

减氮条件下生物炭对烤烟根系发育及土壤微生物群落的影响

王 博^{1,2}, 刘扣珠¹, 任天宝¹, 元 野³, 王欢欢¹, 云 菲^{1*},
高卫锴^{4*}, 刘国顺¹

(1. 河南农业大学烟草学院 / 河南省生物炭工程技术中心, 河南 郑州 450002;
2. 黑龙江省烟草公司牡丹江烟叶公司, 黑龙江 牡丹江 157011; 3. 黑龙江省烟草公司牡丹江烟草
科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150002; 4. 广东中烟工业有限责任公司, 广东 广州 510032)

摘 要: 为探索减氮条件下生物炭对植烟土壤的烤烟根系生长及土壤微生物种群数量的影响, 采用大田试验方式, 研究减氮 40% 条件下添加不同用量的生物炭对旺长期烤烟根系形态指标、根系活力以及土壤微生物数量的影响。结果表明, 减氮条件下施用生物炭料可有效增加烟株根系各形态指标, 同时增强根系活力, 并且对增加土壤酶菌和细菌数量有显著促进作用。相对于对照组, T2 (1200 kg/hm²) 根系长度增加 31.12%、根尖数增加 31.66%、根系表面积增加 55.98%、根系体积增加 35.14%; 根系活力增强 78.57%; 土壤中的真菌和细菌数量分别高于对照组 34.29% 和 34.17%。试验表明减氮 40% 条件下生物炭料能够促进烟株根系各形态指标发育, 提高根系活力, 增加土壤微生物数量, 有利于绿色烟叶的可持续发展。

关键词: 生物炭; 烤烟; 根系; 根系活力; 土壤微生物

生物炭是将木材、草、玉米秆或其他农作物废弃物在无氧或者限氧状态下, 经过不高于 700℃ 高温裂解分离出油和可燃气后剩余的被碳化的富碳固态产品^[1]。具有丰富的含氧官能团如羧基、羟基、醛基等的生物炭能产生大量的表面负电荷, 可与其发达的孔隙结构相互作用, 赋予生物炭对水、土壤无机离子、极性和非极性化合物很强的吸附性能, 其芳香化的结构特征及发达的孔隙结构和巨大的比表面积使其具有高度稳定性和很强的蓄集能力, 使施用生物炭的土壤具有高效的保水保肥性能^[2-3]。因此, 生物炭被视为增加土壤碳截留和土壤保育的有效改良材料^[4]。研究发现, 长期施用生物炭能够

提高土壤 C/N、土壤微生物数量与种类、土壤 pH, 增加土壤有效磷、有机碳和阳离子交换量等^[5], 并且能够改善土壤养分的生物有效性。另外, 生物炭还能有效地吸附一些抑制微生物生长繁殖的化合物以减少对微生物的毒害, 增加土壤中微生物的丰度^[6]。张伟明等^[7]发现, 土壤中施入生物炭能增加水稻生育前期根系的主根长、根体积和根鲜重, 提高水稻根系总吸收面积和活跃吸收面积。李程等^[8]研究发现, 生物炭可以促进黑麦草根系生长、增加生物量, 促进其有机质积累。

在国内, 生物炭对水稻和黑麦草的根系生长及产量的促进作用已经得到证实, 关于生物炭对烟草生长的影响及作用机理的研究也已有相关报道, 但生物炭对烤烟生长尤其是其根系生长的作用机理研究报道相对较少。牡丹江烟区是东北最为典型的植烟区域之一, 是调味型烟叶的原料基地, 目前存在化肥施用量大、土地养护意识不足等问题, 致使土壤碳氮失衡, 土壤碳库指数降低^[1]。基于生物炭的物理化学特性及牡丹江烤烟栽培营养管理的问题, 开展减氮条件下不同生物炭用量试验研究, 并研究不同处理间烟株根系形态指标、根系活力以及土壤微生物数量的差异和变化规律, 分析其对旺长期烤

收稿日期: 2020-03-15; 录用日期: 2020-05-23

基金项目: 国家重点研发计划课题“绿肥高效利用下作物生产化肥减施技术集成与应用”(2017YFD0200808); 南平植烟土壤碳氮分布特征及其烟叶质量提升关键技术研究(南烟司叶[2017]21号); “牡丹江调味型烟叶植烟土壤碳库修复关键技术研究与应用”(2015]59号)。

