

生物质炭与氮肥配施对土壤氮素变化和烤烟氮素利用的影响^①

吴嘉楠¹, 闫海涛¹, 彭桂新², 吕世俊¹, 于建春², 张璐¹, 杨永锋², 刘国顺^{1*}

(1 国家烟草栽培生理生化研究中心/烟草行业烟草栽培重点实验室/河南省生物炭工程技术研究中心,

郑州 450002; 2 河南中烟工业有限公司, 郑州 450000)

摘 要:为探明生物质炭与氮肥配施对土壤中氮素循环和烤烟氮素利用的影响, 采用盆栽试验, 设置 4 个处理: 5 g/盆纯氮(CK), 5 g/盆纯氮+100 g/盆生物质炭(T1), 3.5 g/盆纯氮+100 g/盆生物质炭(T2), 2 g/盆纯氮+100 g/盆生物质炭(T3), 利用 ¹⁵N 标记的氮肥, 测定生物质炭与氮肥配施条件下烤烟生长不同时期土壤中 ¹⁵N 的残留量、不同形态氮素的含量、土壤微生物生物量氮含量和移栽后 90 d 烤烟烟叶对不同氮源氮素的累积量。试验结果表明: 相同施氮量时, 生物质炭的施用可以提高土壤中 ¹⁵N 残留量、土壤无机氮、碱解氮、微生物量氮的含量和叶片对氮素的累积量。生物质炭与氮肥配施时提高了肥料氮在烟叶中的占比, 使 ¹⁵N 利用率提高了 25.4% ~ 63.3%。与对照相比, T2 处理植烟土壤中 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、碱解氮在烤烟移栽后 75 d 比对照分别提高了 17.3%、8.0%、7.2%, 碱解氮和微生物生物量氮的含量在烤烟移栽后 90 d 也高于对照。在本试验条件下, 生物质炭与氮肥配施对土壤氮素的影响是显著的, 施用生物质炭时减少 30% 氮肥用量是可行的。

关键词: 生物质炭; 氮肥; ¹⁵N; 无机氮; 氮素分配; 氮素利用率

中图分类号: S572 **文献标识码:** A

氮素是影响烟株形态建成的重要元素之一, 是蛋白质、氨基酸、核酸、叶绿素等的重要组成部分, 也是烟碱的主要构成元素, 对烟叶的产量和品质有着至关重要的影响。土壤中的氮素水平直接影响烤烟对氮素的吸收利用^[1], 而施肥是调节土壤氮素水平的一个主要方式, 但施入土壤中的氮肥除了被植株吸收利用之外, 一部分却随着降水和微生物等的作用损失了^[2]。近年来, 由于氮肥的过量施用造成的资源浪费和环境问题日趋严重, 提高肥料利用率, 减少氮肥施用迫在眉睫^[3]。

生物质炭是植物残体、有机废弃物和粪肥等生物在低氧或缺氧条件下经过高温热解而产生的稳定的富碳产物^[4]。已有许多研究报道指出生物质炭可以减少土壤中 NO₃⁻-N 的淋失^[5-6], 减少碱性土壤中 NO 的排放^[7], 提高 NH₄⁺-N 的持留作用^[8], 改变氮素的迁移动态^[9], 提高氮肥的利用效率。一些在菠菜、红枣等上的研究表明, 生物质炭与氮肥配施可以提高土壤养分含量, 提高作物产量和品质^[10-11]。关于生物质炭

对烟草生长影响的研究已有不少, 但大都是集中在生物质炭的用量上^[12-14], 而生物质炭与氮肥配施的研究也多集中在对烤烟产质量和土壤特性的影响上^[15-16], 针对烤烟氮素积累和土壤氮循环影响的研究较少。

利用 ¹⁵N 同位素示踪技术可以检测到土壤中肥料氮的含量变化和烟株中不同氮源的含量, 进而可以分析土壤中肥料氮与土壤中无机氮、碱解氮、微生物生物量氮等指标的关系, 较精确地计算出烤烟对于当季肥料的利用率。因此, 本试验采用 ¹⁵N 同位素示踪法, 在施用生物质炭的条件下设置不同的减氮梯度, 探索生物质炭与不同用量氮肥配施条件下土壤中氮素变化及其与肥料氮的关系, 研究烟叶对不同来源氮素的累积和烤烟对肥料氮的利用率, 以期对烤烟生产中生物质炭施用条件下氮肥运筹提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2016 年 4 月至 9 月在河南农业大学许昌

①基金项目: 植烟土壤肥力培育及提高肥料利用率技术研究项目(30800665)和基于土壤碳氮平衡的烟草专用肥工程化技术研发项目(ZW2014005)资助。

* 通讯作者(liugsh1851@163.com)

作者简介: 吴嘉楠(1993—), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培方向的研究。E-mail: 727539468@qq.com

