

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2014)03-0159-07

生物黑炭对马铃薯块茎形成期根际物理性状 及速效养分的影响

刘志华, 李晓梅, 盖兆雪, 张少良, 马 丽, 李 通, 丛 聪, 王宏燕*

(东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 本研究以两个马铃薯品种为试验材料, 采用大田试验, 设6个处理: 对照(未施化肥和生物黑炭)、F(单施常规肥, 尿素 10 kg/667m²、二铵 20 kg/667m²、硫酸钾 10 kg/667m²)、B₁(2 t/hm²生物黑炭)、B₁F(2 t/hm²生物黑炭+常规肥)、B₂(4 t/hm²生物黑炭)及B₂F(4 t/hm²生物黑炭+常规肥), 研究生物黑炭对马铃薯块茎形成期土壤物理性状及速效养分的影响, 为马铃薯的栽培管理和生物黑炭的应用提供理论依据。结果表明, 低量生物黑炭处理(2 t/hm²)对土壤pH、容重和总孔隙度无显著性影响; 高量生物黑炭处理(4 t/hm²)显著增加土壤pH值和有机碳含量, 降低土壤容重, 增加土壤总孔隙度, 降低土壤速效氮、速效磷和速效钾含量。总的来说, 生物黑炭改善马铃薯块茎形成期土壤物理性状, 影响速效养分含量。

关键词: 生物黑炭; 容重; 速效氮; 速效磷; 速效钾; 有机碳

Effects of Biochar on Rhizospheric Physical Properties and Available Nutrients in Potato's Tuber Formation Stage

LIU Zhihua, LI Xiaomei, GAI Zhaoxue, ZHANG Shaoliang, MA Li, LI Tong, CONG Cong, WANG Hongyan*

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: The experiment using two potato cultivars as plant materials was carried out in the field with six treatments, control (no fertilizer and biochar), F (traditional fertilizer, i.e. urea 10 kg, diammonium phosphate 20 kg and potassium sulphate 10 kg based on 667m²), B₁ (2 t/ha biochar), B₁F (2 t/ha biochar plus traditional fertilizer), B₂ (4 t/ha biochar) and B₂F (4 t/ha biochar plus traditional fertilizer). The purpose of this research was to provide basic information for potato cultivation and biochar's application. Samples were taken in the stage of tuber formation to determine the physical properties and available nutrients. Low rate of biochar (2 t/ha) had no effects on pH value, bulk density and total porosity. High rate of biochar (4 t/ha) increased pH value, organic carbon contents and total porosity, while bulk density was decreased. The available nitrogen, phosphorus and potassium contents were decreased at high rate of biochar. In general, biochar improved the physical properties and influenced the available nutrients' contents.

Key Words: biochar; bulk density; available nitrogen; available phosphorus; available potassium; organic carbon

生物黑炭(Biochar, BC)是有机质经过高温热解而成的一种高度碳化的多孔物质, 其施入土壤能够提高土壤肥力并能减少温室气体排放^[1,2]。国内外研究认为, 施用生物炭对土壤理化性质和不同作物

生长发育与产量提高有着积极作用: 增加土壤碳库、改善土壤持水性、改变土壤容积、增加酸性土壤pH等作用, 进而通过影响营养物质转化影响土壤肥力^[3-5]。关于生物黑炭对土壤理化性状的研究多

收稿日期: 2014-01-06

基金项目: 国家自然科学基金(41301316); 黑龙江省科技攻关项目(GZ11B105); 黑龙江省博士后科研启动基金。

作者简介: 刘志华(1979-), 女, 讲师, 博士, 主要从事生物黑炭应用研究。

*通信作者(Corresponding author): 王宏燕, 教授, 博士, 主要从事农业生态研究, E-mail: why220@126.com。

集中于玉米^[6,7]、小麦^[8]、蔬菜^[9,10]等作物,对马铃薯施用生物黑炭后土壤物理性质、速效养分的研究较少。现有研究表明,生物黑炭施用对土壤性状的影响因作物种类不同而产生不同的结论,有必要开展针对多种作物的生物黑炭研究以揭示生物黑炭影响作物生长的内在机制。

