

生物炭与氮肥减量配施对土壤养分含量及烟叶产质量的影响

阎海涛¹,常 栋¹,王晓强¹,蔡宪杰²,何晓冰¹,张 凯¹,

王明鑫¹,张富生¹,阴广宇¹,许成悦²

(1.河南省烟草公司平顶山市公司,河南 平顶山 467000;2.上海烟草集团有限责任公司,上海 200082)

摘 要:为豫中烟叶生产中合理施用生物炭,减少化肥用量提供科学依据。通过大田试验,以常规施用氮肥为对照(CK),研究了生物炭+100%常规施氮肥(B)、生物炭+85%常规施氮肥(BN1)以及生物炭+70%常规施氮肥(BN2)对土壤养分含量、烟叶化学成分及经济性状的影响。结果表明:与对照相比,生物炭与氮肥配施显著提高了土壤有机碳和溶解性有机碳含量,同时也提高了土壤全氮、硝态氮和速效钾的含量。其中有机碳和溶解性有机碳含量以BN2含量最高,分别比对照增加了31.90%和39.84%。土壤全氮、硝态氮和速效钾的含量以B处理最高,分别比对照增加了15.28%、56.40%和22.24%,且在相同生物炭用量下随着氮肥用量的减少而降低。生物炭与氮肥配施显著提高了土壤微生物碳氮的含量,与对照相比,提高幅度分别为38.76%~55.34%和78.92%~158.58%。生物炭施用条件下降低氮肥用量可以显著提高烤后烟叶总糖、还原糖含量,降低总氮和烟碱含量,改善两糖比和钾氮比,有利于提升烟叶化学成分协调性。此外,生物炭施用条件下减少15%氮肥对烤烟经济性状影响不大,但是减少30%氮肥后产量和产值则显著低于对照。因此,综合考虑土壤保育及烟叶产质量因素,豫中烟田在添加生物炭条件下适当减少氮肥施用是可行的,用量以1500 kg/hm²生物炭+44.6 kg/hm²化学氮肥为宜。

关键词:生物炭;氮肥;土壤特性;烤烟;产质量

中图分类号:S158;S572 **文献标识码:**A **文章编号:**0488-5368(2022)05-0041-05

Effects of Biochar Addition and Chemical N Fertilizer Reduction Application on Soil Nutrient Content, Quality and Yield of Flue-cured Tobacco

YAN Haitao¹, CHANG Dong¹, WANG Xiaoqiang¹, CAI Xianjie², HE Xiaobing¹, ZHANG Kai¹, WANG Mingxin¹, ZHANG Fusheng¹, YIN Guangyu¹, XU Chengyue²

(1. Pingdingshan Tobacco Company of Henan, Pingdingshan, Henan 467000, China;

2. Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: To provide a scientific basis for fertilizer application, a field experiment was conducted to study the effect of chemical N fertilizer reduction combined with biochar application on soil nutrient content, quality and yield of tobacco. Four treatments were set as: CK (conventional N fertilization), B (biochar+100% conventional N fertilization), BN1 (biochar+85% conventional N fertilization), BN2 (biochar+70% conventional N fertilization). The results showed that the contents of organic carbon, dissolved organic carbon, total nitrogen, nitrate and available potassium significantly increased under the combined application of biochar and N fertilizer. Compared with the control, the highest organic carbon and dissolved organic carbon contents were observed under the BN2 treatment, the increment was 31.90% and 39.84%, respectively; the contents of total nitrogen, nitrate and available potassium under the

收稿日期:2021-04-12 修回日期:2021-06-20

基金项目:上海烟草集团资助项目(20193100001);河南省青年人才托举工程资助项目(2020HYTP024);中国科协青年人才托举工程资助项目(2017QNR001)。

第一作者简介:阎海涛(1984-),男,河南荥阳人,农艺师,博士,从事土壤改良及烟草栽培研究。

通信作者:许成悦。

B treatment reached the largest value, and increased by 15.28%、56.40% and 22.24%, respectively; under the three treatments with biochar addition, the contents of total nitrogen, nitrate and available potassium decreased with the decrease of N fertilizer application rates. Soil microbial biomass carbon and nitrogen under different fertilization treatments significantly increased by 38.76% ~ 55.34% and 78.92% ~ 158.58% compared to the control, respectively. The treatments of biochar addition combined with 15% ~ 30% reducing nitrogen application rate significantly increased total sugar, reducing sugar content in cured tobacco leaf, decreased the total nitrogen and nicotine content, and improved the harmony of intrinsic chemical components of tobacco leaf. In addition, the treatment with 15% reducing nitrogen application rate did not make much difference on economic characters of tobacco compared with CK. While, the yield and output of tobacco in BN2 was much lower than CK. Overall, considering soil conservation and quality and yield of tobacco, it is feasible to reduce nitrogen application rate with biochar addition in tobacco-growing area of central Henan, and the optimum treatment was BN1(1 500 kg/hm² biochar+44.6 kg/hm² chemical N fertilizer).

