

秸秆及生物质炭对砖红壤酸度及交换性能的影响^①

索 龙, 潘凤娥, 胡俊鹏, 王小淇, 季雅岚, 赵伶茹, 方雅各, 杨 霖, 孟 磊*

(海南大学农学院, 海口 570228)

摘 要: 为合理运用秸秆材料改良热带地区砖红壤, 采用室内培养试验研究了玉米秸秆及其制备的生物质炭对海南花岗岩母质发育的砖红壤的酸度和交换性能的影响。试验设单施生物质炭(B)、生物质炭和秸秆混合施用(BCS)、单施秸秆(CS)及对照(CK)共 4 个处理。结果表明, 添加生物质炭和秸秆显著提高土壤 pH、CEC、交换性盐基总量和盐基饱和度。秸秆和生物质炭可降低土壤交换性酸, 尤其是交换性酸中交换性铝含量更是显著降低, 表明生物碳和秸秆施用能够有效降低砖红壤酸度, 提高交换性能。不同处理改良效果的大小顺序为 CS>BCS>B。

关键词: 生物质炭; 玉米秸秆; 土壤 pH; 交换性酸; CEC

中图分类号: S156.6

生物质炭是由生物质材料, 如作物秸秆、木屑等, 在完全或部分缺氧及相对较低温度($\leq 700^{\circ}\text{C}$)下, 经热解炭化形成的一种含碳极其丰富、性质稳定的产物^[1]。研究表明, 生物质炭对土壤改良有着积极的作用, 它可明显降低土壤潜性酸^[2], 提高土壤 pH^[3-4]。此外, 生物质炭还可显著提高土壤阳离子交换量^[4], 增强土壤保肥性能。作为生物质炭制备重要原料的秸秆对土壤也有很好的改良作用。研究表明, 秸秆添加到土壤后, 同样能降低土壤酸度^[5-8], 提高土壤阳离子交换量^[9]和交换性盐基总量^[5]。

海南地处热带, 为我国热带作物生产重要的基地, 其土壤资源的合理开发和利用具有极其重要的经济和生态意义^[10]。高温多雨的气候决定了海南土壤中的黏土矿物以颗粒较为粗大且表面电荷较少的高岭石为主^[11], 且土壤有机质含量很低^[12]。为保证农业高产而投入大量的化学肥料加剧了本已为酸性土的酸化进程。酸化严重及供肥、保肥能力弱是海南土壤退化的主要问题^[13]。改良土壤酸度, 提高土壤保肥性能是海南土壤改良的核心问题。

目前, 关于秸秆和生物质炭施用对土壤改良的研究多见于温带和亚热带地区^[9, 14-16], 有关海南热带砖红壤地区的研究却鲜有报道。本文利用室内培养试验, 研究生物质炭和秸秆添加对花岗岩母质发育的砖红壤的酸度及阳离子交换性能的影响, 研究结果可为

砖红壤改良及秸秆合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自海南省儋州市海南大学儋州校区农学院教学基地, 由花岗岩母质发育形成的砖红壤, 采集深度为 0 ~ 20 cm。采集的土壤经室内风干后, 除去植物根系及石砾, 过 2 mm 筛后用于培养试验; 另取部分风干土进行基本理化性质分析, 其结果如下: 土壤 pH 4.92, 有机质含量 15.70 g/kg, 全氮含量 0.63 g/kg, 碱解氮含量 43.89 mg/kg, 速效磷含量 72.89 mg/kg、速效钾含量 139.41 mg/kg, 交换性酸 0.665 cmol/kg, 阳离子交换量(CEC)4.03 cmol/kg。

试验用生物质炭由中国科学院南京土壤研究所提供, 其制备条件为 400 $^{\circ}\text{C}$ 由玉米秸秆经厌氧热解制备而成, 性状见表 1。植物材料也为玉米秸秆, 其氮、磷、钾含量分别为 6.30、1.60 和 21.10 g/kg。