黑龙江省是我国主要的马铃薯种薯和商品薯生产基地,年种植面积 $40 \times 10^4 \text{ hm}^2$,但产量不高^[11]。马铃薯种植过程中需要大量的养分,由于黑龙江省马铃薯生长季多雨涝,造成马铃薯产量较低。生物黑炭因其自身特性具有吸水能力强的特点,应用在马铃薯生产过程中可能会改善马铃薯生长环境进而增产,需要开展实验对此加以研究。因此,试验采用黑龙江省两个马铃薯品种为研究对象,探讨生物黑炭施用对马铃薯块茎形成期根际

物理性状及速效养分的影响,为生物黑炭的农用和马铃薯高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究地点位于黑龙江省阿城市东北农业大学试验基地,属黑钙土,其理化性质如下:pH 6.39,碱解氮 118.13 mg/kg,有机质 34.34 g/kg,全氮 1.70 g/kg,全磷 0.025 mg/kg,速效磷 3.8 mg/kg,速效钾 158.443 mg/kg。

供试材料为两个马铃薯品种:‘东农 310’和‘东农 311’。每个小区行长 6 m,0.7 m × 10(垄) = 7 m 宽,即小区面积 42 m²。3 次重复,随机区组设计。试验设 6 个处理,各处理代号及施用量如表 1 所示。

生物黑炭购买于辽宁省金和福农业开发有限公

表 1 试验设计各处理代号及施用量
Table 1 Treatment code and application rate

处理 Treatment	代号 Code	施用量 Application rate
空白对照 Control	CK	不施用化肥和生物黑炭
单施常规肥 Fertilizer only	F	常规施肥,尿素 10 kg/667m ² 、二铵 20 kg/667m ² 、硫酸钾 10 kg/667m ²
低量生物黑炭 Low biochar	B ₁	生物黑炭 2 t/hm ²
低量生物黑炭与化肥配施 Low biochar + fertilizer	B ₁ F	生物黑炭 2 t/hm ² +常规肥
高量生物黑炭 High biochar	B ₂	生物黑炭 4 t/hm ²
高量生物黑炭与化肥配施 High biochar + fertilizer	B ₂ F	生物黑炭 4 t/hm ² +常规肥

司,是经 450℃ 条件下无氧干馏制备而成,基本化学性质为 pH 9.81,全氮 8.31 g/kg,全碳 803.42 g/kg,全磷 80.95 g/kg,添加 5% 膨润土制成颗粒状。试验于 2013 年进行,5 月 31 日播种,7 月 11 日开花,试验于 7 月 18 日取样测定,每个处理随机取样,采用抖落法收集根际土壤。将根际土壤约 1 kg 用无菌塑封袋封好放入冰盒内带回实验室,4℃ 保存待分析。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤理化指标的测定

容重、孔隙度、毛管孔隙度和土壤通气度采用环刀法测定;土壤 pH 采用 pH 计测定。

1.2.2 土壤速效养分的测定

碱解氮采用扩散法测定,速效磷采用 0.5 M NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾采用 1 M 乙酸铵浸提-火焰光度计法测定,有机碳采用重铬

酸钾氧化法测定,参照鲁如坤^[12]的方法。

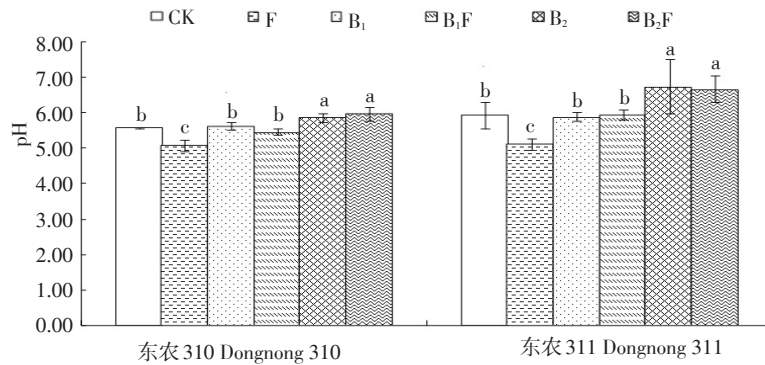
1.2.3 数据分析

所有数据的统计分析及柱状图的绘制采用 Excel 2003 软件进行。试验数据差异显著性分析采用 SPSS Statistics 17 统计软件进行,采用单因素方差分析法,多个均数间的差异性比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 生物黑炭对马铃薯根际 pH 的影响

