

◆植物科学◆

施用生物炭和复合肥对桢楠生长及养分吸收的影响^{*}邓洪涛¹, 肖琳², 冯为迅², 黎荣彬¹, 白昆立¹, 李其斌¹, 曾曙才^{2**}

(1. 广东省岭南院勘察设计有限公司, 广东广州 510405; 2. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东广州 510642)

摘要:为促进生物炭在林业生产中的科学应用,采用野外林地试验,设置不施肥(CK)、施用复合肥 200 g (F)、稻壳生物炭 300 g (RB)、木屑生物炭 300 g (WB)、稻壳生物炭 300 g + 复合肥 200 g (RBF)、木屑生物炭 300 g + 复合肥 200 g (WBF)等 6 种施肥处理,探究不同处理对桢楠(*Phoebe zhennan*)生长和养分吸收的影响。结果表明:与不施肥处理相比,单施稻壳生物炭能显著增加桢楠的叶面积,促进叶对 N 的吸收;单施木屑生物炭能显著增加桢楠株高增长量、根生物量和叶面积,显著促进叶对 N、P 的吸收和根对 K 的吸收,但显著抑制茎对 P 的吸收。与单施复合肥处理相比,稻壳生物炭与复合肥配施能显著增加桢楠株高增长量、叶面积,促进叶对 N 的吸收;而木屑生物炭与复合肥配施能显著增加桢楠茎生物量、叶面积,促进根对 K 的吸收,但显著抑制茎对 N 的吸收。综上,单施木屑生物炭、木屑生物炭与复合肥配施在一定程度上能促进桢楠的生长和养分吸收,可作为桢楠造林的备选基质。

关键词:生物炭;复合肥;桢楠;植物生长;养分吸收

中图分类号:S725.6,S792.24 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)05-0869-07

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20231121.005

随着经济的发展和人口的增长,土壤质量问题日益突出^[1]。中国是农业大国,生物质资源丰富,但是由于未得到合理的开发与利用,导致资源浪费严重^[2]。近年来,将生物质转化为生物炭(Biochar)并应用于改善造林土壤环境是实现生物质资源有效利用、促进植物生长,以及实现农林业可持续发展的有效途径^[3,4]。生物炭是木材、草、玉米秸秆等农业废弃物在完全或部分缺氧条件下经过控制性高温裂解

(400–700 °C)产生的一类高度芳香化的难溶性固态高聚产物^[5,6]。自然条件下,生物炭通常碱性较强,被认为是酸性土壤的改良剂和污染修复剂^[7]。生物炭具有丰富的养分元素和多孔结构,添加在土壤中可改善土壤结构、增加土壤有效养分的含量,为植物提供养分从而促进其生长^[8]。生物炭可以单独施用,也可以与肥料配合施用,将二者配施既能消除生物炭自身养分含量低的缺陷,又能延缓肥料在土壤中养分的

收稿日期:2022-12-09

修回日期:2023-03-19

* 生物炭基复合肥对植物生长和土壤质量影响研究(LNZ-2021006)资助。

【第一作者简介】

邓洪涛(1985–),男,硕士,园林高级工程师,主要从事林业调查规划研究,E-mail:859200978@qq.com。

【**通信作者简介】

曾曙才(1971–),男,博士研究生导师,教授,主要从事森林生态学, E-mail:sczeng@scau.edu.cn。

【引用本文】

邓洪涛,肖琳,冯为迅,等.施用生物炭和复合肥对桢楠生长及养分吸收的影响[J].广西科学,2023,30(5):869-875.

DENG H T, XIAO L, FENG W X, et al. Effects of Application of Biochar and Compound Fertilizer on Growth and Nutrient Absorption of *Phoebe zhennan* [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(5): 869-875.

