

加入不同量生物质炭盐渍化土壤盐分淋洗的差异与特征*

岳 燕 郭维娜 林启美[†] 李贵桐 赵小蓉 伍桂芳

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要 生物质炭作为土壤调理剂,能够显著地改良培肥土壤,但对盐渍化土壤盐分淋洗的影响缺乏研究和了解。本研究采用土柱模拟试验,将蘑菇棒生物质炭按照不同的质量比(0%、2%、5%、10%),添加到内蒙古河套地区硫酸盐盐渍化土壤 0~20 cm 的土层中,并进行淋洗,测定淋出液和土壤盐分及主要盐分离子含量,以期了解生物质炭对土壤盐分和主要盐分离子洗脱的影响。结果表明:加入生物质炭的土柱,淋洗液出现的时间提前了 5~36 d,电导率降低至 $<5 \text{ mS cm}^{-1}$ 缩短了 41~100 d;生物质炭加入量越大,淋洗液出现的时间越早,电导率降低至 $<5 \text{ mS cm}^{-1}$ 所需的时间也越少。其中,生物质炭用量 2% 的处理,淋洗结束表层脱盐效果较好,含盐量与对照相比降低了 34.25%。显然,向盐渍化土壤加入生物质炭,不仅能够缩短盐分洗脱时间,而且提高洗盐效率,但对盐分离子洗脱先后顺序及其速率,并没有表现出明显的影响。

关键词 盐渍化土壤;土柱;生物质炭;盐分淋洗

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A

我国盐渍化耕地面积近 670 万 hm^2 ,灌溉洗盐是降低盐渍化土壤盐分含量最简单有效的方法之一^[1],提高灌溉洗盐效率首要任务是改善土壤的通透性^[2]。生物质炭是生物质热裂解反应的固体产物,不少研究结果显示,生物质炭可用作土壤调理剂,可降低土壤容重^[3]、改善土壤结构与孔性^[4]、提高土壤通透性^[5]、加快水分入渗和再分配^[6]。本研究通过土柱模拟试验,向内蒙古河套地区典型盐渍化 0~20 cm 表层土壤加入不同量生物质炭,测定淋洗液和土壤盐分组成及其含量。目的在于:(1)了解加入不同量生物质炭时,盐渍化土壤盐分

淋洗与脱盐过程的特征及差异;(2)了解淋洗脱盐过程中,不同盐分离子淋洗运移的特点与差异;(3)寻找最合适的生物质炭用量。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤剖面(0~20 cm、20~35 cm、35~70 cm)采自内蒙古自治区鄂尔多斯市十二连城乡东不拉村黄河滩盐渍化耕地,土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soil

土层 Soil layer (cm)	有机质 Organic matter (g kg^{-1})	pH	电导率 EC (mS cm^{-1})	全盐量 Salt content (g kg^{-1})	美国制土壤质地 Soil texture
0~20	6.54	9.67	1.60	10.04	粉砂质壤土 Silty loam
20~35	6.03	9.74	0.70	5.86	粉砂质壤土 Silty loam
35~70	5.06	9.45	0.31	3.86	粉砂质壤土 Silty loam

* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAC02B06)资助

[†] 通讯作者:林启美(1961—),教授,主要研究方向为土壤生物与生物过程。E-mail:linqm@cau.edu.cn

作者简介:岳 燕,硕士研究生。E-mail:yueyanandyueyan@163.com

收稿日期:2013-09-11;收到修改稿日期:2014-02-28

生物质炭购自北京大兴区李家场生物质燃气站,原材料为蘑菇棒,400~500℃下3h,pH8.94,C 43.83%,H 1.56%,O 2.25%,N 1.38%,K⁺、Na⁺、Ca²⁺和Mg²⁺含量分别为1239 mg kg⁻¹、333.9 mg kg⁻¹、80.00 mg kg⁻¹、61.00 mg kg⁻¹,Cl⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻和HCO₃⁻含量分别为177.2 mg kg⁻¹、316.8 mg kg⁻¹、90.00 mg kg⁻¹、701.5 mg kg⁻¹。

