

稻壳炭对红壤理化特性及芥菜生长的影响^①

杜衍红, 蒋恩臣*, 王明峰, 李治宇, 张世军, 刘勇欣

(华南农业大学材料与能源学院, 广州 510642)

摘要: 本文探讨了不同热解温度制备的稻壳炭的基本性质, 并通过盆栽试验研究了 500℃ 热解稻壳炭添加量对南方红壤理化性质和芥菜产量的影响。结果表明: 稻壳炭添加量 3%、5% 和 10% 三个处理显著改善了红壤的理化性质, 土壤体积质量较对照处理依次降低 0.11、0.28 和 0.42 g/cm³, pH 由 4.5 分别增加到 7.5、7.8、8.4, CEC 依次增加 52.16%、187.02% 和 214.35%, 土壤有机质、速效磷和速效钾显著增加, 但稻壳炭添加量 10% 处理的土壤碱解氮含量降低。稻壳炭对芥菜的养分含量、产量等指标影响较为显著, 随着施炭量的增加, 芥菜的生物量增加, 叶片全氮从 1.63 g/kg 增加到 2.44 g/kg, 全磷从 2.32 g/kg 增加到 3.09 g/kg, 全钾从 47.1 g/kg 增加到 56.7 g/kg, 产量由 108.37 g/盆增加到 608.7 g/盆。总之, 添加 5% 的 500℃ 热解稻壳炭有效改善了酸度较强的红壤的理化性质, 促进了芥菜的生长和增收以及对氮磷钾养分的吸收和储存。在红壤改良上, 稻壳炭的最佳添加比例为 5%。

关键词: 生物质炭; 红壤 pH; 理化特性; 芥菜; 阳离子交换量; 有效养分

中图分类号: S156.6

近年来, 生物质炭作为农林生物质资源厌氧炭化产物, 由于具有丰富的孔隙度和比表面积, 稳定的环氧芳香环结构以及较丰富的钾、钙、硼等元素, 越来越多的国内外学者关注到生物质炭的还田问题^[1-5]。匡崇婷等^[6]的研究表明添加生物质炭降低了土壤有机碳矿化速率和累积矿化量, 显著提高了土壤微生物生物量; 葛顺峰等^[7]研究发现生物质炭可以有效降低土壤体积质量(容重), 提高土壤的阳离子交换量, 提高氮素利用率; 尹云峰等^[8]研究发现低温热解秸秆炭比秸秆本身还田更利于提高土壤碳库。另外, 生物质炭富含有机碳, 能够增加土壤的有机碳含量以及土壤中的有机质或者腐殖质含量, 从而提高土壤的养分贮藏量及持水容量^[9]。施用生物质炭可以促进土壤有机质含量的提高^[10], 一方面是由于生物质炭吸附并通过表面催化活性促进小的有机分子聚合反应形成土壤有机质, 另外生物质炭本身被微生物极为缓慢的分解过程有助于腐殖质的形成, 能够通过长期作用促进土壤肥力的提高^[11]。

但是, 由于生物质炭的制备原料和条件差异较大, 其性质也存在较大差异, 对土壤和作物的效应也不尽相同^[12]。林志斌等^[13]对比研究了木屑炭和鸡粪炭对土壤肥力的影响, 发现鸡粪炭对林木土壤肥力的

提高效果更显著。Haefele 等^[14]研究了稻壳炭对 3 种基础肥力悬殊的土壤上轮作作物产量的影响得出, 在肥沃的硬质潜育土上, 稻壳炭没有促进作物增产, 在肥力较低的酸性黏壤土上出现了减产情况, 而在肥力极低的强酸性黏土上, 轮作 4 季, 作物产量依然有较大提高, 增产率达到了 16%~35%。Van 等^[15]研究表明, 在碱性钙化土上施入造纸工业废料高温热解制备的生物质炭, 降低了小麦和萝卜的干物质重, 而同种炭施用酸性铁质土上, 促进了小麦和萝卜的干物质重。Wang 等^[16]研究了生物质炭在高原土和水稻土上的施用效果, 单施生物质炭对小麦和水稻的产量没有促进作用, 氮肥和生物质炭交互显著提高了小麦和水稻的产量。Chan 等^[17]研究发现在酸性淋溶土上, 农业废弃物制备的生物质炭显著促进了萝卜的干物质重。因此, 生物质炭对土壤的改良效果和对作物生长特性影响有着较大差异, 不仅与生物质炭的原料有着直接的关系, 还与土壤的类型、施肥条件、作物种类有着显著的相关性。