Key words: Biochar; Chemical N fertilizer; Soil characteristics; Flue-cured tobacco; Yield and quality

烤烟是豫中地区主要的经济作物之一。然而由于土地资源有限,烟草连作现象难以避免,加之近年来生产中大量施用化肥农药等,对土壤健康带来较大威胁,土壤质量退化,微生态环境失衡,病害发生情况逐年加重,严重制约着烤烟产质量的提升^[1~3]。生产中氮肥过量过大常造成烟叶叶片过厚,烘烤风险提高,烤后烟气杂气较重,感官质量下降,香气风格弱化^[4~5]。为此,培肥土壤,减少氮肥施用量是烤烟生产上亟待解决的问题。

生物炭是农林废弃物在相对高温缺氧条件下制得,富含芳香态碳且性质稳定,最早用于环境领域固碳减排^[6]。近年来在农田土壤保育方面也展现了诸多潜力,土壤添加生物炭可以提高土壤有机碳含量,改良土壤结构,改善微生态环境,提高肥料利用率^[7~9]。生物炭施用下氮肥运筹的研究多见于其他作物^[10~12],在烟草上研究较少^[13],生物炭与氮肥减量配施的效果在豫中烟区尚不明确。为了探明生物炭减少氮肥施用的潜力,笔者研究以河南省郟县典型烟田为对象,研究生物炭与氮肥减量配施对土壤特性及烟叶产质量的影响,以期为豫中烟叶生产上合理施肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2019 年在河南省郟县李口镇进行。试验地海拔 224 m,年平均气温 14.6℃,土壤类型为褐土,其基本理化性质:有机质 12.06 g/kg,碱解氮 69.10 mg/kg,速效磷 17.32 mg/kg,速效钾 110.51 mg/kg,pH 6.08。

1.2 材 料

1.2.1 品种 烤烟品种为中烟 100,由青岛中烟种子有限责任公司提供。

1.2.2 肥料 化肥(氮 8%,磷 12%,钾 20%),湖北香青化肥有限公司;生物炭为花生壳生物炭(pH 8.25,全碳 434.40 g/kg、全氮 13.2 g/kg),河南惠农土质保育研发有限公司;芝麻饼肥(氮 5%,磷 2.7%,钾 1.6%,有机质 50%),平顶山金叶实业有限公司。

1.2.3 仪器 流动注射分析仪。

1.3 方 法

1.3.1 试验设计 试验采用随机区组设计,共设 4 个处理:常规施氮肥(CK);生物炭+100%常规施氮肥(B)、生物炭+85%常规施氮肥(BN1);生物炭+70%常规施氮肥(BN2)。每个小区面积 100 m²,设 3 次重复。常规施肥化肥氮用量 52.5 kg/hm²,氮、磷、钾施用比例为 1:1:3.5。各处理中磷钾量保持一致,生物炭作基肥条施,用量为 1 500 kg/hm²。其他施肥与大田管理按照当地优质烟叶生产技术进行。

1.3.2 指标测定 主要有:

(1) 土壤特性。于烤烟旺长期采集根际土壤,去除杂物混合均匀后分为两份,一份放于 4℃冰箱用于土壤微生物生物量碳氮、硝态氮和铵态氮的分析,一份于室内阴凉通风处晾干,用于土壤理化指标的测定。土壤微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸硫酸钾浸提法测定^[14];土壤溶解性有机碳采用 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提法测定;土壤硝态氮和铵态氮采用 0.1 mol/L CaCl₂ 溶液浸提—流动注

射分析仪测定。其他土壤指标采用常规方法进行测定^[15]。

(2)烤烟常规化学成分。每个小区取中部烤后烟叶样品 2 kg,去除烟梗在 60℃条件下烘干,过 60 目筛后,按照行业标准方法^[16]测定烟叶烟碱、总氮、总糖、还原糖、钾、氯含量,计算两糖比、糖碱比和钾氯比。