1.2 试验设计

根据自然土壤剖面层次和厚度,按照土壤容重为1.5 g cm⁻³,称取所需土壤(<2 mm),依次从底层开始装填PVC管土柱(厚度4 mm,高80 cm,内径15 cm),每次装填厚度为10 cm。其中0~20 cm表层土壤,按照质量比分别为0%、2%、5%、10%与生物质炭(<2 mm)混合均匀后装填土柱,各处理分别记为B₀、B₂、B₅、B₁₀,每个处理3次重复。土柱底部用PVC板密封,中间留直径为2 mm孔,塞入合适大小的中间有孔的橡胶塞,使之与PVC板平行,连接硬塑管,承接淋出液。为降低界面效应,在土层表面和底层装入1 cm厚的石英砂(<2 mm)。用医用吊瓶向土柱滴加去离子水,保持约1 cm的静水头,记录淋出液出现的时间,每天收集淋洗液测量电导率,电导率基本不变时终止试验。根据相邻2次电导率(EC)测定值的变化,即相邻2次EC值平均值偏差最小,将急降(P1)、缓降(P2)与稳定(P3)三个阶段的淋出液混合在一起,测定八大离子含量,试验结束时测定各层土壤八大离子含量。

1.3 分析方法

土壤电导率用5:1水土比浸提电导仪测定,淋出液电导率直接用电导仪测定。土壤和淋滤液盐分用常规分析方法测定K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻和CO₃²⁻,具体方法详见文献[7]。阴阳离子之和粗略视为土壤全盐量。

1.4 数据处理

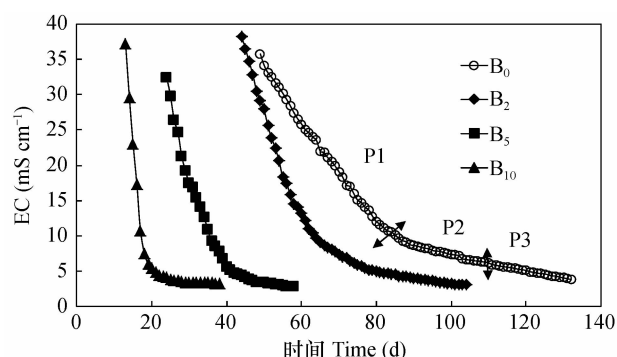
所有数据为3次重复的平均值,用单因素方差分析进行差异显著性检验,用最小显著性差异表示(LSD_{0.05})。

2 结果与讨论

2.1 淋洗液电导率

如图1所示,不加生物质炭的土柱B₀第49天才收集到淋洗液,淋出液电导率下降至5 mS cm⁻¹以下,即大约咸水标准以下(全盐含量>3 g L⁻¹),需要121 d;而加入生物质炭的土柱第9~44天就收

集到淋洗液,淋洗液出现的时间提前了5~36 d,电导率降低至5 mS cm⁻¹以下,缩短了41~100 d,而且生物质炭加入量越大,淋洗液出现的时间越早,电导率降低至5 mS cm⁻¹以下所需的时间也越少。如加入10%的生物质炭土柱(B₁₀),第13天就收集到淋出液,第21天淋出液的EC值就降至5 mS cm⁻¹以下。淋洗结束时,所有土柱淋出液的EC值比较接近,为2.83~3.82 mS cm⁻¹。



注: B₀、B₂、B₅和B₁₀分别表示0~20 cm土层中加入质量比分别为0%、2%、5%和10%的生物质炭; P1、P2和P3分别表示急降阶段、缓降阶段和稳定阶段。下同 Note: B₀、B₂、B₅ and B₁₀ represents addition rate of biochar, 0%, 2%, 5% and 10%, respectively, into the 0~20 cm soil layer. P1, P2 and P3 respectively represents the sharp drop stage, slow drop stage and steady stage of EC.