生物黑炭施用对马铃薯块茎形成期土壤 pH 值存在影响,但因生物黑炭施用量不同存在一定差异(图 1)。与对照相比,B₁ 处理对 pH 值无显著性影响,但较 F 处理显著增加根际 pH 值;与 CK 和 F 处理相比,B₂ 处理和 B₂F 处理显著提高马铃薯根际 pH



图中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 不同处理具有相同字母者表示经新复极差法测验差异不显著 ($p > 0.05$)。下同。

Data are expressed as Mean $\pm$ SE. Bars marked by the same letter (s) are not significantly different at $p > 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test. The same below.

图1 生物黑炭对马铃薯根际土壤pH值的影响

Figure 1 Effects of biochar on soil pH value in potato's rhizosphere

值, 两个品种表现一致; 与单独施用生物黑炭处理相比较, 生物黑炭与化肥配施对根际pH值不存在显著性影响 ($P > 0.05$)。上述结果说明, 少量生物黑炭添加(如 2 t/hm^2 生物黑炭施用量)对根际pH值不存在显著性影响, 高量生物黑炭处理 (4 t/hm^2) 显著增加根际pH值。

2.2 生物黑炭对马铃薯根际物理性状的影响

生物黑炭施用对马铃薯块茎形成期根际土壤容重有影响, 但因施用量的不同存在差异(图2)。与对照和单独施用化肥处理相比, B_1 和 B_1F 处理对土壤容重不存在显著性影响, B_2 和 B_2F 处理显著降低根际土壤容重 ($P < 0.05$)。与单独施用生物黑炭处理相比较, 生物黑炭与化肥配施对根际土壤容重不存在显著性影响 ($P > 0.05$)。上述结果说明生

物黑炭的施用效果受施用量的影响较大, 高量生物黑炭处理 (4 t/hm^2) 显著降低土壤容重。

生物黑炭施用对马铃薯块茎形成期根际土壤总孔隙度有显著增加趋势, 两个马铃薯品种表现较为一致(图3)。与CK比较, 低量生物黑炭处理 (B_1 、 B_1F 处理)对马铃薯根际总孔隙度无显著性影响; B_2F 处理显著增加土壤总孔隙度, ‘东农310’和‘东农311’分别较对照增加9.1%和9.4%; 从两个品种的平均水平上看, B_2 处理较对照总孔隙度显著增加 ($P < 0.05$)。单独施用生物黑炭处理与相应水平的配施常规肥处理间无显著性差异。从两个品种平均水平上看, 生物黑炭对土壤总孔隙度有一定促进作用, 4 t/hm^2 处理总孔隙度从51.2%增加到57.5%。