(3)烤烟经济性状。烟叶成熟时对每个小区进行挂牌采收、烘烤,统计各小区烤后烟叶总重量和各等级烟叶重量,按照当年烟叶收购价格计算均价、中上等烟比例和产值。

1.4 统计分析

采用 SPSS22.0 软件进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤养分含量和 pH 的影响

从表 1 可以看出,生物炭与氮肥配施对土壤养分各指标的影响不同。添加生物炭的各处理土壤

有机碳含量均显著高于对照,B、BN1 和 BN2 处理分别比对照提高了 25.82%、26.71%和 31.90%,除 CK 外,各处理间差异不显著。土壤溶解性有机碳以 CK 含量最低,为 25.05 mg/kg,最高的为 BN2 处理,比对照提高了 39.84%,其次为 B 和 BN1 处理。施用生物炭的处理土壤全氮含量比对照提高了 6.94%~15.28%,且随着氮用量的减少而降低。土壤硝态氮含量以对照最低,施用生物炭的各处理分别比对照提高了 56.40%、40.34%和 20.10%,其中 B、BN1 处理与对照呈显著性差异。各处理铵态氮含量 3.65~4.00 mg/kg,大小依次为 BN2>B>CK>BN1,处理间无显著差异。各处理土壤速效磷含量 18.74~24.34 mg/kg,最大的为 B 处理,依次为 BN1、BN2 和 CK。土壤速效钾含量 109.42~133.75 mg/kg,大小依次为 B>BN1>BN2>CK。与对照相比,施用生物炭的各处理土壤 pH 提高了 0.10~0.13 个单位。

表 1 不同处理土壤养分含量和 pH 值

处理	有机碳 (g/kg)	溶解性有机碳 (mg/kg)	全氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
CK	6.74b	25.05b	0.72b	7.66b	3.82a	18.74a	109.42b	6.06b
B	8.48a	33.16a	0.83a	11.98a	3.99a	24.34a	133.75a	6.16a
BN1	8.54a	29.80ab	0.78ab	10.75a	3.65a	22.97a	126.00a	6.19a
BN2	8.89a	35.03a	0.77ab	9.20ab	4.00a	21.92a	119.33ab	6.17a

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

2.2 不同处理对土壤微生物生物量的影响

土壤微生物生物量是土壤生物学特性的重要方面。从表 2 可知,氮肥用量相同的情况下,土壤添加生物炭可以显著提高微生物生物量碳的含量,增幅为 49.76%。生物炭应用条件下减施氮肥的处理分别比对照提高了 38.76%和 55.34%。从土壤微生物生物量氮来看,CK 处理含量最低,为 12.29 mg/kg,B、BN1 和 BN2 处理分别比对照提高了 78.92%、83.48%和 158.58%,施用生物炭的各处理与 CK 呈显著性差异。各处理土壤微生物生物量碳氮的比值 5.50~9.15,以 CK 最大,添加生物炭显著降低了其比值,且随着氮用量的减少,土壤微生物生物量碳氮比值逐渐降低。

表 2 不同处理土壤微生物生物量碳氮

处理	微生物量碳 (mg/kg)	微生物量氮 (mg/kg)	微生物量碳 /微生物量氮
CK	112.90b	12.29c	9.15a
B	169.08a	21.99b	7.68b
BN1	156.66ab	22.55b	6.93b
BN2	175.38a	31.78a	5.50c

2.3 不同处理对烟叶常规化学成分含量的影响

烤后烟叶化学成分含量及其比值可以反应烟叶的内在品质。由表 3 可以看出,生物炭与氮肥减量配施对烟叶化学成分有较大影响。施用生物炭的处理烟叶淀粉含量明显低于对照,且随着氮用量的减少而逐渐降低,B、BN1 和 BN2 处理分别比对照降低了 10.15%、14.86%和 18.48%。总糖含量则以对照最低,其他处理比对照提高了 16.24%~18.83%,差异呈显著水平。各处理还原糖含量在 14.78%~18.92%,大小依次为 BN2>BN1>B>CK。与对照相比,生物炭与氮肥配施显著降低了烟叶总氮含量,BN1 降幅最大,为 18.36%。不同处理对烟叶烟碱含量的影响与总氮相似。不同处理烟叶钾含量 0.77~1.10,以 CK 最低,其他处理比对照提高了 31.17%~42.86%。氯含量则以 CK 最高,B、BN1 和 BN2 处理分别比对照降低了 25.66%、38.94%和 31.86%。各处理糖碱比在 7.36~9.90,施用生物炭的处理显著高于对照,其中最大的为 BN1 处理,比对照提高了 34.51%。

