

棉秆炭对灰漠土玉米生长及氮素利用的影响

唐光木¹, 姚红宇^{1,2}, 孙宁川¹, 刘会芳¹, 秦蓓^{1,2},
葛春辉¹, 李志军^{1,2}, 徐万里¹

(1. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所/绿洲养分与水土资源高效利用重点实验室, 乌鲁木齐 830091;

2. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 8300052)

摘要: 通过盆栽试验, 氮素设置3个水平, 棉秆炭用量占土壤质量分数设置4个不同水平, 研究棉秆炭对玉米生长及氮素利用的作用效果。结果表明, 不施氮肥(N0)处理, 添加棉秆炭抑制玉米器官的生长和生物量积累, 生物量降低幅度为4.98%~17.36%; 氮肥与棉秆炭配施提高玉米器官的生长和生物量积累, 提高幅度为1.68%~11.30%, 不同棉秆炭处理间差异不明显。添加棉秆炭促进玉米根系生长, 提高根冠比, 增加氮素对玉米根冠比的影响不明显; 同时, 添加棉秆炭抑制玉米根、茎、叶、棒以及植株吸氮量, 增加施氮量抑制作用逐步降低。施入棉秆炭降低氮肥吸收效率, 提高氮肥表观利用率, 相比不添加棉秆炭(BC0)处理, 添加2.0%棉秆炭(BC2.0)处理氮肥吸收效率降低2.50%和4.96%, 氮肥表观利用率提高8.48%和7.49%, 过量的棉秆炭添加可能降低氮肥表观利用率。

关键词: 玉米; 棉秆炭; 灰漠土; 氮素利用

中图分类号: S158.062

文献标识码: A

Effect of Biochar on the Nitrogen Absorption and Maize Growth in Grey Desert Soil

TANG Guang-mu¹, YAO Hong-yu^{1,2}, SUN Ning-chuan¹, LIU Hui-fang¹, QIN Bei^{1,2},
GE Chun-hui¹, LI Zhi-jun^{1,2}, XU Wan-li¹

(1. *Institute of Soil and Fertilizer and Agricultural Sparing Water/Key Laboratory of Oasis Nutrient and Efficient Utilization of Water and Soil Resources, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091;*

2. *Faculty of Glassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)*

Abstract: By three nitrogen levels of N and four levels of cotton stalk biochar account for mass fractions of soil to study the action effect of cotton stalk biochar and nitrogen on crop growth and nitrogen absorption. The results showed that the growth of maize organs and biomass accumulation was suppressed by the addition of cotton stalk biochar, and the decrease in biomass accumulation ranged from 4.98% to 17.36% compared with the treatment of no nitrogen fertilizer, while the growth of maize organs and biomass accumulation were increased with nitrogen fertilizer and cotton stalk biochar, and increase from 1.68% to 11.30%, but the difference was insignificant. Cotton stalk biochar promote growth of maize root and increase the root-shoot ratio, and has no obvious on root-shoot ratio with nitrogen fertilizer applied. The nitrogen uptake of root, stem, leaf, corn cob and maize plants were suppressed by the addition of cotton stalk biochar, and the inhibition of nitrogen uptake decreased gradually with increase of nitrogen fertilizer applied. Cotton stalk biochar applied reduce nitrogen recovery efficiency and increase nitrogen apparent efficiency, and nitrogen recovery efficiency of BC2.0 decreased by 2.50% and 4.96% compared with treatment of BC0, and nitrogen apparent efficiency increased by 8.48% and 7.49%, and reduced nitrogen apparent efficiency in excess of cotton stalk biochar applied.

