

生物质炭与化肥氮配施对植烟土壤微生物功能多样性的影响^①

葛少华¹, 阎海涛¹, 陈奇¹, 彭桂新², 于建春², 杨永锋², 刘国顺^{1*}

(1 河南农业大学烟草行业烟草栽培重点实验室, 郑州 450002; 2 河南中烟工业有限责任公司, 郑州 450000)

摘要: 采用盆栽试验研究了生物质炭配施不同量化肥氮对烤烟根区土壤微生物群落功能多样性的影响。研究结果显示, 添加生物质炭提高了土壤有机碳和微生物生物量碳含量; 减少 15% 化肥氮配施生物质炭处理(T3)显著提高了土壤过氧化氢酶活性, 提升了土壤新陈代谢水平。不同处理土壤微生物的碳源利用率不同, 以 T3 处理的 AWCD(平均颜色变化率)值最高, 且微生物丰富度和优势度均为较高水平。主成分和热图分析表明, 不同处理微生物功能差异性和优势碳源不同, 其中 T3 处理的微生物群落功能差异性较小, 优势碳源羧酸类中包含的碳源种最多。添加生物质炭可提高烟株根冠比 23.06% ~ 42.36%。因此, 添加生物质炭可增强植烟土壤微生物活性, 提高土壤微生物功能多样性, 以减少 15% 化肥氮配施生物质炭效果最好。

关键词: 生物质炭; 化肥氮; 植烟土壤; 微生物多样性

中图分类号: S572 文献标识码: A

微生物是土壤生态系统的重要组成部分, 其群落结构和功能随着环境条件的改变而迅速发生改变^[1]。微生物群落功能多样性是表达土壤微生物群落状态与功能的重要指标之一, 可以评价土壤中微生物的生态特征和土壤肥力特征^[2]。长期过量施用化肥影响了土壤生态系统可利用氮素, 改变了土壤微生物代谢群落功能多样性^[3]。

生物质炭在农业上的应用优化了作物的根际微环境^[4], 促进土壤微生物种群发展, 增强土壤微生物活性, 从而有效调控根际土壤肥力, 促进作物生长^[5-6]。Glaser 等^[7]对生物质炭还田后与微生物的交互作用进行研究, 结果表明生物质炭还田后提高了土壤有机质含量, 为微生物提供了丰富碳源。微生物群落与生物质炭和土壤生态系统相互影响^[8-9], 随着生物质炭在农田中的施用, 其以土壤微生物的变化来反馈生物质炭对土壤生态系统的作用^[10]。韩光明等^[11]研究表明, 生物质炭调控土壤微环境的理化性质, 影响和调控土壤微生物的生长、发育和代谢, 进而改善土壤肥力。

不同施肥模式或耕作制度可显著影响土壤微生物群落功能多样性^[12-13]。杨宇虹等^[14]研究表明, 农家

肥最有利于微生物的生长, 有机肥次之, 复合肥效果最差。姜蓉等^[15]研究表明, 减少 20% 化肥的施用并配施生物有机肥改善了土壤微生物区系且提高了土壤微生物代谢活性。江琳琳^[16]研究表明, 生物质炭能提高土壤微生物丰度和多样性, 提高土壤微生物碳源的代谢特征。Warnock 等^[17]研究表明, 生物质炭的多孔性和表面特性能够为微生物生存提供附着位点和较大空间。陈伟等^[12]研究表明, 生物质炭对土壤微生物多样性的改善效果则不如生物有机肥。

目前对微生物功能多样性影响的报道中, 关于生物质炭施用条件下配施化肥氮对烤烟根区土壤微生物群落多样性的变化尚不清晰。本研究采用盆栽方式, 研究添加生物质炭后不同氮肥用量对土壤微生物功能多样性指标的影响, 旨在为制订合理的烤烟施肥措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2017 年在河南农业大学许昌校区现代烟草农业科教园区开展, 供试品种为 K326。供试土类为褐土, 土壤基础肥力见表 1。

基金项目: 烟草栽培重点实验室项目(110201101001TS-1)和河南中烟工业有限责任公司项目(ZW2014005)资助。

* 通讯作者(Liugsh1851@163.com)

作者简介: 葛少华(1992—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究。Email: ycgsh@outlook.com

表 1 供试土壤基础肥力
Table 1 Basic fertility of tested soil

pH	碱解氮 (mg/kg)	有机碳 (g/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
7.66	81.59	11.50	27.71	6.44	10.09	126.59