校区现代烟草农业科技园进行。供试烤烟品种为中烟 100, 采用盆栽方式, 盆高 40 cm, 盆口直径 37 cm, 盆底直径 27 cm, 每盆装土 25 kg, 土壤类型为砂壤土, 有机质含量 12.77 g/kg, 碱解氮 81.6 mg/kg, 有效磷 2.5 mg/kg, 速效钾 132.7 mg/kg, pH 7.56。

试验生物质炭为在 400 °C 条件下制成的花生壳炭, 全碳、全氮含量为 434.4 g/kg 和 13.2 g/kg, pH 8.25; 氮肥采用 ^{15}N 标记硫酸铵(上海化工研究院), 丰度为 10.16%。每个处理标记 20 株。磷肥为磷酸氢二钾, 钾肥为硫酸钾和磷酸氢二钾, 对照处理氮、磷、钾比例(N:P₂O₅:K₂O)为 1:1.5:3, 其他处理磷钾肥用量不变, 具体氮肥用量和生物质炭用量见表 1。移栽前将生物质炭、肥料和土壤混匀后装入盆中。室外自然条件下将塑料盆按 120 cm×50 cm 的行株距埋于垄上, 5 月 7 日移栽烟苗, 移栽后 70 d 打顶。

表 1 试验设计
Table 1 Test design

试验处理	N(g/盆)	P ₂ O ₅ (g/盆)	K ₂ O(g/盆)	生物质炭(g/盆)
CK	5	7.5	15	0
T1	5	7.5	15	100
T2	3.5	7.5	15	100
T3	2	7.5	15	100

1.2 取样与测定

从烤烟移栽后 30 d 开始取土样。土壤样品分为两部分, 一部分立即过筛(20 目), 测定土壤含水率、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和微生物生物量氮的含量; 另一部分风干过筛后(18 目)用于其他养分含量的测定。移栽后 90 d 每个处理选取 3 株有代表性的烟株, 从根部砍断, 并将盆倒扣取出整个根系, 抖掉土块, 用清水冲洗干净。将烟株分为根、茎、叶 3 部分, 均在 105 °C 杀青 30 min 后, 65 °C 烘干称重, 随后粉碎过筛后用于测定植株氮含量和 ^{15}N 丰度。

土壤 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、碱解氮、微生物生物量氮分别采用 KCl 浸提-靛酚蓝比色法^[17]、紫外分光光度法^[18]、碱解扩散法^[17]和氯仿熏蒸法^[19]进行测定; 样品中全氮含量用全自动 CN 分析仪(vario MAX CN, 德国)进行测定; ^{15}N 百分超采用元素分析仪和同位素质谱分析联用仪(型号: Flash 2000 Delta ADVANTAGE)测定。

1.3 数据处理

本文有关氮肥利用的计算公式为: 氮肥利用率(%)=植物吸收的肥料氮量/施氮量×100; 氮素残留率(%)=土壤中残留 ^{15}N 的量/施入土壤中氮素的量×100; 氮素回收率(%)=氮素利用率(%) + 氮素残留率

(%); 氮素损失率(%)=1-氮素回收率(%); 氮素依存率(%)=植物吸收的土壤氮的量/植株氮素总量×100。

本研究利用 Microsoft Excel 2016 录入数据和作图, 采用 SPSS 22.0 对数据进行多重比较(Duncan 法), 文中图表里不同的小写字母表示不同处理之间差异达到显著水平($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤中 ^{15}N 丰度变化

由图 1 可以看出, 在烟株的整个生育期, 由于烤烟生长吸收和不同途径的流失, 随着时间的推移, 土壤中 ^{15}N 的含量逐渐下降。烤烟移栽后 30~60 d, 土壤中肥料氮的下降幅度最大, 不同处理分别达到 32.5%、41.9%、30.6%、29.1%, 可能是因为这段时期烟株处于旺长期, 对氮素的需求量大, 不同处理土壤中的氮肥含量表现为 T1>CK>T2>T3; 移栽后 60~90 d, 土壤中的肥料氮含量下降幅度都比较小, 60 d 时 ^{15}N 的下降幅度为 1.0%~5.9%, 移栽后 90 d, T1 处理的 ^{15}N 下降最多(0.1%), CK、T2、T3 处理分别下降了 0.02%、0.04% 和 0.02%。

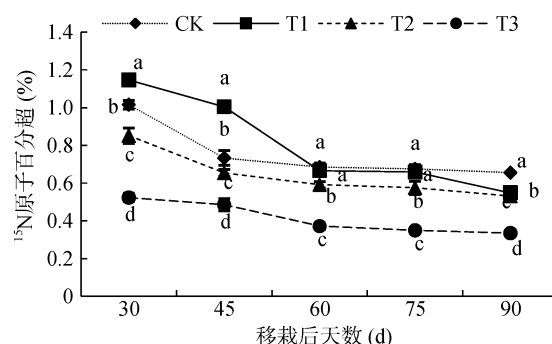


图 1 生物质炭与氮肥配施对土壤中 ^{15}N 丰度的影响
Fig.1 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil ^{15}N abundances