作者简介: 王博(1989-), 男, 黑龙江省牡丹江人, 农艺师, 本科, 主要研究烟叶生产技术与管理。E-mail: and1nan@163.com。

通讯作者: 云菲, E-mail: yunfeifei55@126.com; 高卫锴, E-mail: gwk032@qq.com。

烟根系生长及土壤微生物的影响效果并探索作用机理,旨在为培育强大烟株根系,提升烟叶质量,为牡丹江烟区优质烟叶生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于黑龙江省牡丹江市宁安市牡丹江烟草科学研究所试验场进行。试验场位于东经 $128^{\circ} 02' \sim 131^{\circ} 18'$,北纬 $43^{\circ} 24' \sim 45^{\circ} 59'$,属于高纬度大陆季风气候,四季分明,气候寒冷,雨热同季。全年日照时间约2400 h,年平均气温 6.1°C ,无霜期140 d,年降水量约 $580\text{ mm}^{[9]}$ 。

1.2 供试材料

供试烤烟品种为“龙江911”(由牡丹江烟草科学研究所提供);烟苗于2016年5月13日移栽;供试土壤为暗棕壤,试验土壤基本理化性质:土壤pH为7.2,碳、氮、硫含量分别为1.371%、0.126%和0.073%,有机质含量为2.31%,碱解氮为 89.55 mg/kg ,有效磷为 21.587 mg/kg ,速效钾为 165.453 mg/kg 。生物炭料原料为花生壳,炭化条件为 $380 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 连续式炭化。生物炭料由河南省生物炭工程技术中心提供,基本理化指标如表1所示。

表1 供试花生壳生物炭的主要理化指标

生物炭粒径 (μm)	pH 值	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	C/N	比表 面积 (m^2/g)	孔体 积 (m^3/g)	孔径 (nm)
500 ~ 2000	8.33	414.72	14.36	0.93	28.88	22.97	0.027	4 ~ 6

1.3 试验设计与方法

该试验设计有5个处理,分别为CK、T1、T2、T3、T4。CK为空白对照,T1~T4处理在常规肥减施40%化肥氮(即施入 4.5 kg/hm^2)的基础上,依次施加生物炭600、1200、1800、 2400 kg/hm^2 。常规肥为烟草专用肥(N、P、K分别为7%、10%、21%)、硫酸钾(K_2O 52%)、重过磷酸钙(P_2O_5 42%)。对照试验区施肥总量为氮 42 kg/hm^2 ,磷 152 kg/hm^2 ,钾 226 kg/hm^2 。

每个处理设3个重复,面积 0.06 hm^2 。生物炭料和常规肥作为基肥一次性施入植烟土壤,施肥方式为条施,保持田间持水量平衡15 d后开始移栽,并于团棵时追施硫酸钾 150 kg/hm^2 ,施肥方式为穴施。各处理的移栽方法、水肥管理、农事操作与非

试验田大田管理一致。

1.4 测定内容与方法

1.4.1 根系结构的测定

移栽30 d后,在选定的样株一侧安装直径7 cm、长50 cm的透明微根管,根管与地面垂直,位于烟茎正东面,与烟茎距离约10 cm,地下埋深约45 cm,安装前管口用密封盖塞紧,并在管口外面包被一层不透光的黑色胶带,防止光线、杂物、灰尘及水汽进入管内,以减小外界环境条件对根管内环境的影响。用CI-600根系扫描分析仪进行扫描分析,所获图像规格为 $19.6\text{ cm} \times 21.6\text{ cm}$,并用其软件分析数据,通过函数计算得出数据结果,包括根系长度、根尖数、根系表面积、根系体积等。

1.4.2 根系活力的测定

采用TTC法^[10]测定根系活力,每个处理每个重复取3株烟的完整根部作为测定样品,要求清水洗净,低温储藏,及时测定。

1.4.3 SPAD值的测定

SPAD值表示烟叶叶绿素的相对含量。分别在烟株团棵、旺长和成熟3个时期使用SPAD-502PLUS叶绿素分析仪,选择田间各处理中长势均匀一致的10株样株进行测定,记录SPAD值,测定面积为 6 mm^2 ($2\text{ mm} \times 3\text{ mm}$)。

1.4.4 土壤微生物数量的测定

在烟株进入旺长期后采集0~20 cm土层的新鲜土样,每个小区采集5个点混合样(土样为根际土,分别在小区4个角和中间各取一株),进行3次取样和测定,所用数据为3次的平均值。土样采集后过2 mm筛,采用氯仿熏蒸浸提法^[11]测定土壤微生物数量。

