

# 不同种类生物质炭对植烟土壤保育及烤烟生长和品质的影响

聂天宏<sup>1</sup>, 韩学博<sup>1</sup>, 王海龙<sup>1</sup>, 黄化刚<sup>2,3</sup>, 班国军<sup>3</sup>, 张龙<sup>3</sup>, 杨兴<sup>1</sup>, 车磊<sup>4</sup>

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 杭州 311300; 2. 河南农业大学作物学博士后科研流动站毕节工作站, 郑州 450002; 3. 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州 毕节 551700; 4. 湖州师范学院工学院, 浙江 湖州 313000)

**摘要:** 通过盆栽试验, 研究施加等量(3%)椰壳炭、竹炭、猪炭和烟秆炭对植烟土壤基本理化性质、土壤养分、烤烟生长状况以及烤烟常规化学成分的影响。结果表明: 施用生物质炭对土壤电导率、有效养分含量、有机碳含量和酶活性有显著影响, 其中施用竹炭后土壤有机碳含量较 CK 增幅最大, 达 146.37%; 而施加猪炭能显著提高植烟土壤中电导率、有效磷、速效钾含量以及过氧化氢酶和脲酶的活性( $p < 0.05$ )。生物质炭对烤烟农艺性状的影响较小, 仅在猪炭处理下, 烤烟茎围较对照增加 0.78 cm。施用生物质炭能显著提高烤烟的生物量( $p < 0.05$ ), 其中猪炭和烟秆炭处理下烤烟叶片干质量较 CK 分别提高了 58.07% 和 47.01%。另外, 在施用竹炭、猪炭和烟秆炭后, 烤烟叶片中烟碱、总氮、还原糖和钾均处于优质烟叶适宜范围内。猪炭处理还可以显著提高烟叶氯含量( $p < 0.05$ ), 并使烤后烟叶糖碱比和氮碱比达到优质烟叶标准。综上所述, 在各类生物质炭中, 施用猪炭和烟秆炭对于改善植烟土壤理化性质和养分状况、提高烤烟产量和品质的效果较好。

**关键词:** 生物质炭; 植烟土壤; 理化性质; 烤烟; 化学成分

**中图分类号:** S158.3; S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)06-0346-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.050

## Effect of Different Biochars on Soil Conservation, Growth and Quality of the Flue-cured Tobacco

NIE Tianhong<sup>1</sup>, HAN Xuebo<sup>1</sup>, WANG Hailong<sup>1</sup>, HUANG Huagang<sup>2,3</sup>,  
BAN Guojun<sup>3</sup>, ZHANG Long<sup>3</sup>, YANG Xing<sup>1</sup>, CHE Lei<sup>4</sup>

(1. School of Environmental and Resource Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300; 2. Crop Science of Postdoctoral Research Stations, Bijie Workstation, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002; 3. Bijie Tobacco Company of Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700; 4. School of Engineering, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to evaluate the effects of different biochars derived from coconut shell, bamboo sawdust, dead pig and tobacco stalk respectively (at 3% application rate) on the physicochemical properties of tobacco-planting soil, agronomic characteristics of tobacco plant and chemical composition of the flue-cured tobacco leaves. The results showed that the electrical conductivity, contents of available nutrients and organic carbon and enzyme activities of the tobacco-planting soil were influenced significantly by the application of different biochars. The highest content of soil organic carbon was observed in the bamboo biochar treatment, which increased by 146.37% compared to the control. Moreover, the application of pig biochar significantly ( $p < 0.05$ ) increased the electrical conductivity, available phosphorus and potassium, and promoted the activities of catalase and urease in tobacco-planting soil. The application of biochars had a slight influence on the agronomic traits of tobacco plant. The stem girth of tobacco plant in pig biochar treatment increased by 0.78 cm compared to the control. The biomass of tobacco plant significantly ( $p < 0.05$ ) increased, as the dry weight of tobacco leaves increased by 58.07% and 47.01% in the pig biochar and tobacco stalk biochar treatments, respectively, compared to the control. In addition, after the application of bamboo biochar, pig biochar and tobacco stalk biochar, the contents of nicotine, nitrogen, potassium and

收稿日期: 2018-07-09

资助项目: 中国博士后科学基金第 57 批面上项目(2015M572107); 贵州省毕节市烟草公司专项基金项目(BJYC201308); 浙江省重大科技专项(2015C03019)

第一作者: 聂天宏(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事水土环境保护研究。E-mail: nietianhongtt@163.com

通信作者: 王海龙(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事水土资源利用与生态环境修复研究。E-mail: hailong@zafu.edu.cn

黄化刚(1982—), 男, 博士, 主要从事生物炭及土壤生态修复技术研究。E-mail: hhg491124@163.com

reducing sugar in flue-cured tobacco leaves all conformed to the standard of high quality tobacco. The application of pig biochar also significantly ( $p < 0.05$ ) increased the content of chloride in flue-cured tobacco leaves, and adjusted the sugar/nicotine and nitrogen/nicotine ratios to meet the standard of high quality tobacco. In conclusion, pig and tobacco stalk biochars were more effective than others in improving tobacco-planting soil properties and nutrient status, as well as promoting tobacco biomass and quality in the present study.

