



木薯渣和甘蔗渣基生物炭对砖红壤的改良效果

李昉泽¹, 詹 剑²

(1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 2. 紫金矿业集团股份有限公司, 福建 龙岩 364208)

摘要: 为探讨木薯 *Manihot esculenta* 渣和甘蔗 *Saccharum officinarum* 渣对砖红壤的改良效果, 采用单一因素试验设计, 通过土壤模拟培养试验方法, 选取海南地区常见的农业废弃物木薯渣和甘蔗渣为前驱物, 经 650 °C 热解制备生物炭, 研究不同添加量的甘蔗渣基生物炭和木薯渣基生物炭(0、0.1%、0.5%、1% 和 5%)对砖红壤的容重、孔隙度、团聚体等物理性状和 pH、阳离子交换量(CEC)、有机质、有效 N、有效 P、有效 K 等化学性质的影响。结果表明, 热解后甘蔗渣炭和木薯渣炭都有较高的 C 含量, 远高于其他元素, 代表芳香性和极性的 C/H、C/O 值也较高; 加入砖红壤后与对照 CK 相比, 加入生物炭后砖红壤的物理性质中容重显著降低, 孔隙度大于 0.25 mm 团聚体的含量显著增加, 物理结构有了显著优化; 化学性质中砖红壤的 pH、有效 N、有效 P、有效 K、有机质和阳离子交换量都有了显著提高。利用主成分分析综合对比评价发现, 甘蔗渣基生物炭对砖红壤的改良效果优于木薯渣基生物炭。

关键词: 甘蔗渣; 木薯渣; 生物炭; 砖红壤改良

中图分类号: X712; S153

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054(2023)05-0577-08

李昉泽, 詹剑. 木薯渣和甘蔗渣基生物炭对砖红壤的改良效果 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(5): 577-584. doi:

10.15886/j.cnki.rdsxb.20230071

砖红壤集中分布在我国南部地区, 以海南岛为例, 砖红壤的占比超过了 60%^[1]。此类土壤的特点是富含铁氧化物且酸度较大, 阳离子交换量和有机碳含量低于其他多数土壤, 砖红壤的酸度较强, 导致其中的钾、氨氮、钙和镁盐极易流失; 同时, 由于受其成土母质和高温潮湿等气候影响, 砖红壤质地紧密、容重较低、水稳定大团聚体(>0.25 mm)含量较少、孔隙度较低, 因此, 改良砖红壤的理化性质能有效提高当地作物产量, 改善植物的生长和发育。甘蔗 *Saccharum officinarum* 渣和木薯 *Manihot esculenta* 渣均是我国南方糖和淀粉等制品常见的副产物, 每年我国产生的木薯渣超过 30 万 t, 甘蔗渣则每年超过 2 000 万 t^[2-3]。木薯渣和甘蔗渣常大量被用于堆肥和工业生产原料, 但堆肥结束后其残渣仍有残留, 直接焚烧或堆存填埋都会导致资源浪费、生态破坏和环境污染, 且作为生产原料时工业生产过程中工艺流程复杂, 成本较高。木薯渣和甘蔗渣中含有大量的纤维素和

木质素形态的有机碳, 可以有效弥补砖红壤中有机碳较低的缺点, 但木质素自身不能直接作为土壤植物生长的有机质来源, 也不能为土壤微生物直接提供降解所需的碳源与能量, 需要其他可代谢化合物的协同作用, 将纤维素和木质素通过热解形成黑炭, 其稠环芳香结构可以促进有机碳在团聚体内的贮存^[4-5]。已有研究表明, 将甘蔗渣在 450 °C 制成甘蔗渣炭, 可以有效提高土壤有机碳含量、活化土壤养分^[6]。甘蔗渣和木薯渣热解成生物炭后具有发达的孔隙结构, 能够充分调节土壤的物理结构, 增加土壤孔隙度, 且具有很多吸附位点, 炭显正电荷, 可以吸附带负电的土壤颗粒, 形成大的团聚体^[7]。前人研究表明, 脱除淀粉后的木薯渣在酸性条件下, 碳水化合物更容易从中脱除并溶出, 这有助于调节砖红壤养分和物理结构^[8]。利用甘蔗渣可以调节土壤中的碳氮比, 可以有效促进土壤中参与氮循环和甲烷循环的细菌群落的丰度增加, 最终促进土壤中的养分

收稿日期: 2023-05-16

修回日期: 2023-06-18

基金项目: 矿冶科技集团有限公司青年科技创新基金(04-2204)