1.5 数据处理

使用Excel 2013制作柱状图,采用SPSS 20.0对不同处理进行单因素方差分析,并用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 生物炭料对旺长期烤烟根系形态指标的影响

图1为旺长期烤烟根系的各形态指标,与对照相比,各形态指标整体上不同程度提高,且生物炭料用量为T2(1200 kg/hm^2)时,烟株根系长度、根尖数、根系表面积和根系体积有最大值。从整体趋势来看,随着生物炭料施入量的增加,各处理的根系形态指标数值呈现先增加再降低的趋势。T2的

根系长度高出对照组 31.12%，与对照组呈现显著性差异 ($P < 0.05$)。施生物炭料 600、1800、2400 kg/hm² 的生物质炭处理与对照组无显著性差异，但依次高出对照组 17.44%、4.52%、0.24%。

T2 的根尖数高出对照组 31.66%，且显著高于其他处理。T1、T3 和 T4 分别高出对照组 7.61%、27.7%、19.27%；T2 的根系表面积高出对照组

55.98%，与其他处理呈现显著性差异。T1、T4 分别高出对照组 18.52%、21.47%，T3 (生物炭料 1800 kg/hm²) 的根系总表面积略低于对照组；T2 的根系体积显著高于对照组 35.14%，T1 和 T3 分别高出对照组 8.42% 和 2.66%，但无显著性差异，T4 (生物炭料 2400 kg/hm²) 的根系体积略低于对照组。

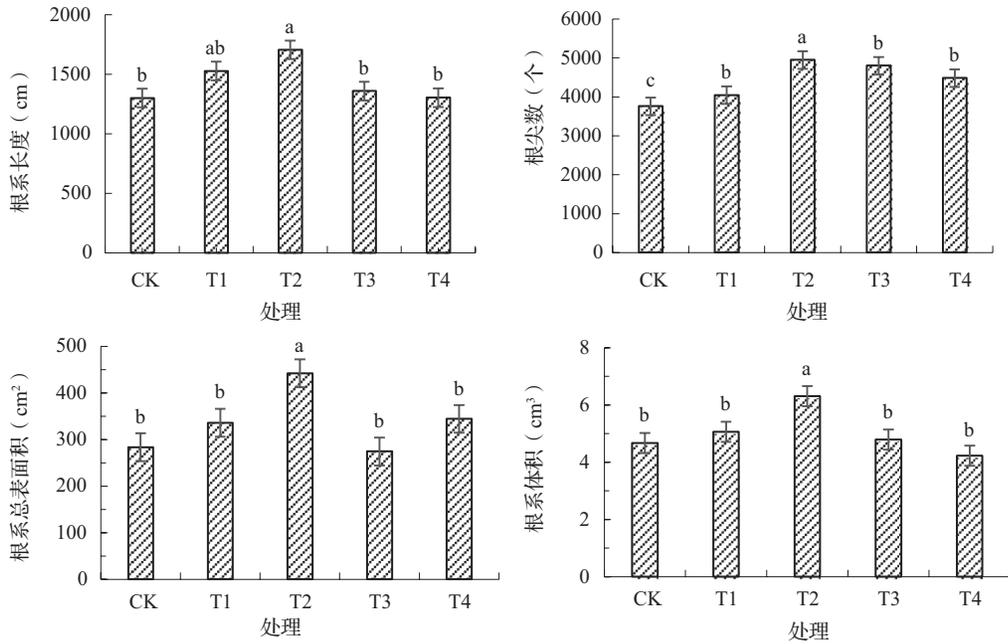


图1 生物炭料对旺长期烤烟根系形态指标的影响

注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 生物炭料对旺长期烤烟根系活力的影响

根系活力数据 (图 2) 显示，随着生物炭料施用量的增加，各处理间根系活力呈先增加后降低的趋势。生物炭料处理的根系活力均高于对照组，并且均与对照组呈显著性差异；其中以 T2 (生物炭料 1200 kg/hm²) 的根系活力最高，显著高于对照组 78.57% 及其他生物炭料处理；T1、T3 和 T4 的根系

活力依次高出对照组 28.57%、50% 和 50%。

2.3 生物炭料对旺长期烤烟 SPAD 值的影响

SPAD 值表示烟叶叶绿素的相对含量。如图 3 所示，生物炭料处理的 SPAD 值显著高于对照组，且 T2 处理的 SPAD 值相对较高，显著高于 T1，但与 T3、T4 无显著性差异。T1、T2、T3 和 T4 分别高出对照组 14.08%、18.08%、17.14% 和 17.61%。

