

生物质炭对黄棕壤理化性质及龙脑樟幼苗生长的影响^①

严陶韬^{1,2}, 丁子菊^{1,2}, 朱倩^{1,2}, 卜晓莉^{1,2}, 薛建辉^{1,2,3*}, 吴永波^{1,2}

(1 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 2 南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037;

3 江苏省中国科学院植物研究所, 南京 210014)

摘要:以南京林业大学下蜀林场黄棕壤为试验对象, 采用室外盆栽试验, 研究生物质炭不同施用量(炭土质量比 0、1%、2%、4%)对黄棕壤理化性质及龙脑樟幼苗生长的影响。结果表明: 生物质炭可有效改良黄棕壤物理性质, 4% 施用量改良效果最好, 与仅施化肥处理相比, 土壤总孔隙度、饱和持水量、毛管持水量和田间持水量显著提高, 土壤容重显著降低($P<0.05$); 施用生物质炭可显著提高土壤 pH($P<0.05$), 改善土壤酸碱性; 生物质炭施用对土壤氮磷有效性影响显著($P<0.05$), 低施用量下土壤碱解氮含量最高, 高施用量下土壤有效磷含量最高。生物质炭 1% 施用量下, 龙脑樟叶片产量最高(41.54 g), 分别比对照和仅施化肥处理提高 141.53% 和 11.16%; 而苗高相对生长速率较仅施化肥处理显著降低 6.79%, 有利于矮化苗木。可见生物质炭改良土壤理化性质和促进苗木生长的最佳施用量并不相同。考虑到经济效益, 1% 的生物质炭施用量对龙脑樟叶片产量的提高较为适宜。

关键词: 生物质炭; 黄棕壤; 理化性质; 龙脑樟; 生长特性

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A

生物质炭是生物质原料在限氧或无氧环境下通过高温热解产生的含碳丰富的固体物质, 结构稳定且不易分解^[1]。近年来, 有关生物质炭改善各类土壤理化性质的研究越来越多。生物质炭一般呈碱性, 具有较高的阳离子交换量(CEC), 且表面携带的负电荷可交换吸附酸性土壤中的 Al^{3+} , 所以施入土壤后可提高土壤 CEC, 改变土壤 pH, 有效改善土壤理化性质^[2-3]; 同时生物质炭自身带有负电荷, 具有多孔结构^[4], 有利于吸附土壤中养分, 减少氮、磷养分流失^[5-8], 提高土壤肥力水平。适量生物质炭可以促进植物生长并增产, 对植物叶片生长^[9-10]、植物高度增加^[11-12]和根系生长^[13]具有一定促进作用。生物质炭的应用研究多为农业土壤和农作物^[10,12,14-19], 在林业尤其是经济林上的应用研究不多。

龙脑樟(*Cinnamomum camphora*)叶片是提取天然冰片(右旋龙脑)的珍贵稀有天然原料^[20], 其产量受多种因素影响, 其中土壤条件是最主要的影响因素之一, 研究表明龙脑樟在符合其选地要求的土壤条件下, 枝叶产量可高达 17 107.5 kg/hm²。另外, 不同的肥料种类、数量对龙脑樟叶片产量也有影响, 高投入

可以获得高产^[21]。

在我国长江下游, 宁镇地区分布有黄棕壤, 介于黄、红壤和棕壤地带之间。黄棕壤土壤偏酸性, 属于黏质土^[22], 透气透水性较差, 土壤结构不稳定, 易发生水土流失, 导致土壤肥力水平较低, 不利于植物生长。因此, 本文以黄棕壤和龙脑樟为研究对象, 采用室外盆栽试验, 研究不同施用量下生物质炭对黄棕壤土壤酸碱度、孔隙度、氮磷养分有效性及龙脑樟幼苗生长的影响, 为生物质炭应用于宁镇地区土壤提供理论指导和实践基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点为南京林业大学下蜀林场(31°59'N, 119°14'E), 位于江苏省句容市境内, 属北亚热带季风气候区, 四季分明, 年均降雨量 1 104 mm, 年均气温 15.2℃。

