

# 生物炭对我国南方红壤和黄棕壤理化性质的影响\*

张祥<sup>1</sup> 王典<sup>1</sup> 姜存仓<sup>1\*\*</sup> 朱盼<sup>1</sup> 雷晶<sup>1</sup> 彭抒昂<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学资源与环境学院 武汉 430070; 2. 华中农业大学园艺林学学院 武汉 430070)

**摘要** 为了探讨生物炭对不同土壤的改良效果,采用盆栽试验,研究了施用生物炭对我国南方两种代表性土壤(红壤和黄棕壤)理化性质的影响及其动态变化差异。结果表明:强酸性红壤施用生物炭能明显提高pH而降低其酸度,同时增加土壤的有机质、速效磷、速效钾和碱解氮含量,且随着生物炭施用量(生物炭量/土壤量:0、0.5%、1.0%、2.0%)的增加,改良效果不断加强;弱酸性黄棕壤施用生物炭也提高了土壤pH、有机质、速效磷、速效钾含量,但对该土壤中的碱解氮含量无明显影响。不同生物炭用量的效应存在较大差异,在2.0%时对两种土壤各理化性质影响均表现为最明显,红壤pH平均增加0.61,有机质、速效磷、速效钾、碱解氮分别平均提高203.4%、369.3%、368.0%、30.4%,而黄棕壤pH、有机质、速效磷、速效钾分别平均增加0.55、124.2%、57.5%、50.3%。因而,相同用量的生物炭对红壤的改良效应好于黄棕壤,且施用生物炭对两种土壤速效钾含量影响最大,其次是有机质、pH、速效磷、碱解氮。

**关键词** 生物炭 红壤 黄棕壤 土壤改良 理化性质

中图分类号: X71; S156.6 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2013)08-0979-06

## Effect of biochar on physicochemical properties of red and yellow brown soils in the South China Region

ZHANG Xiang<sup>1</sup>, WANG Dian<sup>1</sup>, JIANG Cun-Cang<sup>1</sup>, ZHU Pan<sup>1</sup>, LEI Jing<sup>1</sup>, PENG Shu-Ang<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract** Biochar is a key by-product of chemical processes with a huge potential for application in environmental and soil science studies. In recent years, biochar has received considerable attention as soil conditioner, fertilizer carrier and carbon sequestration agent. However, the role of biochar in improving the fertility of different soil types has remained unclear. This has especially been the cause for the red and yellow brown soils in the South China Region (SCR), where any such studies have been largely lacking. In this study, biochar from peanut shells was used to determine biochar effect on different soils. In the pot experiment, the dynamics of the physicochemical properties of the two representative soils (red and yellow brown soils) in the SCR were investigated after treatments with different doses (0, 0.5%, 1.0% and 2.0%) of biochar. The results showed that red soil was strongly acidic, but the acidity significantly reduced under treatments of different doses of biochar. Furthermore, biochar increased soil organic matter, available phosphorus, available potassium and alkaline hydrolyzed nitrogen contents. With increasing biochar dose, these influence became more obvious. Yellow brown soil was weakly acidic. Biochar treatments significantly improved pH, and contents of organic matter, available phosphorus and available potassium of yellow brown soil. Also increasing biochar dose enhanced the positive effects of biochar on yellow brown soil. However, different biochar doses resulted in different effects on physicochemical properties of the two soils. At 2% of biochar application dose, the impact of biochar on the physicochemical properties of the two soils was most obvious. For the red soil, pH increased by 0.61. Also organic matter, available phosphorus, available potassium, and alkaline hydrolyzed nitrogen increased by 203.4%, 369.3%, 368.0% and 30.4%, respectively, in red soil. In addition to alkaline hydrolyzed nitrogen, pH, organic matter, available phosphorus, and available potassium respectively increased by 0.55, 124.2%, 57.5% and 50.3% in yellow brown soil. Based on the above results, it was concluded that biochar application favored red soil more than yellow brown soil in the

\* 公益性行业(农业)科研专项项目(201303095)和现代柑橘产业技术体系项目资助

\*\* 通讯作者: 姜存仓(1976—),男,博士,副教授,主要从事植物营养机理与施肥研究。E-mail: jcc2000@mail.hzau.edu.cn  
张祥(1990—),男,硕士研究生,主要从事植物养分资源高效利用及机理研究。E-mail: zx6237@163.com

收稿日期: 2013-03-11 接受日期: 2013-04-07

SCR. Moreover, complex specific data on each index suggested that biochar application most influenced soil available potassium, followed by soil organic matter, pH, available phosphorus, and alkaline hydrolyzed nitrogen in the representative soil types in SCR.