1.2 试验设计

试验处理: 生物质炭(B), 生物质炭用量为风干土质量的 1.5%; 生物质炭和秸秆联合(BCS), 生物质炭和秸秆的用量分别为风干土质量 0.75% 和 2.25%; 秸秆(CS), 秸秆用量为风干土质量 4.5%。以不施生物质炭和玉米秸秆的土壤为对照(CK), 共 4 个处理, 每处理重复 3 次。试验中秸秆用量为生物质炭的 3

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261063)和海南省自然科学基金项目(314046)资助。

* 通讯作者(menglei94@sohu.com)

作者简介: 索龙(1988—), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤碳循环及耕地土壤改良。E-mail: suolong_18@163.com

表 1 生物质炭的基本性质
Table 1 Basic properties of used biochar

pH	CEC	官能团 (cmol/kg)				元素含量(g/kg)		
		碱性官能团	羧基官能团	弱酸官能团	酚羟基官能团	N	C	H
9.21	51.50	0.557	0.164	0.150	0.034	21.2	493.1	33.1

倍,参考《生物质炭化材料制备及性能测试》中生物质材料制备生物质炭的炭化得率^[17]。

培养试验在塑料桶内进行(直径 20 cm × 高 25 cm)。称风干土 4 kg 置于塑料桶内,然后根据处理称分别过 2 mm 筛的生物质炭及秸秆,使之与土壤充分混匀。调节土壤水分至田间持水量的 75%。将塑料桶放置在房间内进行常温培养,培养期间采用称质量法保持土壤含水量不变。

1.3 土壤样品采集

分别在培养的 67、155 和 270 天取土。土壤采集时,每桶对称选取四点,每点土壤按自上而下进行采集。采集的土样经室内风干后,研磨过筛后待分析用。

1.4 分析方法

土壤 pH 采用 pH 计测定,其水土比为 2.5:1;土壤交换性酸和阳离子交换量(CEC)参照《土壤农业化学分析方法》进行^[18],其中交换性酸采用氯化钾交换-中和滴定法,阳离子交换量采用中性乙酸铵交换法。

1.5 数据处理

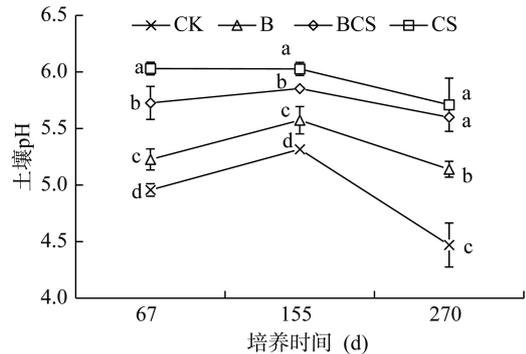
利用 Microsoft Excel 2010 进行试验基础数据处理。采取 SPSS19.0 软件进行数据方差分析,处理间差异采用 Duncan 多重比较方法,差异性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤活性酸的影响

单独添加生物质炭、秸秆或者二者同时加入到土壤中,可以显著提高土壤 pH,降低土壤的酸度(图 1)。不同处理间土壤 pH 差异显著,其中秸秆处理的土壤 pH 最高,其次为秸秆与生物质炭联合施用处理,上述两处理的土壤 pH 都显著高于生物质炭处理的土壤,而空白处理的土壤 pH 最低。

各处理土壤 pH 变化趋势一致,均呈现先增后降的趋势,但不同处理的土壤 pH 变化幅度不同。相对而言,添加秸秆的土壤以及添加秸秆与生物质炭的土壤,其 pH 增加值或下降值相对较小,尤其是秸秆处理,从 67 天到 155 天,其 pH 是稳定的。生物质炭处理的次之,而 CK 的变幅最大。因此,施用秸秆及秸秆和生物质炭联合施用不但能很快将 pH 提高到较高值,还能较长时间使土壤 pH 维持较高水平。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平,下同)

