

生物炭对土壤养分、酶活性及玉米产量的影响

王智慧, 殷大伟, 王洪义, 赵长江, 李佐同*

(黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省秸秆炭化资源化工程技术研究中心/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:为明确半干旱地区草甸土玉米栽培过程中生物炭的最佳施用量,进行了田间小区试验,研究了生物炭不同施用量(0 t/hm²、10 t/hm²、20 t/hm²、40 t/hm²、80 t/hm²)对土壤养分、土壤酶活性及产量的影响。结果表明:施用生物炭对土壤有机碳、全氮、速效钾含量均有提高作用,且均与施炭量成正相关。但土壤有效磷含量在生物炭施用量80 t/hm²时最显著。土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性也均表现为施炭量80 t/hm²促进作用更明显,且持续时间更长。不同生物炭施用量对玉米产量均有促进作用,10 t/hm²、20 t/hm²、40 t/hm²、80 t/hm²处理玉米产量分别较对照增加了1.16%、9.97%、28.53%、42.13%。因此,生物炭的施用改善了土壤养分状况、提高了土壤酶活性、促进了产量形成,在0~80 t/hm²的施用范围内,随着生物炭施用量的增加,其作用效果更为显著。

关键词:生物炭;玉米;土壤养分;土壤酶活性;产量

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2019)03-0014-06

Effects of Different Amounts of Biochar Applied on Soil Nutrient, Soil Enzyme Activity and Maize Yield

WANG Zhihui, YIN Daweil, WANG Hongyi, ZHAO Changjiang, LI Zuotong*

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Heilongjiang Engineering Technology Research Center for Crop Straw Utilization/Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement of Heilongjiang Province, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to determine the optimal application amount of biochar on maize cultivation in meadow soil in semi-arid area, a field plot experiment were carried out to study the effects of different amounts of biochar (0 t/ha, 10 t/ha, 20 t/ha, 40 t/ha, 80 t/ha) on soil nutrient, soil enzyme activity and crop yields. Results showed that biochar addition increased the content of soil organic carbon, total nitrogen and available potassium, which were positively correlated with the application rate of biochar. The treatment of 80 t/ha significantly improved the contents of soil available phosphorus, and the soil enzymes activity of urease, alkaline phosphatase, sucrase and catalase, and the effect lasted longer. The application of biochar at different dosage promoted the maize yield. The treatment of 10 t/ha, 20 t/ha, 40 t/ha, 80 t/ha increased by 1.16%, 9.97%, 28.53% and 42.13% in comparison with control, respectively. Therefore, the application of biochar improved soil nutrient status, the soil enzyme activity, and promoted crop yields. With the increase of the application amount of biochar in the range of the 0-80 t/ha, its effect was more significant for maize cultivation in meadow soil in semi-arid area.

Key words: Biochar; Maize; Soil nutrients; Soil enzyme activity; Yield

收稿日期:2018-12-13

基金项目:国家“十三五”重点研发项目(2017YFD0200803);黑龙江八一农垦大学三横三纵支持计划(ZRCPY201803);中央引导地方科技发展专项(ZY16A06);农垦总局课题(HNK135-02-05);农业部东北地区作物栽培科学观测实验站开放课题(2017-4);黑龙江八一农垦大学大学生创新创业训练计划项目(XC2018006)

作者简介:王智慧(1984-),女,实验师,在读博士,研究方向为土壤改良及玉米高产生理生态。

通讯作者:李佐同,男,博士,教授, E-mail: lxg6401999@163.com

随着我国玉米种植面积逐年增加,产生了大量的农业废弃秸秆。如何利用秸秆资源巨大的空间,发展符合生态环保、节能减排、农业可持续发展的新产业成为重大的课题。近年来,秸秆高温炭化技术逐渐兴起,生物炭也在农业领域得到了广泛的关注。生物炭是农业废弃生物质(如秸秆)在缺氧或少氧条件下高温热解而成的稳定高碳产物^[1-2]。生物炭具有高度羧酸酯化和芳香化结构,其疏松多孔、比表面积大、吸附能力强^[3]。生物炭可作为一种理想的土壤改良剂,施入土壤能降低容重,增大土壤孔隙度,增加通气性和土壤持水量,提高土壤有机质含量,增加土壤酶活性,提高土壤中氮、磷、钾等元素的吸附,减少养分淋溶,提高肥料养分利用率^[4-6]。同时生物炭可促进作物生长,增加生物量,提高作物产量及品质^[7-9]。

