

施加生物质炭对滨海盐碱土壤水分运移的影响

陈希霖, 蔡秦扬, 高红贝*, 单胜道

(浙江科技大学 环境与资源学院 浙江省废弃生物质循环利用与生态处理技术重点实验室, 杭州 310023)

摘 要:【目的】探究施加生物质炭对滨海盐碱土壤水力学特性的影响机制。【方法】通过室内模拟入渗实验, 研究不同生物质炭施加量(质量分数分别为 0%、0.3%、0.5%、0.8%、1.0%、3.0%、5.0%、8.0%)对典型滨海盐碱土壤水分导水入渗及持水性能的影响。【结果】供试土壤水分入渗速率和饱和导水率随生物质炭施加量增加呈先增大后减小趋势, 生物质炭施加量<1.0%有助于供试土壤水分入渗, 生物质炭施加量>1.0%则制约供试土壤导水性。1.0%生物质炭施加量是影响土壤水分入渗和土壤导水性的重要转折点。施加生物质炭能够显著提升滨海盐碱土壤的持水能力, 且随着生物质炭施加量的增加而增加, 但过量施加生物质炭降低了土壤渗透性, 不利于提高滨海土壤的导水性。【结论】0.8%~1.0%的生物质炭施加量对滨海盐碱地改良成效较好。

关键词: 生物质炭; 滨海盐碱地; 土壤水分入渗; 饱和导水率; 土壤水分特征曲线

中图分类号: S156.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2023105

陈希霖, 蔡秦扬, 高红贝, 等. 施加生物质炭对滨海盐碱土壤水分运移的影响[J]. 灌溉排水学, 2023, 42(Supp.1): 33-38.

CHEN Xilin, CAI Qinyang, GAO Hongbei, et al. Effects of Biochar on Water Movement in Coastal Saline-alkali Soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 33-38.

0 引言

【研究意义】我国滨海盐碱地北起辽宁, 南抵广西, 总面积达 210 万 hm^2 , 且仍以 2 万 hm^2/a 的速度在不断淤积, 具有绵延范围广、盐碱度高、治理难度大和持续增长的特点^[1]。尽管我国滨海盐碱地大多处于降水较为丰富的东、南陆海交汇带, 但伴随高盐海水倒侵、地表蒸发强烈、土壤致密易板结等不利因素, 实际可被滨海土壤有效利用的淡水资源极为有限^[2]。人为选择合理的材料和方法来快速优化土壤孔隙结构, 改善土壤持水导水性能, 以提高天然降水或淡水灌溉的洗盐排碱效率依然是滨海盐碱地改良的首要任务。生物质炭因其结构稳定且丰富多孔的特点而被作为土壤调理剂施入土壤后可改善优化土壤结构, 增加土壤孔隙, 促进土壤团聚体发育, 提升土壤的保水导水能力。将生物质炭作为调理剂对存在障碍因子土壤实施改良已成为当前农业和环境领域的研究和实践热点之一^[3]。然而, 由于生物质炭原材料性质及制备过程的差异, 以及目标改良土壤的质地类型和结构的不同, 特别是利用生物质炭对特定障碍类型土壤予以改良时, 依然缺乏足够充分的信息来确保改良成效, 并及时识别可能伴生的潜在风险。因此, 开展生物质

炭对滨海盐碱地改良研究不仅为实施盐碱地的改良提供了方法支持, 同时对于促进生物质炭的农业安全利用具有重要意义。

【研究进展】农业用生物质炭(biochar)通常是将农林废弃生物质置于绝氧或限氧环境中经 300~800 $^{\circ}\text{C}$ 高温热裂解所得, 具有含碳率高、比表面积大、孔隙结构丰富、吸附能力强、理化性质稳定的特点。Lim 等^[4]研究认为, 施加生物质炭可提高黏性土壤导水率, 而对砂质土则表现为抑制作用。生物质炭在改变土壤物理性质的同时, 其巨大的比表面积和较强的吸附能力能够降低土壤养分流失, 提高土壤有机质量, 降低污染物毒性, 促进作物的生长发育。生物质炭大多呈碱性, 可通过降低土壤交换性酸量提高土壤 pH 值, 改善酸性土壤环境。张家康等^[5]研究表明, 生物质炭可显著降低酸性水稻土有效态 Cd 量。生物质炭表面丰富的羟基官能团和碱性离子使其在酸性土壤改良中具有天然优势且成效显著, 但将碱性生物质炭应用于盐碱化土壤改良中依然存在较多的争议^[6]。【切入点】因此, 尽管施加生物质炭有利于提高土壤持水性能已被证实, 但将其应用于高盐致密的滨海盐碱土壤改良及可能产生的风险依然缺乏充分的论证。【拟解决的主要问题】鉴于此, 选择典型滨海盐碱土壤作为改良和研究对象, 开展施加生物质炭对滨海盐碱水分导水及持水性能的室内模拟试验, 分析生物质炭施入后对滨海盐碱土壤持水性能的关键影响途径、影响程度和作用机制, 以期利用生物质炭改良滨海盐碱地提供理论依据和数据支撑。

