

生物炭对灌耕风沙土土壤性质及玉米产量的影响

张云舒¹, 唐光木¹, 葛春辉¹, 蒲胜海¹, 徐万里¹, 范燕敏²

(1.新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所,新疆 乌鲁木齐 830091;2.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要:针对灌耕风沙土养分贫瘠,保水保肥性能差等突出问题,采用田间微区定位试验,研究不同施用量生物炭对灌耕风沙土土壤性质及玉米产量的影响。试验设置5个处理:(1)不施炭(CK);(2)22.5 t·hm⁻²生物炭(1%BC);(3)67.5 t·hm⁻²生物炭(3%BC);(4)112.5 t·hm⁻²生物炭(5%BC);(5)225.0 t·hm⁻²生物炭(10%BC)。五年定位试验结果表明:与对照相比,施用生物炭能显著降低灌耕风沙土土壤容重降低了2.8%~12.6%;生物炭施用显著增加灌耕风沙土土壤全氮、有机质、速效钾及阳离子代换量含量,分别增加了7.9%~28.6%、47.2%~148.3%、8.9%~29.6%、6.7%~19.8%;生物炭施用玉米产量提高了10.2%~42.1%。研究表明,施用生物炭能有效改善灌耕风沙土的土壤质地和养分状况,提高灌耕风沙土土壤肥力,增加作物产量。

关键词:生物炭;灌耕风沙土;土壤性状;土壤养分;玉米产量

中图分类号:S151;S513 **文献标志码:**A

Effects of biochar on soil properties and corn yield of irrigated sandy soil

ZHANG Yun-shu¹, TANG Guang-mu¹, GE Chun-hui¹, PU Sheng-hai¹, XU Wan-li¹, FAN Yan-min²

(1. Institute of Soil, Fertilizer, and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China;

2. College of Grassland and Environmental Science of Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: To resolve the problems of nutrient depletion, low water holding capacity, and poor soil fertility in irrigated sandy soils, a 5-year fixed field experiment was conducted to study the effects of biochar application on soil properties and corn yield. The experiment included five treatments: 0 kg·hm⁻², 22.5 t·hm⁻², 67.5 t·hm⁻², 112.5 t·hm⁻², and 225.0 t·hm⁻² of biochar. The results of five years experiment showed that, compared with CK, application of biochar decreased soil bulk density by 2.8%~12.6%, and significantly increased the contents of total N, organic carbon, available K, and cation exchange capacity by 7.9%~28.6%, 47.2%~148.3%, 8.9%~29.6%, and 6.7%~19.8%, respectively. The corn yield was increased by 10.2%~42.1% by biochar application. The study showed that application of biochar in the irrigated sandy soil could significantly improve soil physical and chemical properties, nutrient utilization efficiency, and soil fertility. Consequently, it can increase the crop yield.

Keywords: biochar; irrigation farming sandy soil; soil property; soil nutrition; corn yield

风沙土是从风成沙性母质上发育的土壤,是新疆分布面积最大的土类,主要分布在塔里木盆地腹地的塔克拉玛干沙漠和准噶尔盆地腹地的古尔班通古特沙漠等边缘地区。灌耕风沙土是人为耕种形成的一类土壤,养分贫瘠,有机质含量低,保水保肥性能差,是新疆主要的低产土壤之一。寻求有效的土壤改良方式,改善其理化性质,培肥土壤,对该

区域作物产量和农业可持续发展具有重要作用。生物炭(又称生物焦,生物黑炭, Biochar)是由植物生物质在完全或部分缺氧下热解产生的一类高度芳香化固态物质。生物炭具有较大的孔隙度和比表面积,可以长时间保持稳定而不易在短时间内分解^[1];同时,生物炭具有快速增加土壤有机质含量、改善土壤理化性状、降低肥料损失等特点^[2-3]。聂

