



生物炭与氮肥配施对土壤生物特性和 烤烟氮素吸收的影响

吴嘉楠¹, 彭桂新², 杨永锋², 任天宝¹, 张璐¹, 刘国顺¹

1 河南农业大学/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, 河南省郑州市金水区文化路95号 450002;

2 河南中烟工业有限公司, 郑州市榆林南路16号 450000

摘要: 【目的】研究生物炭与氮肥减量配施对土壤生物特性和烤烟氮素分配的影响。【方法】采用盆栽试验, 氮肥为 ^{15}N 标记肥料, 测定生物炭与不同用量氮肥配施条件下烤烟生长不同时期土壤中肥料氮的残留量、土壤酶活性、微生物量碳含量和烤烟对不同氮源氮素的累积量。【结果】与对照相比, 不减氮时, 生物炭与氮肥配施使土壤酶活性提高了 8.8%~19.5%, 微生物生物量碳含量提高了 13.3%, 减少了烤烟生长前期肥料氮的流失, 提高了烤烟氮素累积量; 适量减氮时过氧化氢酶活性提高了 7.8%, 蔗糖酶、脲酶活性和微生物量碳在中后期也有所提高, 氮素累积量提高了 21.0%。【结论】生物炭能提高植烟土壤酶活性和微生物量, 减少肥料流失, 提高氮素累积量。生物炭与氮肥配施时适量减氮是可行的。

关键词: 生物炭; 减氮; ^{15}N ; 土壤酶; 微生物生物量碳; 氮积累

引用本文: 吴嘉楠, 彭桂新, 杨永锋, 等. 生物炭与氮肥配施对土壤生物特性和烤烟氮素吸收的影响 [J]. 中国烟草学报, 2018, 24(3)

氮肥为我国农作物产量的提高做出了巨大贡献, 据统计我国水稻、小麦、玉米等作物的肥料利用率为 28.3%、28.2% 和 26.1%^[1], 远低于国际上的 46%~68%^[2-4]。施入土壤中的氮肥除了被作物吸收利用, 剩余的一部分以不同形式流失或挥发损失掉, 一部分残留在土壤中, 残留在土壤中的氮肥有的转化为稳定有机氮储存起来^[5], 有的转化为活性较强的形态, 并可能影响土壤的生物化学性质, 因此研究土壤氮肥残留、挖掘土壤氮素肥力具有重要意义。土壤酶是土壤中许多重要生化反应的催化剂^[6], 脲酶是土壤中主要的水解酶类之一, 它的活性可以用来表征土壤氮素状况^[7]。蔗糖酶是表征土壤碳素循环的重要酶^[8]。过氧化氢酶则能酶促分解生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化反应产生的过氧化氢, 从而减少或解除过氧化氢的毒害作用^[9]。土壤微生物参与了土壤中物质循环和能量转化^[6], 而土壤微生物生物量碳是评价土壤微生物量和活性的重要指标^[10], 因此, 研究植烟土壤酶和微生物生物量碳变化对于植烟土壤的管理具有重要作用。

生物炭是植物残体、农林废弃物和粪肥等物质在厌氧条件下经中高温热解而产生的稳定的富碳产物^[11], 近年来许多研究表明生物炭的施用可以减少养分流失^[12-14], 提高土壤微生物生物量碳含量^[15-16], 影响酶活性^[17-19]。当前有很多关于生物炭对土壤生物特性影响的研究, 但大都局限在生物炭用量上, 而生物炭与氮肥减量配施的研究较少, 本试验采用 ^{15}N 同位素示踪技术, 在施用生物炭条件下, 通过设置不同的减氮梯度, 研究生物炭与氮肥减量配施时肥料氮在土壤的残留量、土壤酶活性、微生物生物量碳等的变化以及成熟期不同氮源氮素在烟株内的分布, 以期生物炭在烤烟生产应用时确定适宜的氮肥用量, 减少氮肥过量施用造成的面源污染提供依据。

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,

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), 基于土壤碳氮平衡的烟草专用肥工程化技术研发项目 (ZW2014005)

作者简介: 吴嘉楠 (1993—), 硕士研究生, 主要从事烟草栽培方向的研究, Tel: 0371-63558128, Email: 727539468@qq.com

通讯作者: 刘国顺 (1954—), Tel: 0371-63558128, Email: liugsh1851@163.com

收稿日期: 2017-11-02; **网络出版日期:** 2018-02-26

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 $12.77 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $81.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 $2.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $132.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, pH 7.56。

试验生物炭为在 400°C 条件下制成的花生壳炭, 全碳、全氮含量为 $434.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $13.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 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。氮、磷、钾比例为 1:1.5:3, 磷肥为磷酸氢二钾, 钾肥为硫酸钾和磷酸氢二钾。移栽前将生物炭和肥料 (用量见表 1) 与土壤 (25 kg) 混匀后放入盆中。室外自然条件下将塑料盆按 $120 \text{ cm}\times 50 \text{ cm}$ 的行株距埋于垄上, 5 月 7 日移栽, 移栽后 70 d 打顶。具体试验处理见表 1:

表 1 试验设计
Tab.1 Test design

试验处理 Treatments	N /(g/盆)	P ₂ O ₅ /(g/盆)	K ₂ O /(g/盆)	生物炭 (biochar) /(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