收稿日期: 2023-03-17 修回日期: 2023-04-15

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGN21D010002); 浙江省重点研发计划项目(2020C01017)

作者简介: 陈希霖(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为盐碱地改良。E-mail: cxlin520@sina.com

通信作者: 高红贝(1986-), 男, 讲师, 主要研究方向为土地整治。

E-mail: ghb_fsh@zust.edu.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究供试盐碱土壤采自浙江省舟山市岱山县岱西镇摇星浦村新垦造耕地（30°07′—30°38′N，121°31′—123°17′E）。该新增耕地于2018年由原岱山县岱西镇火箭晒盐场整治垦造而来，面积470 hm²，中心位置距海岸线约2 km，属典型的滨海滩涂地。受亚热带海洋型季风气候控制，采样区全年温润多雨，年均日照时长2 136 h，年均气温16.2 ℃，年均降水量1 188 mm，年内降水呈双峰（6月和9月）分布，台风和干旱为主要极端天气。

试验用土样取自新垦造耕地0~20 cm土层，S型多点采样后充分混合，带回实验室自然风干、研磨，过2 mm筛以供后续试验应用。供试土壤具有典型滨海盐碱土特征：靠近海洋，地下水位高且矿化度大；受海水潮汐影响显著；土壤中以Na⁺为主的可溶性盐量介于13.6~45.86 g/kg，最大含盐量超过91.3 g/kg，且盐碱组成与海水高度一致；pH值介于7.85~9.5，体积质量介于1.3~1.64 g/cm³，大部分属重度、极重度盐碱地类型。利用马尔文激光粒度分析仪（MS-3000）测定供试土壤机械组成（<2 mm），其中砂粒（0.05~2 mm）量为50.6%，粉粒（0.002~0.05 mm）量为39.7%，黏粒（<0.002 mm）量为9.7%，为砂壤土（国际分类制）。土壤有机质量8.48 g/kg，全氮量0.56 g/kg，远低于耕地质量标准要求；速效钾量较高，达到657 mg/kg。由于土壤成土时间短且地下水位高，土体结构表现为团粒结构差、砾石量高、孔隙量低、透水透气性弱、降水后土地积水严重，风干后则坚如磐石。受土壤高盐影响，地表只有少量耐盐碱植被稀疏分布，绝大部分呈裸露状态，蒸发析盐作用明显。

试验所用生物质炭为玉米秸秆炭，由浙江金锅环保科技有限公司热解制备而成，制备温度为350 ℃。实验前将制备的玉米秸秆炭风干后轻微研磨，过2 mm筛备用。测定供试生物质炭的基本理化性质见表1。

1.2 试验设计

试验于2021年9月起在浙江科技学院浙江省废弃生物质循环利用与生态处理技术重点实验室开展。实验过程中首先称取8份5 000 g等量土壤置于不同盛土圆盆中。按照生物质炭-土质量分数0%（CK）、0.3%（B03处理）、0.5%（B05处理）、0.8%（B08处理）、1.0%（B1处理）、3.0%（B2处理）、5.0%（B5处理）和8.0%（B8处理）称取0、15、25、40、50、150、250、400 g生物质炭分别混入上述8份等量土壤中，充分搅拌均匀以备。

表1 生物质炭基本理化指标参数

Table 1 The basic physicochemical properties of biochar

指标名称	指标参数
生物质炭类型	玉米秸秆炭
含C量/%	52.08
NO ₃ ⁻ -N/(mg kg ⁻¹)	15.59
NH ₄ ⁺ -N/(mg kg ⁻¹)	3.26
有机质量/(g kg ⁻¹)	897.86
含S量/%	2.10
含H量/%	0.46
含P量/%	0.96
CEC/(cmol kg ⁻¹)	10.33
pH值	9.11
EC值/(mS cm ⁻¹)	1 760.7