新星等^[4]研究结果表明,灰潮土上施用生物炭后,能显著提高土壤有机碳和速效钾含量,但对土壤容重、pH值、碱解氮、速效磷的影响不显著。王月玲等^[5]研究认为,施用生物炭能提高土壤总有机碳、全氮含量和土壤碳库管理指数。房彬等^[6]研究结果表明,生物炭施用有利于降低土壤容重,提高土壤有机质、硝态氮、有效磷含量。关于生物炭效应的许多研究都是短期研究结果,本研究基于课题组于2010年开始的定位试验,研究了生物炭施用5年后对灌耕风沙土土壤性质的影响,以期生物炭农业应用提供更具价值的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间微区定位试验位于新疆和田地区农技推广中心下属农科所,属于暖温带极端干旱荒漠气候,年均气温12.5℃,年均降水量为36.4 mm,年均蒸发量为2 618 mm。试验于2010年整地,2011年春季开始,微区面积2 m²。土壤类型为风沙土,砂粒、粉粒和粘粒含量分别为39.06%、54.00%和6.94%。试验前0~20 cm土层土壤基本理化性质:pH 8.28,有机质13.49 g·kg⁻¹,全氮0.76 g·kg⁻¹,速效氮58.2 mg·kg⁻¹,速效磷8.3 mg·kg⁻¹,速效钾134 mg·kg⁻¹、阳离子交换量2.08 cmol·kg⁻¹。生物炭为河南三利新能源有限公司提供的小麦秸秆炭,特性如下:pH 8.28,有机碳670 g·kg⁻¹,速效磷82.2 mg·kg⁻¹,速效钾1 590 mg·kg⁻¹,阳离子交换量62.6 cmol·kg⁻¹。

1.2 试验设计

按照耕层(0~20 cm)土壤质量150 t·667m⁻²计算,试验共设5个处理:(1)不施炭(CK);(2)22.5 t·hm⁻²生物炭(1%BC);(3)67.5 t·hm⁻²生物炭(3%BC);(4)112.5 t·hm⁻²生物炭(5%BC);(5)225.0 t·hm⁻²生物炭(10%BC)。每个处理化肥施用量相同,生物炭于2011年春季定位试验开始前一次施入,试验开始后不再施入。

1.3 样品采集与方法

于2015年作物采收后,将每个微区分成三块区域,每块区域采用5点法采集耕层0~20 cm土壤样品,混合均匀并仔细剔除植物残体及其他杂物,土壤放置实验室通风处阴干过筛,测定理化指标。

土壤基本理化性质测定方法:容重采用环刀法测定;pH值采用pH计按土水比1:2.5测定;全氮采用凯氏定氮法;全磷采用酸溶—钼锑抗比色法;全钾采用酸溶—火焰光度法;有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷

采用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用1 mol·L⁻¹ NH₄OAc浸提—火焰光度法;阳离子交换量即CEC采用乙酸钠—火焰光度法。

1.4 数据处理及统计分析

采用Excel 2003和DPS 7.05版软件对数据进行整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 施用生物炭对土壤容重的影响

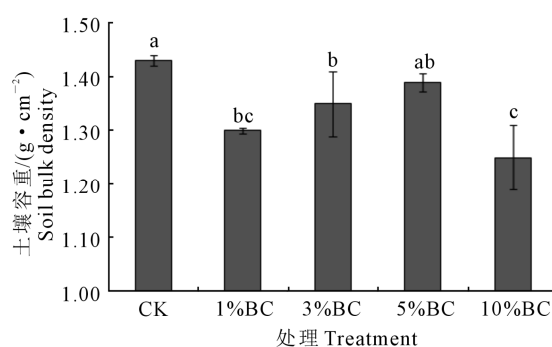
从图1可以看出,经过5 a的定位试验,不同处理间土壤容重发生了变化。与对照相比,施用生物炭后,可以降低灌耕风沙土土壤容重,降低了2.8%~12.6%。与对照相比,施用高量生物炭处理(10%BC)可以明显降低灌耕风沙土土壤容重,降低到1.25 g·cm⁻³。

2.2 施用生物炭对土壤pH值影响

从图2可以看出,经过5 a的定位试验,不同用量生物炭处理对灌耕风沙土土壤pH值影响不显著。土壤初始pH值是8.28,试验后pH值在8.60~8.71范围之内,变化幅度较小。

2.3 施用生物炭对土壤全氮含量的影响

从图3可以看出,经过5 a的定位试验,不同处理间土壤全氮含量发生了变化。与对照相比,施用生物炭可以增加灌耕风沙土土壤全氮含量,土壤全氮含量增加了7.9%~28.6%,其中以高量生物炭处



注:图中不同小写字母表示5%显著水平。下同。

Note: Different letters in the fig. represented significant differences at $P<0.05$. The same below.