所施用生物质炭为花生壳炭(图 1), 由河南省生物炭工程技术研究中心提供, 其理化性质为: pH 8.25, 全碳 3.99 g/kg, 全氮 0.169 g/kg, 碳氮比 23.62, 主要官能团为羟基、烷烃和酰胺基等。

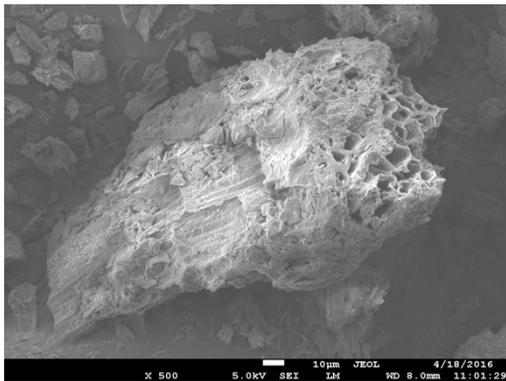


图 1 花生壳炭电镜微观表面扫描图(放大 500 倍)
Fig. 1 SEM image of peanut shell biochar (amplified 500 times)

1.2 试验设计

采用盆栽试验, 设置 4 个处理: T1(CK), 纯氮(N)5 g/盆; T2, 纯氮 5 g/盆+生物质炭 100 g/盆; T3, 纯氮 4.25 g/盆(减氮 15%)+生物质炭 100 g/盆; T4: 纯氮 3.5 g/盆(减氮 30%)+生物质炭 100 g/盆。

所用氮素为烟草专用复合肥(N P₂O₅ K₂O = 10 10 20), 试验设置 N P₂O₅ K₂O=1 1.5 3, 不足的磷钾肥用过磷酸钙和硫酸钾补足。全部生物质炭和 70% 的混合肥料与每盆土混匀, 30% 的混合肥料于移栽后 30 d 施入盆内。本试验 2017 年 5 月 8 日移栽烤烟, 栽培管理措施按照当地常规管理方法进行。

1.3 样品采集与测定方法

土壤样品于烤烟旺长期收集根上抖落的附着土壤进行分批保存。一部分鲜土过筛后于 4℃ 冰箱保存, 用于测定硝态氮(NO₃-N)、铵态氮(NH₄⁺-N)、微生物生物量碳(MBC)、微生物生物量氮(MBN)和微生物功能多样性; 一部分土样风干过筛后用于测定 pH、有机碳和过氧化氢酶活性。硝态氮和铵态氮采用连续流动分析仪测定, 微生物生物量碳采用熏蒸浸提-重铬酸钾容量法测定, 土壤微生物生物量氮采用熏蒸浸提法测定^[17], pH(水土比 2.5:1)采用电位计法测定, 有机碳采用重铬酸钾外加热法测定^[18], 过氧化氢酶

活性采用高锰酸钾滴定法测定^[19]。微生物功能多样性的检测采用有 31 种碳源的 BiologEcoplates™ 进行培养试验, 25℃ 恒温培养, 在 24、48、72、96、120 和 144 h 时测定各孔在 590 nm 波长下的光吸收值^[14]。

烟株取样后进行杀青, 粉碎, 过筛, 烟叶总氮测定依据烟草行业标准, 采用连续流动分析仪进行测定。

1.4 数据处理与分析

土壤微生物利用碳源的整体能力, 用平均颜色变化率(AWCD)表示^[20-21], 计算方法如下:

$$AWCD = \sum(C_i - R) / 31 \quad (1)$$

式中: C_i 为每个培养基孔的吸光值; R 为对照孔的吸光值; 31 表示本研究中有 31 种碳源。当 $(C_i - R) < 0$ 时, 赋其值为 0。

根据各处理 AWCD 值变化, 本研究选取 120 h 时各孔吸光值计算微生物功能多样性指数。

Simpson 指数(D):

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (2)$$

Shannon 指数(H):

$$H = -\sum (P_i \times \ln P_i) \quad (3)$$

Mcintosh 指数(U):

$$U = \sqrt{\sum n_i^2} \quad (4)$$

Shannon 均匀度指数(E):

$$E = H / \ln S \quad (5)$$

式中: $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$, $n_i = C_i - R$, 丰富度指数(S)为每孔中 $C_i > 0.5$ 的孔数。

