



生物炭对白浆土水分渗透性能、养分含量及大豆产量的影响

殷大伟¹, 王家博¹, 金 梁², 薛盈文¹, 王智慧¹, 丁国华³, 范名字¹, 刘梦红¹

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤与肥料研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省农业科学院 耕作与栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:白浆土理化与生物学性质恶化, 严重降低了作物产量。生物炭具备独特的理化性质, 具备改良白浆土的理论基础。不同用量生物炭对白浆土白浆层理化性质及大豆产量影响的研究结果表明: 生物炭可增加白浆土白浆层水分渗透性能, A3 处理的初始渗透率、平均渗透率、稳定渗透率、渗透总量分别为 CK 的 3.64、2.75、2.89、3.03 倍; 生物炭增加了大豆各生育时期白浆土速效磷、速效钾、全氮、全磷、有机质含量; 生物炭增加了大豆单株产量和单株粒数, A2 和 A3 处理的单株产量分别较对照增加 61.83% 和 58.45%, A1 ~ A3 处理的单株粒数分别较对照增加 18.8%、48.8%、51.2%。

关键词:生物炭; 白浆土; 水分渗透性; 养分; 大豆

Effect of Biochar on Soil Water Permeability, Nutrient Content of Albic Soil and Yield of Soybean

YIN Da-wei¹, WANG Jia-bo¹, JIN Liang², XUE Ying-wen¹, WANG Zhi-hui¹, DING Guo-hua³, FAN Ming-yu¹, LIU Meng-hong¹

(1. Agricultural College of Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Institute of Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150000, China; 3. Institute of Soil and Fertilizer Research, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin 150086, China)

Abstract: The physicochemical and biological properties of albic soil was deteriorated, which seriously reduced the crop yield. The biochar has unique physical and chemical properties, and has the theoretical basis for improving albic soil. This experiment was conducted to investigate the effects of different biochar dosages on the albic soil physicochemical properties and soybean yield. The results showed that biochar could increase the water permeability of albic soil. The initial infiltration rate, average infiltration rate, stable infiltration rate and total infiltration of A3 treatment were 3.64, 2.75, 2.89 and 3.03 times of CK respectively. The biochar increased the content of available phosphorus, available potassium, total nitrogen, total phosphorus and organic matter at different growth stages. The biochar increased the yield per plant and seed number per plant, the A2 and A3 yield increased by 61.83% and 58.45% respectively than the control, the seed number of treatment of A1-A3 were 18.8%, 48.8% and 51.2% higher than the control respectively.

Keywords: Biochar; Albic soil; Water permeability; Nutrients; Soybean

白浆土主要分布于我国东北地区, 由于其理化与生物学性质恶化, 长期以来严重降低了作物产量。白浆土存在淀浆板结、酸化、有机碳含量下降等多项严峻问题, 已成为制约东北粮食生产发展的瓶颈。保障国家粮食安全的根本在耕地, 既要守住红线, 也要扭转耕地质量下降的趋势。推进“藏粮于地”战略、提升白浆土耕地质量意义重大^[1]。我国白浆土改良工作已持续近半个世纪之久, 如施用绿肥、有机物改良耕作层、深松技术、心土混合改良白浆层等, 但这些技术尚未从根本上改良白浆层致密的物理结构、同时涉及的改土工程量巨大, 难以推广应用^[2-3]。生物炭具备较大的孔隙度、比表面

积、抗氧化能力及抗生物分解能力, 可有效改善土壤结构和理化及生物学性质^[4-6], 具备改良白浆土的理论基础。

因此, 本试验研究了不同生物炭用量对白浆土白浆层土壤水分渗透性能、养分含量及大豆产量的影响, 旨在为以生物炭技术为核心改良我国低产白浆土提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

将玉米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

收稿日期: 2017-11-08

基金项目: 国家十三五重点研发计划 (2017YFD0200803); 黑龙江省自然科学基金 (QC2017023); 黑龙江省博士后资助项目 (LBH-Z17186); 国家大学生创新创业项目 (201810223019)。

第一作者简介: 殷大伟 (1984 -), 男, 博士, 讲师, 主要从事生物炭应用基础研究。E-mail: yindazhiyindawei@126.com。

通讯作者: 刘梦红 (1979 -), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事生物炭应用基础研究。E-mail: 641586529@qq.com。