第一作者: 李昉泽(1990-), 男, 工程师. 研究方向: 土壤改良、土壤污染防治. E-mail: lfze2016@163.com

循环^[9]。

尽管木薯渣和甘蔗渣在土壤改良应用已有一定的研究基础,但是多数集中在将其与各类农肥进行发酵后作为肥料,主要改善土壤中的养分,而后续经热解形成生物炭从而改进其物理结构和化学性质的综合应用研究还比较少见。因此,针对南方常见的砖红壤物理结构较差和化学养分较低的特点,本研究选取海南地区常见的农业废弃物木薯渣和甘蔗渣,经 650℃ 热解制备生物炭,将此类生物炭对砖红壤进行土壤培育试验,分析土壤基本的理化性质,并利用相关性分析和主成分分析,在加入木薯渣和甘蔗渣后,分别对砖红壤的效果进行分析和评价,以期对木薯渣和甘蔗渣的资源化利用及对砖红壤的改良提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料 本试验所用砖红壤取自海南省海口市周边常见砖红壤表土层(0~20 cm),其性质如下:有机质(OM)含量为 2.71 g·kg⁻¹、pH 为 4.92、全氮(TN)含量为 1.47 g·kg⁻¹、全磷(TP)含量为 0.37 g·kg⁻¹、全钾(TK)含量为 2.08 g·kg⁻¹、阳离子交换量(CEC)含量为 26.62 cmol·kg⁻¹、容重为 1.20 g·cm⁻³、>0.25 mm 团聚体含量为 32.19%。取回土壤风干后备用。本试验所用生物炭前驱物为木薯渣和甘蔗渣,是常见农业废弃物;甘蔗渣取自商户榨汁后残渣;木薯渣取自当地某淀粉厂。甘蔗渣和木薯渣生物炭均在 650℃ 采用程序升温法制备,具体方法为:待木薯渣和甘蔗渣风干,用粉碎机粉碎,填满压实于瓷坩埚,加盖密封,置于马弗炉,以 10℃·min⁻¹ 升至 200℃,灼烧 2 h,实现预碳化,然后以同样升温速度升至 650℃ 热解炭化 3 h,冷却后取出,研磨过 0.15 mm 筛备用。

1.2 试验设计 本研究采用单一因素试验设计方法,在砖红壤中添加 2 种前驱材料,分别是木薯渣(MS)和甘蔗渣(GZ),按比例(*m/m*, 0.1%、0.5%、1.0%、5.0%)充分混合,共 200 g,放于 500 mL 锥形瓶中,分别设添加木薯渣基生物炭的编号为 MS0.1、MS0.5、MS1、MS5;添加甘蔗渣基生物炭的编号为 GZ0.1、GZ0.5、GZ1、GZ5;设置 1 组未添加任何生物炭的砖红壤样品作为对照(CK),每组处理设置 3 个平行。将装有生物炭土壤样品的锥形瓶置于人工振荡培养箱(200 r·min⁻¹, ZDP-150 型,购自上海精宏实验设备有限公司)反复振荡

7 d,确保生物炭与土壤充分反应混匀。停止振荡,用称量法保持土壤水分 34%(75% 田间持水量)培养 45 d,在此期间振荡培养箱温度为 28℃。培养结束后,留取 50 g 土壤测定土壤水稳性团聚体,剩余土壤全部风干,过 2 mm 筛并装入样品袋密封,分析其理化性质。

1.3 测定指标与方法 利用马弗炉采用称质量法测定灰分,借助元素分析仪分析 C、H、N、S 四种主要元素含量, O 元素含量的测算如式(1)所示。

$$O\% = 100\% - C\% - H\% - N\% - S\% - \text{灰分} \quad (1)$$

采用氯化钡-硫酸强迫交换法测阳离子交换量(CEC);通过碱解扩散法(UV-1100 分光光度计)测定有效 N;使用 NaHCO₃ 萃取钼-锑比色法测量有效 P;使用玻璃电极法(NY/T 1377-2007)测定土壤 pH。用火焰光度计(BDN900 火焰光度计)测定有效 K;用重铬酸钾氧化滴定法测定土壤有机质。

使用环刀法测定土壤容重。使用比重瓶法测得土壤比重。土壤孔隙度使用以下公式计算:孔隙度=(1-容重/比重)×100。

通过湿筛法,利用团聚体分析仪确定土壤样品的团聚体分布。团聚体稳定性指标为平均质量直径(MWD),公式如(2)所示。

$$MWD = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{n+1} + r_i}{2} \times m_i \quad (2)$$

式中: r_i 是第 i 个筛子孔径(mm), $r_0=r_1$, $r_n=r_{n+1}$, m_i 是第 i 个筛子的破碎团聚体质量百分比。

1.4 数据分析 使用 SPSS 21.0 对数据进行偏差和显著性分析,使用 Origin Pro 2021 软件作图并进行热图分析和主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 生物炭的基本性质 生物炭基本性质如表 1 所示,2 种生物炭中, C 含量均远高于其他元素,其余元素含量均在 5% 以下。甘蔗渣生物炭(GZ)中 C、N、S 含量要高于木薯渣基生物炭(MS), H、O 元素和灰分则低于木薯渣基生物炭。甘蔗渣基生物炭 pH 和 CEC 高于木薯渣基生物炭。

生物炭的 C/H、C/O、C/N、C/(O+N)结果分别是衡量生物炭芳香性(C/H)、亲水性(C/O)和极性(C/N、C/(O+N))的指标之一^[10-11]。综合对比结果(图 1)表明,甘蔗渣基生物炭的芳香性要高于木薯渣基生物炭,亲水性要高于木薯渣基生物炭,甘蔗渣基生物炭的极性整体也大于木薯渣基生物炭。