**Keywords:** biochar; tobacco-planting soil; physicochemical properties; flue-cured tobacco; chemical composition

烟草(*Nicotiana tabacum* L.)是我国一种重要的经济作物。贵州省是我国第二大烟草种植区<sup>[1]</sup>,但近年来由于大量施用化肥以及烤烟连作,出现了植烟土壤质量受损、烤烟正常生长发育受阻、烟叶产量和品质的下降等问题<sup>[2]</sup>。亟需合适的土壤改良剂对植烟土壤进行改良和保育,进而达到提高烤烟产质量的目的。

生物质炭是一种将农林废弃物、植物组织或动物骨骼和排泄物等生物质经过高温热解炭化后的产物,具有较高的碳含量和丰富的营养物质,其自身具有稳定的芳香化结构,表面含有丰富的含氧官能团,并且具有较强吸附性能<sup>[3]</sup>。生物质炭在土壤和农业生产领域早已得到广泛应用<sup>[4]</sup>,近年来在植烟土壤改良和烟草品质改善方面也得到了较为广泛应用,仅在中国知网(CNKI.NET)中以生物质炭—烤烟—土壤为关键词检索结果,截止 2018 年 7 月已有 30 余篇相关的文献报道;而在 Web of Science 用 biochar-soil-tobacco 为关键词检索结果,截止 2018 年 7 月已有 6 篇相关的文献报道。这些报道表明了生物质炭在改土培土、改善烤烟农艺性状和提高烤烟产质量方面具有一定的积极作用<sup>[5]</sup>。

由不同原材料制备的生物质炭,其基本理化性质、表面特征和生态功能也具有较大差异。一般而言,以木本植物为原料生产的生物质炭含碳量较高,以动物排泄物或草本植物为原料生产的生物质炭含碳量较低,但灰分含量较高<sup>[6]</sup>,而以动物尸体和器官制备的生物质炭通常含有较多的可溶性磷酸盐和碳酸盐<sup>[7]</sup>。因此,将利用不同原料制备的生物质炭施入土壤后,对土壤的改良效果和作物生长的影响也不

同<sup>[8]</sup>。目前在植烟土壤上进行的生物质炭相关研究主要集中在某一种生物质炭的不同施用量,而不同类型生物质炭的效果比较方面的报道甚少,仅叶协锋等<sup>[9]</sup>比较研究了花生壳、稻壳和麦秸制成的生物质炭应用效果。基于此,本研究以由不同生物质热解制备的生物质炭(椰壳炭、竹炭、猪炭和烟秆炭)为试验材料,通过盆栽试验探索施用等量(3%质量比)不同种类生物质炭对植烟土壤理化性质、烤烟生长及烟叶化学成分的影响,旨在为进一步利用生物质炭改善植烟土壤肥力状况、提高烤烟产量和品质提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试烤烟品种为“毕纳一号”,由贵州省烟草公司毕节市公司提供。

供试土壤为采自贵州省毕节市威宁县小海镇某烟地 0—20 cm 表层土壤(土壤类型为发生分类的黄棕壤),烤烟移栽和施肥前土壤基本属性:质地为黏壤土,pH 7.32,电导率(EC)0.34 dS/m,有机碳含量 1.75%,碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 56.76,20.41,380.03 mg/kg。该土壤 pH 呈弱碱性是由于施用石灰中和土壤酸性所致。

供试生物质炭为椰壳炭、竹炭、猪炭和烟秆炭。其中,猪炭是将病死猪在 650 °C 缺氧条件下制备而成,椰壳炭、竹炭和烟秆炭分别利用烟秆、废弃椰壳和竹产品工业废弃物在 450 °C 缺氧条件下制备而成。将各种生物质炭分别研磨过 2 mm 筛后备用。供试生物质炭的基本理化性质见表 1。

表 1 供试生物质炭基本理化性质

指标	pH/ (H <sub>2</sub> O)	EC/ (dS · m <sup>-1</sup> )	灰分/ %	碱度/ (cmol · kg <sup>-1</sup> )	全碳/ %	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	总磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )
椰壳炭	10.29	1.34	22.53	137	54.52	9.30	2.12	22.64
竹炭	10.12	1.27	6.62	149	58.02	8.34	0.76	61.16
猪炭	9.76	1.70	56.31	240	28.06	16.09	83.30	24.19
烟秆炭	10.40	2.66	12.97	213	54.03	16.12	2.89	61.20

### 1.2 试验设计

试验于 2015 年 5 月在贵州省毕节市黔西县林泉烟草科技园区内,通过盆栽试验方式进行。试验采用直径为 42 cm,高为 30 cm 的塑料盆,每盆装取过筛供试土壤 30 kg,并分别混入 3%(w/w)的椰壳炭、竹

炭、猪炭和烟秆炭,以不添加生物质炭的处理为对照(CK),共 5 个处理,每个处理重复 3 次。试验中每盆施加 120 g 烟草专用底肥(m(N):m(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):m(K<sub>2</sub>O)为 10:12:23),充分混合均匀后,按田间持水量的 70%加入去离子水。待土壤稳定后,选择生

