

廉辰, 于嘉佳, 高婷, 等. 3 种壳类生物质炭对南方红壤理化性质的动态影响 [J]. 华南农业大学学报, 2022, 43(1): 20-27.
LIAN Chen, YU Jiajia, GAO Ting, et al. Dynamic effects of three kinds of shell biochars on physicochemical properties of red soil in South China [J]. Journal of South China Agricultural University, 2022, 43(1): 20-27.

3 种壳类生物质炭对南方红壤理化性质的动态影响

廉 辰¹, 于嘉佳¹, 高 婷², 蒋恩臣¹, 简秀梅¹

(1 生物基材料与能源教育部重点实验室/华南农业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510642;
2 华南农业大学 资源与环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探究 3 种壳类生物质炭对南方红壤理化性质的动态影响, 以期为南方红壤改良奠定理论基础。【方法】利用慢速热解法制备 3 种壳类生物质炭并对其进行表征, 通过室内试验, 研究添加 3 种壳类生物质炭对土壤有机质含量、容重、pH 以及速效钾含量的动态影响。【结果】在 1~90 d 处理期内, 松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭的施加均显著提高了土壤有机质和速效钾含量。在 30~90 d 内, 施加 5%(w) 松子壳炭使有机质含量较对照 (CK) 组上升了 258.94%~284.92%, 施加 5%(w) 稻壳炭使速效钾含量较 CK 组上升了 429.98%~716.58%; 1~90 d 处理期内, 施加 5%(w) 稻壳炭降低了土壤容重, 在 30~90 d 内, 施加 5%(w) 稻壳炭使土壤容重较 CK 组下降了 9.72%~15.38%; 在 1~90 d 处理期内, 施加油茶壳炭显著提高了土壤 pH, 在 30~90 d 内, 施加 5%(w) 油茶壳炭使土壤 pH 较 CK 组增加了 16.91%~29.53%。另外, 不同施加量的松子壳炭对土壤理化性质影响的研究结果表明, 在 1~90 d 处理期内, 施加 8%(w) 松子壳炭能较稳定地提高土壤的有机质含量、pH 和速效钾含量, 降低土壤容重。【结论】不同壳类生物质炭能改良红壤特性、提高红壤有机质含量和速效钾含量, 施加松子壳炭对提高红壤有机质的效果更显著, 施加稻壳炭对降低红壤容重和提高速效钾含量的效果更显著, 施加油茶壳炭对提高红壤 pH 的效果更显著。

关键词: 壳类生物质炭; 红壤; 动态影响; 理化性质; 土壤修复
中图分类号: S156.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2022)01-0020-08

Dynamic effects of three kinds of shell biochars on physicochemical properties of red soil in South China

LIAN Chen¹, YU Jiajia¹, GAO Ting², JIANG Enchen¹, JIAN Xiumei¹

(1 Key Laboratory for Biobased Materials and Energy of Ministry of Education/College of Material and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】This study was to explore the dynamic effects of three kinds of shell biochars on the physical and chemical properties of red soil in southern China, and provide a theoretical basis for improvement of red soil in southern China. 【Method】Three kinds of shell biochars were prepared by slow pyrolysis method and characterized. The dynamic effects of adding three kinds of shell biochars on soil organic matter content, bulk density, pH and available potassium

were studied through indoor experiment. 【Result】 During the treatment period of 1–90 d, the application of pine nut shell biochar, rice husk biochar and camellia oleifera shell biochar significantly increased the contents of soil organic matter and available potassium. Compared with CK group, within 30–90 d, the content of organic matter increased by 258.94%–284.92% in 5% (w) pine husk biochar application treatment, and the content of available potassium increased by 429.98%–716.58% in 5% (w) rice husk biochar application treatment. During 1–90 d, the application of rice husk biochar decreased the bulk density of red soil, and within 30–90 d, the application of 5% (w) rice husk biochar decreased the bulk density of red soil by 9.72% –15.38% compared with CK group. During 1–90 d, the application of camellia shell biochar significantly increased soil pH , and within 30–90 d, the application of 5% (w) camellia shell biochar increased soil pH by 16.91%–29.53% compared with CK group. In addition, the effects of different application amounts of pine nut shell biochar on soil physical and chemical properties showed that the application of 8% (w) pine nut shell biochar could steadily increase soil organic matter content, pH and available potassium content, as well as decrease soil bulk density during the treatment period of 1–90 d. 【Conclusion】 Different shell-based biochar can all improve soil characteristics, increase soil organic matter and soil available potassium contents. The application of pine nut shell biochar may have a more significant effect on improving soil organic matter content, and the application of rice hull biochar may have a more significant effect on reducing soil bulk density and increasing available potassium content, and the application of camellia oleifera shell biochar may have a more significant effect on increasing soil pH.