目前,农田耕地板结严重,犁底层增厚,渗透能力差等问题凸显。面对粮食需求不断增加的挑战,利用农业废弃秸秆生物炭改善土壤结构,调节土壤肥力状况,提高土壤的养分利用程度,创造良好的农田生态环境,这对于在有限土地上保证粮食的增产具有非常重要的意义。

因此,本研究针对上述问题,探讨不同施用量秸秆生物炭对草甸土土壤养分、酶活性及玉米产量的影响,明确生物炭在玉米生产上可行的量-效关系。以期为提高农田土壤养分管理和农业资源利用效率以及保护生态环境提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于2016年在黑龙江八一农垦大学农学院试验基地进行。土壤基础理化性质为有机质27.59 g/kg、碱解氮120 mg/kg、有效磷12.25 mg/kg、速效钾132.93 mg/kg, pH值为7.84。

1.2 试验材料

供试玉米品种为郑单958,供试生物炭材料为玉米秸秆炭,购于辽宁金和福农业开发有限公司,其基本理化性质为pH值7.94,含碳44.06%、氮1.53%、磷0.78%、钾1.68%。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,设置5个不同生物炭施用量处理,分别为对照(C0,不施生物炭)、10 t/hm²(C10)、20 t/hm²(C20)、40 t/hm²(C40)、80 t/hm²(C80)。各处理3次重复,共15个处理。各小区6行,行长15 m,行距0.65 m,面积58.5 m²。种植密

度为7.5万株/hm²。区组两边各设置保护行4行。化肥种类为尿素(N 46%)、磷酸二铵(P₂O₅ 46%)、硫酸钾(K₂O 50%),氮磷钾比例为1.5:1:0.7,其中60%尿素作为底肥施用,40%尿素在玉米大喇叭口期作为追肥施用。田间管理按照常规大田管理进行。

1.3.1 测定项目与方法

于玉米植株生长苗期、拔节期、抽雄期、蜡熟期、成熟期,分别在试验各小区以S形五点取样,用土钻在行间取0~20 cm土样,将五点土壤混匀后装入袋子带回实验室。土样风干后,测定土壤中的养分。土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法进行测定;全氮含量测定采用H₂SO₄加速剂进行消煮,SKD-2000全自动凯氏定氮仪测定;速效磷含量采用NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法进行测定;速效钾含量采用1 mol/L的NH₄OAc浸提-火焰光度法进行测定^[10]。土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定;蔗糖酶活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法;碱性磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[11]。

1.3.2 产量的测定

在玉米成熟期,从每个小区中间选取2行(长5 m,行距0.65 m)收获全部果穗,统计有效穗数后称重,计算平均穗鲜重;选取具代表性的20个果穗(误差小于0.05 kg),脱粒,称重,计算出子率,最后测定子粒含水率,折算公顷产量。

1.4 数据分析

使用Excel和SPSS 19.0对数据进行统计与分析,采用GraphPad Prism 7软件进行图形处理。

2 结果与分析

2.1 不同生物炭施用量对土壤有机碳、全氮、速效磷、速效钾含量的影响

由图1(A)可知,与CK处理相比,C40、C80处理显著增加了苗期、拔节期、抽雄期、蜡熟期、成熟期土壤有机碳含量,平均提高了29.10%、43.61%;C20、C10处理土壤有机碳含量均较CK处理有不同程度增加,平均提高了17.35%、12.64%。因此,研究表明施入生物炭可提高土壤有机碳含量。

由图1(B)可知,C10、C20处理土壤全氮含量较CK处理略有增加,但无显著性差异。C40、C80处理较CK处理在各时期对土壤全氮含量均有显著增加,两处理分别平均增加了13.07%、

