



生物炭对盐碱土理化性质及大豆产量的影响

孔祥清¹, 韦建明¹, 常国伟¹, 宋佳¹, 吕艳东¹, 王智慧^{1,2}, 殷大伟^{1,2}, 李红宇¹

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆, 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学 黑龙江省秸秆资源化利用工程技术研究中心, 黑龙江 大庆, 163319)

摘要:为改良松嫩平原盐碱地土壤地力, 提高作物产量, 对生物炭改良盐碱土的技术理论进行完善, 用随机区组设计, 研究了不同生物炭用量对盐碱土水分渗透性及大豆产量的影响。结果表明, 生物炭增加了盐碱土水分渗透性能, 生物炭处理 Y3 初始渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率、累积入渗量和饱和渗透系数分别为 CK 的 23.75, 28.46, 23.69, 24.42 和 24.79 倍。生物炭增加了盐碱地的有机质、速效磷、速效钾、全氮、全磷和全钾含量。生物炭处理 Y3 的大豆产量最高, 单株产量达 3.17 g, 为 CK 的 2.22 倍。

关键词:盐碱土; 生物炭; 水分渗透性; 养分; 大豆

Effect of Biochar on the Physical and Chemical Properties of Saline-alkali Soil and Soybean Yield

KONG Xiang-qing¹, WEI Jian-ming¹, CHANG Guo-wei¹, SONG Jia¹, LYU Yan-dong¹, WANG Zhi-hui^{1,2}, YIN Da-wei^{1,2}, LI Hong-yu¹

(1. College of Agricultural, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Heilongjiang Straw Engineering and Technology Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to improve the soil fertility of saline-alkali soil in Songnen plain and increase local crop yield, the theoretical theory of improving saline-alkali land with biochar is proposed. This experiment adopted randomized block design with different dosages of biochar, and the soil moisture permeability and soybean yield were researched. The results showed that biochar could increase the soil moisture permeability. The initial infiltration rate, average penetration rate, steady infiltration rate, cumulative infiltration amount, and saturated permeability coefficient in treatment Y3 were 23.75, 28.46, 23.69, 24.42 and 24.79 times of CK respectively. The biochar increased the content of organic matter, available phosphorus, available potassium, total nitrogen, total phosphorus and total potassium. The soybean yield reached the maximum value 3.17 g per plant in Y3, and was 2.22 times of CK.

Keywords: Saline-alkali soil; Biochar; Moisture permeability; Nutrient content; Soybean

松嫩平原盐碱地理化与生物学性质恶化, 长期以来严重降低了作物产量, 迫切需求改良盐碱土的低碳新型技术^[1]。生物炭是指农林废弃物等生物质在缺氧条件下热解形成的稳定富碳产物^[2], 具有疏松多孔和巨大的比表面积^[3], 可改善土壤理化性质^[4]。生物炭作为微生物栖息的场所能够促进土壤微生物繁殖^[5], 提高土壤地力。多数研究表明, 生物炭可对作物产量起到积极正向的调控作用^[5-7], 但关于生物炭对松嫩平原盐碱地的改良研究及对寒地作物的研究报道较少, 有待于进行深入

的研究。

本试验采用不同用量的大豆秸秆生物炭与盐碱土混合, 采用随机区组设计, 研究了生物炭对盐碱地水分渗透性能、养分含量及大豆产量的影响, 旨在为以生物炭为核心改良盐碱土提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为黑河 19(黑龙江省农业科学院提供)。选取玉米秸秆为原材料制成的生物炭, 将

收稿日期: 2017-12-07

基金项目: 国家十三五重点研发项目(2017YFD0200803); 黑龙江省自然科学基金(QC2017023); 黑龙江八一农垦大学博士科研启动项目(XYB2014-0.5); 黑龙江省政府博士后资助项目(LBHZ17186); 农垦总局科技攻关项目(HNKXIV-02-05-06)。

第一作者简介: 孔祥清(1963-), 男, 硕士, 教授, 主要从事生物炭应用基础研究。E-mail: xqkong@sina.com。

通讯作者: 李红宇(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事生物炭应用基础研究。E-mail: yindazhiyindawei@126.com。

秸秆室外自然晾晒风干,待含水量降至16%以下时储存于干燥通风的环境中,然后按照专利(ZL201110073104.1)《一种组合式生物质颗粒炭化炉及其制炭方法》制备生物炭。供试土壤为黑龙江省草甸盐碱土,试验于黑龙江八一农垦大学教学试验基地进行。

