

氮与生物质炭的关系研究进展

王梦雨, 方磊, 胡竞 (南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要 对铵态氮、硝态氮与生物质炭的关系研究进展与状况进行了综述, 并分析了生物质炭可以减少氮的积累淋失量等原因。最后, 对研究内容、结果以及不足之处进行了阐述与分析, 进而提出了今后的研究方向。

关键词 硝态氮; 铵态氮; 生物质炭; 相关程度; 淋溶

中图分类号 S156 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)19-0066-03

Research Progress on the Relationship between Nitrogen and Biomass Carbon

WANG Meng-yu, FANG Lei, HU Jing (College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract The research progress and status of relationship between ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and biomass carbon were reviewed, the reasons why biomass carbon can reduce nitrogen accumulation and moisture content were analyzed. Finally, the research content, results and shortcomings were expounded, and further research directions were proposed and analyzed.

Key words Nitrate nitrogen; Ammonium nitrogen; Biomass carbon; Degree of correlation; Leaching

氮素是农作物生长发育过程中的必需营养元素, 氮素参与农作物新陈代谢的所有过程。我国是农业大国, 氮素在我国农业中起着重要作用。2008 年我国氮肥施用量占全世界消耗总量的 1/3。尽管农业氮肥利用率已普遍优化, 但集约化农业生产的氮肥利用效率仍很低, 主要表现在氮的淋失, 如施用过量的氮肥会增加淋溶或气态氮挥发损失的风险^[1]。研究证明, 生物质炭对减少氮淋失有积极作用, 损失的氮主要是硝态氮和铵态氮。笔者综述了氮与生物质炭关系的研究进展, 以期今后生物质炭的合理利用提供借鉴。

1 生物质炭的概念及应用原理

生物质炭是由生物质(如作物秸秆、木屑等)在完全或部分缺氧以及相对较低温度($\leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下, 经热解炭化形成的一种含碳量极其丰富、性质稳定的产物, 本质属于黑炭的一种^[2]。现今, 生物质炭已经被用作土壤改良剂来提高土壤质量并减少营养物质的淋失损失, 这主要是由于生物质炭的多孔性可增加土壤的孔隙度和表面积, 影响了土壤的保水能力, 还有益于提高水分的导通性和团聚体的稳固性, 进而减少水分在土壤中的流动和养料的淋失损失^[3]。

至今, 生物质炭主要分为 2 种, 一种是从淤泥中提取的生物质炭, 其有大量孔隙, 含有很多矿物质, 如硝酸盐、三氯化磷和钾等。另一种是在高温环境下产出的生物质炭, 其含有更大的表面积、纳米孔隙和对有机化合物的强隔绝能力。因为热解产生的生物质炭与原来的生物质炭相比, 比表面积显著加大, 这有利于表面含有大量的含氧基团如羰基、酚基和醌基^[4]。

2 生物质炭与氮的关系研究

近年来, 生物质炭与氮的关系研究取得了显著进展。如生物质炭提高作物产量的试验发现, 土壤生物质炭的加入使不同种类的玉米产量提高了 2 倍^[5]。这种有益的效果可能要归因于营养成分的直接加入, 如生物质炭中含有的钾元

素、钙元素和镁元素, 尤其是当养分丰富的生物质炭作为原料被加入时。生物质炭也可激发土壤微生物的活动, 特别是对养分循环十分重要的菌根菌, 生物质炭中易挥发的物质可以增加微生物的活动能力, 因此可以导致氮元素的固定^[6]。生物质炭巨大的表面积、内部的孔隙及极性表面和非极性表面的存在使生物质炭能够吸收有机分子及其附带的养分^[7]。如生物质炭在农田中的应用可以提高对硝酸根的吸收, 硝酸根在作物根部区域停留的时间将增加, 因此, 施用了生物质炭的土壤将大大有利于硝酸根保持在土壤中, 以防止淋失, 增加作物对氮元素的利用效率, 同时硝酸根的淋失将会减少。进一步来讲, 除了能提高作物对水和养分的利用率之外, 生物质炭的施用还有益于固碳^[8]。

