

## 生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响

房彬<sup>1,2</sup>, 李心清<sup>2\*</sup>, 赵斌<sup>1\*</sup>, 钟磊<sup>1</sup>

1. 中华全国供销合作总社天津再生资源研究所, 天津 300191;

2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002

**摘要:** 生物炭因其结构和功能特性受到国内外学者广泛关注, 在农业土壤改良培肥、固碳减排等方面展现出巨大的应用潜力, 但基于田间长期定位试验, 开展生物炭对大田土壤理化性质及作物产量的影响研究尚不多见。以西南地区玉米 (*Zea mays* L.)-油菜 (*Brassica campestris* L.) 轮作农田为研究对象, 通过不同生物炭添加比例的田间定位试验研究了生物炭施用对旱作农田土壤容重、pH 值、有机质、矿质态氮、有效磷、含水量等理化性质以及作物产量的影响, 试验共设 4 个处理: 单施复合肥、尿素 (C0); 复合肥、尿素+20 t·hm<sup>-2</sup> 生物炭 (C2); 复合肥、尿素+50 t·hm<sup>-2</sup> 生物炭 (C5); 复合肥、尿素+100 t·hm<sup>-2</sup> 生物炭 (C10)。结果表明: 与 C0 对比, C5 和 C10 处理均显著降低了土壤容重, 降低幅度分别为 14.6% 和 32.5%; C2、C5 和 C10 处理土壤年均 pH 比对照组分别提高了 0.10、0.17 和 0.15 个单位; 处理组土壤中有有机质含量比对照组分别提高 44.9%、137.7% 和 297.2%; 土壤硝态氮含量比对照组分别提高了 38.0%、26.3% 和 88.4%; 土壤有效磷含量分别提高了 34.8%、135.0% 和 232.2%; 生物炭处理下土壤年均含水量比对照组分别提高了 8.8%、29.1% 和 44.7%。玉米、油菜籽实和均表现为生物炭处理高于对照组。玉米籽实提高 7.6%~20.3%, 玉米根茎叶生物量提高 8.6%~46.8%; 油菜籽实产量提高显著, 高于对照组 15.7%~35.4%, 根茎叶生物量提高 17.2%~30.3%。综合来看, 本试验条件下, 生物炭施用有利于降低土壤容重, 提高土壤 pH、有机质含量、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量、有效磷含量、含水量, 显示出生物炭作为土壤改良剂施用于农田能有效改良土壤理化性质和提高耕作性能。

**关键词:** 生物炭; 土壤理化性质; 作物产量; 土壤改良剂

**中图分类号:** S156

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2014) 08-1292-06

**引用格式:** 房彬, 李心清, 赵斌, 钟磊. 生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1292-1297.

FANG Bin, LI Xinqing, ZHAO Bin, ZHONG Lei. Influence of Biochar on Soil Physical and Chemical Properties and Crop Yields in Rainfed Field [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(8): 1292-1297.

生物炭是农作物秸秆、稻壳、畜禽粪便和其它生物质废弃物在缺氧条件下进行高温热解而成的富含碳质且性质稳定固体产物, 大多数为粉状颗粒 (Sohi 等, 2010)。生物炭的元素组成主要包括碳 (一般高达 60% 以上)、氮、氢、氧等, 其次是碱性矿物质 (灰分, 包括钾、钙、钠、镁、磷、硅等) (Goldberg 等, 1985)。从微观上看, 生物炭多由紧密且不规则堆积的芳香环片层组成 (Van Zwieten 等, 2010), 表面多孔性特征显著 (Lehmann 和 Joseph, 2009), 因此具有较大的比表面积和较高的比表面能。高度的芳香化结构也使生物炭具备了可溶性低、抗氧化能力强和抗生物分解能力强的特性 (Lehmann, 2007)。生物炭较大的比表面积, 大量的表面负电荷, 高电荷密度等一系列特性赋予了生物炭很强离子吸附

特性 (Liang Biqing 等, 2006; Sombroek 等, 2003)。基于上述特性, 生物炭被国内外学者视作为一种有效的土壤改良剂和固碳剂, 广泛地应用于农业土壤、气候变化与环境生态等领域 (Glaser 等, 2000; Glaser 等, 2001; Lehmann 等, 2006)。生物质炭化还田有效衔接农业循环链条首尾两端, 为废弃生物质资源化高效利用、土壤改良培肥、农业固碳减排等提出了有效解决方案。针对不同自然区划、耕作制度和不同土壤类型, 深入开展生物炭改土培肥研究, 对提升中低产田的生产潜力, 确保国家粮食安全, 实现农业可持续发展, 都具有重要的现实意义。

