

不同酸化生物炭用量对滴灌棉田盐碱土水盐运移的影响

王则玉, 马兴旺*, 李 杨, 蒲胜海, 马红红, 刘小利
(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 【目的】研究不同酸化生物炭用量对滴灌棉田盐碱土水盐运移的影响, 确定改良棉田盐碱土的最佳木醋液酸化生物炭用量。【方法】基于一维土柱模拟试验, 分别设置 1%、2%、3%、4% 和 5% 五个不同质量木醋液酸化生物炭处理(木醋液与生物炭质量比为 2:1), 以空白处理作为对照 CK₁, 以添加 2% 未酸化生物炭处理作为对照 CK₂, 分析不同处理滴灌后湿润峰垂直运移距离、土壤 pH 值、含盐量、土壤碱化度和脱盐率的分布特征。【结果】添加酸化生物炭处理的土壤湿润峰垂直运移距离和下渗速度均显著高于 CK₂ 和 CK₁; 添加酸化生物炭处理下的各层土壤 pH 值均显著低于 CK₂ 和 CK₁, 且施用量越多 pH 值降幅越大; 随着酸化生物炭施用量的增加, 各土层土壤碱化度呈先降低后升高的变化趋势, 2% 酸化生物炭处理下的土壤碱化度降幅最大; 添加未酸化生物炭和酸化生物炭处理的 0~50 cm 各层土壤脱盐率均有所增加, 2% 酸化生物炭处理下的整体脱盐效果最好。【结论】添加酸化生物炭对盐碱土的改良效果优于添加未酸化生物炭, 以 2% 酸化生物炭用量下的效果最优。

关 键 词: 木醋液; 生物炭; 盐碱土改良; 盐分垂直分布

中图分类号: S156.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2023431

OSID:



王则玉, 马兴旺, 李杨, 等. 不同酸化生物炭用量对滴灌棉田盐碱土水盐运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(3): 33-38.
WANG Zeyu, MA Xingwang, LI Yang, et al. Effects of acidified biochar amendment on water and salt movement in saline-alkali soil in drip-irrigated cotton field[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(3): 33-38.

0 引 言

【研究意义】新疆虽有较大的耕地面积, 但盐碱化土地面积比例高达 49.9%, 中重度盐渍化土地面积比例高达 24.15%, 土壤盐渍化严重影响作物生长发育, 降低了新疆农业生产力, 制约着新疆农业可持续发展^[1]。因此, 在耕地资源有限的条件下对可耕盐碱地进行土壤改良, 对于提高新疆粮食安全具有重要意义。【研究进展】在现有土壤盐碱改良的诸多方法中, 传统轮作改良^[2]、水利工程改良^[3]和化学改良^[4]均有一定弊端, 而化学改良方法因操作方便、见效快等优点已在农业生产中得到广泛应用。生物炭是一种用于改良盐碱土的见效快、使用方便的新材料^[5]。生物炭和木醋液是农业废弃物在高温缺氧条件下获得的 2 种不同产物, 二者分别呈碱性和酸性。由于生物炭具有多孔隙和大比表面积等优点, 被认为是改良盐渍化土壤的最适宜材料。研究表明, 生物炭施入土壤后能

够有效改善土壤理化性质、提高土壤持水和保水能力、增加离子交换量、缩短盐分洗脱时间、提高盐分洗脱效率、降低盐渍胁迫对微生物的不利影响, 减轻甚至消除植物盐胁迫, 促进种子萌发和植株生长^[6-8]。木醋液含有多种有机物质, 施入土壤后能增加土壤有机质量, 降低土壤含盐量、pH 值和碱化度, 改善土壤微环境, 提高土壤养分利用率, 具有促进种子萌发和幼苗生长, 提高作物产量和质量等作用^[9-10]。鲁新蕊等^[11]研究发现, 酸化改性处理后的生物炭表面含氧官能团数量、孔隙结构、比表面积和离子吸附能力均明显增加。胡春花等^[12]研究发现, 施用酸化木醋液可明显降低土壤含盐量, 改良土壤结构, 改善土壤通气性和透水性, 提高土壤有机质量和速效磷量。【切入点】以往关于酸化生物炭的施用方法多是在作物生育期内随水滴灌施入土壤或进行叶面喷施。为解决因土壤水分亏缺引起的种子萌发困难, 部分研究提出了“干播湿出”新型播种方式, 将酸化生物炭作为基肥施用可提前改善土壤盐渍化程度, 进而解决因土壤盐胁迫造成的出苗率低等问题。目前, 不同酸化生物炭用量对滴灌棉田盐碱土水盐运移的影响规律尚不明确。