图 1 不同处理对土壤 pH 的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on soil pH

2.2 不同处理对土壤交换性酸的影响

与对照相比,添加生物质材料显著降低土壤的交换性酸(图 2)。添加生物质材料的各土壤的交换性酸量降幅在 47.31% ~ 71.81%,但处理之间的效果差异并不特别明显。

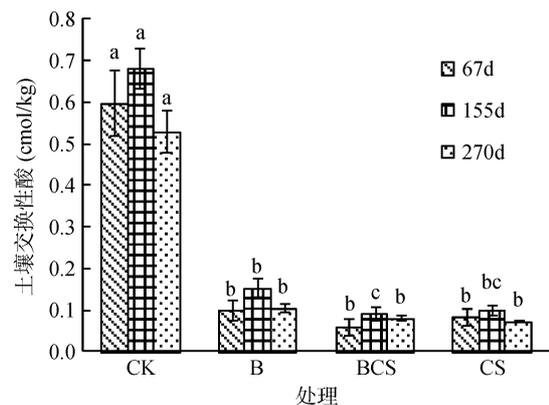


图 2 不同处理对土壤交换性酸的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on soil exchangeable acidity

土壤交换酸量的变化趋势与活性酸的类似。即均呈现先增后降的趋势,但添加物料的处理在不同取样时间点的交换性酸量之间的差异不明显,只有秸秆和生物质炭混合添加的处理其在 155 天的交换性酸显著高于 67 天和 270 天(图 2)。

交换性铝是构成土壤交换性酸的主体,其量占交换性酸总量的 78% ~ 80%。生物质材料添加入土壤,大大降低了交换性铝在交换性酸中所占的比例,但不同生物质材料,其对土壤交换性铝含量比例的影响不同(图 3)。生物质炭施入,可以将交换性铝所占比例降低到 42% ~ 67%,但其作用效果相对弱于施用秸秆的效果。如秸秆

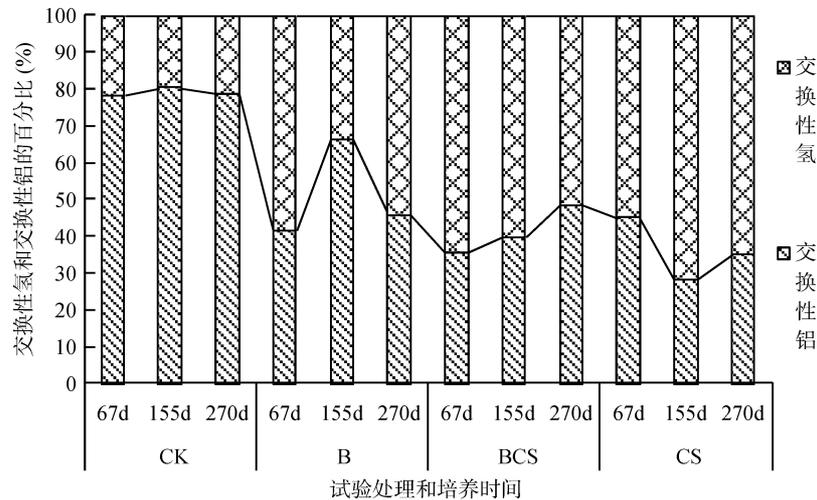


图 3 不同处理土壤交换性铝和交换性氢的百分比变化

Fig. 3 Changes of percentage of soil exchangeable Al³⁺ and exchangeable H⁺ under different treatments

处理和秸秆与生物质炭混合处理的土壤交换性铝量仅分别占到交换性酸总量的 28% ~ 45% 和 37% ~ 49%。

从培养时间来看，交换性酸组成以 CK 最为稳定，其次为秸秆和生物质炭混合处理，秸秆和生物质炭处理相对变异较大。

2.3 不同处理对土壤阳离子交换量的影响

土壤添加生物材料显著提高了土壤阳离子交换量(图 4)。培养 270 天时，不同生物质材料的作用效果差异显著，表现为施用秸秆处理的阳离子交换量最大，其次为秸秆和生物质炭混合处理的土壤，随后为生物质炭处理的，CK 处理的土壤阳离子交换量最低。各个处理之间差异显著。