1.2 试验设计

采用盆栽试验,盆的顶部直径为30 cm,底部直径为25 cm,将生物炭按不同剂量与盐碱土壤充分混合。试验设置4个处理,CK(Y0)、处理1(Y1)、处理2(Y2)和处理3(Y3),生物炭用量分别为:0,10,30和50 t·hm⁻²,采用随机区组设计,常规管理。将盐碱土、生物炭与化学肥料充分混合均匀,化学肥料种类为尿素、磷酸二铵和氯化钾,用量分别为150,120和105 kg·hm⁻²,化学肥料一次性施用作为基肥,其它时期不再施用肥料,按大田常规措施播种和管理。

于大豆生长期(6月1日、8月1日和10月1日)测定土壤水分渗透性能指标,包括初始渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率、渗透总量和饱和导水系数;测定土壤理化指标,包括土壤pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全磷、全钾和全氮。

于大豆成熟期取具有代表性的植株于试验室进行产量考察。

1.3 方法

采用环刀法研究累计入渗量、初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率和饱和导水系数,按以下公式计算:初始入渗率=最初入渗时段内渗透量/入渗时间,本研究选取初始10 min的渗透量;平均渗透速率=达稳渗时的渗透总量/达稳渗时的时间;稳定入渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率,累计入渗量为60 min内的渗透量,土壤饱和渗透系数按照《土壤学实验指导》^[8]测定。

采用凯氏定氮法测定全N,采用NaOH熔融-钼锑抗比色法测定全磷,采用火焰光度计法测定全钾和速效钾,采用扩散法测定碱解N,采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定速效P^[9]。

1.4 数据分析

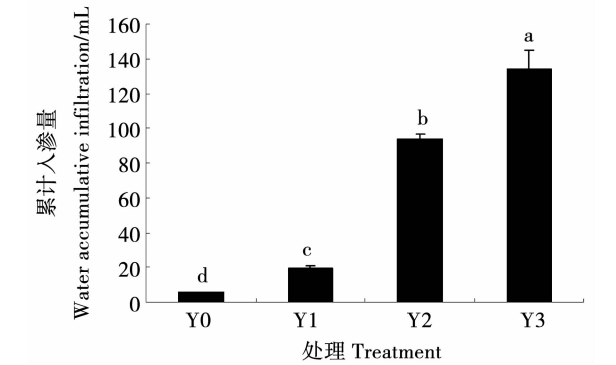
采用Excel 2003进行数据整理并用SPSS 19.0数据处理软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭对盐碱土水分渗透性能的影响

2.1.1 水分累计入渗量 如图1所示,生物炭可显

著增加盐碱土的水分累计入渗量,并在Y3达到最大值,表现为Y3>Y2>Y1>Y0。Y1~Y3的水分累积入渗量分别为19.8,93.4和134.33 mL,分别为CK累积入渗量5.50 mL的3.60,16.98和24.42倍。盐碱土水分入渗量的增加对于增加土壤水分含量、促进根系发育及产量具有重要作用。



不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平存在极显著差异,下同。
Different lowercase mean significant difference at $P < 0.05$ level, the same as below.

图1 生物炭对盐碱土水分累计入渗量的影响

Fig. 1 The effects of biochar on the water accumulative infiltration of saline-alkali soil

2.1.2 水分初始渗透速率 初始入渗率是初期土壤水分的瞬时入渗率。如图2所示,生物炭显著增加了盐碱土的初始渗透速率,Y1~Y3的初始渗透速率分别为0.30,1.84和1.90 mm·min⁻¹,分别为CK(0.08 mm·min⁻¹)的3.75,23.00和23.75倍。这主要是由于生物炭增加了盐碱土的孔隙度,进而使初始渗透速率增加。