表 1 生物炭基本性质

样品	元素含量/%					灰分/%	pH	CEC/(cmol·kg ⁻¹)
	C	H	O	N	S			
GZ	82.70±1.33a	1.21±0.01b	1.70±0.14b	2.04±0.03a	1.29±0.08a	11.06±1.12b	10.16±0.11a	210.99±6.49a
MS	70.36±1.81b	1.82±0.03a	3.00±0.18a	1.25±0.11b	0.15±0.01b	23.42±1.78a	9.39±0.12b	158.36±7.40b

注: 不同小写字母表示处理之间差异显著($P<0.05$), 下同。

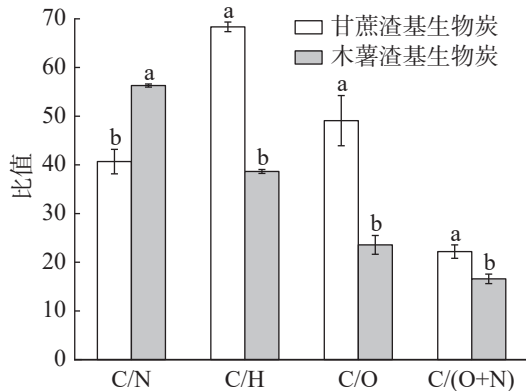


图 1 不同生物炭中 C/N、C/H、C/O、C/(O+N)的变化

注: 不同小写字母表示处理之间差异显著($P<0.05$), 下同。

2.2 生物炭对砖红壤物理性质的影响 容重可以直接反映土壤的通透性。由表 2 可知, 与对照相比, 各处理在分别加入生物炭后容重呈线性下降, 降低幅度 0.47%~29.00%。其中, 加入木薯渣基生物炭后呈 $y=-4.1426x+1.2013$ ($R^2=0.9936$) 趋势下降; 加入甘蔗渣基生物炭后呈 $y=-7.0209x+1.2056$ ($R^2=0.9977$) 趋势下降。综合比较结果表明, 相同施加量下, 加入甘蔗渣基生物炭容重下降幅度更大。从表 2 可得, 加入 0.1%~1% 生物炭后, 砖红壤的容重增加并不显著, 在加入 5% 木薯渣基和甘蔗渣基生物炭后, 孔隙度分别明显增加 6.41% 和 11.01%。

表 2 生物炭对砖红壤容重和孔隙度的影响

性质	CK	MS				GZ			
		0.10%	0.50%	1.00%	5.00%	0.10%	0.50%	1.00%	5.00%
容重/g·cm ⁻³	1.20±0.03a	1.19±0.02a	1.18±0.06a	1.17±0.04a	0.99±0.04b	1.19±0.03a	1.17±0.04a	1.15±0.01a	0.85±0.03c
孔隙度/%	54.02±1.54c	54.3±1.98c	54.33±2.36c	54.39±0.87c	60.43±2.21b	54.33±2.07c	54.75±1.65c	54.84±1.03c	65.03±2.05a
MWD/mm	0.46±0.00c	0.47±0.03c	0.48±0.04c	0.53±0.01b	0.54±0.02b	0.47±0.03c	0.50±0.02c	0.55±0.01b	0.58±0.01a

注: MWD为团聚体平均质量直径。

各处理的水稳性团聚体变化情况如图 2 所示, 对照 CK 中团聚体粒径主要集中于<0.25 mm, 含量为 58.68%; 加入生物炭 1% 以上, 则团聚体粒径主要集中于>0.25 mm, 占比最大的处理为加入 5% 甘蔗渣基生物炭, >0.25 mm 团聚体含量为 61.29%。综合对比结果表明, 同等加入量下, 甘蔗渣基生物炭的效果要好于木薯渣基生物炭。

2.3 生物炭对砖红壤化学性质的影响 如图 3 所示, 加入生物炭后砖红壤化学性质变化显著, pH、CEC、有机质、有效 N、有效 P 和有效 K 均与生物炭添加量成正比。加入生物炭后结果如图 3-a 所示, 砖红壤的 pH 显著提高, 提高幅度为 0.1~1.74 个单位。如图 3-b 所示, 加入木薯渣基生物炭后砖红壤 CEC、有机质、有效 N、有效 P、有效 K 增加幅度分别为 18.96%~55.21%、53.71%~99.14%、38.68%~72.64%、31.98%~114.68%、

72.72%~111.15%, 加入甘蔗渣后增加幅度为 23.03%~60.46%、67.30%~154.77%、34.90%~74.53%、52.79%~1849.41%、54.55%~518.18%。