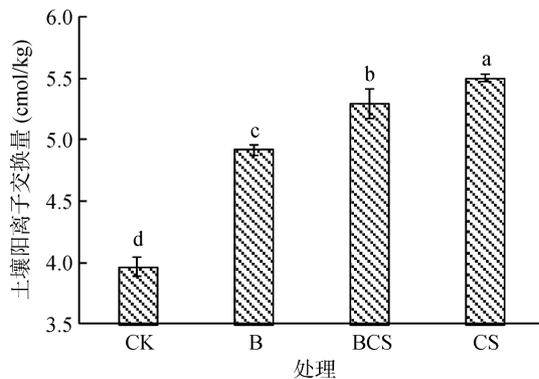


图 4 不同处理对土壤阳离子交换量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on soil CEC

2.4 不同处理对土壤交换性盐基总量的影响

添加生物质材料到土壤后，可以显著提高土壤交换性盐基总量。相对于 CK 而言，秸秆、秸秆与生物质炭联合以及生物质炭处理，其土壤交换性盐基总量

都有成倍地增加(图 5)。不同生物质材料之间，其交换性盐基总量之间的差异也达到了显著水平，其中，添加秸秆的土壤，其土壤交换性盐基总量最高，其次为秸秆与生物质炭联合施用的，生物质炭处理低于添加秸秆和秸秆与生物质炭联合施用处理。

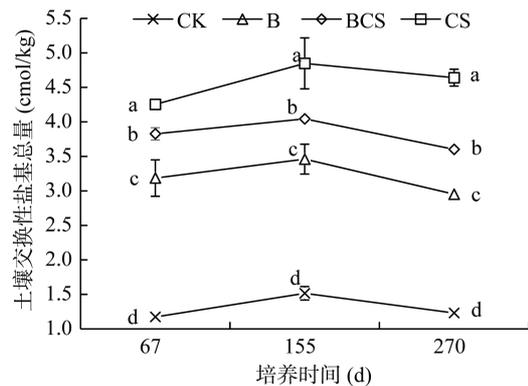


图 5 不同处理对土壤交换性盐基总量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on soil exchangeable base

土壤交换性盐基总量随培养时间变化，但其变化幅度先增加而后降低。相对而言，秸秆处理从培养的 67 天至 155 天时，其土壤交换性盐基总量增加量是最大的，达到 0.6 cmol/kg，而从培养的 155 天到 270 天期，其降幅却是最小的。只有 0.21 cmol/kg。秸秆与生物质炭联合处理和生物质炭处理之间差异较小，其增幅差异不大，但生物质炭处理在后面下降的幅度较大。

2.5 不同处理对土壤盐基饱和度的影响

没有添加生物质材料的土壤，其盐基饱和度变化于 31.04% ~ 37.52%。添加有机物料可显著提高土壤盐基饱和度，尽管不同处理的盐基饱和度有差异，但都显著高于 CK 土壤(图 6)。从作用效果而言，培养

67 天的盐基饱和度值在添加生物质材料处理间没有差异,但随着培养时间延续,其差异表现出来,其盐基饱和度大小顺序为秸秆处理>秸秆与生物质炭联合处理>生物质炭处理。

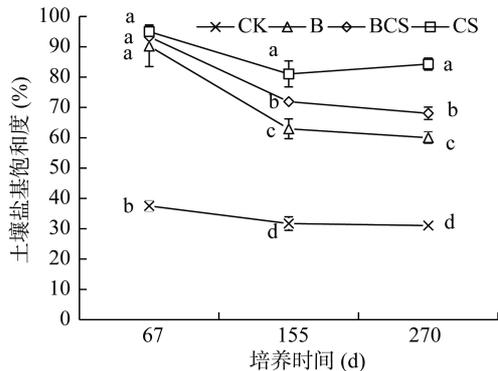


图 6 不同处理对土壤盐基饱和度的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on soil base saturation