16.86%。这表明生物炭的施入对土壤全氮含量有促进作用,且随着生物炭施用量增大,土壤全氮含量增高。

由图1(C)可知,苗期C10、C20、C40、C80处理的土壤速效磷含量与CK相比分别提高了5.13%、13.09%、24.27%、38.95%,且这种促进作用一直持续整个生育期。此外,土壤中速效磷含量随着玉

米生育期的推进逐渐降低,在玉米生长苗期,土壤有效磷含量最高,这说明施入生物炭可显著促进土壤中有有效磷素积累与转运。

由图1(D)可知,随着生物炭施用量的增加,土壤速效钾含量增加。各时期各处理与CK相比,仅C40、C80处理有持续显著促进作用,平均增加了37.01%、50.15%。

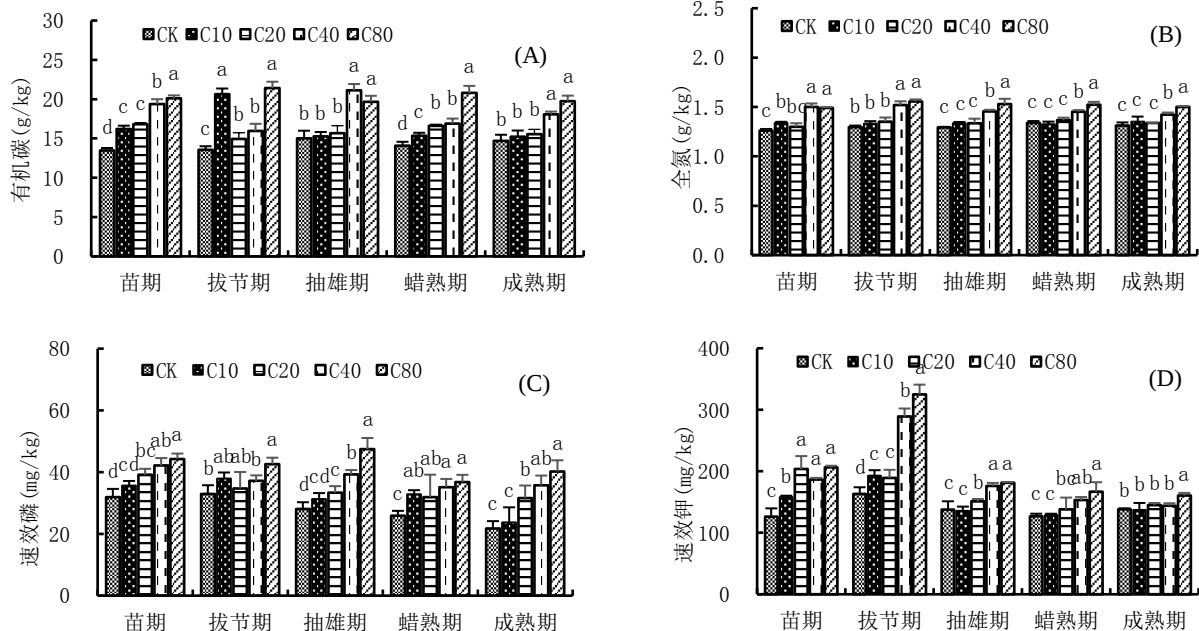


图1 不同施炭量对土壤有机碳、全氮、速效磷、速效钾含量的影响

2.2 不同生物炭施用量对土壤酶活性的影响

由图2(A)可知,不同生物炭施用量对土壤脲酶活性均表现为促进作用,不同施用量的生物炭对土壤脲酶的影响表现为:在玉米生育苗期,C10、C20、C40处理较CK无显著差异,C80处理土壤脲酶活性较CK显著提高了45.16%;在玉米生长拔节期,C40、C80处理土壤脲酶活性显著高于CK,分别较对照提高了79.00%、122.06%;玉米生长抽雄期,各处理对土壤脲酶活性的影响仅C80处理表现出显著促进作用;玉米生长蜡熟期,C40、C80处理较CK土壤脲酶活性分别提高了34.80%、51.85%;玉米生长成熟期,C80处理土壤脲酶活性仍然维持很高水平,较CK提高了60.40%。这表明生物炭施用量高对土壤脲酶促进作用更明显。