近年来, 我国一些学者已经开始关注生物炭的土壤改良剂作用 (陈红霞等, 2011; 王丹丹等, 2013; 曾爱等, 2013), 但基于田间长期定位试验, 开展生

**基金项目:** 农业科技成果转化资金项目 (SQ2013EC4420013); 中国科学院战略性科技先导专项 (XDA05070400); 贵州省农业攻关计划项目 (黔科合 NY 字[2011]3079 号); 贵州省科技支撑计划项目 (黔科合 SY 字[2013]3135 号)

**作者简介:** 房彬 (1986 年生), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为农业废弃物资源化利用。E-mail: binfang87@hotmail.com

\*通信作者: 李心清, E-mail: lee@mail.gyig.ac.cn; 赵斌, E-mail: rrtjrd@163.com

**收稿日期:** 2014-05-19

物炭对大田土壤理化性质及作物产量的影响研究尚不多见。本研究选取西南地区旱地轮作农田,进行了为期一年的大田试验,研究生物炭施用对土壤物理、化学性质及作物产量的影响,以期认识旱地农田生态系统生物炭改良培肥作用提供更为直接的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

研究地区位于贵州省贵阳市开阳县,地理位置为 107°02'49" E, 27°00'40" N, 海拔 1 130 m。地貌上,属于云贵高原东侧梯状斜坡地带。气候类型属亚热带季风性湿润气候,四季分明,年均气温介于 10.6~15.3 °C 之间,最热为 7 月,平均温度 22.3 °C,最低温度为 1 月,平均气温 2.0 °C;雨水充沛,全年降水量 926.5~1 419.2 mm,降水多集中在夏季。全年日照时数 898.1~1 084.7 h,夏季日照时数占全年 39%。观测期从 2010 年 11 月开始,一直持续到 2011 年 10 月,作物轮作为玉米 (*Zea mays* L.)、油菜 (*Brassica campestris* L.),一年两熟。试验田土壤类型为石灰土,基础理化性质:容重为 1.28 g·cm<sup>-3</sup>,pH 为 8.30,有机质质量分数为 33.4 g·kg<sup>-1</sup>,全氮质量分数为 2.67 g·kg<sup>-1</sup>,C/N 为 7.3,有效磷质量分数为 11.9 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 供试材料

本研究所用生物炭是利用玉米和油菜秸秆通过缺氧不完全燃烧制成。炭化过程的升温速率为 18 °C·min<sup>-1</sup>,炭化最高温度为 550 °C。生物炭产率(生物炭质量与原材料质量比)为 30%。

生物炭的元素组成使用德国 Elementar 公司 Vario ELIII 型元素分析仪测定,经 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浸提用 Elementar 公司 High TOC II 型总有机碳/氮分析仪测定可溶性有机碳含量,其它理化性质分析方法参照土壤样品分析方法(鲁如坤,2000)。生物炭基本理化性质和有机碳、几种矿质养分组成如表 1 和表 2 所示。

### 1.3 试验设计

生物炭农田调控技术研究采用旱地轮作大田

试验,随机区组试验设计,试验设 4 个处理,小区面积 8 m<sup>2</sup>(长 4 m,宽 2 m),分别为处理 1:土壤中不施用生物炭(C0);处理 2:以 20 t·hm<sup>-2</sup> 比例施用生物炭(C2);处理 3:以 50 t·hm<sup>-2</sup> 比例施用生物炭(C5);处理 4:以 100 t·hm<sup>-2</sup> 比例施用生物炭(C10)。油菜移栽前,将生物炭与土壤充分混匀。每种处理均设 3 个重复,采用随机区组排列。试验为等量复合肥、尿素处理:油菜种植当天按 1 250 kg·hm<sup>-2</sup> 的比例施复合底肥,然后于 2011 年 2 月 5 日和 2011 年 2 月 24 日按 300 kg·hm<sup>-2</sup> 的比例追施尿素两次;玉米种植当天按 370 kg·hm<sup>-2</sup> 的比例施复合肥,2011 年 7 月 10 日按 325 kg·hm<sup>-2</sup> 的比例追施尿素一次。