受热带、亚热带高温多雨气候的影响, 南方红壤长期的被氧化淋溶, 酸度过高、肥力过低、保肥保水性能差, 选择一种合适的改良剂对其综合环境的改

基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目(2014GB2E000048)资助。

* 通讯作者(ecjiang@scau.edu.cn)

作者简介: 杜衍红(1984—), 女, 山东泰安人, 博士研究生, 主要从事生物质炭的土壤改良研究。E-mail: wn221017@163.com

善,从而适于蔬菜作物的种植是一项很有意义的研究工作。将生物质炭作为一种土壤改良剂,可以改善土壤的理化性质,增强土壤的保水能力,促进有益微生物种群的兴盛和增强微生物的活性,减少土壤养分的淋失,促进养分循环,并且可以增加有机碳的含量,因此促进了作物的生长^[18-21]。本文用自制的稻壳炭对南方红壤进行改良,并在常规施肥的条件下种植芥菜来研究稻壳炭对红壤的改良效果,以为生物质炭的还田研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用土采自湛江甘蔗种植基地红壤 0 ~ 20 cm

表层土,土样自然风干后粉碎,过 3 mm 筛,去除作物残留物等杂物后备用。土壤有机质含量 2.6 g/kg、碱解氮 28.4 g/kg、速效磷 17.3 g/kg、速效钾 63.2 g/kg 和 CEC 4.23 cmol/kg。

试验所用生物质炭为稻壳炭,由华南农业大学自制的干馏釜热解装置制备,热解温度为 400℃、500℃和 600℃,保温 1 h。生物炭研碎后过 100 目筛,供稻壳炭的基本性质分析;500℃稻壳炭粉碎后过 60 目筛供盆栽试验用。稻壳及稻壳炭的工业分析和元素分析见表 1。

试验作物为芥蓝,种子购自广东省农科院蔬菜研究所;实验用塑料槽规格为 70 cm × 17 cm × 20 cm,装土 7 kg。

表 1 稻壳及稻壳炭的性质
Table 1 Properties of rice husk and its biochars

试验材料	代号	工业分析(g/kg)				元素分析(g/kg)			
		水分	灰分	挥发分	固定碳	C	H	N	S
稻壳	RH	79.7	122.4	623.2	174.7	427.0	55.0	5.8	1.6
400℃稻壳炭	RHC400	54.6	270.1	275.6	399.7				
500℃稻壳炭	RHC500	41.7	306.9	143	508.4				
600℃稻壳炭	RHC600	30.6	385.4	139.9	444.1				

1.2 试验方法

采用盆栽试验,稻壳炭添加量设置 6 个水平,分别为 C₀、C₁、C₂、C₃、C₅ 和 C₁₀,对应的炭土质量比分别为:0、1%、2%、3%、5% 和 10%,每个处理重复 6 次。炭土充分混匀,放置一个月后,浇足水分,适宜湿度时松土施肥,施肥量:N 1.5 g/kg, P₂O₅ 0.1 g/kg, K₂O 0.1 g/kg, 等量基施^[22],肥料为尿素、磷酸二氢钾(分析纯),作为底肥一次性施入。采用直播方式播种,待芥蓝长出两片真叶后间苗,每盆留苗 7 棵。作物管理按照大田管理方法,称重法保持各槽含水量一致。

1.3 测定项目

土壤体积质量:环刀法。用 100 cm³ 的环刀在盆栽土壤中原位取土,重量法测定土壤体积质量,计算孔隙度。土壤 pH:采用 pH 计(pH-720 型复合电极)测定。土壤和去离子水 1:5 混合,充分搅拌、静置 2 h 后测定^[23]。土壤、稻壳炭阳离子交换量:乙酸铵交换、乙醇淋洗-蒸馏法测定。土壤有机质:采用重铬酸钾氧化法测定。土壤碱解氮:碱解扩散法;土壤速效磷:盐酸氟化铵浸提-钼锑抗比色法。土壤速效钾:乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法测定。

稻壳炭碱含量测试:采用酸碱反滴定法测定^[11]。准确称量 0.200 0 g 干燥的生物质炭于 100 ml 塑料瓶

中,加入 40 ml 0.03 mol/L 的标准盐酸溶液,于 25℃ 条件下在恒温振荡机上振荡 2 h,然后所有样品静置 24 h,剩余的盐酸用 0.5 mol/L 的标准碱溶液采用自动滴定仪进行滴定,滴定至中性为止,记录滴定仪上的数据。生物质炭中和的盐酸的量即为其碱含量,以质量记。公式为: $A=C_{HCl} \times [V_0-(C_{NaOH} \times v)/C_{HCl}] \times 36.5/m$ 。生物质炭比表面积测定:采用比表面积分析仪(美国 Micromeritics ASAP2020M)进行生物质炭 XRD 分析。Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪电镜扫描:XL-30-ESEM 型扫描电镜。