2.2 土壤中 NO₃⁻-N 含量的变化

土壤中的 NO₃⁻-N 是烟株能够直接利用的氮素之一。从图 2 中可以看出, 在本试验条件下, 移栽后 30~90 d 土壤 NO₃⁻-N 的含量呈现出先升高后降低的趋势, 可能是施入土壤中的 NH₄⁺-N 在土壤环境的作用下逐渐转化为 NO₃⁻-N, 最后又被利用的原因。但不同处理 NO₃⁻-N 最高含量出现的时间不同。CK、T1 两个处理的 NO₃⁻-N 含量在烤烟移栽后的 30~60 d 不断升高, 在 60 d 时达到最大值 59.97 mg/kg 和 63.80 mg/kg; T2、T3 处理的 NO₃⁻-N 含量在移栽后 60 d 开始快速下降。在施氮量相同的情况下, 施用生物质炭可以使土壤中的 NO₃⁻-N 含量提高 0.62~11.36 mg/kg; 生物质炭与氮肥配施的情况下, 土壤中的 NO₃⁻-N 含

量随着施氮量的升高而升高。在烤烟生长的中前期,土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量差异较大,在移栽后 75~90 d,土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量表现为 T1 处理最大, T3 处理最小, T2 和 CK 处理的差异不显著,说明施用生物质炭时减氮 30% 不会造成烟株生长后期土壤中氮素供应不足,烟株脱肥的现象。

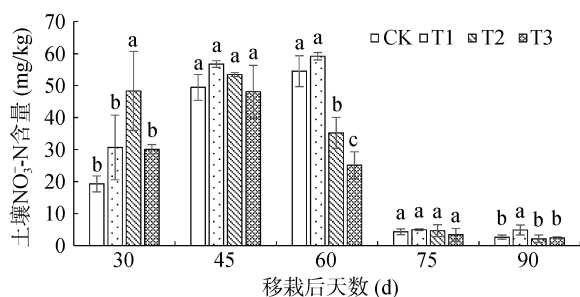


图 2 生物质炭与氮肥配施对土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的影响
Fig. 2 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil $\text{NO}_3^- \text{-N}$ contents

2.3 土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量的变化

从图 3 中可以看出,与土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 相比, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的含量在烟草的整个生育期都处于较低水平,在烤烟移栽后的 30~90 d,土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的含量呈现出逐渐降低的趋势,除了被植株吸收利用之外,还与 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 易被固定和易转化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的特性有关。同一时期不同处理的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量有所差异,在整个大田生育期,基本上表现为 T1 处理最高, T3 处理含量最低, CK 和 T2 处理的含量在不同时期差异不显著。同一氮素水平下,移栽后 75~90 d 时,同一时期 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的含量表现为 $\text{T1} > \text{CK}$,并且达到显著水平,说明生物质炭可能延缓了烤烟生长后期土壤 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的损失。在均施用生物质炭的条件下,土壤中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量随着施氮量的降低而降低。

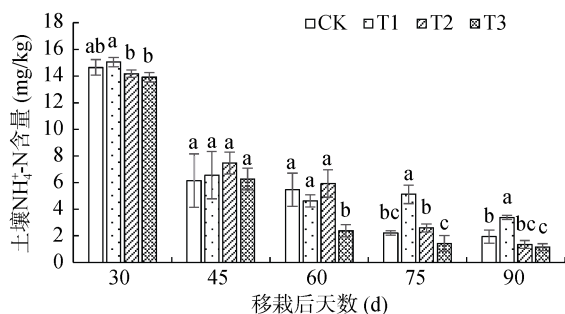


图 3 生物质炭和氮肥配施对土壤 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量的影响
Fig. 3 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ contents

2.4 土壤无机氮含量变化

土壤无机氮是土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的总

和,是烤烟可以直接吸收利用的氮素。从图 4 中可以看出,在整个烟草生育期土壤中无机氮含量先增加后降低,最后趋于平缓的趋势,基本与土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量变化一致。在施氮量一致的情况下,生物质炭的施用可以使土壤中无机氮的含量提高 3.52~11.77 mg/kg;同施生物质炭时,施氮量越高,土壤中无机氮含量越高。从整个生育期来看,生物质炭+减氮 30% 的处理(T2)土壤无机氮含量与对照差异不大,生物质炭+减氮 60% 的处理(T3)土壤无机氮含量较低。

