

生物炭隔盐层在盐碱土淋洗改良中的应用效果

田飞¹, 张楚涵¹, 王国强^{1,2}, 张金龙¹, 张凯¹

(1.天津泰达盐碱地绿化研究中心有限公司,天津 300457;2.天津泰达园林规划设计院有限公司,天津 300457)

摘要:为探讨生物炭作为土壤隔盐层的作用效果,通过对比生物炭隔盐层和常规的砾石隔盐层室内淋洗的暗管流速、淋滤液电导率、土壤脱盐率及淋洗效率等指标,对生物炭作为隔盐层的作用效果进行了评价。结果表明:生物炭处理的暗管流速明显高于砾石处理,平均高出16.1%;淋滤液电导率0.83mS/cm为本研究的理论淋洗终点,2个处理均在第2次淋洗过程中到达理论淋洗终点,且生物炭处理比砾石处理到达理论淋洗终点时间缩短了13.3%;2个处理的土壤淋洗效率基本相同;生物炭隔盐层在抑制土壤返盐方面的作用要明显优于砾石隔盐层。综上,生物炭作为隔盐层在盐碱土淋洗改良中的作用效果要优于传统的砾石隔盐层,研究结果为生物炭隔盐层在盐碱地改良的工程应用提供了参考依据。

关键词:生物炭;隔盐层;淋洗;暗管流速;淋滤液电导率

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)02-0302-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.02.043

The Application Effects of Biochar Salt-isolation Layer in Aaline-alkali Soil Leaching Improvement

TIAN Fei¹, ZHANG Chuhan¹, WANG Guoqiang^{1,2}, ZHANG Jinlong¹, ZHANG Kai¹

(1.Tianjin TEDA Saline-alkaline Soil Greening Research Center Co., Ltd., Tianjin 300457;

2.Tianjin TEDA Garden Planning and Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300457)

Abstract: To investigate the effects of biochar as a salt-isolation layer in soil, the effect of biochar as a salt-isolation layer was evaluated by comparing the flow rate of subsurface pipe, the conductivity of leachate, the rate of soil desalination, and the efficiency of leaching of the biochar salt-isolation layer to the conventional gravel salt-isolation layer. The results showed that the flow rate of subsurface pipe of the biochar treatment was 16.1% higher than that of the gravel treatment. The leachate conductivity of 0.83 mS/cm could be treated as the theoretical end point of the leaching. Both treatments reached the theoretical end of leaching during the second leaching process, and the time consuming of the biochar treatment reached the theoretical end of leaching was 13.3% shorter than that of the gravel treatment. The soil leaching efficiency of the two treatments were almost the same. The soil resalinization preventing effect of the biochar salt-isolation layer was better than that of the gravel salt-isolation layer. To sum up, the application effects of the biochar salt-isolation layer were better than that of the traditional gravel layer. The research results provided a reference for the engineering application of the biochar salt-isolation layer in saline-alkali land improvement.

Keywords: biochar; salt-isolation layer; leaching; flow rate of subsurface pipe; leachate conductivity

盐碱地作为重要土地资源,其土壤的物理和化学性状不良是盐碱地植物生长发育的最大障碍。开展针对性的盐碱地改良研究对于保障粮食安全和保护生态环境具有重要意义。我国盐碱地面积大、分布广,有资料^[1]显示,我国盐碱化土地面积约为 2.26×10^7 hm²,其中滨海地区盐渍化土壤(含滨海盐田)面积达 3.05×10^6 hm²。近年来,沿海地区的吹填造陆工程使得盐碱地面积不断扩大,急需通过经济、有效

的原土改良措施来充分挖掘该类地区在农业生产、生态绿化等方面的潜能。国内外现有的盐碱地治理研究与工程项目多通过水利、物理、化学、生物等措施实现,并趋向形成工程—植物—微生物等技术为一体的综合治理体系^[2-3]。其中,隔盐层+暗管排盐是盐碱地治理中较为有效、常用的工程措施,通过对配套的新材料、新工艺的研发,不断完善技术体系,能够极大地推动盐碱地治理工作。

收稿日期:2019-09-17

资助项目:天津市自然科学基金青年项目(17JCQNJC08300);天津市科技计划重点项目(17YFZCSF01200)

第一作者:田飞(1990—),男,湖北麻城人,硕士研究生,工程师,主要从事土壤水盐运移研究。E-mail:1004479180@qq.com

通信作者:张楚涵(1986—),女,黑龙江鹤岗人,硕士研究生,高级工程师,主要从事生态修复研究。E-mail:419596794@qq.com

隔盐层技术主要利用土壤层次变化引起的水盐运动状况变化来实现。根据土壤水能量原理,水在层状结构土体中入渗时,无论夹层土壤质地较表层土壤粗或细,土壤夹层均会对下渗水流起阻水作用,使上层土体的储水能力增加,进而起到减渗作用^[4-8]。已经开展的盐碱地隔盐层研究^[9-11]显示,土壤隔盐层引起土隔层交界处的孔隙分布大小不均,影响到土层含水率、水力梯度和传导度,使土壤水分在土隔交界处的运动轨迹发生相应改变,进而影响盐碱地土壤水盐运动规律及盐碱地的淋洗和改良。