《一种组合式生物质颗粒炭化炉及其制炭方法》(ZL200710086505.4)制备生物炭。供试土壤选择黑龙江省典型草甸白浆土。供试大豆品种为黑河 19。

1.2 试验设计

于黑龙江八一农垦大学试验基地,采用盆栽试验(盆直径 30 cm,高 40 cm),人工将生物炭与白浆土层充分混合,然后置于盆栽下层,生物炭设为 4 个梯度,用量分别为 CK(0 t·hm⁻²)、A1(10 t·hm⁻²)、A2(20 t·hm⁻²)、A3(30 t·hm⁻²),4 次重复,完全随机设计。白浆土耕作层与肥料充分混合均匀,置于盆栽上层。其中尿素、磷酸二铵和氯化钾用量分别为 270, 180, 75 kg·hm⁻²,作为基肥一次性施用,其它按常规措施管理。

1.3 测定项目与方法

于大豆成熟期测定白浆土白浆层水分渗透性等指标;于大豆苗期、开花期、成熟期测定碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾、有机质;于成熟期测定大豆产量。

采用环刀法测定土壤水分渗透性: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;渗透总量为 60 min 内的渗透量^[7]。采用凯氏定氮仪测定全氮含量,全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法,全钾、速效钾采用火焰光度计法,碱解氮采用扩散法,速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,有机质含量采用重铬酸钾-外加热法测定^[8]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 数据处理软件进行显著性分析,Excel 2003 作图。

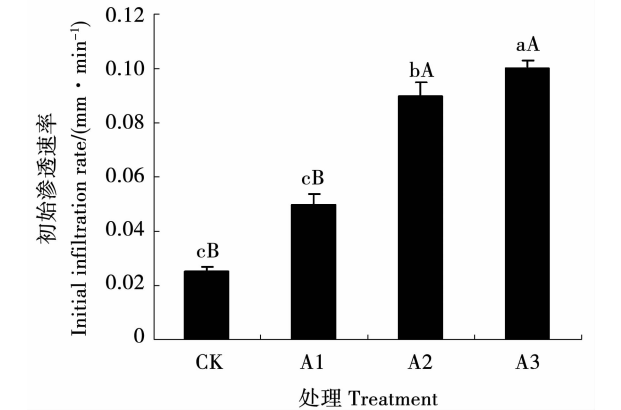
2 结果与分析

2.1 生物炭对白浆土白浆层水分入渗性能的影响

2.1.1 初始渗透率 土壤入渗率,又称土壤入渗速率或土壤渗透速率,是指单位时间内地表单位面积土壤的入渗水量。白浆土的障碍性层次白浆层结构致密,水分渗透速率极低。土壤入渗率在初期非常大,这时入渗率称为初始渗透速率。由图 1 可知,生物炭显著增加了白浆土的初始水分渗透速率,A1、A2、A3 的初始水分渗透速率分别为 0.05, 0.09,0.10 mm·min⁻¹,分别为 CK 的 1.82,3.27,3.64 倍。其中处理 A2、A3 与对照 CK 和处理 A1 差异极显著,A1 与 CK 差异不显著。

2.1.2 平均渗透率 由图 2 可以看出,生物炭显著

增加了白浆土的平均水分渗透速率,A1、A2、A3 的平均水分渗透速率分别为 0.020,0.045,0.055 mm·min⁻¹,分别为 CK 的 1.00,2.25,2.75 倍。其中处理 A2、A3 与对照 CK 差异极显著,处理 A3 与处理 A1 和 A2 差异显著。



不同大、小写字母分别代表 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平存在极显著或显著差异。下同。

Different capital and lowercase mean significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ level respectively. The same below.