本研究采用 Excel 2013 进行数据前期整理, SPSS 20.0 和 R 语言进行分析。

2 结果与分析

2.1 生物质炭与化肥氮配施对烤烟根区土壤化学和生物学特性的影响

添加生物质炭对土壤 pH 具有显著影响, 以 T1 处理为对照, 各处理 pH 分别下降 0.10、0.24 和 0.34。生物质炭的添加在一定程度上提高了土壤有机碳含量, T4 处理较其他处理具有显著性差异, 且有机碳含量随着化肥氮施用量减少而提高, 为 T4>T3>T2>T1, T2、T3、T4 处理较 T1 处理分别提高了 12.28%、20.57%和 37.75%。添加生物质炭降低了烤烟根区土硝态氮的含量, T1>T2>T3>T4, 随着化肥氮施用量的减少, 硝态氮含量显著降低。土壤微生物生物量氮含量 T2 处理较 T1 处理降低了 29.96%, T3 处理较 T2 处理提高了 15.79%, 而 T4 处理与 T2 处理则无显

著性差异；微生物生物量碳含量 T2 处理较 T1 处理降低了 9.08%，在添加生物质炭的基础上，随着化肥氮施用的减少，显著提高了微生物生物量碳含量。过氧化氢酶活性是土壤新陈代谢水平的重要表征，T1、

T2 和 T4 处理无显著性差异，T3 处理较 T1 处理过氧化氢酶活性提高了 14.23%。施用生物质炭后有效降低了微生物熵，T2 处理下降了 19.37%，化肥氮用量的减少对微生物熵的影响不显著。

表 2 不同处理对烤烟根区土壤化学和生物学特性的影响
Table 2 Effects of different treatments on soil chemical and biological properties of flue-cured tobacco rhizosphere

处理	pH	SOC (g/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	MBN (mg/kg)	MBC (mg/kg)	过氧化氢酶活性 (mg/(g·20min))	微生物熵 (%)
T1	7.77 ± 0.01 a	8.49 ± 0.50 b	6.83 ± 0.40 a	6.49 ± 1.46 a	92.98 ± 1.36 a	154.01 ± 5.16 b	3.11 ± 0.24 b	18.16 ± 0.47 a
T2	7.67 ± 0.00 b	9.68 ± 1.32 b	6.09 ± 0.13 b	9.52 ± 3.37 a	65.12 ± 1.22 c	140.03 ± 4.58 c	3.03 ± 0.12 b	14.64 ± 2.48 ab
T3	7.53 ± 0.01 c	10.68 ± 0.60 b	5.78 ± 0.01 bc	5.72 ± 0.71 a	77.33 ± 0.74 b	156.08 ± 0.10 b	3.63 ± 0.01 a	14.63 ± 0.84 ab
T4	7.43 ± 0.00 d	13.63 ± 0.30 a	5.46 ± 0.12 c	9.48 ± 2.81 a	64.94 ± 1.10 c	183.17 ± 4.45 a	3.03 ± 0.12 b	13.44 ± 0.62 b

注：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)，下同。

2.2 生物质炭与化肥氮配施对烤烟根区土壤微生物 AWCD 值的影响

AWCD 值反映了微生物群落对碳源利用的总能力，其值越大，表明土壤微生物活性越高，密度越大。由图 2 可知，烟草根区土壤微生物对不同碳源的利用程度均随培养时间的增加而增大。在 0~24 h 内变化较小且接近 0，在 48 h 之后碳源被迅速利用，AWCD 值急剧增加。在整个监测期，T3 处理 AWCD 值一直保持较高水平，而 T4 处理维持最低水平，表明过量减少化肥氮，减少了微生物能源物质，降低了微生物活性。

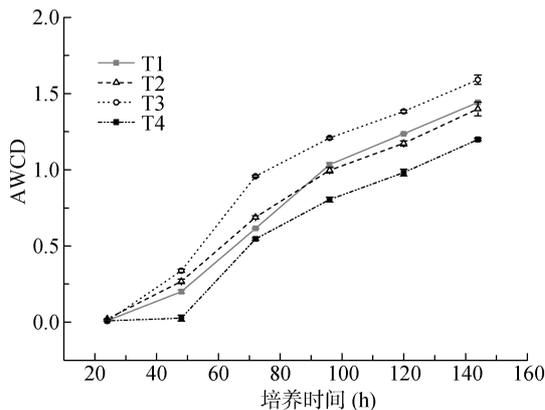


图 2 不同处理对植烟土壤微生物 AWCD 值的影响
Fig. 2 Effects of different treatments on soil microorganism AWCD of flue-cured tobacco rhizosphere