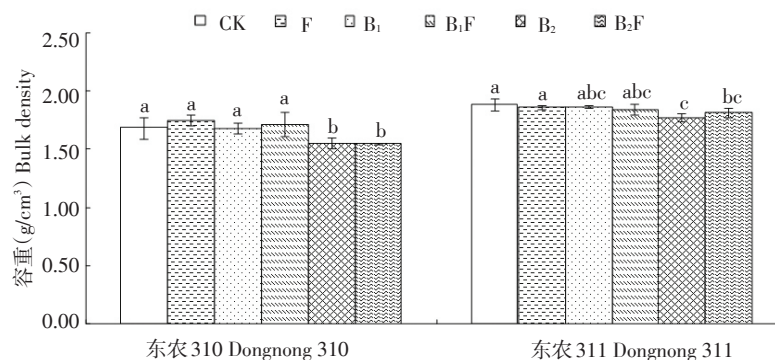


图2 生物黑炭对马铃薯根际土壤容重的影响

Figure 2 Effects of biochar on soil bulk density in potato's rhizosphere

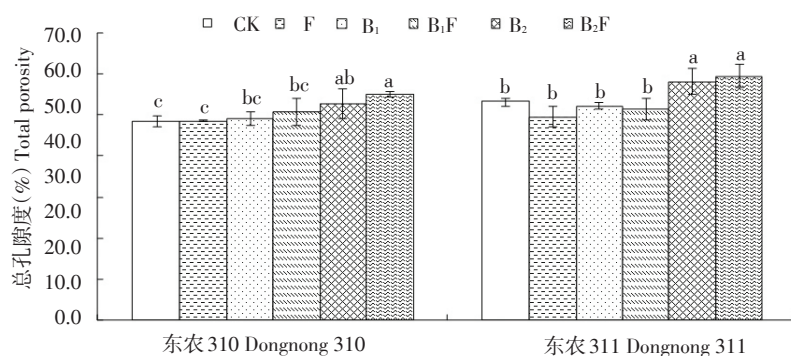


图3 生物黑炭对马铃薯根际总孔隙度的影响

Figure 3 Effects of biochar on soil total porosity in potato's rhizosphere

2.3 生物黑炭对马铃薯根际速效养分的影响

生物黑炭施用对马铃薯根际速效氮含量存在影响,但因施用量的不同存在差异,供试马铃薯品种趋势大致相同(图4)。与CK相比, B₁和 B₁F处理对根际速效氮含量无显著性影响; B₂和 B₂F处理对根际速效氮含量有一定抑制作用,两个品种平均水平速效氮含量分别降低 11.5%和 10.0% ($P < 0.05$); B₁处理与 B₁F处理对根际速效氮含量无显著性差异, B₂处理与 B₂F处理比较也是如此,说明根

际速效氮含量变化受生物黑炭的影响较大。与 F处理比较, B₁处理、 B₁F处理对‘东农 310’根际速效氮含量有显著促进作用,但对‘东农 311’根际速效氮含量无显著性影响; B₂处理和 B₂F处理对两个品种根际速效氮含量影响未达到显著性水平。从两个品种的平均水平上看,生物黑炭施用对根际速效氮含量有一定的抑制作用,但这种作用与生物黑炭施用量有关,在本研究范围内, 2 t/hm²生物黑炭施用量对速效氮含量无显著性影响。

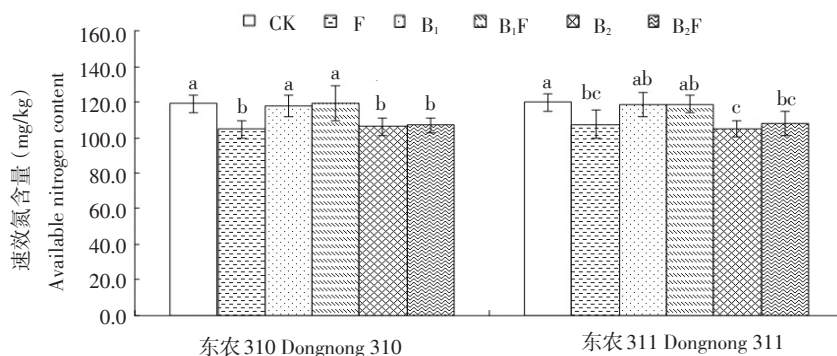


图4 生物黑炭对马铃薯根际速效氮含量的影响

Figure 4 Effects of biochar on soil available nitrogen contents in potato's rhizosphere

生物黑炭施用对马铃薯根际速效磷含量存在影响,但因施用量的不同存在差异(图5)。与CK相比,生物黑炭对根际速效磷含量呈现不同程度的抑制作用。从‘东农 311’平均水平上看,高量生物黑炭处理根际速效磷含量略高于低量生物黑炭处理,但未达到显著性水平($P > 0.05$)。与 F处理比较,生物黑炭对根际速效磷含量的影响因马铃薯品种的不同出现差异,生物黑炭处理对‘东农 310’根际速效磷含量无显著性影响,但‘东农 311’ B₁处理和

B₁F处理根际速效磷含量较 F处理显著降低,与 B₂和 B₂F处理无显著性差异($P > 0.05$)。从两个品种的平均水平上看,生物黑炭对马铃薯根际速效磷含量有抑制作用,其中, 4 t/hm²生物黑炭施用量条件下速效磷含量‘东农 310’和‘东农 311’分别降低 21%和 26%。