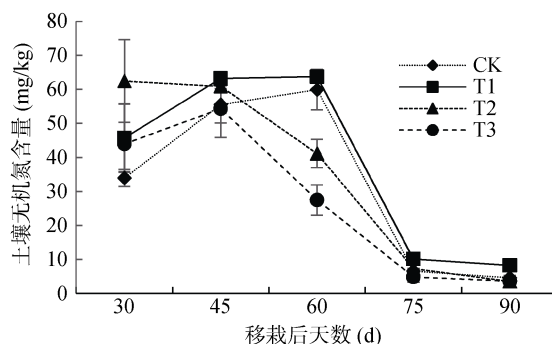


图 4 生物质炭和氮肥配施对土壤无机氮含量的影响
Fig. 4 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil inorganic nitrogen contents

2.5 土壤碱解氮含量变化

土壤碱解氮是衡量土壤供氮能力的重要指标。从图 5 中可以看出,在烤烟的整个大田生长期,土壤中的碱解氮含量呈现出先升高后降低的趋势,在移栽后 45 d 出现峰值。移栽后 30~60 d,对照土壤中碱解氮含量一直处于最高水平,施用生物质炭处理的土壤碱解氮含量随着施氮量的降低而降低,但是各处理之间的差异并不显著。在移栽后 90 d,对照处理碱解氮的含量下降了 24.1%,明显高于其他处理,说明氮肥与生物质炭配施可以提高烤烟生长后期土壤速效氮的含量。因此,在施用生物质炭的基础上,适量的减氮是可以保证烟株生长后期土壤中速效氮的含量。

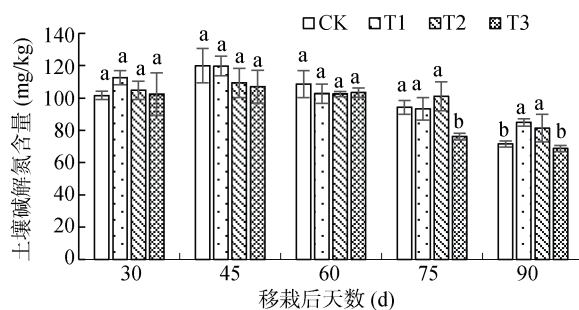


图 5 生物质炭和氮肥配施对土壤碱解氮含量的影响
Fig. 5 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil alkaline nitrogen contents

2.6 土壤微生物生物量氮含量的变化

土壤微生物生物量氮是土壤有机氮的重要组成部分,可以调节土壤氮素循环,能在一定程度上表征土壤中微生物量。从图 6 中可以看出,在整个生育期土壤微生物生物量氮的含量呈现出升高-降低-升高的趋势,两个峰值分别出现在移栽后 45 d 和 75 d,含量最高的为 T1 处理,达到 13.01 mg/kg;在施用生物质炭的条件下,氮肥施用量越高,微生物生物量氮含量越高,在烤烟移栽后 60 d,三个处理之间微生物生物量氮含量差异达到显著水平;氮肥施用量一致的情况下,施用生物质炭提高了土壤的微生物生物量氮含量,提高幅度达 7.1%~50.4%,在烤烟生长的中后期达到显著水平。烤烟移栽后 75~90 d,微生物生物量氮含量开始下降,降幅大小为 CK>T3>T1>T2。由 CK 和 T3 处理的差异可以看出,氮肥施用不足的情况下,土壤微生物量氮的含量明显降低,说明施用生物质炭时减氮要适度。

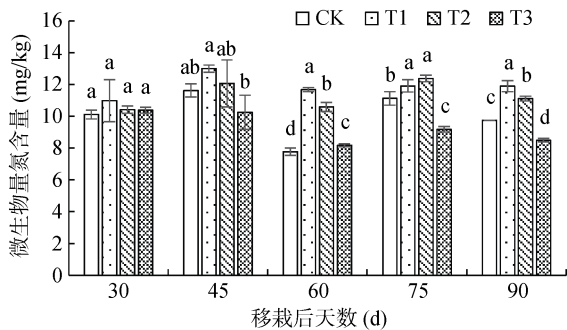


图 6 生物质炭与氮肥配施对土壤微生物生物量氮含量的影响

Fig. 6 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil SMBN contents

2.7 烤烟叶片对不同来源氮素的积累

从表 2 中可以看出,移栽后 90 d,不同处理烟叶

总氮素累积量表现为 T1>T2>CK>T3,说明同等施氮量条件下,生物质炭的施用促进了叶片的氮素累积。均施用生物质炭的条件下,烟叶对氮素的累积量随着施氮量的下降而下降。T1 处理烟叶对于肥料氮和土壤氮的累积量显著高于其他处理,T2 处理对肥料氮的积累量与 CK 没有显著差异,但对土壤氮的累积显著高于 CK,说明生物质炭与氮肥配施促进了烤烟对土壤氮的累积。4 个处理土壤氮的占比均大于肥料氮,说明烤烟在后期以吸收土壤氮为主。