从配比后的各处理组中分别称取2 500 g等量土壤分层装入内径为10 cm，高30 cm的8个透明有机玻璃柱中，每层装土质量为500 g，共5层，各土层之间要打毛处理。有机玻璃柱底部有出水孔用于接取渗漏水分。装土前，土柱底部需铺有薄层透水纱布以防试验过程中土粒的泄漏流失。柱外壁贴有透明刻度纸以便记录水分入渗过程。装土完成对土柱进行吸水饱和并再次放入烘箱低温（60~70 ℃）烘干。烘干致恒质量后再次进行吸水饱和并再次烘干。如此干-湿交替3次进行结构水稳。每次饱和及烘干后均记录有机玻璃柱中土体高度。3次烘干后利用马氏瓶对土柱供水开展定水头土壤水分入渗试验。入渗试验过程中记录入渗时间 t ，累计入渗量 I 及湿润锋距离 D 。入渗试验完成后对土柱进行浸水饱和，利用定水头法测定不同生物质炭土壤饱和导水率。土壤饱和导水率在土柱饱和后可通过底部出水口不间断接取渗透水量，利用窄口瓶60 min记录1次接取水量，直至连续3次接取水量达到相对稳定时截止。

土壤水分特征曲线由土壤水势张力计测定。与上述装土方式相似，首先从预先配比好的8个处理中分别称取1 500 g炭-土混合物分层装入内径为10 cm，高20 cm的透明有机比例柱中。土柱底部开多个小孔用于土柱吸水饱和。装土完成后同样进行3次干-湿交替处理进行结构水稳，并记录土层高度的变化。第3次烘干后再次对土柱进行吸水饱和，并利用特制土钻在土柱中心位置垂直钻取深度为10 cm的小孔。钻孔完成后立即插入已提前完成充水排气（确保张力计腔内气体已完全排出）的土壤水势张力计。土钻直径要略小于张力计陶瓷头直径，以确保陶瓷头与土壤紧紧接触。张力计安装完成后继续饱和24 h并注意观察张力计是否漏气。确保张力计及陶瓷头未漏气后，从盛水容器中取出插有张力计的试验土柱后立即密封底部吸水孔，并将所有土柱静止于实验架上开始自

然脱水试验观测。试验过程中所有土柱处于相同的试验环境中，同时记录张力计真空表指针位置 P 、土柱整体质量变化 M 和观测时长 t 。

1.3 模型模拟

Philip 入渗模型的累积入渗量计算式为：

$$I(t) = St^{0.5} + At \quad (1)$$

将式 (1) 两边对时间求导，即为入渗速率与时间的表达式：

$$i(t) = \frac{1}{2} St^{-0.5} + A \quad (2)$$

式中： i 为土壤水分入渗率 (cm/h)，表示单位时间内通过单位面积的水量； A 稳定入渗率 (cm/h)； S 为吸湿率。

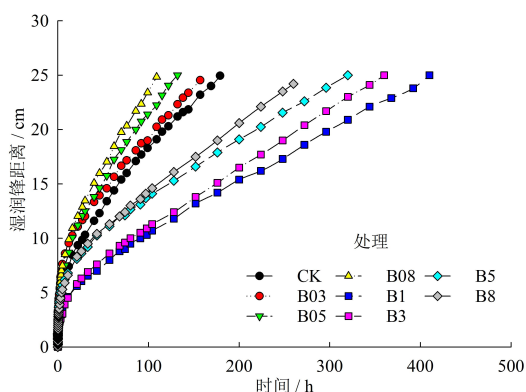
van Genuchten 水分特征曲线模型因具有较高的灵活性和适应性而被广泛认可。van Genuchten 模型可表示为：