长状况相似的健康烟苗进行移栽,每盆移栽 1 株。按照当地烤烟种植方式进行管理,在温室条件下生长 150 天后盆栽试验结束。检测每株烤烟不同器官的生物量和农艺性状,并对烤后 C3F 类烟叶进行化学成分分析。同时采用多点采样法从各个盆中采集土壤样品,将土样在常温、通风条件下风干,过 2 mm 不锈钢筛后装袋保存、待测。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 植烟土壤理化性质 土壤 pH 采用 1:2.5 土水比,FE20 型酸度计(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)测定;电导率(EC)采用土水比 1:10,在 25 °C 条件下用 DDS-307 型电导率仪(上海虹益仪器仪表有限公司)测定;土壤有机碳含量用重铬酸钾外加热法<sup>[10]</sup>测定。

1.3.2 植烟土壤速效养分和酶活性 土壤碱解氮含量采用碳酸氢钠浸提—碱解扩散法测定;有效磷含量采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法<sup>[10]</sup>测定。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定;土壤蔗糖酶活性采用 3,5—二硝基水杨酸比色法<sup>[11]</sup>测定。

1.3.3 烟叶农艺性状 在烤烟成熟期,对每株烤烟的农艺性状进行测定,包括株高、有效叶片数、最大叶长宽和茎围。

1.3.4 烤烟生物量 烟叶干质量为烤后烟叶称重;根茎干质量为根茎 105 °C 杀青 30 min 后,于 65 °C 条件下烘至恒重后称重。

1.3.5 烤烟常规化学成分 烟叶成熟后,按部位分批全部采收并进行烘烤,选取中部(C3F)烤烟叶片,碾碎后过 60 目筛,采用连续流动化学分析仪测定烤后烟叶烟碱、总氮、还原糖、钾和氯离子含量等常规化学成分。

### 1.4 数据分析

应用 IBM Statistics SPSS 20.0 软件对数据进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较,表格中不同小写字母表示不同处理之间各指标的差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ),采用 Microsoft Excel 2013 软件进行数据统计处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生物质炭对植烟土壤基本理化性质的影响

从表 2 可以看出,与 CK 相比,施用生物质炭对土壤 pH 并无显著影响。但对比各施炭处理,猪炭处理下的土壤 pH 显著低于其他施炭处理( $p < 0.05$ )。对于土壤电导率而言,在施用猪炭后较 CK 提高 0.90 dS/m,其他处理与 CK 相比均无显著差异。此外,施用不同种类的生物质炭均能显著提高土壤中有机碳

含量( $p < 0.05$ ),其中竹炭处理增幅最大,较对照提高 146.37%。

表 2 不同生物质炭对土壤 pH、电导率和有机碳含量的影响

处理	pH	电导率/ (dS·m <sup>-1</sup> )	有机碳/ %
CK	7.72±0.02ab	0.64±0.08b	1.79±0.09d
椰壳炭	7.86±0.18a	0.48±0.06b	2.97±0.14c
竹炭	7.87±0.10a	0.54±0.07b	4.41±0.20a
猪炭	7.60±0.16b	1.54±0.14a	2.94±0.13c
烟秆炭	7.88±0.07a	0.70±0.09b	3.63±0.27b

注:表中数据为平均值±标准误差;不同小写字母表示各处理差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.2 不同生物质炭对植烟土壤速效养分的影响

从表 3 可以看出,与 CK 相比,烟秆炭处理下土壤碱解氮含量无显著变化,而施加椰壳炭、竹炭和猪炭后土壤碱解氮含量较 CK 均显著降低( $p < 0.05$ ),分别降低 11.34%,8.15%和 8.41%。施用椰壳炭、竹炭和烟秆炭后,土壤中的有效磷含量略有增加,但不显著,而施用猪炭后土壤有效磷含量较 CK 提高 42.93%,提升显著( $p < 0.05$ )。土壤速效钾含量随着生物质炭的施用而增加,表现为烟秆炭>猪炭>竹炭>椰壳炭,分别较 CK 提高 100.05%,65.88%,42.18%和 38.16%。

表 3 不同生物质炭对土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量的影响 单位:mg/kg

处理	碱解氮	有效磷	速效钾
CK	66.11±1.31a	59.80±10.25b	1266.67±57.74d
椰壳炭	58.61±2.98b	72.54±3.08ab	1750.00±70.71c
竹炭	60.72±0.96b	75.87±12.06ab	1800.00±100.01c
猪炭	60.55±3.59b	85.47±13.42a	2100.00±200.12b
烟秆炭	61.29±0.48ab	74.66±3.61ab	2600.00±173.21a

### 2.3 不同生物质炭对植烟土壤酶活性的影响

从表 4 可以看出,施用不同生物质炭后,土壤过氧化氢酶活性均显著提高( $p < 0.05$ ),且烟秆炭和猪炭的效果与椰壳炭和竹炭相比较明显,4 个施炭处理较 CK 分别提高 193.72%,189.11%,148.08%和 116.73%。除烟秆炭处理外,施用其他 3 种生物质炭后土壤脲酶活性均较 CK 显著提高( $p < 0.05$ ),且猪炭处理下增幅最大,达 83.82%。与 CK 相比,施用不同种类的生物质炭对土壤蔗糖酶活性均无显著影响( $p > 0.05$ )。