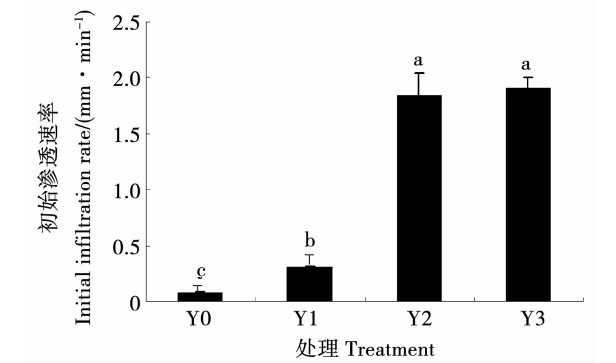


图2 生物炭对初始渗透速率的作用

Fig. 2 Effects of biochar on the initial infiltration rate

2.1.3 水分平均渗透速率 由图3可知,生物炭可显著增加盐碱土的平均渗透速率,处理Y1~Y3的平均渗透速率为0.13,1.53,1.85 mm·min⁻¹,分别为CK(0.07 mm·min⁻¹)的2.04,23.46和28.46倍,表现为Y3>Y2>Y1>Y0的趋势。这说明生物

炭可以有效调控盐碱土的水分渗透性能,这对于调节土体盐分浓度具有重要作用,但关于生物炭对盐碱土水分平均渗透速率的长期作用效应有待于进一步研究。

2.1.4 水分稳定渗透速率 稳定渗透速率是指土壤稳定入渗时的渗透速率,它是土壤重要的水力特性参数之一,可以综合反映土体渗透能力的强弱。如图 4 所示,处理 Y1 ~ Y3 的稳定渗透速率分别为 0.38,1.43 和 2.61 mm·min⁻¹,分别为 CK (0.11 mm·min⁻¹) 的 3.45,12.98 和 23.69 倍。说明当各处理土壤水分渗透达到稳定时,生物炭可有效增加盐碱土的稳定渗透速率,改善盐碱土的水分渗透能力,这将有利于大豆根系分布及生长。

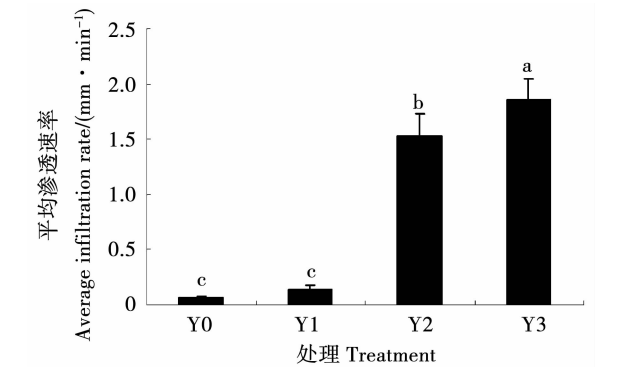


图 3 生物炭对平均渗透速率的作用

Fig. 3 Effects of biochar on the average infiltration rate

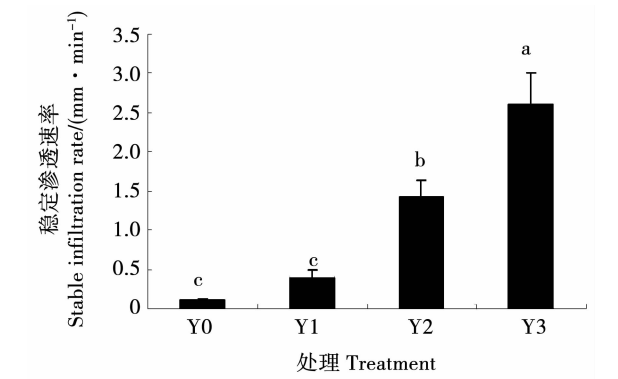


图 4 生物炭对稳定渗透速率的作用

Fig. 4 Effects of biochar on the stable infiltration rate

2.1.5 饱和渗透系数 土壤渗透系数是指在单位水压梯度下,通过垂直于水流方向的单位土壤截面积的水流速度。图 5 可知,随着土壤施用生物炭含量的增加,饱和渗透系数呈上升的趋势。处理 Y1 ~ Y3 的饱和渗透系数分别为 0.08, 0.40 和 0.57 mm·min⁻¹,分别为 CK (0.02 mm·min⁻¹) 的 3.65,