图1 不同处理土壤容重变化

Fig.1 Changes of soil bulk density with different treatments

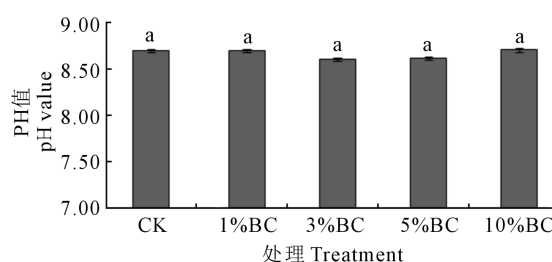


图2 不同处理土壤pH值变化

Fig.2 Changes of soil pH with treatments

理(10%BC)土壤全氮含量最高,增加了 28.6%,含量为 0.966 g · kg⁻¹。

2.4 施用生物炭对土壤有机质含量的影响

从图 4 可以看出,经过 5 a 的定位试验,不同处理间土壤有机质含量发生了显著的变化。与对照相比,施用生物炭可以显著增加灌耕风沙土土壤有机质的含量,土壤有机质含量增加了 35.2% ~ 148.3%,其中以高量生物炭处理(10%BC)土壤有机质含量最高,土壤有机质含量增加了 148.3%,是对照的 2 倍多。随着生物炭施用量的增加,土壤有机质含量呈上升趋势。

2.5 施用生物炭对土壤速效养分含量的影响

从表 1 可以看出,经过 5 a 的定位试验,土壤速效钾含量发生了显著变化。与对照相比,施用生物炭可以显著增加灌耕风沙土土壤速效钾的含量,土壤速效钾含量增加了 8.9% ~ 32.8%,以高量生物炭

表 1 不同处理土壤速效养分含量变化

Table 1 Changes of available soil nutrition with treatments

处理 Treatment	速效氮 Available N /(mg · kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg · kg ⁻¹)
CK	62.5±1.67bc	80.0±0.46a	146.3±2.08d
1%BC	67.8±2.21a	79.3±1.60a	184.7±1.53b
3%BC	60.1±3.83c	65.2±0.83c	159.3±2.52c
5%BC	68.3±3.01a	72.4±2.00b	161.3±0.58c
10%BC	65.4±0.84ab	65.8±1.91c	189.7±2.08a

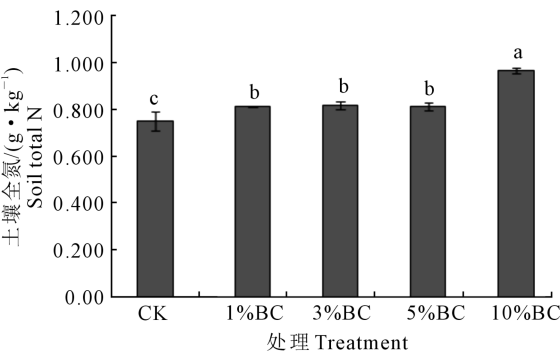


图 3 不同处理土壤全氮含量变化

Fig.3 Changes of total soil N with treatments

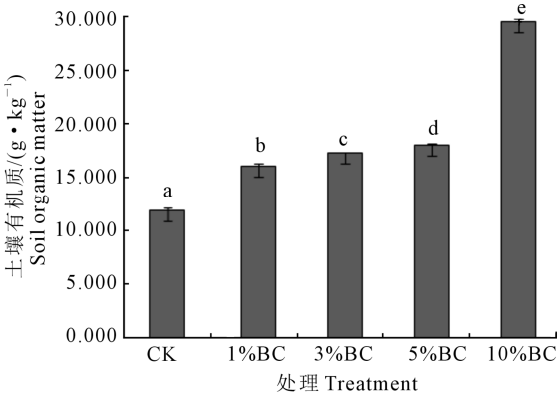


图 4 不同处理土壤有机质含量变化

Fig.4 Changes of soil organic matter with treatments

处理(10%BC)速效钾含量最高,增加了 29.6%。生物炭处理对速效钾含量有一定的提升作用,却降低了速效磷的含量,但没有发现稳定的规律,其影响效应尚需进一步的试验验证。