表 4 不同生物质炭对土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性的影响

处理	过氧化氢酶/ (mL·g <sup>-1</sup> )	脲酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	蔗糖酶/ (mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )
CK	0.15±0.10c	19.35±0.68c	70.51±7.55a
椰壳炭	0.37±0.01ab	31.63±0.83b	63.68±1.78a
竹炭	0.32±0.04b	31.84±1.59b	74.11±27.70a
猪炭	0.43±0.03a	35.57±0.77a	71.15±7.66a
烟秆炭	0.44±0.03a	20.27±0.26c	64.22±7.94a

## 2.4 不同生物质炭对烤烟成熟期农艺性状的影响

从表 5 可以看出,在不同施炭处理下,成熟期烤烟的有效叶数、叶长和叶宽较 CK 均无显著变化,而烟秆炭处理下烤烟叶长显著大于椰壳炭处理( $p < 0.05$ )。施加烟秆炭后,烤烟成熟期株高较 CK 降低了 14.84 cm,而各施炭处理间均无显著差异。此外,与 CK 相比,施加猪炭能显著增大成熟期烤烟的茎围,增幅达 10.17%。

表 5 不同生物质炭对烤烟成熟期农艺性状的影响

处理	有效叶数/片	叶长/cm	叶宽/cm	株高/cm	茎围/cm
CK	24.00±1.63a	69.40±0.81ab	22.59±3.07a	121.73±3.29a	7.67±0.37bc
椰壳炭	23.67±0.94a	65.52±5.66b	21.77±3.16a	110.55±6.28ab	8.26±0.26ab
竹炭	22.33±2.05a	67.28±4.94ab	25.09±4.12a	110.66±8.30ab	7.48±0.40c
猪炭	23.33±1.88a	69.25±2.14ab	22.76±0.12a	110.95±1.97ab	8.45±0.11a
烟秆炭	23.33±0.94a	74.62±1.68a	23.49±0.86a	106.89±1.99b	8.12±0.12abc

## 2.5 不同生物质炭对烤烟生物量的影响

从表 6 可以看出,与 CK 相比,施用不同生物质炭对烤烟根系干质量和茎部干质量的积累均无显著影响;在猪炭和烟秆炭处理下,成熟期烤烟叶片干质量较 CK 分别显著提高 58.07% 和 47.01%,而 2 个处理间无显著差异。施用猪炭后,烤烟叶片干质量的积累效果显著高于椰壳炭和竹炭( $p < 0.05$ )。综合而言,施加猪炭和烟秆炭能显著增加烤烟植株生物量的积累( $p < 0.05$ ),尤其对烤烟叶片生物量的提高效果较明显。

表 6 不同生物质炭对烟株生物量的影响

单位:g

处理	根系干质量	茎部干质量	叶片干质量	总干物质质量
CK	77.40±8.66a	90.60±10.60a	117.77±22.13c	285.77±30.30b
椰壳炭	85.10±11.72a	87.53±14.35a	143.06±13.39bc	315.70±29.55ab
竹炭	77.63±3.51a	87.37±4.30a	143.93±12.81bc	308.93±14.47ab
猪炭	84.60±9.41a	93.67±11.51a	186.16±17.71a	364.42±36.10a
烟秆炭	83.07±5.36a	94.13±6.57a	173.14±21.25ab	350.34±22.38ab

## 2.6 不同生物质炭对烤烟烟叶化学成分的影响

从表 7 可以看出,依据烤烟化学成份适宜性指

表 7 不同生物质炭对烤烟叶片常规化学成分的影响

处理	烟碱/%	总氮/%	还原糖/%	钾/%	氯/%	氮碱比	糖碱比
CK	3.95±0.74a	2.43±0.20a	18.52±1.34d	2.10±0.23a	0.27±0.16b	0.62	4.69
椰壳炭	2.34±0.86ab	1.88±0.17b	24.67±0.27a	1.73±0.21b	0.23±0.04b	0.80	10.54
竹炭	2.69±0.81ab	2.02±0.06b	22.71±0.46b	2.15±0.19a	0.29±0.09b	0.75	8.44
猪炭	1.87±0.45b	2.07±0.11b	20.70±0.59c	2.17±0.08a	0.54±0.04a	1.11	11.07
烟秆炭	2.33±0.85ab	1.84±0.31b	21.20±1.00bc	2.03±0.04ab	0.32±0.03b	0.79	9.10