由图2(B)可知,玉米生长各时期的土壤蔗糖酶活性随着生物炭施用量的增加呈现逐渐升高的趋势。玉米生长苗期,C10、C20、C40处理土壤蔗糖酶较CK无显著差异,C80处理土壤蔗糖酶活性显著提高了34.01%;玉米生长拔节期和抽雄期,各处理土壤蔗糖酶的变化趋势一致,C20、C40、

C80处理土壤蔗糖酶活性均有显著提高;玉米生长蜡熟期,C10、C20、C40、C80处理土壤蔗糖酶活性均显著高于CK,分别增加了19.99%、29.46%、43.18%、42.01%;玉米生长成熟期,仅C40、C80处理对土壤蔗糖酶活性有显著促进作用。这表明土壤蔗糖酶活性与生物炭施用量成正相关。

由图2(C)可知,各时期各施炭处理土壤碱性磷酸酶活性均高于其相应对照。玉米生长苗期,C80处理土壤碱性磷酸酶活性较CK显著提高了33.58%,其他处理无显著性差异;但到拔节期施用生物炭的各处理土壤碱性磷酸酶活性均较CK有显著性提高,分别提高了54.82%、47.47%、66.14%、93.94%;玉米生长抽雄期、蜡熟期,土壤碱性磷酸酶活性均显著高于CK,但不同施炭量处理间无显著性差异;但成熟期C80处理土壤碱性磷酸酶活性显著提升,较CK提高了25.22%。

由图2(D)可知,在整个生育期,C40、C80处理土壤过氧化氢酶活性一直持续较高水平且十分稳定,二者均显著高于其相应对照;C20处理土壤过氧化氢酶活性仅在玉米生长苗期和拔节期表现出显著高于对照处理。