### 1.4 样品采集和分析

观测期内,土壤样品每月采集一次,取自地表 0~10 cm 土层,用四分法对角取出适量土壤样品。土壤理化性质参照鲁如坤(2000)的方法测定,容重分析采用环刀法,全碳(TC)、全氮(TN)采用元素分析仪测定,pH 值采用酸度计(土水比为 1:5)土壤有机质含量采用高温外加热重铬酸钾氧化-容量法,有效磷含量测定采用碳酸氢钠-钼锑抗比色法,硝态氮、铵态氮分别采用酚二磺酸比色法和靛酚蓝比色法测定,含水量采用烘干法。除硝态氮、铵态氮和含水量测定用新鲜土外,其余土壤样品室内风干,过筛后测定相关理化性质。

在玉米和油菜收获季节采集供分析用的植株样品,每个处理的 2 个小区分别采除去边行后的 12 株玉米或油菜作为一组样品,每个植株样品分解为籽实和秸秆,秸秆包括籽实以外的其它收获部分,包括根茬和根。鲜样在 105 °C 杀青,80 °C 烘干至恒质量,称量,统计产量。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 软件进行数据整理,SPSS16.0 软件对几种处理进行差异显著性分析。图形的绘制采用 Sigmaplot10.0。

## 2 结果与讨论

### 2.1 施用生物炭对土壤容重的影响

土壤容重是土壤的重要物理性状,是衡量土壤肥力状况的重要指标之一。生物炭处理改变了耕层土壤容重(图 1),在 0~10 cm 土层,C0、C2、C5、C10 处理的土壤容重分别为 1.28、1.23、1.09 和 0.86 g·cm<sup>-3</sup>。与 C0 对比,C5 和 C10 处理均显著降低了土壤容重,降低幅度分别为 14.6% 和 32.5%。C2 处理相比 C0 的降低幅度为 3.5%,差异不显著。土壤容重降低表明土壤总孔隙度增加,意味着土壤通气状况改善和土壤水分入渗速率增大,其原因除了和生物炭密度低具有一定的稀释作用外,还可能与生

表 1 生物炭理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of Biochar

	C/%	N/%	H/%	C/N	pH(1:10)
生物炭	73.49	1.23	1.31	69.58	10.4

表 2 生物炭可溶性有机碳含量、矿质养分组成

Table 2 DOC and mineral nutrients content of Biochar

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	DOC/ %
生物炭	4.58	1.59	251.53	4.50

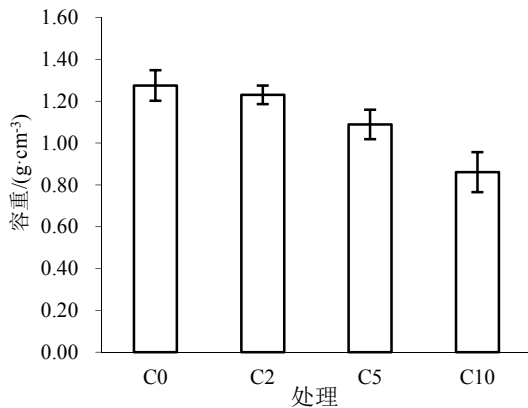


图1 生物炭对土壤容重的影响

Fig.1 Influence of biochar additions on soil bulk density

物炭促使生物炭微生物活性 (Birk 等, 2009) 提高以及团聚性增强 (Brodowski 等, 2006) 有关。

## 2.2 施用生物炭对土壤 pH 的影响

生物炭添加提高了土壤 pH (图 2)。观测期内, C2、C5 和 C10 土壤年均 pH 比 C0 分别提高了 0.10、0.19 和 0.20 个单位, pH 随生物炭用量增加而提高, 但差异均不显著。这表明生物炭对于防治土壤酸化方面具有一定效果。生物炭灰分中有不同浓度碱性物质, 如 K、Ca、Na、Mg 氧化物、氢氧化物、碳酸盐等 (何绪生等, 2011), 施入土壤通常可以提高土壤盐基饱和度, 降低可交换铝水平, 提高土壤 pH。由于研究区土壤呈碱性, 相比生物炭对酸性土壤 pH 改良效果 (Singh 等, 2010; Schmidt 和 Noack, 2000), 本研究生物炭添加提高土壤 pH 幅度略小。