Key words: Shell biochar; Red soil; Dynamic effect; Physicochemical property; Soil remediation

红壤是我国南方地区主要土壤类型之一，其面积约为 2.04 亿 hm^2 ，占全国土壤总面积的 22.7%^[1]。红壤由于长期被氧化淋溶，大多数呈酸性，肥力较低，同时保肥保水性能差。贫瘠红壤严重影响了我国南方地区的农业经济可持续发展^[1]，因此施加土壤修复剂，改善红壤理化性质，对于提高红壤的农业产出具有重要意义^[2-3]。生物质炭是有机物质(如农林废弃物和畜禽废弃物等)在限氧或绝氧条件下经过高温热解炭化而成的比表面积大的富碳型产物。生物质炭具有丰富的孔隙、表面官能团和表面活性物质，能够通过络合、静电、阳离子交换等作用吸附肥料中的各种矿质元素，并且生物质炭原料廉价、易得、性质稳定^[4-6]，可作为农田肥料缓释剂的优良载体^[7]。同时，Qiao 等^[8]研究发现，生物质炭返回土壤可增加土壤水分，提高土壤对养分的保留，减少土壤 NO_2 、 CO_2 和 CH_4 的排放，释放可溶性碳和微量营养素，并提高土壤的 pH，促进土壤微生物群落的生长，提高作物产量^[9-10]，因此，生物质炭也被认为是贫瘠土壤的优良修复剂。

土壤理化性质的动态变化因施加生物质炭周期长短而不同。从短期施加来看，生物质炭改变了土壤性质，包括土壤容重、pH 以及速效钾和有机质含量等方面。其中有机质含量是土壤肥力的重要指

标^[11]，有机质也能改善土壤微生物多样性、微生物区系结构^[12]。从长期施加来看，生物质炭的施加可能会造成过度的营养积累、增加硝化细菌和磷酸盐损失以及向大气中排放气体^[13]。杨采迪等^[14]在土壤中施用不同生物质炭，使土壤 pH 均较对照组有不同程度的提高，但增幅随着作用时间延长而下降，同时，交换性酸显著降低且随着时间显著性增强。Li 等^[15]研究发现，老化的生物质炭失去对潜在氨氧化的初始作用，而几年前所用生物质炭改良土壤与新鲜生物质炭功效相似。因此，需要进一步研究探索土壤理化性质与施用生物质炭的长期关系。我国壳类资源丰富，将其制备成壳类生物质炭，使之成为治理土壤的重要原料，既可以充分利用资源，又可以带来良好的经济效益^[16]。近年来，壳类生物质炭在农业领域的应用研究比较广泛。廖芬等^[17]研究发现，生物质炭对作物的效应与生物质炭的原料来源有关。但是，不同原料的壳类生物质炭在施用期内，对南方红壤的理化性质的动态影响研究报道较少。本文选取松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭作为壳类生物质炭施加于土壤，探究施加不同种类及不同施加量的壳类生物质炭对南方红壤有机质含量的动态影响，以及对土壤其他理化性质如红壤容重、pH 和速效钾含量的动态影响，并通过表征分析

研究壳类炭对土壤改良的原因, 以期为阻控红壤酸化, 提高红壤理化性质提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 壳类生物质炭的制备

分别以松子壳、稻壳和油茶壳为原料, 在干燥箱内 70 ℃ 条件下干燥 24 h, 在缺氧状态下热解炉慢速热解, 并在 500 ℃ 条件下保温 1 h, 所制得的生物质炭随炉降温, 收集后研磨, 并过 40 目筛备用。

1.2 壳类生物质炭修复红壤试验

试验的南方红壤土采集于广东省番禺区菜田, 采用五点采样法采集 0~20 cm 深的表层红壤, 土壤风干后, 除去石子、草根等杂物, 磨细后过 20 目筛备用。试验红壤 pH 为 6.6, 速效钾为 62 mg·kg⁻¹, 有机质为 5.3 g·kg⁻¹。红壤粒径范围为: 20%(w) 的 0.05~2.00 mm 砂粒, 70%(w) 的 0.002~0.050 mm 粉粒和 10%(w) 的 <0.002 mm 黏粒, 因此本试验土壤为红壤土。

自制的壳类生物质炭和红壤土置于直径 15 cm、高 12 cm 的花盆中进行室内土壤试验。研究不同壳类生物质炭对红壤理化性质的动态影响, 松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭施加量 (炭土质量比) 均为 5%, 即土壤添加量均为 1 kg, 不同生物质炭的施加量为 50 g。同时, 研究不同施加量的壳类生物质炭对土壤理化性质的动态影响, 以松子壳炭为研究对象, 其炭土比例分别为 0 (对照, CK)、2%、5% 和 8%, 即土壤添加量均为 1 kg, 则松子壳炭施加量分别为 0、20、50 和 80 g。土壤培养周期为 90 d, 每 30 d 取土样进行理化分析, 共取样 4 次。每处理设 3 组平行试验。

1.3 壳类生物质炭理化性质表征

壳类生物质炭水分、挥发分和灰分含量使用长沙友欣仪器制造有限公司、型号为 YX-GYFX 7701 的全自动工业分析仪进行测试, 固定碳含量采用差

减法计算^[18]; 壳类生物质炭官能团采用德国布鲁克公司、型号为 BRUKER TENSOR II 的傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 仪测定; 壳类生物质炭 pH 采用上海三信仪表厂、型号为 Mettler-Toledo 的 pH 计测量, 生物质炭与水的质量比为 1:20; 壳类生物质炭的比表面积和孔径采用美国麦克默瑞提克公司、型号为 ASAP2000Micromeritics 的全自动比表面积和孔隙分析仪测试。