蔬菜养分分析:全氮为凯氏定氮法;全磷为干灰化-钼黄比色法;全钾为干灰化-原子吸收分光光度法。

1.4 数据处理

统计数据由 SPSS19.0 软件进行方差分析,多重比较采用最小显著差异法(LSD),用 Origin 8.0 作图、分析。

2 结果与讨论

2.1 热解温度对稻壳炭基本特性的影响

温度是影响生物质热解产物非常重要的因素,稻壳经过 400℃、500℃和 600℃热解后物质组成、结构、性质发生了变化。生物质炭含有一定的碱性物质,

一般呈碱性。研究发现生物质炭的碱含量和 pH 均随制备温度的升高而增加^[12]。经测定分析, 稻壳炭的碱含量和 pH 变化如图 1, 两者均随着热解温度的升高而增加, 变化趋势一致。速效钾(有效钾)是植物有效吸收利用的钾素之一, 经测定, 稻壳炭含有丰富的速效钾(图 2), 可为作物的生长提供足够的钾营养。另外, 如图 2 所示, 稻壳炭的阳离子交换量、速效钾含量均随着稻壳热解温度的升高而增加, 这也与稻壳炭的工业分析(表 1)中灰分含量的变化规律一致。

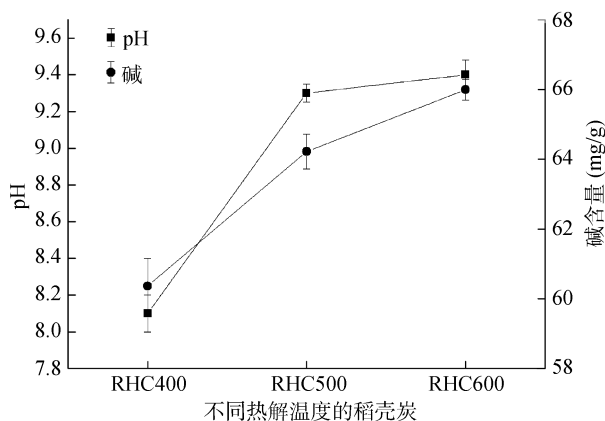


图 1 不同热解温度的稻壳炭碱含量和 pH

Fig. 1 Alkalinity content and pH of the rice husk biochars produced at different pyrolysis temperatures

500℃以上热解所得稻壳炭碱含量、CEC 都比较高, 也含有较丰富的速效钾, 适宜还田。图 3 分别是稻壳原料和 400℃、500℃和 600℃热解制得的稻壳炭的电镜扫描图像, 对比可知, 稻壳经 500℃热解制得稻壳炭(RHC500)后, 孔隙度更发达, 孔道更加明显, RHC600 的孔道坍塌, 表面又形成新的孔隙结构。经比表面积分析仪测得 RH、RHC400、RHC500 和 RHC600 的比表面积分别为 0.370 6、2.962 7、8.786 9 和 183.526 m²/g, 随着热解温度的升高, 比表面积也不断增加。