Key words: Maize; Cotton stalk biochar; Grey desert soil; Nitrogen absorption

收稿日期: 2015-04-07

基金项目: 国家自然科学基金(41161055, 41261059)、自治区公益性科研院所基本科研经费项目(ky2012059)、自治区科技支撑计划项目(201431108)、新疆农业科学院重点实验室建设项目(xjnkkl-2013-001)

作者简介: 唐光木(1983-), 男, 河南人, 助理研究员, 主要从事农田生态及碳氮循环。E-mail: tangjunhui5120@126.com

徐万里为本文通讯作者。E-mail: wlxu2005@163.com

生物炭是农林废弃物在无氧或缺氧条件下,高温热裂解形成的富含碳的有机物质^[1],生物炭独特的物理化学结构,具有较强的稳定性和离子交换吸附性能^[2],能够改善土壤结构、提高土壤质量和土壤保肥性能、提高作物产量等作用,近年来日益受到土壤、生态、环境等领域的学者重视,成为目前研究热点,为土壤改良、保肥保水、增产增效提供了新途径。

目前,生物炭对作物生长和产量影响已有报到,研究表明,生物炭对作物生长和产量的影响因生物炭类型、施用方法以及不同土壤类型存在差异。Yeboah 等^[3]通过盆栽试验得出,当生物炭用量相当于 3 t/hm²时,能提高砂壤土和粉砂壤土中玉米地上干物质重量,并能提高砂壤土的氮肥利用率。在耕作土壤上施用生物炭作物的生物量比对照提高了 2 倍^[4],干旱荒漠区施用生物炭玉米地下部干重提高了 28%,地上部提高了 23%^[5]。张晗芝等^[6]盆栽试验得出,生物炭对玉米苗期生长具有明显的抑制作用,随着玉米的生长发育,抑制作用逐渐消失,对玉米整个生育期的干物质质量则没有显著影响,高挥发性物质含量的生物炭以及高施用量对作物生长则存在抑制作用^[7,8]。同时,生物炭与肥料配施对作物生长的影响因不同区域、不同作物、不同配比存在不同。Sika 等^[9]在沙质土研究发现,在 10% 以内的生物炭施用下,相对低量肥料施入更能提高小麦生物量,与化肥配施的生物炭最佳用量为 0.5%,生物量比对照增加了 21%。Asai 等^[10]证明,生物炭与肥料配施增加了低产水稻品种的第一季产量,降低了高产水稻品种的产量。因此,生物炭及其与肥料配施对作物生

长以及产量的影响因生物炭来源、土壤类型、作物品种等不同而存在差异。

新疆是我国重要的优质棉生产基地,棉花种植面积 2013 年达到 171.83 万 hm²,占全国棉花播种总面积的 39.54%,棉花秸秆资源丰富。秸秆炭化还田能够有效利用丰富的棉花秸秆资源,同时能降低棉花秸秆直接还田带来的诸多不利影响,对新疆灰漠土白、板、干等障碍特性具有明显的改良效果。因此,本研究以棉秆炭为试材,开展棉秆炭对新疆灰漠土玉米生长以及氮素利用作用研究,明确生物炭与作物生长和氮素利用的关系,为新疆灰漠土培肥以及玉米生产和肥料利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为灰漠土,采自新疆农业科学院三坪农场试验基地,土壤样品进行风干、混匀,过 5 mm 土壤筛备用。土壤的基本理化性质见表 1。

制备棉秆炭所需的棉花秸秆取自国家灰漠土土壤肥力与肥料效益监测基地(N43°56′30″,E87°28′16″),将其剪成 1~2 cm 左右的短枝条,在 75℃ 的烘箱中烘干至恒重,冷却。将冷却的棉花秸秆放入特制的长 19 cm、宽 13 cm、高 8 cm 带盖的铁制容器中,压实盖紧盖子,将盒子放入 450℃ 的马弗炉中,关闭炉门,达到预设温度时,开始炭化 1 h,然后迅速取出,用蒸馏水熄灭棉秆炭出现的火花。将棉秆炭自然风干,粉碎研磨,过 0.25 mm 筛备用。棉秆炭基本理化性质见表 1。

表 1 灰漠土和棉秆炭的基本性质
Table 1 Characteristics of grey desert soil and cotton stalk biochar

材料 Material	pH	有机碳(g/kg) Organic carbon	碱解氮(mg/kg) Available N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
棉秆炭	10.75	301.44	36.57	918.75	12.30
灰漠土	7.94	9.05	34.48	9.56	146.30