1.4 土壤理化性质测试

采用环刀法采集土壤样品 100 cm³, 测定土壤容重^[19]。土壤 pH 采用 pH 计测试, 土水质量比为 10:25 的悬浊液搅拌 5 min, 静置 30 min^[20]。有机质含量采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法测定^[21]。速效钾含量采用 1 mol/L 的 NH₄OAc 浸提-火焰光度计法测试^[22]。

1.5 亚甲基蓝和碘吸附量的测定

亚甲基蓝吸附试验, 往锥形瓶中加入土壤样本 0.5 g 和 100 mg/L 的亚甲基蓝溶液 100 mL, 在 25 ℃ 条件下以 150 r/min 搅拌 30 min 并过滤, 滤液的亚甲基蓝浓度用紫外分光光度计 (UV 762, 中国) 进行测定。碘吸附试验按照 GB/T 7702.7—2008^[23] 方法进行, 取土壤样品 0.5 g, 加入 0.1 mol/L 的碘液 50.0 mL, 混合后搅拌 15 min, 用滴定法测定生物质基活性炭的碘吸附量。

1.6 数据处理与分析

采用 Excel 2007 和 Origin 9.0 软件对数据进行处理及绘图。采用 SPSS 22.0 统计分析软件对土壤有机质含量、土壤容重、pH 和速效钾含量进行统计学分析, 显著性分析采用 Duncan's 法。

2 结果与分析

2.1 壳类生物质炭的理化性质分析

表 1 为松子壳、稻壳和油茶壳 3 种原料在 500 ℃

表 1 3 种壳类生物质炭的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of three kinds of biochars

样本 Sample	pH	w/%			比表面积/ (m ² ·g ⁻¹) Specific surface area	平均孔径/nm Average pore size	吸附量/(mg·g ⁻¹) Adsorption capacity	
		灰分 ¹⁾ Ash	挥发物 ¹⁾ Volatile matter	固定碳 ¹⁾ Fixed carbon			碘 Iodine	亚甲基蓝 Methylene blue
松子壳炭 Pine nut shell biochar	10.74	1.17	77.77	21.06	47.86	19.72	67.51	26.46
稻壳炭 Rice husk biochar	9.50	23.46	65.09	11.34	16.28	20.20	40.85	24.77
油茶壳炭 Camellia oleifera shell biochar	9.20	7.51	69.82	22.67	1.14	50.43	48.63	25.15

1)灰分、挥发物和固定碳含量均以绝干基计算
1)Ash, volatile matter and fixed carbon content were calculated on the absolute dry basis

条件下热裂解所得壳类生物质炭的理化性质。500 ℃ 热解的壳类生物质炭均具有较高的 pH^[24], 其中, 松子壳炭为 10.74, 稻壳炭为 9.50, 油茶壳炭为 9.20。稻壳炭灰分含量最高, 油茶壳炭次之, 松子壳炭最低, 其质量分数分别为 23.46%、7.51% 和 1.17%; 松子壳炭挥发分含量最高, 油茶壳炭次之, 稻壳炭最低, 其质量分数分别为 77.77%、69.82% 和 65.09%; 油茶壳炭固定碳含量最高, 松子壳炭次之, 稻壳炭最低, 其质量分数分别为 22.67%、21.06% 和 11.34%。松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭的比表面积分别为 47.86、16.28 和 1.14 m²·g⁻¹, 平均孔径分别为 19.72、20.20 和 50.43 nm, 对碘的吸附量分别为 67.51、40.85 和 48.63 mg·g⁻¹, 对亚甲基蓝的吸附量分别为 26.46、24.77 和 25.15 mg·g⁻¹。根据国际理论和应用化学协会 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) 分类样品, 孔隙按孔径 (*d*) 大小分为大孔 (*d*>50 nm)、介孔 (*d*=2~50 nm) 和微孔 (*d*<2 nm)^[25]。

吸附剂对亚甲基蓝的吸附主要依靠介孔, 对碘分子的吸附则主要依靠微孔, 吸附结果可作为评价生物质炭孔径分布的重要指标^[26-27]。亚甲基蓝吸附结果表明, 3 种壳类生物质炭的介孔数量及对亚甲基蓝的吸附能力相当。碘吸附结果表明, 松子壳炭表现出较优的碘吸附能力。因此松子壳炭相较于其他 2 种壳类生物质炭含有更丰富的微孔^[28]。

2.2 壳类生物质炭氮气吸附特性与孔径分布分析

由图 1A 可知, 松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭氮气吸附-脱附等温线均可归为 IV 型等温线, 中间段出现吸附回滞环, 表明 3 种壳类生物质炭存在一定的大孔、介孔和微孔^[29-30]。由图 1B 可知, 微孔的丰富度大小关系为: 松子壳炭的微孔丰富度更高, 稻壳炭次之, 油茶壳的微孔丰富度最低。与氮气吸附-脱附等温线一致^[31]。壳类生物质炭的微孔丰富度与其对碘的吸附能力呈正相关。在孔径范围 4~6 nm 内, 松子壳炭具有更多的介孔丰富度。

