

引用格式:

何罗驭阳, 杨佳宜, 廖桂平, 肖志鹏, 罗伟. 3种生物炭的表征及其在烤烟生产上的效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(5): 15–20.

HE L Y Y, YANG J Y, LIAO G P, XIAO Z P, LUO W. Characterization of 3 types of biochar and their effects on flue-cured tobacco production[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(5): 15–20.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



3种生物炭的表征及其在烤烟生产上的效应

何罗驭阳¹, 杨佳宜¹, 廖桂平¹, 肖志鹏², 罗伟^{1*}

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省烟草公司衡阳市公司, 湖南 衡阳 421099)

摘要: 对浅炭化稻壳炭、深炭化稻壳炭和烟梗炭等3种生物炭进行了表征, 以湘烟7号为材料, 以施加等量(1 t/hm²)浅炭化稻壳炭、深炭化稻壳炭和烟梗炭为处理组, 不施加生物炭为对照组, 进行田间试验, 测定土壤的理化性质、烟株的农艺性状及烤后烟叶的理化性质。结果表明, 深炭化稻壳炭表面孔隙最多, 比表面积最大; 与对照组相比, 烟梗炭处理土壤的pH提升了14.37%, 浅炭化稻壳炭处理的碱解氮含量提升了20.31%。浅炭化稻壳炭处理的烟株株高、茎围和最大叶面积较对照组分别提高了34.92%、18.60%、24.92%; 浅炭化稻壳炭、烟梗炭和深炭化稻壳炭处理的氮积累量较对照组分别提高了56.70%、26.27%和41.49%; 浅炭化稻壳炭处理的烤后烟叶上部叶的含梗率较对照组降低了22.91%, 下部叶的开片率较对照组高17.97%, 且各化学成分含量在优质烟叶化学成分含量范围内。施用浅炭化稻壳炭对烟田土壤理化性质的改良、烟株的养分积累、烤烟生长和品质的提升效果较好。

关键词: 生物炭; 烤烟; 农艺性状; 养分积累; 理化性质

中图分类号: TQ424.1*9

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)05-0015-06

Characterization of 3 types of biochar and their effects on flue-cured tobacco production

HE Luoyuyang¹, YANG Jiayi¹, LIAO Guiping¹, XIAO Zhipeng², LUO Wei^{1*}

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Tobacco Company Hengyang Company, Hengyang, Hunan 421099, China)

Abstract: Characteristics of 3 types of biochar(shallow carbonized rice husk biochar, deep carbonized rice husk biochar, and tobacco stem biochar) were studied, and a field experiment was conducted using tobacco variety Xiangyan7 as the material. Treatment groups received equal amounts(1 t/hm²) of shallow carbonized rice husk biochar, deep carbonized rice husk biochar, and stalk biochar, respectively, and the control group received no biochar. The physical and chemical properties of the soil, agronomic traits of the tobacco plants, and the physical and chemical properties of the tobacco leaves after flue curing were measured. The results showed that the deep-carbonized rice husk biochar exhibited the maximum number of surface pore and the biggest surface area. Compared to the control group, the pH of the soil in tobacco stem biochar treatment was raised by 14.37%, and the available nitrogen in the shallow carbonized rice husk biochar treatment was increased by 20.31%. The plant height, stem diameter, and maximum leaf area of the tobacco plants in the shallow carbonized rice husk biochar treatment were 34.92%, 18.60%, and 24.92% higher than those in the control group, respectively. Compared to the control group, the nitrogen accumulation in the shallow carbonized rice husk biochar, tobacco stem biochar, and deep carbonized rice husk biochar treatments was increased by 56.7%, 26.27%, and 41.49%, respectively. Stems of cured upper tobacco leaves in the shallow carbonized rice husk biochar treatment was

收稿日期: 2024-05-30

修回日期: 2024-08-05

基金项目: 湖南省烟草公司衡阳市公司项目(HYYC2023KJ31); 湖南省烟草公司长沙市公司项目(CS2022KJ01)

作者简介: 何罗驭阳(1999—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究, heluoyuyang@163.com; *通信作者, 罗伟, 博士, 讲师, 主要从事有机固体废物催化热转化处理与资源化利用研究, 1249605819@qq.com

increased by 22.91%, cracked leaves in lower leaves was increased by 17.97%, and the chemical components were within the range of high-quality tobacco leaves. The application of shallow carbonized rice husk biochar had better effects on improving soil physical and chemical properties, on nutrient accumulation in tobacco plants, and on the growth and quality of flue-cured tobacco.