综上所述, 目前研究方向大致有生物质炭对土壤氮素循环的影响, 生物质炭对阳离子交换量和氮素利用的影响, 生物质炭对土壤中氮素滞留效应的影响, 生物质炭对各种作物氮素利用率的影响, 生物质炭对不同类型土壤影响的差异, 生物质炭温室气体排的影响, 生物质炭对土壤有机质活性的影响, 这些研究方向都和生物质炭与氮素研究程度有关, 是当前研究的热点。

生物质炭与硝态氮和铵态氮关系研究中, 大多数科学家采用人工模拟土柱的方法进行硝态氮和铵态氮穿透淋溶试验, 分别模拟了不同生物质炭施用量的人工模拟土柱。结果表明, 不同处理的土壤淋溶速率随着生物质炭添加量的增加而显著降低, 不同处理土壤中铵态氮和硝态氮的穿透曲线具有相同趋势。除硝态氮的浓度峰值与容重呈正显著的相关性外, 硝态氮和铵态氮的累积淋溶量和浓度峰值与土壤容重、孔隙度、有机碳、阳离子交换量(CEC)及生物质炭量均呈极显著负相关^[9]。淋溶作用是土壤氮肥损失途径之一, 也是水体氮素污染的重要途径。研究证明, 随着加入生物质炭比例的增加, 土壤的淋溶速率大幅减缓, 即生物质炭能显著减少土壤铵态氮和硝态氮的淋溶速率, 延长淋溶时间, 减少累计淋失量^[9]。

生物质炭与铵态氮的关系。铵态氮肥适用于水田, 也适

作者简介 王梦雨(1996—), 女, 河南郑州人, 本科生, 专业: 农业资源与环境。

收稿日期 2017-04-30

用于旱地。铵态氮主要被吸附和固定在土壤胶体表面和胶体晶格中,移动性较小,易被土壤吸附,因此目前我国主要的氮肥是铵态氮肥。但施用于土壤表面或撒施于水田,氨挥发的损失较大,为了减少这种损失和氮淋失,可在土壤中加入生物质炭。土柱试验表明,淋溶初期铵态氮淋出量较大,然后降低,降低过程中出现铵态氮的淋失量高峰,最后逐渐下降至稳定。在淋溶初期淋溶液中的铵态氮含量较高,主要是由于加水平衡期间过量的铵态氮素向下移动,这部分铵态氮主要是分布在水相中的铵态氮,因此可以随水体向下运移;而后续淋出的可能是水与土壤交换态铵态氮^[10]。淋洗中期,生物质炭添加后,铵态氮淋失量明显降低,且铵态氮的向下淋失同样得到明显延缓;铵态氮素的淋失峰值随生物炭添加量的增大而延后,相比之下,不加生物炭的土壤峰值出现最早^[11]。随着生物质炭添加比例的增加,不同处理的土壤平均淋溶速率显著降低,这是由于具有极大比表面积生物质炭的颗粒粒径小于土壤颗粒粒径,溶液在土柱中向下运移时,生物质炭颗粒会堵塞土壤的毛细孔隙,从而导致土壤结构发生变化。除外,生物质炭具有较强的吸附能力,可将土壤中的杂质、微小悬浮物吸附,从而堵塞了土壤中水分流通路径,导致土柱中淋溶速率显著降低^[12]。而生物质炭对氮的吸附能力是由于生物质炭具有多孔隙结构,比表面积大,具有大量的表面负电荷及高电荷密度,能吸附固定水、土壤或沉积物中的阳离子^[13-17]。生物质炭被氧化后,其表面可形成含氧基团(如羰基、酚基和醌基等),从而增加了负电荷量和阳离子交换量,能够有效吸附硝酸根和铵根,使其淋失量减少,淋失峰值延后^[18]。