2.3 生物质炭与化肥氮配施对烤烟根区土壤微生物功能多样性指数的影响

选择培养 120 h 时的 AWCD 值来计算土壤微生物功能多样性指数。Shannon 指数(H)是反映群落物种及其个体数和分布均匀程度的综合指标，受群落物种丰富度影响较大。Simpson 指数(D)较多反映了群落中最常见的物种优势度。Mcintosh 指数(U)是群落物种均一性的度量。 E 反映了 Shannon 指数的均匀度。 S 为碳源利用丰富度指数。由表 3 可知，各处理物种丰富度和优势度均为 $T3 > T2 > T1 > T4$ ，但 T1、T2 和 T3 处理无显著差异，T4 处理显著低于各处理，较 T1 处理分别降低了 3.73% 和 0.37%。Mcintosh(U)指数为 $T3 > T1 > T2 > T4$ ，表明添加生物质炭降低了微生物物种的均一度，而在添加生物质炭的基础上，适量减少化肥氮用量，有效提高了均一度值。均匀度(E)与 Shannon 指数表现规律相反，为 $T4 > T1 > T2 > T3$ ，T4 处理较 T1 处理提高了 2.80%，较 T3 处理提高了 4.58%。丰富度指数 S 为 $T3 > T2 > T1 > T4$ ，表明添加生物质炭提高了物种丰富度指数，适宜减少化肥氮的施用，更有利于丰富度指数的提高。

2.4 生物质炭与化肥氮配施对烤烟根区土壤微生物碳源利用特征的影响

由图 3 主成分分析可知，T1 处理分布在第一和第三象限，T2 处理分布在第四象限，T3 处理分布在

表 3 不同处理对烤烟根区土壤微生物功能多样性指数的影响
Table 3 Effects of different treatments on soil microbial functional diversity index of flue-cured tobacco rhizosphere

处理	H	D	U	E	S
T1	3.214 ± 0.040 a	0.956 ± 0.003 a	8.056 ± 0.679 ab	0.999 ± 0.008 b	25 ± 1 b
T2	3.241 ± 0.023 a	0.957 ± 0.001 a	7.533 ± 0.121 bc	0.991 ± 0.007 b	26 ± 1 ab
T3	3.266 ± 0.001 a	0.959 ± 0.000 a	8.665 ± 0.063 a	0.980 ± 0.011 b	28 ± 1 a
T4	3.094 ± 0.002 b	0.949 ± 0.000 b	6.882 ± 0.143 c	1.027 ± 0.010 a	20 ± 1 c

第一象限，T4 处理分布在第二象限。在主成分分析中，PC1 的方差贡献率为 40.63%，PC2 的方差贡献率为 20.79%，累积达到 61.42%。T1 处理在 PC 轴上出现较大分异，表现出微生物群落的不稳定性。不同施氮量对微生物群落功能多样性的影响在空间距离差异上分布较明显，表明肥料用量导致微生物群落代谢功能改变。T1 和 T2 处理出现在不同象限，表明添加生物质炭对微生物功能多样性也有一定的影响。T3 和 T1 处理在第一象限内的空间分布距离较短，说明二者在微生物群落功能多样性方面差异较小。

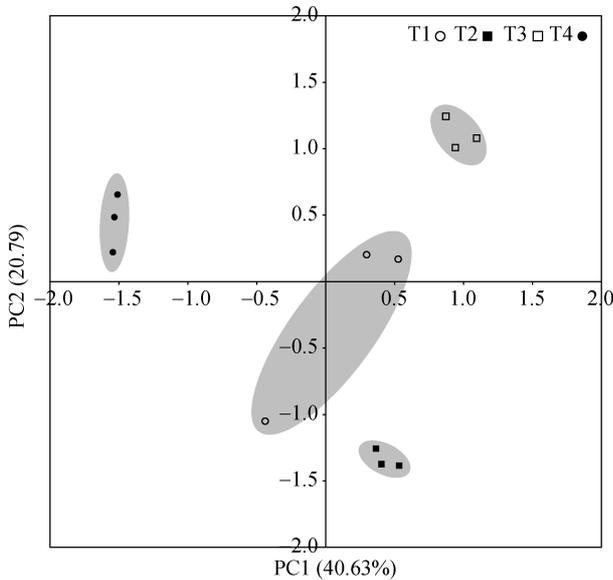


图 3 不同处理土壤微生物碳源利用特征的主成分分析
Fig. 3 Principle component analysis of soil microbial carbon source utilization under different treatments