1.2 试验设计

试验设施氮量和棉秆炭用量两因素,施氮量(N)设 3 个水平:0、150、200 mg/kg,分别以 N0、N150、N200 表示;每个施氮水平下设 4 个棉秆炭用量,分别占土壤干重的 0.0%、0.5%、1.0% 和 2.0%,以 BC0.0、BC0.5、BC1.0、BC2.0 表示。每个处理施用等量的磷肥(75 mg/kg),同时以不施氮肥、磷肥和棉秆炭为对照处理(CK),试验共 13 个处理,3 次重复。

试验于 2013 年 6 月 9 日在新疆农业大学进行。

试验开始时将每个处理对应的土壤和棉秆炭混合均匀装于花盆中,每盆土重 10 kg,氮肥为尿素,磷肥为五氧化二磷,按等量于 0、150、200 mg/kg(N,风干土重)和 75 mg/kg(P₂O₅,风干土重)配成营养液,按基肥(60%)和追肥(40%)与灌溉水混匀施入。6 月 13 日播种,每盆播种 3~5 粒玉米种子,6 月 20 日出苗,选择长势一致的保留 3 株。根据每个处理土壤干湿状况进行等量灌水。7 月 25 日追肥。2013 年 9 月 13 日收获,整个生长期为 93 d。玉米品种为新玉 9 号。

1.3 测定项目与分析

玉米收获后,测定玉米的株高、地上和地下生物量,测定玉米根、茎、叶、棒各部分的重量及其氮素含量,同时采集土壤样品测定土壤样品的全氮和碱解氮含量,测定方法采用常规方法测定。计算玉米的氮素吸收效率以及表观利用率。

氮素吸收效率=植株氮素积累量/施氮量×100%;
氮肥表观利用率=(施氮区作物氮素吸收量-空白区作物氮素吸收量)/施氮量×100%。

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据处理及统计分析。

2 结果与分析

2.1 玉米单株生物量的变化

棉秆炭在不同氮肥施用量下对玉米生物量的影

响见图 1。不添加棉秆炭,玉米植株生物量随施氮量的增加而增加,相比 N0 处理,N150 和 N200 处理生物量提高 104.06%和 115.53%。不施氮肥条件下,添加棉秆炭的对玉米生物量具有抑制作用,降低幅度 4.98%~ 17.36%,不同处理间差异不显著;相同施氮量条件下,添加棉秆炭对玉米生物量的积累具有一定促进作用,差异不显著。相同棉秆炭条件下,增加氮肥施入量,对玉米生物量的积累具有明显的促进作用。棉秆炭用量为 0.5%处理(BC0.5)时,相比 N0 处理,N150 和 N200 处理玉米生物量提高 158.46%和 162.80%,N200 比 N150 处理提高 1.68%;棉秆炭用量为 1.0%处理(BC1.0)时,提高了 126.66%和 142.34%,N200 比 N150 处理提高了 6.92%;棉秆炭用量为 2.0%处理(BC2.0)时,提高了 126.74%和 152.37%,N200 比 N150 处理提高了 11.30%。

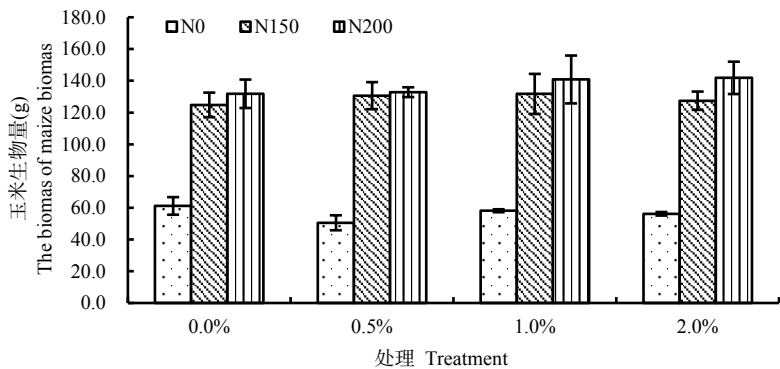


图1 玉米干物质积累量随棉秆炭和施氮量的变化

Fig.1 Variation of the dry biomass of maize with cotton stalk biochar and nitrogen fertilizer