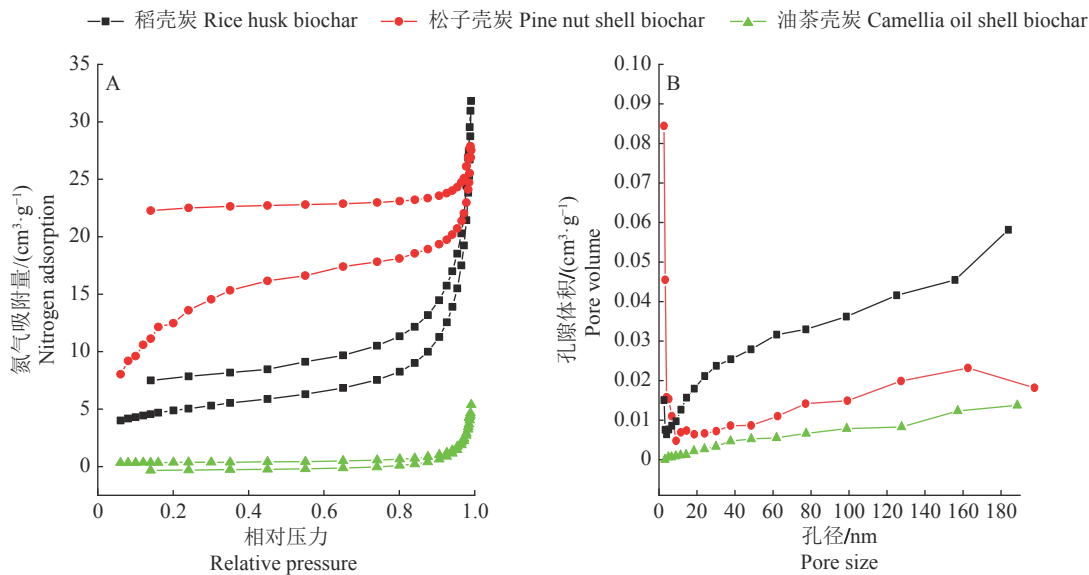


图 1 不同壳类生物质炭的氮气吸附-脱附 (A) 和孔径分布 (B)

Fig. 1 The plots of nitrogen adsorption and desorption (A) and pore size distribution (B) for different shell biochars

2.3 壳类生物质炭的红外光谱分析

由壳类生物质炭的红外光谱分析(图 2)可知, 松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭均在羟基 (—OH) 区域 (3 100~3 750 cm⁻¹) 出现振动峰, 波数为 3 600~3 650 cm⁻¹ 的振动峰属于醇类、酚类的游离羟基基团。松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭均在 3 043 cm⁻¹ 处有芳香烃的 C—H 伸缩振动峰^[32]。1 300~1 800 cm⁻¹ 波数范围为“指纹”区域, 松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭均出现峰强相似的酸酐 C=O 的振动峰 (1 877 cm⁻¹)、酰胺 I 带 C=N 的振动峰 (1 600~1 700 cm⁻¹)、芳香烃 C=C (1 589 cm⁻¹) 和酚醛 O—H 的振动峰

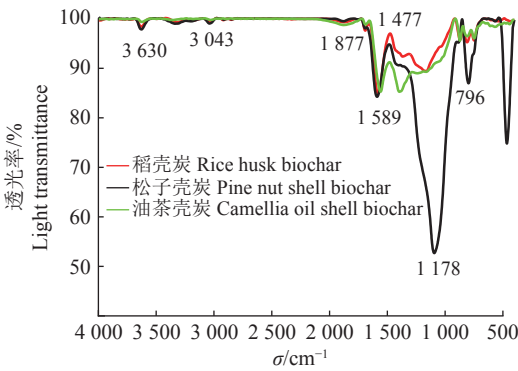


图 2 不同壳类生物质炭的红外光谱

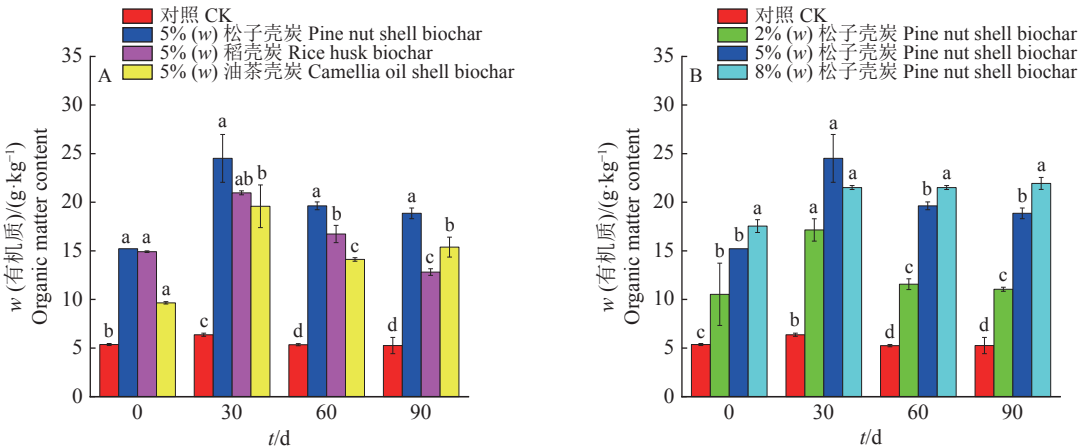
Fig. 2 FTIR spectra of different shell biochars