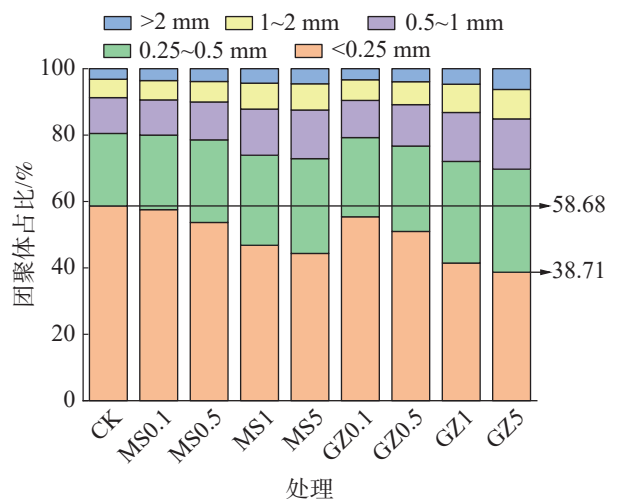


图 2 生物炭对砖红壤团聚体的影响

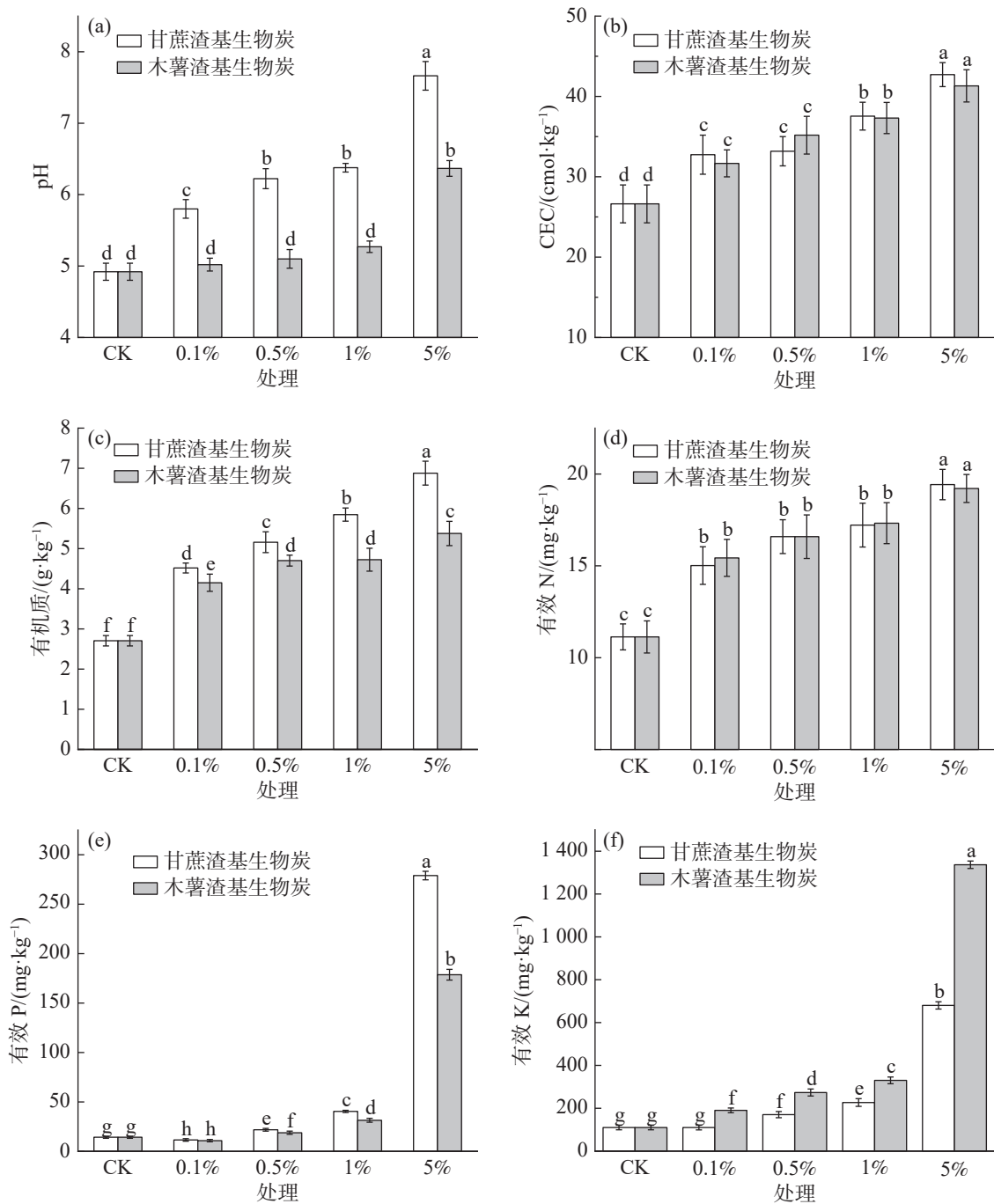


图3 生物炭对砖红壤化学性质的影响

(a). pH; (b). 阳离子交换量(CEC); (c). 有机质; (d). 有效 N; (e). 有效 P; (f). 有效 K。

综合比较结果表明,相同添加量时,加入甘蔗渣基生物炭的各处理 pH、有机质和有效 P 高于加入木薯渣基生物炭的;CEC、有效 N 随着生物炭不同添加量各有高低;加入木薯渣基生物炭后的有效 K 高于加入甘蔗渣基生物炭的。