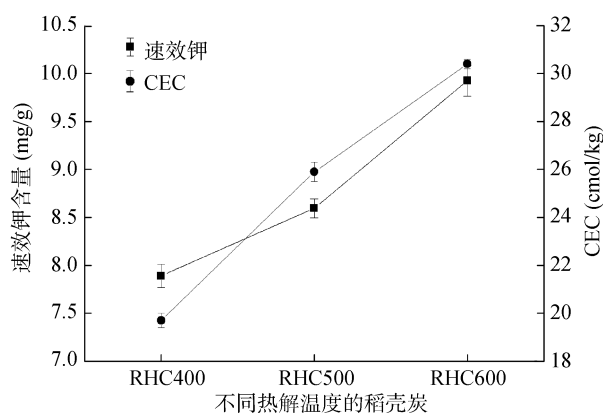
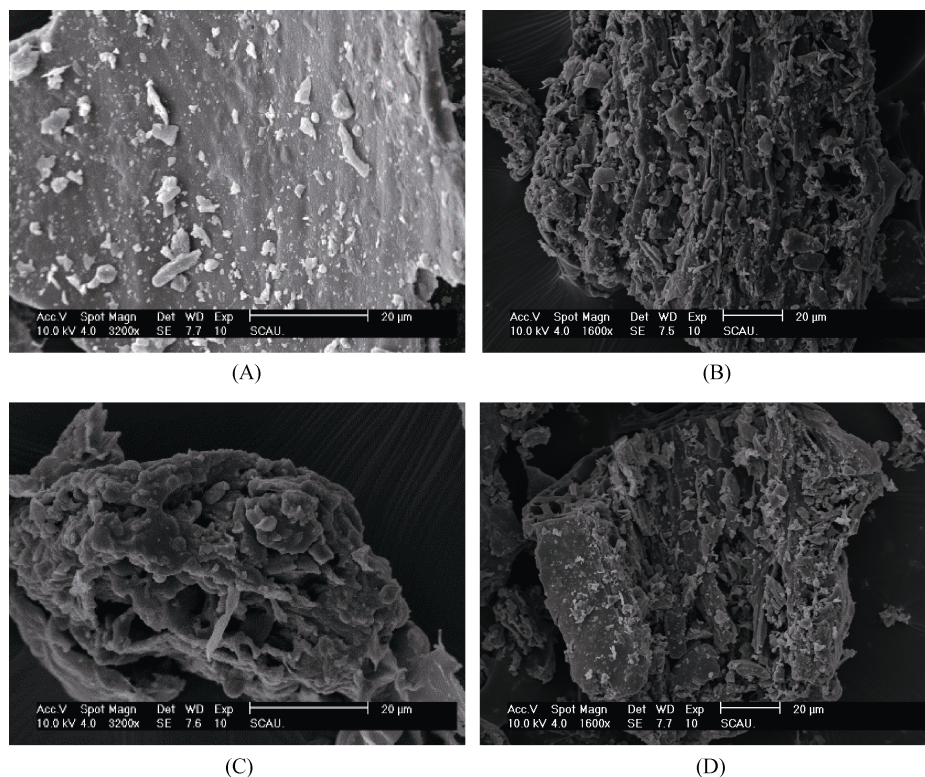


图 2 不同热解温度的稻壳炭 CEC 和速效钾含量

Fig. 2 Cations exchangeable capacity and available K content of the rice husk biochars produced at different pyrolysis temperatures



(A : 稻壳 ; B : 400℃稻壳炭 ; C : 500℃稻壳炭 ; D : 600℃稻壳炭)

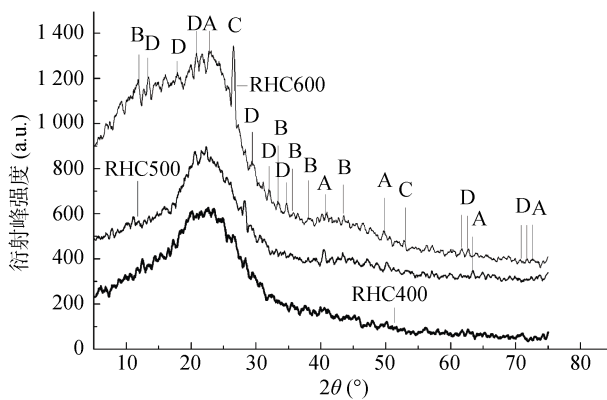
图 3 稻壳及稻壳炭的 SEM 图

Fig. 3 SEM of rice husk and its biochar

制备的稻壳炭经过 X-射线衍射分析, 实验结果见图 4。经 PDF 比对可知, 稻壳炭 XRD 谱图出现了晶体物质 KCl 的特征峰, 这与人研究结果一致^[24]。稻壳炭 RHC600, KCl 的特征峰最强, 同时存在 K_2CO_3 和 $KHCO_3$ 的特征峰, RHC600 的速效钾含量也最高 (图 2), CEC 和速效钾含量均随着热解温度的升高而升高, 变化趋势一致, 可推测稻壳炭的速效钾主要以氯化物、碳酸盐和碳酸氢盐的形式存在。

2.2 稻壳炭对红壤体积质量和孔隙度的影响

土壤体积质量和孔隙度是反映土壤结构和环境的一个重要指标。稻壳炭改良后红壤的体积质量和孔隙度变化如图 5 和图 6。稻壳炭对土壤体积质量和孔隙度的影响较大, 随着稻壳炭添加量的增加, 红壤体积质量不断降低, 孔隙度逐渐增加。红壤的体积质量除了 C_1 和 C_2 处理差异不显著外, 其他各处理间差异均达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。 C_3 、 C_5 和 C_{10} 处理土壤体积质量比对照 C_0 处理分别下降了 0.11、0.28 和 0.42 g/cm^3 。 C_3 、 C_5 和 C_{10} 处理的红壤孔隙度呈线性