**Key words** Biochar, Red soil, Yellow brown soil, Soil improvement, Physicochemical property

(Received Mar. 11, 2013; accepted Apr. 7, 2013)

生物炭是化工生产的副产品, 其在全球碳的生物地球化学循环和缓解全球气候变化研究领域, 在农业土壤改良和作物栽培领域以及在土壤污染物质的生态修复领域等都有重要意义, 在环境科学和土壤学方面有较大的应用前景<sup>[1-2]</sup>。近年来对生物炭的研究越来越多, 其作为土壤改良剂、肥料缓释载体及碳封存剂备受重视<sup>[3]</sup>。黄超等<sup>[4]</sup>研究表明, 施用生物炭不仅大大提高了红壤的碳库, 还可降低其酸度, 增加土壤 pH 和盐基饱和度, 增加土壤速效磷、钾和有效氮, 增强土壤保肥能力, 改善植物生长环境。花莉<sup>[5]</sup>研究发现, 土壤中的生物炭有利于提高土壤阳离子交换量、pH、总磷、总氮的含量, 阳离子交换量的增幅可达到 40%, 而 pH 可提高 1 个单位左右。但生物炭对于不同土壤类型的改良效果, 特别是对我国南方具有代表性的红壤和黄棕壤效应的研究还较缺乏。红壤是发育于热带和亚热带雨林、季雨林或常绿阔叶林植被下的土壤, 由于该区域高温多雨, 土壤淋溶作用强, 养分含量普遍偏低, 而酸性强。黄棕壤是亚热带地区的主要土壤类型, 呈弱酸性, 养分含量中等, 物质运移复杂。这两种土壤在我国南

方有较大范围的分布。因此, 本研究通过施用不同用量生物炭, 探讨其对我国南方具有代表性的红壤和黄棕壤的理化性质的影响, 为生物炭在土壤改良及农业生产上的科学应用提供一定依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2011—2012 年在华中农业大学盆栽场进行。土壤为江西赣南柑橘产区酸性红壤和采自华中农业大学试验基地的黄棕壤, 其主要性状如表 1。生物炭由沈阳农业大学制备和提供的花生壳原料生物炭, 其主要性状为: pH 8.76, 全炭 321.93 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 18.84 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷 2.59 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 8.48 g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设 4 个生物炭水平, 即生物炭与土壤的质量百分比分别为 0(对照 CK)、0.5%、1.0%和 2.0%, 各水平设 3 次重复, 2 种不同土壤处理, 共 24 盆。盆栽取 2.5 kg 过 2 mm 筛的风干土, 加各个水平生物炭混合均匀后置于 3 L 塑料盆中培养。试验过程中, 用称量法控制盆中土壤水分在 28%(相当于 75%田间持水量)。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of the soil in the pot experiment

土壤类型 Soil type	pH	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )
红壤 Red soil	4.41	18.62	1.17	33.39	6.04
黄棕壤 Yellow brown soil	6.51	47.05	5.91	145.93	10.35

### 1.3 样品采集与测定

土壤培养初期分别在第 0 d、2 d、4 d、6 d、8 d、10 d 取土样进行理化分析, 以后每 7 d 取样一次, 共历时 38 d。土壤样品风干后, 四分法把部分土样过 20 目和 100 目土筛后用于土壤质量指标的测定。土壤理化性质均按照鲍士旦<sup>[6]</sup>的方法测定。有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定; pH 采用 pH 计法(电位法)测定; 碱解氮含量采用碱解扩散法测定; 速效磷含量采用 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾含量采用 1 mol·L<sup>-1</sup> 醋酸铵提取-火焰光度计法测定。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 软件处理, 并用 LSD 法做显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭对酸性土壤有机质含量的影响