生物质炭与硝态氮的关系。硝态氮肥适宜于气候冷凉的地区和季节,在旱地分次施用,肥效快而明显,因此硝态氮肥也是我国重要的肥料^[19]。但硝态氮淋失不仅是肥料的淋失,也是一个环境问题,因为硝酸盐不仅会造成近岸海域富营养化、增加大气氨或氮氧化物污染物、加速土壤酸化、消耗土壤肥力并降低作物产量,还会污染地下水,含有硝酸盐的饮用水可能导致人们高铁血红蛋白血症^[8]。如在以红壤为主的农耕地区,农民使用大量的氮肥以求提高玉米产量,导致氮的总量远远超过玉米所需的氮含量,过量的硝态氮经过淋失,对环境产生了不良影响^[20]。因此,减少硝态氮淋失就显得十分重要。Kwon 等^[21]研究证明,生物质炭可以减少土壤中硝态氮淋失,提高土壤对硝态氮的吸附能力,增加滞留时间,提高土壤氮储量,是良好的土壤改良剂。靖彦等^[9]研究发现,生物质炭对硝态氮的穿透曲线有重要影响。Jin 等^[8]研究发现,硝态氮淋溶总时间随着生物质炭的施用量逐渐增加,而其累计淋失量、峰值浓度、水通量逐步减少;淋溶总时间与生物质炭施用率之间呈正相关,硝态氮的累计淋失量、峰值浓度、水通量与生物质炭的施用率呈负相关^[9]。这是由于生物质炭被氧化后,其表面可形成含氧基团,增加了负电荷量和阳离子交换量,具有很强的吸附能力。因此,添加生物质炭可以改善土壤的理化性质(容重、孔隙度、有机质和 ECE 等),提高土壤的氮储量,减少硝化和反硝化的氮素

损失,这与累计淋失量和相对浓度峰值有很大的相关程度。

3 现阶段生物质炭与氮的研究方向

国内外对氮与生物质炭的研究很多,方向各不相同。越来越多的研究表明,生物质炭对土壤生态系统氮循环起到不可忽视的作用。国外研究内容主要包括以下几个方面:

(1) 生物质炭的输入对土壤生态系统氮素循环功能微生物的影响,尤其是微生物生态学方面的影响机理。研究结果表明,生物质炭对土壤氮素周转作用显著,德国 Lehmann 教授等^[22]研究指出,土壤中加入生物质炭后,土壤通气状况有所改善,微生物的反硝化作用被抑制,氮氧化物的排放可以被抑制,使土壤中的全氮储量增加。Rondon 等^[23]在利用同位素标记法研究施加生物质炭对豆类作物生物固氮作用的影响中发现,向土壤中施加适量的生物质炭能够显著提高土壤生物固氮效率,推测生物质炭的施入提高了土壤 B 和 Mo 的含量,进而促进土壤固氮菌生物固氮作用。Quilliam 等^[24]在研究生物质炭输入对三叶草根固氮效果的影响试验中发现,尽管生物质炭的输入并未提高固氮根瘤数量,但是能够显著提高固氮酶活性。但这些研究结果的解释往往基于生物质炭的本身属性及对土壤中可能存在的变量的推测,缺乏诸如功能微生物丰度、多样性及功能酶活性等直接的证据^[25]。因此,分子生物学方面的深入研究对于了解生物质炭在土壤氮素循环中的作用机理具有重要的指导意义。

(2) 系统长期评价生物质炭对不同土质土壤氮素周转的影响。目前,国际上对生物质炭的研究基本都是温室与实验室的短期研究结果,与真实土壤环境有一定差异,试验结果不够可靠,且目前不同类型土壤对试验结果造成的差异难以评估。因此,需要对不同类型土壤进行系统、长期试验,为氮肥合理施用提供可靠的理论依据。