# 3 讨论

## 3.1 不同生物质炭对植烟土壤理化性质的影响

土壤 pH 是影响土壤肥力和生理生化反应的主要因素之一。生物质炭一般呈碱性,通常情况下,施用生物质炭可以提高土壤 pH<sup>[7,13]</sup>。Lu 等<sup>[13]</sup>研究表明,施用 5% 的竹炭和稻草炭均可显著提高酸性土壤的 pH( $p < 0.05$ )。Yang 等<sup>[7]</sup>也通过烟草盆栽试验发现,施用烟秆炭和死猪炭均显著提高了植烟土壤的 pH( $p < 0.05$ )。这主要是因为生物质炭本身具有较高的表面碱度,且含有较多碱性盐基离子和含氧官能团<sup>[3]</sup>。而本研究结果显示,施用不同生物质炭后土壤 pH 较 CK 并无显著差异。这可能与供试土壤本身

pH 呈弱碱性有关。有研究<sup>[14]</sup>表明,在碱性土壤中施用生物质炭对土壤 pH 的影响较小;此外,也有研究<sup>[15]</sup>显示,在生物质炭施用初期对土壤 pH 影响较大,但随着生物质炭在土壤中的老化,对土壤 pH 的影响会减弱。对于本研究结果而言,也可能是在烤烟生长过程中,土壤缓冲效应以及根系分泌的有机酸等减弱了生物质炭对其酸碱性的影响。

土壤电导率(EC)包含了反映土壤性质的丰富信息,是衡量土壤肥力的重要参考指标之一,通常可以通过土壤电导率来估测土壤盐分含量<sup>[16]</sup>。本研究发现,施用猪炭后植烟土壤 EC 较 CK 显著提高。这可能是因为猪炭本身具有较高的灰分含量(表 1),将其

标<sup>[12]</sup>,不同生物质炭处理下,烟叶的烟碱、总氮含量均处于适宜范围内(1.5%~3.5%),其中猪炭处理下烟叶烟碱含量较 CK 降低 52.7%,而施用不同生物质炭均有效降低了烟叶总氮的含量。此外,各施炭处理下烟叶的还原糖含量相比于 CK 均具有显著差异( $p < 0.05$ ),其中竹炭、猪炭和烟秆炭处理下的烟叶还原糖含量均符合优质烟叶的标准(18%~22%)。而除椰壳炭处理外,其他施炭处理下烟叶钾含量均达到了优质烟叶钾含量(>2%)的适宜范围。对于氯离子而言,烟叶中的氯离子含量在 0.4%~0.8% 时较适宜,而施用猪炭可以显著提高烟叶中氯含量( $p < 0.05$ ),且氯含量达到优质烟叶水平。对比各类施炭处理,施用猪炭和椰壳炭能有效提高烟叶的氮碱比,使其达到优质烟叶的标准(0.8~1.2),而施用各类生物质炭均能够有效提高烟叶的糖碱比,且均达到了优质烟叶的适宜水平(8~12)。总体而言,施用猪炭对烤烟烟叶内在化学成分的改善效果较显著,各成分之间也较协调。

对比各类施炭处理,施用猪炭和椰壳炭能有效提高烟叶的氮碱比,使其达到优质烟叶的标准(0.8~1.2),而施用各类生物质炭均能够有效提高烟叶的糖碱比,且均达到了优质烟叶的适宜水平(8~12)。总体而言,施用猪炭对烤烟烟叶内在化学成分的改善效果较显著,各成分之间也较协调。

施入土壤后,可以带入较多的盐基离子,进而提高土壤电导率<sup>[8]</sup>。而施用竹炭、椰壳炭和烟秆炭等植物性生物质炭对土壤 EC 无显著影响。Lu 等<sup>[17]</sup>研究发现,在水稻土中施用 1% 和 5% 的稻草炭和竹炭后,土壤 EC 较不施炭对照无显著变化。Yang 等<sup>[7]</sup>在重金属污染土中施用不同比例的烟秆炭后,土壤 EC 较不施炭处理也均无显著变化。这可能与灰分元素被烟株快速吸收或被当地较高的降雨量(约 1 005 mm)快速淋失所致。

土壤有机碳对土壤团粒结构、土壤养分及微生物活动等方面具有重要影响。大量研究<sup>[18-19]</sup>表明,施用生物质炭能显著提高土壤有机碳的含量。在本研究中,施用椰壳炭、竹炭、猪炭和烟秆炭后,土壤有机碳含量均显著提高。这一方面是因为生物质炭本身具有较高的有机碳含量和稳定的芳香化结构,在土壤中不易被矿化,所以作为外源施入能长期有效地促进土壤有机碳的积累<sup>[18]</sup>;另一方面,生物质炭表面丰富的孔隙结构使其具有较强的吸附能力,可将土壤中的小分子有机物吸附到其孔隙内,减少了微生物与土壤有机物的接触,从而在一定程度上降低了土壤中有机碳的矿化量<sup>[19]</sup>。