图 1 显示, 生物炭处理的红壤和黄棕壤有机质含量始终比对照处理高, 这说明生物炭可以显著增加土壤有机质含量, 且随着生物炭施用量增加而增加。其中施用 0.5%、1.0%、2.0%生物炭的红壤有机质含量与对照相比分别平均增加 43.2%、92.0%、203.4%。2.0%生物炭处理的黄棕壤有机质含量显著高于 0.5%和 1.0%处理, 但 0.5%与 1.0%处理之间差异不显著。施加 0.5%、1.0%、2.0%生物炭的黄棕壤有机质含量与对照相比分别平均增加 38.5%、45.0%、124.2%。生物炭对黄棕壤的影响表现为, 在培养前期, 有机质含量波动变化较大, 而后期渐渐

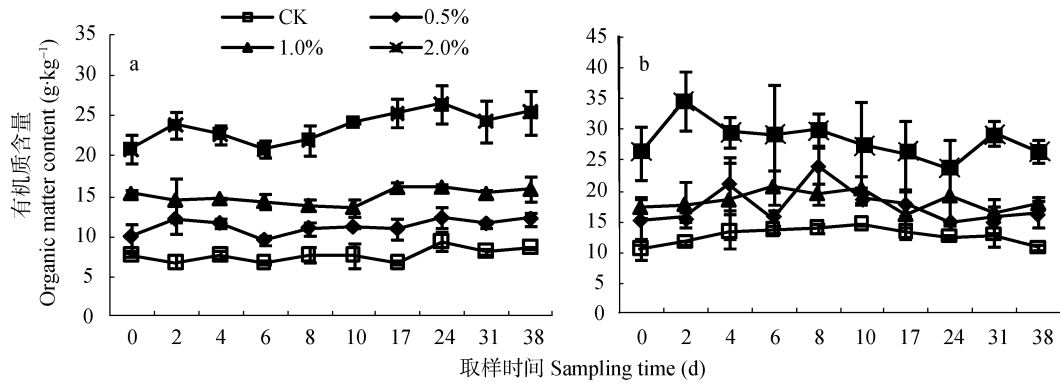


图 1 不同用量生物炭处理的红壤(a)和黄棕壤(b)有机质含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of organic matter content in red soil (a) and yellow brown soil (b) as a result of different amounts of biochar amendments

CK、0.5%、1.0%和 2.0%分别表示生物炭用量为 0、0.5%、1.0%和 2.0%的处理。CK, 0.5%, 1.0% and 2.0% in the figure indicate the treatments of different application amounts of biochar of 0, 0.5%, 1.0% and 2.0%. 下同 The same below.

较小, 最后逐步稳定。

### 2.2 生物炭对酸性土壤 pH 的影响

由图 2a 可知, 生物炭处理的红壤 pH 始终比对照处理高, 这说明生物炭能显著提高土壤 pH, 且随着生物炭施用量增加而升高, 处理间变化较显著。施加 0.5%、1.0%、2.0%生物炭的红壤 pH 与对照相比分别平均增加 0.18、0.32 和 0.61。不同处理的土

壤 pH 随时间推移, 出现一定的波动变化, 但整体较为稳定。从图 2b 可以看出, 生物炭处理的黄棕壤 pH 始终比对照处理高, 且随着生物炭施用量增加, 土壤 pH 明显升高。2.0%处理土壤 pH 显著高于 0.5%和 1.0%处理, 但 0.5%与 1.0%处理之间差异不显著。施加 0.5%、1.0%、2.0%生物炭土壤 pH 与对照相比分别平均增加 0.15、0.21 和 0.55。