【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究基于一维土柱模拟试验, 通过设置不同质量木醋液酸化生物炭处理, 分析了不同处理滴灌后湿润峰垂直运移距离、土壤 pH 值、含盐量、土壤碱化度和脱盐率的分布特征, 明确基施酸化生物炭后土壤水盐的运移规律, 为盐碱

收稿日期: 2023-09-13 修回日期: 2023-12-11

基金项目: 农业科技创新稳定支持项目(xjnkylwdzc-2023005-3); 自治区公益性科研院所基本科研业务经费(KY2021120); 自治区区域协同创新专项(科技援疆计划)项目(2022E02076); 国家重点研发计划(2021YFD1900803)

作者简介: 王则玉(1986-), 男, 新疆精河县人。副研究员, 硕士, 主要从事节水灌溉及土壤盐碱改良研究。E-mail: 45144490@qq.com

通信作者: 马兴旺(1970-), 男, 宁夏隆德县人。研究员, 博士, 主要从事面源污染防治、水肥高效利用方面研究。E-mail: maxw@xaas.ac.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

地改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2022 年春耕前在石河子炮台试验站进行。供试土壤取自石河子 121 团六连棉田 (85°59'E, 44°83'N)。采集棉田 0~30 cm 土层土壤, 采集后置于阴凉处风干、碾碎后过 2 mm 筛, 去除土壤石子等杂质, 采用筛分法及比重计法测定土壤粉粒、砂粒和黏粒比例, 分别为 36%、56.92% 和 7.08%, 根据国际制土壤分类法确定供试土壤为砂壤土, 土壤总含盐量为 2.34 g/kg (占干土质量), 土壤盐碱类型为氯化物

-硫酸盐盐渍化土壤, 碱化度为 33.46%, 属于强碱性土壤, 土壤基本理化性质见表 1。

生物炭和木醋液采自石河子 121 团的棉花秸秆, 秸秆风干后经过热解蒸馏釜制得原混合木醋液, 后经过滤得到试验用木醋液, 制取过程中同时得到试验用生物炭。生物炭与木醋液的理化性质见表 2 和表 3。

改性酸化生物炭: 生物炭 (B) 经研磨过 0.15 mm 筛后与制得的试验用木醋液 (P) 以 1:2 的比例混合制成改性酸化生物炭 (BP), 于 200 r/min 振荡 2 h 后浸泡 48 h 进行酸化处理, 过滤后在 60 °C 条件下干燥备用。

表 1 土壤基本理化性质

Tab.1 Physical and chemical properties of soil

体积质量/ (g cm ⁻³)	pH 值	K ⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	Ca ²⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	Na ⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	Mg ²⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ 量/ (g kg ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ 量/ (g kg ⁻¹)	Cl ⁻ 量/ (g kg ⁻¹)	交换性钠量/ (cmol kg ⁻¹)	阳离子交换量/ (cmol kg ⁻¹)
1.37	8.08	0.03	1.006 6	4.73	0.482 4	9.145 7	0.295 9	4.876 5	5.7	17.02

表 2 生物炭基本理化性质

Tab.2 Physicochemical properties of biochar

体积质量/ (g cm ⁻³)	田间持水率/ %	电导率/ (ms cm ⁻¹)	有机碳量/ (g kg ⁻¹)	总氮量/ (g kg ⁻¹)	总磷量/ (g kg ⁻¹)	K ⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	Ca ²⁺ 量/ (g kg ⁻¹)	Mg ²⁺ 量/ (g kg ⁻¹)
0.53	-	0.71	543.2	23.87	11.22	20.08	18.74	4.05