生物炭是有机物料在高温缺氧条件下裂解后的固态产物^[12],具有高含碳量、高孔隙度、强吸附性、高稳定性等特点^[13]。生物炭材料在国内外土壤改良、培肥、土壤污染修复、水污染修复、应对温室效应等领域均得到广泛深入的研究。生物炭材料一般为碱性,但受制备原材料的影响,有些也为酸性,如糠醛渣制备生物炭^[14]。生物炭一般含有较高的钙含量^[15],有助于盐碱土壤中 Na^+ 交换,促进土壤团聚结构的形成;生物炭材料自身的多孔性利于改良土壤结构,形成水力传导;低的表观密度使得其运输和施工较为便利。另外,生物炭自身的结构稳定性,使得其可以保持长久的作用效果。生物炭材料在盐碱地改良中具有一定的应用潜力。已有的生物炭在盐碱地改良方面的研究^[16-19]主要采用掺拌的方式,注重土壤理化性质、植物生长情况和土壤呼吸状况等。

生物炭材料以其良好的吸附、通透特性,通过掺拌、撒施可在盐碱地改良中表现出良好的作用,但作为土壤隔盐层的研究较少,几乎为空白。颗粒状生物炭在施工方面,与传统的砾石、石屑隔盐层相似,在施工技术层面不存在障碍,由于其材料轻质的特性,其施工更加灵活方便,大范围可进行机械施工,小范围亦可采用人工施工。单从材料成本来看,生物炭的价格高于传统的砾石隔盐层,但生物炭的制备是以农林废弃物为原料,是农林废弃物资源化利用的一种有效途径,在减少碳排放方面能够发挥巨大的生态效益^[20]。有学者^[21]指出,城市有机废弃物原料和高碳减排交易价格下的部分原料的生产成本为负,即生物炭的生产过程中除生物炭外的其他经济效益超过了生产过程的经济投入,对于这种情景下的生物炭价格从理论上讲可以足够的低;也有学者^[22]在考虑生物炭生态效益的前提下,直接在统计中将生物炭的价格定为 0 元/t,且随着生物炭制备技术的不断进步,生物炭生产的直接成本必将大大降低^[23]。隔盐层的选择对盐碱地治理成效影响较大,而现有常用的材料存在秸秆易分解腐烂、砂石材料运输与施工不便等问题,充分利用生物炭材料的多孔结构(强化排水)、轻

材质(便于施工)、高稳定性(作用长久)、强吸附性(强化盐分截留)等性质,对其作为土壤隔盐层的淋洗效果进行探究,以期为土壤淋洗改良提供更多的材料选择,为工程实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 天津市滨海新区原生盐土含盐量极高(平均含盐量 10‰以上),土壤导水率极低,为缩短试验周期,将风干后的原生盐土与砂性土(非盐土)过 2 mm 土壤筛后,按照 1:2 的质量比均匀混合,将混合土样作为试验土壤。经测定,试验土壤初始含盐量为 3.78 g/kg。

1.1.2 隔盐层材料 试验用的隔盐层材料有 2 种:一种是生物炭材料,粒径 2~4 mm,由椰壳在高温无氧状态下制作而成;另一种是砾石材料,粒径 2~4 mm,由河砂筛选得到。

1.1.3 试验装置 本研究主要试验装置为 50 cm×50 cm×65 cm 的敞口土槽,其中底部和一组相邻侧面为不锈钢钢板,另外一组侧面为钢化玻璃。在一组相对面上开直径 6 cm 的孔,用于放置排盐暗管(带孔波纹管),土槽底座为可移动式土槽支架,土槽设计示意图见图 1。

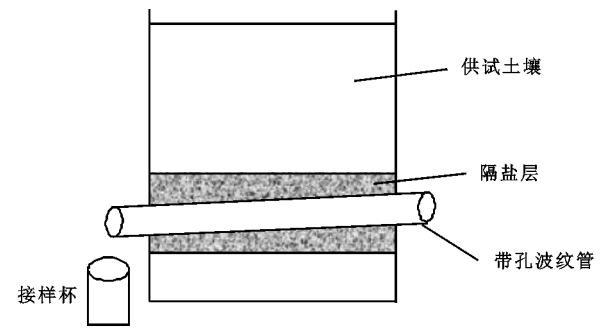


图 1 试验土槽设计示意

1.2 试验方案

本研究设置 2 个处理,分别为生物炭隔盐层和砾石隔盐层,2 个处理除隔盐层材料不同外,试验方法完全相同。试验前将供试土壤、隔盐层及暗管布设于土槽内,首先在底部装填厚度为 13 cm 的供试土壤,松散填装,容重为 1.31 g/cm³,将填入的土层整平后填入 2 cm 的隔盐层材料,再将暗管穿入,继续装填隔盐层材料至高度为 23 cm,将隔盐层上层整平后,继续装填供试盐土至 58 cm 高,将表层整平。对土槽开孔与暗管相接处进行清理,清理完成后用玻璃胶密封,防止试验过程中土槽内的溶液发生渗漏。