(A: KCl; B: K_2CO_3 ; C: Carbon; D: $KHCO_3$)

图 4 不同热解温度的稻壳炭 XRD 谱图

Fig. 4 X-ray diffraction spectra of rice husk biochars produced at different pyrolysis temperatures

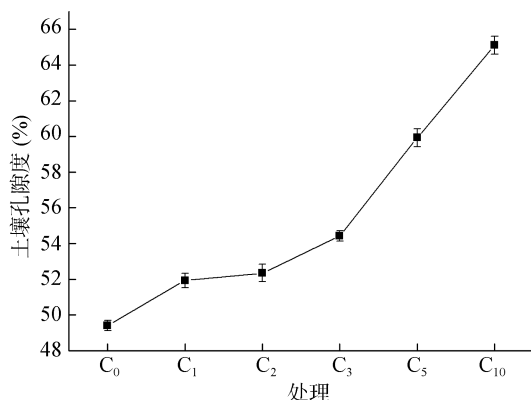


图 6 稻壳炭不同添加量对红壤孔隙度的影响

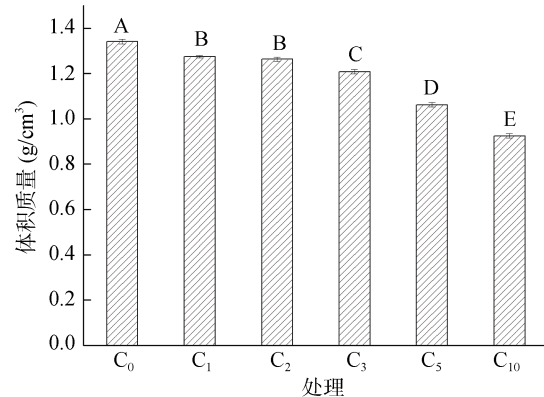
Fig. 6 Effects of the biochar applied at different rates on the porosity of red soil

增加, 高炭量的处理, 使得红壤孔隙度基本呈倍数增加。 C_5 和 C_{10} 处理的土壤更加疏松, 基本改变了红壤坚硬板结状态, 炭粒和土粒结合后, 改变了红壤特别黏重的质地和致密的土壤结构, 降低了土壤的体积质量, 丰富了土壤的孔隙状况。

2.3 稻壳炭对红壤 CEC、pH 的影响

土壤阳离子交换量反映了土壤吸附和交换养分的能力。稻壳炭改良后红壤的 CEC 变化如图 7 所示。经单因素方差差异性分析可知, C_1 和 C_2 处理与对照 (C_0) 相比, 无显著差异, C_3 、 C_5 和 C_{10} 处理与对照处理间差异显著 ($P < 0.01$), 其分别比 C_0 的 CEC 提高了 52.16%、187.02% 和 214.35%。低炭量的处理对红壤的 CEC 改变不大, 较高炭量的处理显著提高了红壤的 CEC, 增强了土壤阳离子交换能力, 其原因主要是 500℃ 稻壳炭具有较高的阳离子交换量, 添加到红壤后增强了红壤胶体的交换吸附性能, 另外, 芥菜收获后残留的肥料也属于土壤阳离子的一部分。

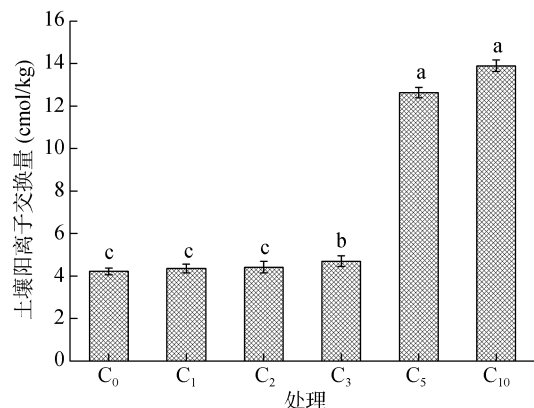
稻壳炭促进了红壤 pH 的提高, 具体变化如图 8,



(图中不同大写字母表示处理间差异在 $P < 0.01$ 水平上极显著, 下同)

图 5 稻壳炭不同添加量对红壤体积质量的影响

Fig. 5 Effects of the biochar applied at different rates on the bulk density of red soil



(图中不同小写字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著)

图 7 稻壳炭处理的红壤阳离子交换量变化

Fig. 7 Changes of the cations exchangeable capacity of the red soil induced by biochar