从移栽后 30 d 开始取样, 此后每隔 15 d 取一次, 取至烤烟移栽后 90 d, 每个处理每次取 3 株有代表性的烟株, 将烟株从根部砍断, 将盆倒扣取出整个根系, 将土抖掉, 再用清水冲洗干净, 烟株在 105°C 杀青 30 min 后, 65°C 烘干称重, 粉碎过筛后用于测定植株氮含量和 ^{15}N 丰度。土壤样品分为两部分, 一部分立即过筛, 测定土壤含水率、微生物量碳的含量,

另一部分风干过筛后用于 ^{15}N 和土壤酶活性的测定。

土壤微生物生物量碳采用熏蒸提取 - 仪器分析法^[20], 脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性分别采用苯酚钠 - 次氯酸钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法和高锰酸钾滴定法测定^[21]; 样品中全氮含量用全自动 CN 分析仪 (vario MAX CN, 德国) 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) 分析。

1.3 数据处理

相关数据的计算公式:

烟株吸收肥料氮占总吸氮量的百分比 (%) = 烟株中 ^{15}N 百分超 / 肥料中 ^{15}N 百分超 $\times 100$

烟株吸收肥料氮的量 = 烟株吸氮量 \times 烟株吸收肥料氮占总吸氮量的百分比

烟株吸收土壤氮的量 = 烟株吸氮量 \times (1 - 烟株吸收肥料氮占总吸氮量的百分比)

利用 Excel 2016 录入数据和作图, 采用 SPSS 22.0 对数据进行方差分析和多重比较 (Duncan 法)。

2 结果与分析

2.1 土壤中肥料氮含量变化

由表 2 可以看出, 在烤烟移栽后的 5 个时期, 土壤中肥料氮的含量逐渐下降, 这可能是由于烟株生长吸收和不同途径的流失共同造成的。烤烟移栽后 30~60 d, 土壤中肥料氮分别下降了 46.6%、51.1%、31.1%、33.0%。移栽后 30~45 d 不同处理土壤中的肥料氮含量表现为 T1>CK>T2>T3, 说明在施氮量相同的条件下, 生物炭的施用可以提高土壤中肥料氮的残留量。移栽后 60~90 d, 与前期相比土壤中的肥料氮含量变化较小, 说明施入土壤中的肥料氮的消耗主要发生在烤烟生长的前期。

表 2 不同时期土壤中肥料氮含量
Tab.2 Content of fertilizer nitrogen in different periods

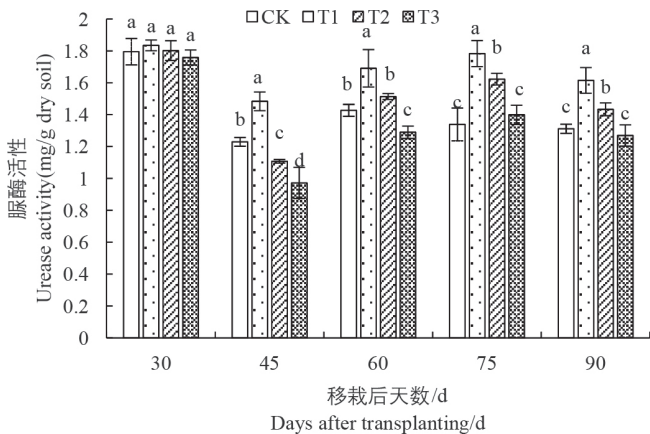
处理	土壤中肥料氮含量/(g/盆)				
	30d	45d	60d	75d	90d
CK	4.13b	2.38b	2.21b	2.14b	2.04a
T1	4.95a	3.71a	2.42a	2.32a	1.78b
T2	3.03c	2.35b	2.09c	1.95c	1.69c
T3	1.84d	1.56c	1.23d	1.17d	0.99d

注: 数据后未标有相同的小写字母表示处理之间差异达到显著水平 ($P<0.05$), 下同。

Note: Different small letters mean significant different at $P<0.05$ level, the below is same.

2.2 不同处理对土壤脲酶活性的影响

脲酶是土壤氮循环过程中的关键酶之一，它可以酶促有机物质中酰胺键水解为可利用的速效氮，提高土壤中有效氮素含量^[22]。从图1中可以看出，相同施氮量条件下，生物炭的施用使植烟土壤中的脲酶活性提高了2.2%~33.2%，施用生物炭的条件下，土壤中的脲酶活性随着施氮量的减少而降低。在烤烟的整个生育期，T1的脲酶活性最高，并且在移栽后45~90 d达到了显著水平，T3的脲酶活性最低，T2与CK的脲酶活性在不同时期差异较大，在烤烟生长前期（移栽后30~45 d）CK的脲酶活性较高，在60 d时二者的活性差异不显著，在75~90 d时T2的脲酶活性显著高于CK，说明生物炭施用可以提高土壤脲酶活性，生物炭与不同用量氮肥配施时对土壤脲酶活性影响也较大，在生产中应该合理调控氮肥的用量。



注：处理间不标有相同小写字母者表示组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，下同。

图1 不同处理对土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Effects of different treatments on urease activity of soil

2.3 不同处理对土壤蔗糖酶的影响

土壤蔗糖酶又称转化酶，能参与土壤中碳水化合物的转化，与土壤碳循环紧密相关^[23]，使蔗糖转化为单糖（葡萄糖和果糖），被植物和微生物利用。从图2可以看出，施氮量相同时，添加生物炭可以提高土壤中蔗糖酶的活性，在45 d、75 d和90 d达到显著水平，提高幅度达27.3%、5.1%和8.0%。与对照相比，在不同生育期不同用量氮肥与生物炭配施的处理蔗糖酶活性不同，T2处理在移栽后60 d和75 d蔗糖酶活性显著高于对照，其余生长时期二者蔗糖酶活性差异不大。T3处理则在移栽后30 d和75 d活性高于对照，在90 d时又显著低于对照。

