

文章编号:1001-7380(2018)01-0040-04

生物炭控制高施氮竹林土壤氨挥发效果研究

周一诺¹, 陈曦¹, 杨麒麟¹, 刘星辰¹, 吴金林¹, 孙海军^{1,2*}

(1. 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037; 2. 佛山科学技术学院食品科学与工程学院, 广东 佛山 528000)

摘要:通过模拟土柱试验,研究生物炭(水稻秸秆炭和竹炭)不同施用量(炭、土质量比分别为1:100或1:20)控制高施氮(每千克土壤施N 46 mg)竹林土壤氮素(NH_3)挥发的效果。结果表明,生物炭添加能够有效降低 NH_3 的挥发(每500 g土壤,由对照处理的3.83 mg降至0.05—0.94 mg),且炭、土质量比为1:20的处理对 NH_3 挥发的控制效果显著优于1:100的生物炭处理。土壤添加尿素后,铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)含量为每千克土壤7.54 mg,生物炭添加处理使土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量升高至每千克土壤7.84—9.77 mg。同时,秸秆生物炭施用可以提高土壤水分含量6.18%—12.45%,而竹炭施用对土壤水分含量无显著影响。可见,不同生物炭施用可以通过固持土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和(或)保持土壤水分,实现有效控制高施氮竹林土壤 NH_3 挥发的效果。

关键词:生物炭;竹林;铵态氮;氨挥发;土壤;水分含量

中图分类号:0647.32;S143.1;S153.6⁺1

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2018.01.010

氮素作为一种大量营养元素,是作物生长必需的营养元素之一,也是农业生产可持续发展的根本要素^[1]。作为土壤氮素损失的重要途径之一,氨(NH_3)挥发不仅会降低氮肥利用率,而且会对周边环境造成恶劣影响^[2-3]。气候条件、土壤性质、施肥、灌溉以及耕作方式等多个因素会通过改变土壤铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)的含量以及土壤对 NH_3 的吸附能力,从而影响土壤 NH_3 挥发量。因此通过增强土壤对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 NH_3 的吸附能力以及减少 NH_3 由土壤溢出到大气是降低土壤 NH_3 挥发的主要途径。

生物炭是指生物质(如农作物废弃物、木材等)在缺氧和相对温度较低条件下热解而形成的产物^[4-5]。生物炭具有高度的化学和微生物惰性,不仅能够提高土壤肥力、促进作物产量提升,而且具有减少温室气体排放等效益^[6-11]。生物炭独特的多孔特性及其富含的特异官能团,使其对土壤水溶液中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等不同形态营养元素,具有很强的吸附作用,同时施加生物炭后土壤持水能力显著提高,因此具有减少 NH_3 挥发的潜力^[12]。目前,国内已有应用生物炭减少棉地、茶园、菜地等常见农业用地

土壤 NH_3 挥发的报道,并且取得了良好效果,但对林地土壤影响的研究尚不多见^[13-18]。目前,随着集约化经营的发展,林地施肥量也日趋上升,林地土壤 NH_3 挥发有增加的风险。因此,有必要对生物炭的林地应用效果开展针对性验证,以期提前预防林地土壤 NH_3 挥发风险,保护生态环境。

本研究拟通过室内土柱模拟试验,将水稻秸秆和竹材生物炭以不同添加量(炭、土质量比为1:100或1:20)施用于高施氮竹林土壤(每千克土壤施N 46 mg),采用通气(海绵吸收)法^[19]测定 NH_3 速率和累积 NH_3 挥发损失量,并通过测定模拟试验,明确生物炭添加对高施氮竹林土壤 NH_3 挥发的控制效果及初步机制。

1 材料与方法

1.1 试验处理

供试生物炭为由水稻秸秆和竹屑在500℃下热解制备,分别命名为SBC(straw biochar)和BBC(bamboo biochar),经过水洗、烘干、研磨过2 mm筛后备用。采集南京林业大学校园内竹林土壤,经风干、粉碎过2 mm筛作为供试土壤。

收稿日期:2017-10-31;修回日期:2017-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目“改性生物炭施用双减稻田 NH_3 挥发与 N_2O 排放效果及机制研究”(31601832)

作者简介:周一诺(1998-),女,河南新乡人,大学本科生,林学专业。E-mail:zhouyinuo524@163.com。

* 通信作者:孙海军(1986-),男,山东潍坊人,高级实验师,博士。主要从事土壤氮养分管理及其环境效应与面源污染控制研究。E-mail:ww018150@163.com。