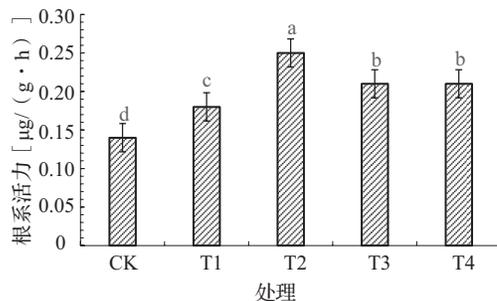


图2 生物炭料对旺长期烤烟根系活力的影响

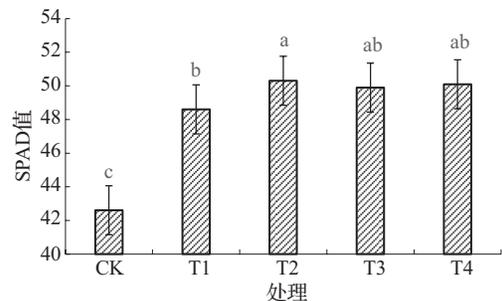


图3 生物炭料对旺长期烤烟 SPAD 值的影响

2.4 生物炭料对旺长期烤烟植烟土壤微生物数量的影响

由图4可知,随着生物炭料施入量的增加,真菌和细菌数量在各处理间均呈现先增加再降低的趋势,其中T2(生物炭料1200 kg/hm²)处理真菌和细菌数量较多,显著高于对照组34.29%和34.17%,更为适宜;放线菌数量随生物炭料施入量的增加无明显变化趋势,T1(生物炭料600 kg/hm²)处理放线菌数量较多,其他生物炭料处理的放线菌数量低于对照组。可能是因为旺长阶段,生物炭料所提供的养分和繁殖场所更适宜于土壤真菌和土壤细菌的生长繁殖,而对放线菌的影响不明显。

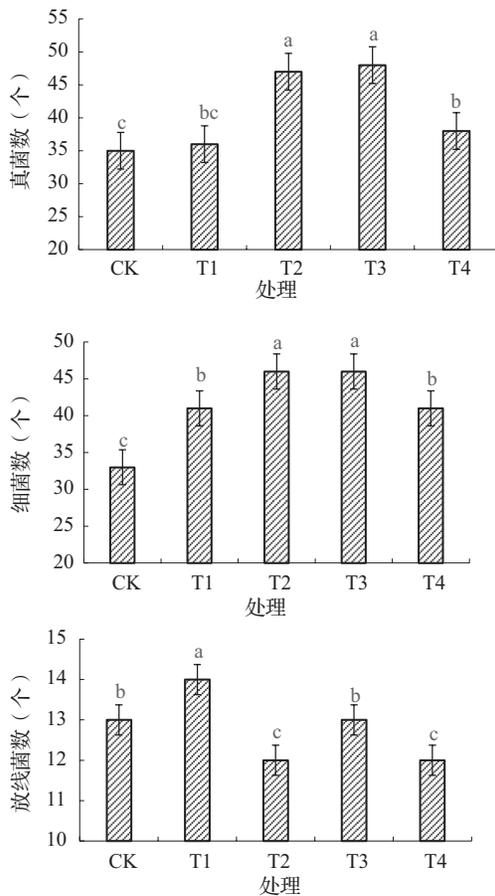


图4 生物炭料对旺长期烤烟植烟土壤微生物三大菌数量的影响

2.5 根系形态指标、SPAD值与土壤微生物的相关性分析

如表2所示,土壤微生物与烟株的根系活力有极显著正相关关系。真菌和细菌对烟株根尖数的影响达极显著水平,对SPAD值的影响达显著水平。

真菌和细菌与根系表面积呈负相关关系,其中真菌对根系表面积的影响达显著水平。放线菌与烟株根系长度、根尖数和SPAD值呈负相关关系,与根系表面积、根系体积和根系活力呈正相关关系。

表2 根系形态指标、SPAD值与土壤微生物的相关性

类别	根系长度	根尖数	根系表面积	根系体积	根系活力	SPAD值
真菌	0.269	0.776**	-0.528*	0.507	0.782**	0.611*
细菌	0.370	0.7658**	-0.432	0.460	0.895**	0.901*
放线菌	-0.162	-0.483	0.232	0.003	0.858**	-0.130