不同处理下，烤烟根区土壤微生物对不同类别碳源的利用程度存在显著差异(图 4)。土微生物群落对碳水化合物、氨基酸、羧酸和多聚物 4 类碳源的利用强度均为 T3>T1>T2>T4；酚酸类为 T3>T1>T4>T2，T2 和 T4 无显著性差异；胺类为 T2>T3>T1>T4。T1 处理各类碳源利用所占比例为 13.24% ~ 19.39%，较为均匀，其中以氨基酸类最高，酚酸类最低；T2 处理各类碳源利用占比为 7.93% ~ 20.04%，以胺类最高，酚酸类最低；T3 处理中各类碳源(碳水化合物、氨基酸、羧酸、多聚物、酚酸和胺类)利用占比分别为 17.39%、17.37%、20.57%、16.24%、14.12% 和 14.3%，以羧酸类最高，酚酸类最低；T4 处理各类碳源利用占比为 11.35% ~ 22.15%，以碳水化合物类最高，酚酸类最低。表明根区土壤微生物群落对酚酸类利用最少，不同的施肥条件可显著影响土壤微生物群落对不同碳源的利用强度。

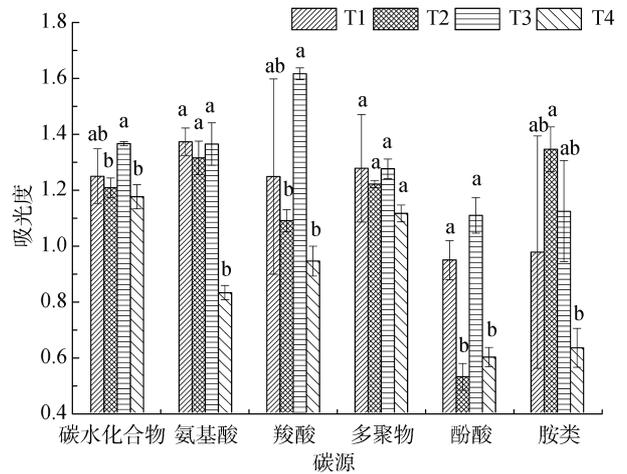


图 4 不同处理土壤微生物群落对 6 类碳源的利用强度
Fig. 4 Utilization intensities of 6 carbon sources by soil microbial communities under different treatments

对 6 类共 31 种碳源进行分析(图 5)，各处理对碳水化合物(D-纤维二糖、 α -D-葡萄糖-1-磷酸)、羧酸(衣康酸、D-苹果酸、丙酮酸甲酯)、多聚物(α -环式糊精、吐温 80)、胺类(腐胺)，无显著性影响。T1、T2 和 T3 处理对碳水化合物(D-半乳糖酸- γ -内脂、i-赤藓糖醇、D-木糖)、氨基酸(L-天门冬酰胺、L-精氨酸)、多聚物(吐温 40)，无显著性影响，T4 处理显著低于其他处理。对各处理优势碳源中的具体碳源种进行分析

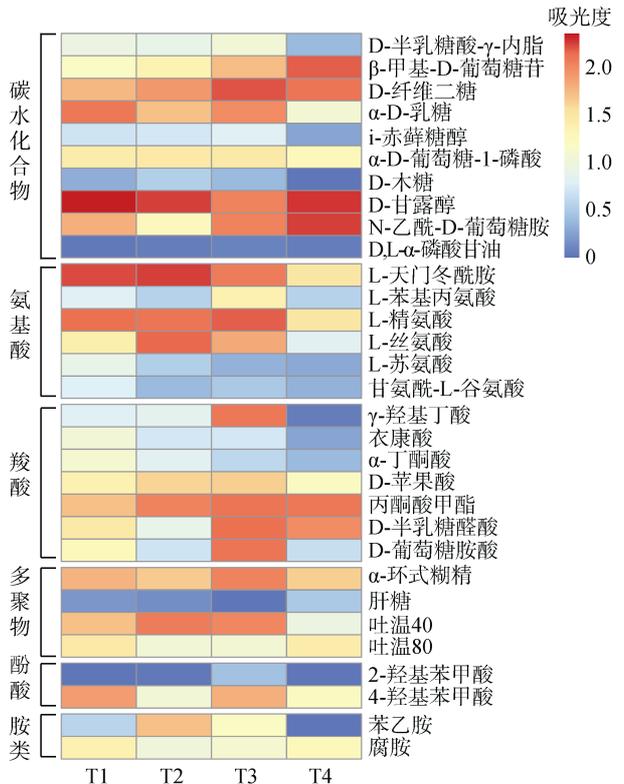


图 5 不同处理土壤微生物群落对 31 种碳源的利用强度
Fig. 5 Utilization of 31 carbon sources by soil microbial communities under different treatments