($1\,477\text{ cm}^{-1}$)^[33]。波数为 $1\,178\text{ cm}^{-1}$ 附近的振动峰为 C—O，其中松子壳炭具有最高的 C—O 振动峰。松子壳炭在波数为 796 cm^{-1} 附近吸收峰可能为 C—H^[28]。红外光谱数据表明，3 种壳类生物质炭均含有丰富的含氧官能团。

2.4 壳类生物质炭修复盆栽土壤的试验结果

2.4.1 壳类生物质炭对土壤有机质含量的影响
不同壳类生物质炭类型及松子壳炭施加水平对土壤有机质含量的动态影响如图 3 所示。由图 3A 可知，相比于 CK 组，1~90 d 试验期内，不同种类的壳

类生物质炭对土壤有机质含量都有显著性影响，使其显著升高。其中，在 30~90 d 试验期内，施加 5%(w) 松子壳炭较其他壳类生物质炭使土壤有机质含量上升幅度更大 (258.94%~284.92%)。因此，选择松子壳炭研究其不同施加量对土壤有机质含量及其他土壤理化性质的动态影响。由图 3B 可知，相比于 CK 组，不同施加量的松子壳炭对土壤的有机质含量都有显著性影响，除 30 d 外，施加 8%(w) 松子壳炭使土壤有机质含量的增加最显著，在 90 d 时较 CK 组上升了 317.46%。



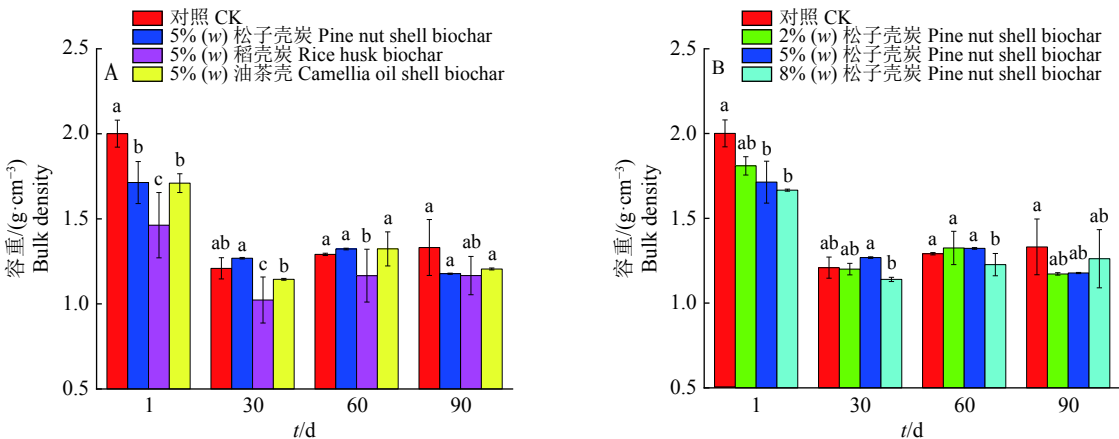
各图中，相同处理时间柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on bars of the same treatment time indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$, Duncan's method)

图 3 壳类生物质炭对土壤有机质含量的影响

Fig. 3 Effects of shell biochars on organic matter content in soil

2.4.2 壳类生物质炭对土壤容重的影响 不同壳类生物质炭类型及松子壳炭添加水平对土壤容重的动态影响如图 4 所示。由图 4A 可知，1~90 d 试

验期内，不同种类的壳类生物质炭对土壤容重影响不一致，施加 5%(w) 稻壳炭在处理期内降低了土壤容重，在 30~90 d 试验期内，施加 5%(w) 稻壳炭使



各图中，相同处理时间柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on bars of the same treatment time indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$, Duncan's method)

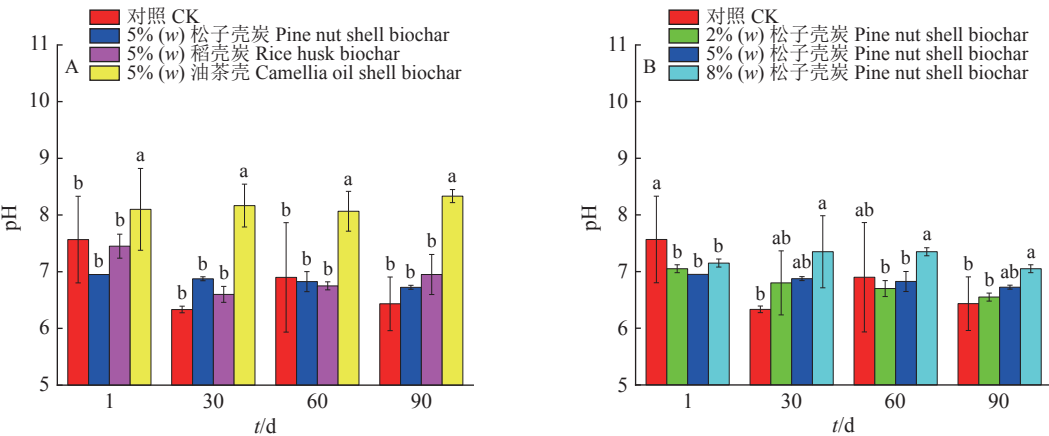
图 4 壳类生物质炭对土壤容重的影响

Fig. 4 Effects of shell biochars on soil bulk density

土壤容重较 CK 组下降了 9.72%~15.38%。另外, 施加 5%(w) 松子壳炭与 CK 组相比, 处理前期和中期的土壤容重有所增加, 但在 90 d 时土壤容重较 CK 组下降了 11.57%。由图 4B 可知, 在 60 d 时施加 8%(w) 松子壳炭处理对土壤容重有显著性影响, 90 d 时与 CK 组相比, 2%~8%(w) 松子壳炭使土壤容重下降了 5.25%~11.98%。