表 3 木醋液基本理化性质

Tab.3 Physicochemical properties of wood vinegar

pH 值	密度/(kg L ⁻¹)	焦油量/%	折光率/%	含水率/%	颜色
4.81	0.980	8.17	1.50	83.21	微黄绿色、略浑浊

1.2 试验设计

基于一维土柱模拟试验, 分别设置 1%、2%、3%、4% 和 5% 五种不同质量木醋液酸化生物炭处理, 分别标记为 BP1、BP2、BP3、BP4 和 BP5, 以空白处理作为对照 CK₁, 以添加 2% 未酸化生物炭处理作为对照 CK₂, 每个处理重复 3 次, 分析不同处理滴灌后土壤湿润峰垂直运移距离、土壤 pH 值、含盐量、土壤碱化度和脱盐率的分布特征。土柱为内径 15 cm、高 70 cm 的圆柱形透明 PVC 硬管, 底部采用直径 2 mm 孔的 PVC 板密封。土柱填装土壤为田间 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 和 60~70 cm 土层的土壤, 土壤经自然晾干去除碎石后过 5 mm 筛, 按田间土层顺序依次装入土柱。所有土柱并列放置在铺有粒径约 3 mm, 厚度为 2 cm 的石英砂平整地面上。采用医用输液器以 0.3 L/h 流速将去离子水连续滴入土柱中, 直至所有处理的湿润峰不再变化时结束灌水, 总灌水量为 23.25 L。灌水结束后用地膜覆盖 PVC 管上口 (模拟田间覆膜状态), 于 10 d 后用土钻取各层土壤测定 pH 值和盐分量。考虑犁地的最大深度小于 40 cm, 因此将不同处理所需的未酸化生物炭或酸化生物炭材料分别与 0~40 cm 土壤混合均匀, 然后再装入 PVC 管 0~40 cm 内, 测得混合后 CK₁、CK₂、

BP₁、BP₂、BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理 0~40 cm 土壤体积质量分别为 1.37、1.33、1.35、1.33、1.31、1.30 g/cm³ 和 1.28 g/cm³。

1.3 测定项目和方法

湿润锋垂直运移距离: 用卷尺测量透明 PVC 管内湿润锋垂直运移距离, 同时记录入渗时间。

土壤 pH 值: 灌溉前后分别用土钻钻取 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm 和 60~70 cm 土壤并风干碾压, 每层称 2 份 10 g 土壤并过 2 mm 筛, 放入 50 ml 容积的烧杯中, 一份加入蒸馏水, 另一份加入 25 ml/mol KCl 溶液, 搅拌摇匀 30 min, 静置 30 min 后使用 PHS-3C 酸度计测定 pH 值。

离子组成: 将钻取的各层土壤风干后过 1 mm 筛, 取 10 g 土样与 50 g 蒸馏水混合制取浸提液。按照《土壤农业化学分析方法》^[13] 分别测定 K⁺、Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、CO₃²⁻、SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 共 8 种离子, 重复测定 3 次, 总含盐量为 8 种离子量之和。土壤碱化度和脱盐率计算式如下:

$$ESP(\%) = \frac{Na^+量}{CEC} \times 100\%, \quad (1)$$

式中: ESP 为不同土层土壤碱化度 (%); Na⁺ 量为土壤胶体上吸附的交换性钠量 (cmol/kg); CEC 为土壤阳离子交换量 (cmol/kg)。

$$N(\%) = \frac{(S_1 - S_2)}{S_1} \times 100\%, \quad (2)$$
式中：N 为不同土层脱盐率（%）；S₁ 为试验前各层土壤含盐量（g/kg）；S₂ 为试验后土壤含盐量（g/kg）。

1.4 数据处理

使用 Excel 2019 和 SPSS 25.0 软件进行数据分析，采用 Duncan 新复极差法（P<0.05）比较处理间的差异显著性，使用 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 酸化生物炭用量对湿润锋垂直运移距离的影响

由图 1 可知，添加未酸化生物炭和酸化生物炭后的土壤湿润锋垂直运移距离和入渗速度（曲线斜率）均显著增加，不同处理湿润锋垂直运移距离和入渗速度随酸化生物炭用量的增大而增加。当湿润锋到达 40 cm 深度时，CK₂ 用时较 CK₁ 缩短 6.25%，而 BP₁、BP₂、BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理用时分别较 CK₁ 缩短 8.44%、37.50%、47.81%、50.63%和 53.13%。

2.2 酸化生物炭用量对土壤含盐量垂直分布的影响

如表 4 所示，淋溶作用使上层土壤中的盐分向下层迁移，灌溉后各处理不同土层土壤含盐量自上而下依次增多。CK₁ 下的 0~60 cm 土层土壤含盐量均低于初始值（21.50 g/kg），60~70 cm 土层含盐量高于初始

值。CK₂ 下的 0~60 cm 各层土壤含盐量较 CK₁ 降低，60~70 cm 土层土壤含盐量较 CK₁ 增加，而 BP₁ 处理和 BP₂ 处理 0~70 cm 各层土壤含盐量均低于 CK₁ 和 CK₂，BP₂ 处理下的降幅最显著。BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理下的各层土壤含盐量较 CK₁ 和 CK₂ 增加，且 50~60 cm 和 60~70 cm 土层增幅较大（20.14%~83.06%）。