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (ah)^n]^m} \quad (3)$$

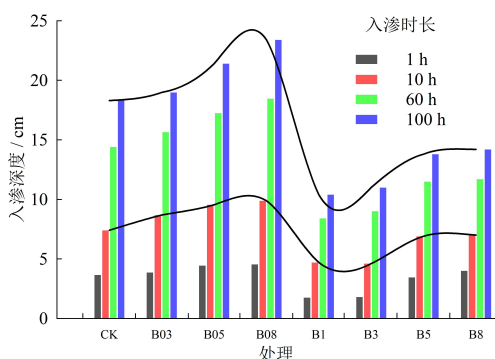
式中： θ 为土壤含水率 (cm³/cm³)； θ_s 为土壤饱和含水量 (cm³/cm³)； θ_r 为土壤滞留含水率 (cm³/cm³)； h 为土壤水吸力 (cm)； S_e 为有效饱和度； α 为与进气吸力相关的参数， $\alpha = 1/h_d$ ， h_d 为土壤进气吸力； m 、 n 为形状参数，且 $m = 1 - 1/n$ 。

1.4 数据分析

基于试验观测结果，利用 Sigmaplot 14.0 软件完成相关的数据拟合和图表绘制工作，并利用基于 van Genuchten 模型的 RETC 软件完成对土壤水分特征曲线的模拟及参数率定。



(a) 不同入渗时间湿润锋距离



(b) 相同入渗历时下各处理的湿润锋距离

图 1 生物质炭施加量对供试土壤湿润锋距离的影响

Fig.1 Effect of biochar additions on soil wetting front distance

2.1.2 施加生物质炭对累积入渗量的影响

不同生物质炭施加量对滨海盐碱土累积入渗量的影响如图 2 所示。入渗历时相同时，B03、B05、B08 处理的累积入渗量明显高于 CK。土柱入渗完成

2 结果与分析

2.1 施加生物质炭对滨海盐碱土壤水分入渗过程的影响

土壤水分入渗是天然来水或人为灌溉所汇聚的地表水进入土壤的过程，受供水强度和土壤自身特性的共同影响。当地表存在稳定积水时，土壤自身特性如质地、结构、孔隙分布等因素的变化则是影响水分入渗的关键因素。土壤入渗性能常用土壤湿润锋距离 D 、累积入渗量 I 、入渗速率 i 等入渗参数与入渗时长 t 的关系来表示。施加生物质炭能够显著改变土壤的结构与孔隙分布，进而影响到土壤的水分入渗过程。

2.1.1 施加生物质炭对湿润锋距离的影响

不同生物质炭施加量对滨海盐碱土湿润锋距离的影响见图 1。由图 1 可知，湿润锋距离随着生物质炭施加量的增加呈先增大后减小变化趋势(图 1(a))。生物质炭施加量 < 1.0% 时，供试土壤湿润锋距离 D 随生物质炭施加量的增加而增加，即相同入渗历时下湿润锋距离表现为 CK < B03 处理 < B05 处理 < B08 处理。然而，当生物质炭施加量达到 1.0% 时，生物质炭的施入对湿润锋距离却表现出明显的拖滞作用，造成 D 突然降低。如入渗时长为 100 h 时，B1 处理下的 D 较 CK 减少了 43.5%，较 B08 处理降低了 55.6%。随着生物质炭施加量的进一步增加 (> 1.0%)，尽管 D 依然表现为随着生物质炭施加量的增加而增加，表现为 B1 处理 < B3 处理 < B5 处理 < B8 处理，但总体上各处理均小于 CK。入渗时长为 1、10、60、100 h 时各处理 D 见图 1 (b)。由图 1 (b) 可知，在入渗的各阶段，湿润锋距离 D 均表现出相同的变化趋势，即从 CK 增大到 B08 处理后，在 B1 处理时突然降低，随后在 B1 处理基础上再次升高。

时，B03、B05、B08 处理累积入渗量分别比 CK 高 23.1%、60.3%、59.5%。但 B1、B3、B5、B8 处理的累积入渗量较 CK 降低了 38.8%、30.6%、13.2%、16.5%。另外，不同处理土柱入渗完成时所需时间见图 3(b)。

当生物质炭施加量 $<1\%$ 时,随着 B03、B05、B08 处理生物质炭施加量的增加,土柱入渗完成所需时间越少。当生物质炭施加量 $>1\%$, B1、B3、B5、B8 处理