## 2.3 施用生物炭对土壤有机质含量的影响

土壤有机质可以改良土壤结构, 提高土壤保水保肥能力, 改善土壤通气性和透水性, 支持微生物活动以及为植物提供营养等, 是土壤肥力的重要指标之一。C2、C5 和 C10 处理中土壤有机质含量比对照组 C0 分别提高 44.9%、137.7% 和 297.2% (图 3), 差异达到显著水平。相关分析表明, 观测期内

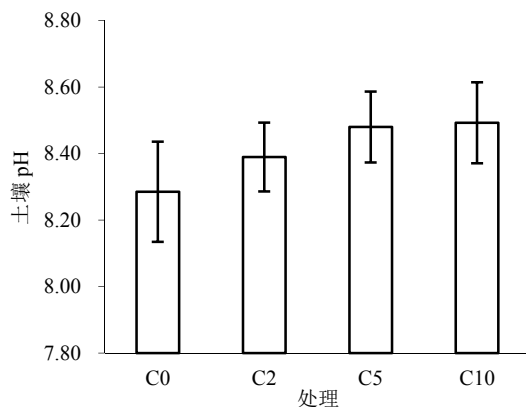


图2 生物炭对土壤 pH 的影响

Fig.2 Influence of biochar additions on soil pH

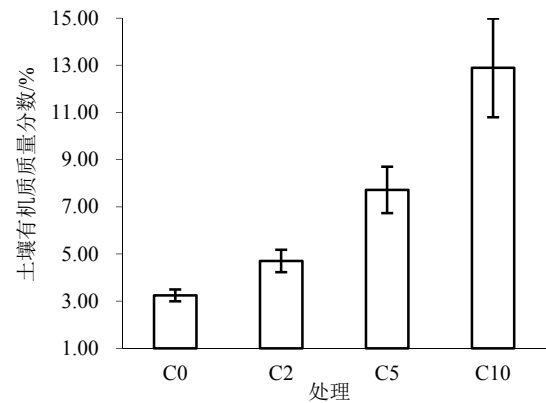


图3 生物炭对土壤有机质含量的影响

Fig.3 Influence of biochar additions on soil organic carbon content

土壤有机质含量同生物炭施用量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。Schmidt 等 (2000) 的研究表明, 生物炭作为一种富含有机碳的物质, 能提高土壤有机质含量水平, 其提高幅度取决于生物炭用量及稳定性 (Bruun 等, 2009); 另一方面, 生物炭能通过促进形成土壤有机-矿质复合体形成, 提高团聚体稳定性进而减少有机质淋失 (Glaser 等, 2002); 被包裹或吸附在生物炭空隙及有机-矿质复合体中的微生物生长繁殖及活性减弱, 也是可能的原因 (Liang Biqing 等, 2010)。

## 2.4 施用生物炭对土壤矿质态氮含量的影响

由图 4 可见, 生物炭添加提高了土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量, C2、C5 和 C10 处理中土壤平均  $\text{NO}_3^-$ -N 比对照组分别提高了 38.0%、26.3% 和 88.4%。生物炭独特的表面特性使其对土壤水溶液中的  $\text{NO}_3^-$ -N 有较强的吸附作用, 通过减少其溶解迁移避免淋失 (Lehmann 等, 2003); 另一方面, 生物炭施用改善了土壤通气状况, 降低了厌氧程度, 从而抑制了反硝化作用, 减少了  $\text{NO}_3^-$ -N 经反硝化作用损失 (Van Zwieten 等, 2010; Yanai 等, 2007)。观测期内不同处理土壤  $\text{NH}_4^+$ -N 含量  $\text{C0} > \text{C5} > \text{C10} > \text{C2}$ , C2、C5 和