2.4.3 壳类生物质炭对土壤 pH 的影响 不同壳类生物质炭类型及松子壳炭施加水平对土壤 pH 的动态影响如图 5 所示。由图 5A 可知, 1~90 d 试验期内, 不同种类壳类生物质炭对土壤

pH 影响不一致。其中, 施加 5%(w) 油茶壳炭在处理期均提高了土壤 pH, 且相比于 CK 组具有显著性差异。在 30~90 d 试验期内, 施加 5%(w) 油茶壳炭使土壤 pH 较 CK 组增加了 16.91%~29.53%。另外, 试验期内, 与 CK 组相比, 施加 5%(w) 松子壳炭处理土壤的 pH 有波动上升的趋势。由图 5B 可知, 除 60 d 以外, 施加 8%(w) 的松子壳炭在 30~90 d 内对土壤的 pH 均有显著性影响, 且随着松子壳炭添加量的增加, 土壤 pH 也增加。在 90 d 时, 施加 8%(w) 的松子壳炭使土壤 pH 较 CK 组提高了 9.58%。

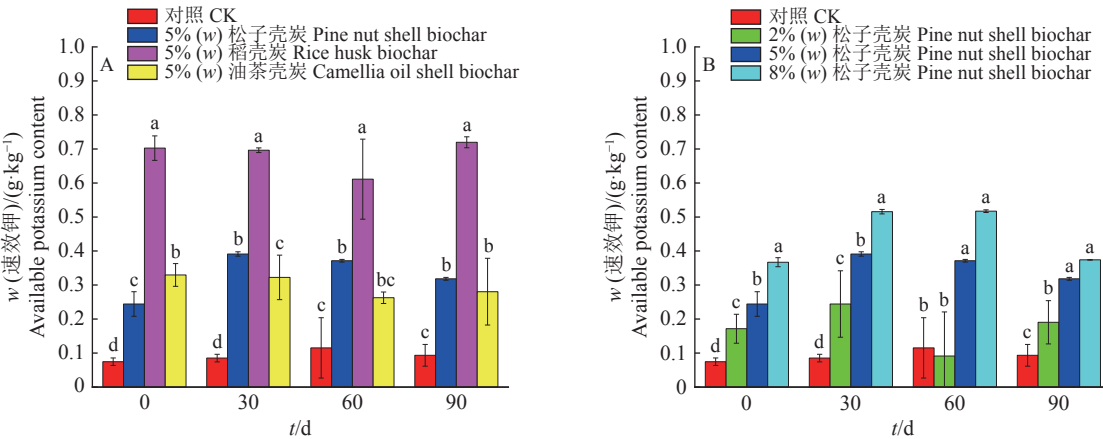


各图中, 相同处理时间柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on bars of the same treatment time indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$, Duncan's method)

图 5 壳类生物质炭对土壤 pH 的影响
Fig. 5 Effects of shell biochars on soil pH

2.4.4 壳类生物质炭对土壤速效钾含量的影响 不同壳类生物质炭类型及松子壳炭添加水平对土壤速效钾含量的动态影响如图 6 所示。从图 6A 可

以看出, 与 CK 组相比, 1~90 d 处理期内, 不同种类的壳类生物质炭对土壤速效钾含量都有显著性影响, 使其显著升高。其中, 在 30~90 d 试验期内, 施



各图中, 相同处理时间柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on bars of the same treatment time indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$, Duncan's method)

图 6 壳类生物质炭对土壤速效钾含量的影响
Fig. 6 Effects of shell biochars on the content of available potassium in soil

加 5%(w) 稻壳炭和 5%(w) 松子壳炭的处理使土壤速效钾含量分别上升了 429.98%~716.58% 和 222.05%~358.86%。从图 6B 可以看出, 在 1~90 d 试验期内, 除施加 2%(w) 松子壳炭在 60 d 没有显著性影响以外, 其他施加量的松子壳炭对土壤速效钾含量都有显著性影响, 其中施加 8%(w) 松子壳炭使土壤速效钾含量增加的效果更显著, 在 90 d 时使土壤速效钾含量较 CK 组上升了 300.12%。

3 讨论与结论

壳类生物质炭对土壤的有机质含量的影响因修复处理期不同而不同。修复初期, 由于壳类生物质炭本身的易挥发物质及其表面官能团的氧化使得土壤有机质含量显著升高, 但随着修复时间的增加, 生物质炭表面钝化^[34], 并与土壤相互作用, 产生保护基质, 因而土壤中有机质含量有所降低。同时, 相对于稻壳炭和油茶壳炭, 施加松子壳炭土壤中的有机质含量增加较多, 其原因是松子壳炭具有较多的表面官能团以及较大的比表面积 ($47.86\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$), 且含有大量的微孔和介孔 (4~6 nm)。松子壳炭为土壤微生物提供了活动场所, 加速了土壤中动植物残体向腐殖质转化, 从而提高红壤中有机质的含量^[31,35]。