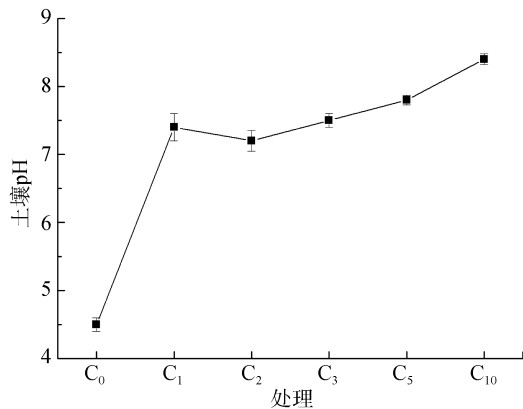


图 8 红壤 pH 的变化

Fig. 8 Changes of the pH of the red soil induced by biochar applied at different rates

C₁₀ 处理的 pH 由 4.5 提高到 8.4，主要是稻壳炭的碱性物质中和了红壤的酸性物质，使得红壤酸度降低。

2.4 稻壳炭对红壤肥力的影响

如表 2 所示，添加不同比例的稻壳炭后，红壤的有机质含量均显著增加；各处理间差异达到显著水平，

C₁、C₂、C₃、C₅ 和 C₁₀ 处理的有机质分别比 C₀ 依次增加了 19.72%、15.99%、12.47%、27.26% 和 92.15%；随着稻壳炭添加量的增加，红壤的碱解氮含量先增加后减少，其中 C₁ 处理组的碱解氮增加最为明显，较 C₀ 处理增加了 82.87%，随着炭土比的增加，碱解氮含量的增幅变小，C₁₀ 处理组碱解氮含量最低，降低了 21.60%，这与王典等^[25]研究结果一致。其原因是炭土比过高，碱性过高，土壤矿质氮氨化挥发，导致碱解氮含量降低，也可能是高炭量的添加，促进了土壤氨化细菌的生长，氨化细菌将矿质氮氨化导致碱解氮的流失。

通过试验可以看出，在 1%~10% 的炭添加范围内，土壤速效磷含量均有不同程度的提高，C₂、C₃、C₅ 和 C₁₀ 分别比 C₀ 提高了 5.18%、4.15%、1.6% 和 18.65%；添加稻壳炭后，红壤中的速效钾含量显著增加，最大增幅达到 600 倍。这是因为 500℃ 热解稻壳炭速效钾含量较高，添加到红壤中，致使红壤的速效钾含量迅速增加；另外速效钾是植物重要的钾素来源，这也是促进植物增产的主要原因。

表 2 稻壳炭不同添加量对土壤肥力因素的影响

Table 2 Effects of rice husk biochar at different application rates on the fertility factors of the red soil

处理	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾(mg/kg)
C ₀	26.4 ± 0.055 f	38.65 ± 0.70 d	19.3± 0.2 c	79 ± 0.4 f
C ₁	31.6 ± 0.02 c	70.68± 1.79 a	19.5 ± 0.1 c	143 ± 2.0 e
C ₂	30.6 ± 0.10 d	56.45 ± 0.83 b	20.3 ± 0.1 b	246 ± 3.0 d
C ₃	29.8 ± 0.06 e	41.55 ± 1.06 d	20.1 ± 0.1 b	361 ± 5.0 b
C ₅	33.6 ± 0.01 b	52.55 ± 0.67 c	19.6 ± 0.1 c	335 ± 2.5 c
C ₁₀	50.7 ± 0.01 a	30.30 ± 0.26 e	22.9 ± 0.1 a	607 ± 5.0 a

注：表中同列不同小写字母表示处理间差异在 P<0.05 水平显著，下同。

2.5 稻壳炭对芥菜养分含量的影响

由表 3 可以看出，在不同炭添加量的土壤中收获的芥菜养分含量差异较大，C₁~C₁₀ 处理的叶片与 C₀ 处理相比，全氮依次提高 23.31%、49.69%、38.04%、19.02% 和 25.15%，全磷依次提高 7.76%、9.48%、

14.22%、20.69% 和 33.19%，全钾依次提高 4.03%、6.58%、8.49%、4.25% 和 20.38%，根部的氮磷钾也有不同程度的提高，说明稻壳炭显著提高了芥菜对氮、磷、钾 3 种主要营养元素的吸收和积累，改善了植株的营养状况。

表 3 稻壳炭不同添加量对芥菜养分含量的影响

Table 3 Effects of rice husk biochar at different application rates on the nutrient contents of mustard