发现, T1 处理的土壤微生物对氨基酸类的 L-苏氨酸和甘氨酸-L-谷氨酸的碳源利用强度较大, 且明显高于其他处理; T2 处理土壤微生物对胺类中苯乙胺的利用显著高于其他处理; 羧酸类的 γ -羟基丁酸、D-苹果酸、丙酮酸甲酯、D-半乳糖醛酸和 D-葡萄糖胺酸在 T3 处理中的利用显著高于其他处理。T4 处理微生物对碳水化合物类的 β -甲基-D-葡萄糖苷和 N-乙酰-D-葡萄糖胺的利用强度大, 显著高于其他处理。土壤微生物对酚酸类利用强度较小, 主要是因 2-羟基苯甲酸含量较低。

2.5 生物质炭与化肥氮配施对烤烟生长的影响

图 6A 显示不同处理烤烟干物质积累 T3>T1>T2>T4, T1 和 T3 处理无显著性差异, 各处理较 T1 处理分别下降了 6.16%、-0.7% 和 18.21%。烟株根冠比为 T3>T4>T2>T1, 表明添加生物质炭有利于烟株根系的生长。图 6B 显示烤烟旺长期地上部氮素积累量 T1>T2>T3>T4, 生物质炭对烟株旺长期氮素积累有一定的降低作用, 且随着施肥量的减少, 氮素积累量降低。T1 较各处理氮素积累量提高 14.7、17.55 和 25.8 kg/hm²。

3 讨论

3.1 生物质炭与化肥氮配施对烤烟根区土壤特性和烤烟生长的影响

生物质炭施入后由于其对土壤生物和化学特性

的影响, 在不同程度上调控作物生长, 最终可提高作物产量和品质^[4]。大量研究表明^[22-23], 添加生物质炭提高了土壤 pH, 但本文研究结果显示, 添加生物质炭降低了土壤 pH, 且随着化肥氮用量的减少, 土壤 pH 随之降低。这可能是根区土壤中根系分泌物含量增加^[24], 也可能是微生物群落对酚酸类利用程度较低, 造成其在土壤中的积累, 引起土壤 pH 下降^[16], 同时铵态氮的硝化作用也可引起土壤酸化。添加生物质炭提高了土壤有机碳含量, 这与胡玮等^[25]关于不同碳氮比对小麦的影响研究结果和沈盟等^[26]关于生物质炭施用提高番茄土壤有机碳含量结论一致。微生物熵随着生物质炭的添加呈现下降趋势, 而陈红丽^[27]研究表明微生物熵与微生物生物量碳变化趋势一致, 可能是秸秆的碳释放率显著高于生物质炭。本研究结果表明, 生物质炭的添加和化肥氮用量的减少对过氧化氢酶活性影响较小, 添加生物质炭在一定程度上能减轻过氧化氢的毒害作用, 但对过氧化氢酶的活性无显著性影响^[28], 这与张继旭等^[29]研究结果一致; 但黄哲等^[30]及陈心想等^[31]研究表明, 生物质炭的添加对过氧化氢酶活性有促进作用, 这可能与研究所用的生物质炭种类、作物种类以及土壤类型有关。添加生物质炭后, 有效提高了土壤肥力, 促进植株根系生长, 本研究结果表明, 添加生物质炭有效提高了烟株根冠比。由于生物质炭的吸附作用, 降低了土壤中氮素含量, 影响了烤烟对氮素的吸收积累。

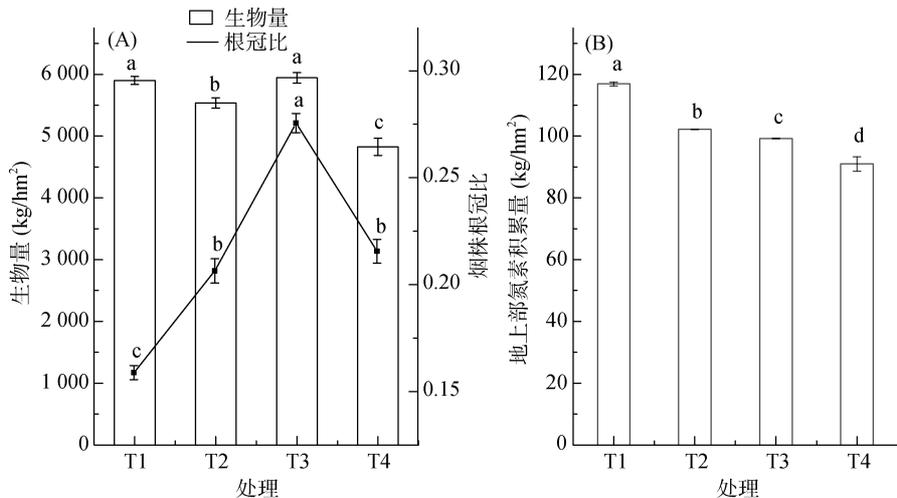


图 6 不同处理对烤烟生长的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on growth of flue-cured tobacco