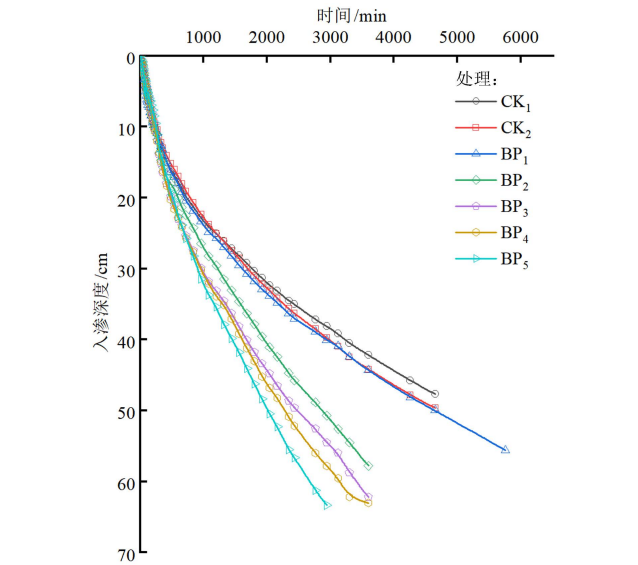


图 1 不同处理湿润锋垂直运移距离
Fig.1 Vertical migration distance of wetting front under different treatment

表 4 不同处理土壤含盐量垂直分布

处理	不同土层的土壤含盐量/(g kg ⁻¹)						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	60~70 cm
CK ₁	15.96±0.33 b	16.98±0.77 b	16.65±0.47 b	18.72±0.06 b	19.97±0.60 b	20.16±0.76 d	25.44±0.73 d
CK ₂	14.05±0.37b	15.79±0.59 b	16.41±0.47 b	17.52±1.00 c	19.25±0.34 c	20.01±0.42 d	37.59±0.11 c
BP ₁	14.97±0.32 b	16.40±0.21 b	16.77±0.36 b	18.48±0.30 c	19.35±0.45 c	20.11±0.64 d	25.17±0.74 d
BP ₂	14.55±0.43 b	16.24±0.10 b	16.29±0.31 b	18.00±0.30 c	18.98±0.16 d	19.89±0.96 d	24.78±0.34 d
BP ₃	16.88±0.48 a	17.47±0.32 a	17.58±0.83 a	18.60±0.43 b	20.12±0.07 b	24.22±0.54 c	36.89±0.64 c
BP ₄	16.88±0.61 a	18.03±0.47 a	18.97±0.78 a	19.86±0.56 a	22.27±0.31 a	28.44±0.76 b	42.19±0.96 b
BP ₅	16.58±0.35 a	18.06±0.61 a	18.20±0.39 a	19.17±0.48 b	22.38±0.49 a	30.89±1.06 a	46.57±1.20 a

注 不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著（P<0.05），下同。

2.3 酸化生物炭用量对土壤 pH 值的影响

如表 5 所示，淋溶作用使各处理土壤 pH 值自上而下依次升高，CK₁ 和 CK₂ 下的 0~50 cm 各层土壤 pH 值降至初始值（8.34）以下。由于生物炭呈碱性，添加 2%未酸化生物炭后（CK₂）不同土层土壤 pH 值均显著高于 CK₁，自上而下依次较 CK₁ 高 1.26%、

2.14%、1.75%、0.62%、0.85%、0.475%和 1.64%。添加酸化生物炭各处理不同土层土壤 pH 值均显著低于 CK₁，且随酸化生物炭用量递增呈下降趋势，除 BP₁、BP₂ 处理和 BP₃ 处理下的 60~70 cm 土层土壤 pH 值高于初始值外，其余各层均显著低于初始值。

表 5 不同处理土壤 pH 值垂直分布

处理	不同土层的土壤 pH 值						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	60~70 cm
CK ₁	7.95±0.11 b	7.95±0.07 b	8.00±0.06 b	8.12±0.08 b	8.23±0.09 b	8.43±0.16 b	8.54±0.06 b
CK ₂	8.05±0.06 a	8.12±0.01 a	8.14±0.12 a	8.17±0.07 a	8.30±0.05 a	8.47±0.18 a	8.68±0.08 a
BP ₁	7.92±0.02 b	7.92±0.04 b	7.95±0.04 b	8.06±0.05 c	8.14±0.14 c	8.32±0.03 c	8.46±0.11 b
BP ₂	7.89±0.01 b	7.91±0.01 b	7.91±0.04 c	7.99±0.07 d	8.08±0.04 d	8.27±0.15 c	8.44±0.22 b
BP ₃	7.88±0.02 b	7.88±0.07 bc	7.90±0.04 c	7.93±0.05 d	8.07±0.02 d	8.21±0.04 d	8.38±0.12 c
BP ₄	7.82±0.04 bc	7.85±0.11 c	7.84±0.04 d	7.89±0.12 d	8.03±0.11 d	8.01±0.07 e	8.09±0.09 d
BP ₅	7.79±0.04 c	7.83±0.08 c	7.80±0.07 d	7.81±0.06 e	7.94±0.09 e	7.97±0.06 e	8.04±0.07 d