生物黑炭对马铃薯根际速效钾的影响因品种的不同而不同(图6)。从图中可以看出,与对照相比, B₁F处理对‘东农 310’根际速效钾有显著促进

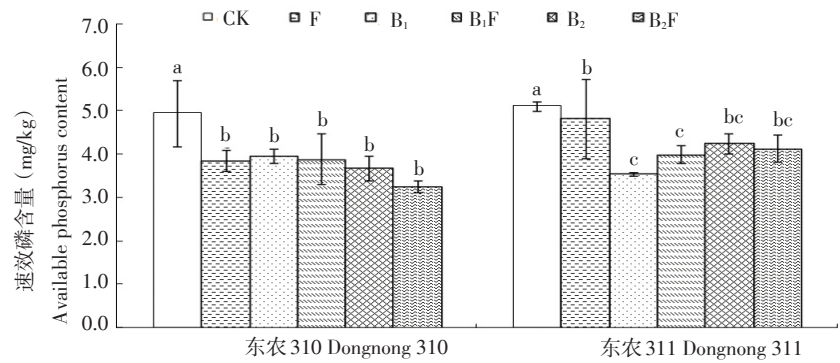


图5 生物黑炭对马铃薯根际速效磷含量的影响

Figure 5 Effects of biochar on soil available phosphorus contents in potato's rhizosphere

作用, 其余处理间无显著性差异($P > 0.05$); 与对照相比, 施用生物黑炭处理‘东农 311’根际速效钾含量显著降低, 降低幅度在 12.1%~32.6%之间, 其中 B₂F 处理根际速效钾含量从对照的 33.3 mg/kg 降低到 23.7 mg/kg。与单独施用生物黑炭处理比较, 生物黑炭与常规肥配施处理‘东农 311’根际速效钾含量显著降低($P < 0.05$)。

生物黑炭施用对根际有机碳含量有一定促进作用, 两个品种略有不同(图 7)。从两个品种的平均水平上看, 与 CK 比较, B₁、B₁F、B₂、B₂F 处理有机碳含量分别增加 4.7%、2%、24.4%和 16.9%, 说明生物黑炭对有机碳的影响随着生物黑炭施用量的增加而增加; 有机碳含量从对照的 9.20 g/kg 增加为 9.63, 9.37, 11.40 和 10.70 g/kg。

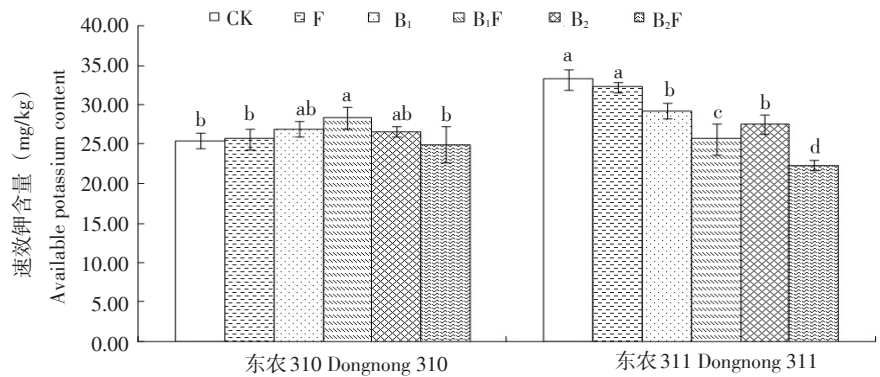


图6 生物黑炭对马铃薯根际速效钾含量的影响

Figure 6 Effects of biochar on soil available potassium contents in potato's rhizosphere

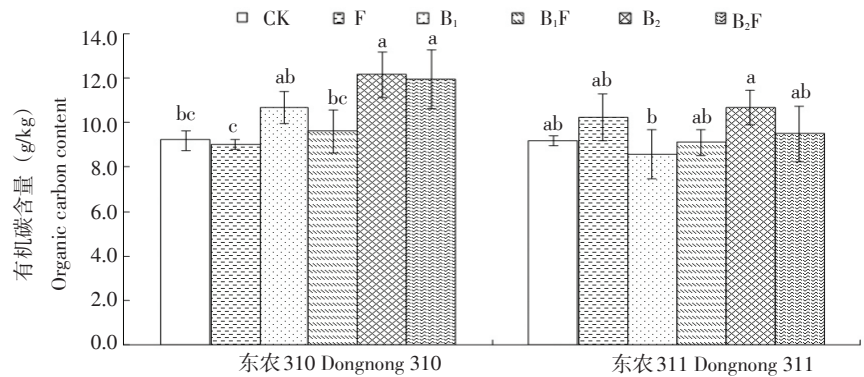


图7 生物黑炭对马铃薯根际有机碳含量的影响

Figure 7 Effects of biochar on soil organic carbon contents in potato's rhizosphere