2.4 生物炭对砖红壤改良的相关性分析 利用 Origin2021 对各处理进行热图(Heatmap)分析,可以清晰地统计出砖红壤改良后理化性质彼此间的

相关性。图 4 结果表明,容重与<0.25 mm 团聚体呈正相关,与其他性质呈负相关;孔隙度、>0.25 mm 团聚体、pH、CEC、有机质、有效 K、有效 N 和有效 P 之间呈正相关;0.25 ~ 0.5 mm 团聚体对砖红壤 CEC、有机质有效 N 正相关影响最大,有效 K 受各因素正相关影响最小。结果表明,砖红壤改良是 1 个综合反应的过程,加入生物炭后会显著改良各个性质,各个性质继续交互作用,形

成 1 个改良后的稳定环境。
利用主成分分析找到各性质之间的共线性,

可以确定各性质之间的共线性。如图 5 所示,代
入各性质之后发现主要有 2 个公因子 PC1 和

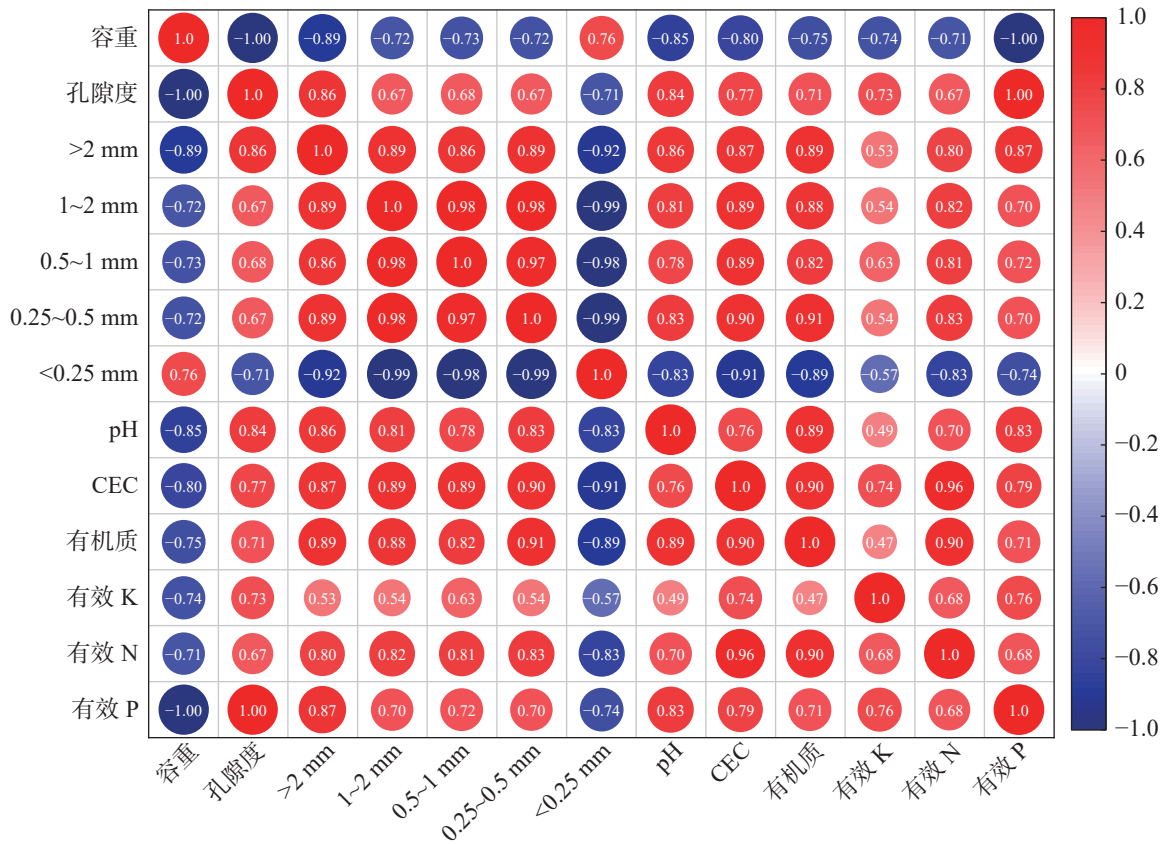


图 4 生物炭改良砖红壤各性质热图分析

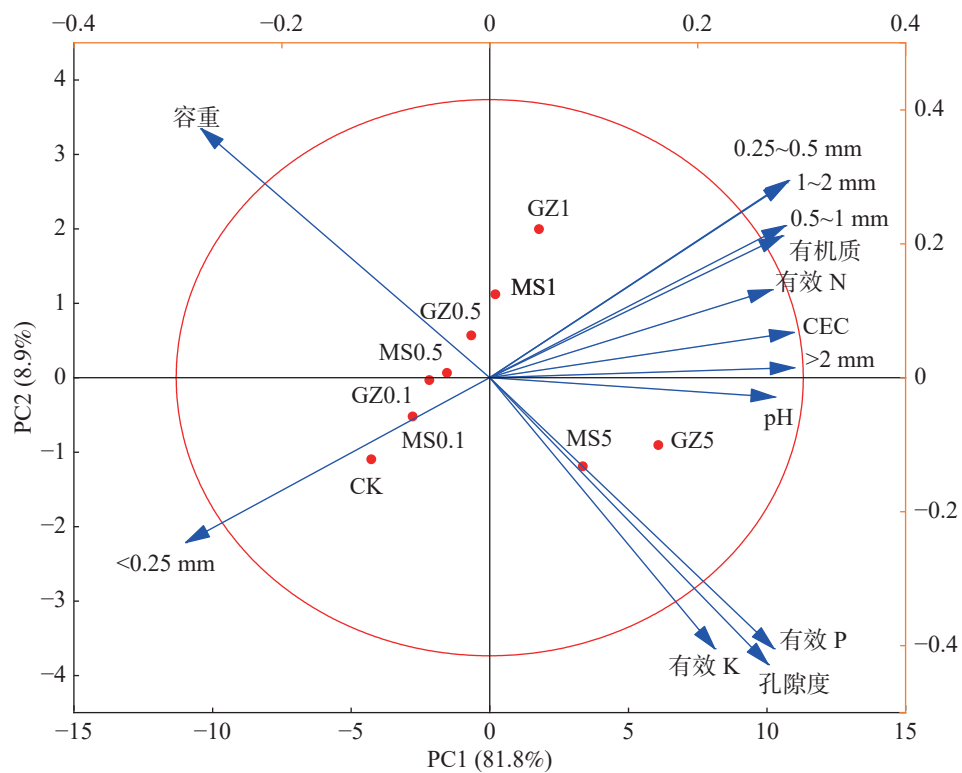


图 5 生物炭改良砖红壤各性质主成分分析

PC2, 方差解释率分别为 81.8% 和 8.9%。各处理均位于 95% 置信区间内(红色圆圈), 蓝色箭头的长短则表示该性质在公因子上的作用大小。橙色坐标系为各性质公因子上作用的坐标系, 黑色则为各处理在公因子作用的坐标系。综合来看, >0.25 mm 团聚体、有机质、有效 N、CEC 对公因子有正向影响; pH、有效 P、孔隙度、有效 K 仅对 PC1 有正向影响, 对 PC2 为负向影响; 容重对 PC1 有负向影响, 对 PC2 有正向影响; <0.25 mm 对 PC1 和 PC2 均为负向影响。孔隙度、容重和团聚体及有效 P、有效 K 对砖红壤改良中的作用明显。

2.5 生物炭对砖红壤改良的改良效果分析

利用 Origin2021 对各处理进行主成分分析(PCA)后, 通过权重和特征值计算每个处理的 PC1 和 PC2 得分。根据得分结果对加入不同生物炭对砖红壤改良效果进行评价, 结果如表 3 所示, 对照组 CK 的分最低, 为-3.60; 改良效果随着生物炭添加量的增加而愈发明显, 添加量相同的情况下加入甘蔗渣基生物炭的改良效果要好于加入木薯渣基生物炭的改良效果; 其中加入 5% 的甘蔗渣基生物炭处理得分最高, 为 4.91。与对照 CK 相比, 加入生物炭后对砖红壤理化性质改良效果均比较显著, 甘蔗渣基生物炭的改良效果更优。