2.4 酸化生物炭用量对土壤碱化度垂直分布的影响

如表 6 所示,各处理不同土层土壤碱化度经淋溶作用后显著降低,且随土层深度呈递增趋势。灌水后 CK₁ 下的 0~60 cm 土层土壤碱化度低于初始值 (33.45%), 60~70 cm 土层土壤碱化度高于初始值。添加未酸化生物炭和酸化生物炭后 0~70 cm 土层土

壤碱化度显著降低,低于 CK₁。BP₁ 处理和 BP₂ 处理各层土壤碱化度的下降幅度均高于 CK₂ 各层土壤碱化度下降幅度,但 BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理下的各层土壤碱化度均高于 CK₂。随酸化生物炭用量的增加,各层土壤碱化度呈先降低后升高的变化趋势,且 BP₂ 处理各层土壤碱化度下降最显著。

表 6 不同处理土壤碱化度垂直分布

Tab.6 Vertical distribution of soil alkalinity degree under different treatments

处理	不同土层深度土壤碱化度/%						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	60~70 cm
CK ₁	4.05±0.42 a	6.45±0.64 a	9.41±1.05 a	14.28±0.82 d	20.14±1.61 c	32.16±2.73 a	39.80±0.78 a
CK ₂	2.94±0.24 b	3.13±0.25 e	6.17±0.49 c	10.64±1.49 c	16.59±1.65 b	22.40±1.79 c	32.23±2.58 c
BP ₁	3.03±0.24 b	3.89±0.31 c	6.43±0.51 b	10.81±0.86 c	16.98±1.36 de	22.88±1.83 c	30.22±2.26 d
BP ₂	2.42±0.20 c	2.76±0.22 f	3.78±0.30 f	8.38±0.67 e	15.46±1.24 e	20.27±1.62 d	28.78±2.30 d
BP ₃	2.49±0.20 c	3.53±0.28 d	3.94±0.32 f	11.07±0.94 bc	17.73±1.42 d	25.62±2.05 b	33.35±2.91 b
BP ₄	2.51±0.24 c	3.95±0.24 c	4.40±0.35 e	11.27±0.90 b	20.49±1.64 b	25.86±2.07 b	33.86±2.71 b
BP ₅	2.53±0.20 c	4.51±0.20 b	4.98±0.40 d	11.80±0.94 a	21.96±1.76 a	25.73±1.82 b	32.15±1.69 d

2.5 酸化生物炭用量对土壤脱盐效果的影响

如表 7 所示,灌水后 CK₁、CK₂、BP₁ 处理和 BP₂ 处理下的 0~60 cm 各层土壤表现为脱盐, 60~70 cm 土层土壤表现为积盐。BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理 0~50 cm 各层土壤表现为脱盐,脱盐率均显著高于 CK₁, 60~70 cm 土层土壤表现为积盐,但积盐率显著低于 CK₁。CK₂ 除 40~50 cm 土层土壤脱盐率与 CK₁ 无显著差异外,其它各层均显著高于 CK₁。50~60 cm 土

层除 BP₁ 处理和 BP₂ 处理脱盐率高于 CK₁ 外, BP₃、BP₄ 处理和 BP₅ 处理均表现为积盐,且 BP₄ 处理和 BP₅ 处理积盐率显著高于 CK₁。同一土层土壤脱盐率随酸化生物炭用量的增加呈先增后降的变化趋势,积盐率呈先降后增的变化趋势。BP₂ 脱盐效果最好,各层土壤脱盐率较 CK₁ 自上而下依次提高 19.73%、29.08%、36.54%、71.28%、67.75%、114.57%和 53.09%。