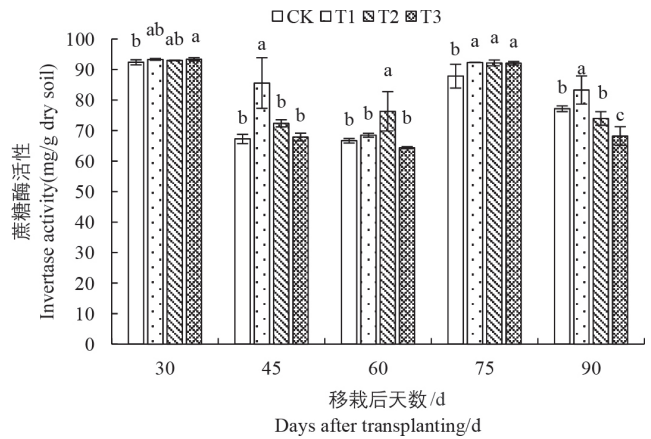


图2 不同处理对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.2 Effects of different treatments on invertase activity of soil

2.4 不同处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶是在一定程度上表征了土壤生物氧化过程的强弱和微生物活动的强度，在有机质氧化和腐殖质形成过程中起着重要的作用^[24]。从图3中可以看出，在整个烟草生育期，土壤中的过氧化氢酶活性呈现出不断上升的趋势，在90 d时略微有所降低。生物炭的施用使相同施氮量的烟株过氧化氢酶活性提高了8.4%~17.1%，说明施用生物炭可以提高植烟土壤过氧化氢酶的活性。在施用生物炭的条件下，土壤中过氧化氢酶的活性基本随着施氮量的提高而升高。与对照相比，T1、T2处理过氧化氢酶的活性在30~75 d都显著升高，T2处理比CK提高了4.0%~12.7%，而T3处理的酶活性显著低于CK，说明适量的氮肥配施可以提高土壤过氧化氢酶活性，氮肥施用量过低，也会影响土壤酶活性。

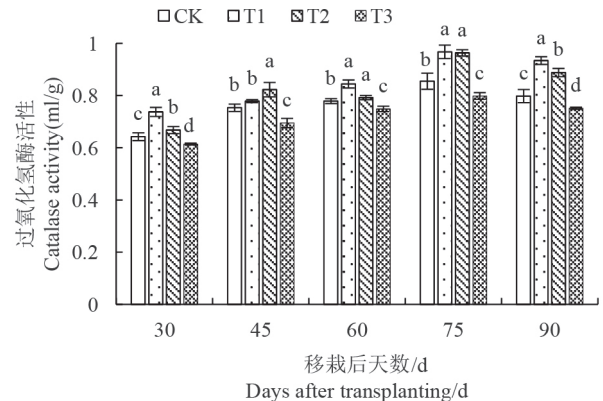


图3 不同处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig.3 Effects of different treatments on catalase activity of soil

2.5 不同处理对土壤微生物生物量碳含量的影响

土壤微生物生物量碳在一定程度上能够表征土壤微生物活性，它是土壤养分周转的中间库，对于养分的转化和供应至关重要^[25]，从图4可以看出，在同等施氮量条件下，生物炭的添加可以显著提高烤烟各生育期土壤微生物生物量碳的含量，最高可达20.2%。除了移栽后60 d之外，在同时施用生物炭的条件下，土壤微生物生物量碳含量随着施氮量的减少而降低。与对照相比，生物炭与氮肥配施对土壤微生物生物量碳含量的影响在不同时期有差异，在烤烟移栽后的30 d，减氮处理的微生物生物量碳含量显著低于CK和T1，在移栽后的45~90 d，T2的微生物生物量碳比对照明显升高了10.3%~16.3%，T3处理始终处于最低水平。说明添加生物炭可以提高土壤微生物生物量碳的含量，生物炭与减氮30%及其以上的氮肥配施时可以提高土壤后期微生物生物量，减氮过多，微生物生物量下降。

2.6 各指标之间的相关分析

对土壤中¹⁵N丰度、脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和微生物生物量碳进行相关性分析，结果表明(表3)，土壤中¹⁵N含量与脲酶、蔗糖酶活性呈极显著正相关关系，与过氧化氢酶之间的相关性未达到显著水平。土壤微生物生物量碳与蔗糖酶和过氧化氢酶之间也有着极显著的正相关关系。说明在本试验条件下，当季施入的氮肥对土壤中碳氮代谢相关酶类活性影响较大，因此减少氮肥的流失对于提高土壤碳氮代谢水平具有重要意义。

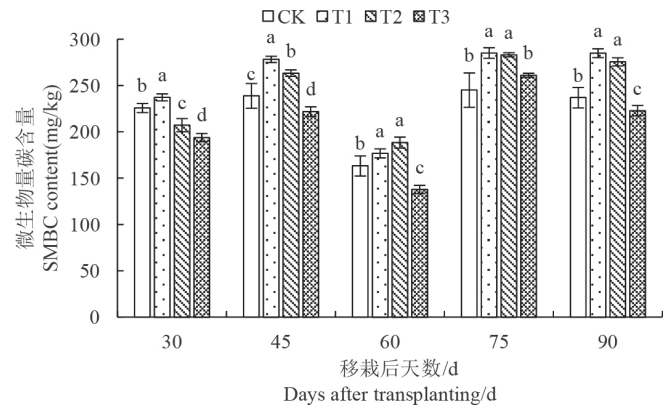


图4 不同处理对土壤微生物量碳含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on MBC of soil