(3) 生物质炭与氮肥的交互作用。目前的研究结果显示,生物质炭与氮肥配合施用有一定的协同作用^[25],能够有效提高氮肥的利用率,但施肥原理尚不明确,是目前的一个研究热点。

(4) 生物质炭降解过程与土壤氮素的相互作用。Spokas 等^[26]研究证明,生物质炭在土壤中能够释放一定量的乙烯作用于土壤微生物群落,对产生 N_2O 的反硝化菌造成一定的消极影响,即生物质炭释放乙烯影响土壤氮素循环功能微生物的生理活性。同时,生物质炭降解对土壤有机质的影响也可能间接作用于氮素循环。这项研究对于生物质资源化利用具有重要的指导意义和科学价值。

(5) 生物质炭-土壤-作物之间的相互作用。生物质炭对硝酸根和铵根具有很强的吸附特性,可有效降低农田土壤氨的挥发,显著减少土壤养分淋失,提高作物产量^[11]。奥地利科学家 Christoph Steiner 博士将生物质炭与堆肥结合,既解决了堆肥过程中氮素损失的问题,又提高了堆肥产品的品质和肥效。另外,生物质炭能够将吸附的氨气作为植物可利用性氮素储存于土壤,该研究将在改善土壤性能、提高作物产量及降低氮素流失等方面发挥多重效益。

(6) 生物质炭对环境中的氮污染起到一定的缓解作用。

Mizuta 等^[17]研究发现,竹炭可有效吸附地表和地下水中的硝酸根,以防止地下水和地表水的富营养化。这项研究对未来农业生态环境可持续发展具有重要意义。

近年来,我国的研究也同样取得了显著的进展。郭伟等^[27]通过3年华北高产农田定位试验发现,在生物质炭施用3年后,0~15 cm 耕层土壤中的全氮储量均有大幅提升。稻田试验中,单一施用生物质炭使得 N_2O 的排放量减少了约25%,而生物质炭与氮肥的配合施用使 N_2O 的排放减少了40%~51%^[28];刘玉学等^[29]以考古发现的古稻田土壤黑土层,用封存于数千年前的古稻田中的秸秆炭为例说明了生物质炭化还田可以成为一种有效的碳捕捉与储存的方法。

虽然现在实验室基本研究出生物质炭对氮淋失的影响,但不同性状的生物质炭添加到不同质地的土壤中,引起土壤对氮的吸附作用也会不同。因此,研究不同生物质炭对不同土壤的影响非常必要,这有利于合理确定生物质炭的施用种类和施用量。对于在氮淋失的红壤地区提供生物质炭所造成的长期影响知之甚少,因此,研究作为土壤改良剂的生物质炭对硝态氮运移的影响是一个需要重点的研究方向。大量、长期施用生物质炭可能存在的环境风险与长期效果、生物质炭的碳汇稳定性和生态效应尚不完全清楚;生物质炭对土壤和农业生态系统环境功能影响的机理目前还缺乏系统全面的研究。生物质炭基肥料的效果改善研究还处于起步阶段,且目前的研究仍停留在室内模拟与小规模的田间理论研究阶段,后续生物质炭农业应用研究需要在以上几个方面予以加强^[30]。

参考文献

- [1] TOPOLIANITZ S, PONGE J, BALLOF S. Manioc peel and charcoal: A potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics[J]. Biol Fertil Soils, 2005, 41(1): 15–21.
- [2] 宋延静, 龚骏. 施用生物质炭对土壤生态系统功能的影响[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2010, 26(4): 361–365.
- [3] 张慧, 代静玉, 李辉信. 炭化秸秆对水体中氨氮和磷的吸附性能及其与粉煤灰和炉渣的对比[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2389–2394.
- [4] GLASER B, HAUMAIER L, GUGGENBERGER G, et al. Black carbon in soils: The use of benzene-carboxylic acids as specific markers[J]. Organic geo chemistry, 1998, 29(4): 811–819.
- [5] 金修宽. 砂质潮土小麦玉米轮作施用生物炭效果研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014: 3–4.
- [6] 张晗芝, 黄云, 刘钢, 等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2713–2717.
- [7] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.