1.2 试验材料

试验土壤取自江苏省句容市下蜀镇, 土壤类型主要为黄土母质发育的黄棕壤, 质地重壤至壤质, pH

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502605)和江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)资助。

* 通讯作者(jhxue@njfu.com.cn)

作者简介: 严陶韬(1989—), 男, 江苏射阳人, 博士研究生, 研究方向为植物营养与林业生态工程。E-mail: ecologyan@qq.com

值 4.5~5.5。试验土壤基本理化性质为:pH 5.55, 容重 1.36 g/cm³, 有机质 5.14 g/kg, 碱解氮 15.79 mg/kg, 全氮 0.83 mg/kg, 有效磷 1.34 mg/kg, 全磷 0.34 mg/kg。

试验所用生物质炭为稻壳炭, pH 10.35, 购于安徽省鑫泉米业有限公司, 灰分含量 463.6 g/kg, 碳含量 499 g/kg, 氮含量 5.32 g/kg, 有效磷含量 1.56 g/kg, 阳离子交换量(CEC)38.07 cmol/kg。试验所用肥料为氮磷钾三元复合肥(麦其尔, 无锡保利化肥有限公司生产, 总氮≥160 g/kg, 有效磷≥160 g/kg, 有效钾含量≥160 g/kg)。

1.3 试验布置

采用 29 cm × 22 cm(口径 × 高)的花盆进行室外盆栽试验。花盆土层厚度 14~18 cm。试验共设 5 个处理, 分别为: CK、C₀F、C₇₀F、C₁₄₀F、C₂₈₀F, 其中 CK 代表对照, C 代表生物质炭, F 代表化肥, 数字代表生物质炭按炭土质量比 0、1%、2% 和 4% 计算的施加量。各处理中生物质炭和肥料用量见表 1。于 2014 年 3 月 24 日选取长势一致的一年生龙脑樟幼苗移栽, 其地径 0.8 cm ± 0.2 cm, 苗高 43 cm ± 10 cm。龙脑樟按正常抚育、管理、浇水、除草, 每个月移动盆栽, 减轻边缘效应的影响。

表 1 不同施肥处理中肥料种类和数量
Table 1 Information of biochar and chemical fertilizer applied under different treatments

处理	土壤质量(kg)	生物质炭/土壤(%)	生物质炭施加量(g)	化肥施用量(g)
CK	7	0	0	0
C ₀ F	7	0	0	5
C ₇₀ F	7	1	70	5
C ₁₄₀ F	7	2	140	5
C ₂₈₀ F	7	4	280	5

1.4 样品采集

于生物质炭添加 240 d 后采集土壤与植物样品。取 0~10 cm 表层土壤, 每盆分 4 个方向取土(共约 1 kg), 混合均匀装入塑封袋, 带回实验室分析, 不能

立即分析的土壤放于冰箱 4℃ 储存。龙脑樟叶片生物量于 2014 年 12 月采集测定。

1.5 分析项目及方法

土壤 pH 采用酸度计法测定(水土比 2.5:1)^[23]; 土壤含水量采用烘干法测定^[23]; 土壤容重、饱和持水量、毛管持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度采用环刀法系列测定^[23]; 碱解氮含量采用碱解扩散法测定^[23]; 有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[23]。

龙脑樟叶片生物量采用 80℃ 烘干称重法测定^[23]; 龙脑樟相对生长速率(RGR)^[24] = (ln W₂ - ln W₁)/t, 其中: W₁、W₂ 分别表示第 1 次、第 2 次测定的地径(游标卡尺, 精度 0.01 mm)或苗高(卷尺, 精度 1 mm), t 表示两次测定的时间间隔(d)。

1.6 数据处理

采用 SPSS20、Excel2010 和 Origin9.0 进行统计分析、作图, 并对数据进行单因素方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤物理性质的影响