The same below

图1 盐渍化土壤土柱加入不同量生物质炭后淋洗液电导率的变化

Fig. 1 Change in EC of eluent from the saline soil column relative to biochar application rates

显然向盐渍化表层土壤加入生物质炭,盐分洗脱速率大幅度提高,生物质炭加入量越大,盐分洗脱的速率越高。生物质炭这种作用的原因和机理十分复杂,包括纯物理性的“掺杂”效应,改变土壤孔隙状况^[8];物理化学的离子吸附与交换作用,如生物质炭含有的Ca²⁺、Mg²⁺等离子交换盐渍化土壤胶体吸附的Na⁺^[9];以及促进土壤颗粒的胶结与团聚作用,改善土壤团粒结构^[8,10-11]等。生物质炭为多孔“刚性的”颗粒状结构物质,具有与沙掺黏或黏掺沙改良土壤质地类似的作用,可降低土壤容重,改善土壤孔隙状况,提高土壤孔隙度,从而提高土壤透水性,促进盐分随水分运移,加快盐分淋洗出土体,降低土壤含盐量^[12]。

2.2 淋洗液离子浓度

所有土柱淋出液中阳离子主要为Na⁺,其次为Mg²⁺,而K⁺和Ca²⁺含量较低(图2)。在EC急剧下降阶段(P1),所有离子浓度均较高,Na⁺浓度最高

达 $9\ 239\ \text{mg L}^{-1}$, 是 EC 缓慢下降阶段 (P2) 的 2.5 倍, 淋洗结束时 (P3), 所有处理离子浓度比较接近, 其中 K^+ 和 Na^+ 浓度一般不到 P1 的 16%~28%, 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 则不到 P1 的 7%~3%。总体来看, 加入生物质炭对各阶段淋出液的离子浓度影响很小, 即对不同阳离子洗脱的先后顺序与速率并没有明显的影响。

所有土柱淋洗液中阴离子主要为 SO_4^{2-} , 其次为 Cl^- 和 HCO_3^- , 而 CO_3^{2-} 浓度较低, 说明供试土壤为硫酸盐类盐渍化土壤 (图 3)。淋出液 Cl^- 浓度随着淋

洗急剧下降, P2 淋出液 Cl^- 浓度不到 P1 的 50%, 而 P3 只有 P1 的 4%~17%; 而 SO_4^{2-} 浓度直至 P3 阶段才大幅度下降达 92% 以上。与之不同, 淋出液 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 浓度则随着淋洗而提高, 尤其是 CO_3^{2-} 浓度, P2 较 P1 提高了 0.8 倍~2.2 倍, P3 较 P1 提高了 1.8 倍~4.3 倍。总体来看, 加入生物质炭对相同阶段淋出液阴离子浓度影响不是很大, 说明生物质炭对不同阴离子洗脱的先后顺序与速率没有显著的影响。