### 3.2 不同生物质炭对植烟土壤速效养分的影响

土壤速效养分指土壤中被作物直接吸收的矿质养分,如碱解氮、有效磷和速效钾等,是使作物获得高产的保证。本次试验中,施用各类生物质炭后,植烟土壤中碱解氮含量相较于 CK 均有所下降。一方面,是因为在生物质炭与化肥配施的条件下,土壤中的 C/N 值升高,减缓了土壤中微生物对土壤有机氮的矿化速率,从而导致了土壤中碱解氮含量的降低<sup>[20]</sup>;另一方面,生物质炭施入土壤后会改变土壤的孔隙结构,增加土壤的通气性能,这可能会提高土壤氨态氮的挥发速率<sup>[21]</sup>。此外,施加猪炭可使植烟土壤中有效磷含量显著提高,其原因可能是猪炭相比其他生物质炭含有更丰富的磷素(表 1),将其施入土壤后对土壤有效磷含量有直接贡献。而生物质炭表面丰富的官能团和较大的比表面积,使其对土壤中的磷酸盐具有较强的吸持作用,能减少土壤中磷素的淋失<sup>[22]</sup>。本研究还发现,施用不同生物质炭均能显著提高植烟土壤速效钾的含量。王成己等<sup>[23]</sup>也发现,施用烟秆炭后,植烟根际土壤的微生物种类增多,土壤速效钾释放率也明显提高。这是因为生物质炭中钾的有效性较高,将其施入土壤后能够增加土壤中阳离子的交换量,减少土壤中钾的淋溶损失。同时,施入生物质炭能提高土壤中相关酶的活性(表 5),从而促进植烟土壤中钾元素的转化和释放<sup>[24]</sup>。

### 3.3 不同生物质炭对植烟土壤酶活性的影响

土壤酶活性直接反映了土壤中微生物的活性及其对土壤养分转化和转移能力的强弱。土壤中的过氧化氢酶活性反映了土壤有机质转化状况,对土壤有机碳的分解和转化起着重要的作用<sup>[25]</sup>;土壤蔗糖酶的活性与土壤有机质积累和转化状况有关,同时也反映了土壤的养分状况<sup>[3]</sup>;土壤脲酶能促进土壤中含氮有机物的转化,其活性反映土壤氮素的供应强度<sup>[26]</sup>。生物质炭自身复杂的物理结构和化学特性决定了其与土壤微生物和生物酶之间相互作用的复杂性。本研究发现,施用不同种类的生物质炭均能提高土壤中过氧化氢酶和脲酶的活性。这一方面是因为生物质炭自身的多孔性结构可以增加土壤的通气性能和持水能力,改善了土壤微生物生长和繁殖的环境,使得微生物活性和数量大大增加,从而促进土壤氧化反应及对土壤氮素的转化和循环<sup>[27]</sup>;另一方面,生物质炭本身也是一种能够被土壤微生物直接利用的碳源,从而可以提高细菌、真菌和放线菌等土壤微生物的生物量<sup>[28]</sup>。试验表明,施用生物质炭对土壤蔗糖酶没有显著影响,这可能是因为生物质炭对蔗糖酶分子的活性位点产生了吸附作用,阻碍了其与反应底物的结合,从而抑制酶促反应的进行<sup>[29]</sup>。

### 3.4 不同生物质炭对烤烟生长及烟叶品质的影响

烤烟的农艺性状和干物质积累状况直接影响烤烟烟叶的产量和品质,是衡量烟株生长发育状况的重要参数<sup>[12]</sup>。本研究结果显示,施加猪炭可显著提高烟株的茎围。刘建波等<sup>[30]</sup>研究表明,增磷优化施肥相比常规施肥,烤烟茎围会明显增粗。在本研究中,猪炭本身含有较高的磷含量(表 1),将其施入土壤后使土壤有效磷含量显著升高,从而更有利于烤烟茎围增粗。对比烤烟各器官的干物质积累量变化,施用生物质炭对烤烟叶片的干物质质量的提升效果明显。王丽渊等<sup>[31]</sup>研究也发现,在土壤中施用生物质炭能提高烤烟生长中、后期整株干物质积累量,尤其对烟茎和烟叶生长的促进效果更为明显。

烤烟烟叶内在化学成分及其协调性是评价烤烟品质的重要指标,而植烟土壤的理化性质是影响烤烟品质的重要因素<sup>[12]</sup>。本试验研究结果显示,施用各类生物质炭后,烟叶中的烟碱和总氮含量较 CK 呈不同程度的降低。而烤烟烟叶中总氮和烟碱含量可以反映植烟土壤中氮素供应能力的强弱<sup>[32]</sup>。这可能是生物质炭的施用引起土壤中碱解氮含量的降低(表 3),在一定程度上减弱了烤烟生长过程中土壤供应氮素的能力。本研究还发现,施用各类生物质炭后烤烟烟叶的还原糖含量均显著升高。植烟土壤中氮素和钾素的供应能力会直接影响烟叶的含糖量,具体表现

为含氮养分的降低及含钾养分的升高均有利于烟叶中糖类组分的积累。其中,对于烤烟烟叶而言,速效钾是影响其含糖量的主导因子<sup>[33]</sup>。在本研究中,各类生物质炭的施用均提高了土壤中速效钾的含量(表3),这可能是导致烤烟烟叶中还原糖含量升高的主要因素之一。此外,土壤中碳素供应能力也是影响烟叶内糖分含量的主要因素<sup>[32]</sup>。因此,施用生物质炭后可使土壤中有机碳含量增加(表2),这也可能间接导致烟叶中还原糖含量增加。