释放,形成互补与协同作用^[9]。国内外研究表明,利用生物炭与有机肥或无机肥料配合施用对作物产量和土壤肥力起促进作用,也可能无显著影响甚至起抑制作用^[10]。例如,Oladele等^[11]研究认为相比于单独添加生物炭,生物炭-氮肥混合施加能显著提高水稻的产量;白雪等^[12]研究发现生物炭与菌肥配施能显著促进元宝枫(*Acer truncatum*)幼苗的生长发育;吴志庄等^[13]研究发现在黄连木(*Pistacia chinensis*)人工林施用1 500 kg·hm⁻²生物炭肥能有效改善黄连木的光合生理特性,进而促进植株生长;Zwieten等^[14]研究发现在红壤上单施生物炭对小麦生物量无显著影响,而与化肥配施则能显著提高小麦的生物量;在钙质土壤中,生物炭单施或与化肥配施均能显著降低小麦生物量。目前关于生物炭和肥料配施对植物生长影响的研究主要集中在水稻、玉米等农作物或退化土壤恢复等方面,而在林业领域上对野外造林地林木生长发育的影响研究较少。

桢楠(*Phoebe zhennan*)属樟科(Lauraceae)楠属(*Phoebe*)常绿大乔木,国家二级重点保护树种^[15],具有分布广、适宜性好、抗逆性强等优点,喜弱酸性土壤,拥有较高的观赏和经济价值^[16],是我国传统的优质用材树种^[17]。桢楠生长速度缓慢,加之长期的无序采伐,导致桢楠木质资源极度匮乏,而市场对优质木材的需求量在逐渐增大^[18]。因此,探究生物炭添加对桢楠生长的影响,对加快桢楠人工用材林培育具有广阔的应用前景。本研究以桢楠幼苗为对象开展野外林地试验,探究生物炭及其与复合肥配施对桢楠生长和养分元素吸收的影响,以期生物炭在造林施肥方面的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东省德庆林场,位于肇庆市西南部,地理范围为东经111°41′53″-111°44′50″,北纬23°08′57″-23°10′21″,属亚热带季风气候区,阳光充足,雨量充沛,水热同季,夏长冬短,年平均气温为21.5℃,年平均降水量为1 508.70 mm,土壤为偏酸性的赤红壤,适宜林木生长^[19]。

1.2 材料

在广东省德庆林场苗圃培育基地选取植株健壮、长势良好的桢楠幼苗用于试验,种植前桢楠幼苗平均株高103.11 cm、地径11.38 mm、冠幅47.61 cm。供试的生物炭为木屑生物炭(Wood Shavings Bio-

char, WB)和稻壳生物炭(Rice Husk Biochar, RB),由浙江长三角聚农科技开发有限公司提供,是生物质在500℃下炭化而成。供试的复合肥为林用复合肥(Compound Fertilizer, F),由雅苒国际贸易(山东)有限公司提供,N含量为15%,P₂O₅含量为15%,K₂O含量为15%。

1.3 试验设计

试验采用完全随机区组设计,以桢楠幼苗作为研究对象,单株小区,共设置不施肥(CK)、施用复合肥200 g(F)、稻壳生物炭300 g(RB)、木屑生物炭300 g(WB)、稻壳生物炭300 g+复合肥200 g(RBF)、木屑生物炭300 g+复合肥200 g(WBF)等6种施肥处理,每种处理作8次重复,共计48株,具体试验处理见表1。统一整地后,挖种植穴,种植穴规格40 cm×40 cm×40 cm,密度3 m×3 m,于2021年3月植苗,2021年7月选取长势一致的苗木进行施肥试验,在距苗木20 cm处均匀挖3个20 cm深穴施肥,施肥后盖土,结束后测定株高、地径和冠幅。

表1 生物炭和复合肥施用量

Table 1 Application amount of biochar and compound fertilizer

处理 Treatment	施肥种类 Type of fertilization	复合肥添加量/g Additive amount of compound fertilizer/g	生物炭添加量/g Additive amount of biochar/g
CK	No fertilization		
F	Compound fertilizer	200	
RB	Rice husk biochar		300
WB	Wood shavings biochar		300
RBF	Rice husk biochar with compound fertilizer	200	300
WBF	Wood shavings biochar with compound fertilizer	200	300

1.4 指标测定

2022年7月,在试验地用直尺测定桢楠苗木的株高,用游标卡尺测量地径,用卷尺测量冠幅,使用YMJ-BC叶面积测量仪(浙江托普云农科技股份有限公司)测量叶面积,使用SPAD-502 Plus叶绿素仪(浙江托普云农科技股份有限公司)测定叶绿素相对含量(SPAD值)。