试验于 2019 年 4 月 15 日至 5 月 8 日进行,采用工程应用中广泛应用的多次淋洗方式进行,本研究分 3 次淋洗,试验过程中保证淋洗水头高度约为 1 cm,每次淋洗从暗管出口处出现淋滤液开始计时,并收集

淋滤液,每次接样时长为 60 s,接样开始时刻分别为 0,1,2,5,10,20,30,40,50,60,70,80 min,每次淋洗接样 12 个,淋洗结束后测定样品的电导率和体积。第 1 次淋洗(4 月 15 日)与第 2 次淋洗(4 月 16 日)间隔 1 天,第 2 次和第 3 次淋洗(4 月 23 日)间隔 7 天,第 3 次淋洗结束后的第 10 天(5 月 3 日)采集土槽内的土壤样品,按照在土槽的任意一条对角线上间隔均匀地选取 3 个点,每个点按照 10 cm 一层分 3 层采集隔盐层上方土体的土壤样品,将采集到的样品风干后测定土壤含盐量。

1.3 数据处理

土壤样品通过风干,按照 1:5 的土水比配制土壤溶液,用 DPS 2520 电导率仪测定土壤溶液的电导率,土壤含盐量由土壤溶液电导率按照转换公式计算而来,计算公式为:

$$C=\begin{cases} \frac{X-0.086}{3.022}\times 10\times 100\%,x\geqslant 0.3 \\ \frac{X}{3.022}\times 10\times 100\%,x<0.3 \end{cases} \quad (1)$$

式中: C 为土壤含盐量(g/kg); X 为土壤样品溶液电导率(mS/cm)。

文中暗管累计流量由淋洗时间与暗管流速进行估算,将接样时刻的流速作为此次接样与上次接样之间时段的平均流速,由此可得某一接样时刻暗管累计流量与暗管流速及时间的关系为:

$$V_i=\sum_{i=1}^n(t_i-t_{i-1})\times v_i \quad (2)$$

式中: V_i 为截止到第 i 次接样的暗管累计流量(mL); t_i 为第 i 次接样的时刻; t_{i-1} 为第 $i-1$ 次接样的时刻; v_i 为第 i 次接样的暗管流速(mL/min)。

2 结果与分析

2.1 不同隔盐层条件下各淋洗特征值间的相关性分析

将不同处理的淋滤液电导率与时间、暗管流速、暗管累计流量进行两两相关性分析(表 1)。从表 1 可以看出,无论是哪种隔盐层处理,淋滤液电导率均与时间及暗管累计流量呈现出在 0.01 水平上的显著相关性,生物炭处理和砾石处理的淋滤液电导率与时间的皮尔森相关系数分别为-0.905 和-0.915,二者与暗管累计流量的皮尔森相关系数分别为-0.898 和-0.914,可知 2 个处理的淋滤液电导率随时间及暗管累计流量的增大而减小,淋滤液的电导率主要由淋洗时间和暗管累计流量来决定。生物炭处理的淋滤液电导率与暗管流速在 0.01 水平呈现出显著相关性,但皮尔森相关系数仅为-0.562,砾石处理淋滤液电导率与暗管流速之间相关性不显著,这主要是因为

前期短暂的流速变化后,淋洗液在土壤中移动的速度很快到达稳定,整个淋洗过程中暗管流速的变化不大(图 2),基本上可以看做是匀速淋洗,因此在本试验中(特别是砾石处理),在分析淋滤液电导率与淋洗特征值(淋洗时间、暗管流速、暗管累计流量)的相关性时,暗管流速可以近似看做是一个常量。

总体来看,淋滤液电导率与淋洗时间及暗管累计流量之间均呈现出极显著的负相关关系,而暗管累计流量由淋洗时间及暗管流速计算而来。因此,在考虑淋滤液电导率与淋洗特征值的相关性方面,主要考虑淋滤液电导率与时间的相关关系。

表 1 不同处理条件下淋滤液电导率与淋洗特征值间的相关性分析

处理	淋洗时间	暗管流速	暗管累计流量
生物炭处理	-0.905 **	-0.562 **	-0.898 **
淋滤液电导率	0	0	0
砾石处理	-0.915 **	0.260	-0.914 **
淋滤液电导率	0	0.125	0

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关; $N=36$ 。

2.2 不同隔盐层材料对暗管淋滤液流速变化的影响

暗管(也称排盐管)作为暗管排盐系统中的核心装置之一,在土壤淋洗过程中主要承担淋滤液的收集和外排功能^[24],暗管淋滤液的流速表示土体内的水分进入到暗管中的速度,在一定程度上反映土壤淋洗脱盐状况。在砾石和生物炭 2 种不同隔盐层条件下,3 次淋洗过程中暗管淋滤液流速与淋洗时间的关系见图 2。从图 2 可以看出,3 次淋洗过程中生物炭处理的暗管流速均随淋洗时间的变化呈现相同的变化趋势,即暗管流速在开始的短时间内迅速增加,并在流速的峰值处保持稳定;而砾石处理 3 次淋洗的暗管流速整体变化趋势与生物炭处理相反,该处理的暗管流速在开始时处于最大值,随淋洗时间的增加迅速减小至流速最小值,而后小幅上升并迅速保持稳定,砾石隔盐层处理的这一先下降后上升的变化趋势在第 1 次淋洗过程中表现得最为明显。