土壤盐基饱和度的动态变化表现为培养开始阶段,盐基饱和度高,而培养到 155 天时,盐基饱和度下降,之后基本趋于稳定。

3 讨论

土壤 pH 是土壤化学性质的重要参数,对土壤许多化学反应过程及植物生长起着重要影响。有机物料的添加显著提高土壤 pH(图 1)。不同植物物料导致土壤 pH 变化方向和大小不同^[5,19]。如紫云英使黄棕壤 pH 有所降低,而花生秸秆、稻草秸秆则导致黄棕壤的 pH 升高,但花生秸秆的上升幅度大于水稻秸秆。同种植物物料在不同土壤类型上对 pH 的作用效果也不同^[5]。在植物物料施进土壤后,物料中的灰化碱及物料中的有机氮的矿化作用是土壤 pH 升高的原因,而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的硝化作用则是 pH 下降的主因^[20-21]。植物物料对土壤酸度最终的改变取决于上述作用的综合。豆科作物对土壤 pH 的影响是矿化作用、硝化作用和灰化碱共同作用的结果,非豆科的禾本科主要通过灰化碱起作用^[19]。玉米秸秆作为非豆科作物,其施入土壤对土壤 pH 的影响主要通过将其生长过程从土壤中吸收的盐基性养分离子,即灰化碱释放出来以中和土壤氢离子,从而提高土壤的 pH。

生物质炭中含有有机官能团和碳酸盐等碱性物质^[21]。添加到土壤中,可以中和土壤酸性,提高土壤 pH^[22-23]。本研究中,在花岗岩母质砖红壤中添加玉米秸秆制备的生物质炭,土壤 pH 有了很大程度的提高(图 1)。

土壤的交换性酸由交换性氢和交换性铝构成,交换性铝是构成交换性酸的主体^[24],图 3 结果表明热

带花岗岩砖红壤中,交换性铝是交换性酸的主体地位,作为酸性土壤中主要活性形态铝,交换性铝对作物的生长有着严重的制约作用。植物物料中含有大量盐基离子,施入后增加了土壤交换性盐基含量,使得土壤交换性酸减少,土壤的盐基饱和度增加(图 2,图 4)。植物材料施用到酸性的茶园红壤上,不但提高了土壤的交换性能,降低交换性铝量,还降低了红壤中可溶性铝含量^[5]。练成燕等^[6]也发现,植物材料添加到土壤中,土壤交换性铝含量降低。王磊等^[8]也获得相似的研究结果。

生物质炭含有一定量的盐基离子,进入土壤后,可以和土壤交换性铝发生交换反应,使土壤交换性铝量减少,交换性盐基阳离子增加。另外,生物质炭通过提高土壤 pH,可以使交换性铝发生水解转化成羟基铝并部分形成铝的氢氧化物或氧化物沉淀。生物质炭表面的含氧官能团可以与铝形成稳定的配合物,使交换性铝转化成活性较低的有机络合态铝^[25]。因此,施用生物质炭降低土壤交换铝。在稻壳制备的生物质炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果的研究也发现,添加生物质炭的土壤,其交换性酸和交换性铝含量较对照处理均有所下降^[2]。

土壤的阳离子交换量可以用来估算土壤吸收、保留和交换阳离子的能力,来源于黏土矿物、有机物质和非晶矿物质。阳离子交换量直接反映了土壤的保肥、供肥性能和缓冲能力的大小^[26]。生物材料是有机质的主要来源,增加了有机质,就增加了土壤吸附性能,即阳离子交换量。吴景贵等^[27]的研究表明:玉米植株残体培肥土壤,土壤的阳离子交换量显著提高。本研究所得结论与此一致。

生物炭表面含有羧基、羰基等官能团,X-射线光电子能谱(XPS)证明风化过程中生物质炭的氧化还原还会形成一些羧基官能团^[28]。生物炭表面含有的这些含氧官能团产生的表面负电荷使得生物炭具有较高的 CEC。在华北平原高产农田进行的 3 年生物质炭定位试验中发现,添加生物质炭可提高 0~15 cm 表层土壤的 CEC^[29]。本试验结果与此一致。