表 2 生物质炭与氮肥配施烤烟叶片对不同氮源的累积
Table 2 Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on different-source nitrogen accumulation in flue-cured tobacco leaves

处理	肥料氮		土壤氮		氮素积累
	吸收量(g/株)	占比(%)	吸收量(g/株)	占比(%)	
CK	0.65 b	47.16	0.73 c	52.84	1.38 c
T1	1.13 a	27.65	2.96 a	72.35	4.1 a
T2	0.57 b	38.43	0.91 b	61.57	1.47 b
T3	0.39 c	34.81	0.73 c	65.19	1.12 d

2.8 烤烟氮素利用率

4 个处理的氮肥当季利用率为 22.6%~37.0%,同等施氮量条件下,只施用化肥的处理 ¹⁵N 利用率显著低于施用生物质炭的处理,说明生物质炭的施用可以提高烤烟对当季氮肥的利用率。与 CK 相比,生物质炭与氮肥配施的处理 ¹⁵N 利用率提高了 25.4%~63.6%,¹⁵N 的损失率降低了 24.7%~51.7%,对土壤氮素依存率降低了 7.4%~18.6%,T3 处理的氮肥回收率最高损失率最低,但是由于氮肥施用量太低,烟株氮素累积量偏低。T2 处理的氮肥利用率和回收率都比较高,损失率较低,并且能够维持烟株正常生长,可见施用生物质炭时减氮 30% 可以提高氮肥的回收率,减少烟株对于土壤氮素的依存率。

表 3 生物质炭与氮肥配施烤烟生长季肥料氮的去向

Table 3 Effects of different biochar addition combined with nitrogen fertilizer on fertilizer-N use efficiencies, residues, recoveries and loss rates of flue-cured tobacco

处理	¹⁵ N 利用率(%)	¹⁵ N 土壤残留率(%)	¹⁵ N 总回收率(%)	¹⁵ N 损失率(%)	土壤氮素依存率(%)
CK	22.63 d	40.92 b	63.55 d	36.40 a	77.37 a
T1	37.03 a	35.69 c	72.72 c	27.41 b	62.97 d
T2	28.37 c	48.23 a	76.61 b	23.34 c	71.63 b
T3	33.11 b	49.31 a	82.42 a	17.58 d	66.89 c

3 讨论

氮素是烤烟生长的必需元素,其含量不仅影响到烟株的生长发育,对于烤后烟叶的香吃味也有重要的影响。本试验研究表明,在施氮量相同的情况下,生

物质炭的施用促进了烟叶对土壤氮和肥料氮的累积,与张伟明等^[20]的研究结果相似,可能是因为生物质炭的施用提高了土壤中可利用氮素的含量,从而促进了烤烟的生长。生物质炭与氮肥配施提高了烤烟烟叶中肥料氮的占比,但肥料氮的比例仍然低于土壤氮,

说明烤烟在生长后期以土壤氮为主,与王鹏等^[21]的报道一致。因此,在烤烟种植时土壤肥力不宜过高,防止烟叶后期贪青晚熟。

提高肥料利用率对于节约化肥、减少面源污染,保护环境具有重要意义。本试验条件下,烟株的氮素利用率为 22.6%~37.0%,其中生物质炭与氮肥配施的处理氮肥利用率显著高于常规施肥处理,氮肥损失率也明显降低,对土壤氮素的依存率也有所下降。当前普遍认为氮素利用率随着施氮量的降低而升高,在本试验条件下 T1 处理的氮素利用率却高于 T3 处理,可能是因为在移栽后 90 d T1 处理氮素供应较大,烟株氮代谢仍然处于较高水平,因此氮素含量过高。生物质炭与氮肥配施可以提高土壤氮素利用率,可能的原因要从不同处理对于土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、碱解氮和微生物量氮等的影响多个方面来讨论:

施入土壤中的肥料氮有被作物吸收利用、残留在土壤中和通过不同途径的散失 3 个去向。在烤烟生长的前期,生物质炭与氮肥配施的处理土壤中 ^{15}N 丰度下降幅度均低于 CK 处理,而烟株在前期氮素积累量较小,因此前期土壤 ^{15}N 丰度的下降主要是氮素流失,说明生物质炭与氮肥配施有效地减缓了烟株生长前期肥料氮素的损失,这可能是因为生物质炭多孔结构和巨大的比表面积使其能够增加对阳离子的吸附能力,提高了土壤的阳离子交换量^[22-23],减少了肥料氮的流失。国内外研究还表明,生物质炭巨大的吸附性能可以使其在土壤中形成大粒径的团聚体,提高土壤对养分的保留作用^[24-25]。生物质炭还可以降低土壤容重提高土壤的通气性,从而降低土壤的反硝化作用^[26-27],减少土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的损失^[28-29]。在烟株生长的中后期,土壤中 ^{15}N 丰度下降幅度较大,可能是因为进入旺长期后烟株对氮素的需求量迅速增加,土壤中的微生物活性增强,烟株的吸收以及多种途径的流失共同导致了 3 个处理的土壤中肥料氮的含量迅速下降。在移栽后 90 d 时,生物质炭与氮肥配施处理土壤中 ^{15}N 的丰度随着施氮量的降低而降低,一些研究报道土壤中总氮素径流流失量随着施氮量的增加而增加^[30-31],说明在生产实践中适量的减少氮肥的施用,可以降低肥料的损失。