表 3 不同生物炭对砖红壤改良效果评价

处理	PC1得分	PC2得分	总得分
CK	-4.272 0	-1.096 5	-3.601 7
MS0.1	-2.779 9	-0.521 9	-2.326 5
MS0.5	-1.541 7	0.064 7	-1.258 4
MS1	0.203 2	1.121 0	0.267 5
MS5	3.362 0	-1.190 1	2.649 7
GZ0.1	-2.174 2	-0.034 3	-1.786 0
GZ0.5	-0.661 0	0.567 8	-0.491 0
GZ1	1.780 7	1.996 1	1.639 8
GZ5	-4.272 0	-1.096 5	4.906 5

3 讨论

生物炭中含氧官能团多以阴离子存在, 可以吸收 H^+ , 也能具有较高的阳离子交换量, 如羧基和羟基等在生物质热解后聚集生成在生物炭表面,

生物炭由此显碱性。生物炭自身具有发达的空隙结构, 密度较低, 加入后能与粒径较小的土壤颗粒充分混匀, 对容重起到“稀释”作用, 前人研究也已证明加入生物炭的有机质也会降低容重^[12], 并且还可以增加砖红壤的孔隙结构。热解后生物炭灰分中主要成分为碳酸盐, 这是生物炭自身显碱性的主要原因之一, 加入酸性砖红壤后可以显著改善土壤的 pH 值, 同时碳酸盐在砖红壤中与酸反应生成气体 CO_2 , 可以促进植物光合作用, 也可以蓬松土壤, 提高土壤孔隙度。经过微生物植物吸收土壤中的有机质含量提高可以提高土壤黏性, 进而促进 >0.25 mm 团聚体积聚形成, >0.25 mm 团聚体的形成对土壤有机质的贮存能力提高也比较明显, 在图 4 中, 相关性分析已证实这一推论。从表 1 可以看出, 团聚体的平均质量直径(MWD)不仅直接受到土质和深度的影响, 还直接受到加入有机碳的影响, 生物炭加入量越大, 稳定性越高, 这与前人的研究一致^[13-14]。促进砖红壤中 >0.25 mm 团聚体形成的另一原因可能是生物炭中羟基、羧基易与土壤中的钙离子发生凝聚反应, 促进土壤团粒结构形成。综上, 改良后的砖红壤物理性质与化学性质是一个相互作用的过程。