2.2 玉米根冠比变化

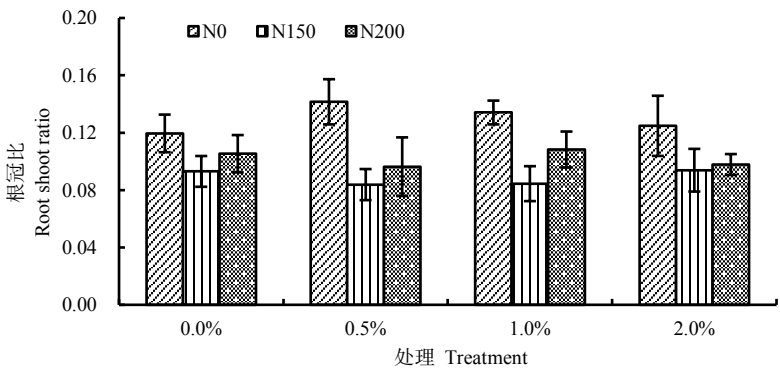


图2 玉米植株根冠比随棉秆炭和施氮量的变化

Fig.2 Variation of the root-shoot ratio of maize plant with the cotton stalk biochar and nitrogen fertilizer

根冠比能反映植株地下与地上生物量的相关关系,玉米在不同处理中的根冠比见图 2。不添加棉秆炭,玉米根冠比表现为不施氮处理最大,氮肥施用量 150 mg/kg 根冠比最小,相比 N0 处理,N150 和

N200 处理根冠比降低了 22.17%和 11.85%。相同施氮量条件下,添加棉秆炭对玉米根冠比的影响作用较小,不同处理间差异不显著。同时,相同棉秆炭添加条件下,增加施氮量,对玉米根冠比具有明显的降

低作用,棉秆炭0.5%时,相比N0处理,N150和N200处理玉米根冠比降低40.78%和31.97%,N200比N150处理提高了14.88%;棉秆炭1.0%时,N150和N200处理降低了37.00%和19.25%,N200比N150处理提高了28.18%;棉秆炭2.0%时,N150和N200处理玉米根冠比降低了24.80%和21.61%,N200比N150处理提高了4.23%。

2.3 玉米植株氮素含量变化

在不同氮肥及棉秆炭施用量下玉米植株对氮素的吸收见表2。不同棉秆炭施入条件下,随着施氮量的增加,玉米各器官及玉米植株含氮量也随之增加,棉秆炭添加量为0.5%处理(BC0.5)时,相比N0处理,N150和N200处理玉米根、茎、叶、棒和植株吸氮量分别提高67.78%~151.27%、74.07%~289.76%、

217.67%~327.65%、8.87%~44.87%和90.83%~140.85%(棒吸氮量在BC1.0和N200处理时,则降低1.95%),相比N150处理,N200处理分别提高15.28%~53.19%、5.91%~65.24%、0.70%~15.32%、1.08%~16.29%和11.10%~19.68%(棒吸氮量在棉秆炭处理为BC0.0和BC1.0时,则降低了20.95%和18.58%);叶的提高幅度最大,棒的提高幅度最小;N200处理下,棉秆炭用量2.0%(BC2.0)处理对根、棒和植株吸氮量影响最大,棉秆炭用量1.0%(BC1.0)处理对叶以及棉秆炭用量0.5%(BC0.5)处理对茎的影响优于其他处理。不同氮肥处理下,添加棉秆炭对玉米根、茎、叶、棒以及植株吸氮量具有一定的抑制作用,随着棉秆炭添加量的增加,对玉米各器官吸氮量的抑制作用逐步降低。

表2 玉米各器官中氮素含量随棉秆炭和施氮量的变化
Table 2 Variation of the nitrogen content of maize organ with cotton stalk biochar and nitrogen fertilizer %