2.7 不同氮源对烤烟氮素吸收的影响

从表4中可以看出，在成熟期，不同处理对土壤氮和肥料氮的累积量有显著差异，对肥料氮的累积量表现为T1>CK>T2>T3，对土壤氮的累积量表现为T1>T2>CK>T3，说明施氮量相等时，施用生物炭可以提高烤烟对于肥料氮和土壤氮的累积。肥料氮在烟株体内的积累量占总氮的26.8%~45.4%，始终低于土壤氮的占比(54.6%~73.2%)，与对照相比，生物炭与氮肥配施降低了烤烟肥料氮的占比，提高了土壤氮的比例。CK肥料氮的损失量达到1.82 g/盆，显著高于其他处理，说明生物炭的施用减少了土壤中肥料氮的损失。

表3 各指标之间的 Pearson 相关系数

Tab.3 Pearson correlation coefficients between indexes

指标	¹⁵ N 丰度	脲酶	蔗糖酶	过氧化氢酶	微生物量碳
¹⁵ N 丰度	1				
脲酶	0.470**	1			
蔗糖酶	0.398**	0.674**	1		
过氧化氢酶	-0.219	0.003	0.010	1	
微生物量碳	0.138	0.027	0.447**	0.542**	1

注：* 表示差异显著 ($P<0.05$)，** 表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Correlation coefficient labeled by * and ** indicates significant difference at 0.05 and 0.01, respectively.

表 4 不同处理烤烟成熟期不同来源氮素分配

Tab.4 Different sources of nitrogen distribution by different treatments on mature period

处理	肥料氮 (g/株)	肥料氮占比 /%	土壤氮 (g/株)	土壤氮占比 /%	氮素积累量 (g/株)	肥料氮损失量 (g/盆)
CK	1.13b	45.41a	1.36c	54.59d	2.49c	1.82a
T1	1.85a	28.26c	4.70a	71.74a	6.55a	1.37b
T2	0.99c	32.93b	2.02b	67.07c	3.02b	0.82c
T3	0.66d	26.83d	1.59c	70.58b	2.25d	0.35d

2.8 对烤烟干物质积累和烟叶品质的影响

由表 5 可以看出, 移栽后 90 d 不同处理烤烟干物质的积累表现为 T1>T2>CK>T3, 说明同等施氮量条件下, 施用生物炭可以显著提高烤烟干物质积累。与对照相比, 生物炭的施用显著提高了烤后烟叶中的

烟碱、钾、氯的含量和钾氯比, 但总糖和还原糖含量下降了 9.9% 和 17.2%, 糖碱比也明显下降, 而 T2 处理总糖和还原糖的含量与对照没有显著差异, 说明施用生物炭后适量的减氮可以避免烤后烟叶中的碳氮代谢失衡。

表 5 不同处理下烤烟干物质积累和烤后烟化学成分

Tab.5 Effects of different treatments on dry matter accumulation and chemical composition of tobacco leaves

处理	干物质积累 (g/株)	总糖 /%	还原糖 /%	烟碱 /%	氯 /%	钾 /%	还原糖 / 烟碱	钾 / 氯
CK	208.50c	21.14a	17.19a	1.84b	0.60c	1.18c	9.35ab	1.96b
T1	277.87a	19.05b	15.10b	2.78a	0.86a	2.46a	5.56d	2.84a
T2	256.95b	21.18a	16.64a	2.00b	0.72b	1.62b	8.21c	2.25b
T3	179.14d	17.42c	13.22c	1.55c	0.64c	1.30c	8.53bc	2.05b

3 讨论

施入土壤中的肥料氮一般有 3 个去向: 被作物吸收利用、通过不同途径损失和残留在土壤中, 残留在土壤中的肥料氮为后季作物的吸收利用提供了氮源, 本试验条件下, 土壤中的肥料氮在烤烟生长的前期(移栽后 30~45 d) 下降幅度明显高于移栽后 60~90 d 的下降幅度, 而烤烟生长前期对氮素的积累量较少, 说明在前期 ^{15}N 含量的下降主要是氮素流失、反硝化损失。且前期对照处理肥料氮含量下降幅度最大, 生物炭与氮肥配施处理下降较小, 说明生物炭与氮肥配施有效的减缓了烟株生长前期肥料氮素的损失, 这与葛顺峰等在棕壤土上的研究一致^[26]。生物炭降低烤烟生长前期肥料氮流失的原因可能有两点: 一是与生物

炭自身的特性有关, 其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^[27-28], 从而提高了土壤对肥料的固持能力, 有研究表明施入土壤的铵态氮肥容易被土壤胶体和生物炭吸附^[29]。此外, 生物炭的施用可以降低土壤容重提高土壤通气性, 抑制了厌氧微生物的生长, 减轻土壤的反硝化作用^[30], 减少氮素损失。二是因为生物炭的施用提高了土壤的碳氮比, 从而促进微生物对氮素的固定, 提高了肥料氮的固持量。烤烟生长中后期不同处理土壤中 ^{15}N 丰度变化较大, 与其他处理相比对照 ^{15}N 丰度下降幅度变小, 可能是烟株进入旺长期后对氮素的吸收增加, 因此需要结合烟株吸氮规律具体研究。施用生物炭可以提高土壤氮素残留, 而土壤中的氮肥残留与土壤脲酶和蔗糖酶活性极显著正相