图 1 生物炭对初始渗透速率的影响
Fig. 1 Effects of biochar on the initial infiltration rate

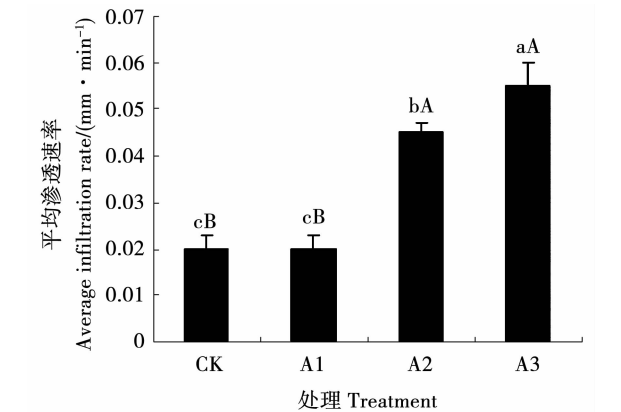


图 2 生物炭对平均渗透速率的影响
Fig. 2 Effects of biochar on the average infiltration rate

2.1.3 稳定渗透率 土壤入渗率由大变小,最后保持一定的稳定值,此值称为最后入渗率或稳渗率,可用以表征土壤的渗透特性。由图 3 可以看出,生物炭显著增加了白浆土水分的稳定渗透速率,A1、A2、A3 的稳定渗透速率分别为 0.04,0.06,0.09 mm·min⁻¹,分别为 CK 的 1.39,2.00,2.89 倍。其中处理 A2、A3 与 CK 差异极显著,A3 与 A1 差异极显著,A1 与 A2 差异显著。

2.1.4 累积入渗量 由图 4 可以看出,生物炭显著增加了白浆土的水分入渗量,A1、A2、A3 的累计入渗量分别为 2.15,3.60,4.70 mm,各处理与 CK 存在极显著差异。

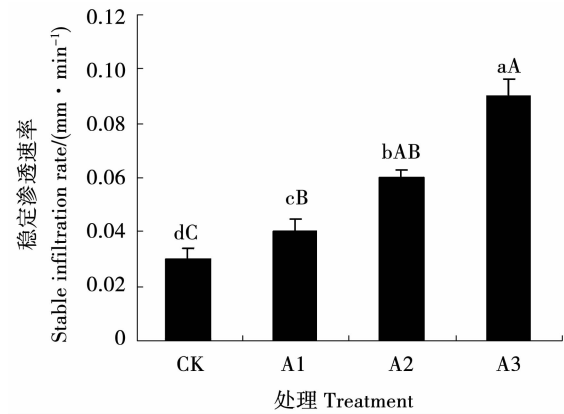


图3 生物炭对稳定渗透速率的影响

Fig. 3 Effects of biochar on the stable infiltration rate

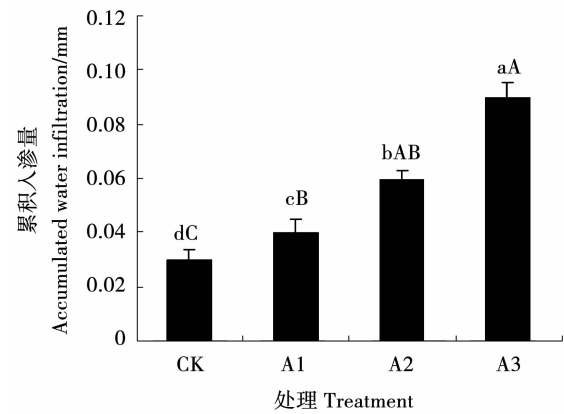


图4 生物炭对累积入渗量的影响

Fig. 4 The effects of biochar on the water accumulative infiltration

白浆土水分渗透性较差,土壤初始水分渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率、累计入渗量随生物炭用量的增加而增加,可见,通过生物炭技术可增强其水分渗透性能,对于增加白浆土通透性,缓解降雨过多造成的涝害意义重大。同时生物炭利于增加底层土壤水分含量,也有利于缓解白浆土干旱,进而缓解因白浆土旱和涝灾频发引起的大豆产量降低。

2.2 生物炭对白浆土白浆层养分含量的影响

白浆土养分含量贫瘠,是造成白浆土低产的重要原因。由表1可知,生物炭极显著降低了苗期和开花期的碱解氮含量,用量越大,碱解氮含量越低,其中 A3 处理苗期、开花期的碱解氮含量分别较 CK 极显著降低了 35.38%、8.72%;但生物炭增加了成熟期的碱解氮含量,A2、A3 处理碱解氮含量极显著高于对照,其中 A3 处理较 CK 增加了 20.00%。生物炭增加了大豆各时期速效磷、速效钾含量,处理间差异达极显著水平,其中 A3 处理达到最大值,其苗期、开花期、成熟期的速效磷含量分别较 CK 增加了 36.91%、33.54%、82.96%,速效钾含量分别较 CK 增加了 118.02%、96.01%、125.70%。这说明生物炭在大豆不同生育时期对碱解氮含量的作用不一致,但可提高大豆各生育时期的速效磷及速效钾含量。