PVC 土柱 (高 25 cm, 内径 8 cm) 内添加土壤 500 g, 并与当量 (炭、土质量比为 1:100 或 1:20) 生物炭混匀, 装入土柱内。本研究设计施氮量为每千克土壤施 N 46 mg, 即每柱尿素 50 mg)。试验处理施用生物炭及氮肥情况见表 1, 每处理重复 3 次。

表 1 500 g 土壤的 PVC 土柱试验处理

处理	尿素施用量/mg	施炭量/g
CK	0	0
Urea	50	0
Urea+SBC(1:100)	50	5
Urea+SBC(1:20)	50	25
Urea+BBC(1:100)	50	5
Urea+BBC(1:20)	50	25

1.2 测试方法

氨挥发测试采用通气 (海绵吸收) 法^[19]。将海绵 (厚 1.5 cm, 直径 8 cm) 充分浸入 15 mL 磷酸甘油吸收液 (50 mL 磷酸 + 40 mL 丙三醇, 定容至 1 000 mL), 分上下 2 层 (中间间隔 1 cm) 放入土柱内。于施肥后第 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30 日 (共 10 次) 更换下层海绵 (上层海绵阻隔外界 NH_3 气的干扰, 每 5 d 更换 1 次)。更换下的下层海绵立即放入 250 mL 锥形瓶中, 加入 150 mL 浓度为 1.0 mol/L 的 KCl 溶液, 使海绵浸于其中, 室温震荡 1 h 后, 过滤浸提液, 测定其中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度。折算为 NH_3 挥发量。累积 NH_3 量为模拟试验周期内 10 次测试 NH_3 挥发量之和。

试验中为排除空气中 NH_3 气和土壤本身产生的 NH_3 挥发对试验结果造成影响, 设置空白对照组 (CK), 以 CK 组结果为相对 0 值, 消除误差, 使试验结果更加可靠。

施肥后 30 d 时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量和土壤水分含量分别采用靛酚蓝分光光度计法和烘干法测试^[20]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件对数据进行统计分析, 对各处理之间差异性进行方差分析和 Duncan 多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤 NH_3 挥发量

根据图 1 可知, 林地土壤在施加尿素氮后, 每土柱中, NH_3 挥发量为 3.83 mg, 占施氮量的 8.33%。

加入 1:100 的 SBC 后, NH_3 挥发得到明显的抑制, NH_3 挥发量显著 ($P < 0.05$) 下降 75.4%。添加 1:20 的 SBC, NH_3 挥发量显著 ($P < 0.05$) 下降 98.6%。说明 SBC 对土壤 NH_3 挥发有良好的抑制效果, 且不同比例的生物炭添加对 NH_3 挥发的抑制效果不同, 即 1:20 处理的抑制效果要好于 1:100 处理的抑制效果。同时结果表明, 加入 1:100 BBC, NH_3 挥发量显著 ($P < 0.05$) 下降 85.2%, 且将添加量增加到 1:20 BBC 后, 对 NH_3 挥发的抑制性更加明显, NH_3 挥发量 (显著 $P < 0.05$) 下降 91.8%。与秸秆炭相同, 竹炭对 NH_3 挥发有着明显的控制作用, 且高施炭量处理效果更佳。

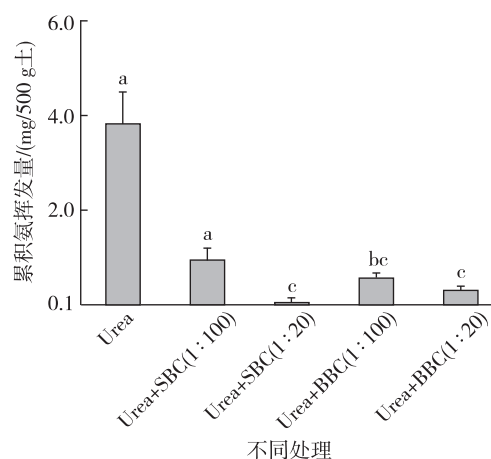


图 1 不同处理 30 d 累积氨挥发量

2.2 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量

图 2 结果表明, 模拟试验结束后, 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 水平为 7.54—9.77 mg/kg 土壤, 且不同处理之间差异不显著 ($P < 0.05$)。但是, 竹林土壤添加 SBC 和 BBC 后, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量升高至每千克土壤 7.84—9.77 mg, 质量分数分别提高了 9.26%—29.6% 和 4.09%—16.7%。证明竹炭添加具有增加土壤固持 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的效果, 且高施炭量处理效果更佳。