各处理两糖比 0.81~0.89,以 BN2 处理最大。钾氯比则以 CK 最低,B、BN1 和 BN2 处理分别比对照提高了 0.56、0.94 和 0.68。

表 3 不同处理烟叶常规化学成分的含量

处理	淀粉 /%	总糖 /%	还原糖 /%	总氮 /%	烟碱 /%	钾/%	氯/%	糖碱比	两糖比 TS/RS	钾氯比 K/Cl
CK	2.76a	18.22b	14.78c	2.56a	2.47a	0.77b	1.13a	7.36b	0.81b	0.68b
B	2.48ab	21.65a	17.44b	2.35ab	2.36a	1.01a	0.84b	9.17a	0.80b	1.24a
BN1	2.35b	21.34a	18.77a	2.09c	2.16b	1.10a	0.69b	9.90a	0.88a	1.62a
BN2	2.25b	21.18a	18.92a	2.23bc	2.31ab	1.04a	0.77b	9.17a	0.89a	1.36a

2.4 不同处理对烤烟经济性状的影响

从表 4 可知,不同处理烟叶经济性状差异较大。BN2 处理产量显著低于 CK,BN1 与 CK 无显著差异,B 处理则比 CK 提高了 3.00%。从烟叶均价来看,BN1 处理比 CK 提高了 2.37%,差异达显著水平,B、BN2 与 CK 差异不大。不同处理烟叶产值以 BN2 最低,为 52 690.17 元/hm²,最高的为 B 处理,达到 56 650.54 元/hm²。不同处理中上等烟比例 85.20%~87.00%,最大的为 BN1 处理,其次为 B 处理,均显著高于 CK,BN2 与 CK 无显著性差异。

表 4 不同处理烤烟经济性状

处理	产量 (kg/hm ²)	均价 (元/kg)	产值 (元/hm ²)	中上等烟 比例/%
CK	2 313.85b	23.61bc	54 630.16b	85.62b
B	2 391.98a	23.68b	56 650.54a	86.45a
BN1	2 279.39bc	24.17a	55 093.11b	87.00a
BN2	2 247.23c	23.45c	52 690.17c	85.20b

3 结论与讨论

笔者研究中,生物炭与氮肥配施显著提高了土壤有机碳含量,有利于农田土壤固碳,这与前人的研究结果一致^[17],主要是因为生物炭富含有机碳^[6],施入土壤相当于直接向土壤中添加了外源有机碳,从而增加土壤碳库。溶解性有机碳是土壤有机碳的活性组分,生物炭与氮肥配施提高了土壤溶解性有机碳含量,可能是因为生物炭表层小分子碳降解所致^[18],也可能是因为生物炭的激发效应促进了土壤本土有机碳降解为小分子活性有机碳^[19]。土壤硝态氮和铵态氮可反映短期内土壤氮素供应情况。笔者研究发现,施用生物炭的处理,土壤硝态氮含量显著增加,而铵态氮变化不大,这

与宋大利等^[20]的研究结果一致,可能是因为旱地土壤较强的硝化作用促进土壤铵态氮向硝态氮转化^[21]。此外生物炭与氮肥配施显著提高了土壤全氮、速效钾含量,主要是因为生物炭本身含有一定养分^[22],同时生物炭比表面积较大,吸附作用强,减少了土壤中养分元素的淋失^[23]。

土壤微生物量碳氮可以表征微生物生物量,也是土壤生物肥力的重要方面。生物炭与氮肥配施显著提高了土壤微生物量碳氮含量,说明不同施肥处理有利于土壤微生物繁殖,这与 Chen 等^[24]的研究结果一致,可能是一方面生物炭的添加提高了土壤肥力,为微生物提供了充足的碳源和氮源^[22],另一方面生物炭自身的多孔结构可为微生物提供良好的栖息环境^[25]。然而也有研究发现土壤添加树枝生物炭后降低了土壤微生物量碳氮含量^[26],这可能与土壤类型、生物炭材料及用量等不同有关。

烟草是产量和质量并重的作物之一,对氮肥用量十分敏感,氮素用量过大会导致烟叶单叶重过大,烟碱及总氮含量偏高,品质降低^[27]。研究在施用生物炭的条件下减少 15%~30% 氮素应用,对于烟叶增糖降氮,提高化学成分协调性效果较好,虽然减少 15% 氮肥施用对产量有一定影响,但是因为烟叶养分协调,烤后中上等烟比例提高,最终产值和对照差异不大,以上结果说明生物炭的施用可对烟叶生产中氮素运筹起到积极作用。