处理 Treatment		氮含量 Content of N				
棉秆炭 Cotton stalk-char	氮 Nitrogen level	根 Root	茎 Stem	叶 Reaf	棒 Corn cob	植株 Plant
0.0%	N0	0.63±0.07	0.31±0.09	0.71±0.11	1.10±0.00	2.75±0.27
	N150	1.13±0.06	0.68±0.13	2.11±0.09	1.42±0.10	5.34±0.05
	N200	1.43±0.26	0.99±0.02	2.44±0.19	1.12±0.10	5.99±0.49
0.5%	N0	0.60±0.01	0.24±0.05	0.69±0.03	1.05±0.04	2.57±0.13
	N150	1.03±0.02	0.56±0.14	2.18±0.13	1.14±0.18	4.91±0.46
	N200	1.19±0.13	0.92±0.12	2.44±0.35	1.33±0.40	5.87±0.83
1.0%	N0	0.55±0.08	0.29±0.06	0.56±0.11	0.98±0.06	2.38±0.08
	N150	0.93±0.11	0.50±0.07	2.32±0.15	1.19±0.19	4.93±0.40
	N200	1.34±0.11	0.80±0.15	2.39±0.07	0.97±0.12	5.49±0.20
2.0%	N0	0.58±0.05	0.26±0.06	0.58±0.02	0.98±0.12	2.39±0.05
	N150	0.96±0.03	0.60±0.12	2.23±0.21	1.40±0.20	5.19±0.27
	N200	1.47±0.07	0.64±0.16	2.25±0.73	1.41±0.02	5.77±0.76

2.4 玉米氮素吸收效率的变化

棉秆炭添加量一定的条件下,增加施氮量,玉米氮素吸收效率表现出下降的趋势(图3)。相比施氮量150 mg/kg,棉秆炭添加量为0.0%、0.5%、1.0%和2.0%时,施氮量200 mg/kg的氮素吸收效率分别降低了12.91%、10.90%、14.41%和15.11%。随着棉秆炭添加量的增加,施氮量不同对氮素吸收效率影响也表现不同,添加棉秆炭处理的氮肥吸收效率均低于不添加棉秆炭处理。施氮量为150 mg/kg时,BC2.0比BC0处理吸收效率降低2.50%,棉秆炭添加量与氮素吸收效率间呈正相关,差异不显著($P>0.05$, $r=0.97$, $n=3$);施氮量为200 mg/kg时,BC2.0比BC0处理吸收效率降低4.96%。棉秆炭添加对氮素吸收效

率的影响表现为BC0.5>BC2.0>BC1.0。

2.5 氮肥表观利用率的变化

棉秆炭与氮肥不同处理对氮素表观利用率差异不显著($P>0.05$)。棉秆炭与氮肥处理对氮肥表观利用率的影响存在不同。同一棉秆炭处理下,棉秆炭用量为BC0.0和BC0.5时,N200处理的氮肥表观利用率相比N150处理提高2.96%和3.99%;棉秆炭用量BC1.0和BC2.0时,降低3.67%和4.97%。施氮量为150 mg/kg时,不同棉秆炭添加量下氮肥表观利用率表现为BC1.0>BC0.5>BC2.0>BC0.%;施氮量为200 mg/kg时,表现为BC0.5>BC1.0>BC0.0>BC2.0,相比对照分别提高了8.48%和7.49%。

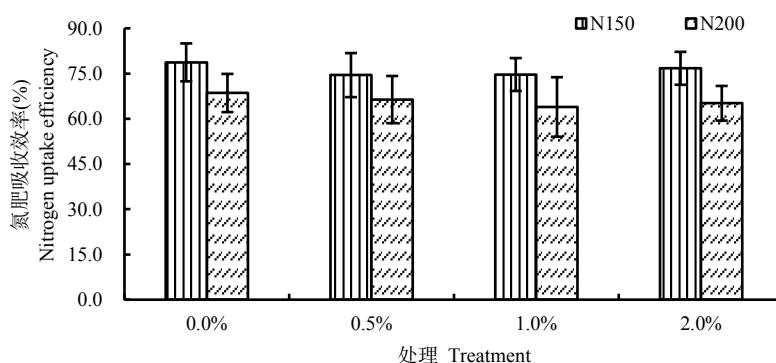


图3 不同棉秆炭添加量下玉米植株氮肥吸收效率的变化

Fig.3 Variation of nitrogen uptake efficiency of maize plant with cotton stalk biochar