- [8] JIN Z W, CHEN X M, CHEN C, et al. Biochar impact on nitrate leaching in upland red soil, China[J]. Environ Earth Sci, 2016, 75(14): 1109–1110.
- [9] 靖彦, 陈效民, 李秋霞, 等. 生物质炭对红壤中硝态氮和铵态氮的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 265–269.
- [10] 罗煜, 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): 166–168.
- [11] 刘玮晶, 刘烨, 高晓荔, 等. 外源生物质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.
- [12] 高海英, 陈心想, 张雯, 等. 生物质炭及炭基硝酸铵肥料理化性质研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 14–20.
- [13] 陈旭超, 胡志彪, 陈杰斌, 等. 竹炭对铜(II)离子的吸附性能研究[J]. 龙岩学院学报, 2007, 25(6): 78–80.
- [14] 王桂仙, 张启伟. 竹炭对溶液中 Zn^{2+} 的吸附行为研究[J]. 生物质化学工程, 2006, 40(3): 17–20.
- [15] 陈国青, 周靖平, 高琦, 等. 超细竹炭对水中 Pb^{2+} 的吸附效果[J]. 解放军预防医学杂志, 2006, 24(6): 405–407.
- [16] 张启伟, 王桂仙. 竹炭对溶液中汞(II)离子的吸附行为研究[J]. 林业科学, 2006, 42(9): 102–105.
- [17] MIZUTA K, MATSUMOTO T, HATATE Y, et al. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal[J]. Bioresource technology, 2004, 95: 255–257.
- [18] MIZUTA K, MASTUMOTO T, HATATE K, et al. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal[J]. Bioresource technology, 2004, 95(3): 255–257.
- [19] 冯波, 孔令安, 张宾, 等. 施氮量对垄作小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(6): 1107–1114.
- [20] 陆宇燕, 李丕鹏. 氮肥污染的危害[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(1): 1–5.
- [21] KWON S, PIGNATELLO J J. Effect of natural organics substances on the surface and adsorptive properties of environmental black carbon (char): Pseudo pore block age by model lipid components and its implications for N_2 -probed surface properties of natural sorbents[J]. Environmental science and technology, 2005, 39(20): 7932–7939.
- [22] 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: Fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. Plant and soil, 2003, 249(2): 343–357.
- [23] RONDON M A, LEHMANN J, RAMÍREZ J, et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions[J]. Biology and fertility of soils, 2007, 43: 699–708.
- [24] QUILLIAM R S, DELUCA T H, JONES D L. Biochar application reduces nodulation but increases nitrogenase activity in clover[J]. Plant and soil, 2013, 366(1): 83–92.
- [25] 潘逸凡, 杨敏, 董达, 等. 生物质炭对土壤氮素循环的影响及其机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2666–2673.
- [26] SPOKAS K A, BAKER J M, REICOSKY D C. Ethylene: Potential key for biochar amendment impacts[J]. Plant and soil, 2010, 333: 443–452.
- [27] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 425–428.
- [28] 王典, 张祥, 姜存仓, 等. 生物质炭改良土壤及对作物效应的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 963–967.
- [29] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977–982.
- [30] 孔丝纺, 姚兴成, 张江勇, 等. 生物质炭的特性及其应用的研究进展[J]. 生态环境学报, 2015, 24(4): 716–723.

本刊提示 《安徽农业科学》是全国为数不多各大数据库同时收录的农业刊物之一。面向全国,融学术性、指导性于一体,既刊登作物育种与栽培、植物保护、土壤肥料、园艺、林业、蚕桑、烟草、茶叶、畜牧兽医、水产及其他农业相关科学的研究报告、综述、研究简报;也发表农业经济、农业科技管理、农业发展战略及农业产业化等方面的研究论文、调查报告和对策性文章等。