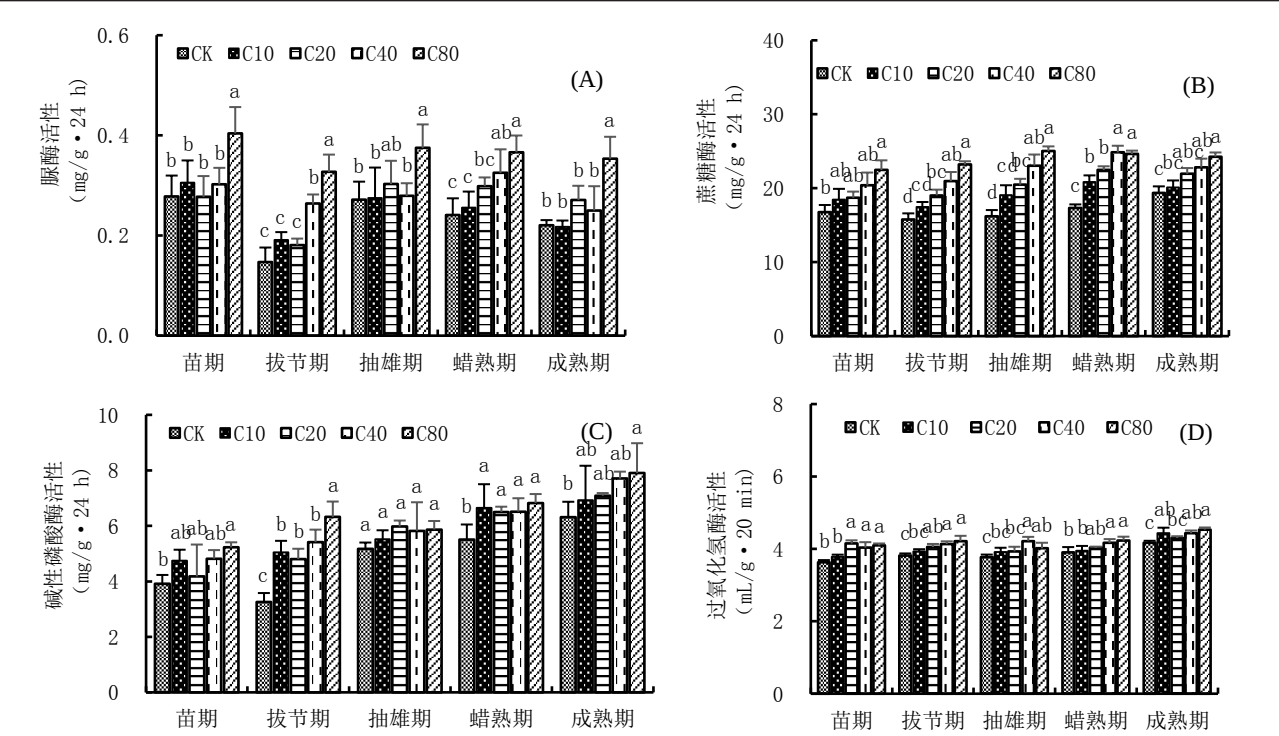


图2 不同施炭量对土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性的影响

2.3 不同生物炭施用量对玉米产量的影响

如图3所示,随着生物炭施用量的增加,玉米产量呈现出逐渐升高的趋势。C10、C20、C40、C80

处理玉米产量分别较CK增加了1.16%、9.97%、28.53%、42.13%,其中C40、C80处理显著高于CK,但二者间无显著差异。这说明生物炭施用量较大对玉米产量提升作用明显。

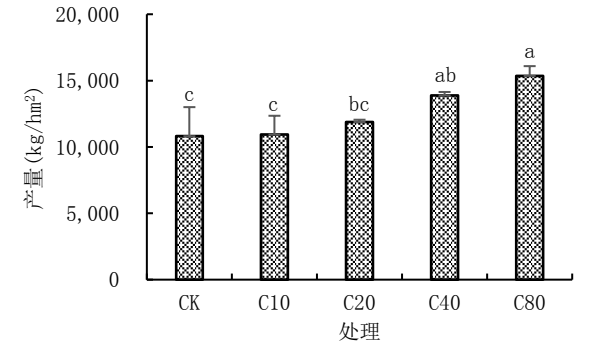


图3 不同施炭量对玉米产量的影响

2.4 土壤养分、土壤酶活性与玉米产量的相关关系

由表1可知,土壤有机碳与全氮呈极显著正相关($P<0.01$),与速效磷呈显著正相关($P<0.05$),与碱性磷酸酶、蔗糖酶也呈显著正相关;土壤全氮与速效磷、速效钾、碱性磷酸酶、蔗糖酶均呈显著正相关;土壤速效磷与土壤速效钾、碱性磷酸酶、蔗糖酶呈显著正相关;土壤速效钾仅与蔗糖酶呈显著正相关;但土壤有机碳、全氮、速效磷、速效钾与脲酶、过氧化氢酶不存在显著相关性。

表1 土壤养分、土壤酶活性与玉米产量间的相关性分析

	有机碳	全氮	速效磷	速效钾	脲酶	碱性磷酸酶	蔗糖酶	过氧化氢酶	产量
有机碳	1	0.988**	0.931*	0.876	0.836	0.937*	0.934*	0.803	0.993**
全氮		1	0.896*	0.885*	0.849	0.925*	0.909*	0.859	0.968**
速效磷			1	0.880*	0.865	0.949*	0.997**	0.716	0.960**
速效钾				1	0.865	0.776	0.899*	0.630	0.898*
脲酶					1	0.753	0.887*	0.613	0.862
碱性磷酸酶						1	0.953*	0.880*	0.932*
蔗糖酶							1	0.747	0.959**
过氧化氢酶								1	0.748
产量									1

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关;*在0.05水平(双侧)上显著相关

4种酶之间的相关性表现为蔗糖酶与脲酶、碱性磷酸酶有显著正相关。养分元素碳、氮、磷与玉米产量呈极显著正相关,钾与玉米产量呈显著正相关。碱性磷酸酶、蔗糖酶与产量也呈显著正相关,但脲酶、过氧化氢酶与产量不存在显著相关性。