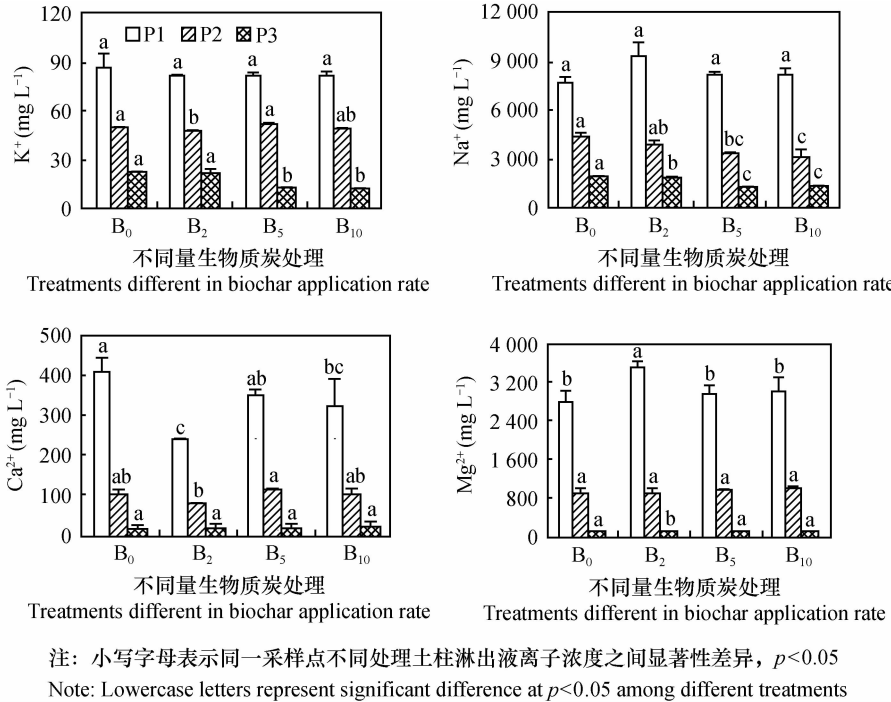


图 2 盐渍化土壤土柱 0~20 cm 土层加入不同量生物质炭 P1、P2、P3 淋洗阶段淋出液主要阳离子浓度
 Fig. 2 Concentrations of some major cations in eluent collected at P1, P2, P3 stages from the saline soil column relative to biochar application rate in the 0~20 cm soil layer

因此, 仅从 P1、P2 和 P3 三个阶段的离子浓度差异, 很难分辨出离子洗脱的先后顺序与速率, 也无法反映加入生物质炭对不同盐分离子洗脱过程存在明显的影响。尽管已有一些报道认为, 生物质炭对土壤中不同离子运移有明显不同的影响^[9], 这可能与试验条件有关。本试验是在土壤水分饱和的条件下进行的, 在此条件下, 离子与土壤胶体相互作用很小, 离子洗脱主要取决于土壤的饱和导水率^[13]; 而在非饱和流状况下, 离子与土壤胶体的相互作用强烈地影响到离子的运移, 导致与土壤胶体亲和力比较弱的低价阴离子, 如 Cl^- 、 NO_3^- 等极容易淋洗出土体^[14]。

2.3 土壤剖面盐分离子含量

供试土壤盐分含量很高, 主要是硫酸钠, 还有可观的碳酸氢钠及氯化物。无论加入生物质炭与否, 淋洗结束时, 大部分处理各土层土壤的离子含量均显著降低, 尤其是表层土壤 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量降低的幅度最大, 分别较原始土壤至少降低了 65%、86% 和 95%。例外的是, 所有土层土壤 CO_3^{2-} 含量增加了几百倍, HCO_3^- 在生物质炭加入量较大时显著增加, 低量生物质炭和不加生物质炭 2 个处理的上层土壤 K^+ 含量也提高了 16%~115%, 可能与含钾矿物的水解有关 (图 4, 图 5)。