通过对比不同隔盐层处理的稳定流速可知,3 次淋洗过程中,生物炭隔盐层处理的稳定流速均高于砾石隔盐层处理。将各处理达到稳定状态的所有流速值取平均值作为该处理的稳定流速,则生物炭处理 3 次淋洗的稳定流速依次为 4.33,4.80,4.67 mL/s;砾石处理 3 次淋洗的稳定流速依次为 3.95,3.90,4.05 mL/s,生物炭处理 3 次淋洗的稳定流速依次比砾石处理高 9.6%,23.3% 和 15.3%,平均高出 16.1%。说明生物炭作为隔盐层与传统的砾石隔盐层相比,能够提高土体的淋洗排水速率,从而缩短淋洗改良周期。

对于 2 种不同隔盐层材料在淋洗过程中表现出的淋滤液流速随淋洗时间变化趋势的差异,国内外还

未见到相关的研究,但依据 2 种材料的不同特点及前人的相关研究可作出初步分析:首先,生物炭颗粒本身具有较多微孔隙结构,能够吸附大量水分^[25],在生物炭颗粒内部空隙达到完全饱和之前,由于该结构产生的吸附力而使经过生物炭颗粒表面的液体速度减缓,使进入暗管的溶液速度减慢,随着生物炭颗粒内部空隙的逐渐饱和,生物炭颗粒的吸附力逐渐减小^[26],溶液进入暗管的速度加快,表现出淋洗初期暗管流速逐渐增大的情况;砾石颗粒对于水分的吸附力较差,作用力相对较弱,随着砾石表面被不断浸润,作用力逐渐减小^[27],从而呈现出淋洗初期变化趋势与生物炭隔盐层相反的结果。对于砾石隔盐层在淋洗初期暗管流速由大变小而后迅速增大的这一情况,有待进一步分析研究。

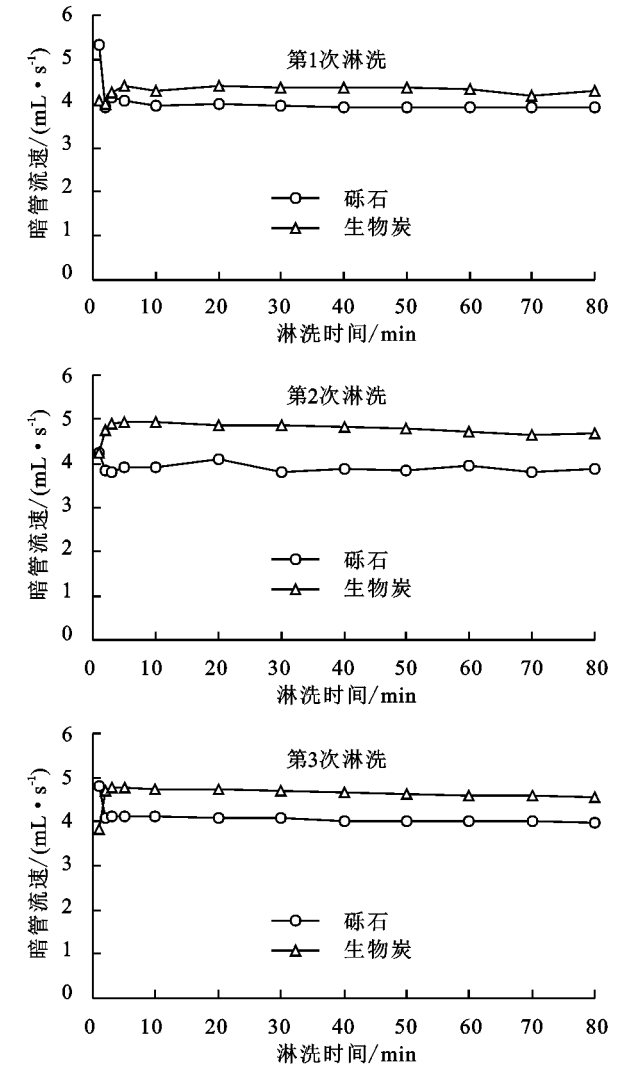


图 2 不同处理暗管流速变化情况

2.3 不同隔盐层材料对淋洗液电导率变化的影响

盐渍化土壤在淋洗过程中,土壤中的可溶性盐分大量溶解进入土壤水分,再随水进入暗管中排出土体,而溶液的电导率与溶液的可溶性盐含量呈正相关关系,即淋滤液电导率越高,溶液的含盐量越高^[28],

淋滤液电导率的大小可直接反映淋滤液盐分含量的高低,从而间接反映出土壤淋洗状况。有研究^[29-30]表明,当土壤饱和溶液含盐量为 3 g/L 时土壤含盐量约为 0.3%。因此,在淋滤液为饱和溶液(或可近似看做是饱和溶液)的前提下,有研究者将淋滤液含盐量达到 3 g/L 作为淋洗试验结束的控制指标^[31]。本研究的供试土壤通透性较好,淋洗过程中暗管流速较快,淋洗水与土壤接触时间有限,淋滤液含盐量与土壤饱和溶液有着较大差距,因此无法以淋滤液含盐量 3 g/L 作为淋洗终点。