Keywords: biochar; flue-cured tobacco; agronomic traits; nutrient accumulation; physical and chemical properties

烤烟连作以及种植过程中大量施用化肥带来的土壤酸化、土壤结构恶化、肥力下降等问题,导致烤烟的产量和品质下降^[1-3]。研究表明,秸秆还田、绿肥还田、施用微生物菌剂、施用生物炭等多种方式有改良植烟土壤的作用^[4-5]。生物炭具有容易获取、改良效果好等优点,被广泛应用于植烟土壤改良和烤烟提质^[6]。生物炭是将木材、秸秆等生物质在限氧条件下,通过控制性的高温热解形成的富碳固态产物^[7-9]。生物炭拥有高比表面积、高孔隙率以及丰富的官能团^[10],多呈弱碱性^[11],已被证明对于土壤的理化性质和生物特性均有积极影响,包括提升土壤pH、改善土壤结构和提高田间持水量等^[12]。杨梦乐等^[13]的研究表明,施用3种用量的蔗叶生物炭均提高了甘蔗蔗茎产量,且显著促进了蔗茎对氮肥的吸收,提高了氮肥利用率。刘丽媛等^[14]的研究表明,生物炭促进了小白菜的生长及营养品质的提升,同时抑制了小白菜对Cd、Pb的积累。胡溶等^[15]将生物炭与氮肥配施,提高了水稻的有效穗数和结实率,提高了直链淀粉与各蛋白质组分的含量。邓子恒等^[16]将生物炭作为土壤改良剂施入植烟土壤,提高了植烟土壤脲酶、过氧化氢酶和中性磷酸酶的活性。李文渊等^[17]使用生物炭制成高碳基肥,替代1/4的基肥,显著提高了烟叶中的总糖和还原糖含量,且对烤烟中性致香物质的含量有一定的提升。王建林等^[18]在起垄时施用生物炭,有效调控了烟株根际微生物群落结构,对烟草青枯病防治具有一定的作用。赛子林等^[19]在烤烟品种0110-142种植中施用玉米秸秆生物炭,烤后烟叶的化学品质有所提升,烤烟上中等烟比例及产值增加,产量也有一定提升。

由不同原材料制备的生物炭,其基本理化性质、表面特征和生态功能具有较大差异。例如,以木本植物为原料生产的生物炭含碳量较高,以草本植物为原料生产的生物炭含碳量较低,但灰分含量较高^[20];相同原料在不同炭化程度下的养分含量和理化性质也会有差异^[21],因而不同生物炭施入土壤

后,对土壤的改良效果和作物生长的影响也不同。基于此,笔者对浅炭化稻壳炭、深炭化稻壳炭和烟梗炭进行了SEM扫描和比表面积等表征测定,并在烟田中施用等量的不同种类生物炭,对土壤的理化性质、烟草农艺性状、养分积累量和烤后烟叶品质进行测定,旨在为进一步利用生物炭改善植烟土壤肥力状况,提高烤烟产量和品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

烤烟品种为湘烟7号,由湖南省烟草公司衡阳市公司提供。

供试生物炭为浅炭化稻壳炭、深度炭化稻壳炭和烟梗炭,由贵州时科金年生物科技有限公司提供。

试验田土壤pH为5.87,电导率0.65 dS/m,有机碳含量2.44%,碱解氮含量129.14 mg/kg,有效磷含量85.56 mg/kg,速效钾含量479.00 mg/kg。