表 7 不同处理土壤盐分脱盐效果

Tab.7 Desalting effect of soil salt under different treatments

处理	脱盐率/%						
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	50~60 cm	60~70 cm
CK ₁	30.67±1.49 c	24.07±0.95 d	22.36±1.69 d	15.67±0.29 d	10.42±2.09 c	3.57±2.98 c	-16.52±3.43 b
CK ₂	32.61±1.46 b	28.01±3.46 bc	25.00±2.11bc	19.07±1.40 c	10.03±2.69 c	9.20±3.43 a	-7.92±3.29 a
BP ₁	29.99±1.70 c	26.54±2.73 c	22.45±2.20 d	18.50±4.66 c	10.45±1.58 c	6.90±1.94 b	-8.85±0.52 a
BP ₂	36.72±1.32 a	31.07±2.33 a	30.53±1.49 a	26.84±1.82 a	17.48±0.71 a	7.66±4.19 b	-7.75±1.47 a
BP ₃	32.39±1.86 b	29.40±0.45 b	29.18±1.34 a	21.74±2.56 b	15.11±0.29 b	-2.17±2.27 d	-55.67±2.70 c
BP ₄	30.79±2.03 c	26.28±1.35 c	25.80±1.62 bc	21.51±1.81 b	14.59±1.88 b	-13.31±3.02 e	-68.11±3.81 d
BP ₅	32.76±2.44 b	28.16±1.86 b	24.42±3.13 c	20.88±2.25 bc	11.25±1.25 c	-17.92±4.05 f	-115.91±4.58 e

3 讨论

生物炭呈碱性,具有大比表面积、改善土壤孔隙度和提高土壤有机质量等作用;木醋液呈酸性,可以显著降低盐碱土的 pH 值,促进盐离子淋溶^[14],还能与土壤胶体反应与土壤中盐离子形成络合物或螯合物,二者复配施用于碱化度较高的盐碱土,能有效改善土壤的理化性质,提高土壤有机物质量,为作物生长提供适宜的环境^[15]。刘国欢^[16]研究表明,添加生物炭和酸化生物炭后,土壤湿润峰垂直距离和入渗速度较对照均显著增加,但添加酸化生物炭处理低于添加未酸化生物炭处理。这是由于生物炭的特殊孔隙度能够使土壤透水、透气的特性得到明显改善,缓解了由于土壤高钠离子量导致的土壤黏粒溶胀和分散,使土壤孔隙率和土壤团聚体量增加,从而增加了土壤渗透

性。木醋液对水分的扩散具有一定的阻碍作用,且稀释倍数越小水分越集中,从而减少水分流失^[17]。本试验中,添加 2%未酸化生物炭和酸化生物炭后土壤湿润峰垂直距离和入渗速度均显著高于 CK₁,且酸化生物炭处理高于未酸化生物炭处理,这可能是随着灌溉量的增加,土壤中生物炭和酸化生物炭浓度逐渐被稀释的原因。土壤 pH 值是制约作物生长和土壤微生物活性的重要指标,也是衡量土壤养分和离子浓度的标准,而酸化生物炭可吸附大量 H⁺以及有机酸分子,中和盐碱土壤,降低土壤 pH 值。本试验中,由于水的淋溶作用使上层土壤盐分向下层转移,增加了下层土壤 pH 值,当加入呈强碱性的生物炭后,各土层 pH 值升高,而添加酸化生物炭后各层 pH 值降低,并且酸化生物炭用量越多, pH 值下降越大,这与李忠徽等^[18]研究结果一致。

陈帅等^[19]研究表明, 经过淋洗后, 0~40 cm 土层表现为脱盐, 60~100 cm 土层表现为积盐, 且表层的脱盐效果最好, 0~10 cm 土层的脱盐率均在 45%以上, 这说明土壤盐分随土壤水分入渗而向深层迁移, 本试验也得出相同的结果。添加 2%酸化生物炭处理下的各层土壤含盐量降低幅度大于添加 2%未酸化生物炭处理, 这可能是因为酸化改性后的生物炭较未酸化的生物炭具有更丰富的含氧官能团, 比表面更大, 吸附位点更多, 降盐效果更好^[20]。王凡^[21]研究表明, 木醋液为 300 L/hm² 条件下, 生物炭施用量由 15 t/hm² 增加到 45 t/hm² 时, 根系层土壤盐分先降低后增加, 随着生物炭用量不断增加, 盐分淋洗效果先增大后减小; 当生物炭用量为 15 t/hm², 添加木醋液后 0~40 cm 土层脱盐率增加, 40~80 cm 土层土壤积盐率增加, 这与本试验结果相同。这一方面与 CaCO₃ 沉淀与溶解平衡有关, 另一方面也与土壤离子吸附与交换平衡有关^[22], 当 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 随淋溶液排出后, 为了保持土壤中的电荷平衡, 土壤碳酸盐分解产生 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻, 之后随着淋溶作用又减少^[23]。覆膜条件阻断了大气与土壤的直接联系, 削弱土壤表面的蒸发强度, 减弱表土返盐, 但同时要考虑土壤 pH 值、生物炭和木醋液制备原料, 以及酸化木醋液施用时期和灌溉次数的影响, 这有待进一步研究^[24]。