2.6 施用生物炭对土壤 CEC 含量的影响

从图 5 可以看出,经过 5 a 的定位试验,不同处理间土壤 CEC 含量发生了变化。与对照相比,施用生物炭可以显著增加灌耕风沙土土壤 CEC 含量,土壤 CEC 含量增加了 6.7% ~ 21.7%,其中以高量生物炭处理(10%BC)CEC 含量最高,土壤 CEC 含量增加了 19.8%。

2.7 施用生物炭对玉米产量的影响

由 2015 年玉米产量的统计结果可以看出(图 6),与对照相比,施用生物炭产量显著增加了 10.2% ~ 42.1%,其中以生物炭处理(5% BC)的玉米产量最高,生物炭处理(3% BC)的玉米产量次之。

3 讨 论

以灌耕风沙土为研究对象,通过施用不同量生物炭的研究发现,施用生物炭后土壤理化性状和作物产量发生了不同程度的改变。试验数据显示,施用生物炭后,土壤物理化学指标有不同程度的增加和改善,其中对土壤容重、阳离子交换量、有机质、全氮及速效钾含量影响较大。

3.1 生物炭对灌耕风沙土理化性状的影响

土壤容重是反映土壤紧实状况的主要物理指标。经过 5 a 的定位试验,施用生物炭后,灌耕风沙

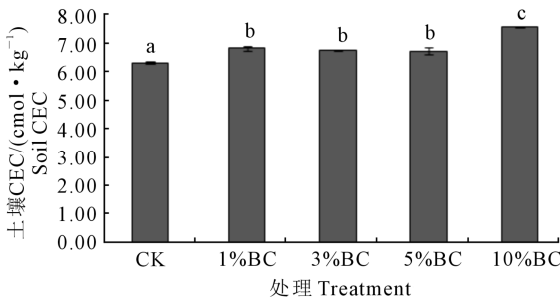


图 5 不同处理土壤 CEC 含量变化

Fig.5 Changes of soil CEC with treatments

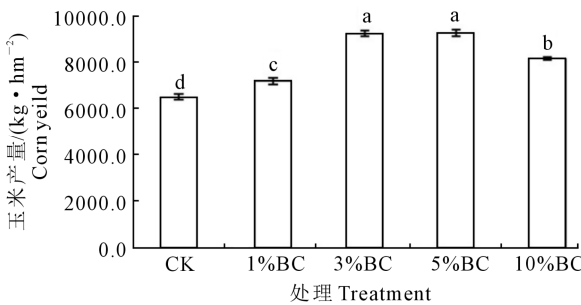


图 6 不同处理玉米产量变化

Fig.6 Changes of corn yield with treatments

土土壤容重都有不同程度的下降,当施用量达到 $225.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,土壤容重显著降低。这可能是由于生物炭具有疏松多空结构,施入土壤后,能增加灌耕风沙土土壤总孔隙度,并促进微生物活动,从而促进形成良性土壤结构^[7]。

灌耕风沙土本身具有保肥能力差的特点。本研究结果表明,添加生物炭后,土壤阳离子交换量高于对照,从而改善了灌耕风沙土的保肥性能。这可能是因为施用生物炭增加了土壤有机质含量,而有机质与阳离子交换量有着极显著的正相关关系,土壤有机质含量增加,土壤 CEC 增大^[8];此外,经过热解后,生物炭的比表面积增大,且生物炭某些官能团会发生氧化,导致表面的含氧官能团数量增加,表面丰富的含氧官能团所产生的表面负电荷可以吸附较多的盐基离子,从而使得生物炭具有较高的 CEC^[9]。