将试验苗木整株挖出,用自来水洗净植株,将植株分为根、茎和叶,放入烘箱,在105℃下杀青30

min, 65 °C 下烘至恒重, 用电子天平称得干重。植株样品经浓硫酸-30%过氧化氢消解, 获得待测液, 氮含量采用奈氏比色法测定, 磷含量采用钒钼黄比色法测定, 钾含量采用原子吸收分光光度计测定^[20]。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Office Excel 2016 对数据进行整理和计算, 通过 SPSS 22.0 软件进行数据分析, 采用方差分析和 Duncan's 多重比较进行差异显著性分析。分析结果用 OriginPro 2022 软件制图。

2 结果与分析

2.1 生物炭及其与复合肥混施对桉楠生长的影响

2.1.1 生物炭及其与复合肥混施对桉楠株高、地径的影响

由表 2 可知, 除单施稻壳生物炭处理外, 其他处理桉楠的株高增长量与不施肥处理相比均存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中稻壳生物炭与复合肥配施处理的株高增长量最大, 与不施肥处理相比显著增加 107.23%; 与单施复合肥处理相比, 单施稻壳生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施的株高增长量存在显著差异 ($P < 0.05$), 其中单施稻壳生物炭显著降低桉楠株高增长量, 稻壳生物炭与复合肥配施则显著增加其株高增长量。与不施肥处理相比, 单施复合肥、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施处理均显著增加桉楠地径增长量; 与单施复合肥处理相比, 各施肥处理 (RB、WB、RBF、WBF) 均对桉楠地径增长无显著影响。

表 2 不同处理对桉楠株高和地径增长量的影响

Table 2 Effect of different treatments on growth in height and ground diameter of *P. zhennan*

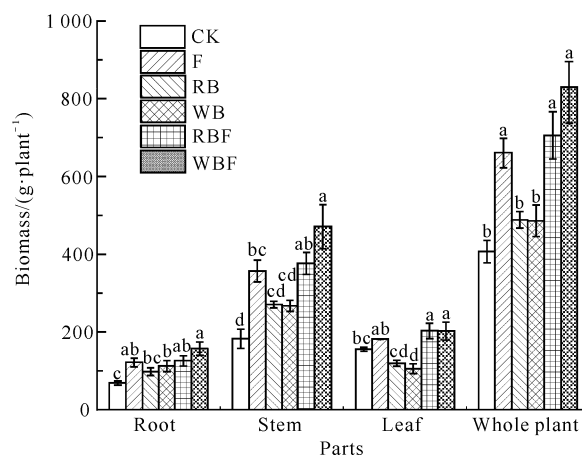
处理 Treatment	株高增长量/cm Plant height growth/cm	地径增长量/mm Ground diameter growth/mm
CK	69.33 ± 5.36d	11.01 ± 0.51c
F	116.67 ± 8.11bc	14.07 ± 1.09ab
RB	83.33 ± 4.67d	13.66 ± 0.46abc
WB	105.00 ± 4.73c	13.00 ± 0.17bc
RBF	143.67 ± 11.61a	15.89 ± 1.48ab
WBF	130.00 ± 1.73ab	16.22 ± 0.96a

Note: different lowercase letters indicate significant differences in the same column data ($P < 0.05$).

2.1.2 生物炭及其与复合肥混施对桉楠生物量的影响

如图 1 所示, 除单施稻壳生物炭处理外, 其他处

理与不施肥处理相比均对桉楠根生物量有显著差异 ($P < 0.05$), 显著增加 63.66% - 128.77%; 与单施复合肥处理相比, 所有施肥处理 (RB、WB、RBF、WBF) 的根生物量均无显著差异, 其中 WBF 处理的根生物量最大, 为 157.21 g · 株⁻¹。与不施肥处理相比, 单施复合肥、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施的桉楠茎生物量有显著差异 ($P < 0.05$), 显著增加 95.39% - 157.53%; 与单施复合肥处理相比, 只有木屑生物炭与复合肥配施处理下桉楠茎生物量存在显著差异 ($P < 0.05$)。与不施肥处理相比, 两种生物炭肥处理 (RBF、WBF) 能显著增加桉楠叶生物量, 而单施木屑生物炭能显著减少桉楠叶生物量, 比不施肥处理减少 31.87%; 两种生物炭处理 (RB、WB) 下的桉楠叶生物量显著小于单施复合肥 ($P < 0.05$)。与不施肥处理相比, 所有处理均增加了桉楠全株生物量, 增幅为 19.45% - 104.13%, 其中单施复合肥、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施有显著差异, WBF 处理的全株生物量最大, 为 829.95 g · 株⁻¹; 单施木屑生物炭和单施稻壳生物炭处理下的桉楠全株生物量显著小于单施复合肥 ($P < 0.05$)。综上可知, 施用生物炭和生物炭肥均能增加桉楠根、茎和全株生物量, 其中木屑生物炭与复合肥配施对其全株生物量促进效果最好。