关, 因此可以通过施用生物炭来调节土壤碳氮代谢, 实现土壤改良。

土壤酶主要来自土壤微生物、植物根系和土壤动物, 是土壤中许多重要生化反应的参与者, 对土壤养分循环和作物生长具有重要的影响, 因此研究生物炭与氮素配施对土壤酶活性的影响对合理施肥有重要意义。在本试验条件下, 生物炭与适量的氮肥配施提高了土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性, 与赵军等^[31-32]的报道一致。生物炭提高土壤酶活性的可能原因有三个: 一是生物炭的吸附功能^[31]和本身富含的物质为酶促反应提供了底物。二是生物炭的多孔结构可以为微生物提供良好的栖息地^[33], 保护微生物和酶不受外界的伤害, 从而提高了土壤酶活性。三是生物炭的施用改善了土壤的理化性质而提高了酶活性, 有研究表明生物炭的施用对土壤的温度、pH、水分和通气性等都有影响^[11,34]。此外, 土壤中脲酶活性的提高还可能是因为生物炭的施用提高了土壤中全碳的含量, 促进了微生物对土壤有机氮的固定和利用。生物炭的施用可以促进烤烟根系的生长^[35-36], 根系分泌物的增加对蔗糖酶的活性有促进作用。但也有研究表明生物炭可以吸附保护酶促反应的结合位点, 抑制酶促反应^[37], 生物炭本身携带的多环芳烃等有毒物质也可能对酶活性造成负面影响^[38], 这可能与生物炭的种类和土壤类型有关, 需要针对不同情况进一步深入分析。生物炭与氮肥配施时要控制合理的施氮量, 本试验表明氮肥用量过低会使土壤酶活性下降, 有研究表明, 土壤脲酶的活性随着氮肥施用量的降低而降低^[8-9], 蔗糖酶和过氧化氢酶的活性则随着施氮量的升高呈现出先增加后降低的趋势^[39-40], 这可能是因为本试验所有的氮梯度是在正常施氮水平及其以下, 没有氮过量处理, 因此酶活性不会出现抑制现象。

土壤微生物生物量碳是衡量土壤微生物生物量的重要指标之一, 在一定程度上能反应土壤环境状况, 是评价土壤指标的重要参数, 同时表征土壤微生物活性和土壤微生物生物量^[41]。在本试验条件下, 施用生物炭可以提高土壤微生物生物量碳含量, 这与尚杰^[42]在土上的研究一致, 可能是因为生物炭对土壤的改良作用为微生物提供了适宜的生长环境^[11]。根系分泌物也能够促进土壤中微生物的繁殖^[43], 生物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^[35,44]。此外, 生物炭富含的碳素为微生物提供了充足的碳源, 其多孔结构和吸附性能还能为微生物提供适宜的栖息地和生长所需要的养分^[45-46]。生物炭与减量 30% 的氮肥配施时,

显著增加了后期土壤微生物生物量碳的含量, 而减氮 60% 时微生物生物量碳的含量显著低于对照处理, 有研究也表明施用有机肥时, 土壤微生物生物量碳的含量随着施氮量的增加而升高^[47], 可能是因为在碳源充足的情况下, 氮素越多越有利于微生物的固定和繁殖。

本试验条件下, 各处理烤烟中的氮素在移栽后 90 d 时土壤氮的占比大于肥料氮, 这与韩锦峰等^[48]的研究一致, 朱佩等人的研究也表明^[49], 在砂壤土上烤烟旺长后期对土壤氮的累积呈现上升趋势, 对肥料氮的积累则不断的下降。但是本试验结果显示在相同施肥量条件下, 施用生物炭的处理显著提高了烟株对两种氮素的累积, 可能是因为生物炭的施用减少了肥料氮的流失^[50], 促进了土壤氮的矿化^[51-52], 其中土壤氮的占比显著提高, 说明可能生物炭对于土壤氮素矿化效果更佳, 但是当前生物炭对土壤矿化的影响研究结果差异较大^[53-54], 这可能与生物炭的来源和土壤特性的不同有关, 因此未来可以针对不同来源生物炭研究对不同土壤氮素矿化的影响。氮素是烤烟最重要的品质元素, 但是烟叶成熟时期氮素的吸收与消耗基本平衡对烤烟的产量和品质都重要的影响^[55-57], 本试验中 T1 的氮素累积量过高, 不利于烟株在成熟时期落黄和烤后烟叶化学成分协调, 因此考虑到烟株正常成熟和烟叶的品质, 在施用生物炭时要适量的减氮。

4 结论

生物炭与氮肥配施能够显著减少肥料氮的损失, 提高土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性, 提高土壤微生物生物量碳含量, 提高烤后烟叶钾氯比。综合分析, 种植烤烟时, 适量的减氮的处理能够保障土壤生物活性, 提高烤烟对于肥料氮和土壤氮的利用, 保证烤后烟的化学成分协调。但由于生物炭的制备温度和制备原料不同, 以及土壤类型的差异等, 有关生物炭与氮肥配施时减氮量会有一定的差异, 因此具体的施氮量和生物炭用量需要结合当地实际情况确定。

参考文献

- [1] 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. ZHANG Fusuo, WANG Jiqing, ZHANG Weifeng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924.
- [2] 茹美. 有机肥配施化学氮肥对土壤中氮素转化及双季稻氮素利用率的影响 [D]. 浙江: 浙江大学, 2015. RU Mei. Effects of organic manuring with chemical nitrogen fertilizer on nitrogen transformation in soils and nitrogen use efficiency in the rice-rice cropping system[D]. Zhejiang: Zhejiang