土壤无机氮是土壤中可以直接被植株根系吸收利用的氮素,主要由 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 组成,氮肥施用量和生物质炭的施用会影响土壤无机氮的含量。有研究表明,土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量受氮肥用量的影响比较大^[32],肥料氮对土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的调控主要集中在烟株生长的前期^[33]。本试验中不同处理在不同时期土

壤无机氮的含量变化较大,但是其含量与土壤中 ^{15}N 丰度均呈极显著的正相关关系,说明可以通过调节氮肥用量调控土壤中无机氮的含量。在本试验条件下,生物质炭与氮肥配施可以提高土壤中无机氮的含量,但 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在不同时期的变化规律不同, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量在移栽后 30 d 最高, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在移栽后 45~60 d 含量最高,这与不同形态的氮素在土壤中的转化有关。铵态氮肥施入土壤后容易被土壤胶体和生物质炭吸附^[34],而生物质炭可提高土壤的碳氮比,促进了微生物对于氮素的固定,因此随着烤烟生育期的推进,土壤中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量逐渐减少,转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、有机氮等其他形态的氮素。在移栽后 45~60 d,烟株进入旺长期,对氮素的吸收迅速增加,根系分泌物增加,土壤微生物活性增强,硝化作用增强,反硝化作用减弱^[35],土壤中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量达到最高。生物质炭还能够通过吸附土壤中的溶解态苯酚和萜烯类等抑制硝化反应的产物以及增强土壤的通气性等来促进土壤中的硝化作用^[36]。

土壤氮矿化也是无机氮的主要来源之一,氮肥用量和生物质炭的施用可以通过影响氮素矿化改善土壤氮素含量,有研究表明土壤氮素矿化量与施氮量呈显著递减式抛物线关系($r=0.984\ 3$)^[37]。国内外对生物质炭对氮矿化的影响研究较多^[38-39],有报道表明生物质炭在施用后的短时间内(<90 d)对土壤氮矿化有激发效应^[40],且在肥沃的砂质土上低温炭(350 °C)比高温炭(500 °C)更有利于土壤的氮矿化^[41],可能是生物质炭的施用给土壤微生物提供了新的碳源刺激了微生物的矿化作用^[42-43]。一些研究则表明生物质炭施用时间过长(250~500 d),导致其吸附的土壤中的有机物质无法释放,使微生物缺乏营养源,土壤氮矿化减少^[40],还有一些研究表明生物质炭的加入对土壤的氮矿化的影响不大^[44],或者抑制了土壤氮矿化^[45]。可见,生物质炭对于土壤氮素矿化的影响在不同的条件下可能得到不同的结论,基于本试验可以进一步分析生物质炭与氮肥配施对土壤氮矿化的影响,从而探索生物质炭与氮肥配施对土壤氮素的影响机理。

有报道指出土壤微生物生物量氮不仅可以表征土壤中微生物的数量水平,与土壤可矿化氮之间也呈现出显著的正相关关系^[46]。本研究也表明土壤微生物生物量氮的含量与碱解氮的含量呈显著正相关。本试验条件下,生物质炭与适量氮肥配施提高了土壤微生物生物量氮和碱解氮的含量,在烤烟生长中后期达到显著水平,说明生物质炭与氮肥的配施提高了土壤中可矿化有机氮的含量,提高了土壤肥力。宋大利等^[47]

的研究也表明, 秸秆生物质炭配施氮肥可以提高潮土土壤微生物生物量氮的含量。微生物生物量氮含量的提高可能是生物质炭的添加提高了土壤中有机碳的含量^[48], 土壤碳氮比提高, 微生物对于氮素的固定增加, 但是氮肥施用不足, 微生物生物量氮含量显著偏低, 因此要合理地控制配施氮肥的用量。此外, 根系分泌物也能够促进土壤中微生物的繁殖, 生物质炭与氮肥配施提高了土壤中氮素含量, 促进了烟株的生长, 提高了作物根系生物量和分泌物量^[49-50], 从而提高了微生物生物量氮的含量。生物质炭自身的特性也为微生物提供了良好的栖息环境^[51], 提高了土壤中微生物的丰度。氮肥用量对土壤微生物量氮的影响也很大, 本试验研究结果表明, 减氮量过多(减氮60%)微生物生物量氮含量显著低于其他处理, 而适量的减氮对土壤微生物生物量氮的影响并不大, 这与云鹏等^[52]在潮土上的研究类似, 说明适量的减氮仍然可以保证土壤微生物生物量氮含量。