Different lowercase letters indicated significant differences between different treatments in the same organ ($P < 0.05$).

图 1 不同处理对桉楠各部位生物量的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on the biomass of each part of *P. zhennan*

2.2 生物炭及其与复合肥混施对桉楠叶面积和 SPAD 值的影响

由表 3 可知, 与不施肥处理相比, 所有处理的叶面积存在显著差异 ($P < 0.05$), 增幅为 26.68% -

61.76%;与单施复合肥处理相比,两种生物炭肥处理(RBF、WBF)均可使桉楠叶面积显著增加($P < 0.05$),其中WBF处理的叶面积最大,为 $2\,510.19\text{ mm}^2$ 。各施肥处理与不施肥处理相比SPAD值均增加,但只有WBF处理存在显著差异($P < 0.05$);与单施复合肥处理相比,所有处理的SPAD值均无显著差异。综上可知,施用生物炭和生物炭肥均能增加桉楠叶面积和SPAD值,木屑生物炭与复合肥配施处理下的桉楠叶面积和SPAD值达到最大。

表3 不同处理对桉楠叶面积和SPAD值的影响

Table 3 Effect of different treatments on leaf area and SPAD value of *P. zhennan*

处理 Treatment	叶面积/ mm^2 Leaf area/ mm^2	SPAD值 SPAD value
CK	$1\,551.79 \pm 65.28\text{d}$	$32.61 \pm 1.17\text{b}$
F	$1\,965.79 \pm 51.88\text{c}$	$33.96 \pm 0.70\text{ab}$
RB	$2\,185.05 \pm 55.23\text{bc}$	$34.20 \pm 1.11\text{ab}$
WB	$2\,162.57 \pm 78.98\text{bc}$	$34.80 \pm 0.81\text{ab}$
RBF	$2\,279.28 \pm 75.47\text{ab}$	$34.38 \pm 0.70\text{ab}$
WBF	$2\,510.19 \pm 132.46\text{a}$	$35.59 \pm 0.72\text{a}$

Note: different lowercase letters indicate significant differences in the same column data ($P < 0.05$).

2.3 生物炭及其与复合肥混施对桉楠养分吸收的影响

2.3.1 生物炭及其与复合肥混施对桉楠N含量的影响

由表4可知,与不施肥处理相比,单施复合肥、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施处理下桉楠根的N含量差异显著,增幅为29.78% - 43.09%;与单施复合肥处理相比,单施稻壳生物炭和单施木屑生物炭处理下桉楠根的N含量差异显著,分别显著减少13.28%和19.82%。与不施肥处理相比,所有处理桉楠茎的N含量无显著差异;与单施复合肥处理相比,木屑生物炭与复合肥配施处理显著减少桉楠茎的N含量。与不施肥处理相比,所有处理桉楠叶的N含量显著增加,增幅为9.81% - 23.09%;与单施复合肥处理相比,单施稻壳生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施处理显著减少桉楠叶的N含量。综上可知,单施生物炭较不施肥处理能显著促进桉楠叶对N的吸收,生物炭与复合肥配施处理下桉楠茎、叶对N的吸收效果不如单施复合肥。

2.3.2 生物炭及其与复合肥混施对桉楠P含量的影响

由表5可知,与不施肥处理相比,单施复合肥、木

屑生物炭与复合肥配施处理下桉楠根的P含量显著增加;与单施复合肥处理相比,除木屑生物炭与复合肥配施处理外,其余施肥处理的桉楠根的P含量无显著差异。单施木屑生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施的桉楠茎的P含量与不施肥处理相比显著减少;与单施复合肥处理相比,单施稻壳生物炭桉楠茎的P含量显著增加了33.82%。与不施肥处理相比,单施复合肥、单施木屑生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施处理下桉楠叶的P含量均显著增加;单施稻壳生物炭处理下桉楠叶的P含量显著小于单施复合肥。