由表 2 可知, 不同处理之间土壤容重、孔隙度、持水量差异显著(毛管持水量除外)(*P*<0.05)。单施化肥对土壤容重、孔隙度、持水量无显著影响; 生物质炭与肥料混施可降低土壤容重, 增加土壤孔隙度, 提高土壤持水量, 且生物质炭均在高施用量下处理效果最好。其中, 土壤容重随着生物质炭施用量的增加而减小, C₂₈₀F 处理土壤容重显著低于 CK 和 C₀F (*P*<0.05); 土壤非毛管孔隙和总孔隙度整体随生物质炭施用量的增加呈上升趋势, C₂₈₀F 处理土壤总孔隙度和非毛管孔隙度分别较 CK 显著提高 26.90% 和 253.39% (*P*<0.05); 土壤持水能力的变化与孔隙度变化基本一致, C₂₈₀F 处理土壤饱和持水量、毛管持水量、田间持水量均显著高于 CK (*P*<0.05)。

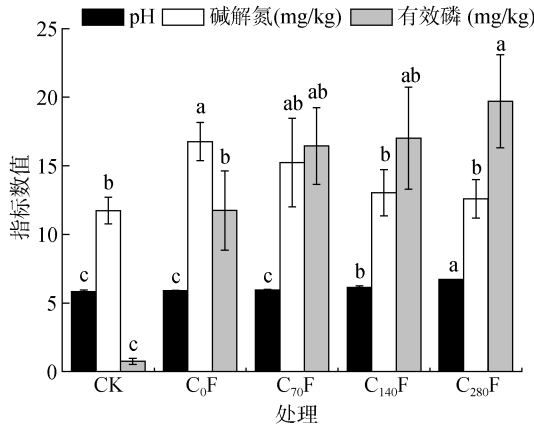
表 2 不同处理土壤物理性质变化
Table 2 Soil physical properties under different treatments

处理	土壤容重(g/cm ³)	总孔隙度(%)	非毛管孔隙度(%)	毛管孔隙度(%)	饱和持水量(g/kg)	毛管持水量(g/kg)	田间持水量(g/kg)
CK	1.08 ± 0.05 ab	47.54 ± 8.98 c	2.51 ± 2.13 b	45.02 ± 7.35 a	440.46 ± 9.52 d	417.54 ± 12.32 c	299.26 ± 5.23 b
C ₀ F	1.09 ± 0.09 a	53.71 ± 2.88 abc	5.31 ± 2.19 ab	48.40 ± 4.36 a	493.31 ± 3.45 cd	443.62 ± 1.93 bc	316.93 ± 6.29 b
C ₇₀ F	0.95 ± 0.17 abc	53.91 ± 1.34 abc	7.64 ± 4.49 ab	46.26 ± 3.76 a	582.85 ± 17.82 bc	496.55 ± 7.84 bc	346.98 ± 8.81 b
C ₁₄₀ F	0.90 ± 0.07 bc	52.89 ± 3.63 bc	6.13 ± 2.10 ab	46.76 ± 2.38 a	585.63 ± 1.06 bc	518.52 ± 6.33 b	286.81 ± 7.66 b
C ₂₈₀ F	0.82 ± 0.04 c	60.33 ± 0.99 a	8.87 ± 4.60 a	51.47 ± 3.62 a	740.37 ± 6.32 a	630.17 ± 6.95 a	455.73 ± 5.78 a

注: 同列不同小写字母表示各处理间差异显著(*P*<0.05), 下同。

2.2 不同处理对土壤 pH 及氮磷有效性的影响

由图 1 可知,各处理之间土壤 pH、碱解氮含量、有效磷含量差异显著($P<0.05$)。其中,单施化肥处理对土壤 pH 无显著影响,配施生物质炭中高等用量下处理($C_{140}F$ 和 $C_{280}F$)分别比 CK 显著提高 5.4%、15.3%;土壤碱解氮含量随生物质炭施用量的增加而下降, C_0F 处理土壤碱解氮含量最大,均显著高于其



(图中不同小写字母表示同一指标不同处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同)

图 1 不同处理土壤 pH、碱解氮、有效磷含量变化
Fig. 1 Soil pH values, available N and available P contents under different treatments