与其他生物质相比, 木薯渣可有利于固氮的变形菌门在土壤中的生长和繁殖^[15], 加强土壤的固氮能力; 甘蔗渣则可以促进土壤酸性磷酸酶活性提高^[16], 其活性的高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生物有效性。而且木薯渣和甘蔗渣有机碳成分主要为纤维素、半纤维素和木质素等难降解物质, 热解后生物质中的结晶纤维素和半纤维素会被分解为生物炭^[17], 热解后生物炭成分属于黑炭, 可以在环境中参与碳循环, 但周转速度较慢, 属于稳定性碳库, 从有机质显著增加的结果可以发现, 虽然生物炭自身为惰性碳, 难以被土壤微生物直接利用, 但可以贮存在土壤中, 显著促进砖红壤有机质及有效养分的提高^[18-19]。

生物质热解成炭后的羧基等含氧官能团的增加, 是促进 CEC 提高的原因之一, 另一方面, 在热解氧化后生物炭自身的 CEC 含量也会得到显著提高。高温热解的生物炭, 利用其自身较大的比表面积、微孔隙度, 具有较多吸附位点, 可以将养分固定下来, 防止其被渗水带走^[20]。在加入碱性生物炭的改良下, 砖红壤的 pH 显著改变, 可以促进土

壤中的 NH_3 和 NH_4^+ 转化为 NO_3^- , 有研究表明, 较高温度下热解的生物质炭更有利于 NO_3^- 的吸附^[21], 使得有效氮更容易被固定在土壤中, 砖红壤中富含 Fe, 易与磷酸盐形成 $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ 结晶, 无法再次释放, 加入生物炭可以利用 C 和 P 形成 C-O- PO_3 或 C-P, 有助于土壤中 P 的释放^[22]。有效钾非常活跃, 但生物炭对阳离子的强吸附性可以将其固定在表面, 生物炭自身中有效 K 主要存在于灰分中^[23], 本研究中木薯渣基生物炭灰分高于甘蔗渣基生物炭, 这也就解释了为什么图 3-f 中加入木薯渣基生物炭后的砖红壤中有效 K 要高于加入甘蔗渣基生物炭的。

加入甘蔗渣基生物炭的砖红壤改良综合效果优于加入木薯渣基生物炭的处理, 原因如下: 热解后的甘蔗渣基生物炭碳元素含量高于木薯渣基生物炭, 氢和氧元素含量则低于木薯渣基生物炭, 说明甘蔗渣炭在 650°C 情况下热解更充分, 含水率更低, 因此使得甘蔗渣基生物炭对土壤中有效养分有着更强的吸附能力。甘蔗渣基生物炭的芳香性、极性和亲水性总体高于木薯渣基生物炭, 极性官能团如羧基、羰基也会含量更高, 高 pH 条件下以阴离子存在, 更利于加入甘蔗渣后有效养分转化, 阳离子交换^[24]。甘蔗渣基生物炭能够更好地改变砖红壤的有机质含量, 进而能够更高的提升砖红壤的 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体含量。甘蔗渣比木薯渣更高的含 C 量, 而 C 有助于土壤中的 N 和 P 形成稳定化学键, 而土壤中加入生物炭形成氢键、静电作用、含氧官能团和共价官能团, 可能形成半透膜, 阻止 N 和 P 通过动态水交换的扩散, 防止 N 和 P 的流失^[25-26]。

本研究利用海南当地常见农业废弃物甘蔗渣和木薯渣为原料, 采取热解的方法将此类农业废弃物制备为生物炭用于当地砖红壤的改良, 研发出了甘蔗渣和木薯渣此类废弃物循环利用技术。研究表明, 利用甘蔗渣和木薯渣制备的生物炭可以有效改良砖红壤的理化性质。

参考文献:

[1] 赵志忠, 毕华, 唐少霞, 等. 海南岛西部地区砖红壤中常、微量元素的垂向分异研究[J]. 海南师范学院学报(自然科学版), 2004, 17(4): 370-377.
[2] 张麓岩. 纤维素降解产氢菌种选育及木薯渣产氢工艺研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.