17.24 和 24.79 倍。

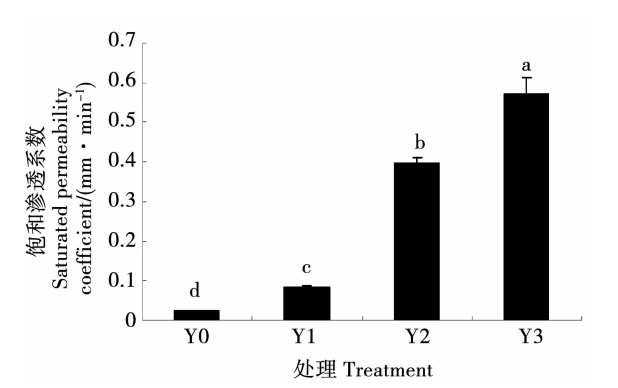


图 5 生物炭对饱和渗透系数的作用

Fig. 5 Effects of biochar on the saturated permeability coefficient

2.2 生物炭对盐碱土理化指标的影响

由表 1 可知,生物炭降低了盐碱地各时期的碱解氮含量,并在 Y3 达到最小值。在 10 月 1 日,Y2、Y3 的碱解氮含量均为 57.00 mg·kg⁻¹,较 CK 的 59.00 mg·kg⁻¹降低了 3.39%,差异达显著水平。生物炭增加了盐碱土各时期的有机质速效磷、速效钾、全氮、全磷含量,并在 Y3 达到最大值,均表现为 Y3 > Y2 > Y1 > Y0 的趋势。在 10 月 1 日,Y1、Y2、Y3 的有机质含量分别为 20.75,22.05 和 28.70 g·kg⁻¹,分别较 CK 的 18.00 g·kg⁻¹增加了 15.28%、22.50% 和 59.44%。速效磷含量分别为 9.95,10.10 和 10.70 g·kg⁻¹,较 CK 的 9.90 g·kg⁻¹增加 0.51%、2.02% 和 8.08%。速效钾含量分别为 412.00,399.00 和 433.50 g·kg⁻¹,分别较 CK 的 380.50 g·kg⁻¹增加了 8.28%、4.86% 和 13.93%。全氮含量分别为 1.04,1.06 和 1.10 g·kg⁻¹,较 CK 增加了 2.48%、4.46% 和 8.42%,差异达显著水平。全磷含量分别为 0.48,0.49 和 0.49 g·kg⁻¹,分别较 CK 的 0.47 g·kg⁻¹增加了 3.09%、5.21% 和 5.21%,差异达显著水平。生物炭对全钾和 pH 的影响略有不同。生物炭降低了 6 月 1 日和 8 月 1 日的全钾含量,但差异未达显著水平。对 10 月 1 日的全钾含量影响呈现先增加后降低的趋势,在 10 月 1 日,生物炭增加了 Y2 的全钾含量,Y2 的全钾含量为 26.75 g·kg⁻¹,较 CK 增加了 1.13%。

生物炭提高了 6 月 1 日的 pH,但降低了 8 月 1 日和 10 月 1 日的 pH。在 10 月 1 日,Y1 ~ Y3 的 pH 分别为 8.77,8.92 和 8.74,分别较 CK 的 9.13 降低了 0.36,0.21 和 0.39,差异达显著水平。

表1 生物炭对盐碱地养分含量的影响

Table 1 The effect of biochar on salty soil nutrient content

日期 Date	处理 Treatment	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(g·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	pH
6月1日 June 1st	Y0	17.30 dD	83.00 aA	8.25 dC	355.50 dD	0.95 dD	0.46 cC	26.95 aA	9.18 cB
	Y1	22.90 cC	75.00 bB	9.10 cB	376.50 cC	1.01 cC	0.48 bB	26.95 aA	9.16 dC
	Y2	25.90 bB	74.00 cB	9.40 bB	404.50 aA	1.07 bB	0.48 bB	26.80 aA	9.21 bA
	Y3	27.40 aA	67.00 dC	11.40 aA	402.00 bB	1.11 aA	0.49 aA	26.70 aA	9.23 aA
8月1日 August 1st	Y0	19.50 dD	122.50 aA	10.30 dD	330.50 cC	1.00 dD	0.42 cC	23.90 aA	9.13 aA
	Y1	21.50 cC	120.00 bB	11.50 cC	312.50 dD	1.07 cC	046 bB	23.85 aA	9.01 bB
	Y2	31.10 bB	120.00 bB	12.25 bB	335.00 bB	1.14 bB	0.48 aB	23.75 aA	8.95 cC
	Y3	32.30 aA	114.00 cC	13.80 aA	365.00 aA	1.22 aA	0.48 aA	23.50 aA	8.80 dD
10月1日 October 1st	Y0	18.00 dD	59.00 aA	9.90 bB	380.50 dD	1.01 cC	0.47 cC	26.45 bB	9.13 aA
	Y1	20.75 cC	59.50 aA	9.95 bB	412.00 bB	1.04 bBC	0.48 bB	26.75 aA	8.77 cC
	Y2	22.05 bB	57.00 bB	10.10 bB	399.00 cC	1.06 bB	0.49 aA	26.35 bB	8.92 bB
	Y3	28.70 aA	57.00 bB	10.70 aA	433.50 aA	1.10 aA	0.49 aA	26.30 bB	8.74 dD

同列不同大小写字母分别表示差异达到1%和5%显著水平。

Different capital and lowercase in the same column showed a significant difference at 1% and 5% level, respectively.