完成土柱入渗过程所需时间较 B03、B05、B08 处理明显增加。

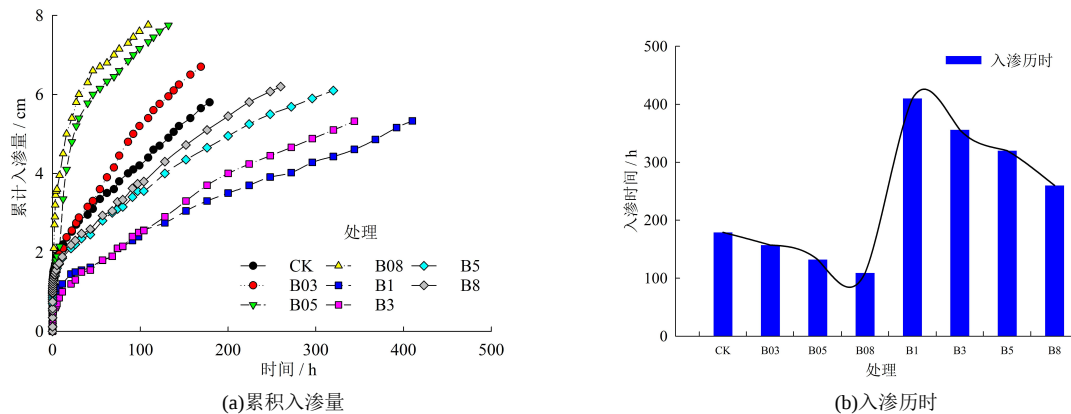


图 2 生物质炭施加量对土壤累积入渗量和入渗历时的影响

Fig.2 Effects of biochar additions on soil water cumulative infiltration and infiltrating duration

2.1.3 入渗过程模拟

利用式(1)和式(2)对不同生物质炭施加量条件下的水分入渗过程进行拟合,校正后的决定系数($Adj-R^2$)均在 0.90 以上,在 $P<0.01$ 水平上表现出良好的显著性,表明 Philip 入渗模型能够较好的模拟不同生物质炭施加量下的滨海盐碱土壤水分入渗过程(表 2)。根据 Philip 入渗模型,在入渗初期吸湿率 S 对入渗过程起主要推动作用;随着入渗历时的增加,稳定入渗率的作用将更加显著,入渗过程也将逐渐趋于稳定。由表 2 可知,随生物质炭施加量增加土壤吸湿率 S 变化趋势与累积入渗量 I 相同。B08 处理吸湿率模拟最大为 0.824,是 CK 吸湿率的 1.82 倍,是 B1 处理吸湿率的 3.22 倍。土壤稳定入渗率 A 总体上依然表现为随生物质炭施加量的增加而降低的趋势。模拟结果表明,生物质炭施加量对土壤水分入渗初期便产生显著影响。在此作用下,尽管在后续的入渗过程中生物质炭对稳渗率的作用规律与入渗过程不完全一致,但依然保持了前期的变化趋势。

表 2 各处理土壤水分入渗过程模拟

Table 2 Simulation of soil water infiltration in different treatments

处理	$S/(\text{cm min}^{-0.5})$	$A/(\text{cm h}^{-1})$	$Adj-R^2$	p
CK	0.451	1.25×10^{-5}	0.915	<0.01
B03	0.542	1.11×10^{-5}	0.953	<0.01
B05	0.779	1.05×10^{-5}	0.961	<0.01
B08	0.824	1.82×10^{-5}	0.912	<0.01
B1	0.256	7.74×10^{-6}	0.929	<0.01
B3	0.265	9.31×10^{-6}	0.985	<0.01
B5	0.361	9.62×10^{-6}	0.927	<0.01
B8	0.345	1.42×10^{-5}	0.912	<0.01

2.2 施加生物质炭对滨海盐碱土壤饱和导水率的影响

土壤饱和导水率 K_s 与土壤自身特性有关,不随土壤含水率的变化而变化。施加生物质炭能够改变土壤的固相结构。同时,生物质炭颗粒的大小和自身丰

富的孔隙又会影响到土壤的孔隙分布。这些因施加生物质炭而引起的土壤自身性质的改变将会影响到土壤饱和导水率。图 3 为不同生物质炭施加量对供试土壤 K_s 的影响。从图 3 中可以看出,随着生物质炭施加量的增加,土壤饱和导水率变化不同;当生物质炭施加量 $<1.0\%$ 时,随着生物质炭施加量的增加,供试土壤 K_s 随之逐渐增大;当施加量达 1.0% 时, B1 处理土壤 K_s 较 B03、B05、B08 处理明显降低;随着生物质炭施加量的进一步提高,饱和导水率 K_s 尽管也随之增加,但依然低于 B08 处理。