表4 不同处理对桉楠各部位N含量的影响

Table 4 Effect of different treatments on N contents in various parts of *P. zhennan*

处理 Treatment	Unit: $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
CK	$7.89 \pm 0.14\text{b}$	$7.81 \pm 0.38\text{ab}$	$18.15 \pm 0.44\text{c}$
F	$10.24 \pm 0.41\text{a}$	$8.52 \pm 0.21\text{a}$	$22.23 \pm 0.86\text{a}$
RB	$8.88 \pm 0.28\text{b}$	$7.30 \pm 0.44\text{ab}$	$19.93 \pm 0.59\text{b}$
WB	$8.21 \pm 0.11\text{b}$	$7.83 \pm 0.75\text{ab}$	$22.34 \pm 0.08\text{a}$
RBF	$10.42 \pm 0.40\text{a}$	$7.61 \pm 0.61\text{ab}$	$20.07 \pm 0.52\text{b}$
WBF	$11.29 \pm 0.70\text{a}$	$6.62 \pm 0.24\text{b}$	$20.74 \pm 0.57\text{ab}$

Note: different lowercase letters indicate significant differences in the same column data ($P < 0.05$).

表5 不同处理对桉楠各部位P含量的影响

Table 5 Effect of different treatments on P contents in various parts of *P. zhennan*

处理 Treatment	Unit: $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
CK	$0.79 \pm 0.03\text{b}$	$0.84 \pm 0.10\text{ab}$	$1.67 \pm 0.09\text{b}$
F	$1.07 \pm 0.13\text{a}$	$0.68 \pm 0.02\text{bc}$	$2.13 \pm 0.12\text{a}$
RB	$0.89 \pm 0.09\text{ab}$	$0.91 \pm 0.07\text{a}$	$1.71 \pm 0.03\text{b}$
WB	$0.84 \pm 0.02\text{ab}$	$0.59 \pm 0.04\text{c}$	$2.15 \pm 0.11\text{a}$
RBF	$0.95 \pm 0.02\text{ab}$	$0.58 \pm 0.08\text{c}$	$2.03 \pm 0.07\text{a}$
WBF	$1.05 \pm 0.05\text{a}$	$0.48 \pm 0.05\text{c}$	$2.23 \pm 0.05\text{a}$

Note: different lowercase letters indicate significant differences in the same column data ($P < 0.05$).

2.3.3 生物炭及其与复合肥混施对桉楠K含量的影响

由表6可知,与不施肥处理相比,单施复合肥、单施木屑生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施、木屑生物炭与复合肥配施处理下桉楠根的K含量显著增加,其中单施木屑生物炭处理下桉楠根的K含量是不施

肥处理的 1.31 倍,单施稻壳生物炭处理下桢楠根的 K 含量无显著差异;与单施复合肥处理相比,木屑生物炭与复合肥配施处理桢楠根的 K 含量显著增加,单施木屑生物炭、稻壳生物炭与复合肥配施处理无显著差异,单施稻壳生物炭处理下桢楠根的 K 含量显著减少。与不施肥处理相比,所有处理的桢楠茎、叶的 K 含量均无显著差异。综上可知,施用生物炭和生物炭肥对桢楠根的 K 含量影响较大。

表 6 不同处理对桢楠各部位 K 含量的影响

Table 6 Effect of different treatments on K contents in various parts of *P. zhennan* Unit: mg · g⁻¹

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
CK	5.09 ± 0.24d	5.73 ± 0.47a	8.85 ± 1.09a
F	7.53 ± 0.32b	6.18 ± 0.44a	9.54 ± 1.08a
RB	6.03 ± 0.23cd	5.83 ± 0.44a	9.11 ± 0.70a
WB	6.66 ± 0.13bc	7.14 ± 0.49a	10.79 ± 0.69a
RBF	7.80 ± 0.63ab	6.34 ± 0.10a	10.27 ± 1.07a
WBF	8.75 ± 0.44a	6.65 ± 0.52a	9.68 ± 0.86a

Note: different lowercase letters indicate significant differences in the same column data ($P < 0.05$).