## 4 结论

本研究表明,施用不同种类的生物质炭均能显著提高植烟土壤有机碳含量,且竹炭处理下土壤有机碳含量最高,而各施炭处理对土壤 pH 并无显著影响。猪炭处理下土壤中有效磷、速效钾含量及过氧化氢酶、脲酶的活性较 CK 均显著升高。施用猪炭和烟秆炭均可显著提高烤烟叶片的干物质量。其中,施用猪炭还可以显著提高烤烟植株总干物质量。施用竹炭、猪炭和烟秆炭后,烤烟叶片中烟碱、总氮、还原糖和钾含量均符合优质烟叶的标准。此外,猪炭处理下烟叶的氯含量显著提高,且氮碱比和糖碱比均达到了优质烟叶标准。总体来看,施用猪炭和烟秆炭在改善植烟土壤性质和肥力状况、促进烤烟生长和品质提升方面的效果较好。

### 参考文献:

[1] 黄东兵,刘骏.当前经济形势下贵州烟草商业经济发展模式研究[J].中外交流,2016(26):1.

[2] 郭亚利,刘锦华,王仕海,等.植烟土壤保育及改良技术的研究进展[J].贵州农业科学,2016,44(4):79-85.

[3] Nie C, Yang X, Niazi N K, et al. Impact of sugarcane bagasse-derived biochar on heavy metal availability and microbial activity: A field study [J]. Chemosphere, 2018,200:274-282.

[4] 唐行灿,陈金林.生物炭对土壤理化和微生物性质影响研究进展[J].生态科学,2018,37(1):192-199.

[5] 黄刘亚,孙永波,刘书武,等.生物炭对植烟土壤主要性状和烤烟产质量影响的研究进展[J].作物杂志,2017(4):15-20.

[6] 陆扣萍,郭茜,胡国涛,等.猪炭和竹炭的理化特性差异及其对菜地土壤氨挥发的影响[J].浙江农林大学学报,2017,34(4):647-655.

[7] Yang X, Lu K, Mcgrouter K, et al. Bioavailability of Cd and Zn in soils treated with biochars derived from tobacco stalk and dead pigs[J]. Journal of Soils and Sediments, 2017,17(3):751-762.

[8] 郭茜,陆扣萍,胡国涛,等.死猪炭和竹炭对菜地土壤理化性质和蔬菜产量的影响[J].浙江农林大学学报,2017,34(2):244-252.

[9] 叶协锋,周涵君,李志鹏,等.生物炭类型对植烟土壤碳库及烤后烟叶质量的影响[J].中国烟草学报,2018,24(4):77-85.

[10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[11] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[12] 黄化刚,班国军,陈垚,等.多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响[J].土壤学报,2017,54(6):1427-1437.

[13] Lu K, Yang X, Shen J, et al. Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2014,191:124-132.

[14] 徐秋桐,邱志腾,章明奎.生物质炭对不同 pH 土壤中碳氮磷的转化与形态的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2014,40(3):303-313.

[15] Dong D, Yang M, Wang C, et al. Responses of methane emissions and rice yield to applications of biochar and straw in a paddy field[J]. Journal of Soils and Sediments, 2013,13(8):1450-1460.

[16] 王秋月,杨兴,何丽芝,等.酸化猪炭对土壤中不同形态磷质量分数及相互转化的影响[J].浙江农林大学学报,2018,35(3):387-397.

[17] Lu K, Yang X, Gielen G, et al. Effect of bamboo and rice straw biochars on the mobility and redistribution of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in contaminated soil[J]. Journal of Environmental Management, 2017,186(2):285-292.

[18] 赵世翔,于小玲,李忠徽,等.不同温度制备的生物质炭对土壤有机碳及其组分的影响:对土壤活性有机碳的影响[J].环境科学,2017,38(1):333-342.

[19] 李志刚,张继光,申国明,等.烟秆生物质炭对土壤碳氮矿化的影响[J].中国烟草科学,2016,37(2):16-22.

[20] Deenik J L, McClellan T, Uehara G, et al. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010,74(4):1259-1270.

[21] 吕一甲,屈忠义.生物炭肥料对河套灌区耕层土壤肥力及含水率影响的研究[J].节水灌溉,2015(3):18-21.

[22] 刘卉,周清明,黎娟,等.生物炭对植烟土壤养分的影响[J].中国农业科技报,2016,18(3):150-155.

[23] 王成己,陈庆荣,陈曦,等.烟秆生物质炭对烟草根际土壤养分及细菌群落的影响[J].中国烟草科学,2017,38(1):42-47.

[24] 张清梅,刘金泉,李明,等.生物炭对黄瓜根际土壤养分和酶活性的影响[J].北方园艺,2017,41(19):131-136.

[25] 刘领,王艳芳,宋久洋,等.生物炭与氮肥减量配施对烤烟生长及土壤酶活性的影响[J].河南农业科学,2016,45(2):62-66.