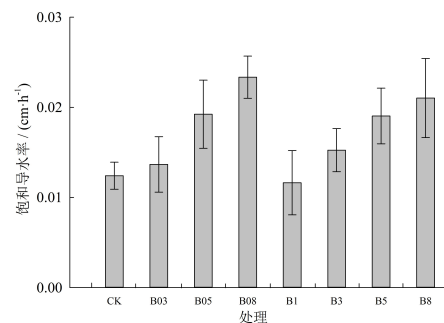


图 3 生物质炭施加量对土壤饱和导水率的影响

Fig.3 Effects of biochar additions on soil saturated water conductivity

2.3 施加生物质炭对滨海盐碱土壤水分特征曲线的影响

土壤水分特征曲线是连接土壤水分数量和能量对应关系的桥梁,同时也反映了土壤孔隙状况和土壤水分的动态变化特征。任何影响土壤孔隙分布和水分状态的因素都会在水分特征曲线上产生的不同程度的响应。不同生物炭施加量对供试土壤水分特征曲线的影响如图 4 所示。由图 4 可知,施加生物质炭处理供试土壤水力特征曲线整体相似,即随着土壤含水率的降低,土壤水吸力呈非线性增加。相同水吸力条件下,与 CK 相比, B03、B05、B08、B1、B3、B5、B8 处

理的土壤含水率平均增加了 2.01%、4.21%、6.37%、6.97%、7.73%、7.26%、11.36%。因此，向滨海盐碱土中施加生物质炭有利于土壤持水能力的提升，且随着生物质炭施加量的增加，土壤持水性能提高。

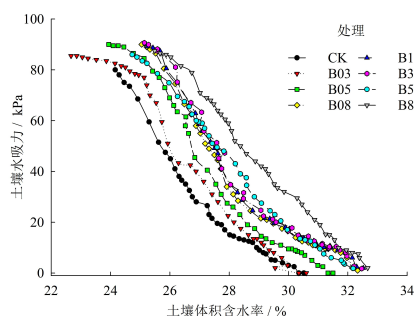


图 4 生物质炭施加量对土壤水力特征曲线的影响

Fig.4 Effects of biochar additions on soil water characteristic curve

根据式 (3)，利用 RETC 水分特征曲线模拟软件集成的 van Genuchten 模型对实测结果进行拟合，结果如表 3 所示。van Genuchten 水分特征曲线模型能够较好的拟合的不同处理下供试土壤水分特征曲线，决定系数均达到 0.98 以上。随着生物质炭施加量的增加，模型形状参数 α 呈降低趋势，而参数 n 则逐渐增大。对于同一种土壤，进气吸力越大， α 值越小，表明土壤持水性更好。水分特征曲线的斜率参数 n 决定了土壤水分特征曲线的坡度，反映了土壤的释水速率。 n 值越大，曲线坡度更缓，土壤释水速率降低。二者拟合值表明施加生物质炭有利于提高滨海盐碱土壤的持水能力，但不利于孔隙中水分的运移。因此，施加生物质炭能够提高土壤持水能力。

表 3 生物质炭施加量对土壤特征曲线参数的影响

Table 3 Effects of biochar additions on the parameters of soil water characteristic curve

处理	$\theta_r / (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_s / (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	α	n	R^2
CK	0	0.397	0.008	1.122	0.996
B03	0	0.398	0.006	1.136	0.983
B05	0	0.410	0.005	1.146	0.986
B08	0	0.420	0.004	1.151	0.983
B1	0	0.423	0.004	1.158	0.987
B3	0	0.426	0.003	1.165	0.985
B5	0	0.425	0.003	1.175	0.986
B8	0	0.433	0.002	1.176	0.982

3 讨论

3.1 施加生物质炭对滨海盐碱土壤导水性能的影响

本研究表明，1.0%的生物质炭施加量是影响滨海盐碱土壤水分运移过程的一个关键转折点。生物质炭施加量 $< 1.0\%$ 可促进土壤中水分的运移； $> 1.0\%$ 则阻碍土壤水分的垂直入渗，尽管此区间内部入渗效率随生物质炭施加量的增大，但依然低于 0~1.0% 生物质

炭施加量的促进作用。从相同入渗深度所需入渗时间上可清晰反映其“之”字形的变化形态。王娟等^[7]通过不同生物质炭对滨海新垦耕地的改良的试验表明，适量施加生物质炭可增强土壤盐分淋洗，但普通生物质炭施量过高不利于土壤脱盐，这与本研究结果相似。过量施加生物质炭后，可能堵塞土壤大孔隙，减少大孔隙数量，增加中小孔隙数量，中小孔效应大于大孔时，水分运动通道曲折复杂，其入渗能力会被抑制。