3.2 生物质炭与化肥氮配施对根区土壤微生物群落功能多样性的影响

添加生物质炭后, 微生物的利用基质发生改变^[32], 不同的农业措施对土壤微生物群落碳源利用能力产

生不同的影响。本研究中, 随着培养时间的延长, 添加生物质炭降低了土壤微生物 AWCD 值, 添加生物质炭+减少 15% 化肥氮处理对土壤微生物利用碳源能力的影响优于其他处理。这可能是由于土壤微生物

生态对氮肥的施入量存在一定的平衡,过多或过少施用化肥氮,都有可能降低土壤微生物群落活性^[15];也可能是因为施肥习惯的改变,影响了土壤酶活性和微生物生物量的变化,改变了土壤微生物的多样性及活性^[33]。

微生物功能多样性指数分析结果表明,不同处理对土壤微生物群落功能多样性的影响有显著差异,微生物种群的数量、优势物种的优势度,以及各个物种的均一度各不相同。物种均一度和丰富指数方面一直保持 T3 处理最高, T4 处理最低,可能是化肥氮的过量减少,导致土壤中氮素含量下降,促进了某些微生物种群生长代谢,抑制了其他微生物种群的生长代谢,进而影响微生物群落功能多样性指数^[12]。

不同处理下,土壤微生物群落对碳源的利用情况不同,且对 6 类 31 种碳源的利用存在显著差异。施用化肥氮相同的情况下,添加生物质炭促进了土壤微生物群落对胺类的利用,而抑制了对其他 5 类碳源的利用;化肥氮的减少会抑制微生物对胺类的利用;除胺类外,其他 5 类碳源均表现为 T3 处理利用强度最高,可能是根系分泌物数量较多,导致进入土壤的新鲜有机质增加,刺激了土壤微生物的生长和繁殖,提高了代谢活性^[34]。

长期过量施用化肥,导致土壤微生物生物量降低、生物种群和功能多样性衰减、土壤的生物化学过程强度减弱、有机碳转化和养分供应能力下降^[16]。添加生物质炭减少化肥氮的施用,使土壤铵态氮、硝态氮等养分分配发生了变化,进而影响微生物群落活性、代谢方式和功能多样性,而微生物不同的群落结构和功能又会影响土壤中各种养分的循环转化过程,影响土壤养分的含量及形态^[35-36]。由于土壤微生物种群的数量及结构的变化直接影响根际微生物整体功能,在植物根系生长的微生态环境中微生物群落对烟株根系的影响有待进一步研究。

4 结论

本研究表明,添加生物质炭减少化肥氮的施用,在一定程度上影响了土壤的化学和生物学特性。添加生物质炭减少 15% 化肥氮时,可有效提高土壤新陈代谢水平,显著提高土壤微生物碳源利用能力,提高烟株根冠比,在微生物群落的稳定性方面,较为接近常规化学施肥,对土壤微生物功能多样性影响较小。因此,添加生物质炭并减少 15% 化肥氮时,改善了烟株根区土壤肥力,增强了土壤微生物活性,促进了微生物种群的发展。

参考文献:

- [1] 田雅楠,王红旗. Biolog 法在环境微生物功能多样性研究中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(3): 50-57
- [2] 鲁顺保,张艳杰,陈成榕,等. 基于 BIOLOG 指纹解析三种不同森林类型土壤细菌群落功能差异[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 618-623
- [3] 夏昕,石坤,黄欠如,等. 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 697-705
- [4] 王欣,尹带霞,张凤,等. 生物炭对土壤肥力与环境质量的影响机制与风险解析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 248-257
- [5] 张阿凤,潘根兴,李恋卿. 生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2459-2463
- [6] 谷思玉,李欣洁,魏丹,等. 生物炭对大豆根际土壤养分含量及微生物数量的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 393-397
- [7] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, et al. The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics[J]. *Naturwissenschaften*, 2001, 88(1): 37-41
- [8] Daniel D W, Johannes L, Thomas W K, et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil-Concepts and mechanisms[J]. *Plant & Soil*, 2007, 300(1/2): 9-20
- [9] 李猛,张恩平,张淑红,等. 长期不同施肥设施菜地土壤酶活性与微生物碳源利用特征比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 44-53
- [10] 姚玲丹,程广焕,王丽晓,等. 施用生物炭对土壤微生物的影响[J]. 环境化学, 2015(4): 697-704
- [11] 韩光明,孟军,曹婷,等. 生物炭对菠菜根际微生物及土壤理化性质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(5): 515-520
- [12] 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
- [13] 岳冰冰,李鑫,张会慧,等. 连作对黑龙江烤烟土壤微生物功能多样性的影响[J]. 土壤, 2013, 45(1): 116-119
- [14] 杨宇虹,陈冬梅,晋艳,等. 不同肥料种类对连作烟草根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 105-111
- [15] 姜蓉,徐智,汤利,等. 化肥减量配施生物有机肥对设施菊花养分吸收转运及产量的影响[J]. 云南农业大学学报, 2016, 31(5): 910-916
- [16] 江琳琳. 生物炭对土壤微生物多样性和群落结构的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016
- [17] 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
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [20] Zhu L X, Xiao Q, Shen Y F, et al. Microbial functional diversity responses to 2 years since biochar application in