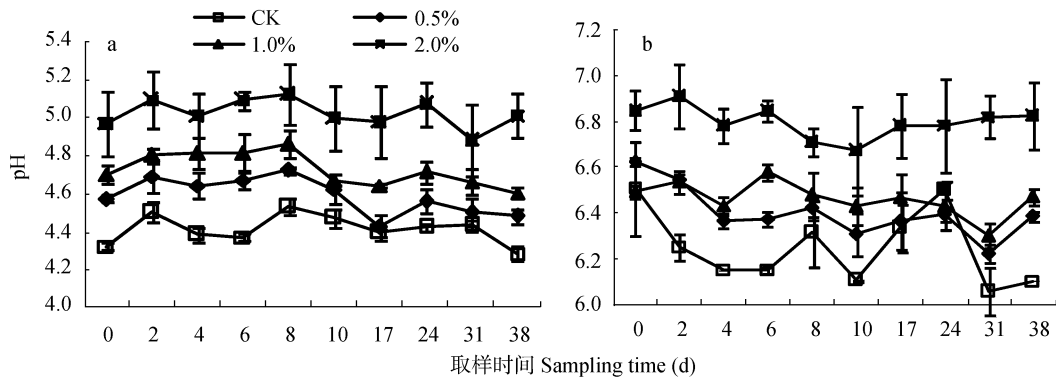


图 2 不同用量生物炭处理的红壤(a)和黄棕壤(b)pH 随时间的动态变化

Fig. 2 Dynamic change of pH in red soil (a) and yellow brown soil (b) as a result of different amounts of biochar amendments

### 2.3 生物炭对酸性土壤碱解氮含量的影响

图 3a 表明, 生物炭处理的红壤碱解氮含量始终比对照处理高, 这说明施加生物炭能显著增加土壤中碱解氮的含量, 且随着生物炭施用量增加而增加。施加 0.5%、1.0%和 2.0%生物炭的土壤碱解氮含量与对照相比平均分别增加 10.2%、21.4%和 30.4%。从整个培养周期看, 各个处理的土壤碱解氮含量随时间变化整体上呈上升趋势。由图 3b 可得, 生物炭对黄棕壤碱解氮含量的影响不显著, 不同处理土壤碱解氮含量随时间推移变化较小。

### 2.4 生物炭对酸性土壤速效磷含量的影响

如图 4a, 施用生物炭后红壤速效磷含量始终比

对照处理高, 说明生物炭能显著增加土壤速效磷含量, 且随着生物炭施用量增加而增加。施加 0.5%、1.0%和 2.0%生物炭的土壤速效磷含量与对照相比平均分别增加 93.0%、163.9%和 369.3%。从图 4b 可以看出, 生物炭处理后黄棕壤速效磷含量明显增加, 且随生物炭施用量增加而增加。2.0%生物炭处理土壤速效磷含量显著高于 0.5%和 1.0%, 但 0.5%与 1.0%处理之间差异不显著。施加 0.5%、1.0%和 2.0%生物炭的土壤速效磷含量与对照相比平均分别增加 17.0%、21.1%和 57.5%。

### 2.5 生物炭对酸性土壤速效钾含量的影响

图 5a 显示, 生物炭处理的红壤速效钾含量显著

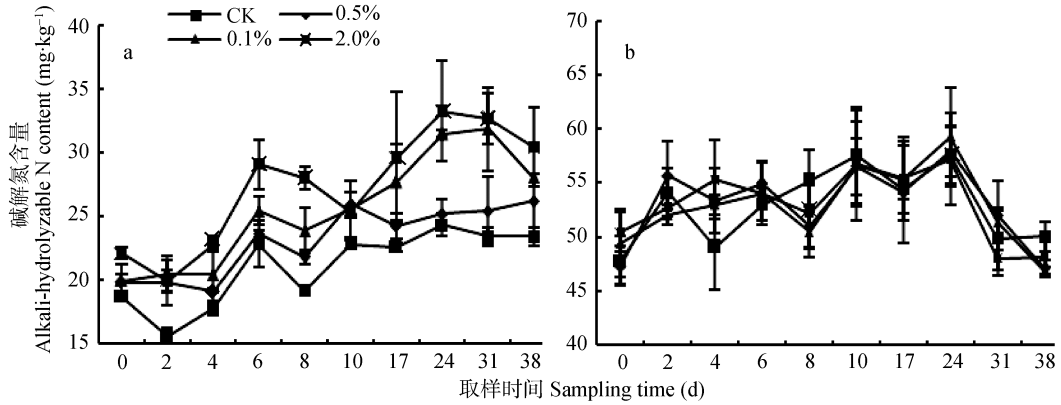


图 3 不同用量生物炭处理的红壤(a)和黄棕壤(b)碱解氮含量随时间的动态变化

Fig. 3 Dynamic change of alkali-hydrolyzable N content in red soil (a) and yellow brown soil (b) as a result of different amounts of biochar amendments