土壤自身的结构及理化特性是生物质炭影响其水分入渗功能的基础。采样区属砂质土壤，其本身具有较为丰富的毛管孔隙，为水分的入渗和再分布提供了路径。然而，受滨海土壤成土过程和高盐海水的长期浸润冲刷，土壤中累积的盐分严重阻碍团聚体的形成，导致浅层土壤团粒结构差，黏粒胶质物淤积于地表，砂性颗粒沉积于其下，形成明显的层状结构，破坏毛管孔隙的连通性，阻碍水盐迁移。故湿润时表层土壤强黏性，土壤体积质量较高，地表积水严重，难以入渗，外物入内易深陷；干燥时，表层土坚如磐石，板结极为严重，但下次土壤依然相对松散^[7]。加入适量生物质炭，生物质炭丰富的孔隙一方面可增加表层土壤孔隙量^[8]；另一方面较大的生物质炭颗粒与表层土细颗粒的接触可增加表层土壤的大孔隙分布，同时较低的生物质炭量对下层大颗粒间的大孔隙量影响也较小，从而整体提高土壤的导水能力^[9]。随着生物质炭施加量增加，尽管提升表层土壤导水能力，但较多的生物质炭颗粒会减少下层土壤大孔隙量。当生物质炭施加到某一临界量时，小孔隙占比超过大孔隙时，土壤导水率将会突然降低，从而阻碍水分的迁移和流通。当生物质炭施加量进一步增加，土壤中总孔隙会快速增加，但增加的更多的是细小孔隙或无效孔隙，此时更多的是有助于提高土壤持水性，而非导水性。

3.2 生物质炭施加量对滨海盐碱土壤持水能力的影响

本研究表明，向滨海盐碱土中施加生物质炭有利于土壤持水能力的提升。在 van Genuchten 模型中，参数 α 随着生物质炭施加量的增加而降低，表明施加生物质炭有助于对滨海盐碱土壤的持水能力提升；而参数 n 的提高则表明了土壤孔隙释水效率降低，以及土壤孔隙分布向小尺度集中的趋势^[10]。

生物质炭对土壤持水性短期影响的作用机制可归结为：一是生物质炭本身丰富的孔隙和巨大的比表面积为土壤水流的留存提供了空间和附着点^[11]；二是向土壤中添加生物质炭可能会增加土壤毛管孔隙的弯曲度，提高小孔隙和总孔隙量，进而提高土壤持水能力^[12]。Blanco-Canqui^[13]通过归纳各类试验处理下生物质炭对土壤物理性质影响，认为超过 90% 的土壤可通过添加生物质炭提高持水能力。Chen 等^[14]研究发现

生物质炭可增强土壤持水能力,但受生物质炭类型、施用量和生物质炭颗粒大小的制约。孙梟沁等^[15]研究表明,施加生物质炭能够有效改良滨海盐碱土壤结构与水力性质。王娟等^[16]研究表明,生物质炭能够增强滨海盐碱土壤持水能力,且这种影响随生物质炭施加量的增大而增强,这与本研究结果一致。

改良滨海盐碱地,既要保证土壤有较高的持水性,能够为作物提供健康的根基水环境来降低盐碱的毒害作用;同时也要确保土壤有合理的导水性,以便能够较快的实现降盐排碱。因此,确定合理的生物质炭施加量是利用生物质炭改良滨海盐地能否成功的关键关键因素之一。

4 结 论

1) 随着生物质炭施加量的增加,滨海盐碱土壤水分渗透性呈先增大后减小的变化趋势。当生物质炭施加量<1.0%时,施加生物质炭由助于提高土壤水分的导水性;当生物质炭施加量>1.0%时,生物质炭的施加会降低土壤导水性。1.0%生物质炭施加量是影响滨海盐碱土持水性与导水性的重要参考阈值。土壤吸湿性的改变是生物质炭作用于滨海盐碱土壤导水性能的关键因素。