3 讨 论

生物黑炭具有表面积大、结构疏松、质量较轻等特点, 因此对土壤理化性质产生重要影响。有研究表明, 施用生物炭可使土壤容重降低9%, 而总孔隙率则从45.7%增加到50.6%^[13], 这与本研究结果一致。本研究结果表明, 生物黑炭添加使土壤容重降低, 从两个品种的平均水平上看, B₂处理和B₂F处理较对照的1.79 g/cm³分别降低为1.67和1.69 g/cm³, 总孔隙度则从对照的51.2%分别增加到55.8%和57.5%。潘洁等^[9]研究结果表明, 设施土壤施用生物黑炭与习惯处理相比, 能显著降低土壤容重2.65%~15.73%, 这与本研究的结果一致。土壤容重降低和孔隙度提高为作物根系提供了良好生长空间; 研究中生物黑炭施用量为4 t/hm²条件下对根际pH显著提高, 这与Laird等^[14]及Yuan和Xu^[15]的研究结果一致, 说明生物黑炭可以通过调节根际物理性状和pH影响根际环境进而促进作物生长, 其机理, 还有待于进一步研究。

生物黑炭具有一定的吸附特性, 可吸附铵^[16]、硝酸盐^[17]、磷^[18]等可溶性物质, 具有一定的保肥能力。Ding等^[19]采用室内培养试验结果表明, 生物炭能通过阳离子交换而达到对土壤中NO₃⁻、NH₄⁺的吸附, 从而使土壤中有效氮含量大幅增加。本研究采用大田试验, 结果表明生物黑炭使土壤速效氮含量下降, 这与郭伟等^[20]的研究结果一致。其可能的原因在于两方面, 一是研究测定的时间为马铃薯旺盛生长时期, 大量的速效氮被马铃薯吸收; 另一方面可能在于生物黑炭的添加加速土壤氮素转化, 促进氨的挥发^[21], 造成土壤速效氮含量降低。潘洁等^[9]研究表明, 设施土壤施用生物黑炭与习惯处理相比, 增加土壤速效钾含量19.06%~168.5%, 施用量越大效果越明显。本研究结果表明, 施用生物黑炭对土壤速效钾含量有一定的抑制作用, 存在差异的原因可能是采用的土壤及黑炭的来源类型不同所致。黄超等^[22]研究生物黑炭对红壤性质的影响时发现, 一年的培养时间后生物黑炭促进土壤速效磷的含量, 这与本研究的结果不同, 说明生物黑炭对土壤的影响存在一定的滞后性, Vaccari等^[23]也发现生物黑炭的影响存在滞后效应, 其机制有待于进一步研究。