4 结论

生物质炭与氮肥配施能够显著增加土壤中¹⁵N残留量、土壤无机氮、碱解氮、微生物生物量氮的含量, 提高肥料氮在烟叶中的占比。生物质炭与氮肥配施使烤烟对当季肥料氮的利用率提高了25.4%~63.3%, 减小烤烟对土壤氮的依存率。生物质炭与减量30%氮肥配施的处理植烟土壤氮素水平与对照差异不大或略高于对照, 完全可以保证烟株正常生长和成熟, 且氮肥减量施用降低了面源污染的风险, 从而达到节约资源保护环境的目的。但是由于生物质炭的来源不同、土壤质地和环境条件的不同等, 不同地区减氮潜力可能会有一定的差异, 仍然需要开展更多相关性研究, 探索生物质炭促进氮肥利用的机理。

参考文献:

- [1] 习向银, 赵正雄, 李春俭. 肥料氮和土壤氮对烤烟氮素吸收和烟碱合成的影响[J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 750-753
- [2] 焦永鸽, 李天福, 张云贵, 等. 有机质对红壤烤烟氮素累积分配特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 923-929
- [3] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924
- [4] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324-3333
- [5] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16-25
- [6] 李江舟, 姜翼来, 张立猛, 等. 不同生物炭添加量下植烟土壤养分的淋失[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 1075-1080
- [7] 李涛, 王小国, 胡廷旭. 生物炭对紫色土农田土壤NO排放的影响[J]. 土壤, 2016, 48(5): 879-886
- [8] Saleh M E, Mahmoud A H, Rashad M. Peanut biochar as a stable adsorbent for removing NH₄-N from wastewater: A preliminary study[J]. Advances in Environmental Biology, 2012, 6(7): 2170-2176
- [9] Clough T J, Condron L M, Kammann C, et al. A review of biochar and soil nitrogen dynamics[J]. Agronomy, 2013, 3(2): 275-293
- [10] 袁晶晶, 同延安, 卢绍辉, 等. 生物炭与氮肥配施对土壤肥力及红枣产量、品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 468-475
- [11] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 1946-1952
- [12] 刘卉, 周清明, 黎娟, 等. 生物炭施用量对土壤改良及烤烟生长的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(7): 1411-1419
- [13] 郑加玉, 张忠锋, 程森, 等. 稻壳生物炭对整治烟田土壤养分及烟叶产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(4): 6-12
- [14] 陈懿, 陈伟, 林叶春, 等. 生物炭对植烟土壤微生态和烤烟生理的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3781-3787
- [15] 李静静, 丁松爽, 李艳平, 等. 生物炭与氮肥配施对烤烟干物质积累及土壤生物学特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(1): 96-103
- [16] 刘卉, 周清明, 黎娟, 等. 生物炭与氮肥配施对烤烟生长及烟叶主要化学成分的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 159-166
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 54-56, 56-58, 30-34
- [18] 易小琳, 李酉开, 韩琅丰. 紫外分光光度法测定土壤硝态氮[J]. 土壤通报, 1983(6): 35-40
- [19] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 59-61
- [20] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(8): 1445-1451
- [21] 王鹏, 曾玲玲, 王发鹏, 等. 黄壤上烤烟氮素积累、分配及利用的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 677-682
- [22] 盖霞普, 刘宏斌, 翟丽梅, 等. 玉米秸秆生物炭对土壤无机氮素淋失风险的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(2): 310-318
- [23] 武丽君, 王朝旭, 张峰, 等. 玉米秸秆和玉米芯生物炭对水溶液中无机氮的吸附性能[J]. 中国环境科学, 2016, 36(1): 74-81
- [24] Sdc C, Mcnamara N P, Reay D S, et al. The effect of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from a sandy loam soil - The role of soil aeration[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2012, 51(3): 125-134