3 讨论

生长指标可直观反映施用生物炭和复合肥对植物生长的促进效果^[21]。本研究结果进一步表明不同的生物炭种类对桢楠生长的影响也不同。单施木屑生物炭能显著增加桢楠的株高和根生物量,说明木屑生物炭促进桢楠的生长发育,可能是由于生物炭自身具有多孔结构,添加到土壤中可改善根系周围土壤的理化性质^[22],为根系提供良好的生长环境,促进根系生长,增强根际效应,有利于植物对营养物质和水分的吸收利用^[23]。而单施稻壳生物炭则对桢楠生长无显著影响,可能是生物炭原材料组成和结构差异所致^[24,25]。Saha 等^[26]研究发现生物炭-无机肥混施较单独施用无机肥显著增加了穿心莲根生物量、茎生物量和叶生物量;Metz 等^[27]研究发现生物炭-无机肥混施较单施无机肥显著增加大豆植株生物量和种子产量,这与本研究中生物炭与复合肥配施较单施复合肥相比更能促进桢楠生长发育的研究结果一致,可能与生物炭和复合肥混合施用产生的协同作用有关^[28,29]。生物炭和肥料配施能改善生物炭直接养分有限的情况,延缓肥料养分的释放期,促进植物对营养的吸收,有利于植物的生长发育^[9]。

本研究结果表明,单施生物炭相较于不施肥处

理、生物炭与复合肥混施相较于单施复合肥均显著增加了桢楠叶面积,这与很多研究结果相似。如吴志庄等^[13]研究发现添加生物炭肥能提高黄棕壤土中黄连木的水分利用效率,改善其光合生理特性;周翠香^[30]研究发现添加 2% - 8% 的生物炭能够显著提高盆栽狗牙根(*Cynodon dactylon*)的净光合速率,改善其叶片光合特性,有利于光合产物的形成。这可能是因为添加适量的生物炭能改良土壤性状,提高土壤保水、保湿性,增加土壤内部的表面活性区域,减少水分向根际下方流失,增加植物对水的使用效率,进而改善光合作用的速率^[30,31];也可能是因为生物炭与肥料配施能调节植物根系生长和形态,增加叶绿素含量和叶面积,延长叶片的功能期,提高植物生产力^[12]。此外,由于桢楠喜阴的特性,其可能通过增大叶面积,来维持自身的代谢平衡^[16]。

生物炭对植物养分吸收的影响效应表现不一,总体上均能促进植物对养分的吸收^[32]。本研究结果表明,与不施肥处理相比,单施稻壳生物炭和单施木屑生物炭均能提高桢楠叶的 N、P 含量,可能是因为生物炭能够改善土壤养分、pH 值、孔隙度等土壤理化性质,进而提高土壤的有效养分,并增强其养分的供应能力^[33]。张伟明^[34]研究发现生物炭处理对大豆全生育期叶片氮含量的促进效果较为显著,与本研究结果一致,说明生物炭对植株养分的吸收、积累具有重要的促进作用。此外,与不施肥处理相比,单施木屑生物炭或与复合肥混施均显著促进桢楠根对 K 的吸收,这与 Uzoma 等^[35]研究中生物炭显著增加玉米中钾含量的研究结果一致。然而单施复合肥较施用生物炭肥对桢楠叶和茎 N 的吸收效果更好,可能是由于生物炭具有很高的 C/N 比,部分生物炭分解导致氮元素固定,降低了土壤中的有效氮,从而限制了植株对有效氮的吸收^[36]。本研究还发现单施木屑生物炭与不施肥处理相比显著降低了桢楠茎的 P 含量,这与高林等^[37]和 Yan 等^[38]的研究结果类似,可能是施用生物炭降低了磷和某些微量元素的有效性,从而不利于植物对磷元素的吸收。目前的研究普遍认为施用生物炭可以提高养分的吸收利用效率,但生物炭对植物生长和吸收累积营养元素的影响受到土壤类型、植物种类和生物炭特征等因素制约^[39],因此在不同的环境条件下,生物炭在促进植物生长和养分吸收等方面的研究结果也存在差异。