[3] 左海峰, 刘志高. 甘蔗渣活性炭制备、应用及改性的研究进展[J]. 当代化工, 2023, 52(2): 442-446.
[4] 朱锷恒, 段良霞, 李元辰, 等. 土壤团聚体有机碳研究进展[J]. 中国农学通报, 2021, 37(21): 86-90.
[5] 徐嘉晖, 孙颖, 高雷, 等. 土壤有机碳稳定性影响因素的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(2): 222-230.
[6] CHIAM P C, CONCEPCION-MAGUYON DETRAS M, MIGO V P, et al. Parametric and optimization studies on the production of nanoscale biochar-NPK fertilizer using sugarcane bagasse-derived biochar as carrier [J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 778(1): 012079.
[7] MOTHÉ C G, DE MIRANDA I C. Characterization of sugarcane and coconut fibers by thermal analysis and FTIR [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2009, 97(2): 661.
[8] 田华丽. 木薯渣超低酸预处理糖类物质与抑制物的形成规律研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
[9] 袁小迈, 王梓廷. 不同牛粪和甘蔗渣堆肥策略对细菌群落的影响[J/OL]. 基因组学与应用生物学, 2022: 1-23. (2022-12-05). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.Q.20221205.1230.001.html>.
[10] CHEN B, CHEN Z. Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures [J]. *Chemosphere*, 2009, 76(1): 127-133.
[11] CHUN Y, SHENG G, CHIOU C T, et al. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(17): 4649-4655.
[12] 胡培. 土壤颗粒组成与有机质含量对水稻土容重的影响[J]. 农村经济与科技, 2021, 32(19): 48-51.
[13] 孙雪, 张玉铭, 张丽娟, 等. 长期添加外源有机物料对华北农田土壤团聚体有机碳组分的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(8): 1384-1396.
[14] 胡丹丹, 李浩, 宋惠洁, 等. 长期施肥条件下红壤有机碳化学结构与团聚体稳定性的关系[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 152-159.
[15] 郑华, 韦云东, 李军, 等. 缓释氮肥和 AM 菌剂对木薯生长和土壤氮素特征的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(10): 1893-1900.
[16] 冯翠莲, 万玥, 赵婷婷, 等. 抗虫转基因甘蔗对土壤酶活性的影响[J]. 热带生物学报, 2020, 11(1): 1-6.
[17] QIAN T, YANG Q, JUN D C F, et al. Transformation of phosphorus in sewage sludge biochar mediated by a phosphate-solubilizing microorganism [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2019, 359: 1573-1580.
[18] 尹宁宇. 矿区复垦土壤团聚体和有机碳动态变化的作用机制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.
[19] 潘艳斌, 朱巧红, 彭新华. 有机物料对红壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 209-214.
[20] YU H, ZOU W, CHEN J, et al. Biochar amendment im-

- proves crop production in problem soils: a review [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 232: 8–21.
- [21] KAMEYAMA K, MIYAMOTO T, SHIONO T, et al. Influence of sugarcane bagasse-derived biochar application on nitrate leaching in calcareous dark red soil [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(4): 1131 – 1137.
- [22] 安雄芳. 新型生物炭基缓释肥的制备及其缓释机制研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2022.
- [23] GLASER B, HAUMAIER L, GUGGENBERGER G, et al. The ‘*Terra preta*’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics [J]. *Naturwissenschaften*, 2001, 88(1): 37 – 41.
- [24] 秦建光, 余春江, 聂虎, 等. 秸秆燃烧中温度对钾转化与释放的影响 [J]. *太阳能学报*, 2010, 31(5): 540 – 544.
- [25] BAKI M, ABEDI-KOUPAI J. Preparation and characterization of a superabsorbent slow-release fertilizer with sodium alginate and biochar [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, 135(10): 45966.
- [26] ZIAT Y, ABBAS N, HAMMI M, et al. An experimental evaluation of inhibiting corrosion effect of phosphate glass on mild steel in acidic solution [J]. *Materials Research Express*, 2019, 6(8): 086567.

Effect of cassava and bagasse biochar on physicochemical properties of lateritic soil

LI Fangze¹, ZHAN Jian²

(1. Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy Technology Group, Beijing, 100160, China;
2. Zijin Mining Group Company Limited, Longyan, Fujian, 364208, China)

Abstract: Common agricultural wastes, cassava residues and sugarcane bagasse, were selected from Hainan as precursor materials to produce biochar through 650 °C pyrolysis with a single-factor experimental design, and the biochar was used to treat lateritic soil in the south of China at different rates (0, 0.1%, 0.5%, 1% and 5%) to observe the effect of the biochar on the physical properties such as bulk density, porosity, aggregates, etc, and chemical properties such as pH, cation exchange capacity (CEC), organic matter, available N, available P, available K, etc. The results showed that the biochar derived from sugarcane bagasse and cassava residues was higher in C content, much higher than in other elements, and was also higher in C/H and C/O ratios, which represent aromaticity and polarity. The biochar treatment resulted in significant improvement in the soil physical properties as compared with the control. Specifically, the bulk density of the lateritic soil significantly decreased, while the porosity and the content of macroaggregates (>0.25 mm) increased significantly. For the chemical properties of the lateritic soil, the pH, available N, available P, available K, organic matter, and CEC also increased significantly in the biochar treatment. Principal component analysis showed that the biochar derived from sugarcane bagasse had higher ameliorative effect on the lateritic soil than the biochar derived from cassava residues.

Keywords: bagasse; cassava residue; biochar; lateritic soil improvement

(责任编辑: 钟云芳)