综上,生物炭与氮肥减量配施可显著提高土壤碳库及养分含量,增加土壤微生物生物量,有利于提高土壤肥力。生物炭施用条件下,适量降低氮肥用量(常规施氮基础上减少 30% 以内)可以提高烤后烟叶糖含量、两糖比和钾氯比,降低烟叶烟碱和总氮含量,有利于提升烟叶化学成分协调性;减氮 15% 可以提高上中等烟比例和均价,对烟叶总产值

影响不大。兼顾土壤固碳培肥效果和烟叶产质量水平,建议豫中烟区可在施用 1 500 kg/hm² 生物炭的条件下减少 15% 氮肥应用。

参 考 文 献:

[1] Bittner RJ, Sweigard JA, Mila AL. Assessing the resistance potential of *Phytophthora nicotianae*, the causal agent of black shank of tobacco, to oxathiopropalin with laboratory mutants [J]. *Crop Protection*, 2017, 102: 63-71.

[2] Chen S, Qi G, Luo T, et al. Continuous-cropping tobacco caused variance of chemical properties and structure of bacterial network in soils[J]. *Land Degradation and Development*, 2018, 29 (11): 4 106-4 120.

[3] 贾健,朱金峰,杜修智,等.不同种植模式对烤烟根际土壤微生物、土壤养分和烟叶质量的影响[J].*西南农业学报*,2016, 29(10):2 300-2 306.

[4] 付小红,屠乃美,张清壮,等.烟草中烟碱含量影响因子的研究进展[J].*作物研究*,2016(01):100-104.

[5] 刘燕,赵正雄,付修廷,等.施肥调整对昭通烤烟生长及烟叶品质的影响[J].*中国烟草科学*, 2014, 35 (06):32-37.

[6] 戴静,刘阳生.生物炭的性质及其在土壤环境中应用的研究进展[J].*土壤通报*, 2013,44 (06):1 520-1 525.

[7] Blanco CH. Biochar and soil physical properties[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2017, 81 (04):687-711.

[8] 刘会,朱占玲,彭玲,等.生物质炭改善果园土壤理化性状并促进苹果植株氮素吸收[J].*植物营养与肥料学报*,2018,24(02):454-460.

[9] Laird D, Fleming P, Wang B, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(03):436-442.

[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(02): 468-475.

[11] 姜天华,温立柱,郭芸琿,等.生物炭与氮肥配施对牡丹叶片氮素营养和籽粒品质的影响[J].*应用生态学报*,2017,28(09):2 939-2 946.

[12] 李传哲,章欢,姚文静,等.生物炭配施氮肥对典型黄河故道区土壤理化性质和冬小麦产量的影响[J].*应用生态学报*,2020,31(10): 3 424-3 432.

[13] 王成己,唐莉娜,胡忠良,等.生物炭和炭基肥在烟草农业的应用及展望[J].*核农学报*,2021,35(04):0

997-1 007.

[14] 吴金水,林启美.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.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.

[16] 王瑞新,韩富根,杨素勤.烟草化学品质分析法[J].郑州:河南科学技术出版社,1990.

[17] Demisie W, Liu ZY, Zhang MK. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil [J]. *Catena*,2014,121:214-221.

[18] Steiner C, Das K, 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.

[19] Luo Y, Durenkamp M, Nobili MD, et al. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011,43(11):2 304-2 314.

[20] 宋大利,刁向银,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(02):369-379.

[21] 高忠霞,杨学云,周建斌,等.小麦-玉米轮作期间不同施肥处理氮素的淋溶形态及数量[J].*农业环境科学学报*,2010,29(08):1 624-1 632.

[22] 李力,刘 娅,陆宇超,等.生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J].*环境化学*,2011,30(08):1 411-1 421.

[23] Laird D, Fleming P, Wang B, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J].*Geoderma*,2010, 158(03):436-442.

[24] Chen JH, Liu XY, Zheng JW, et al. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China [J]. *Applied Soil Ecology*, 2013,71:33-44.

[25] Lehmann J, Rillig MC, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota-A review[J]. *Soil Biology & Biochemistry*,2011,43:1 812-1 836.

[26] Dempster DN, Gleeson DB, Solaiman ZM, et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil [J]. *Plant and Soil*, 2012,354(01): 311-324.

[27] 顾会战,母明新,史洪涛,等.关于烤烟“中棵烟”培育的若干思考[J].*中国烟草学报*, 2020, 26 (06): 89-96.