2) 施加生物质炭能够显著提高滨海盐碱土壤持水能力。土壤持水性随生物质炭施加量增加而增加,但过量施加生物质炭降低了土壤孔隙释水效率,不利于提高滨海土壤导水性。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 赵英,王丽,赵惠丽,等.滨海盐碱地改良研究现状及展望[J].中国农学通报,2022,38(3):67-74.
- [2] 张继宁,周胜,孙会峰,等.中国滨海滩涂土壤现状及基于生物质炭的改良潜力分析[J].浙江农业科学,2020,61(9):1707-1711.
- [3] DRAKE J A, CAVAGNARO T R, CUNNINGHAM S C, et al. Does biochar improve establishment of tree seedlings in saline sodic soils?[J]. Land Degradation & Development, 2016, 27(1): 52-59.
- [4] LIM T J, SPOKAS K A, FEYEREISEN G, et al. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties[J]. Chemosphere, 2016, 142: 136-144.
- [5] 张家康,庄雅玲,张力文,等.水稻秸秆生物炭对3种土壤水溶态Cd动态变化的影响[J].福建农业学报,2021,36(2):228-235.
- [6] 孙树臣,赵鑫,翟胜,等.生物质炭施用对土壤水分影响的研究进展[J].灌溉排水学报,2020,39(11):112-119.
- [7] 王娟,陈安全,宋文瑾,等.生物炭种类与施量对新复垦区土壤水分入渗过程的影响[J].农业机械学报,2022,53(11):388-394.
- [8] 代镇,李伟,韩娟,等.生物炭对壤土持水能力的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(6):265-273.
- [9] 曾凤铃,邹玉霞,张卫华,等.生物炭用量与粒径对紫色土水分入渗及再分布特征的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(12):136-144.
- [10] 陈卫金,程东会,陶伟. van Genuchten 模型参数的物理意义[J].水文地质工程地质,2017,44(6):147-153.
- [11] 魏永霞,王鹤,吴昱,等.生物炭对不同坡度坡耕地土壤水动力学参数的影响[J].农业机械学报,2019,50(3):231-240.
- [12] WANG L W, O'CONNOR D, RINKLEBE J, et al. Biochar aging: Mechanisms, physicochemical changes, assessment, and implications for field applications[J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(23): 14797-14814.
- [13] BLANCO-CANQUI H. Biochar and soil physical properties[J]. Soil Science Society of America Journal, 2017, 81(4): 687-711.
- [14] CHEN C, WANG R Q, SHANG J Y, et al. Effect of biochar application on hydraulic properties of sandy soil under dry and wet conditions[J]. Vadose Zone Journal, 2018, 17(1): 1-8.
- [15] 孙梟沁,房凯,费远航,等.施加生物质炭对盐渍土壤结构和水力特性的影响[J].农业机械学报,2019,50(2):242-249.
- [16] 王娟,黄成真,冯绍元,等.生物炭对滨海滩涂区土壤理化特性的影响[J].灌溉排水学报,2022,41(10):125-130,138.

Effects of Biochar on Water Movement in Coastal Saline-alkali Soil

CHEN Xilin, CAI Qinyang, GAO Hongbei*, SHAN Shengdao

(Key Laboratory of Waste Biomass Recycling and Ecological Treatment Technology of Zhejiang Province, School of Environment and Resources, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: 【Objective】 Investigating the influence mechanism of biochar application rate on the hydraulic characteristics of coastal saline-alkali soil. 【Method】 By conducting indoor simulation infiltration experiments, the effects of different biochar application rates (mass fractions of 0%, 0.3%, 0.5%, 0.8%, 1.0%, 3.0%, 5.0%, 8.0%) on the water infiltration and water-holding capacity of typical coastal saline-alkali soil were studied. 【Result】 The infiltration rate and saturated hydraulic conductivity of the tested soil increased first and then decreased with the increase of biochar addition. <1.0% biochar application rate facilitated soil water infiltration, while >1.0% biochar application rate constrained the hydraulic conductivity of the tested soil. The 1.0% biochar application rate represented a significant turning point affecting soil water infiltration and conductivity. Biochar application significantly enhanced the water-holding capacity of the coastal saline-alkali soil, and it increased with the biochar content. However, excessive biochar application rate reduced soil permeability, which was not conducive to improving the hydraulic conductivity of coastal soil. 【Conclusion】 As a conditioner, biochar will achieve better remediation results when added to coastal saline-alkali soils at an application rate of 0.8%-1.0%.

Key words: biochar; coastal saline-alkali land; soil water infiltration; saturated hydraulic conductivity; soil water characteristic curve

责任编辑:白芳芳