由程镜润等^[32]的研究可知,盐碱土淋洗过程中,淋滤液电导率随着淋洗时间将逐渐趋于稳定,故而可将淋滤液电导率的稳定值作为淋洗的终点。由淋滤液电导率与淋洗特征值之间的关系可知,不同处理淋滤液电导率与淋洗时间之间均呈极显著负相关关系,为了更加合理地评价不同隔盐层处理的淋洗效果,将生物炭隔盐层和砾石隔盐层 2 个处理第 1 次淋洗的淋滤液电导率值取平均,与淋洗时间进行拟合(图 3),可知淋滤液电导率与淋洗时间呈指数关系,决定系数为 0.995 9,其指数关系式为:

$$E=4.162e^{-0.012t} \tag{3}$$

式中: E 为淋滤液电导率(mS/cm); t 为淋洗时间(min)。

从图 3 可以看出,曲线的斜率为随淋洗时间而逐渐增大的负值,因此将曲线斜率趋近于 0 时的电导率作为淋洗的理论终点,将公式(3)对自变量 t 求导,得到曲线斜率与淋洗时间的关系式为:

$$E'=-0.0499e^{-0.012t} \tag{4}$$

式中: E' 为曲线斜率; t 为淋洗时间(min)。

由公式(4)可知,斜率 E' 随着淋洗时间的变化无限趋近于 0,但不等于 0,若将-1%的斜率(斜率为负值)近似看作是曲线趋于稳定,则当 $E'=-0.01$ 时,由公式(4)可计算出 $t=133.95$,即淋洗时间达到 133.95 min 时,曲线斜率仅为-0.01,淋滤液的电导率已经趋于稳定,将 $t=133.95$ 代入公式(3)中,可得 $E=0.83$,即当淋滤液电导率为 0.83 mS/cm,淋滤液的电导率已经趋于稳定,故本研究可将淋滤液电导率达到 0.83 mS/cm 作为理论淋洗终点。

在土壤通透性较好、土壤渗透系数较高的情况下,土壤淋滤液并非饱和溶液,淋洗终点的淋滤液电导率与土壤质地有密切的关系,并非固定值,因此,本文确定的理论淋洗终点的淋滤液电导率值 0.83 mS/cm 仅对本研究的供试土壤及淋洗过程有效,对于不同类型的土壤仅提供计算方法参考。

生物炭隔盐层和砾石隔盐层 2 个处理 3 次淋洗过程中,淋滤液电导率的变化情况见图 4。从第 1 次

淋洗 2 个处理的淋滤液电导率的情况来看,2 个处理的淋滤液电导率均随淋洗时间呈显著降低的趋势,且降幅随淋洗时间逐渐减小,在第 1 次淋洗过程中,生物炭处理的淋滤液电导率均低于砾石处理,由于生物炭滤层的结构特性,其本身对淋滤液中的盐分有一定的吸附作用,从而在一定程度上降低淋滤液的可溶性盐含量;另一方面,结合图 2 的 2 个不同处理的暗管流速来看,由于生物炭处理的暗管流速明显大于砾石处理,这也会导致生物炭处理的淋滤液电导率小于砾石处理;而第 1 次淋洗结束时,2 个处理的淋滤液电导率分别为 1.45,1.84 mS/cm,均大于本研究确定的淋洗终点电导率 0.83 mS/cm,未达到淋洗终点。因此,单就第 1 次淋洗的淋滤液电导率测定情况无法对比 2 个处理的淋洗效果。

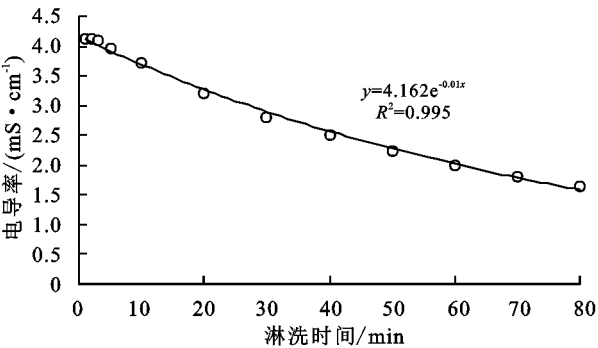


图 3 淋滤液电导率随淋洗时间的变化曲线

从第 2 次淋洗的电导率变化情况来看,在淋洗开始阶段 2 个处理的淋滤液电导率基本相同。从第 5 min 开始,生物炭处理的淋滤液电导率下降幅度明显大于砾石处理,并于第 2 次淋洗的第 50 min 左右达到淋洗的理论终点,而砾石处理在第 70 min 左右才到达淋洗的理论终点,结合第 1 次淋洗 2 个处理的电导率变化情况来看,生物炭处理的淋洗速度优于砾石处理,生物炭处理达到终点的淋洗时间比砾石处理缩短 13.3%。从 2 个处理第 2 次淋洗淋滤液变化总体来看,2 个处理淋滤液电导率的差距由小变大,在第 50 min(生物炭处理的理论终点)差距达到最大,而后差距逐渐缩小,2 个处理的变化曲线逐渐靠近,这一变化也是对本文确定的理论终点 0.83 mS/cm 的一个检验,证明本文确定的淋洗理论终点较为合理。