他处理;土壤有效磷含量与碱解氮含量变化趋势相反,随生物质炭施用量的增加而增加,各处理土壤有效磷含量均显著高于 CK。

2.3 不同处理对龙脑樟幼苗生长特性的影响

单施化肥和配施生物质炭处理均可提高龙脑樟幼苗生物量,施肥处理生物量均显著高于 CK ($P<0.05$),化肥与生物质炭混施比单施处理效果好。其中, $C_{140}F$ 处理龙脑樟总生物量、根生物量和茎生物量最高,分别比 CK 高 137.9%、141.1%、140.9%; $C_{70}F$ 处理龙脑樟叶生物量最高,显著高于 CK 141.5%;而单施化肥和配施生物质炭处理对龙脑樟根冠比均无显著影响,各处理与 CK 差异不显著($P>0.05$) (表 3)。

不同处理之间龙脑樟地径相对生长速率(RGR)无显著差异(图 2),苗高 RGR 差异显著($P<0.05$)(图 3)。单施化肥显著提高了龙脑樟苗高 RGR,表现为 C_0F 较 CK(0.418 mm/(cm·30d))提高 11.62%;配施生物质炭处理对龙脑樟苗高 RGR 影响显著($P<0.05$),表现为低用量显著抑制,随生物质炭用量的上升抑制作用逐渐消失,即 $C_{280}F \approx C_0F > C_{140}F > C_{70}F$,其中 $C_{280}F$ 和 C_0F 分别较 $C_{70}F$ 显著提高了 7.29% 和 10.83% ($P<0.05$)(图 3)。

表 3 不同处理龙脑樟生物量分配情况
Table 3 Biomass allocation of *Cinnamomum camphora* under different treatments

处理	总生物量(g)	根生物量(g)	茎生物量(g)	叶生物量(g)	根冠比
CK	62.87 ± 5.13 c	26.02 ± 2.69 c	19.64 ± 4.20 c	17.20 ± 3.54 b	0.72 ± 0.17 a
C_0F	123.50 ± 12.55 b	47.24 ± 7.68 ab	38.89 ± 6.56 b	37.37 ± 4.71 a	0.62 ± 0.10 a
$C_{70}F$	137.24 ± 20.11 ab	51.70 ± 16.16 ab	44.00 ± 2.29 ab	41.54 ± 3.85 a	0.60 ± 0.16 a
$C_{140}F$	149.56 ± 24.77 a	62.74 ± 27.46 a	47.31 ± 9.82 a	39.52 ± 2.45 a	0.74 ± 0.37 a
$C_{280}F$	121.38 ± 22.75 b	42.65 ± 12.30 bc	39.57 ± 5.55 b	39.15 ± 8.11 a	0.54 ± 0.12 a

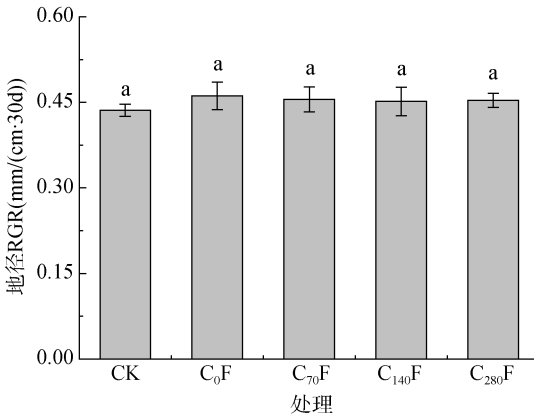


图 2 不同处理龙脑樟地径 RGR 变化
Fig. 2 RGRs in *Cinnamomum camphora* diameters under different treatments

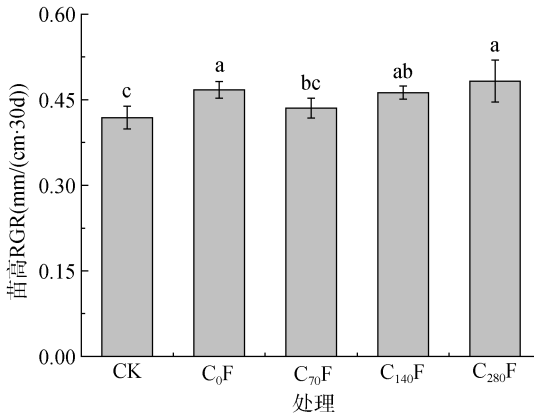


图 3 不同处理龙脑樟苗高 RGR 变化
Fig. 3 RGRs in *Cinnamomum camphora* heights under different treatments