1.2 方法

于2023年3月在湖南省衡阳市常宁市兰江乡(112.33 °E, 26.39 °N)进行试验。试验设置施用浅炭化稻壳炭(1 t/hm²)、施用烟梗炭(1 t/hm²)和施用深度炭化稻壳炭(1 t/hm²)3个处理,以不施生物炭为对照。每个处理重复3次,共12个小区,每个小区面积约670 m²,小区随机排列。起垄后移栽前将生物炭与基肥充分混匀施入土壤,其他农艺措施与当地优质烟叶生产技术规范中的相同。

1.3 测定项目及方法

1) 采用场发射扫描电子显微镜(Hitachi S4800)对生物炭进行扫描,生物炭的比表面积和吸附量采用全自动孔径与比表面积分析仪(Kubo-X1000)测定。

2) 在烤烟采收前1 d,采用五点式取样法取土壤样品,烘干粉碎。土壤pH采用PHS-3C型pH计(雷磁-仪电科学仪器)测定;在25 °C下用DDSJ-308A型电导率仪(雷磁-上海仪电科仪)测定电导率(EC);土壤有机碳含量采用重铬酸钾浓硫酸

氧化法测定；土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定；有效磷含量采用碳酸氢钠法测定；速效钾含量采用醋酸铵-火焰光度计法测定。

3) 参照 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》，在烟叶采收前 1 d，每小区随机测量 3 株烟株的叶数、叶长、叶宽、株高、茎围、最大叶面积，使用 SPAD-502 plus 便携式叶绿素测定仪测定最大叶 SPAD 值。

4) 于烟叶采收前 1 d，每小区随机取样 3 株，将根、茎和叶分开装袋，105 °C 杀青 30 min，80 °C 烘至恒重，测定根、茎和叶的干物质质量，然后分别粉碎过孔径为 0.25 mm 的筛，消化后测定各器官的 N、P、K 含量。

5) 参照文献[22]的方法，选取烤后烟叶上、中部叶各 20 片，测定叶长、叶宽、叶厚、含梗率、平衡含水率、单位叶面积质量和单叶质量。

将样品烘干粉碎后过 0.25 mm 孔径筛，采用间

隔流动分析仪(SKALAR San++)测定烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯含量，钾含量采用火焰光度法测定。

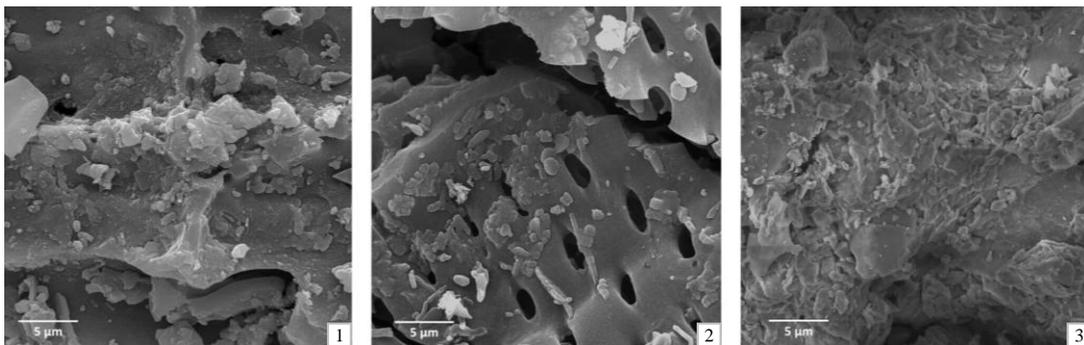
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据统计，采用 SPSS 26.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 3 种生物炭的表面结构和吸附能力

对 3 种生物炭进行扫描电镜观察，结果表明，浅炭化稻壳炭的表面较粗糙，且分布有少量的孔隙(图 1-1)；深炭化稻壳炭的表面较光滑，且具有较多的孔隙(图 1-2)，说明炭化程度的加大有利于生物炭孔隙结构的形成。烟梗炭的表面有大量的粗糙片状结构(图 1-3)，孔隙较少，这说明不同原材料制备的生物炭的孔隙结构有所差别。