处理	叶片			根部		
	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)
C ₀	1.63 ± 0.02 e	2.32 ± 0.02 e	47.1 ± 0.02 e	1.07 e	1.58 c	47.3 ± 0.96 e
C ₁	2.01 ± 0.05 c	2.5 ± 0.1 d	49 ± 0.2 d	1.13 d	1.46 d	52.2 ± 0.10 d
C ₂	2.44 ± 0.01 a	2.54 ± 0.02 d	50.2 ± 0.1 c	1.23 c	1.49 cd	53.5 ± 0.30 c
C ₃	2.25 ± 0.01 b	2.65 ± 0.02 c	51.1 ± 0.1 b	1.36 b	1.47 cd	58.2 ± 0.44 a
C ₅	1.94 ± 0.02 d	2.8 ± 0.04 b	49.1 ± 0.1 d	1.1 e	1.78 b	56.4 ± 0.62 b
C ₁₀	2.04 ± 0.02 c	3.09 ± 0.01 a	56.7 ± 0.1 a	1.87 a	2.38 a	52.6 ± 0.36 d

2.6 稻壳炭对蔬菜产量及干物质量的影响

由表 4 可以看出,除了 C_0 和 C_1 处理间干物质量差异不显著外,其他各处理间差异极显著;产量变化规律相同。与 C_0 处理相比,加炭处理均促进了芥菜的生长,当稻壳炭添加量为 5% 和 10% 时,增产效果最好,考虑到成本等因素,建议最适宜添加量为 5%。另外,叶菜作物对钾肥的需求较高,稻壳炭含有丰富的速效钾,添加稻壳炭后土壤的速效钾大幅增加,促进了叶菜的增产。

表 4 稻壳炭不同添加量对芥菜产量及干物质量的影响
Table 4 Effects of rice husk biochar at different application rates on the yields and dry matters of mustard

处理	产量(g/盆)	增产率(%)	干物质量(g/盆)
C_0	108.4 ± 6.25 F	—	9.85 ± 0.93 E
C_1	122.9 ± 5.25 E	13.40	10.61 ± 0.95 E
C_2	279.1 ± 5.82 C	157.54	26.68 ± 1.12 C
C_3	242.3 ± 4.67 D	123.56	25.23 ± 0.6 D
C_5	542.9 ± 2.65 B	400.97	91.38 ± 0.67 B
C_{10}	608.1 ± 1.96 A	461.11	98.32 ± 0.09 A

注:表中不同大写字母表示处理间差异在 $P < 0.01$ 水平极显著。

3 结论

随着热解温度的提高,稻壳炭的比表面积、灰分、pH、碱含量、阳离子交换量、速效钾含量不断增加,500℃热解稻壳炭含有丰富的速效钾,可供蔬菜吸收利用,适宜作蔬菜作物的钾肥。红壤中添加适量的稻壳炭,有效改善了土壤的理化环境。首先明显降低了红壤的体积质量,增加了红壤的孔隙度,有效改善了红壤的板结状态,使得土壤疏松,提高了红壤的 pH,增加了红壤的阳离子交换能力。按照 5% 和 10% 的比例向红壤中添加 500℃热解稻壳炭,可以显著增加土壤的肥力,尤其土壤中的速效钾含量,增幅达数百倍,红壤的有机质增加;另外促进了芥菜的生长和芥菜干物质的积累,促进了芥菜对土壤氮磷钾养分的吸收和贮藏。考虑土壤的综合特性,南方红壤的最佳添加比例为 5%,既能根本改善土壤的板结低肥状态,又能节省成本,促进作物的增产。本研究发现 10% 的炭添加量降低了红壤的碱解氮含量,可能是因为炭添加比例过高,红壤碱性过高,导致铵态氮氨化蒸发流失,其降低的机理还有待于进一步研究。

致谢:感谢华南农业大学资源环境作物营养与施肥研究室对本论文工作的大力支持。

参考文献:

- [1] Kloss S, Zehetner F, Wimmer B, et al. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2014, 177(1): 3–15
- [2] Quilliam R S, Glanville H C, Wade S C, et al. Life in the ‘charosphere’—Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms?[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 65: 287–293
- [3] Luo Y, Durenkamp M, De Nobili M, et al. Microbial biomass growth following incorporation of biochars produced at 350 °C or 700 °C, in a silty-clay loam soil of high and low pH[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 57: 513–523
- [4] Anderson C R, Condron L M, Clough T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. Pedobiologia, 2011, 54(5/6): 309–320
- [5] Rondon M A, Lehmann J, Ramirez J, et al. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(6): 699–708
- [6] 匡崇婷, 江春玉, 李忠佩, 等. 添加生物质炭对红壤水稻土有机碳矿化和微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(4): 570–575
- [7] 葛顺峰, 彭玲, 任怡华, 等. 秸秆和生物质炭对苹果园土壤容重、阳离子交换量和氮素利用的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 366–373
- [8] 尹云锋, 高人, 马红亮, 等. 稻草及其制备的生物质炭对土壤团聚体有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 909–914
- [9] 何绪生, 耿增超, 余雕, 等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1–7
- [10] Kimetu J M, Lehmann J. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents[J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48(7): 577–585
- [11] 张祥, 王典, 姜存仓, 等. 生物炭及其对酸性土壤改良的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2013(5): 997–1000
- [12] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(4): 541–547
- [13] 林志斌, 谢祖彬, 刘钢, 等. 不同生物炭对湿地松各组分生物量和碳储量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1 083–1 090
- [14] Hale L, Luth M, Kenney R, et al. Evaluation of pinewood biochar as a carrier of bacterial strain enterobacter cloacae UW5 for soil inoculation[J]. Applied Soil Ecology, 2014: 192–199
- [15] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. Plant and Soil, 2010, 327(1/2): 235–246
- [16] Wang J, Pan X, Liu Y, et al. Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production[J]. Plant and Soil, 2012, 360(1/2): 287–298
- [17] Chan K Y, Zwieten L V, Meszaros I, et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. Australian Journal of Soil Research, 2007, 45(8): 629–634

- [18] Gaskin J W, Speir R A, Harris K, et al. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield[J]. *Agronomy Journal*, 2010, 102(2): 623–633
- [19] Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6): 1301–1310
- [20] Sánchez M E, Lindao E, Margaleff D, et al. Pyrolysis of agricultural residues from rape and sunflowers: production and characterization of bio-fuels and biochar soil management[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2009, 85(1): 142–144
- [21] Marris E. Putting the carbon back: black is the new green[J]. *Nature*, 2006, 442(7103): 624–626
- [22] 张登晓, 周惠民, 潘根兴, 等. 城市园林废弃物生物质炭对小白菜生长、硝酸盐含量及氮素利用率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1 569–1 576
- [23] Yuan J H, Xu R K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultiso[J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27(1): 110–115
- [24] 闵凡飞, 陈清如, 张明旭. 新鲜生物质热解气化学特性的 XRD 研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2006, 35(3): 336–340
- [25] 王典, 张祥, 朱盼, 等. 添加生物质炭对黄棕壤和红壤上油菜生长的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(3): 63–67

Effects of Rice Husk Biochar on the Physical and Chemical Properties of Red Soil and Mustard Growth

DU Yanhong, JIANG Enchen*, WANG Mingfeng, LI Zhiyu, ZHANG Shijun, LIU Yongxin

(College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Ameliorating effects of biochar as a soil amendment vary with its feedstock, properties, application rate, reaction time with the soil, and soil properties. The objective of this study was to investigate the effects of rice husk biochar at different application rates on the physical-chemical properties and nutrient availability of red soil and mustard growth using pot experiment. The biochar prepared at 500°C was applied at six rates, i.e. 0, 1, 2, 3, 5, and 10% (w/w) (C₀, C₁, C₂, C₃, C₅ and C₁₀). The results indicated that the physical-chemical properties of the red soil were significantly improved due to application of the biochar at C₃, C₅ and C₁₀. The soil bulk density was reduced by 0.11g/cm³, 0.28g/cm³ and 0.42g/cm³, respectively, compared to C₀. Soil CEC for C₃, C₅ and C₁₀ treatments increased by 52.16%, 187.02% and 214.35%, respectively, compared to C₀. Soil pH significantly increased from 4.5 for C₀ to 8.4 for C₁₀. The organic matter content, available P and available potassium of C₃, C₅ and C₁₀ treatments increased significantly, but the alkali-hydrolysable nitrogen content decreased for C₁₀ treatment compared to C₀. Application of the biochar also increased the contents of nutrients in plant leaves and plant biomass yields. Leaf tissue N concentrations increased from 1.63 to 2.44 g/kg, leaf tissue P from 2.32 to 3.09 g/kg and leaf tissue K from 47.1 to 56.7 g/kg. The mustard yields increased significantly from 108.37 g/pot for C₀ to 608.7 g/pot for C₁₀. In conclusion, application of the biochar at 5% (w/w) was appropriate for the red soil with high acidity, low fertility, and poor water holding capacity. The biochar applied at this rate can promote mustard growth and increase uptake of N, P, K nutrients by the plant.

Key words: Biochar; Red soil; Physical-chemical properties; Mustard; CEC; Available nutrients