秸秆进入土壤会促进土壤有机碳的分解进而

影响土壤养分转化, 但生物黑炭对土壤有机碳的影响尚未有一致的结论, 如尹云峰等^[24]研究表明土壤中添加生物黑炭显著增高土壤有机碳含量, 但Jones等^[25]却发现生物炭添加抑制了土壤原有机碳的分解。本研究结果表明, 生物黑炭对马铃薯根际有机碳含量有促进作用。尹云峰等^[24]利用同位素示踪的方法发现, 生物黑炭引起土壤有机碳含量增加的主要原因在于生物黑炭引起的新炭, 对原有有机碳的影响不大。Xu等^[26]研究表明生物黑炭对土壤有效养分存在直接和间接的影响, 但其机理有待于进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] Titirici M M, Thomas A, Yu S H, *et al.* A direct synthesis of mesoporous carbons with bicontinuous pore morphology from crude plant material by hydrothermal carbonization [J]. *Chemistry of Materials*, 2007, 19: 4205–4212.
- [2] Zavallonia C, Albertia G, Biasiol S, *et al.* Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study [J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 50: 45–51.
- [3] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review [J]. *Biol Fert Soils*, 2002, 35: 219–230.
- [4] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, *et al.* Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil [J]. *Plant and Soil*, 2007, 291: 275–290.
- [5] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, *et al.* Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. *Plant and Soil*, 2010, 327: 235–246.
- [6] 唐光木, 葛春辉, 徐万里, 等. 施用生物黑炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1797–1802.
- [7] 孟颖, 王宏燕, 于崧, 等. 生物黑炭对玉米苗期根际土壤氮素形态及相关微生物的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(3): 270–276.
- [8] 马莉, 侯振安, 吕宁, 等. 生物炭对小麦生长和氮素平衡的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2012, 49(4): 589–594.
- [9] 潘洁, 肖辉, 程文娟, 等. 生物黑炭对设施土壤理化性质及蔬菜产量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2013, 29(31): 174–178.
- [10] 勾芒芒, 屈忠义, 杨晓, 等. 生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究 [J]. *农业机械学报*, 2014, 45(1): 137–142.
- [11] 韩秀锋, 石瑛, 陈伊里. 大垄深翻提高黑龙江省马铃薯产质量的研究 [J]. *园艺与种苗*, 2012(5): 60–62, 71.

- [12] 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, 2000.
- [13] Oguntunde P G, Abiodun B J, Ajayi A E, *et al.* Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2008, 171: 591–596.
- [14] Laird D A, Fleming P, Davis D D, *et al.* Impact of biochar amendment on the quality of a typical Midwestern agricultural soil [J]. *Geoderma*, 2010, 158: 443–449.
- [15] Yuan J H, Xu R K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol [J]. *Soil Use Manag*, 2011, 27: 110–115.
- [16] Lehmann J. Biochar (Black Carbon) stability and stabilization in soil [C]// *Soil Science: Confronting New Realities in the 21st Century*. Bangkok: 7th World Congress of Soil Science, 2002.
- [17] Mizuta K, Matsumoto T, Hatate Y, *et al.* Removal of nitrate nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 95: 255–257.
- [18] Watanabe M, Miyake K, Fujino T. Study on phosphorus removal in water by using charcoal made from waste materials [J]. *Journal of Japan Society on Water Environment*, 2003, 26(1): 47–52.
- [19] Ding Y, Liu Y X, Wu W X, *et al.* Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2010, 213: 47–55.
- [20] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响 [J]. *生态环境学报*, 2011, 20(3): 425–428.
- [21] Steinerr C, De Arruda M R, Teixeira W G, *et al.* Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantations treated with charcoal, and mineral or organic fertilizers [J]. *Tropical Science*, 2008, 47: 218–230.
- [22] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(4): 439–445.
- [23] Vaccari F, Baronti S, Lugato E, *et al.* Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat [J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34(4): 231–238.
- [24] 尹云锋, 高人, 马红亮, 等. 稻草及其制备的生物质炭对土壤团聚体有机碳的影响 [J]. *土壤学报*, 2013, 50(5): 909–914.
- [25] Jones D L, Murphy D V, Khalid M, *et al.* Short-term biochar induced increase in soil CO₂ release is both biotically and abiotically mediated [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43: 1723–1731.
- [26] Xu G, Wei L L, Sun J N, *et al.* What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 52, 119–124.



辰翔矿业有限公司

专业生产马铃薯育种——膨胀蛭石

河北灵寿县辰翔矿业有限公司位于河北省石家庄市灵寿县, 是一家专业生产蛭石片、膨胀蛭石、珍珠岩的企业, 已有30多年的发展历史。辰翔公司根据马铃薯育种特点, 研发了育种专用膨胀蛭石。本公司生产的马铃薯专用膨胀蛭石性价比高, 已在国内十几家马铃薯育种公司应用, 并得到一致好评。本公司蛭石产品型号齐全, 也可根据客户需求订制生产。

如果您对我们的产品感兴趣, 欢迎致电联系, 索要资料、样品。

联系人: 薛刚 15613123526、15833992815

地址: 河北省石家庄市灵寿县燕川工业区

电话: 0311-82616100 (传真)