2.3 生物炭改良盐碱土对大豆产量构成的影响

2.3.1 大豆单株粒数 由图6可知,生物炭增加了大豆的粒数,大豆的单株粒数表现为 Y3 > Y2 > Y1 > Y0 的趋势。Y1 ~ Y3 的单株粒数分别为 15.67, 16.00 和 21.33 个,分别为 CK 的 1.42,1.41 和 1.94 倍,其中 Y3 与 CK 达差异显著水平。

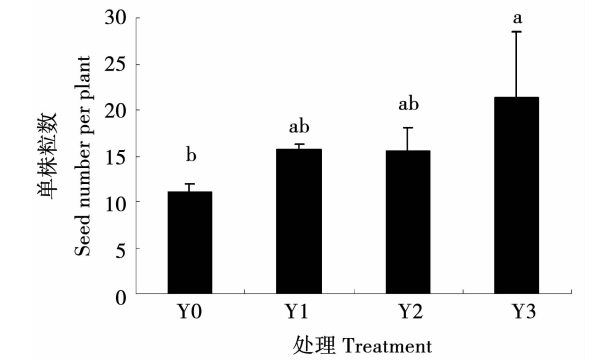


图6 生物炭对大豆单株粒数的影响

Fig.6 The effect of biochar on seed number per soybean plant

2.3.2 大豆单株产量 由图7可以看出,生物炭增加了大豆的单株粒重,并表现为 Y3 > Y2 > Y1 > Y0 的趋势。Y1 ~ Y3 的单株粒重分别为 2.06,2.00 和 3.17 g,分别为 CK(每株 1.43 g)的 1.44,1.69 和 2.22 倍,Y2 和 Y3 与 CK 相比,差异达显著水平。这是由于生物炭增加了土壤的水分渗透性,增加了养分含量,改良了盐碱土的物理性质。生物炭可以为微生物提供适宜的栖息空间,通过作用于盐碱土的理化及生物学性质,进而提高产量。综合来看,生

物炭对于提升盐碱土地力及大豆产量具有积极的调控作用。

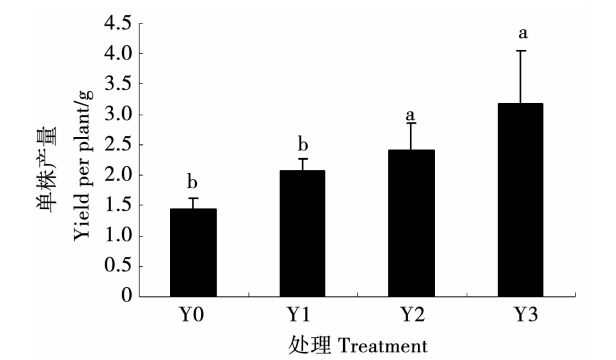


图7 生物炭对大豆单株产量的影响

Fig.7 The effect of biochar on soybean yield per plant

3 讨论

3.1 生物炭对盐碱土水分渗透性能的影响

前人研究表明生物炭可增强土壤水分渗透性能^[10-11]。本研究表明,生物炭可增强盐碱土的初始渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率、累计入渗量,这与前人研究结果一致。盐碱土土质粘重、水分渗透性差已成为产量提升的障碍因子。生物炭增加盐碱土的水分渗透性可能与以下因素有关:其一,生物炭具备强大的比表面积及微孔结构,由于生物炭自身具备丰富的孔隙度,进而增强了盐碱土的孔隙度;其二,生物炭与盐碱土团聚体之间可产生“物理间隔”,进而使水分渗透性能增加;其三,生

物炭可能通过影响土壤团聚体的形成,间接地增强盐碱地的孔隙结构;其四,生物炭可能通过增加植株根系的生长,通过根系在盐碱土中的穿插,进而增加了盐碱土的孔隙度。关于生物炭对增强盐碱土水分渗透性的机制有待于进一步解析。