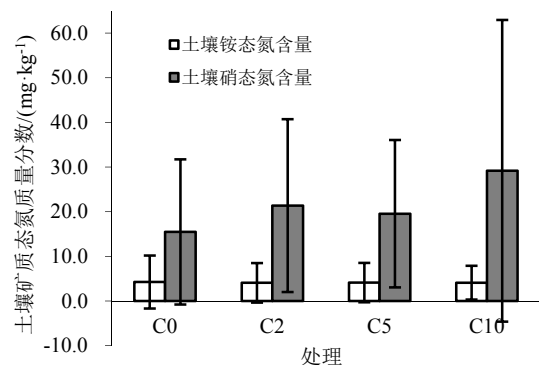


图4 生物炭对土壤矿质态氮含量的影响

Fig.4 Influence of biochar additions on soil mineral nitrogen content

C10 分别比 C0 降低 4.3%、3.5% 和 3.7%，差异并不明显。Schomberg 等（2012）的研究表明，生物炭施用下土壤 pH 的提高能促进氨挥发；Nelissen 等（2012）通过  $^{15}\text{N}$  同位素标记研究发现，生物炭能促进土壤氮素矿化作用和硝化作用， $\text{NH}_4^+\text{-N}$  作为矿化作用产物，同时也是硝化作用的底物，其含量的动态变化是多种作用累加的结果。不同农田管理措施下，生物炭对土壤矿质态氮不同影响机制间的相互关系应是下一步研究的重点。

### 2.5 施用生物炭对土壤有效磷含量的影响

生物炭的施用显著提高了土壤中有有效磷含量（图 5），与对照组相比，C2、C5、C10 生物炭处理的土壤有效磷含量分别提高了 34.8%、135.0% 和 232.2%。除了和生物炭本身较高的有效磷含量有关外（表 2），生物炭对磷素养分的吸持作用也是很重要的原因。生物炭不仅可以产生负电荷，也可产生正电荷，因而可以吸持有机质不吸持的磷素养分（Lehmann, 2007）。生物炭通过减少磷素养分的溶解迁移避免其流失，并在土壤中持续而缓慢地加以释

放，相当于磷素养分的缓释载体，从而达到保持肥力的效果。如 Laird 等（2010）指出 2% 比例的生物炭能减少土壤可溶性磷流失量的 69%。

### 2.6 施用生物炭对土壤含水量和持水能力的影响

土壤含水量受大气降水、蒸发、植物吸收蒸腾及土壤特性等影响，是决定植物生长和生态系统构成的关键指标。观测期内，不同生物炭添加比例的样地土壤含水量的变化趋势如图 6 所示。不同季节土壤含水量波动较大，但添加生物炭的土壤相比对照组含水量均有不同程度的提高，C5 和 C10 处理土壤含水量在一年中大部分时间达到显著水平（ $P < 0.05$ ）。从年平均土壤含水量来看（图 7），C2、C5 和 C10 处理下的土壤年均含水量相比空白对照分别提高了 8.8%、29.1% 和 44.7%。这表明生物炭添加提高了土壤持水性，这与 Karhu 等（2011）的研究结果相一致。这是由生物炭物理特性决定的，生物炭添加到土壤后改善了土壤孔隙结构，巨大的表面积和亲水基团进一步提高了土壤持水能力。