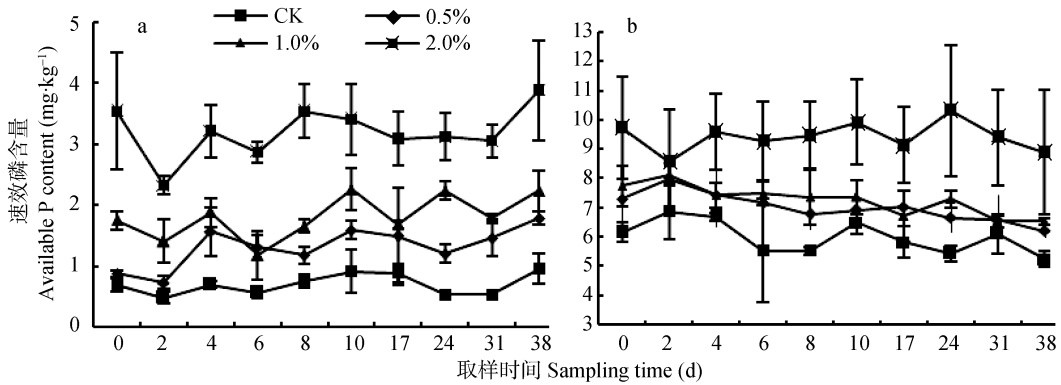


图 4 不同用量生物炭处理的红壤(a)和黄棕壤(b)速效磷含量随时间的动态变化情况

Fig. 4 Dynamic change of available P content in red soil (a) and yellow brown soil (b) as a result of different amounts of biochar amendments

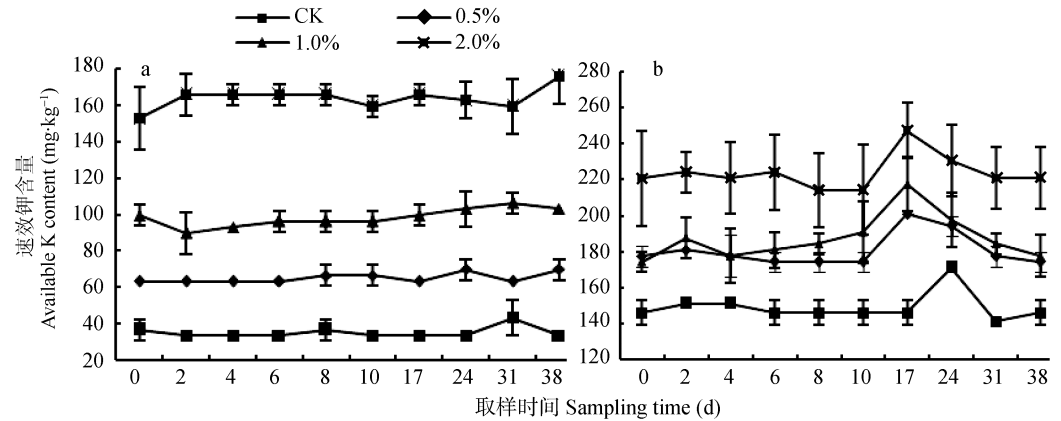


图 5 不同用量生物炭处理的红壤(a)和黄棕壤(b)速效钾含量随时间的动态变化情况

Fig. 5 Dynamic change of available K content in red soil (a) and yellow brown soil (b) as a result of different amounts of biochar amendment