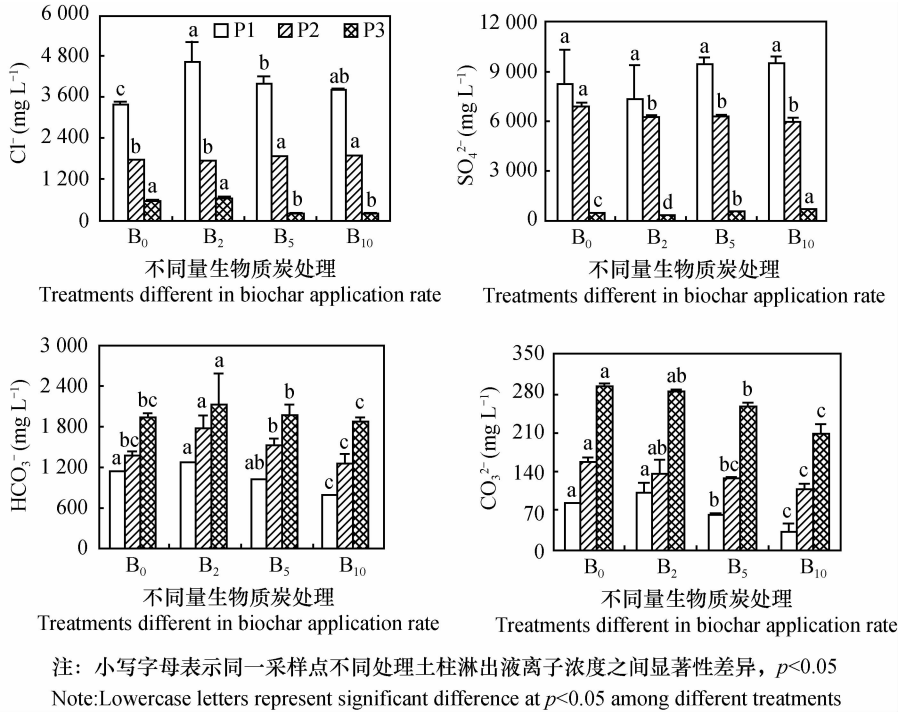


图 3 盐渍化土壤土柱 0~20 cm 土层加入不同用量生物质炭在 P1、P2、P3 淋洗阶段淋出液主要阴离子浓度
 Fig. 3 Concentrations of some major anions in eluent collected at P1, P2, P3 stages from the saline soil column relative to biochar application rate in the 0~20 cm soil layer

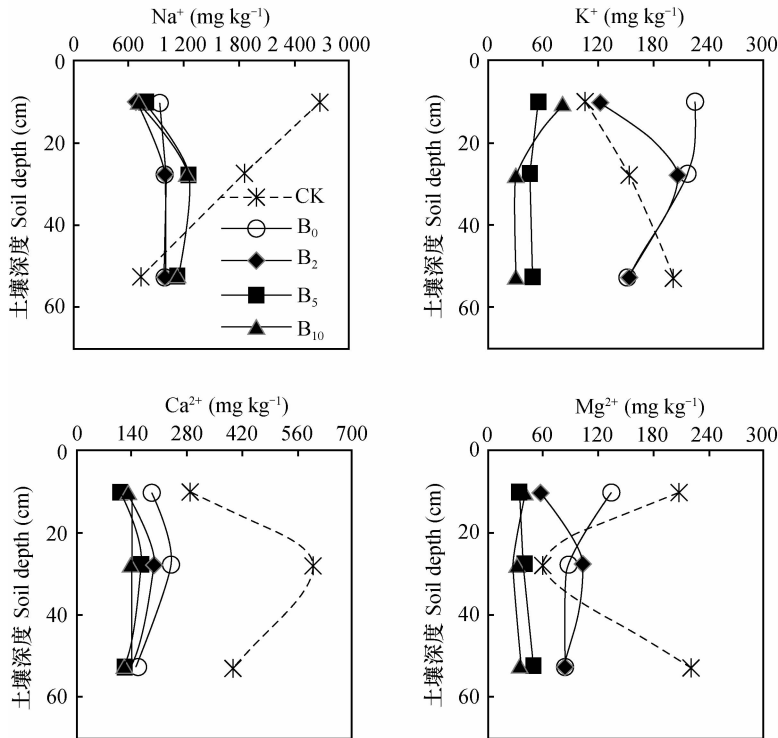


图 4 盐渍化土壤土柱 0~20 cm 土层加入不同量生物质炭淋洗后土壤剖面主要阳离子含量
 Fig. 4 Contents of some major cations in the leached saline soil relative to biochar application rate in the 0~20 cm soil layer