土壤有机质是土壤肥力的重要指标之一,是植物的重要营养库。本研究结果表明,添加生物炭对提高灌耕风沙土有机质含量有明显的作用,随着生物炭用量的增加,土壤有机质的含量也随之增加,可能是由于生物炭本身含碳量较高,化学稳定性较高,有利于土壤有机质的积累^[10]。本试验供试土壤为灌耕风沙土,养分含量少。本研究结果表明,施用生物炭后,与对照相比,土壤全氮含量显著增加。一方面可能是由于生物炭表面丰富的含氧官能团带有负电荷对 NH_4^+ 的吸附,从而减少氮素的损失^[11];另一方面,生物炭疏松多孔结构对土壤通气状况的改善,抑制了氮素的反硝化作用,同时有利于固氮微生物群落的发展,从而使得土壤氮素储量增加^[12]。有研究表明^[13],施用生物炭能增加土壤速效钾含量,一方面可能是因为生物炭本身速效钾含量比较高,施入土壤中能增加土壤速效钾含量;另一方面,土壤速效钾含量会随着土壤有机质含量增加而增加。本研究结果也表明,施用生物炭后,与对照相比,土壤速效钾含量显著增加,但未表现为随着生物炭施用量增加,速效钾含量随之增加,可能是因为中量生物炭处理产量比较高,作物从土壤中吸收养分多,残留在土壤中的速效养分就少。

3.2 生物炭对玉米产量的影响

生物炭对作物产量的影响受生物炭材料、制备条件(温度、氧气)、土壤性质、施肥状况和作物品种等诸多因素的影响^[14]。房彬等^[6]在贵州石灰土上施用生物炭后发现,轮作玉米、油菜的产量均显著提高。尚杰等^[15]研究发现,在沙土上施用生物炭对糜子有增产效应,但在壤土和盐土上增产效果不明显。本研究表明灌耕风沙土上施用生物炭,对玉米具

有增产效果,可能是因为施用生物炭增加了土壤全氮、有机质及速效钾含量,促进了植物和根系的生长。

4 结 论

1) 与对照相比,施用生物炭处理能显著降低灌耕风沙土土壤容重,改善土壤结构,促进灌耕风沙土形成良性土壤环境。

2) 与对照相比,生物炭施用能够显著增加灌耕风沙土土壤全氮、有机质、速效钾及土壤 CEC 含量,分别增加了 7.9%~28.6%、47.2%~148.3%、8.9%~29.6%、6.7%~19.8%。施用高量生物炭处理($225.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)全氮、有机质、速效钾及土壤 CEC 含量分别增加了 28.6%、148.3%、29.7%、19.8%。

3) 生物炭施用能够明显增加玉米产量,作物增产了 10.2%~42.1%。

参 考 文 献:

- [1] Schmidt M W I, Noack A G. Black carbon in soils and sediments: Analysis distribution, implications and current challenges[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14(3): 777-794.
- [2] Lehmann J. A handful of carbon[J]. *Nature*, 2007, 447(10): 143-144.
- [3] Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, et al. Agronomic values of greewaste biochar as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45: 629-634.
- [4] 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.
- [5] 王月玲,耿增超,尚杰,等.施用生物炭后壤土土壤有机碳、氮及碳库管理指数的变化[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(3): 532-539.
- [6] 房彬,李心情,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.
- [7] Woods W I, Teixeira W G, Lehmann J. Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision[M]. Netherlands: Springer, 2009: 309-324.
- [8] 范庆峰,虞娜,张玉,等.设施蔬菜栽培对土壤阳离子交换性能的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(5): 1132-1137.
- [9] 刘玉学,吕豪豪,石岩,等.生物炭对土壤养分淋溶的影响及潜在机理研究进展[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(1): 304-310.
- [10] 周桂玉,窦森,刘志杰,等.生物炭结构性性质及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(10): 2075-2080.
- [11] Clough T J, Condron L M. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, 39: 1218-1223.
- [12] 潘逸凡,杨敏,董达,等.生物炭对土壤氮素循环的影响及其机理研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2666-2673.
- [13] 徐琪,段欣玲,刘颖,等.基施生物炭对强筋春小麦植株营养及土壤养分供应的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(7): 69-71.
- [14] 邓万刚,吴鹏豹,赵庆辉,等.低量生物炭对2种热带牧草产量和品质的影响研究初报[J]. *草地学报*, 2010, 18(6): 844-853.
- [15] 尚杰,耿增超,陈心想,等.生物炭对土壤酶活性和糜子产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 146-151, 158.