- [4] Tu C, Ma L Q. Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. [J]. Environmental Pollution, 2005, 135(2): 333-340.
- [5] 丁枫华, 刘术新, 罗丹, 等. 基于水培毒性测试的砷对 19 种常见蔬菜的毒性[J]. 环境化学, 2010, 29(3): 439-443.
- [6] Khan I, Ahmad A, Iqbal M. Modulation of antioxidant defence system for arsenic detoxification in Indian mustard[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009, 72(2): 626-634.
- [7] 万梦雪, 王敏, 周馥荔, 等. 砷对绿豆和黑豆种子萌发的影响[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 288-293.
- [8] 巩健. 砷胁迫对黄瓜种子萌发与苗期生长的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(10): 1502-1507.
- [9] 刘全吉, 孙学成, 胡承孝, 等. 砷对小麦生长和光合作用特性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 854-859.
- [10] Azizur R M, Hasegawa H, Mahfuzur R M, et al. Effect of arsenic on photosynthesis, growth and yield of five widely cultivated rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Bangladesh [J]. Chemosphere, 2007, 67(6): 1072-1079.
- [11] 徐玲玲, 李娅迪, 冯旭东, 等. 砷胁迫对紫茉莉生理生化特性的影响[J]. 山地农业生物学报, 2015, 34(4): 13-17.
- [12] 常思敏, 马新明, 蒋媛媛, 等. 土壤砷污染及其对作物的毒害研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(2): 161-166.
- [13] 刘更另. 矿质微量元素与食物链[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 4-6.
- [14] Garg N, Singla P. Arsenic toxicity in crop plants: Physiological effects and tolerance mechanisms[J]. Environmental Chemistry Letters, 2011, 9(3): 303-321.
- [15] 张彦良. 山西省谷子种植区域划分与配套品种概述[J]. 种子科技, 2016, 34(6): 42.
- [16] 朱云集, 王晨阳, 马元喜, 等. 砷胁迫对小麦根系生长及活性氧代谢的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 707-710.
- [17] 刘志彦, 陈桂珠, 田耀武. 不同水稻品系幼苗对砷(As)的耐性、吸收及转运[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3228-3235.
- [18] 郝玉波, 刘华琳, 慈晓科, 等. 砷对玉米生长、抗氧化系统及离子分布的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3183-3190.
- [19] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [20] 杨颖丽, 王文瑞, 尤佳, 等. Cd<sup>2+</sup> 胁迫对小麦种子萌发、幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(3): 88-94.
- [21] 孙亚莉, 刘红梅, 徐庆国. 镉胁迫对不同水稻品种种子萌发特性的影响[J]. 中国水稻科学, 2017, 31(4): 425-431.
- [22] 李牡丹. 重金属 Pb 对芨芨草种子萌发及其幼苗生长的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [23] 肖志华, 张义贤, 张喜文, 等. 外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 889-897.
- [24] 刘拥海, 俞乐, 陈奕斌, 等. 不同荞麦品种对铅胁迫的耐性差异[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1344-1347.
- [25] 江行玉, 赵可夫. 植物重金属伤害及其抗性机理[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 92-99.
- [26] Shaibur R K S. Effect of arsenic on visible symptom and arsenic concentration in hydroponic Japanese mustard spinach[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67(1): 65-70.
- [27] 袁霞, 李艳梅, 张兴昌. 铜对小青菜生长和叶片保护酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 467-471.
- [28] Petterson O. Differences in cadmium uptake between plant species and cultivars[J]. Swedish Journal of Agricultural Research, 1997, 7: 21-24.
- [29] 赵秀峰, 张强, 程滨, 等. 硒对砷胁迫下小白菜生理特性及砷吸收的影响[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3583-3589.
- [30] 徐秋曼, 陈宏, 程景胜, 等. 镉对油菜叶细胞膜的损伤及细胞自身保护机制初探[J]. 农业环境科学学报, 2001, 20(4): 235-237.
- [30] 刘建波, 毛家伟, 张绵中, 等. 周口市烟区不同优化施肥处理对烤烟生长发育及经济性状的影响[J]. 现代农业科技, 2016(1): 28.
- [31] 王丽渊, 刘国顺, 王林虹, 等. 生物质炭对烤烟干物质积累量及根际土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(1): 140-144.
- [32] 赵殿峰, 徐静, 罗璇, 等. 生物炭对土壤养分、烤烟生长以及烟叶化学成分的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 85-92.
- [33] 黎妍妍, 许自成, 王金平, 等. 湖南烤烟总糖、还原糖含量与几种土壤养分的关系分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 911-914.

(上接第 351 页)

- [26] 陈丹梅, 陈晓明, 梁永江, 等. 种植模式对土壤酶活性和真菌群落的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(2): 77-84.
- [27] Xu G, Lv Y, Sun J, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications[J]. Clean-Soil Air Water, 2012, 40(10): 1093-1098.
- [28] 周玉祥, 宋子岭, 孔涛, 等. 不同秸秆生物炭对露天煤矿排土场土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 环境化学, 2017, 36(1): 106-113.
- [29] 熊佰炼, 谭必勇. 生物质炭还田利用对土壤酶活性影响研究现状[J]. 遵义师范学院学报, 2017, 19(3): 106-110.