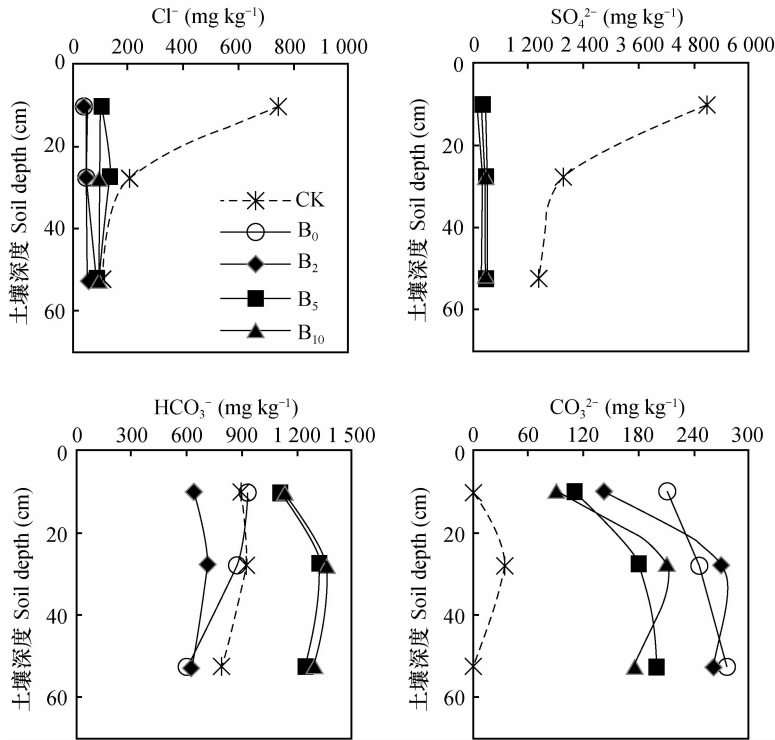


图5 盐渍化土壤土柱0~20 cm 土层加入不同量生物质炭淋洗后土壤剖面主要阴离子含量

Fig. 5 Contents of some major anions in the leached saline soil relative to biochar application rate in the 0~20 cm soil layer

令人吃惊的是,无论是淋出液还是土壤, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量在淋洗过程中均逐渐增加,这一方面可能与土壤离子吸附与交换平衡有关^[15],另一方面可能关系到 CaCO_3 沉淀与溶解平衡。当 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等阴离子淋洗出土体,为平衡土壤中的电荷,比较丰富的碳酸盐类矿物可能解离,产生 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ,并且随着淋洗的进程,其他阴离子逐渐减少,需要产生更多 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 以平衡土壤电荷。淋洗过程中碳酸盐解离所产生的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ,也将被淋洗出土体,致使淋出液的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ,随着淋洗进程而增加^[13, 16-17]。此外, CO_2 溶解形成 HCO_3^- ,从而使土壤及淋滤液中 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的含量增加;因受 CaCO_3 溶度积的支配, Ca^{2+} 淋失将促进沉淀的 CaCO_3 溶解,产生更多的 HCO_3^- 。

3 结论

向盐渍化表层土壤加入生物质炭,显著地促进盐分淋洗,大大缩短盐分洗脱时间,且生物质炭用量越大脱盐时间越短,但对盐分离子洗脱的先后顺序没有显著的影响,最终土壤盐分含量以2%生物

质炭用量处理比较低。考虑到生物质炭对土壤物理、化学和生物学性质的有益作用,利用生物质炭加快盐渍化土壤脱盐进程,改良培肥盐渍化土壤,具有很大的潜力。

参考文献

- [1] 王善仙,刘宛,李培军,等. 盐碱土植物改良研究进展. 中国农学通报, 2011, 27(24): 1—7. Wang S X, Liu W, Li P J, et al. Advances of researches in plant-improvement of saline-alkaline soil (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(24): 1—7
- [2] 吴华山,陈效民,叶民标,等. 太湖地区主要水稻土的饱和导水率及其影响因素研究. 灌溉排水学报, 2006, 25(2): 46—49. Wu H S, Chen X M, Ye M B, et al. Study on the soil saturated hydraulic conductivity and the infection factors of the main paddy soils in Tai-lake region (In Chinese). Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(2): 46—49
- [3] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma, 2010, 158(3/4): 443—449
- [4] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil, 2007, 291: 275—290
- [5] 罗煜,赵小蓉,李贵桐,等. 酸性和碱性土壤中芒草生物质