2.3 土壤含水量

供试土样在试验后含水量如图 3 所示。常规处理 (Urea) 土壤含水率为 36.1%, 添加 SBC 含水量显著增加, 添加 1:100 和 1:20 的 SBC 处理土壤含水量分别增加 6.18% 和 12.45%。BBC 处理与 Urea 处理含水量比较, 在统计学上变化不显著 ($P < 0.05$), 其中添加 1:100 BBC 处理土壤含水量减少 0.58%, 而添加 1:20 BBC 土壤含水量增加 1.39%。可见, 秸秆炭对土壤含水量有显著 ($P < 0.05$) 提高, 且随生物炭添加量的增加而升高, 而添加竹炭对土壤含水

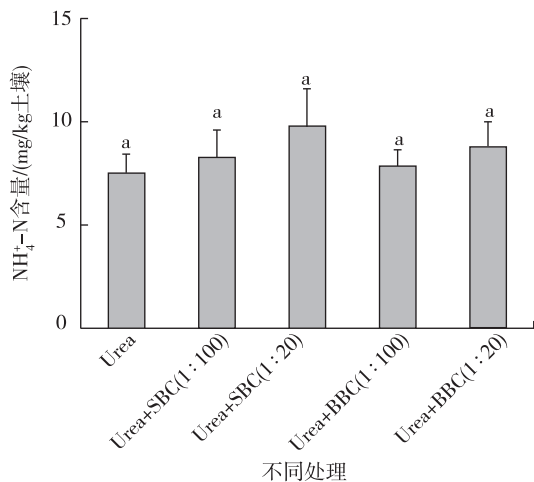
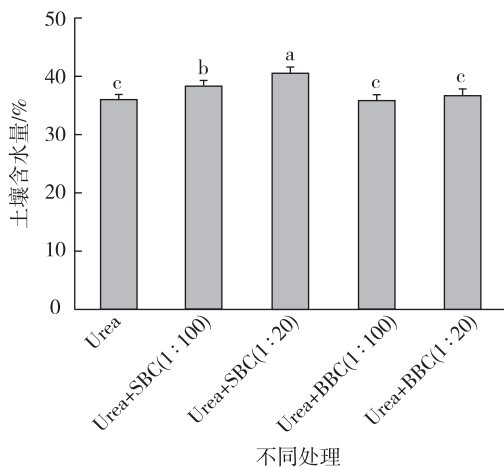
图 2 不同处理下土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量

图 3 不同处理土壤含水量

量没有显著 ($P < 0.05$) 影响。

3 结论与讨论

(1) 2 种生物炭施用, 均能有效控制高施氮林地土壤 NH_3 挥发损失, 且高施炭量处理效果更佳。本研究中, 高施氮林地土壤 NH_3 挥发损失可占施氮量的 8.33%, 是不容忽视的氮素损失途径。前人研究报道, 生物炭施用于菜地、茶园等可有效减少 NH_3 挥发^[17-19]。本研究对林地土壤验证了生物炭的这一优异效果。因此在林地集约化经营过程之初, 即可配施生物炭, 以避免高量氮肥投入导致土壤氮素的 NH_3 挥发损失, 提高氮肥利用效率及保护生态环境。本研究结果表明, 1:20 生物炭处理的 NH_3 控制效果显著优于 1:100 生物炭处理。那么如何选择一个合

适的生物炭施用量以达到环保——经济——高效的三赢, 需要进一步研究探索。

(2) 初步研究表明, 生物炭可以通过促进土壤固持 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和增加土壤水分含量, 实现高施氮林地土壤的 NH_3 挥发控制。生物炭表面呈现凹凸不平的孔隙特征, 具有较大的比表面积, 可以通过物理吸附作用吸附 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ^[21-23]; 而且生物炭表面有大量正负电荷以及高电荷密度的特性, 能够吸附固定水、土壤或沉积物中的极性和非极性分子等^[24]。同时本研究结果表明生物炭的添加, 增加了土壤水分含量, 这与前人针对郊区砂土^[22], 菜地^[25]等研究结果一致。此结果说明生物炭可以减少 NH_3 气通过水分挥发的损失, 进而有效减少 NH_3 挥发。

参考文献:

- [1] 孙海军, 闵 炬, 施卫明, 等. 硝化抑制剂施用对水稻产量与氨挥发影响[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1027-1033.
- [2] LAL R B, KISSEL D E, CABRERA M L, et al. Kinetics of urea hydrolysis in wheat residue [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1993, 25(8): 1033-1036.
- [3] 赵建诚. 毛竹氮素利用规律及影响因子研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [4] LEHMANN J, GAUNT J, RONDON M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: A review [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2): 403-427.
- [5] DEMIRBAS A. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004, 72(2): 243-248.
- [6] VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of bio-char from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. Plant & Soil, 2010, 327(1-2): 235-246.
- [7] 陈红霞, 杜章留, 郭 伟, 等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2930-2934.
- [8] MAJOR J, RONDON M, MOLINA D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol [J]. Plant Soil, 2010, 333(1-2): 117-128.
- [9] WANG J Y, ZHANG G M, XIONG Z Q, et al. Effects of biochar addition on N_2O and CO_2 emissions from two paddy soils [J]. Biology & Fertility of Soils, 2011, 47(8): 887-896.
- [10] ZHANG A F, CUI L Q, PAN G X, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 139(4): 469-475.
- [11] 罗 瑜, 赵小蓉, 李贵桐, 等. 生物质炭对不同 pH 值土壤矿质氮含量的影响 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 166-173.
- [12] 李 力, 刘 娅, 陆宇超, 等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展 [J]. 环境化学, 2011, 30(8): 1411-1421.

- [13] STEINER C, TEIXEIRA W G, LEHMANN J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. *Plant & Soil*, 2007, 291(2): 275-290.
- [14] ISWARAN V, JAUHRI K S, SEN A. Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1980, 12(2): 191-192.
- [15] LEHMANN J, DA SILVA J P, STEINER C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertiliser, manure and charcoal amendments[J]. *Plant & Soil*, 2003, 249(2): 343-357.
- [16] 李琦, 廖娜, 张妮, 等. 棉花秸秆及其生物炭对滴灌棉田氨挥发的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(10): 1987-1994.
- [17] 王峰, 陈玉真, 吴志丹, 等. 酸性茶园土壤氨挥发及其影响因素研究[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(4): 808-816.
- [18] 何飞飞, 梁云姗, 荣湘民, 等. 培养条件下生物炭对红壤菜地土壤氨挥发和土壤性质的影响[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(2): 299-304.
- [19] 王朝辉, 刘学军. 田间土壤氨挥发的原位测定一通气法[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 205-209.
- [20] 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, 1999.
- [21] 陈温福, 张伟明, 孟军, 等. 生物炭应用技术研究[J]. *中国工程科学*, 2011, 13(2): 83-89.
- [22] 王燕, 庞卓, 贾月, 等. 生物炭对北京郊区砂土持水力和氮淋溶特性影响的土柱模拟研究[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(9): 1820-1828.
- [23] 邢英, 李心清, 周志红, 等. 生物炭对水体中铵氮的吸附特征及其动力学研究[J]. *地球与环境*, 2011, 39(4): 511-516.
- [24] 刘玮晶, 刘焯, 高晓荔, 等. 外源生物炭对土壤中铵态氮素滞留效应的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(5): 962-968.
- [25] 李卓瑞, 韦高玲. 不同生物炭添加量对土壤中氮磷淋溶损失的影响[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(2): 333-338.

(上接第13页)

- [5] 王业社, 侯伯鑫, 杨强发, 等. 湖南省紫薇种质资源调查及应用前景分析[J]. *草业学报*, 2014, 23(5): 77-91.
- [6] ZHANG Q X. Studies on cultivars of crape-myrtle (*Lagerstroemia indica*) and their uses in urban greening[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1991, 13(4): 57-66.
- [7] 汤行昊, 范辉华, 李乾振, 等. 紫薇嫩枝扦插技术研究[J]. *河北林业科技*, 2016(4): 30-33.
- [8] 姚湘明. 紫薇嫩枝扦插基质研究[J]. *山东林业科技*, 2016(6): 39-42.
- [9] 孙哲, 陈彦. 不同浓度的吡啶丁酸对紫薇硬枝扦插的影响[J]. *北方园艺*, 2010(7): 103-104.
- [10] 王友平. 扦插茶苗的土壤消毒[J]. *农家顾问*, 1998(8): 24.
- [11] 朱湘渝, 王瑞玲, 黄东森. 欧美杨新无性系生根性研究[J]. *林业科学*, 1991, 27(2): 163-166.
- [12] 季孔庶, 王章荣, 陈天华. 马尾松插穗生根能力变异的研究[J]. *南京林业大学学报*, 1998, 22(3): 66-69.
- [13] 闫瑞凤, 周怡. 美国红紫薇扦插快繁技术研究[J]. *河南林业科技*, 2015, 35(1): 20-22.