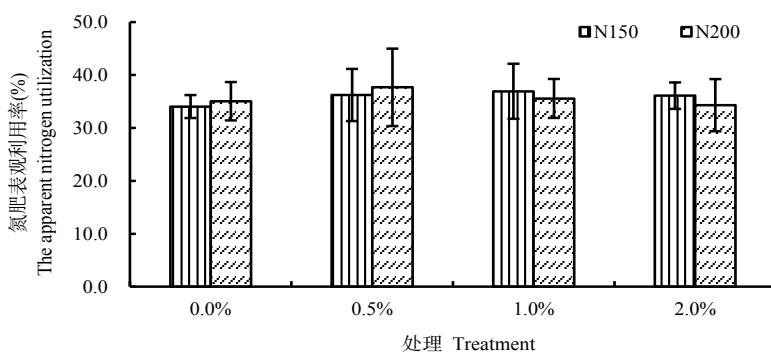


图4 不同棉秆炭添加量下玉米植株氮肥表观利用率的变化

Fig.4 Variation of the apparent nitrogen utilization of maize plant with cotton stalk biochar

3 结论与讨论

生物炭施入对作物生长以及氮肥利用的影响由于制备生物炭的物料、炭化条件、施入量以及不同肥力水平的土壤类型不同而存在差异。本研究表明, 450℃、炭化1 h的棉花秸秆制备的棉秆炭, 单施条件下, 玉米植株的生长、生物量及其氮素吸收量都受到添加棉秆炭的抑制作用, 棉秆炭施用量与玉米植株生物量及其氮素吸收量呈负相关, 这可能是因为棉秆炭含有高挥发性物质以及施入到土壤增加了土壤碳氮比, 使得土壤中可利用的氮素受到固定, 玉米从土壤中吸收的氮素有所降低。张晗芝等的研究指出, 生物炭对玉米出苗率影响不大, 生物炭用量越高则玉米植株株高及其生物量越低, 在玉米生长初期, 生物炭在一定程度上抑制了玉米的生长, 且较高生物炭施用量对其抑制效果最为明显, 与本研究结果相一致; 同时前期的研究结果显示, 单施棉秆炭处理中灰漠土氮素矿化量随其施用量的增加而减少, 进一步说明土壤中可利用氮素降低, 因而导致玉米在生长过程中所能吸收的营养成分减少, 从而降低了玉米植株生物量的积累及其氮素吸收量, 与 Melo

Carvalho^[11]和 Nelissen^[12]的研究结果相一致。

生物炭单施条件下, 不同作物和不同土壤的影响作用也存在不同, 生物炭与肥料配施对作物生长和产量的提高具有更好地促进效果, 并能提高土壤养分利用率。研究表明, 生物炭配合肥料或生物炭与肥料复合施用可明显改善作物肥效。Khan 等^[13]用木炭在 NPK 肥料溶液中通过吸附法制备生物炭基复合肥, NPK 养分均呈缓慢而恒稳释放。卢广远等^[14]采用黏合剂将炭粉与化学肥料复合制备成炭基肥料, 对玉米具有较好的增产效应。在干旱荒漠区棉秆炭与氮肥配施提高了玉米各器官的生长和生物量的积累, 提高 0.77%(N200 和 BC0.5) ~ 7.60%(N200 和 BC2.0), 不同棉秆炭处理间差异不明显, 棉秆炭与氮肥配施后降低了单施棉秆炭处理组的高碳氮比, 延缓了氮肥的释放, 降低了氮肥的损失, 同时施入的无机氮肥有效地补充了棉秆炭养分含量低的缺陷, 因此棉秆炭与氮肥配施有利于玉米的生长及植株生物量的累积。同时棉秆炭与氮肥配施提高了氮肥表观利用率, 氮肥表观利用率提高了 8.48%(BC1.0 和 N150) 和 7.49%(BC0.5 和 N200), 过量的棉秆炭和氮肥配施(BC2.0 和 N200)可能降低氮肥表观利用率, 因