- silt-loam soils on the Loess Plateau[J]. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 2017, 144: 578
- [21] Chen L, Li C, Feng Q, et al. Shifts in soil microbial metabolic activities and community structures along a salinity gradient of irrigation water in a typical arid region of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 598: 64–70
- [22] 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
- [23] 勾芒芒, 屈忠义. 生物炭对改善土壤理化性质及作物产量影响的研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2013(5): 1–5
- [24] 陈冬梅. 不同 pH 和不同形态氮对几种作物生物量积累和根系解剖结构的影响[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2005
- [25] 胡玮, 李桂花, 任意, 等. 不同碳氮比有机肥组合对低肥力土壤小麦生物量和部分土壤肥力因素的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2011(2): 22–27
- [26] 沈盟, 蒋芳玲, 王珊, 等. 生物炭施用量对土壤性状和番茄产质量的影响[J]. *土壤*, 2017, 49(3): 534–542
- [27] 陈红丽. 腐熟麦秸对植烟土壤的营养效应及其机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013
- [28] 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
- [29] 张继旭, 张继光, 张忠锋, 等. 秸秆生物炭对烤烟生长发育、土壤有机碳及酶活性的影响[J]. *中国烟草科学*, 2016, 37(5): 16–21
- [30] 黄哲, 曲世华, 白岚, 等. 不同秸秆混合生物炭对盐碱土壤养分及酶活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 290–295
- [31] 陈心想, 耿增超, 王森, 等. 施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(4): 751–758
- [32] Nielsen U N, Ayres E, Wall D H, et al. Soil biodiversity and carbon cycling: A review and synthesis of studies examining diversity-function relationships[J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62(1): 105–116
- [33] 罗希茜, 郝晓晖, 陈涛, 等. 长期不同施肥对稻田土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 740–748
- [34] 杨秉珣, 刘泉, 董廷旭. 嘉陵江流域不同土地利用类型土壤微生物功能多样性特征[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(5): 14–20, 26
- [35] 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
- [36] 王杰, 李刚, 修伟明, 等. 贝加尔针茅草原土壤微生物功能多样性对氮素和水分添加的响应[J]. *草业学报*, 2014, 23(4): 343–350

Effects of Biochar Combing with Nitrogen Fertilizer on Functional Diversity of Microbial Communities in Tobacco-planting Soil

GE Shaohua¹, YAN Haitao¹, CHEN Qi¹, PENG Guixin², YU Jianchun², YANG Yongfeng², LIU Guoshun^{1*}
 (1 *National Tobacco Physiology & Biochemistry Research Centre, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China*;
 2 *China Tobacco Henan Industrial Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China*)

Abstract: A pot experiment was conducted to study the effects of biochar combined with different dosages of nitrogen fertilizer on the functional diversity of soil microbial community in flue-cured tobacco rhizosphere. The results showed that biochar application increased the contents of soil organic carbon and microbial biomass carbon, and the treatment of biochar with 15% reduction of nitrogen fertilizer (T3) significantly improved soil catalase activity and metabolism level. Carbon source utilization of soil microorganism were different under different treatments, T3 treatment had the highest average well color development (AWCD) value, and smaller soil microbial richness and dominance. Principle component analysis and thermal graph analysis showed that the functional differences and dominant carbon sources of soil microbial communities were different under different treatments, among of which, T3 treatment had smaller functional difference and contained most carbon sources in the dominant carbon source carboxylic acids. The biochar application improved root-crown ratio of tobacco by 23.06%–42.36%. Therefore, biochar application can enhance the microbial activity of tobacco-planting soil and improve the diversity of soil microbial function, and the biochar combing with 15% reduction of nitrogen fertilizer has the best effect.

Key words: Biochar; Nitrogen fertilizer; Tobacco-planting soil; Microbial diversity