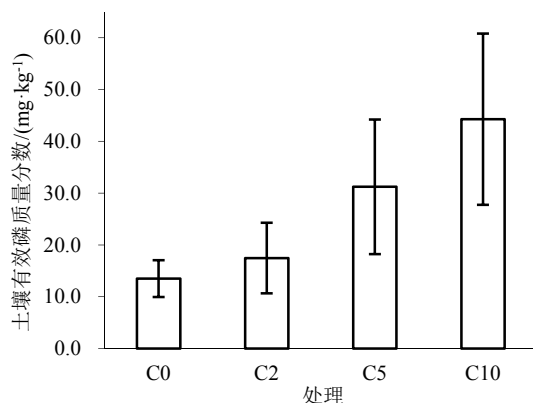


图 5 施用生物炭对土壤有效磷含量的影响

Fig.5 Influence of biochar additions on soil available phosphorus content

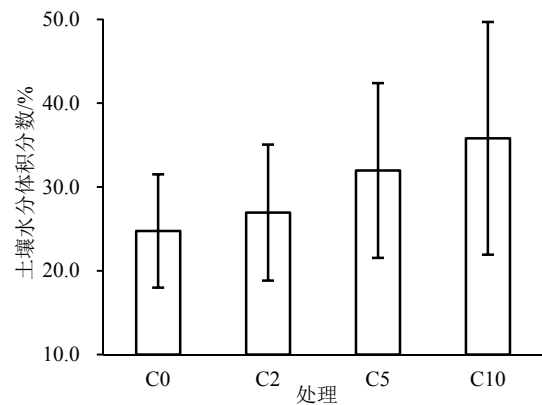


图 7 施用生物炭对土壤含水量的影响

Fig.7 Influence of biochar additions on soil water content

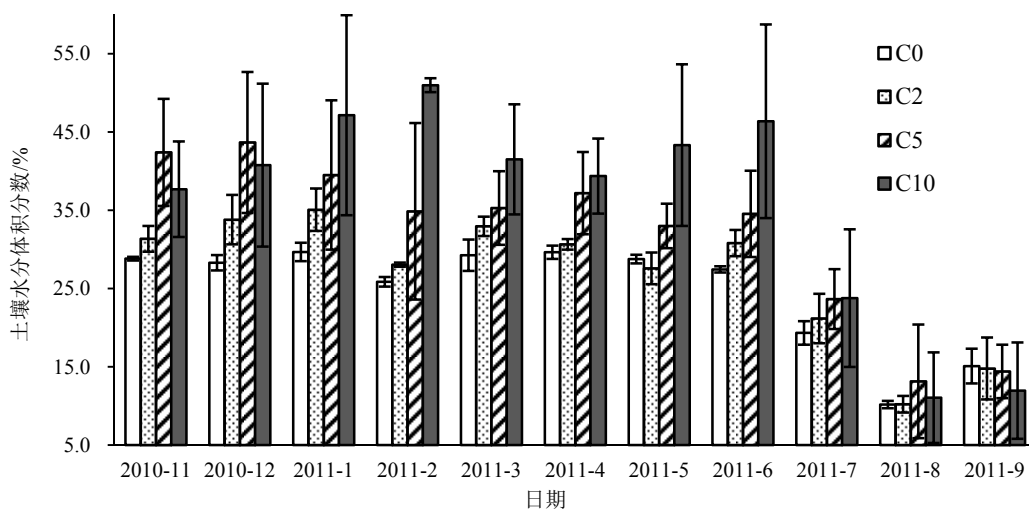


图 6 生物炭处理下土壤含水量季节变化

Fig.6 Influence of biochar additions on seasonal variations in soil water content

表3 生物炭对作物经济产量和生物量的影响

Table 3 Influence of Biochar on crop economic yields and biomass

作物	生物炭处理	作物产量	
		籽实产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	根茎叶生物量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
玉米	C0	7148.7a	5043.6a
	C2	7689.1a	5477.7ab
	C5	7940.2a	6924.2b
	C10	8597.2a	7402.2bc
油菜	C0	1861.2a	3548.2a
	C2	2154.1b	2937.3ab
	C5	2487.6c	3877.8ac
	C10	2521.0c	4622.7d

同种作物同列字母不同表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.7 施用生物炭对作物产量的影响

生物炭施用对不同作物产量的影响如表3所示,无论是籽实还是根茎叶生物量,生物炭处理下的玉米和油菜作物产量均高于对照组,表明生物炭有利于作物生物学产量的提高。油菜籽实产量随着生物炭添加比例增大有显著提高,C2、C5和C10分别提高15.7%、33.6%和35.4%;玉米产量表现出同样的增加趋势,增产作用分别为7.6%、11.1%和20.3%,但差异并不显著。对于油菜而言,20 t·hm<sup>-2</sup>比例的生物炭即能显著提高产量,50 t·hm<sup>-2</sup>生物炭比例下产量进一步提高,但100 t·hm<sup>-2</sup>的生物炭施用相比50 t·hm<sup>-2</sup>增产并不明显,从提高作物产量角度考虑,50 t·hm<sup>-2</sup>的生物炭施用量是最适宜的。对于玉米和油菜茎叶和根部生物量而言,50 t·hm<sup>-2</sup>和100 t·hm<sup>-2</sup>生物炭施用比例有显著促进作用,20 t·hm<sup>-2</sup>处理下则较不明显。相比对照处理,C2、C5、C10生物炭处理下玉米根茎叶生物量分别提高8.6%、37.3%和46.8%,普遍高于玉米籽实7.6%、11.1%、20.3%的增产效果。生物炭处理下油菜根茎叶生物量分别提高-17.2%、9.3%和30.3%,小于相应果实产量增幅。