- [25] 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): 2114–2120
- [26] 李露, 周自强, 潘晓健, 等. 不同时期施用生物炭对稻田 N_2O 和 CH_4 排放的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 839–848
- [27] 王军, 施雨, 李子媛, 等. 生物炭对退化蔬菜地土壤及其修复过程中 N_2O 产排的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 713–723
- [28] Sohi S P, Krull E, Lopez-Capel E, et al. Chapter 2 - A review of biochar and its use and function in soil[M]// Advances in Agronomy. Elsevier Science & Technology, 2010: 47–82
- [29] Singh B P, Hatton B J, Singh B, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. Journal of Environmental Quality, 2010, 39(4): 1224–1235
- [30] 王小燕, 王焱, 田小海, 等. 纳米碳增效尿素对水稻田面水氮素流失及氮肥利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 106–111
- [31] 罗付香, 林超文, 涂仕华, 等. 紫色坡耕地玉米适产和环境友好的氮肥投入阈值[J]. 西南农业学报, 2015, 28(2): 625–631
- [32] 王爽, 孙磊, 陈雪丽, 等. 不同施氮水平对玉米产量、氮素利用效率及土壤无机氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(3): 387–391
- [33] 邢云霞, 刘世亮, 刘芳, 等. 施氮量对豫中烟区植烟土壤无机氮含量和氮素吸收的调控[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 266–272
- [34] 盖霞普. 生物炭对土壤氮素固持转化影响的模拟研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 5–7
- [35] Deluca T H, Aplet G H. Charcoal and carbon storage in forest soils of the Rocky Mountain West[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2008, 6(1): 18–24
- [36] 王洪媛, 盖霞普, 翟丽梅, 等. 生物炭对土壤氮循环的影响研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 5998–6011
- [37] 戴健, 王朝辉, 李强, 等. 氮肥用量对旱地冬小麦产量及夏闲期土壤硝态氮变化的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 956–965
- [38] 李强, 庄舜尧, 王晋, 等. 不同生物炭对安徽宣城旱地红壤氮矿化的影响[J]. 土壤, 2015, 47(4): 641–646
- [39] 李莹, 魏志超, 李惠通, 等. 生物炭对杉木人工林土壤碳氮矿化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 314–321
- [40] Zimmerman A R, Gao B, Ahn M Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43: 1169–1179
- [41] Nelissen V, Rütting T, Huygens D, et al. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 55: 20–27
- [42] Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen Haiqing, et al. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by C-14 labeling[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(2): 210–219
- [43] Singh B P, Cowie AL. Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 3687
- [44] DeLuca T H, Mackenzie M D, Gundale M J, et al. Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(2): 448–453
- [45] Dempster D N, Gleeson D B, Solaiman Z M, et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil[J]. Plant and Soil, 2012, 354(1/2): 311–324
- [46] 周建斌, 陈竹君, 李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1718–1725
- [47] 宋大利, 习向银, 黄绍敏, 等. 秸秆生物炭配施氮肥对潮土土壤碳氮含量及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 369–379
- [48] 尚杰, 耿增超, 陈心想, 等. 施用生物炭对旱作农田土壤有机碳、氮及其组分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 509–517
- [49] 李正, 刘国顺, 敬海霞, 等. 绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(6): 126–134
- [50] 马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5502–5511
- [51] Lehmann J D, Joseph S. Biochar for environmental management: Science and technology[J]. Science and Technology; Earthscan, 2009, 25(1): 15801–15811
- [52] 云鹏, 高翔, 陈磊, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中不同施氮水平对玉米生长及其根际土壤氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 567–574

Effects of Biochar Addition Combined with Nitrogen Fertilizer on Soil Nitrogen and Nitrogen Utilization of Flue-cured Tobacco

WU Jianan¹, YAN Haitao¹, PENG Guixin², LV Shijun¹, YU Jianchun², ZHANG Lu¹,
YANG Yongfeng², LIU Guoshun^{1*}

(1 *National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Centre / Key Laboratory for Tobacco Cultivation in Tobacco Industry / Henan Engineering Research Center for Biochar, Zhengzhou 450002, China;*
2 *China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China*)

Abstract: In order to explore the effects of the combination of biochar and nitrogen fertilizer on the circulation of soil nitrogen and nitrogen utilization in flue-cured tobacco, a pot experiment was conducted with ^{15}N trace technique. Four treatments were set: 5 g pure nitrogen per pot (CK), 5 g pure nitrogen and 100 g biochar per pot (T1), 3.5 g pure nitrogen and 100 g biochar per pot (T2), 2 g pure nitrogen and 100 g biochar per pot (T3). The contents of ^{15}N , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, alkali hydrolysable nitrogen (AN) and microbial biomass nitrogen (MBN) in soil in different growth periods and the accumulation of nitrogen from different resources in leaves at 90 days after transplanting were measured. The results showed under the same content of nitrogen, biochar application improved the contents of ^{15}N , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, AN and MBN in soil and the nitrogen accumulation in tobacco leaves. The combination of biochar and nitrogen fertilizer improved the percentage of nitrogen fertilizer in leaves and increased the rate of ^{15}N utilization by 25.4%–63.6%. Compared with CK, the contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, AN and SMBN of T2 increased 17.3%, 8.0%, 7.2% and 11.3%, respectively at 75 days after transplanting, AN and SMBN were also higher than the control at 90 days. Under the test conditions, the combination of biochar and nitrogen fertilizer has a significant effect on soil nitrogen, and the reduction of nitrogen fertilizer by 30% is feasible when biochar applied.

Key words: Biochar; Nitrogen fertilizer; ^{15}N ; Inorganic nitrogen; Distribution of nitrogen; Nitrogen utilization