注:数值为相关系数,**表示在0.01水平呈极显著相关;*表示在0.05水平呈显著相关。

3 结论与讨论

烟草根系是烟株活跃的吸收器官与合成器官,能够汲取土壤中的水分和矿质营养,并合成烟碱、氨基酸、酰胺和激素,然后运输至茎叶中^[12],因此根系的发育对烟叶质量有重要影响。烟草植根于土壤中,良好的土壤环境条件有利于强化烟株根系的吸收机能,促进对植烟土壤养分的吸收利用。相关研究表明,施用生物炭料可优化土壤结构和通气状况,有利于根系的发育^[7, 13]和土壤呼吸^[14],有益于土壤微生物活动与养分转化。生物质炭丰富的孔隙结构、高芳香化表面和对水肥的吸附作用为土壤微生物的栖息和繁衍提供良好的“微环境”和庇护所^[15]。

在本试验中,减氮条件下各生物炭料处理的根系形态指标和根系活力值均高于对照组,且在生物质炭施入量为1200 kg/hm²时的效果最好。可能是因为生物炭料施入土壤后,生物炭料比表面积、化学官能团、孔隙结构等特性使其具有较高的吸附性能,在修复土壤碳骨架的同时可以吸附土壤中大量的矿质营养元素,降低了土壤容重^[16],在一定程度上增加了养分的固持能力,减少了土壤中矿质养分的流失,增加了土壤养分含量,随着土壤理化性质的改善,根系生长得到充足的养分和适宜的生长环境^[17],根系充分吸收利用土壤环境提供的养分,使根尖数量高出对照组31.66%,根系伸长31.12%,根系总表面积增加55.98%,根系体积增加35.14%,根系活力增强78.57%。

随生物炭料施入量的增加,土壤真菌和细菌的数量显著增加,且在生物炭料施入量为1200和

1800 kg/hm²时显著高出对照组 34.29% 和 37.14%。韩光明等^[18]发现,当生物炭料施入菠菜农田后,菠菜根际微生物(细菌、真菌、放线菌)的数量显著增加。可能是因为土壤微生物通过自身的生长发育将土壤中的营养固定在其体内,当微生物死亡之后其体内固定的营养元素会再次释放出来,成为土壤中的活化养分,利于根系的吸收利用,使根系对土壤养分的利用率大大增强,完善根系的形态建设,良好的根系形态对提高根系活力有积极的促进作用。但土壤放线菌数量无明显趋势,可能因为生物炭料施入土壤后所引起的微生物响应非常复杂^[19],并且微生物生长具有各自特定的环境需求,因此,不同种类的微生物对生物炭料施用的响应应具有多样性^[20],可能导致土壤中微生物生物量各异的变化趋势。

减氮条件下随着生物炭料施入量的增加,根系形态指标和根系活力呈现先增加后降低的变化趋势,说明生物炭料对根系的作用存在最优值,并非越高越好。可能是因为生物炭料的添加会改变土壤的容积密度,降低土壤容重^[21],增加孔隙度,影响土壤中的水分条件与空气分布。生物炭料能够吸附土壤中的氨氮、硝态氮、磷、钾、镁等不同形态存在的营养元素^[22-23]。同时,施加生物炭料之后土壤的持水能力和供水能力得到提高,水溶性营养离子的溶解迁移就会减少,在这两个机制的协同作用下土壤中营养元素的淋失得到了抑制,并保证其在土壤中持续而缓慢地释放^[24],增强土壤微生物多样性和土壤酶活进而提高养分的利用效率^[25]。但若生物炭过量施入,可能会引起养分形成团聚体,虽能固定保存,但却不能在烟株需要时释放,尤其在土壤持水能力增强的情况下,土壤湿度过高而粘重,所形成的团粒结构不利于营养成分的及时释放,故而不能达到促进根系发育的最佳效果。

参考文献:

- [1] Fuertes A B, Arbestain M C, Sevilla M, et al. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonization of com stover [J]. *Soil Research*, 2010, 48 (7): 618-626.
- [2] 陈学榕, 黄彪, 江茂生, 等. 杉木间伐材炭化过程的 FTIR 光谱比较分析 [J]. *化工进展*, 2008, 27 (3): 429-439.
- [3] Schmidt M W I, Noack A G. Black carbon in soils and sediments: analys, distribution, imply cations, and current challenges [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14 (3): 777-793.
- [4] Preston C M, Schmidt M W I. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions [J]. *Biogeosciences*, 2006, 3 (4): 397-420.
- [5] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70 (5): 1719-1730.
- [6] Chen H, Yao J, Wang F, et al. Study on the toxic effects of diphenol compounds on soil microbial activity by a combination of methods [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 167 (1/3): 846-851.
- [7] 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.
- [8] 李程, 李小平. 生物质炭制备及不同施用量对土壤碳库和植物生长的影响 [J]. *南方农业学报*, 2015, 46 (10): 1786-1791.
- [9] 王欢欢, 任天宝, 张志浩, 等. 生物质炭对牡丹江植烟土壤改良及烤烟品质的影响研究 [J]. *中国农学通报*, 2017, 33 (1): 96-101.
- [10] 黄婷. 烤烟根系重构对其生长和烟碱积累及抗逆性的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [11] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进 [J]. *生态学杂志*, 1999, 18 (2): 63-66.
- [12] 刘国顺. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [13] 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.
- [14] 吴志丹, 江福英, 尤志明, 等. 生物黑炭输入对茶园土壤呼吸的影响 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23 (4): 586-592.
- [15] Liang B, Lehmann J, Sohi S P, et al. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil [J]. *Organic Geochemistry*, 2010, 41 (2): 206-213.
- [16] 王欢欢, 任天宝, 张志浩, 等. 生物质炭对烤烟旺长期根系发育及光合特性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2017, 31 (2): 287-292.
- [17] 李艳平. 有机物料对植烟土壤特性及烤烟产质量的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- [18] 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.
- [19] Steiner C, Das K C, Garcia M, et al. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic ferralsol [J]. *Pedobiologia*, 2008, 51 (5/6): 359-366.
- [20] Steinbeiss S. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41 (6): 1301-1310.
- [21] Busschei W J, Novak J M, Evans D E, et al. Influences of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand [J]. *Soil Science*, 2010, 175 (1): 10-14.

- [22] 刘玮晶, 刘焯, 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.
- [23] 郑琴, 王秀斌, 宋大利, 等. 生物炭对潮土磷有效性、小麦产量及吸磷量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 130-136.
- [24] Steiner C, Das K C, Melear N, et al. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar [J]. Environ Qual, 2010, 39 (4): 1236-1242.
- [25] 郑慧芬, 吴红慧, 翁伯琦, 等. 施用生物炭提高酸性红壤茶园土壤的微生物特征及酶活性 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (2): 68-74.

Effect of biochar on the roots and soil microorganisms of flue-cured tobacco under the condition of nitrogen reduction

WANG Bo^{1, 2}, LIU Kou-zhu¹, REN Tian-bao¹, YUAN Ye³, WANG Huan-huan¹, YUN Fei^{1*}, GAO Wei-kai^{4*}, LIU Guo-shun¹ (1. Tobacco College of Henan Agricultural University/Henan Biochar Engineering Technology Center, Zhengzhou Henan 450002; 2. Mudanjiang Tobacco Company, Heilongjiang Provincial Tobacco Company, Mudanjiang Heilongjiang 157011; 3. Mudanjiang Tobacco Scientific Research Institute, Heilongjiang Provincial Tobacco Company, Harerbin Heilongjiang 150002; 4. Guangdong Tobacco Industry Co., Ltd, Guangzhou Guangdong 510032)

Abstract: The study aids to clarify the effects of biochar on root growth and soil microbial population of flue-cured tobacco under the condition of nitrogen reduction. The field test method was used to study the addition of different amounts of biochar under a 40% nitrogen reduction method, and the root morphology and vigor, soil microbial population of flue-cured tobacco were analyzed. The results showed that the application of biochar effectively increased the root morphological indexes of tobacco plants, and at the same time enhanced the root activity, and significantly promoted the increase of soil enzymes and bacteria. Compared with the control group, under root length T2 (1200 kg/hm²) increased by 31.12%, root tip number increased by 31.66%, root surface area increased by 55.98%, root volume increased by 35.14%; root activity increased by 78.57%; soil mold and bacteria number increased by 34.29% and 34.17%, separately. Therefore, biochar materials can promote the development of tobacco plant root system morphological indicators under 40% nitrogen reduction, increase root vitality, and increase the number of soil microorganisms, which is conducive to the sustainable development of green tobacco leaves.

Key words: biochar; flue-cured tobacco; root system; root activity; soil microorganism