由于第 2 次淋洗与第 3 次淋洗之间相隔 7 天,尽管在第 2 次淋洗结束时 2 个处理的淋滤液电导率已经逐渐趋于稳定,但因为长时间浸泡使得土壤胶体中较难溶解的盐分也进入到了溶液中,此时土壤中的盐分已经不多,因此,淋洗受隔盐层类型的影响较小,呈现出第 3 次淋洗过程中 2 个处理的淋滤液电导率变化曲线基本重合的情况,这一现象也进一步说明,2 个处理在第 2 次淋洗结束后均已进入淋洗终点,对本

文确定的理论淋洗终点再一次进行验证。
综上所述,可以将 0.83 mS/cm 作为本研究的淋洗终点,生物炭作为隔盐层在盐渍化土壤淋洗过程中能够在一定程度上吸附土体中溶解出的盐分,同时促进土壤中的盐分尽快排出土体,加快土壤脱盐速率,与传统的砾石隔盐层相比,淋洗时间缩短 13.3%。

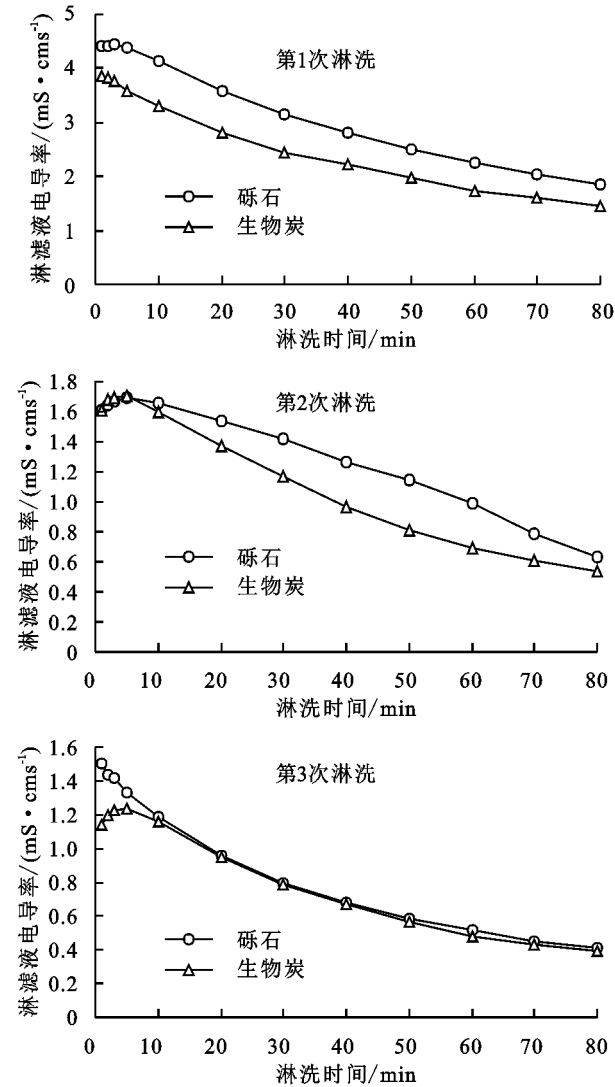


图 4 不同处理淋滤液电导率变化情况

2.4 不同隔盐层材料对土壤脱盐效率的影响

在试验结束后对不同处理的土槽内隔盐层上方不同层次土壤含盐量进行测定(表 2)。从表 2 可以看出,生物炭处理 0—10,10—20,20—30 cm 土层土壤含盐量依次为 0.79,0.79,0.81 g/kg,平均含盐量为 0.80 g/kg,平均脱盐率为 78.90%;砾石处理 3 个层次的土壤含盐量分别为 0.91,0.80,0.80 g/kg,平均含盐量为 0.84 g/kg,平均脱盐率为 77.80%。因此,从试验结束后的土壤脱盐率来看,生物炭处理略高于砾石处理。

由于本试验结束主要以时间为标准,试验结束时 2 个处理淋洗的累计时间相同,试验结束并非理论意义上的淋洗终点,按照罗雪园等^[33]的研究引入“淋洗

效率”的概念,计算方法为:土壤淋洗效率=淋洗掉的盐分总量/所用水量。按照本研究确定的理论淋洗终点及公式(2)可以计算出到达理论淋洗终点(土壤盐分处于一个相同的稳定值)时,生物炭处理的累计用水量为 35.27 L,砾石处理的累计用水量为 35.38 L,二者用水量极为相近,由此可知,到达理论淋洗终点时,2 个处理的土壤淋洗效率基本相同。从淋洗效率来看,2 个处理的淋洗效率基本相同,即生物炭隔盐层和砾石隔盐层在淋洗用水量方面基本相同,淋洗效率受隔盐层的影响较小,主要与土壤的理化性状、淋洗水源和淋洗方式等因素有关^[34]。