提高，且随着生物炭施加量增加而增加。施 0.5%、1.0%和 2.0%生物炭的土壤速效钾含量比对照分别平均增加 87.1%、181.1%和 368.0%。各处理土壤速效钾含量随时间推移变化较小。从图 5b 中可以明显看到，生物炭处理的黄棕壤速效钾含量也明显增加。2.0%处理速效钾含量显著高于 0.5%和 1.0%处理。但 0.5%与 1.0%处理之间效果不显著。施加 0.5%、1.0%

和 2.0%生物炭的土壤速效钾含量与对照相比分别增加了 21.2%、25.7%和 50.3%。从整个培养周期来看，在第 17 d 到 24 d 出现明显波动，其他时段土壤速效钾含量较为稳定。

### 3 讨论

生物炭是在限氧或隔绝氧的环境条件下，通过

高温裂解,将小薪柴、农作物秸秆、杂草等生物质经炭化而形成的,其表面的—COO—和—O—等有机官能团和生物炭中的碳酸盐是碱的主要存在形态<sup>[7-8]</sup>。生物炭中的碱性基团在施入土壤后可以很快释放出来,中和土壤酸度,使pH升高<sup>[9]</sup>。本试验表明,生物炭改良酸性土壤pH效应较快,施入生物炭后,短期内土壤pH比对照明显升高,且后期稳定。同时,施用生物炭能够促进土壤有机质水平的提高<sup>[10-12]</sup>。红壤和黄棕壤添加生物炭后有机质含量均有提高,且不同用量效应不同,其中添加2.0%生物炭的处理有机质含量显著增加。

生物炭含有一定量的矿质养分,可增加土壤中矿质养分含量<sup>[13]</sup>。试验结果表明,生物炭能够不同程度地增加两种土壤的碱解氮、速效磷和速效钾含量。有研究表明施加生物炭可以增加土壤对NH<sub>3</sub>和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收<sup>[14]</sup>,减少N<sub>2</sub>O的排放<sup>[15]</sup>以及NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的流失<sup>[16-17]</sup>,从而影响氮循环。红壤和黄棕壤均为酸性土壤,铁、铝活性高,易与磷形成难溶性的铁磷和铝磷,甚至有效性更低的闭蓄态磷,使土壤磷绝大部分转化为固定态磷,故这两种土壤原始速效磷含量都较低。而加入生物炭后一方面由于增加了土壤pH,减少了活性铁、铝,从而增加速效磷、钾。另一方面研究表明,在土壤中添加生物炭能够有效减少铁氧化物对磷的吸附<sup>[18]</sup>和降低有效磷的淋失<sup>[17]</sup>,从而提高土壤速效磷的含量。此外,有机质也能减少磷吸附,这是由于有机质在腐解过程中产生有机酸,能促进土壤中磷的活化,有机质还能减少无机磷的固定,提高无机磷肥的效果<sup>[19-20]</sup>,生物炭可能是通过增加土壤有机质含量来间接提高速效磷的含量。杨芳等<sup>[21]</sup>研究发现,在南方,特别是红壤地区,土壤有机质在形成过程中螯合铁和铝等金属元素,而这些螯合的铁和铝可以吸附磷,使土壤吸磷量增加。而施加不同量的生物炭能够增加土壤速效钾的含量,一方面可能由于其本身含有大量的钾元素,另一方面生物炭的孔隙结构能减小水分的渗透速度,增强土壤对溶液中移动性很强和容易淋失的K<sup>+</sup>的吸附能力,从而增加土壤速效钾的含量。最后,生物炭具有独特的表面特性使其对土壤水溶液中的铵态氮、硝态氮、钾、磷及气态氮等不同形态存在的营养元素有很强吸附作用,同时施加生物炭后土壤持水能力和供水能力得到显著提高<sup>[22-23]</sup>。因而,施用生物炭不仅可以调节土壤酸性及提高有机质含量,而且还起着肥料的作用,施入土壤后可提高土壤中的速效养分水平<sup>[4]</sup>。