1 浅炭化稻壳炭；2 深炭化稻壳炭；3 烟梗炭。

图 1 生物炭的 SEM 图

Fig. 1 SEM images of biochar

经测定，浅炭化稻壳炭、深炭化稻壳炭和烟梗炭的比表面积分别为 3.88、4.91、2.42 m²/g，3 种生物炭的比表面积差距较小。如图 2 所示，当相对压力(P/P_0)较低(0~0.8)时，生物炭的吸附-脱附曲线平缓上升，说明生物炭中含有一定量的微孔；当相对压力(P/P_0)较高(0.8~1.0)时，吸附-脱附曲线斜率较大，说明生物炭中含有较多的大孔和中孔；当相对压力(P/P_0)为 1.0 时，深炭化稻壳炭的吸附量最高。结合 SEM 分析可知，生物炭中的孔隙数量增多有利于吸附量的提升。

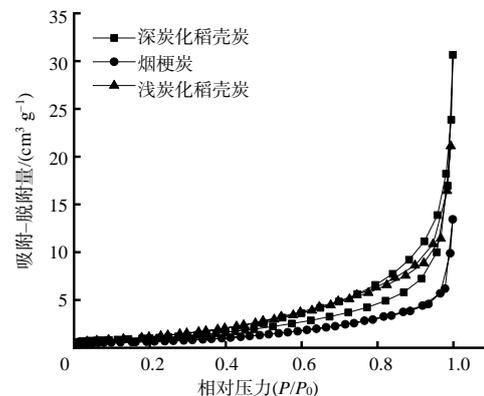


图 2 3 种生物炭的吸附-脱附曲线

Fig. 2 BET adsorption-desorption curves of 3 types of biochar

2.2 施用不同生物炭对植烟土壤理化性质的影响

对烤烟采收前 1 d 的土壤理化性质进行测定, 结果列于表 1。结果表明, 与对照组相比, 施用生物炭显著提升了土壤的 pH, 因而降低了土壤的酸化程度, 烟梗炭的提升效果最好。施用烟梗炭的土壤有机

碳含量显著高于其他处理的。施用不同生物炭后的土壤的碱解氮含量、有效磷含量和速效钾含量较对照均有提高, 其中浅炭化稻壳炭和深炭化稻壳炭处理的碱解氮含量显著高于对照组的, 深炭化稻壳炭处理的有效磷含量显著高于其他处理的, 生物炭处理的速效钾含量均显著高于对照组的。

表 1 施用不同生物炭的烟田土壤的理化性质

Table 1 Physicochemical properties of soils treated with different types of biochar

处理	pH	电导率/(dS m ⁻¹)	有机碳质量分数/%	碱解氮质量分数/(mg kg ⁻¹)	有效磷质量分数/(mg kg ⁻¹)	速效钾质量分数/(mg kg ⁻¹)
浅炭化稻壳炭	(5.72±0.09)b	0.85±0.04	(2.96±0.18)c	(152.66±5.46)a	(92.99±4.84)b	(581.67±20.50)a
烟梗炭	(6.13±0.23)a	0.76±0.06	(3.56±0.09)a	(139.25±6.93)ab	(98.74±5.64)b	(621.33±26.56)a
深炭化稻壳炭	(5.81±0.16)ab	0.81±0.06	(3.25±0.11)b	(148.59±10.57)a	(110.40±3.63)a	(592.00±8.98)a
对照	(5.36±0.11)c	0.77±0.05	(2.49±0.07)d	(126.89±6.95)b	(88.80±3.23)b	(490.67±7.41)b

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 施用不同生物炭对烤烟成熟期农艺性状的影响

对烤烟采收前 1 d 的烟株农艺性状进行测量, 结果列于表 2。结果表明, 浅炭化稻壳炭处理的烟株叶长、叶宽、株高、茎围和最大叶叶面积均显著高于对照组的, 且浅炭化稻壳炭处理的叶长显著大