2.4 土壤理化性质与龙脑樟幼苗叶片生物量的相关性

土壤理化性质与龙脑樟幼苗叶片生物量的相关性分析结果表明(表 4),土壤孔隙度与持水量各指标及叶片

生物量之间呈正相关,其中总孔隙度与叶片生物量之间正相关性显著($P<0.05$);土壤 pH、碱解氮、有效磷与叶片生物量之间呈正相关,其中有效磷含量与叶片生物量之间正相关性极显著($P<0.01$),相关系数达到 0.694。

表 4 土壤理化性质与龙脑樟幼苗叶片生物量之间的 Pearson 相关性系数
Table 4 Correlation coefficients among soil physicochemical properties and leaf biomass of *Cinnamomum camphora* seedlings

	pH	非毛管孔隙度	毛管孔隙度	总孔隙度	饱和持水量	毛管持水量	田间持水量	容重	碱解氮	有效磷	叶片生物量
非毛管孔隙度	0.440	1									
毛管孔隙度	0.415	-0.020	1								
总孔隙度	0.605**	0.612*	0.778**	1							
饱和持水量	0.801**	0.725**	0.364	0.744**	1						
毛管持水量	0.830*	0.471	0.531*	0.716**	0.946**	1					
田间持水量	0.733**	0.527*	0.385	0.636*	0.686**	0.631*	1				
容重	-0.688*	-0.565*	0.023	-0.336	-0.873**	-0.830**	-0.460	1			
碱解氮	-0.180	-0.086	0.090	0.017	-0.200	-0.197	0.049	0.263	1		
有效磷	0.636**	0.484	0.390	0.612	0.651**	0.647	0.379	-0.536*	0.132	1	
叶片生物量	0.461	0.283	0.494	0.568*	0.487	0.542*	0.251	-0.341	0.261	0.694**	1

注:**表示在 $P<0.01$ 水平显著相关(双侧),*表示在 $P<0.05$ 水平显著相关(双侧)。

3 讨论

3.1 生物质炭对土壤物理性质的影响

本研究结果表明,施用生物质炭到黄棕壤中可显著降低土壤容重、提高土壤孔隙度和持水能力,从而起到改良土壤结构和物理性质的作用,且高施用量下($C_{280}F$)处理效果较好。Major 等^[25]和 Sohi 等^[26]研究也发现,随着施炭量的增加,生物质炭对土壤物理性质的改良效果越明显。生物质炭自身具有多孔性、比表面积大,施入土壤中,能够降低土壤容重,增加土壤孔隙度,使土壤持水量增加。另外,施用生物质炭可以促进龙脑樟根系生长,改善土壤根际环境,促进土壤动物活动,有效改良土壤结构。

3.2 生物质炭对土壤主要化学性质的影响

pH 是土壤重要的化学性质。本文研究结果表明,施用生物质炭可显著提高土壤 pH,使土壤 pH 接近中性,有效改善了黄棕壤酸性土质。现有大多研究也表明,施用生物质炭可提高土壤 pH^[27-28],这与生物质炭自身呈碱性有关。另外,pH 对土壤养分有效性有重要影响,pH 在 6.5~7.5 间土壤养分有效性最高,过高或过低都会使土壤养分有效性发生变化,从而导致植物营养元素失调,生长缓慢^[29]。本研究结果显示,土壤 pH 与土壤有效磷含量之间呈极显著正相关,与龙脑樟叶片生物量呈正相关,说明土壤 pH 的增加显著提高了土壤磷的有效性,从而促进龙脑樟的生长。