- university, 2015.
- [3] 张福锁, 张卫锋, 陈新平. 对我国肥料利用率的分析. 首届全国测土配方施肥技术研讨会论文集 [C]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007. 10-12.
ZHANG Fusuo, ZHANG Weifeng, CHEN Xinping. Analysis of Fertilizer Utilization Rate in China. The second seminar on Soil Testing and Fertilization Technology in china. Beijing: China Agricultural University Press. 2007. 10-12.
- [4] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103.
PENG Shaobing, HUANG Jianliang, ZHONG Xuhua, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [5] 吴成龙, 沈其荣, 张树林, 等. 麦-稻轮作系统有机无机肥料配施协同氮素转化的机制研究 II. 小麦季残留 ^{15}N 对水稻的有效性分析 [J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1170-1179.
WU Chenglong, SHEN Qirong, ZHANG Shulin, et al. Mechanisms for the increased utilization of fertilizer n under integrated use of inorganic and organic fertilizers in a winter wheat-rice rotation system II. The availability of residual n from winter wheat growing season to succeeding rice[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6): 1170-1179.
- [6] 薛立, 陈红跃, 邝立刚. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 157-159.
XUE Li, CHEN Hongyue, KUANG Ligang. Soil nutrient, microorganism and enzyme activity in Pinus elliottii mixed stands[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1): 157-159.
- [7] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
LI Juan, ZHAO Bingqiang, LI Xiuying, et al. Effects of Long-term Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on Soil Microbiological Properties and Soil Fertility[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(1): 144-52.
- [8] 肖新, 朱伟, 肖靛, 等. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 91-98.
XIAO Xin, ZHU Wei, XIAO Liang, et al. Suitable water and nitrogen treatment improves soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities of paddy field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(21): 91-98.
- [9] 郭天财, 宋晓, 马冬云, 等. 施氮量对冬小麦根际土壤酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 110-114.
GUO Tiancai, SONG Xiao, MA Dongyun, et al. Effects of nitrogen application rate on soil enzyme activities in wheat rhizosphere[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 110-114.
- [10] 马驿, 彭金菊, 王芸, 等. 环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1506-1512.
MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al. Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1506-1512.
- [11] 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
CHEN Wenfu, ZHANG Weiming, MENG Jun. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3324-3333.
- [12] 郑小龙, 吴家森, 陈裴裴, 等. 生物炭与不同肥料配施对水稻田面水养分流失风险的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 221-226.
ZHENG Xiaolong, WU Jiasen, CHEN Peipei, et al. Effects of Different Nitrogen and Biomass Carbon Fertilization on Nutrient Loss Risk in Field Surface Water[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(1): 221-226.
- [13] 肖建南, 张爱平, 刘汝亮, 等. 生物炭施用对稻田氮磷肥流失的影响 [J]. 中国农业气象, 2017, 38(3): 163-171.
XIAO Jiannan, ZHANG Aiping, LIU Ruliang, et al. Effects of Biochar Application on the Losses of Nitrogen and Phosphorus in Surface Water of Paddy Field[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2017, 38(3): 163-171.
- [14] 于亚莉, 史东梅, 蒋平. 不同土壤管理措施对坡耕地土壤氮磷养分流失的控制效应 [J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 30-36, 42.
YU Yali, SHI Dongmei, JIANG Ping. Effect of Different Soil Management Measures on Controlling Soil Nitrogen and Phosphorus Loss from Slope Farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(1): 30-36, 42.
- [15] 韩玮, 申双和, 谢祖彬, 等. 生物炭及秸秆对水稻土各密度组分有机碳及微生物的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5838-5846.
HAN Wei, SHEN Shuanghe, XIE Zubin, et al. Effects of biochar and straw on both the organic carbon in different density fractions and the microbial biomass in paddy soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): 5838-5846.
- [16] 陶朋阁, 陈效民, 靳泽文, 等. 生物炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响 [J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 231-235.
TAO Pengchuan, CHEN Xiaomin, JIN Zewen, et al. Effects of Biochar Combined with Nitrogen Fertilizers on Microbial Biomass C,N and Carbon-to-nitrogen Ratio of Upland Red Soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(1): 231-235.
- [17] 黄剑. 生物炭对土壤微生物量及土壤酶的影响研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
HUANG Jian. The effect of biochar application on soil microbial biomass and soil enzymes[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [18] 王凤平, 贾志娟, 王 Sunguo, 等. 对比小麦秸秆及其生物炭对温室气体排放和酶活性的影响 [J]. Biology & Fertility of Soils, 2013, 49(5): 555-565.
WU Fengping, JIA Zhikuan, WANG Sunguo, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil[J]. Biology & Fertility of Soils, 2013, 49(5): 555-565.
- [19] 邹春娇, 张勇勇, 张一鸣, 等. 生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1772-1778.
ZOU Chunjiao, ZHANG Yongyong, ZHANG Yiming, et al. Regulation of biochar on matrix enzyme activities and microorganisms around cucumber roots under continuous cropping[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6): 1772-1778.
- [20] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用 [M]. 气象出版社, 2006: 59-61.
WU Jinshui. Determination and Application of Soil Microbial Biomass [M]. China Meteorological Press, 2006: 59-61.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986:275-323.
GUAN Songyin. Soil Enzyme and Its Research[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986:275-323.
- [22] 梁月明, 苏以荣, 张伟, 等. 桂西北不同植被恢复阶段土壤氨氧化细菌遗传多样性研究 [J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 364-371.
LIANG Yueming, SU Yirong, ZHANG Wei, et al. Genetic diversities of soil ammonia-oxidizing bacteria at various vegetation restoration stages in southwest Guangxi, China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(2): 364-371.
- [23] 赵仁竹, 汤洁, 梁爽, 等. 吉林西部盐碱田土壤蔗糖酶活性和有机碳分布特征及其相关关系 [J]. 生态环境学报, 2015(2): 244-249.
ZHAO Renzhu, TANG Jie, LIANG Shuang, et al. Distribution of Soil Organic Carbon and Invertase Activity and Its Correlation in Saline-alkali Paddy Field in West Jilin[J]. Ecology and Environment Sciences, 2015(2): 244-249.