于烟梗炭、深炭化稻壳炭处理的。浅炭化稻壳炭处理的 SPAD 值较烟梗炭、深炭化稻壳炭、对照组的分别低 6.11%、3.96% 和 9.87%, 浅炭化稻壳炭处理的显著低于对照组的。综合来看, 浅炭化稻壳炭处理对促进烟株的生长发育效果最好。

表 2 施用不同生物炭的烤烟的农艺性状

Table 2 Agronomic characteristics of flue-cured tobacco treated with different types of biochar

处理	叶数	叶长/cm	叶宽/cm	株高/cm	茎围/cm	最大叶叶面积/cm ²	SPAD 值
浅炭化稻壳炭	19.33±0.47	(76.23±1.02)a	(25.30±0.36)a	(113.33±3.30)a	(10.20±0.25)a	(1 223.98±33.08)a	(39.80±3.80)b
烟梗炭	17.33±0.94	(73.40±1.10)b	(23.50±1.79)ab	(99.00±1.63)b	(10.00±0.14)ab	(1 095.65±98.66)ab	(42.39±1.40)ab
深炭化稻壳炭	18.00±1.41	(73.27±0.95)b	(23.53±2.01)ab	(100.67±2.62)b	(9.73±0.97)ab	(1 093.47±88.07)ab	(41.44±4.14)ab
对照	17.67±1.70	(72.07±1.28)b	(21.43±1.13)b	(84.00±3.74)c	(8.60±0.79)c	(979.78±34.22)b	(44.16±1.72)a

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 施用不同生物炭对烤烟养分积累的影响

烤烟采收前 1 d 的烟株各部位养分积累量的测定结果列于表 3。结果表明, 浅炭化稻壳炭和深炭化稻壳炭处理的烤烟根部的 N 积累量显著高于对照组的, 浅炭化稻壳炭、烟梗炭和深炭化稻壳炭处理的根部 P、K 的积累量相较于对照组有显著提升。烟梗炭处理的烟株茎 K 积累量相较于对照组有显著提升。浅炭化稻壳炭处理的叶部 N 积累量显著高于烟梗炭处理和对照组的, 浅炭化稻壳炭、深炭化稻壳炭处理的叶部 P 积累量显著高于烟梗炭处理和对照组的, 浅炭化稻壳炭处理的叶部 K 积累量有显著提升。浅炭化稻壳炭处理的整株的 N 积累量最高, 浅炭化稻壳炭、烟梗炭、深炭化稻壳炭处理相较于对照组的整株的 N 积累量均有显著提升, 且浅炭化稻壳炭处理显著高于烟梗炭处理的; 3 个生物炭处理的整株 P、K 积累量均显著高于对照组的。施用 3 种生物炭均可提升烟株养分积累量, 其中以

浅炭化稻壳炭处理的效果最优。

表 3 施用不同生物炭的烟株的养分积累量

Table 3 Nutrient accumulation of tobacco under different biochar treatments

烟株部位	处理	烟株养分积累量/g		
		N	P	K
根	浅炭化稻壳炭	(2.64±0.83)a	(0.23±0.05)a	(2.83±0.56)a
	烟梗炭	(2.05±0.28)ab	(0.18±0.01)a	(1.91±0.16)b
	深炭化稻壳炭	(2.53±0.20)a	(0.21±0.01)a	(2.02±0.11)b
	对照	(1.37±0.09)b	(0.10±0.01)b	(1.11±0.04)c
茎	浅炭化稻壳炭	1.81±0.16	0.21±0.01	(2.87±0.08)ab
	烟梗炭	1.97±0.36	0.21±0.06	(3.13±0.60)a
	深炭化稻壳炭	1.60±0.52	0.16±0.04	(2.22±0.68)ab
	对照	1.28±0.24	0.14±0.04	(1.95±0.25)b
叶	浅炭化稻壳炭	(4.20±0.59)a	(0.26±0.03)a	(5.90±1.00)a
	烟梗炭	(2.95±0.28)b	(0.20±0.02)b	(4.26±0.32)ab
	深炭化稻壳炭	(3.67±0.31)ab	(0.30±0.02)a	(4.93±1.10)ab
	对照	(2.87±0.23)b	(0.14±0.01)c	(3.15±0.53)b
整株	浅炭化稻壳炭	(8.65±0.50)a	(0.70±0.07)a	(11.59±1.29)a
	烟梗炭	(6.97±0.73)b	(0.59±0.08)a	(9.29±0.82)a
	深炭化稻壳炭	(7.81±0.50)ab	(0.67±0.06)a	(9.17±1.63)a
	对照	(5.52±0.18)c	(0.38±0.07)b	(6.21±0.63)b