土壤养分有效性能够直接影响植物的生长^[30]。目前生物质炭对土壤碱解氮含量影响尚无统一结论,或提高^[31]、或无显著影响^[32]、或降低^[33]。本研究结果表明,施用生物质炭可提高土壤碱解氮含量,但随着生物质炭施用量的增加而下降,单施化肥时土壤碱解氮含量最高。这可能是因为试验所用肥料为速效肥,在没有生物质炭吸附的情况下,养分释放较快,能够在短期内提高土壤碱解氮含量。试验结果显示,土壤有效磷含量随生物质炭施用量的增加而增加,这可能与生物质炭吸附减少磷的淋失有关^[34]。

3.3 生物质炭对幼苗生长特性的影响

单施化肥和配施生物质炭处理均能显著提高龙脑樟叶片生物量($P<0.05$),生物质炭不同施用量处理之间无显著差异,1% 施用量处理下叶片生物量最高。本研究所施肥料是速效化肥,具有见效快的特点,而生物质炭不能作为养分的直接来源,且化学性质稳定不易分解,所以配施生物质炭处理与单施化肥处理之间龙脑樟叶片生物量无显著差异。但生物质炭可作为肥料的载体,吸附缓释养分,以提高肥料利用率^[35],所以肥料与生物质炭混施比单施处理效果好。

各处理间龙脑樟地径相对生长速率无显著差异,这与龙脑樟为乔木,生长较为缓慢有关。由于龙脑樟树苗较小,枝芽生长所占比例较大,苗高相对生长速率变化较明显,施肥后苗高显著增加。生物质炭施用量为 1% 时,苗高相对生长速率增加效应降低,这可能与生物质炭对土壤养分矿化、吸附解析等的综合

影响有关。1% 生物质炭施用量对苗高生长的显著抑制可以考虑运用到龙脑樟的矮化上。

本试验以盆栽形式进行,对苗木生长的研究存在局限性,可考虑在野外进行长期监测,观察大田应用结果。

4 结论

施用生物质炭可有效改良黄棕壤土壤结构和物理性质,改善土壤酸碱性,且高施用量下(4%)改良效果较好;施用生物质炭可提高黄棕壤土壤氮磷有效性,生物质炭低施用量下氮有效性最高,而高施用量下磷有效性最高。施用生物质炭后,通过对土壤结构和性质的改良,最终可促进龙脑樟幼苗的生长,增加其叶片产量,且低施用量下(1%)促进作用最显著。考虑到龙脑樟叶片的经济价值较高,且矮化更利于实际生产,因此建议在宁镇地区经营种植龙脑樟林,生物质炭施用量较低(1%)时较为适宜。

参考文献:

- [1] 康熙龙, 张旭辉, 张硕硕, 等. 旱地土壤施用生物质炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 152-158
- [2] Lee J W, Kidder M, Evans B R, et al. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(20): 7970-7974
- [3] 李敏, 赵立欣, 孟海波, 等. 慢速热解条件下生物炭理化特性分析[J]. 农机化研究, 2015(3): 248-253
- [4] 袁金华, 徐仁扣. 生物炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 779-785
- [5] 周志红, 李心清, 邢英, 等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 278-284
- [6] 盖霞普, 刘宏斌, 翟丽梅, 等. 玉米秸秆生物炭对土壤无机氮素淋失风险的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(2): 310-318
- [7] 周丽丽, 李婧楠, 米彩虹, 等. 秸秆生物炭输入对冻融期棕壤磷有效性的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(1): 171-179
- [8] 李江舟, 张庆忠, 姜翼来, 等. 施用生物炭对云南烟区典型土壤养分淋失的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015(1): 48-53
- [9] 吴志丹, 江福英, 尤志明, 等. 配施生物基肥料对茶园土壤酸度的改良效应[J]. 茶叶科学, 2015(2): 196-196
- [10] Noguera D, Barot S, Laossi K R, et al. Biochar but not earthworms enhances rice growth through increased protein turnover[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2012, 52(3): 13-20
- [11] 郑瑞伦, 王宁宁, 孙国新, 等. 生物炭对京郊沙化地土壤性质和苜蓿生长、养分吸收的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5): 904-912
- [12] Schulz H, Dunst G, Glaser B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(4): 817-827
- [13] 邓霞. 湿地植物生物炭的制备及其对土壤氮素生物有效性的影响[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2012
- [14] 刘园, Jamal, Khan, 等. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 849-858
- [15] 张晗芝, 黄云, 刘钢, 等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2713-2717
- [16] 曲晶晶, 郑金伟, 郑聚峰, 等. 小麦秸秆生物炭对水稻产量及晚稻氮素利用率的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(3): 288-293
- [17] 唐光木, 葛春辉, 徐万里, 等. 施用生物炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1797-1802
- [18] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(4): 439-445
- [19] 张爱平, 刘汝亮, 高霁, 等. 生物炭对宁夏引黄灌区水稻产量及氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1352-1360
- [20] 陈建南, 曾惠芳, 李耿, 等. 龙脑樟挥发油及天然冰片成分分析[J]. 中药材, 2005, 28(9): 781-782
- [21] 吴茂隆, 陈小兰, 廖振欣, 等. 龙脑樟研究利用及其发展前景[J]. 南方林业科学, 2011(2): 33-35
- [22] 赵炳梓, 姚贤良. 黄棕壤的结构特性及其改良[J]. 土壤, 1993(2): 79-82
- [23] 中华人民共和国林业部科技司. 林业标准汇编(三)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992
- [24] 王沙生, 高荣孚, 吴贯明. 植物生理学, (第二版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991
- [25] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol[J]. Plant & Soil, 2010, 333(1/2): 117-128
- [26] Sohi S P, Krull E, Lopezcapel E, et al. A review of biochar and its use and function in soil[J]. Advances in Agronomy, 2010, 105(1): 47-82
- [27] 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
- [28] Lehmann J. A handful of carbon[J]. Nature, 2007, 447(7141): 143-144
- [29] 唐琨, 朱伟文, 周文新, 等. 土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J]. 作物研究, 2013, 27(2): 207-212
- [30] 韦剑锋, 陈涛, 岑忠用, 等. 施氮量对木薯养分吸收和土壤有效养分平衡的影响[J]. 土壤, 2016, 48(5): 873-878
- [31] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 1946-1952
- [32] 章明奎, Walelign, Bayou, 等. 生物炭对土壤有机质活性的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 127-131
- [33] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 425-428

- [34] 褚军, 薛建辉, 金梅娟, 等. 生物炭对农业面源污染氮、磷流失的影响研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 409–415
- [35] 康日峰, 张乃明, 史静, 等. 生物炭基肥料对小麦生长、养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(6): 33–38

Effects of Biochar on Physicochemical Properties of Yellow-brown Soil and Growth of *Cinnamomum camphora* Seedlings

YAN Taotao^{1,2}, DING Ziju^{1,2}, ZHU Qian^{1,2}, BU Xiaoli^{1,2}, XUE Jianhui^{1,2,3*}, WU Yongbo^{1,2}

(1 Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

3 Institute of Botany, Jiangsu Provincial and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: An outdoor pot experiment was conducted to study the effects of different dosages of biochar (0, 1%, 2%, 4%) on yellow brown soil physicochemical properties and the growth of *Cinnamomum camphora* seedlings. Results showed that: 4% of biochar dosage amended yellow-brown soil most effectively, compared with chemical fertilizer treatment (C₀F), soil total porosity, saturation moisture capacity, capillary moisture capacity and field moisture capacity were significantly increased, while soil bulk density was significantly reduced ($P < 0.05$). Biochar increased soil pH significantly ($P < 0.05$). Biochar improved nitrogen and phosphorus availabilities, which was the highest in N availability with low biochar dosage and the highest in P availability with high biochar dosage. With the dosage 1%, *Cinnamomum camphora*'s leaves biomass reached the maximum (41.54 g), 141.53% and 11.16% higher than those of the control (CK) and C₀F, respectively; The relative growth rate in height was decreased by 6.79% compared with that of C₀F, which is helpful for dwarf trees. So, the appropriate dosages of biochar were different for soil physico-chemical properties and for the growth of *Cinnamomum camphora* seedlings. Considering the economic benefits, 1% of biochar dosage is appropriate to leaf biomass of *Cinnamomum camphora*.

Key words: Biochar; Yellow brown soil; Physicochemical properties; *Cinnamomum camphora*; Growth Characteristics