生物材料和秸秆不但提高土壤的 CEC,还可以将生物材料或者生物质炭中的盐基离子释放出来,从而增加了土壤盐基量。土壤添加 1% 的生物质炭后,土壤 CEC 提高了 3.9%~17.3%,有效钙、镁可增加 77%~320%^[30-31]。

土壤 pH、交换性酸、CEC、盐基总量和盐基饱和度等都是变化的。土壤 pH 变化是源于不同培养土壤中灰化碱释放、消耗氢离子矿化作用和产生氢离子的硝化相互作用的结果^[5]。受 pH 变化影响的交换性

酸、CEC、盐基总量和盐基饱和度等相应地也要发生变化。当然,交换性酸、CEC、盐基总量等的变化趋势与pH较为相似,而盐基饱和度则是相反(图2、图4、图5、图6)。

等量秸秆制备的生物质炭施入土壤对土壤改良效果弱于秸秆直接施入的效果(图1),而由秸秆到生物碳,需要运输、场地、设备和人工等投入。秸秆施入则相对较为简单。因此,综合土壤改良效果及操作繁琐程度而言,本应推荐秸秆直接还田方式,但由于本试验培养时长只有9个月,相对时间较短,如果培养时间继续进行下去,可能会出现秸秆的作用效果持续下降的现象。生物质炭强调的是稳定性,持续的施用生物碳可能实现土壤改良效果的累加。对于热带地区而言,如果土壤退化严重,宜建议秸秆直接还田方式以实现土壤质量的即时改良。如果土壤酸性且保肥性能中等的話,以建议生物质炭和秸秆联合施用,对于质量较好的土壤,则可采用生物质炭的方式进行还田。由于相关研究较少,有必要开展进一步的研究。

4 结论

生物材料施入土壤可以很好地改良土壤酸性,提高土壤的保肥性。等量秸秆前提下,秸秆直接还田对土壤酸度的改良优于生物质炭方式还田的效果。生物材料施入土壤可以显著提高土壤的阳离子交换量。单施生物质炭效果弱于单施秸秆;此外,秸秆对土壤的交换性盐基总量和盐基饱和度的效应也优于生物质炭。

参考文献:

- [1] 宋延静, 龚骏. 施用生物质炭对土壤生态系统功能的影响[J]. 鲁东大学学报, 2010, 26(4): 361-365
- [2] 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
- [3] 谢国雄, 王道泽, 吴耀, 邱志鹏, 章明奎, 吴崇书. 生物质炭对退化蔬菜地土壤的改良效果[J]. 南方农业学报, 2014, 45(1): 67-71
- [4] 陈心想, 耿增超. 生物质炭在农业上的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 167-174
- [5] 王宁, 李九玉, 徐仁扣. 三种植物物料对两种茶园土壤酸度的改良效果[J]. 土壤, 2009, 41(5): 764-771
- [6] 练成燕, 王兴祥, 李奕林. 种植花生、施用尿素对红壤酸化作用及有机物料的改良效果[J]. 土壤, 2010, 42(5): 822-827
- [7] 刘源, 袁金华, 钱薇, 徐仁扣. 通过调节土壤氮素转化提高有机物料对红壤酸度的改良效果[J]. 土壤, 2012, 44(5): 735-739
- [8] 王磊, 汪玉, 杨兴伦, 张明, 蒋新. 有机物料对强酸性茶园土壤的酸度调控研究[J]. 土壤, 2013, 45(3): 430-436
- [9] 王芳, 张金水, 高鹏程, 同延安. 不同有机物料培肥对渭北旱塬土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 702-709
- [10] 张华, 张甘霖, 漆智平, 赵玉国. 热带地区农场尺度土壤质量现状的系统评价[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 186-193
- [11] 陈志诚, 赵文君, 龚子同. 海南岛土壤发生分类类型在系统分类中的归属[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 170-177
- [12] 吕丽平. 海南土壤有机碳含量变化规律研究[D]. 海口: 海南大学, 2013: 27
- [13] 赵玉国, 张甘霖, 张华, 龚子同. 海南岛土壤质量系统评价与区域特征探析[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 13-15
- [14] 吕焕哲, 王凯荣, 谢小立, 王开锋. 施用水稻秸秆对酸性红壤铝形态的动态影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 110-112, 119
- [15] 闫洪亮, 王胜楠, 邹洪涛, 马迎波, 虞娜, 张玉玲, 黄毅, 张玉龙. 秸秆深还田两年对东北半干旱区土壤有机质、pH值及微团聚体的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 44-48
- [16] 葛顺峰, 彭玲, 任怡华, 姜远茂. 秸秆和生物质炭对苹果园土壤容重、阳离子交换量和氮素利用的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 366-373
- [17] 刘志坤, 叶黎佳. 生物质炭化材料制备及性能测试[J]. 生物质化学工程, 2007, 41(5): 28-32
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 16-17, 24-34
- [19] 姜军, 徐仁扣, 李九玉, 赵安珍. 两种植物物料改良酸化茶园土壤的初步研究[J]. 土壤, 2007, 39(2): 322-324
- [20] Xu RK, Coventry DR. Soil pH change associated with lupin and wheat plant material incorporated in a red-brown earth soil[J]. Plant and Soil, 2003, 250: 113-119
- [21] Xu JM, Tang C, Chen ZL. Chemical composition controls residue decomposition in soils differing in initial pH[J]. Soil Bio. Biochem., 2006, 38: 544-552
- [22] Yuan JH, Xu RK, Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures[J]. Bioresource Technology, 2011, 102: 3488-3497
- [23] Yuan JH, Xu RK. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol[J]. Soil Use and Management, 2011, 27: 110-115
- [24] 于天仁, 季国亮, 丁昌璞. 可变电荷土壤的电化学[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 226-251
- [25] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(4): 541-547
- [26] 韩永俊, 尹大庆, 赵艳忠. 秸秆还田的研究现状[J]. 农机化研究, 2003(2): 39-40
- [27] 吴景贵, 王明辉, 姜亦梅, 吴江, 温善菊. 玉米植株残体培肥土壤的研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 300-305
- [28] Yao FX, Arbestain MC, Virgel S, Blanco F, Arostegui J, Maciá Agulló J, Macías F. Simulated geochemical

- weathering of a mineral ash-rich biochar in a modified Soxhlet reactor[J]. *Chemosphere*, 2010, 80 (7): 724–732
- [29] 陈红霞, 杜章留, 郭伟, 张庆忠. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2930–2934
- [30] Peng X, Ye LL, Wang CH, Zhou H, Sun B. Temperature and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 112(2): 159–166
- [31] Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol[J]. *Plant and soil*, 2010, 333: 117–128

Effect of Corn Straw and Biochar on Acidify and Exchangeable Capacity in Tropical Latosol Soil

SUO Long, PAN Feng-e, HU Jun-peng, WANG Xiao-qi, JI Ya-lan, ZHAO Ling-ru,
FANG Ya-ge, YANG Lin, MENG Lei*

(Agricultural College, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: An incubation experiment was conducted to investigate the effects of corn straw and biochar on acidify and exchangeable capacity in tropical latosol originated from granite in order to support the theoretical basis for improving quality of latosol in tropical region. Biochar (B), corn straw (CS) and biochar + corn straw (BCS) were applied into soil, respectively, and no organic material was arranged as control (CK). Amending B, S and BS could significantly increase pH, CEC, ion exchange capacity and base saturation percentage, but highly decreased soil exchangeable acid, especially for exchangeable aluminum of exchangeable acid, which suggest that B and S can effectively reduce soil acidify, increase exchangeable capacity in tropical region. The improvement effects of organic materials was in order as CS, BCS and B.

Key words: Biochar; Corn straw; Soil pH; Exchangeable acid; CEC