同列不同字母表示同一部位不同处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 施用不同生物炭对烤后烟叶物理性状的影响

施用不同生物炭的烤后烟叶的物理性状的测定结果列于表 4。结果表明,深炭化稻壳炭处理的上部叶开片率最大,达到 32.89%,显著高于烟梗炭和对照组的。浅炭化稻壳炭处理的上部叶的单叶质量和单位叶面积质量最大;浅炭化稻壳炭处理的烟叶含梗率和平衡含水率最低,烟梗炭和深炭化稻壳炭处理的叶片厚度均最大,为 0.13 mm。浅炭化稻

壳炭处理的中部叶的开片率最大,为 33.35%;叶片厚度最大,为 0.11 mm;单叶质量最大。深炭化稻壳炭和浅炭化稻壳炭处理的中部叶的单位叶面积质量显著高于烟梗炭处理和对照组的,浅炭化稻壳炭和烟梗炭处理的含梗率显著低于深炭化稻壳炭和对照组的,3 个处理组的平衡含水率相较于对照组均显著降低。总体来看,浅炭化稻壳炭处理对上部叶和中部叶的物理性状提升效果较好。

表 4 施用不同生物炭的烤后烟叶的物理性状

Table 4 Physical properties of tobacco leaves from different biochar treatments after flue curing

烟株部位	处理	开片率/%	叶片厚度/mm	单叶质量/g	含梗率/%	平衡含水率/%	单位叶面积质量/(g m ⁻²)
上部叶	浅炭化稻壳炭	(28.51±2.76)ab	0.12±0.01	(9.83±1.26)a	(29.47±0.90)b	(25.50±0.96)c	(59.23±2.73)a
	烟梗炭	(26.89±2.34)b	0.13±0.02	(7.39±0.73)b	(29.60±0.41)b	(27.82±0.71)b	(56.55±2.23)ab
	深炭化稻壳炭	(32.89±4.43)a	0.13±0.01	(8.15±0.60)ab	(30.57±0.91)b	(28.16±0.66)b	(58.29±1.47)a
	对照	(25.93±2.28)b	0.10±0.01	(6.34±0.50)b	(38.23±0.94)a	(30.41±0.78)a	(52.35±2.99)b
中部叶	浅炭化稻壳炭	(33.35±3.59)a	0.11±0.01	11.50±1.50	(34.23±0.87)b	(28.81±0.96)bc	(52.82±2.87)a
	烟梗炭	(32.95±3.83)ab	0.09±0.01	10.10±1.93	(33.23±1.44)b	(30.91±1.49)b	(46.48±1.49)b
	深炭化稻壳炭	(31.66±3.08)ab	0.09±0.02	10.61±0.63	(37.29±1.68)a	(26.97±0.55)c	(54.19±3.69)a
	对照	(28.27±1.30)b	0.10±0.01	9.39±0.94	(37.83±0.49)a	(36.16±1.36)a	(43.29±1.57)b

同列不同字母表示同一部位处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.6 施用不同生物炭对烤后烟叶化学成分含量的影响

施用不同生物炭的烤后烟叶的化学成分的测定结果列于表 5。结果表明,施用生物炭的上部叶的烟碱质量分数均处于适宜范围(1.5%~3.5%)内,浅炭化稻壳炭和烟梗炭处理的烟碱含量小于深炭化稻壳炭处理和对照组的;总糖含量显著高于深炭化稻壳炭和对照组的;浅炭化稻壳炭的总氮和还原糖含量显著高于其他处理的,3 个处理组的钾含量相较于对照组均显著降低,浅炭化稻壳炭处理的氯