整体而言,生物炭处理对两种作物都有增产效果,不同作物间增产效应有所不同,同种作物不同部位在生物炭促进作用下生物量积累的也有差异。Jeffery等(2011)对大量生物炭与作物生产力之间关系的研究结果进行统计分析发现,不同生物炭或土壤条件下,生物炭改良土壤后作物产量变化有较大差异(-28%~39%)。Van Zwieten等(2010)基于盆栽试验的研究显示,生物炭与肥料配施对大豆有增产效果,对小麦和萝卜产量则有抑制作用;单施生物炭对萝卜有增产效果,对小麦和大豆产量则无显著影响。由于作物营养特性的差异,不同作物类型对生物炭施加的反馈作用不尽相同。可见,生物炭的最佳增产效果除了受生物炭性质、土壤类型以及施肥状况影响外,还需考虑到作物类型反馈作

用的差异。

## 3 结论

(1)本研究条件下,土壤物理性质方面,50 t·hm<sup>-2</sup>和100 t·hm<sup>-2</sup>的生物炭施用量能显著降低土壤容重14.6%和32.5%;土壤年均含水量随生物炭增加而增长,幅度分别为8.8%、29.1%和44.7%。

(2)生物炭处理下土壤年均pH分别提高了0.10、0.19和0.20个单位;生物炭施用显著提高了土壤有机质含量,处理组土壤有机质含量比对照组分别提高44.9%、137.7%和297.2%;土壤养分中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量表现为生物炭处理组高于对照组38.0%、26.3%和88.4%,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量变化较小,有效磷含量分别提高34.8%、135.0%和232.2%,总体而言显示了生物炭作为土壤改良剂施用于农田能有效改良土壤和提高耕作性能。

(3)生物炭能提高油菜、玉米作物产量,玉米籽实提高7.6%~20.3%,玉米根茎叶生物量提高8.6%~46.8%;油菜籽实产量提高显著,高于对照组15.7%~35.4%,根茎叶生物量提高-17.2%~30.3%,生物炭添加对产量增益的贡献存在差异,但本试验条件下基本表现为产量随生物炭用量提高而增加的趋势。

## 参考文献:

- BIRK J, STEINER C, TEIXEIRA W, et al. 2009. Microbial response to charcoal amendments and fertilization of a highly weathered tropical soil[C]. Woods W I, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Amazonian Dark Earths. Wim Sombroek's Vision. Netherlands: Springer: 309-324.
- BRODOWSKI S, JOHN B, FLESSA H, et al. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil[J]. European Journal of Soil Science, 57:539-546.
- BRUUN S, EL-ZAHERY T, JENSEN L. 2009. Carbon sequestration with biochar—stability and effect on decomposition of soil organic matter[C]. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2009: IOP Publishing: 242010.
- GLASER B, BALASHOV E, HAUMAIER L, et al. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region[J]. Organic Geochemistry, 31(7): 669-678.
- GLASER B, HAUMAIER L, GUGGENBERGER G, et al. 2001. The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics[J]. Naturwissenschaften, 88(1): 37-41.
- GLASER B, LEHMANN J, ZECH W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review[J]. Biology and Fertility of Soils, 35(4): 219-230.
- GOLDBERG ED. 1985. Black carbon in the environment: properties and distribution. In: Black carbon in the environment: properties and distribution [M]. New York: John Wiley and Sons: 10-98.
- JEFFERY S, VERHEIJEN F, VAN DER VELDE M, et al. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 144(1): 175-187.
- KARHU K, MATTILA T, BERGSTRÖM I, et al. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity—Results from a short-term pilot field study[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 140(1): 309-313.
- LAIRD D A, FLEMING P, DAVIS D D, et al. 2010. Impact of biochar

- amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 158(3): 443-449.
- LEHMANN J, GAUNT J, RONDON M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review[J]. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2): 395-419.
- LEHMANN J, JOSEPH S. 2009. Biochar for environmental management: science and technology[M]. London: Earthscan Ltd: 107-157.
- LEHMANN J, PEREIRA DA SILVA J, STEINER C, et al. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. *Plant and Soil*, 249(2): 343-357.
- LEHMANN J. 2007. Bio-energy in the black[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7): 381-387.
- LIANG B, LEHMANN J, SOHI SP, et al. 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil[J]. *Organic Geochemistry*, 41(2): 206-213.
- LIANG B, LEHMANN J, SOLOMON D, et al. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5): 1719-1730.
- NELISSEN V, RÜTTING T, HUYGENS D, et al. 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 55: 20-27.
- SCHMIDT M W, NOACK A G. 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges[J]. *Global biogeochemical cycles*, 14(3): 777-793.
- SCHOMBERG H H, GASKIN J W, HARRIS K, et al. 2012. Influence of biochar on nitrogen fractions in a coastal plain soil[J]. *Journal of environmental quality*, 41(4): 1087-1095.
- SINGH B, SINGH B P, COWIE A L. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment[J]. *Soil Research*, 48(7): 516-525.
- SOHI S, KRULL E, LOPEZ-CAPEL E, et al. 2010. A review of biochar and its use and function in soil[J]. *Advances in Agronomy*, 105: 47-82.
- SOMBROEK W, RUIVO M, FEARNESIDE P, et al. 2003. Anthropogenic Dark Earths as Carbon Stores and Sinks[M]. In: Lehmann J, Kern D C, Glaser B, et al. *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer: Dordrecht, The Netherlands: 125-139.
- VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant and Soil*, 327(1): 235-246.
- VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. 2010. Influence of biochars on flux of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from Ferrosol[J]. *Soil Research*, 48(7): 555-568.
- YANAI Y, TOYOTA K, OKAZAKI M. 2007. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short - term laboratory experiments[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 53(2): 181-188.
- 曾爱, 廖允成, 张俊丽, 等. 2013. 生物炭对壤土土壤含水量, 有机碳及速效养分含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 32(5): 1009-1015.
- 陈红霞, 杜章留, 郭伟, 等. 2011. 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*, 22: 2930-2934.
- 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 2011. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. *中国农学通报*, 27(15): 16-25.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社: 12-289.
- 王丹丹, 郑纪勇, 颜永毫, 等. 2013. 生物炭对宁南山区土壤持水性能影响的定位研究[J]. *水土保持学报*, 27(2): 101-104.

## Influence of Biochar on Soil Physical and Chemical Properties and Crop Yields in Rainfed Field

FANG Bin<sup>1,2</sup>, LI Xinqing<sup>2\*</sup>, ZHAO Bin<sup>1\*</sup>, ZHONG Lei<sup>1</sup>

1. Tianjin Recyclable Resources Institution, All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives, Tianjin 300191 China;

2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institution of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

**Abstract:** There has been an increased interest in biochar due to its structural and functional properties. Biochar has shown great potential in fertilizing and improving agricultural soils, and carbon sequestration and abatement. However, few literature has been reported about the influence of biochar on soil physical and chemical properties and crop yields based on long-term field trail. Therefore, a field experiment was conducted to study the effects of biochar amendment on the soil bulk density, pH, organic matter, nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), available phosphorous and water content in a rainfed field with corn-rapeseed rotation in SW China. Four treatments installed in this experiment were C0 (compound fertilizer, urea), C2 (compound fertilizer, urea plus 20 t·hm<sup>-2</sup> biochar), C5 (compound fertilizer, urea plus 50 t·hm<sup>-2</sup> biochar), C10 (compound fertilizer, urea plus 100 t·hm<sup>-2</sup> biochar). Results showed that biochar additions in C5 and C10 significantly decreased soil bulk density by 14.6% and 32.5% comparing to C0. Under biochar addition, soil pH was increased by 0.10, 0.17 and 0.15 in C2, C5 and C10, respectively; soil organic matter (SOM) content increased by 44.9%, 137.7% and 297.2%; nitrate nitrogen content increased by 38.0%, 26.3% and 88.4%; available phosphorous content increased by 34.8%, 135.0% and 232.2%. Also, biochar addition increased average annual soil water content by 8.8%, 29.1% and 44.7%. Seed and biomass yield of both maize and rape observed improvements in all biochar-amended plots compared to the control. Maize seed and biomass yield of increased by 7.6%~20.3% and 8.6%~46.8%; rape seed yield increased significantly by 15.7%~35.4%, and biomass yield by -17.2%~30.3%. These results indicated biochar treatment was conducive in lowering the soil bulk density and enhancing the soil pH, organic matter, nitrate nitrogen(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), available phosphorous and water content, suggesting that as soil conditioner, biochar will obviously improve soil physical and chemical properties and increase the soil nutrient supplying capacity.

**Key words:** biochar; soil chemical and physical properties; crop yield; soil conditioner