3 讨 论

本文探讨不同生物炭施用量对黑龙江西部半干旱地区弱碱性草甸土土壤养分的影响,研究表明:施入生物炭可提高土壤有机碳、全氮、速效磷、速效钾含量。生物炭自身含碳丰富,施入土壤直接增加了“碳”源。生物炭对土壤氮素的促进作用可能是因为:(1)生物炭可吸附以各种形态存在的氮素,降低氮挥发、淋溶、固持损失^[12];(2)生物炭的施用提高了土壤中碳素含量,然而自然界中微生物会对土壤C/N进行调控,最终达到稳定的比值,这是生物炭提高土壤氮素的一个重要原因^[13];(3)生物炭对土壤酶反应底物的吸附促进了酶促反应,提高了土壤酶活性,进而促进了土壤氮素循环^[14-15]。弱碱性草甸土土壤全磷含量很高但有效磷含量较低,但生物炭改变了磷素在土壤中的物理化学行为,促进了磷的有效转化,提高了土壤磷素有效性含量。一些学者也有类似的研究结论,如Deluca等研究认为高pH和CEC的生物炭加入土壤时,阻碍了Fe、Al、Ca氧化物对磷的吸收,从而增加磷的活性;生物炭丰富的孔隙体积和比表面积,可为微生物提供良好的生存环境,使其矿化和溶解有机和无机磷,从而使这些磷被植物吸收利用^[16]。生物炭中钾的有效性较高,施入土壤能提高土壤速效钾和作物的吸钾量。本研究表明:土壤速效钾含量与生物炭施用量成正比,这与曾爱等人^[17]的研究结果一致。施炭量40 t/hm²、80 t/hm²对土壤速效钾补给充足。生物炭施入土壤可能通过直接提供速效钾和间接减少土壤中钾的淋溶损失两种途径提高土壤速效钾含量。

土壤酶是土壤新陈代谢的重要因素,土壤酶活性可反映土壤生物化学反应活跃程度、土壤微生物活性、土壤养分循环状况等^[18-19]。由于生物炭具有较强的吸附性,因此对土壤酶的影响较为复杂,主要有两方面:(1)生物炭可能吸附土壤中的反应底物,加强酶促反应进行,进而提高土壤酶活性;(2)生物炭可能吸附酶分子,对酶促反应结合位点形成保护,从而抑制酶促反应进行^[20]。

本研究发现,土壤蔗糖酶活性与生物炭施用量成正相关,随着生物炭施用量增大,土壤有机碳含量增高,进而促进土壤蔗糖酶活性增强。土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性均表现为80 t/hm²施炭量促进作用更明显,且持续时间更长。尚杰等^[21]研究与我们有类似的结论,其研究生物炭对砂土和壤土酶活性的影响,发现施入生物炭对土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性都有所提高,且生物炭用量较高时对土壤整体酶活性影响最显著。

土壤酶与土壤养分之间存在着密切关系,脲酶是参与土壤氮素循环的重要水解酶,其活性高低反映出土壤对氮素的需求与利用;蔗糖酶具有促进糖类水解、加速土壤碳素循环的作用;磷酸酶可以促进有机磷化合物分解;过氧化氢酶活性高低可表示土壤腐殖化强度和有机质积累程度^[22-23]。本研究发现,土壤碳与蔗糖酶呈显著正相关,土壤速效磷与碱性磷酸酶呈显著正相关,但脲酶、过氧化氢酶与土壤养分不存在显著相关性。

本研究结果表明:生物炭的施用能提高玉米产量,且随着施炭量增多产量增加。这是因为生物炭的施用增加了土壤有机质,提高了土壤酶活性,改善了土壤养分状况,促进了产量形成进而提高了作物产量。这与Uzoma等人^[24]在沙质土中添加生物炭对玉米影响的结论一致,他认为生物炭添加可提高玉米产量,且随着添加比例的增加产量明显提高。国内一些学者的研究也有类似的结论^[25-26]。

生物炭对土壤养分、酶活性及产量的影响不仅与生物炭施用量有关,还与土壤质地、生物炭类型、作物种类以及施肥状况等密切相关,这种复杂的交互作用及其过程会使得试验结果不尽相同^[27],因此,关于生物炭对土壤和作物的影响机理还有待进一步深入研究。

4 结 论

(1)生物炭施用量为10~80 t/hm²时,随着施炭量的增加,土壤有机碳、全氮、速效钾含量逐渐增加。当施入量为80 t/hm²时,土壤速效磷含量的增幅最高,且这种促进作用持续玉米整个生育期。