- 炭激发效应的特征和差异. 土壤学报, 2014, 51(1): 90—95. Luo Y, Zhao X R, Li G T, et al. Characteristics of difference in priming effect of miscanthus-derived biochar in acid and alkaline soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(1): 90—95
- [6] Cheng C H, Lehmann J, Thies J E, et al. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 2006, 37: 1477—1488
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 188—199. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000: 188—199
- [8] Oguntunde G P, Abiodun J B, Ajayi E A, et al. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, 171(4): 591—596
- [9] 张雯, 耿增超, 陈心想, 等. 生物质炭对盐土改良效应研究. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 73—77. Zhang W, Geng Z C, Chen X X, et al. Effects of biochar on saline soil improvement (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(2): 73—77
- [10] Brodowski S, John B, Flessa H, et al. Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57(4): 539—546
- [11] Belyaeva O N, Haynes R J. Comparison of the effects of conventional organic amendments and biochar on the chemical, physical and microbial properties of coal fly ash as a plant growth medium. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 66: 1987—1997
- [12] Whalley W R, Clark L J, Gowing D J G, et al. Does soil strength play a role in wheat yield losses caused by soil drying? *Plant and Soil*, 2006, 280: 279—290
- [13] 王红旗, 刘新会, 李国学, 等. 土壤环境学. 北京: 高等教育出版社, 2007: 171—186. Wang H Q, Liu X H, Li G X, et al. Soil environmental science (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2007: 171—186
- [14] 李卫, 郑子成, 李廷轩, 等. 设施灌溉条件下不同次生盐渍化土壤盐分离子迁移特征. 农业机械学报, 2011, 42(5): 92—99. Li W, Zheng Z C, Li T X, et al. Effects of salt ions transport on different levels of secondary salinization soil under greenhouse irrigation (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2011, 42(5): 92—99
- [15] 李韵珠, 李保国. 土壤溶质运移. 北京: 科学出版社, 1998: 51—152. Li Y Z, Li B G. The solute transport in soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998: 51—152
- [16] 曾文治, 黄介生, 徐驰, 等. KCl 溶液对土壤入渗及氯离子运移特性影响研究. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 32—35. Zeng W Z, Huang J S, Xu C, et al. Effect of KCl solution on soil infiltration and Cl⁻ transport (In Chinese). *Journal of Irrigation and Drainage*, 2013, 32(1): 32—35
- [17] Chip A, Lena M. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31(2): 581—589

SALT LEACHING IN THE SALINE SOIL RELATIVE TO RATE OF BIOCHAR APPLIED

Yue Yan Guo Weina Lin Qimei[†] Li Guitong Zhao Xiaorong Wu Guifang

(College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Biochar, as a soil conditioner, can significantly improve soil fertility. But few data are available about impacts of biochar on salt leaching in saline soil. In this experiment, different rates (0%, 2%, 5%, 10%, w/w) of biochar prepared out of mushroom residues were added into surface soil layer (0~20 cm) of sulfate saline soil columns, separately, collected from Hetao, Inner Mongolia. Deionized water was added into the soil columns to form leaching and eluents from the columns were collected and analyzed for electrical conductivity (EC) and contents of some major salt ions, with a view to exploring effect of biochar on leaching of salts and ions from saline soil. Results show that eluents from biochar-amended columns appeared 5~36 days earlier than that from the control column, and the higher the biochar application rate, the earlier the eluent, the shorter the time for EC declining below 5 mS cm⁻¹. It could be shortened by 41~100 days. Biochar addition at a rate of 2% was the best desalination of the surface soil, reducing salt content by 34.25% as compared to CK. It is obvious now that addition of biochar can shorten the time of desalination the soil and improve soil desalination efficiency as well. However, no significant difference was observed between the effects of biochar leaching different salt ions in sequence and rate of leaching.

Key words Saline soil; Soil columns; Biochar; Salt-leaching

(责任编辑:陈德明)