从表 2 中 2 个处理盐分在不同层次土壤中的分布情况来看,2 个处理土壤盐分分布存在较大的差异。生物炭处理的土壤盐分含量随着土层的加深而逐渐增加,即该处理的土壤盐分整体上保持着向下淋洗的趋势;而砾石处理则相反,表层土壤的盐分显著高于下层土壤,即盐分向上运移的趋势较为明显。由于试验土壤样品的采集为第 3 次淋洗结束后的第 10 天,在此期间,由于没有水分继续向土体内补充,2 个处理土壤水分均以蒸发的方式向上运动,土壤盐分也随之向土体上方运移,这也就是通常所说的“土壤返盐”。从 2 个处理盐分运动结果来看,生物炭处理土壤返盐程度明显小于砾石处理,砾石处理的表层土壤盐分已经明显高于底层土壤,返盐趋势十分明显。由此可以看出,生物炭隔盐层在抑制土壤返盐方面的作用效果明显优于砾石隔盐层。

表 2 不同处理试验结束后土壤盐分含量

处理	采样 深度/cm	土壤盐分含量/(g·kg ⁻¹)				脱盐率/ %
		样点 1	样点 2	样点 3	平均值	
生物炭隔盐层	0—10	0.80	0.79	0.79	0.79	79.08
	10—20	0.80	0.79	0.78	0.79	79.11
	20—30	0.82	0.83	0.78	0.81	78.52
砾石隔盐层	0—10	0.94	0.90	0.90	0.91	75.90
	10—20	0.81	0.81	0.79	0.80	78.76
	20—30	0.81	0.82	0.78	0.80	78.73

3 结 论

(1)生物炭作为隔盐层与传统的砾石隔盐层相比,能够提高土体的淋洗排水速率,暗管排水速率比砾石隔盐层处理平均高出 16.1%。

(2)本研究的试验条件下,可将淋滤液电导率达到 0.83 mS/cm 作为理论淋洗终点,本研究的理论淋洗终点计算方法可供参考。

(3)生物炭作为隔盐层在盐渍化土壤淋洗过程中能够在一定程度上吸附土体中的盐分,同时促进土体的盐分尽快排出土体,加快土壤脱盐速率,使得淋洗土壤更快到达淋洗终点,相较于传统的砾石隔盐层淋

洗时间可缩短 13.3%。

(4)在相同淋洗时间条件下,生物炭作为隔盐层的土壤脱盐率略高于砾石隔盐层,但从淋洗效率来看,二者淋洗效率相近,即生物炭作为隔盐层并不能提高淋洗水的利用效率。

(5)生物炭隔盐层在抑制土壤返盐方面的作用效果明显优于砾石隔盐层。

参考文献:

[1] 中国科学院南京土壤研究所.中国土壤数据库[DB/OL].[2019-06-11].http://vdb3.soil.csdb.cn/.

[2] 胡一,韩霁昌,张扬.盐碱地改良技术研究综述[J].陕西农业科学,2015,61(2):67-71.

[3] 张金龙,王振宇,张清,等.天津滨海新区盐碱土绿化综合治理技术研究[J].天津农业科学,2012,18(6):147-151.

[4] 邵明安,王全九,黄明斌.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006:23-36.

[5] 胥凌霄.不同介质夹层土壤的入渗研究[D].山西 晋中:山西农业大学,2017.

[6] 范严伟,毕贵权,赵文举.不同影响因素下砂夹垆土壤水分运动的模拟分析[J].兰州理工大学学报,2017,43(1):61-66.

[7] 李雪垠,李朝霞,王天巍,等.紫色土中砾石夹层对土壤水分入渗的影响[J].水科学进展,2016,27(5):662-669.

[8] 陈丽娟,冯起,王昱,等.微咸水灌溉条件下含黏土夹层土壤的水盐运移规律[J].农业工程学报,2012,28(8):44-51.

[9] 殷小琳,丁国栋,张维城.降雨及隔盐层对滨海盐碱地水盐运动的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(3):40-44.

[10] 张建丰,王文焰,汪志荣,等.具有砂质夹层的土壤入渗计算[J].农业工程学报,2004,20(2):27-30.

[11] 史文娟,沈冰,汪志荣,等.蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J].农业工程学报,2005,21(9):23-26.

[12] Bridgwater A V D, Meier D, Radlein. An overview of fast pyrolysis of biomass[J]. Organic Geochemistry, 1999,30:1479-1493.

[13] Didem O, Aysegul E M. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials[J].Renewable Energy,2010,35:1319-1324.

[14] 孙军娜,董陆康,徐刚,等.糠醛渣及其生物炭对盐渍土理化性质影响的比较研究[J].农业环境科学学报,2014,33(3):532-538.

[15] Gerardo O, Stefania M, Anna A, et al. Are soil-water functions affected by biochar application? [J].Geoderma,2015,249/250:1-11.