此,在干旱荒漠区棉秆炭与氮肥科学合理的配施比例还需深入研究。

参考文献:

- [1] 何绪生,张树清,余 雕,等.生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J].中国农学通报,2011,27(15):16-25.
He X S, Zhang S Q, She D, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(15): 16-25. (in Chinese)
- [2] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5): 1719-1730.
- [3] Yeboah E, Ofori P, Quansah G W, et al. Improving soil productivity through biochar amendments to soils[J]. African Journal of Environmental Science and Technology, 2009, 3(2): 34-41.
- [4] Glaser B, Balashov E, Haumaier L, et al. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region[J]. Organic Geochemistry, 2000, 31: 669-678.
- [5] 唐光木,葛春辉,徐万里,等.施用生物黑炭对新疆荒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.
Tang G M, Ge C H, Xu W L, et al. Effect of Applying Biochar on the Quality of Grey Desert Soil and Maize Cropping in Xinjiang, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9): 1797-1802. (in Chinese)
- [6] 张晗芝,黄 云,刘 钢,等.生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J].生态环境学报,2010,19(11):2713-2717.
Zhang H Z, Huang Y, Liu G, et al. Effects of biochar on corn growth, nutrient uptake and soil chemical properties in seeding stage[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(11): 2713-2717. (in Chinese)
- [7] Deenik J L, McClellan A T, Uehara G. Biochar volatile matter content effects on plant growth and nitrogen and nitrogen transformations in a tropical soil[R]. Salt Lake City: Western Nutrient Management Conference, 2009: 26-31.
- [8] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, et al. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics [J]. Naturwissenschaften, 2001, 88: 37-41.
- [9] Sika M P. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil[J]. Stellenbosch: Stellenbosch University, 2012.
- [10] Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield[J]. Field Crops Research, 2009, 111(1): 81-84.
- [11] Melo Carvalho M T, E. Madari B, Bastiaans L, et al. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield[J]. J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop, 2013, 114(2): 101-107.
- [12] Nelissen V, Ruyschaert G, Müller-Stöver D, et al. Short-term effect of feedstock and pyrolysis temperature on biochar characteristics, soil and crop response in temperate soils[J]. Agronomy, 2014, 4: 52-73.
- [13] Khan M A, K-W Kim, Wang M-Z, et al. Nutrient-impregnated charcoal an environmentally friendly slow-release fertilizer[J]. Environmentalist, 2008, 28(3): 231-236.
- [14] 卢广远,张 艳,王祥福,等.炭基肥料种类对土壤物理性质及玉米产量的影响[J].河北农业科学,2011,15(5):50-53.
Lu G Y, Zhang Y, Wang X F, et al. Effects of carbon base fertilizers on soil physical properties and maize yield[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2011, 15(5): 50-53. (in Chinese)
- [15] 葛顺峰,彭 玲,任饴华,等.秸秆和生物质炭对苹果园土壤容重、阳离子交换量和氮素利用的影响[J].中国农业科学,2014,47(2):366-373.
Ge S F, Peng L, Ren Y H, et al. Effect of straw and biochar on soil bulk density, cation exchange capacity and nitrogen absorption in apple orchard soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(2): 366-373. (in Chinese)
- [16] Laird D, Fleming P, B-q Wang, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. Geoderma, 2010, 158: 436-442.
- [17] 姚红宇,唐光木,葛春辉,等.炭化温度和时间与棉秆炭特性及元素组成的相关关系[J].农业工程学报,2013,29(7):199-206.
Yao H Y, Tang G M, Ge C H, et al. Characteristics and elementary composition of cotton stalk-char in different carbonization temperature and time[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(7): 199-206. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)