4 结论

施用生物炭和复合肥总体上均能促进桢楠的生

长发育,能有效增加桉楠的株高、地径、全株生物量、叶面积等生长指标,促进植物对 N、P、K 的吸收。其中施用木屑生物炭较稻壳生物炭对桉楠的株高、生物量及养分吸收的促进效果更明显,因此木屑生物炭在桉楠造林基质方面更具潜力。此外,生物炭与复合肥配施较二者单施对桉楠生长和养分吸收的促进效果更佳,但关于生物炭对 N、P、K 的吸附固定特性以及其施用比例仍需进一步研究。总体而言,本研究进一步拓展了生物炭和生物炭肥的应用范围,可为将来在林业领域的推广应用提供参考。

参考文献

- [1] 王清奎,田鹏,孙兆林,等. 森林土壤有机质研究的现状与挑战[J]. 生态学杂志,2020,39(11):3829-3843.
- [2] 王燕. 不同来源生物炭的特性及去除溶液中重金属离子的机理研究[D]. 上海:上海交通大学,2018.
- [3] 陈温福,张伟明,孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学,2013,46(16):3324-3333.
- [4] 刘玉学,王耀锋,吕豪豪,等. 生物质炭化还田对稻田温室气体排放及土壤理化性质的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(8):2166-2172.
- [5] 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.
- [6] 崔虎,王莉霞,欧洋,等. 生物炭-化肥配施对稻田土壤氮磷迁移转化的影响[J]. 农业环境科学学报,2019,38(2):412-421.
- [7] 武玉,徐刚,吕迎春,等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(1):68-79.
- [8] 袁金华,徐仁扣. 生物质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.
- [9] 何绪生,张树清,余雕,等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报,2011,27(15):16-25.
- [10] AGE NEHU G, SRIVASTAVA A K, BIRD M I. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: a review [J]. Applied Soil Ecology, 2017, 119: 156-170.
- [11] OLADELE S O, ADEYEMO A J, AWODUN M A. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils [J]. Geoderma, 2019, 336(4): 1-11.
- [12] 白雪,李小英,李俊龙,等. 生物炭与菌肥配施对元宝枫育苗基质性质及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):148-154.
- [13] 吴志庄,王道金,厉月桥,等. 施用生物炭肥对黄连木生长及光合特性的影响[J]. 生态环境学报,2015,24(6):992-997.
- [14] ZWIETEN L V, 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.
- [15] 贺维,胡庭兴,王锐,等. 施肥对桉楠幼苗光合生理及生长特性的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(6):1187-1197.
- [16] 徐梦媛. 遮荫与施肥对桉楠幼苗生长及生理的影响[D]. 合肥:安徽农业大学,2019.
- [17] 吴君,吴冬,楼雄珍. 不同基质配比及复合肥处理对3年生楠木容器苗生长的影响[J]. 西部林业科学,2015,44(1):109-113,120.
- [18] 陈胤好. 林下植被和土壤酸碱度对桉楠林分生长及土壤特性的影响[D]. 重庆:西南大学,2022.
- [19] 苏永新,卢紫君,曹谊,等. 广东省德庆林场乔木林碳储量与碳密度研究[J]. 中南林业调查规划,2021,40(2):42-45.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [21] SUN H J, ZHANG H C, SHI W M, et al. Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil [J]. Plant, Soil and Environment, 2019, 65(2): 83-89.
- [22] OGUNTUNDE P G, ABIODUN B J, AJAYI A E, et al. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008, 171(4): 591-596.
- [23] 程效义,孟军,黄玉威,等. 生物炭对玉米根系生长和氮素吸收及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2016,47(2):218-223.
- [24] 袁艳文,田宜水,赵立欣,等. 生物炭应用研究进展[J]. 可再生能源,2012,30(9):45-49.
- [25] 索桂芳,吕豪豪,汪玉瑛,等. 不同生物炭对氮的吸附性能[J]. 农业环境科学学报,2018,37(6):1193-1202.
- [26] SAHA A, BASAK B B, GAJBHIYE N A, et al. Sustainable fertilization through co-application of biochar and chemical fertilizers improves yield, quality of *Andrographis paniculata* and soil health [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 140(14): 111607.
- [27] METE F Z, MIA S, DIJKSTRA F A, et al. Synergistic effects of biochar and NPK fertilizer on soybean yield in an alkaline soil [J]. Pedosphere, 2015, 25(5): 713-719.
- [28] 陈伟,周波,束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3850-3856.
- [29] 聂新星,李志国,张润花,等. 生物炭及其与化肥配施对灰潮土土壤理化性质、微生物数量和冬小麦产量的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(9):27-32.
- [30] 周翠香. 黄河三角洲滨海盐碱土壤-植物系统对生物炭添加的响应机理研究[D]. 烟台:鲁东大学,2019.
- [31] 张妙,李秧秧,白岗栓. 生物炭和 PAM 共施对黄绵土水分入渗和蒸发的影响[J]. 水土保持研究,2018,25(5):124-130.
- [32] 李冬,陈蕾,夏阳,等. 生物炭改良剂对小白菜生长及低质土壤氮磷利用的影响[J]. 环境科学学报,2014,