4 结 论

1) 施用木醋液酸化生物炭后, 土壤水分垂直入渗距离和入渗速度高于未酸化生物炭施用处理。

2) 施用木醋液酸化生物炭能够显著降低各层土壤 pH 值, 且用量越大, pH 值降幅越大。

3) 生物炭和木醋液酸化生物炭均能促进淋溶作用, 使上层土壤盐离子向下层迁移。

4) 2%木醋液酸化生物炭用量能显著降低各层土壤碱化度, 脱盐效果最好。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 乔建明, 王洪军, 李举文, 等. 土壤盐碱地现状、改良利用及盐碱治理在新疆农业发展中的意义[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(10): 54-56.
- [2] 龙卫国. 不同轮作作物对设施菜地次生盐渍化土壤改良效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [3] LONG Weiguo. Effects of different crop rotation on remediation of secondary-salinization soil under greenhouse[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [4] 刘云, 孙书洪. 不同改良方法对滨海盐碱地修复效果的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(S1): 248-250, 272.
- [5] LIU Yun, SUN Shuhong. Effects of ameliorative measures on physicochemical properties of saline soil in coastal areas[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(S1): 248-250, 272.
- [6] 周客. 不同改良剂对盐碱土入渗特性和水盐分布的影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.
- [7] ZHOU Ke. Effects of different improver on infiltration characteristics and distribution of water and salt in saline-alkali soil[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2021.
- [8] 王钰婷, 田广丽, 田雨雨, 等. 生物质炭添加量对盐碱土壤特性及棉花苗期生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(1): 72-79.
- [9] WANG Yuting, TIAN Guangli, TIAN Yuyu, et al. Optimizing biochar amendment to improve soil property and cotton seedling growth in saline soils[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(1): 72-79.
- [10] 李江舟, 代快, 张立猛, 等. 施用生物炭对云南烟区红壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J]. 环境科学学报, 2016, 36(6): 2 114-2 120.
- [11] LI Jiangzhou, DAI Kuai, ZHANG Limeng, et al. Effects of biochar application on soil organic carbon distribution and soil aggregate composition of red soils in Yunnan tobacco planting area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(6): 2 114-2 120.
- [12] 岳燕, 林启美, 郭维娜, 等. 不同土层加入生物质炭对盐分淋洗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 62-67.
- [13] YUE Yan, LIN Qimei, GUO Weina, et al. Effect of biochar on salt leaching in different soil layers[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(3): 62-67.
- [14] 王世斌, 高佩玲, 相龙康, 等. 生物炭、河沙对盐碱土水盐、氮素及玉米产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(9): 17-23.
- [15] WANG Shibin, GAO Peiling, XIANG Longkang, et al. Amending saline-alkali soils with biochar or fluvial sand to improve bioavailable nitrogen and yield of summer maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(9): 17-23.
- [16] 刘长风, 李敏, 高品一, 等. 木醋液的来源、成分及其应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(1): 28-32.
- [17] LIU Changfeng, LI Min, GAO Pinyi, et al. Research progress of source, chemical compositions and application of wood vinegar[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(1): 28-32.
- [18] 张航, 彭冬梅, 伍恒, 等. 木醋液对盐碱土壤及其地表植被作用的影响研究[J]. 塔里木大学学报, 2018, 30(3): 70-76.
- [19] ZHANG Hang, PENG Dongmei, WU Heng, et al. Effect of wood vinegar on saline-alkali soil and surface vegetation[J]. Journal of Tarim University, 2018, 30(3): 70-76.
- [20] 鲁新蕊, 陈国双, 李秀军. 酸化生物炭改良苏打盐碱土的效应[J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(4): 462-466.
- [21] LU Xinrui, CHEN Guoshuang, LI Xiujun. Experimental effects of acidified biochar on saline-sodic[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2017, 48(4): 462-466.
- [22] 胡春花, 达布希拉图. 木醋液和炭醋肥对设施蔬菜土壤肥力及蔬菜产量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(10): 218-223.
- [23] HU Chunhua, Dabuxilatu. Effect of pyroligneous acid and the mixture with charcoal on soil fertility and crop yields under protected cultivation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(10): 218-223.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [25] 郭祥林, 高佩玲, 吴畏, 等. 微咸水灌溉下不同生物炭对盐碱土水盐运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(8): 98-105.
- [26] GUO Xianglin, GAO Peiling, WU Wei, et al. Impact of biochar amendment and brackish water irrigation on water and salt movement in saline-alkaline soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(8): 98-105.
- [27] 王正, 孙兆军, SAMEH El-Sawy, 等. 苜蓿生物炭与木醋液复配改良碱化土壤效果及提高油葵产量[J]. 环境科学, 2021, 42(12): 6 078-6 090.
- [28] WANG Zheng, SUN Zhaojun, SAMEH El-Sawy, et al. Effects of *Enteromorpha prolifera* biochar and wood vinegar co-application on takyr solonetz improvement and yield of oil sunflower[J]. Environmental Science, 2021, 42(12): 6 078-6 090.