含量最高;浅炭化稻壳炭和烟梗炭处理的糖碱比显著高于深炭化稻壳炭和对照组的,更接近适宜糖碱比(8~10);浅炭化稻壳炭处理的氮碱比最高。烟梗炭、深炭化稻壳炭和对照组的的中部叶烟碱含量显著低于浅炭化稻壳炭处理的,浅炭化稻壳炭处理的总糖、总氮、还原糖、氯含量最高;浅炭化稻壳炭处理的钾含量最低,浅炭化稻壳炭和深炭化稻壳炭处理的糖碱比处于适宜范围内,烟梗炭处理组氮碱比最高,浅炭化稻壳炭处理的氮碱比最低。由此看来,浅炭化稻壳炭处理的烤后烟叶的化学成分较为协调。

表 5 施用不同生物炭的烤烟烟叶的化学成分

Table 5 Chemical composition of tobacco leaves with different biochar treatment after flue curing

烟株部位	处理	烟碱质量 分数/%	总糖质量 分数/%	总氮质量 分数/%	还原糖质量 分数/%	钾质量 分数/%	氯质量 分数/%	糖碱比	氮碱比
上部叶	浅炭化稻壳炭	(2.33±0.16)ab	(24.75±2.59)a	(2.28±0.14)a	(17.91±0.45)a	(3.39±0.11)b	(0.41±0.03)a	(10.62±0.42)a	(0.98±0.03)a
	烟梗炭	(2.16±0.15)b	(22.16±1.49)a	(1.56±0.09)c	(13.98±0.63)b	(2.56±0.07)c	(0.30±0.03)b	(10.26±0.26)a	(0.72±0.05)c
	深炭化稻壳炭	(2.55±0.10)a	(17.99±0.71)b	(1.54±0.06)c	(12.83±0.67)b	(2.34±0.18)c	(0.33±0.02)b	(7.07±0.21)b	(0.61±0.08)d
	对照	(2.39±0.09)ab	(16.40±0.79)b	(1.94±0.13)b	(12.63±0.50)b	(3.82±0.23)a	(0.36±0.02)ab	(6.86±0.11)b	(0.81±0.11)b
中部叶	浅炭化稻壳炭	(1.88±0.12)a	(18.34±1.04)a	(2.13±0.12)a	(16.11±0.25)a	(3.09±0.07)c	0.38±0.06	(9.75±0.09)c	(1.13±0.08)b
	烟梗炭	(1.37±0.03)c	(14.38±0.78)c	(1.79±0.07)b	(12.63±0.86)b	(3.39±0.19)ab	0.34±0.03	(10.45±0.35)b	(1.30±0.12)a
	深炭化稻壳炭	(1.59±0.02)b	(15.26±0.48)bc	(1.83±0.15)b	(13.40±0.98)b	(3.24±0.09)bc	0.36±0.05	(9.58±0.19)c	(1.15±0.07)b
	对照	(1.48±0.09)bc	(16.69±0.54)ab	(1.89±0.05)b	(13.52±0.95)b	(3.65±0.10)a	0.32±0.02	(11.33±0.30)a	(1.28±0.04)a

同列不同字母表示同一部位不同处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

3 结论

本研究结果表明,由不同生物质原材料制备的生物炭的孔隙结构不同,炭化程度的加深可以增加生物炭的孔隙结构,但增加幅度不大。施用不同生物炭均能显著提高植烟土壤的 pH、有机碳含量和速效养分含量,且烟梗炭处理的土壤有机碳含量和 pH 最高。施用 3 种生物炭均能提高烟株的养分积累量,从而使烟株的农艺性状更优,施用浅炭化稻壳炭效果最佳。浅炭化的稻壳炭与深炭化的稻壳炭相比,保留了更多的有机质,而且有更多的孔隙结构,为微生物提供生存环境,从而使有机质得到有效转化。施用浅炭化稻壳炭后,烤烟叶片的开片率、单叶质量、单位叶面积质量和含梗率均有较好表现,且总糖、还原糖、烟碱、总氮和钾含量均符合优质烟叶的标准。总体来看,施用浅炭化稻壳炭对改善植烟土壤理化性质和促进烤烟生长和品质提升的效果较好。