施用不同种类的壳类生物质炭对土壤 pH 的影响表明, 不同种类的壳类生物质炭均使土壤 pH 有不同幅度的增加。生物质炭提高土壤 pH 主要有 2 个原因: 1) 生物质炭中灰化碱的释放可直接中和土壤酸度, 提高土壤 pH; 2) 生物质炭被土壤微生物分解, 生物质炭的有机氮矿化形成铵态氮, 从而消耗质子, 提高土壤 pH^[36]。另外, 油茶壳炭能显著提高土壤 pH 是因为油茶壳炭平均孔径最大 (50.43 nm), 丰富的大孔可以增加土壤的阳离子交换量, 对于吸附带正电离子具有积极效应, 从而增加土壤的 pH^[31]。

不同种类的壳类生物质炭对土壤容重的影响取决于壳类生物炭本身的理化性质。添加稻壳炭使南方红壤容重显著降低, 是因为稻壳炭的疏松、多孔结构, 其容重远低于南方土壤, 可以有效截留水分和养分, 有利于土壤水分保留^[31]。

不同种类的壳类生物质炭对土壤速效钾含量都有显著性影响。一方面, 壳类生物质炭 (松子壳炭、稻壳炭和油茶壳炭) 本身来源于经济作物, 作物在生长过程中积累的可溶性钾保留在壳类生物炭中, 从而可提高土壤的钾含量^[2]。另一方面, 从 FTIR 表征分析得知, 壳类生物质炭表面具有丰富的含氧官能团 (如酚类和羟基等), 因而生物质炭产生的负电荷使其具有较高的阳离子交换量, 施入土壤后可

促进土壤钾离子的释放^[37]。因此, 施用不同种类的壳类生物质炭均增加了土壤速效钾含量。

本研究以松子壳、稻壳和油茶壳 3 种壳类原料制备生物质炭, 研究了不同类型壳类生物质炭以及添加水平对红壤理化性质的动态影响, 探讨了生物质炭本身特性, 从而筛选出较佳的壳类生物质炭, 通过调控生物质炭的施加量, 提高了土壤的理化性质。本文结论如下:

1) 添加不同类型的壳类生物质炭均显著提高了土壤有机质含量。在 90 d 时, 添加 8%(w) 松子壳炭, 使土壤有机质增长最显著, 较 CK 组增加了 317.46%。

2) 添加不同壳类生物质炭对土壤 pH 的动态影响的研究表明, 施加碱性的生物质炭以后, 随着时间的增加, 壳类生物质炭中的碱性物质逐渐释放到酸性土壤并中和酸性土壤, 提高了土壤 pH。

3) 添加不同类型的壳类生物质炭均提高了土壤的速效钾含量, 在 30~90 d 内, 施加 5%(w) 稻壳炭和松子壳炭的处理, 使土壤速效钾含量较 CK 组分别上升了 429.98%~716.58% 和 222.05%~358.86%。

4) 添加不同类型的壳类生物质炭对土壤容重的动态影响的研究表明, 容重决定于壳类生物炭本身的理化性质。在 30~90 d 试验期内, 稻壳炭使土壤容重较 CK 组下降了 9.72%~15.38%。

5) 不同类型的壳类生物质炭能提高土壤农艺特性和 pH, 提高土壤有机质和速效钾含量, 降低土壤容重, 这为壳类生物质炭还田修复贫瘠红壤提供了理论和实践依据。

参考文献:

- [1] 佟雪娇, 李九玉, 姜军, 等. 添加农作物秸秆炭对红壤吸附 Cu(II) 的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(5): 37-41.
- [2] 杜衍红, 蒋恩臣, 王明峰, 等. 稻壳炭对红壤理化特性及芥菜生长的影响[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1159-1165.
- [3] 郭碧林, 陈效民, 景峰, 等. 生物质炭添加对重金属污染稻田土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(4): 279-284.
- [4] XIA J L, NI C X, LIU S X. Research progress on application effect of biomass charcoal and its restoration of soil phenolic acid pollution[J]. Plant Diseases and Pests, 2019, 10(1): 5-9.
- [5] GLASSER B. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon Region[J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(7): 669-678.
- [6] SCHMIDT M W I, NOACK A G. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2000, 14(3): 777-793.
- [7] 王微, 王明峰, 姜洋, 等. 稻壳炭基肥的制备及其释放特

性和机理探讨[J]. *可再生能源*, 2020, 38(10): 1288-1294.

[8] QIAO Y, MIAO S, ZHONG X, et al. The greatest potential benefit of biochar return on bacterial community structure among three maize-straw products after eight-year field experiment in Mollisols[J/OL]. *Applied Soil Ecology*, 2019, 147: 103432. [2020-10-15]. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103432>.

[9] 朱光耀, 何丽芝, 秦鹏, 等. 施用猪炭对土壤吸附 Pb^{2+} 的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(3): 573-580.