- 34(9):2384-2391.
- [33] 刘鑫裕,王冬梅,张泽洲,等. 生物炭配施磷肥对土壤养分、酶活性及紫花苜蓿养分吸收的影响[J]. 环境科学, 2023,44(7):4162-4169.
- [34] 张伟明. 生物炭的理化性质及其在作物生产上的应用[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [35] UZOMA K C,INOUE M,ANDRY H,et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition [J]. Soil Use and Management, 2011, 27(2):205-212.
- [36] 张晗芝. 生物炭对土壤肥力、作物生长及养分吸收的影响[D]. 重庆:西南大学,2011.
- [37] 高林,王瑞,张继光,等. 生物炭与化肥混施对烤烟氮磷钾吸收累积的影响[J]. 中国烟草科学,2017,38(2):19-24.
- [38] YAN G Z,SHIMA K,FUJIWARA S,et al. The effects of bamboo charcoal and phosphorus fertilization on mixed planting with grasses and soil improving species under the nutrients poor condition [J]. Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology, 2004, 30(1):33-38.
- [39] 卜晓莉,薛建辉. 生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(3):535-540.

Effects of Application of Biochar and Compound Fertilizer on Growth and Nutrient Absorption of *Phoebe zhennan*

DENG Hongtao¹,XIAO Lin²,FENG Weixun²,LI Rongbin¹,BAI Kunli¹,LI Qibin¹,
ZENG Shucal^{2**}

(1. Guangdong Lingnan Institute Survey and Design Co. ,Ltd. ,Guangzhou,Guangdong,510405,China;2. College of Forestry and Landscape Architecture,South China Agricultural University,Guangzhou,Guangdong,510642,China)

Abstract: In order to promote the scientific application of biochar in forestry, a field experiment was approached to explore the effects of different treatments on the growth and nutrient uptake of *Phoebe zhennan*. In this study, several fertilizer treatments were set up, including Compound Fertilizer 200 g (F), Rice Husk Biochar 300 g (RB), Wood Shavings Biochar 300 g (WB), Rice Husk Biochar 300 g mixed with Compound Fertilizer 200 g (RBF), Wood Shavings Biochar 300 g mixed with Compound Fertilizer 200 g (WBF), and the treatment without any fertilizer was used as Control (CK). Our results showed that the application of rice husk biochar alone significantly increased the leaf area of the plant, and promoted the uptake of N by leaves, while the application of wood chips biochar alone significantly increased the plant height increment, root biomass, and leaf area, and promoted the uptake of N and P by leaves, and K by roots, but significantly inhibited the uptake of P by stems, as compared with that in control treatment. Moreover, plant height increment, leaf area and leaf N uptake were remarkably improved after the combination application of rice husk biochar and compound fertilizer in comparison with the compound fertilizer treatment alone; whereas the combination of wood chips biochar and compound fertilizer significantly promoted the stem biomass and leaf area and the root uptake of K, but inhibited the stem N uptake. In conclusion, single application of wood shavings biochar and the combination of wood shavings biochar with compound fertilizer were able to used as alternative substrates for afforestation of *P. zhennan* for their positive effect on growth and nutrient absorption of *P. zhennan* to a certain extent.

Key words: biochar; complex fertilizer; *Phoebe zhennan*; plant growth; nutrient uptake

责任编辑:唐淑芬