表1 生物炭对白浆土养分含量的影响

Table1 The effect of biochar on albic soil nutrient content

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)
苗期 Seedling stage	CK	97.50 aA	14.90 dD	197.00 dD	1.07 dD	0.64 dD	24.55 aA	25.90 dC
	A1	83.50 bB	16.50 cC	255.00 cC	1.18 cC	0.66 cC	24.35 bAB	35.50 cB
	A2	76.50 cC	18.70 bB	316.50 bB	1.26 bB	0.66 bB	24.30 bB	43.60 bA
	A3	63.00 dD	20.40 aA	429.50 aA	1.45 aA	0.70 aA	24.40 bAB	60.40 aA
开花期 Flowering stage	CK	97.50 aA	16.10 dD	188.00 dD	0.82 dD	0.57 dD	22.85 aA	14.50 cB
	A1	92.00 bB	17.40 cC	277.00 cC	0.85 cC	0.62 cC	22.65 bB	31.50 bAB
	A2	91.50 bB	19.40 bB	302.00 bB	1.49 bB	0.70 bB	22.60 bB	71.40 aA
	A3	89.00 cC	21.50 aA	368.50 aA	2.06 aA	0.79 aA	22.65 bB	100.20 aA
成熟期 Mature stage	CK	55.00 bB	11.15 dD	196.50 dD	0.81 dD	0.56 dD	23.80 cB	13.50 cB
	A1	56.50 bB	14.85 cC	298.00 cC	1.04 cC	0.62 cC	24.00 bB	33.50 bAB
	A2	65.00 aA	18.35 bB	362.00 bB	1.24 bB	0.64 bB	24.35 aA	50.20 aA
	A3	66.00 aA	20.40 aA	443.50 aA	1.44 aA	0.69 aA	24.45 aA	70.40 aA

生物炭极显著增加了各时期全氮、全磷含量, A3 处理苗期、开花期、成熟期的全氮含量分别较 CK 增加了 35.51%、150.61%、53.09%, A1 ~ A3 处理成熟期的全磷含量分别较 CK 极显著增加了 10.27%、15.09%、23.13%;生物炭降低了苗期、开花期的全钾含量,但增加了成熟期的全钾含量,成熟

期 A1 ~ A3 的全钾含量分别较 CK 增加了 4.35%、5.87%、6.30%;生物炭增加了各时期的有机质含量,并在 A3 处理达到最大值,A3 处理苗期、开花期、成熟期的有机质分别为 CK 的 2.33、6.91、5.21 倍。这说明生物炭可提高大豆各生育时期的全氮、全磷、全钾及有机质含量,对于提升白浆土养分含量具有重要作用。

2.3 生物炭对大豆产量的影响

如表 2 所示,生物炭增加了大豆单株粒数和单株产量,A1 ~ A3 的单株粒数分别为 33.00、41.33、42.00 个,分别较对照提高了 18.8%、48.8%、51.2%;A2 ~ A3 的单株产量分别为 6.70、6.56 g,分别较 CK 增加了 61.83%、58.45%。这说明生物炭利于提升白浆土条件下大豆产量,通过改良白浆土物理结构、养分含量等达到增产,可进一步进行大田条件下的效果研究。

表 2 生物炭对大豆产量的影响

Table 2 The effect of biochar on soybean yield		
处理	单株产量	单株粒数
Treatment	Yield per plant/g	Seed number per plant
CK	4.14 b	27.78 b
A1	4.13 ab	33.00 ab
A2	6.70 a	41.33 a
A3	6.56 a	42.00 a

3 讨 论

白浆土存在障碍性层次白浆层,物理结构极其致密,透水透气困难,严重影响了白浆土水气运移,打破白浆层的致密结构是白浆土改良的关键^[9]。本研究结果表明,生物炭可有效增强白浆层的水分渗透性能,这对于增加白浆土水分含量,缓解表旱表涝意义重大。前人研究表明,生物炭可增加土壤养分含量^[10-12]。本试验表明,生物炭可有效增加白浆土白浆层养分含量。这是因为生物炭自身具备丰富的营养元素,可为白浆土直接提供养分^[13];生物炭具备丰富的孔隙结构及强大的比表面积,可有效吸附土壤溶液中的游离态养分;生物炭可为微生物活动提供大量碳源,并作为微生物活动的重要栖息地,促进微生物繁殖,进而活化土壤肥力^[14]。

生物炭对作物产量的影响多数表现为正向响应^[15-17]。本试验表明,生物炭可增加白浆土条件下大豆产量。这是因为生物炭可打破白浆土致密的物理结构,增强水分渗透性能及养分含量,同时生物炭对于微生物生长繁殖可起到促进作用。采用