(2)土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性均表现为80 t/hm²施炭量促进作用更明显,且持续时间更长。

(3)施用生物炭有利于提高玉米产量,且随着

施炭量的增加产量的增加作用更为突出。在黑龙江西部半干旱地区草甸土上生物炭施用量为80 t/hm²时,玉米产量可增加42.13%。

参考文献:

- [1] 郭大勇,郭凯丽,王旭刚,等.基于Web of Science和CNKI的生物炭研究文献计量分析[J].东北农业科学,2017,42(4):49-54.
- [2] 朱倩,严陶韬,周之栋,等.施用生物炭对喀斯特石灰土特性及刺槐幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2018,46(3):241-245.
- [3] Yin Y F, He X H, Ren G A O, et al. Effects of rice straw and its biochar addition on soil labile carbon and soil organic carbon [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(3): 491-498.
- [4] 武玉,徐刚,吕迎春,等.生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J].地球科学进展,2014,29(1):68-79.
- [5] 杨刚,周威宇.生物炭对盐碱土壤理化性质、生物量及玉米苗期生长的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):68-72.
- [6] Rehrah D, Bansode R R, Hassan O, et al. Physico-chemical characterization of biochars from solid municipal waste for use in soil amendment[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2016, 118: 42-53.
- [7] 韩翠莲,霍铁珍,朱冬梅.生物炭对土壤肥力及玉米产量的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):54-57.
- [8] 金梁,魏丹,郭文义,等.化肥单施及生物炭与化肥配施对土壤物理性质、大豆形态学指标及产量影响[J].中国土壤与肥料,2015(2):29-32.
- [9] Liang F, Li G T, Lin Q M, et al. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(3):525-532.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:44-49,81-83,106-108.
- [11] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:271-319.
- [12] Cox D, Bezdicek D, Fauci M. Effects of compost, coal ash, and straw amendments on restoring the quality of eroded Palouse soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 33(5): 365-372.
- [13] 尚杰,耿增超,陈心想,等.施用生物炭对旱作农田土壤有机碳、氮及其组分的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(3):509-517.
- [14] Czimczik C I, Masiello C A. Controls on black carbon storage in soils[J]. Global Biogeochemistry Cycles, 2007, 21(3): 113.
- [15] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review[J]. Mitig Adapt Strat Gl, 2006,11(2): 403-427.
- [16] DeLuca T H, MacKenzie M D, Gundale M J. Biochar effects on soil nutrient transformations[M]. in: Biochar for Environmental Management: Science and Technology, 2nd Ed., J. Lehmann and S. Joseph (eds.), Routledge, London, UK,2009:251-270.
- [17] 曾爱,廖允成,张俊丽,等.生物炭对壤土土壤含水量、有机碳及速效养分含量的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(5):1009-1015.
- [18] Burns R G, De Forest J L, Marxsen J, et al. Soil enzyme in changing environment:current knowledge and future directions [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 58: 216-234.
- [19] 王巍巍,魏春雁,张之鑫,等.不同种稻年限盐碱地水田表层土壤酶活性变化及其与土壤养分关系[J].东北农业科学,2016,41(4):43-48.
- [20] Elzobair K A, Stromberger M E, Ippolito J A, et al. Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol[J]. Chemosphere, 2016, 142: 145-152.
- [21] 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):141-151.
- [22] 张毅博,韩燕来,吴名宇,等.生物炭与有机肥施用对黄褐土土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J].中国农学通报,2018,34(13):113-118.
- [23] 陈心想,耿增超,王森,等.施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J].农业环境科学学报,2014,33(4):751-758.
- [24] Uzoma K C, Inoue M, Andry H, et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition[J]. Soil Use and Management, 2011,27(2): 205-212.
- [25] 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.
- [26] 蒋健,王宏伟,刘国玲,等.生物炭对玉米根系特性及产量的影响[J].玉米科学,2015,23(4):62-66.
- [27] Chen W F, Zhang W M, Meng J. Advances and prospects in research of biochar utilization in agriculture[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3324-3333.