参考文献:

- [1] 管恩娜,管志坤,杨波,等. 生物质炭对植烟土壤质量及烤烟生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(2): 36-41.
- [2] 刘卉,周清明,黎娟,等. 生物炭施用量对土壤改良及烤烟生长的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(7): 1411-1419.
- [3] 闫静,时仁勇,王昌军,等. 不同改良剂对酸性烟田的改良效果及其对烤烟生长的影响[J]. 土壤, 2023, 55(3): 612-618.
- [4] 张萍,刘园,吴疆,等. 植烟土壤改良措施研究进展[J]. 现代农业科技, 2023(15): 138-141.
- [5] 钱颖颖,任可,陈颐,等. 无机肥配施生物菌剂对植烟土壤质量及烤烟品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(3): 121-131.
- [6] 杨智超,王鑫岚,王戈,等. 烟秆生物质炭对土壤细菌群落与环境因子的影响[J]. 贵州农业科学, 2024, 52(7): 12-20.
- [7] OTTE P P, VIK J. Biochar systems: developing a socio-technical system framework for biochar production in Norway[J]. *Technology in Society*, 2017, 51: 34-45.
- [8] KALAKODIO L, BAKAYOKO M, KALAGODIO A, et al. Progress on the amendment in biochars and its effects on the soil-plant-micro-organism-biochar system[J]. *Reviews on Environmental Health*, 2018, 33(3): 281-293.
- [9] GAO M Y, YANG J F, LIU C M, et al. Effects of long-term biochar and biochar-based fertilizer application on brown earth soil bacterial communities[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 309: 107285.
- [10] MARCIŃCZYK M, OLESZCZUK P. Biochar and engineered biochar as slow- and controlled-release fertilizers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 339: 130685.
- [11] 凌天孝,于晓娜,李志鹏,等. 生物炭与化肥配施对土壤特性及烤烟品质和经济性状的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(6): 1425-1432.
- [12] ISLAM T, LI Y L, CHENG H F. Biochars and engineered biochars for water and soil remediation: a review[J]. *Sustainability*, 2021, 13(17): 9932.
- [13] 杨梦乐,彭嘉宇,桂意云,等. 不同蔗叶生物炭施用量对甘蔗产量及养分吸收利用的影响[J]. 南方农业学报, 2024, 55(3): 803-811.
- [14] 刘丽媛,李柯衡,贾永霞,等. 生物炭对小白菜镉铅积累及品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2024, 42(1): 111-117.
- [15] 胡溶,胡田,陈光辉,等. 生物炭与氮肥配施对米粉稻产量与稻米品质的影响[J]. 作物研究, 2023, 37(6): 551-555.
- [16] 邓子恒,戴林建,张惠林. 施用改良剂对植烟土壤养分含量和酶活性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(5): 580-584.
- [17] 李文渊,程传策,刁朝强,等. 高碳基土壤修复肥对植烟土壤理化性质和烤烟质量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(4): 353-359.
- [18] 王建林,王珍珍,琚晨仪,等. 生物炭对烟草根际微生物群落结构及青枯病发生的影响[J]. 中国烟草科学, 2024, 45(2): 46-55.
- [19] 赛子林,齐虹凌,李云,等. 生物炭对植烟土壤养分及烤烟产质量的影响[J]. 生物技术进展, 2024, 14(2): 271-277.
- [20] 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.
- [21] CHENG H G, JONES D L, HILL P, et al. Influence of biochar produced from different pyrolysis temperature on nutrient retention and leaching[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2018, 64(6): 850-859.
- [22] 杨丽丽. 化肥氮减施对烤烟产质量影响及技术经济评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维