[10] WU H, QIN X, WU H, et al. Biochar mediates microbial communities and their metabolic characteristics under continuous monoculture[J/OL]. *Chemosphere*, 2020, 246: 125835[2020-10-15]. <https://doi.org/10.1016/j.chemosp.2020.125835>.

[11] 杜衍红, 王向琴, 刘传平, 等. 铁改性木本泥炭对镉砷复合污染稻田的修复效果研究[J]. *农业现代化研究*, 2021, 42(2): 311-320.

[12] 索慧慧, 林颖, 赵苗苗, 等. 生物炭对淹水土壤中溶解性有机质含量及组成特征的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(2): 155-161.

[13] BHOGAL A, NICHOLSON F A, CHAMBERS B J. Organic carbon additions: Effects on soil bio-physical and physico-chemical properties[J]. *European Journal of Soil Science*, 2010, 60(2): 276-286.

[14] 杨彩迪, 宗玉统, 卢升高. 不同生物炭对酸性农田土壤性质和作物产量的动态影响[J]. *环境科学*, 2020, 41(4): 1914-1920.

[15] LI S, WANG S, FAN M, et al. Interactions between biochar and nitrogen impact soil carbon mineralization and the microbial community[J/OL]. *Soil and Tillage Research*, 2020, 196: 104437.[2020-10-15].<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104437>.

[16] 刘超, 廖雷, 韦真周, 等. 油茶果壳炭对低浓度油烟的吸附行为[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(8): 4387-4390.

[17] 廖芬, 杨柳, 李强, 等. 不同生物质来源生物炭品质的因子分析与综合评价[J]. *华南农业大学学报*, 2019, 40(3): 29-37.

[18] JIAN X, ZHUANG X, LI B, et al. Comparison of characterization and adsorption of biochars produced from hydrothermal carbonization and pyrolysis[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, 10: 27-35.

[19] 高莹, 孙喜军, 吕爽, 等. 不同改良剂对塑料大棚土壤理化性质及甜瓜品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(11): 51-58.

[20] 马茹茹, 刘锦卉, 史晓凯, 等. 不同种类生物炭对砷污染土壤的改良效应[J]. *环境污染与防治*, 2021, 43(2): 200-205.

[21] 高玉秋, 徐彩龙, 马立晖, 等. 鄂伦春旗耕地土壤有机质含量的时空变化趋势及其与大豆产量的关系[J]. *农学报*, 2021, 11(2): 57-63.

[22] 王文俊, 李志伟, 王璨, 等. 高光谱成像的褐土土壤速效钾含量预测[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019, 39(5): 1579-1585.

[23] 中国兵器工业集团公司. GB/T 7702.7—2008 煤质颗粒活性炭试验方法: 碘吸附值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[24] 李湘萍, 张建光. 生物质热解制备多孔炭材料的研究进展[J]. *石油学报(石油加工)*, 2020, 36(5): 1101-1110.

[25] 鞠艳艳, 丁元君, 邵前前, 等. 城市园林废弃物生物质炭性质及其应用潜力[J]. *林业科学*, 2020, 56(8): 107-120.

[26] 简秀梅, 蒋恩臣, 宋艳培, 等. 生物质炭的制备工艺参数与吸附性能分析[J]. *江西农业大学学报*, 2016, 38(3): 557-564.

[27] 简秀梅, 庄修政, 蒋恩臣, 等. 农业废弃物制备颗粒活性炭的工艺优化研究[J]. *华南农业大学学报*, 2015, 36(2): 90-94.

[28] 王罡, 蒋恩臣, 王明峰, 等. 松子壳热解炭活化特性研究[J]. *可再生能源*, 2015, 33(1): 104-110.

[29] 吴继辉, 朱正祥, 王亮才, 等. 不同热处理方式对稻壳炭孔径的影响[J]. *广东化工*, 2018, 45(14): 7-8.

[30] 王琳琳, 龙柳锦, 陈小鹏, 等. 油茶壳基中孔活性炭的表征与孔结构研究[J]. *高校化学工程学报*, 2013, 27(2): 297-303.

[31] 简秀梅, 陈学濡, 刘富豪, 等. 不同灰分生物质炭对红壤理化特性与微生物特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(6): 282-291.

[32] JIAN X M, UCHIMIYA M, ORLOV A. Particle size- and crystallinity-controlled phosphorus release from biochars[J]. *Energy & Fuels*, 2019, 33(6): 5343-5351.

[33] CANTRELL K B, HUNT P G, UCHIMIYA M, et al. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar[J]. *Biore-source Technology*, 2012, 107: 419-428.

[34] DEENIKJL, MCCLELLANT, UEHARAG, 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.

[35] 尹显宝, 窦森, 田宇欣, 等. 添加不同来源生物质炭对暗棕壤腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2020, 42(2): 175-182.

[36] 李艳春, 陈志鹏, 王义祥, 等. 不同类型生物质材料改良茶园土壤酸度的效果评价[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(11): 1190-1194.

[37] 卜晓莉, 汪浪浪, 马青林, 等. 稻壳炭施用对太湖滨岸灰潮土氮磷淋失及土壤性质的影响[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(11): 2216-2222.

【责任编辑 李晓卉】