- [24] 范富, 张庆国, 郇继承, 等. 玉米秸秆夹层改善盐碱地土壤生物性状[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 133-139.
FAN Fu, ZHANG Guoqing, TAI Jicheng, et al. Biological traits on corn straw interlayer in improving saline-alkali soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(8):133-139.
- [25] Anderson J P E, Domsch K H. Quantities of Plant Nutrients in the Microbial Biomass of Selected Soils[J]. Soil Science, 2006, 130(4): 211-216.
- [26] 葛顺峰, 彭玲, 任怡华, 等. 秸秆和生物质炭对苹果园土壤容重、阳离子交换量和氮素利用的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 366-373.
GE Shunfeng, PENG Ling, REN Yihua, et al. Effect of Straw and Biochar on Soil Bulk Density, Cation Exchange Capacity and Nitrogen Absorption in Apple Orchard Soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(2): 366-373.
- [27] 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.
GAI Xiapu, LIU Hongbin, ZHAI Limei, et al. Effects of Corn-Stalk Biochar on Inorganic Nitrogen Leaching from Soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(2): 310-318.
- [28] 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.
WU Lijun, WANG Zhaoxu, ZHANG Feng, et al. The adsorption characters of inorganic nitrogen in aqueous solution by maize straw- and corn cob-derived biochars[J]. China Environmental Science, 2016, 36(1): 74-81.
- [29] 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.
GAI Xiapu. Simulation Study on Effects of Biochar Amendment on Retention and Transformation of Soil Nitrogen[D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [30] 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.
- [31] 赵军, 耿增超, 尚杰, 等. 生物炭及炭基硝酸铵对土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(8):2355-2362.
ZHAO Jun, GENG Zengchao, SHANG Jie, et al. Effects of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(8): 2355-2362.
- [32] 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.
LI Jingjing, DING Songshuang, LI Yanping, et al. Effects of biochar and nitrogen fertilizers on dry matter accumulation of flue-cured tobacco and soil biological characteristics[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(1): 96-103.
- [33] Lehmann J D, Joseph S. Biochar for Environmental Management: Science and Technology[J]. Science and Technology; Earthscan, 2009, 25(1): 15801-15811(11).
- [34] 房彬, 李心清, 赵斌, 等. 生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1292-1297.
FANG Bin, LI Xinqing, ZHAO Bin, et al. Influence of Biochar on Soil Physical and Chemical Properties and Crop Yields in Rainfed Field[J]. Ecology and Environment Sciences, 2014, 23 (8): 1292-1297.
- [35] 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.
ZHANG Weiming, MENG Jun, WANG Jiayu, et al. Effect of Biochar on Root Morphological and Physiological Characteristics and Yield in Rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(8): 1445-1451.
- [36] 陈伟, 周波, 束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3850-3856.
CHEN Wei, ZHOU Bo, SHU Huairui. Effects of Organic Fertilizer and Biochar on Root System and Microbial Functional Diversity of Malus hupehensis Rehd[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(18): 3850-3856.
- [37] Czimczik C I, Masiello C. Controls on black carbon storage in soils. Global Biogeochemical Cycles, 2007, 21(3), doi: 10.1029/2006GB002798.
- [38] Rao M A. Interactions Between Xenobiotics and Microbial and Enzymatic Soil Activity[J]. Critical Reviews in Environmental Science & Technology, 2008, 38(4): 269-310.
- [39] 夏雪, 谷洁, 车升国, 等. 施氮水平对壤土微生物群落和酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1618-1627.
XIA Xue, GU Jie, CHE Shengguo, et al. Effects of Nitrogen Application Rates on Microbial Community and Enzyme Activities in Lou Soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(8): 1618-1627.
- [40] 张俊丽, 高明博, 温晓霞, 等. 不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO₂ 排放量的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6147-6154.
ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al. Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO₂ emission in dry-land of maize[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6147-6154.
- [41] 仲波, 孙庚, 陈冬明, 等. 不同恢复措施对若尔盖沙化退化草地恢复过程中土壤微生物生物量碳氮及土壤酶的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(3): 392-399.
ZHONG Bo, SUN Geng, CHEN Dongming, et al. Effects of Different Restoration Measures on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Soil Enzymes in the Process of Restoration of the Desertified Grassland in Zoige[J]. Ecology and Environment Sciences, 2017, 26(3): 392-399.
- [42] 尚杰, 耿增超, 王月玲, 等. 施用生物炭对土微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(6): 1142-1151.
SHANG Jie, GENG Zengchao, WANG Yueling, et al. Effect of Biochar Amendment on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Enzyme Activity in Tier Soils[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(6): 1142-1151.
- [43] 朱丽霞, 章家恩, 刘文高. 根系分泌物与根际微生物相互作用研究综述[J]. 生态环境学报, 2003, 12(1): 102-105.
ZHU Lixia, ZHANG Jiaen, LIU Wengao. Review of studies on interactions between root exudates and rhizospheric microorganisms[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(1): 102-105.
- [44] 勾芒芒, 屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1348-1352.
GOU Mangmang, QU Zhongyi. Effect of biochar on root distribution and yield of tomato in sandy loam soil[J]. Ecology and Environment Sciences, 2013, 22(8): 1348-1352.
- [45] 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.
SHANG Jie, GENG Zengchao, CHEN Xinxiang, et al. Effects of Biochar on Soil Organic Carbon and Nitrogen and Their Fractions in a Rainfed Farmland[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(3): 509-517.
- [46] 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.
LI Jiangzhou, LOU Yilai, ZHANG Limeng, et al. Leaching loss of nutrients in tobacco-planting soil under different biochar adding levels[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2015, 21(4): 1075-1080.
- [47] 罗兰芳, 聂军, 郑圣先, 等. 施用控释氮肥对稻田土壤微生物生物量碳、氮的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(11): 2925-2932.
LUO Lanfang, NIE Jun, ZHENG Shengxian, et al. Effect of