生物炭改良白浆土白浆层技术,可将白浆层改造为可供大豆及其它作物充分生长的活土层,白浆层障碍性致密结构被充分打破。该技术可与常规深松技术相结合,有望从根本上改良我国障碍性低产白浆土,操作简单可行并易于大面积推广应用,同时可为其它国家及地区的白浆土改良提供理论参考,发展前景广阔。

4 结 论

生物炭可增加白浆土白浆层水分渗透性能,A3 处理的初始渗透率、平均渗透率、稳定渗透率、渗透总量分别为 CK 的 3.64、2.75、2.89、3.03 倍。成熟期 A3 处理的碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾含量分别较对照增加了 20.00%、82.96%、125.70%、77.78%、23.13%、6.30%,并达极显著差异。生物炭增加了大豆单株粒数和单株产量,A1 ~ A3 的大豆粒数分别较对照提高了 18.8%、48.8%、51.2%,A2 ~ A3 的单株产量分别较 CK 增加了 61.83%、58.45%。综合来看,处理 A2、A3 即生物炭施用量 20、30 t·hm⁻²可显著增加大豆产量。

参考文献

[1] 陈温福,张伟明,孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013,46(16):3324-3333. (Chen W F, Zhang W M, Meng J. Research progress and prospect of agricultural biochar [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013,46(16):3324-3333.)

[2] 朱宝国,张春峰,贾会彬,等. 深翻结合心土与不同改土物料混合改良白浆土的效果[J]. 农业工程学报,2018,34(14):107-114. (Zhu B G, Zhang C F, Jia H B, et al. The effect of deep turning to improve the albic soil by combining the core soil with different soil modification materials [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34 (14): 107-114.)

[3] 代琳,聂颖,冯露,等. 生物质炭施入对白浆土碳氮变化的影响[J]. 浙江农业学报,2016,28(10):1745-1754. (Dai L, Nie Y, Feng L, et al. Effect of biochar on carbon and nitrogen content of albic soil [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(10): 1745-1754.)

[4] Shepherd J, Joseph S, Sohi S, et al. Biochar and enhanced phosphate capture: Mapping mechanisms to functional properties [J]. Chemosphere, 2017, 179: 57-74.

[5] Smebye A, Alling V, Vogt R D, et al. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition [J]. Chemosphere, 2016, 142: 100-105.

[6] 孟军,陈温福. 中国生物炭研究及其产业发展趋势[J]. 沈阳农业大学学报, 2013,15(1):1-5. (Meng J, Chen W F. The biochar research and industrial development trend in China [J].

Journal of Shenyang Agricultural University, 2013,15(1):1-5.

[7] 胡阳,邓艳,蒋忠诚,等. 岩溶坡地不同植被类型土壤水分入渗特征及其影响因素[J]. 生物学杂志, 2016,35(3):597-604. (Hu Y, Deng Y, Jiang Z C, et al. Soil water infiltration characteristics and their influence factors on karst hill slopes under different vegetation types[J]. Chinese Journal of Ecology 2016,35(3): 597-604.)

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社,2000. (Bao S D. Soil and agriculture chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press,2000.)

[9] 孟庆英, 张春峰,贾会彬,等. 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响[J]. 土壤学报,2016,53(2): 552-559. (Meng Q Y, Zhang C F, Jia H B, et al. Effects of different mechanical soil modification methods on the physical properties and enzyme activities in albic soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(2): 552-559.)

[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] Fungo B, Lehmann J, Kalbitz K, et al. Emissions intensity and carbon stocks of a tropical Ultisol after amendment with Tithonia green manure, urea and biochar[J]. Field Crops Research, 2017, 209:179-188.

[13] Olmo M, Villar R, Salazar P, et al. Changes in soil nutrient availability explain biochar’s impact on wheat root development[J]. Plant and Soil,2016,399(1-2):333-343.

[14] Purakayastha T J, Das K C, Gaskin J, et al. Effect of pyrolysis temperatures on stability and priming effects of C3 and C4 biochars applied to two different soils[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 155(4):107-115.

[15] Zhou Z J, Du C W, Li T, et al. Biodegradation of a biochar-modified waterborne polyacrylate membrane coating for controlled-release fertilizer and its effects on soil bacterial community profiles [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(11):8672-8682.

[16] Zhang A F, Zhou X, Li M, et al. Impacts of biochar addition on soil dissolved organic matter characteristics in a wheat-maize rotation system in loess plateau of China[J]. Chemosphere, 2017, 186:986-993.

[17] 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.