#### 4 结论

施用生物炭对红壤和黄棕壤的理化性质均有较

大影响,且对不同土壤的改良效应存在一定差异。(1)红壤施用生物炭能明显增加土壤pH而调节土壤酸度,同时提高土壤有机质、速效磷、速效钾和碱解氮含量。且随施用量的增加,效果愈明显。(2)黄棕壤施用生物炭也能提高土壤pH,增加有机质、速效磷、速效钾含量,但对土壤碱解氮含量无明显影响,且黄棕壤各参数增加的幅度低于红壤。(3)本试验条件下,在生物炭施用量提高到2.0%时,对两种土壤的改良效果最好。

#### 参考文献

- [1] 王典,张祥,姜存仓,等. 生物质炭改良土壤及对作物效应的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 963-967  
Wang D, Zhang X, Jiang C C, et al. Biochar research advances regarding soil improvement and crop response[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(8): 963-967
- [2] 李力,刘娅,陆宇超,等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. 环境化学, 2011, 30(8): 1411-1421  
Li L, Liu Y, Lu Y C, et al. Review on environmental effects and applications of biochar[J]. Environmental Chemistry, 2011, 30(8): 1411-1421
- [3] 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  
He X S, Geng Z C, She D, et al. Implications of production and agricultural utilization of biochar and its international dynamic[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 1-7
- [4] 黄超,刘丽君,章明奎. 生物质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  
Huang C, Liu L J, Zhang M K. Effects of biochar on properties of red soil and ryegrass growth[J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci, 2011, 37(4): 439-445
- [5] 花莉. 城市污泥堆肥资源化过程与污染物控制机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008  
Hua L. Research on mechanism of sludge reclamation and pollution control[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 39-61  
Bao S D. Soil and agrochemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 39-61
- [7] 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  
Yuan J H, Xu R K. Progress of the research on the properties of biochars and their influence on soil environmental functions[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(4): 779-785
- [8] Yuan J H, Xu R K, Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(3): 3488-3497
- [9] 袁金华,徐仁扣. 稻壳制备的生物质炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 472-476  
Yuan J H, Xu R K. Effects of rice-hull-based biochar regulating acidity of red soil and yellow brown soil[J]. Journal of Ecology

- and Rural Environment, 2010, 26(5): 472–476
- [10] 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  
He X S, Zhang S Q, She D, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(15): 16–25
- [11] 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
- [12] 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
- [13] Gaskin J W, Steiner C, Harris K, et al. Effects of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use[J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(6): 2061–2069
- [14] Doydora S A, Cabrera M L, Das K C, et al. Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter amended with acidified biochar[J]. Int J Environ Res Public Health, 2011, 8(5): 1491–1502
- [15] Wang J Y, Pan X J, Liu Y L, 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
- [16] 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  
Zhou Z H, Li X Q, Xing Y, et al. Effect of biochar amendment on nitrogen leaching in soil[J]. Earth and Environment, 2011, 39(2): 278–284
- [17] 李际会, 吕国华, 白文波, 等. 改性生物炭的吸附作用及其对土壤硝态氮和有效磷淋失的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 220–225  
Li J H, Lv G H, Bai W B, et al. Effect of modified biochar on soil nitrate nitrogen and available phosphorus leaching[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(2): 220–225
- [18] Cui H J, Wang M K, Fu M L, et al. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar[J]. J Soils Sediments, 2011, 11(7): 1135–1141
- [19] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7–13  
Zhao X Q, Lu R K. Effect of organic manures on soil phosphorus adsorption[J]. Acta Pedologica Sinica, 1991, 28(1): 7–13
- [20] Holford I C R, Mattingly G E G. The high- and low-energy phosphate adsorbing surfaces in calcareous soils[J]. J Soil Sci, 1975, 26(4): 407–417
- [21] 杨芳, 何园球, 李成亮, 等. 不同施肥条件下旱地红壤磷素固定及影响因素的研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 267–272  
Yang F, He Y Q, Li C L, et al. Effect of fertilization on phosphorus fixation in upland red soil and its affecting factors[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(2): 267–272
- [22] Chen Y, Shinogi Y, Taira M. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality[J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48(7): 526–530
- [23] Laird D A. The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(1): 178–181