- controlled release nitrogen fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen contents[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 2925-2932.
- [48] 韩锦峰, 郭培国, 黄元炯等. 应用 ^{15}N 示踪法探讨烟草对氮素利用的研究 [J]. 河南农业大学学报, 1992(3): 224-227.
HAN Jinfeng, GUO Peiguo, HUANG Yuanjiong, et al. Discussion on Nitrogen Utilization of Tobacco by ^{15}N Isotope tracer method[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1992(3): 224-227.
- [49] 朱佩, 张继光, 薛琳, 等. 不同质地土壤上烤烟氮素积累、分配及利用率的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 362-370.
ZHU Pei, ZHANG Jiguang, XUE Lin, et al. Nitrogen accumulation, distribution and use efficiency of flue-cured tobacco under different soil texture[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(2): 362-370.
- [50] 冯轲, 田晓燕, 王莉霞, 等. 化肥配施生物炭对稻田田面水氮磷流失风险影响 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(2): 329-335.
FENG Ke, TIAN Xiaoyan, WANG Lixia, et al. Influence of combined synthetic fertilizer and biochar applications on nitrogen and phosphorus losses from surface water of paddy field[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(2): 329-335.
- [51] Singh, B P, Cowie A L. Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 3687.
- [52] 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.
- [53] Nguyen T T N, Xu Chengyuan, Tahmasbian I, et al. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis[J]. *Geoderma*, 2017, 288: 79-96.
- [54] 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.
LI Qiang, ZHUANG Shunyao, WANG Jin, et al. Effects of Various Biochars on Soil Nitrogen Mineralization in Red Soil of Upland[J]. *Soils*, 2015, 47(4): 641-646.
- [55] 刘国顺. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 30-34.
LIU Guoshun. Tobacco cultivation. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 30-34.
- [56] 武云杰, 张小全, 段旺军, 等. 不同氮素利用效率基因型烤烟叶片衰老期间氮素代谢差异研究 [J]. 中国烟草学报, 2012, 18(05): 23-28.
WU Yunjie, ZHANG Xiaoquan, DUAN Wangjun, et al. N metabolism difference between flue-cured tobacco genotypes with different N intake efficiency during leaf senescence[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2012, 18(05): 23-28.
- [57] 韩富根, 沈铮, 李元实, 等. 施氮量对烤烟经济性性状、化学成分及香气质量的影响 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15(05): 38-42.
HAN Fugen, SHEN Zheng, LI Yuanshi, et al. Effect of nitrogen fertilizer on economic characteristics, chemical components, and aroma quality in flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2009, 15(05): 38-42.

Effects of mined biochar and nitrogen fertilizer on biological characteristics of soil and nitrogen absorption of flue-cured tobacco

WU Jianan¹, PENG Guixin², YANG Yongfeng², REN Tianbao¹, ZHANG Lu¹, LIU Guoshun^{1*}

1 Henan Agricultural University /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 study the effects of mined biochar addition combined with nitrogen fertilizer on biological characteristics of soil and nitrogen absorption of flue-cured tobacco, pot experiment was undertaken with ^{15}N trace technique. Fertilizer nitrogen residue, enzyme activity and soil microbial biomass carbon (SMBC) in soil, different sources nitrogen accumulation of flue-cured tobacco at 90 days after transplanting were analysed. Compared with CK, enzyme activity of biochar addition combined with nitrogen fertilizer improved by 8.8%-19.5%, SMBC increased by 13.3%, ^{15}N residue promoted on early stage, and nitrogen accumulation of flue-cured tobacco also increased. When the amount of nitrogen reduced moderately, biochar addition combined with nitrogen fertilizer improved catalase activity and nitrogen accumulation. Sucrase and urease activity were promoted at mid and late stages. It was concluded that biochar significantly promoted activity of urease, sucrase and catalase, and improved fertilizer nitrogen soil residue and nitrogen accumulation in tobacco. It proved feasible to reduce the amount of nitrogen moderately when biochar combined with nitrogen fertilizer was added during tobacco planting.

Keywords: biochar; nitrogen reduction; ^{15}N ; soil enzyme; soil microbial biomass carbon; nitrogen accumulation

Citation: WU Jianan, PENG Guixin, YANG Yongfeng, et al. Effects of mined biochar and nitrogen fertilizer on biological characteristics of soil and nitrogen absorption of flue-cured tobacco [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2018, 24(3)

*Corresponding author. Email: liugsh1851@163.com