3.2 生物炭对盐碱土养分含量的影响

前人研究结果表明,生物炭可有效促进土壤养分含量的增加^[12-13]。本研究结果表明,生物炭增加了有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾含量,这与前人的研究结果一致。原因在于生物炭本身具有丰富的矿质成分;生物炭具备巨大的比表面积、较强的吸附作用,可对土壤溶液中的离子起到吸附、缓释的作用。生物炭会通过促进盐碱土的生物学活性活化盐碱土土壤养分。

3.3 生物炭对大豆产量的影响

生物炭对作物产量的影响表现不一致,多数报道是对作物产量有正向作用,少数为负向作用或作用不明显^[14-16]。本研究表明,生物炭增加了大豆单株产量是因为生物炭改善了土壤的物理结构和生物学活性。通过增加盐碱土孔隙度和水分渗透性能促进根系大量生长、促进产量增加。同时,通过改善土壤微生物群落组成等生物学活性,微生物的大量繁殖间接地提高土壤肥力,增加产量。生物炭对盐碱土理化及生物学性质等方面的影响还需要展开长期研究,从而为生物炭改良盐碱土提供理论基础。

4 结 论

生物炭增加了盐碱土水分渗透性能,生物炭处理 Y3 初始渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率、累积入渗量、饱和渗透系数分别为 CK 的 23.75, 28.46, 23.69, 24.42 和 24.79 倍。生物炭增加了盐碱地的有机质、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾含量。生物炭处理 Y3 的大豆产量达到最大值,单株产量为 3.17 g,为 CK 的 2.22 倍。生物炭对盐碱土的理化性质可起到一定的正向作用,对于促进松嫩平原盐碱地地力提升及作物产量具有重要作用。

参考文献

[1] Ali S, Rizwan M, Qayyum M F, et al. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: A critical review [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24 (14): 1-13.

[2] Bruun E W, Petersen C T, Hansen E, et al. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water

retention [J]. *Soil Use and Management*, 2014, 30(1):109-118.

[3] Chen J H, Sun X, Zheng J F, et al. Biochar amendment changes temperature sensitivity of soil respiration and composition of microbial communities 3 years after incorporation in an organic carbon-poor dry cropland soil [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2018, 54 (2):175-188.

[4] Dai H, Chen Y, Yang X, et al. The effect of different organic materials amendment on soil bacteria communities in barren sandy loam soil [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(30):24019-24028.

[5] Dai Z, Zhang X, Tang C, et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-A critical review [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 581-582: 601-611.

[6] Dempster D N, Gleeson D B, Solaiman Z M, et al. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil [J]. *Plant Soil*, 2012, 354 (1-2):311-324.

[7] 车艳朋,魏永霞. 生物炭对黑土区大豆节水增产及土壤肥力影响研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2016(1): 55-58. (Che Y P, Wei Y X. The impact of biochar on soybean in the black soil zone growth and soil fertility [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2016(1): 55-58.

[8] 林大仪. 土壤学实验指导 [M]. 北京:中国林业出版社, 2011. (Lin D Y. *Guidance on soil science experiments* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011.)

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社, 1999. (Bao S D. *Soil agrochemical analysis* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.)

[10] Ding Y, Liu Y, Liu S, et al. Biochar to improve soil fertility. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, 36(2): 36.

[11] Fungo B, Lehmann J, Kalbitz K, et al. Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical ultisol under conventional hand-hoe tillage [J]. *Soil and Tillage Research*, 2017, 165: 190-197.

[12] Harris K, Gaskin J, Cabrera M, et al. Characterization and mineralization rates of low temperature peanut hull and pine chip biochars [J]. *Agronomy*, 2013, 3(2):294-312.

[13] Hammer E C, Balogh-Brunstad Z, Jakobsen I, et al. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 77(7):252-260.

[14] Zhou Y X, Berruti F, Greenhalf C, et al. Increased retention of soil nitrogen over winter by biochar application: Implications of biochar pyrolysis temperature for plant nitrogen availability [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 236:61-68.

[15] Zhu L X, Xiao Q, Shen Y F, et al. Effects of biochar and maize straw on the short-term carbon and nitrogen dynamics in a cultivated silty loam in China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(1):1019-1029.

[16] Zhang Q Z, Du Z L, Lou Y L, et al. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions [J]. *Catena*, 2015, 127: 26-31.