[16] Vijayasatya N C, David M C. Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline-sodic soil amended with composts

- and biochar and leached with reclaimed water[J]. *Geoderma*, 2015, 259/260: 45-55.
- [17] Wu Y, Xu G, Shao H B. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil[J]. *Solid Earth*, 2014, 5: 665-671.
- [18] Lin X W, Xie Z B, Zheng J Y, et al. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil[J]. *European Journal of Soil Science*, 2015, 66: 329-338.
- [19] Sun J N, Wang B C, Xu G, et al. Effects of wheat straw biochar on carbon mineralization and guidance for large-scale soil quality improvement in the coastal wetland[J]. *Ecological Engineering*, 2014, 62: 43-47.
- [20] 丛宏斌, 姚宗路, 赵立欣, 等. 内加热连续式生物质炭化中试设备炭化温度优化试验[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(16): 235-240.
- [21] 李飞跃, 梁媛, 汪建飞, 等. 生物炭固碳减排作用的研究进展[J]. *核农学报*, 2013, 27(5): 681-686.
- [22] 姜志翔. 生物炭技术缓解温室气体排放的潜力评估[D]. 山东 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [23] 丛宏斌, 赵立欣, 姚宗路, 等. 我国生物质炭化技术装备研究现状与发展建议[J]. *中国农业大学学报*, 2015, 20(2): 21-26.
- [24] 陶园, 王少丽, 许迪, 等. 改进暗管排水技术淤堵防护措施试验研究[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(6): 187-192.
- [25] 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.
- [26] 杜勇. 生物炭固定化微生物去除水中苯酚的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [27] 秦传玉, 赵勇胜, 郑苇. 表面活性剂强化空气扰动技术修复机理[J]. *土木建筑与环境工程*, 2012, 34(2): 138-142.
- [28] 郭新送, 宋付朋, 鞠正山. 不同土水比土壤浸提液与饱和泥浆电导率的比较研究[J]. *土壤*, 2015, 47(4): 812-818.
- [29] 叶海燕. 微咸水利用试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004: 17-20.
- [30] 马东豪, 王全九, 苏莹, 等. 微咸水入渗土壤水盐运移特征分析[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25(1): 62-66.
- [31] 翟亚明, 何德舜, 季亚辉. 天津滨海地区原生盐碱土盐分淋洗规律研究[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(5): 65-68.
- [32] 程镜润, 陈小华, 刘振鸿, 等. 脱硫酸石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究[J]. *中国环境科学*, 2014, 34(6): 1505-1513.
- [33] 罗雪园, 周宏飞, 柴晨好, 等. 不同淋洗模式下干旱区盐渍土改良效果分析[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(2): 322-326.
- [34] 尹春艳, 陈小兵, 刘虎, 等. 不同淋洗条件下黄河三角洲盐渍土脱盐规律研究[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(3): 76-82.
- (上接第 301 页)
- [17] 覃世杰, 覃德文, 聂珍臻, 等. 柳杉人工林经济效益评价[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(1): 269-273.
- [18] 王会京, 王红霞, 谢宇光. 太行山不同林型枯落物持水性及生态水文效应研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(6): 135-139.
- [19] 金雅琴, 李冬林, 孙丽娟, 等. 南京近郊人工林地表枯落物的累积量及持水性[J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(5): 95-104.
- [20] 冯宜明, 李毅, 曹秀文, 等. 甘肃亚高山云杉人工林土壤特性及水源涵养功能对林分密度的响应特征[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(9): 1529-1541.
- [21] 李阳, 万福绪. 黄浦江中游 5 种典型林分枯落物和土壤水源涵养能力研究[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(2): 264-271.
- [22] 彭云, 丁贵杰. 不同林龄马尾松林枯落物储量及其持水性能[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2008, 32(4): 43-46.
- [23] 张建华, 郭宾良, 张宁, 等. 滦河上游不同密度油松林水源涵养功能研究[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(6): 47-50.
- [24] 郭梦娇, 朱江, 程小琴, 等. 辽河源不同林龄油松林水源涵
- 养能力研究[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(3): 279-284.
- [25] 邵臻, 张富, 陈瑾, 等. 陇中黄土丘陵沟壑区不同土地利用下土壤水分变化分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(12): 129-135.
- [26] Lai X M, Zhu Q, Zhou Z W, et al. Influences of sampling size and pattern on the uncertainty of correlation estimation between soil water content and its influencing factors[J]. *Journal of Hydrology*, 2017, 555: 41-50.
- [27] 李文影, 满秀玲, 张阳武. 不同林龄白桦次生林土壤特性及其水源涵养功能[J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(5): 63-69.
- [28] 袁秀锦, 王晓荣, 潘磊, 等. 肖文发. 三峡库区不同类型马尾松林枯落物层持水特性比较[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3): 160-166.
- [29] 熊壮, 叶文, 张树斌, 等. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林凋落物的持水特性[J]. *浙江农林大学学报*, 2018, 35(6): 1054-1061.
- [30] 侯贵荣, 毕华兴, 魏曦, 等. 黄土残塬沟壑区 3 种林地枯落物和土壤水源涵养功能[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 357-363.