- [16] 刘国欢. 改性生物炭对盐碱地改良及冬小麦生长特征影响的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
LIU Guohuan. Effects of modified biochar on saline alkali soil improvement and growth characteristics of winter wheat[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [17] 姚荣江, 李红强, 杨劲松, 等. 滴灌下生物质改良材料对盐渍土水盐氮运移的调控效应[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 282-291.
YAO Rongjiang, LI Hongqiang, YANG Jinsong, et al. Regulation effect of biomass improved materials on migration of soil water, salt and nitrogen in salt-affected soil under drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 282-291.
- [18] 李忠徽, 王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 510-516.
LI Zhonghui, WANG Xudong. Effect of wood vinegar on soil properties and plant growth[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(2): 510-516.
- [19] 陈帅, 李彦, 杨钦博, 等. 木醋液对盐渍化土壤的改良研究[J]. 新疆环境保护, 2023, 45(1): 8-15.
CHEN Shuai, LI Yan, YANG Qinbo, et al. Study on the improvement of salinized soil by wood vinegar[J]. Environmental Protection of Xinjiang, 2023, 45(1): 8-15.
- [20] CHANG R H, SOHI S P, JING F Q, et al. A comparative study on biochar properties and Cd adsorption behavior under effects of ageing processes of leaching, acidification and oxidation[J]. Environmental Pollution, 2019, 254: 113-123.
- [21] 王凡. 生物炭与木醋液复配对盐渍化农田作物生长及水土环境影响试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
WANG Fan. Study on the influence of water and soil environment and crop growth of the salinized farmland treated by the biochar with wood vinegar[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018.
- [22] 李彬, 王志春, 梁正伟, 等. 吉林省大安市苏打碱土盐化与碱化的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 151-155.
LI Bin, WANG Zhichun, LIANG Zhengwei, et al. Relationship between salinization and alkalization of sodic soil in Da'an City[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2): 151-155.
- [23] 徐晓腾. 苏打盐碱地水田“淡化表层”土壤的物理、化学及生物学特征[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
XU Xiaoteng. Soil physical, chemical and biological properties of saline-alkali paddy field “surface dilution”[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011.
- [24] 高金芳, 董彦丽, 王彦武, 等. 覆膜滴灌盐碱土改良效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(8): 59-63.
GAO Jinfang, DONG Yanli, WANG Yanwu, et al. Improvement effect of film mulching drip irrigation on saline-alkali soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(8): 59-63.

Effects of acidified biochar amendment on water and salt movement in saline-alkali soil in drip-irrigated cotton field

WANG Zeyu, MA Xingwang*, LI Yang, PU Shenghai, MA Honghong, LIU Xiaoli

(Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: 【Objective】 Acidified biochar has been used as a soil conditioner to improve properties of saline-alkali soils. This paper presents the results of an experimental study on the effect of acidified biochar amendment on water and salt movement in saline-alkali soil. 【Method】 Infiltration experiment was conducted using columns repacked with saline-alkali soil taken from a cotton field to the depth of 40 cm. The soil was amended with acidified biochar at a ratio from 1% to 5%. Soils without biochar amendment (CK₁) and amended with 2% of non-acidified biochar (CK₂) were taken as the control. The movement of wetting front, changes in soil pH, soil salt content, soil alkalinity and soil desalination in each treatment were measured and analyzed. 【Result】 The pH value of the soil amended with acidified biochar was significantly lower than that of the soil in CK₁ and CK₂, with pH value decreasing with the increase in acidified biochar application. With acidified biochar application increasing, soil alkalinity decreased first followed by an increase, with soil alkalinity being the least when acidified biochar application ratio was 2%. Soil desalination in the 0-50 cm of soil layer and salt accumulation in the 50-70 cm of soil layer both increased with the increase in application of unacidified biochar and acidified biochar. Overall, soil desalination was the best in soil amended by 2% of acidified biochar. 【Conclusion】 Amending soils by acidified biochar was more effective to improve the properties of saline-alkali soil than amending with non-acidified biochar. Among all treatments we compared, amending the soil by 2% of acidified biochar was most effective in improving soil properties.

Key words: wood vinegar; biochar; improved alkalized soil; salinity vertical distribution

责任编辑: 韩 洋