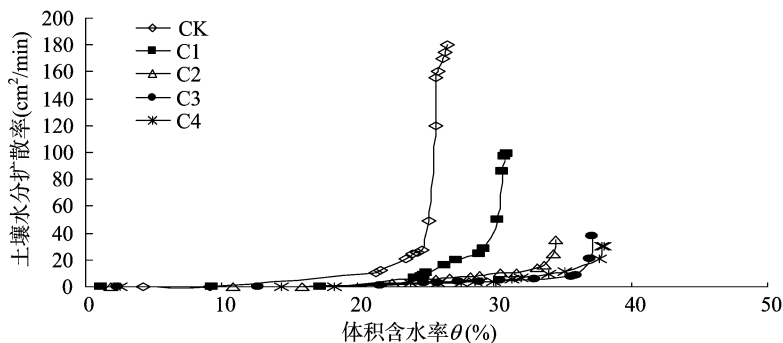


图7 土壤水分分散率 $D(\theta)$ 与土壤含水率 θ 的变化关系曲线

土壤扩散率 $D(\theta)$ 逐渐减小,在土壤含水率为24.9%时,C1、C2、C3、C4处理的土壤扩散率分别比CK(对照)减小45.00%、79.11%、80.56%、83.33%。

3 结论

生物炭施入沙壤土后,可以有效地改善沙壤土结构,主要通过改变土壤容重和孔隙度对土壤含水率、土壤垂直入渗率和扩散度产生影响,改变了沙壤土持水性差的缺点,提高土壤持水、保水的能力,改善土壤水环境。

(1)4种不同掺量的生物炭(10、20、40、60 g/kg)能够明显改善沙壤土土壤结构,与对照相比容重分别减少1.4%、2.9%、5.0%、9.4%;孔隙度增加1.4%、2.8%、4.8%、8.9%。

(2)在相同的土壤水吸力下,随着生物炭含量的增加,土壤含水率增大。与对照相比,土壤含水率分别增大0.23、0.33、0.51、0.67倍。

(3)随着入渗时间的延长,生物炭可以抑制沙壤土的垂直入渗速率和入渗量,随着掺量的增加入渗率和入渗量逐渐降低。120 min后,入渗率分别比对照减少24%、49%、50%、59%;入渗量分别是对照的75.98%、52.04%、50.06%、41.04%。

(4)随着入渗距离的扩大,生物炭可以减缓沙壤土湿润峰的迁移速率和土壤扩散率,而且生物炭掺量越多这种效应越明显。到试验结束时(渗透距离为42 cm),与对照相比各处理组的迁移速率分别减少10%、60%、80%、90%。当土壤含水率为24.9%时,土壤扩散率分别减小45.00%、79.11%、80.56%、83.33%。

参考文献:

- [1] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988:168-170.
- [2] 张慎举,郭振升,侯乐新. 豫东沙壤土区强筋小麦施钾增产保优效应研究[J]. 中国农学通报,2013,29(3):47-52.
- [3] 易湘生,李国胜,尹衍雨,等. 黄河源区草地退化对土壤持水性影响的初步研究[J]. 自然资源学报,2012,27(10):1708-1719.

- [4] 于健,雷廷武,Shainberg I,等. PAM特性对沙壤土入渗及土壤侵蚀的影响[J]. 土壤学报,2011,48(1):21-27.
- [5] 王燕,郑健,冀宏,等. 植物混杂物对甘肃景泰沙壤土入渗过程的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(1):63-67.
- [6] 李丹,孙志梅,王艳群,等. 有机组分对N素在沙壤土中淋溶运移的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(3):23-26.
- [7] 杨园,王良梅,曹莉,等. 生物炭和猪粪堆肥对Cd污染土壤上黑麦草生理生化的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(13):196-200.
- [8] 张千丰,王光华. 生物炭理化性质及对土壤改良效果的研究进展[J]. 土壤与作物,2012(4):219-226.
- [9] 王典,张祥,姜存仓,等. 生物质炭改良土壤及对作物效应的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2012,20(8):963-967.
- [10] 谢祖彬,刘琦,许燕萍,等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤,2011,43(6):857-861.
- [11] 何绪生,耿增超,余雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报,2011,27(2):1-7.
- [12] 张阿凤,潘根兴,李恋卿. 生物炭及其增汇减排与改良土壤意义[J]. 农业环境科学学报,2009,28(12):2459-2463.
- [13] 高海英,何绪生,耿增超,等. 生物炭及炭基氮肥对土壤持水性能影响的研究[J]. 中国农学通报,2011,27(24):207-213.
- [14] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, et al. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(4):811-819.
- [15] Marris E. Putting the carbon back; black is the new green[J]. Nature, 2006, 442(7103):624-626.
- [16] Shrestha G, Traina S J, Swanston C W. Black carbon's properties and role in the environment: a comprehensive review[J]. Sustainability, 2010, 2(1):294-320.
- [17] Lehmann J, Joseph S. Biochar for environmental management science and technology[M]. London: Earthscan, 2009:107-157.
- [18] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4):219-230.
- [19] 孙蓓,马玉莹,雷廷武,等. 农地耕层与犁底层土壤入渗性能的连续测量方法[J]. 农业工程学报,2013,29(4):118-124.