

生物炭对玉米根系特性及产量的影响

蒋 健, 王宏伟, 刘国玲, 冯 阳, 吴振兴, 王晶晶,
刘红亮, 步蕴法, 李凤海

(沈阳农业大学特种玉米研究所, 沈阳 110866)

摘 要: 采用大田试验研究生物炭对郑单 958 产量和不同生育时期根系生长、形态特征及生理特性的影响, 明确生物炭对玉米根系与产量的效应, 探明生物炭在玉米生产上应用的潜力与价值。结果表明, 土壤中施入生物炭能增加玉米根系的总根长、根体积和根干重, 提高玉米根系总吸收面积和活跃吸收面积。在玉米生育后期, 生物炭在一定程度上延缓了根系衰老, 成熟期施生物炭处理根系活力分别比对照高 48.12% 和 42.71%; 同时维持了较为适宜的根冠比, 根系生理功能增强; 添加生物炭后郑单 958 最高产量达 12 076.35 kg/hm², 比对照增产 10.23%, 具体表现为穗长、穗行数、行粒数和百粒重的提高。

关键词: 玉米; 生物炭; 根系; 产量

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effect of Biochar on Root Characteristics and Yield in Maize

JIANG Jian, WANG Hong-wei, LIU Guo-ling, FENG Yang, WU Zhen-xing, WANG Jing-jing,

LIU Hong-liang, BU Yun-fa, LI Feng-hai

(Special Maize Institute, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to ascertain the effects of biochar on maize root systems and yield, exploring the potentials and values of biochar applied in maize production. Field experiment was adopted to research the effects of biochar on yield and root growth, morphological, physiological characteristics in different growth stages of the variety Zhengdan958. The result showed that soil with biochar could increase total root length, root volume and dry weight of maize root system, enhance total absorption area and active absorption area of maize root system. At the later period of maize growth, biochar could delay senescence processes of root system to some extent. Root activities of two treatments with biochar were higher than contrast with 48.12% and 42.71% respectively at mature stage. Biochar can also maintain appropriate root shoot ratio, strengthen root physiological function. Biochar made the yield as high as 12 076.35 kg/ha, higher than contrast by 10.23% because of the increase of ear length, ear rows, grains per row, and 100-grain weight.

Key words: Maize; Biochar; Root system; Yield

根系是作物吸收养分、水分和合成某些内源激素的重要器官, 其发育状况与地上部器官的形态建

成和产量密切相关^[1]。生物炭施入土壤后可增加土壤孔隙度、增加土壤持水性、提高土壤保肥性、提高土壤的 CEC、减小土壤容重、降低土壤拉伸强度^[2~9], 土壤这些理化性质的改变必然会引起根系的适应性响应。生物炭的多孔结构有利植物根系的生长, 从而促进作物地上部的生长, 提高作物产量。在我国北方耕作条件下, 有关生物炭对玉米根系影响的相关研究报道较少。本试验选用玉米秸秆生物炭, 在 5 000、2 500 kg/hm² 两个施用量下对玉米根系的形态特征、生理特性及产量的影响进行研究, 为生物炭在玉米生产上的应用提供参考。

收稿日期: 2015-01-15

基金项目: 国家科技计划课题(2013BAD07B03)、国家科技支撑计划(2014BAD01B01)

作者简介: 蒋 健(1989-), 男, 满族, 锦州北镇人, 硕士, 主要从事玉米栽培生理研究。Tel: 13840318284

E-mail: jiangjian026@126.com

王宏伟为本文通讯作者。Tel: 13591633055

E-mail: whw741119@163.com

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2013~2014年在铁岭市金家试验地进行。供试土壤为棕壤,碱解氮102.4 mg/kg,速效磷75.04 mg/kg,速效钾135.13 mg/kg。供试玉米品种为郑单958。试验用生物炭原材料为玉米秸秆,粒径1.5~2.0 mm。生物炭pH值9.234,含氮1.43%、磷0.74%、钾1.62%。

试验采用裂区设计,3次重复,行长5 m,行距60 cm,小区面积18 m²。设3个处理:处理1无炭处理为对照(CK);处理2加生物炭5 000 kg/hm²(C1);处理3加生物炭2 500 kg/hm²(C2);根据当地施肥水平,于播种时一次性施入N 280 kg/hm²、P₂O₅ 60 kg/hm²、K₂O 75 kg/hm²。生物炭于2013年播种时施入。

1.2 试验方法

分别于拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期(授粉后20 d)、成熟期选取各小区有代表性的玉米5株,采用挖掘法取0~60 cm土层根系。用水冲洗干净

待用。

总根长、根表面积、根体积:用WinRHIZO根系分析系统测定。

根系总吸收面积:用甲烯蓝比色法测定^[10]。

根系活跃吸收面积:指具有吸收养分及水分能力的根系面积,采用甲基蓝比色法测定。

根系活力:用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定。

成熟期每处理取15株,用常规考种方法测定产量和产量构成因素等相关指标。

1.3 数据处理及作图方法

采用DPS及Excel进行数据分析及作图。

2 结果与分析

2.1 生物炭对玉米根系形态特征的影响

2.1.1 生物炭对总根长、根体积与根干重的影响

如表1所示,生物炭处理的玉米总根长在不同生育时期均高于对照,其中在拔节期至抽雄期C1、C2处理与对照差异显著;灌浆期和成熟期,总根长差异逐渐减小,各处理间差异不显著。

表1 生物炭对不同生育时期玉米根系形态性状的影响

Table 1 Effects of biochar on maize root morphological characteristics at different growth stages

性 状	处 理	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	成熟期
Trait	Treatment	Jointing stage	Big trumpet period	Tassel stage	Filling stage	Mature stage
总根长(m)	CK	24.13 c	62.78 c	106.36 b	93.87 a	86.23 a
	C1	37.14 a	74.57 a	119.63 a	97.31 a	91.37 a
	C2	31.56 b	70.32 b	113.51 a	96.42 a	89.56 a
根体积(cm ³)	CK	69.14 c	149.42 c	316.32 b	312.37 b	274.38 b
	C1	113.31 a	219.67 a	332.53 a	337.32 a	323.44 a
	C2	97.85 b	186.41 b	324.02 a	329.13 a	317.22 a
根干重(g)	CK	11.52 c	25.62 c	28.73 c	26.93 b	25.01 b
	C1	16.68 a	34.92 a	36.55 a	32.21 a	30.16 a
	C2	13.01 b	31.21 b	32.44 b	30.47 a	29.51 a

注:同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平(P<0.05)。下表同。

Note: Different small letters after the numbers in the same column indicated significant differences at the level of 0.05. The same below.

生物炭对玉米根体积与根干重的影响在全生育期内有相似的趋势。在全生育期内根体积及根干重显著高于对照,在玉米生育前期C1处理根体积及根干重显著高于C2处理,在灌浆和成熟期C1与C2处理根体积与根干重差异不显著。

2.1.2 生物炭对玉米根冠比的影响

如图1所示,整个生育期内,玉米根冠比呈先增加后降低的单峰曲线变化,大喇叭口期达到最大值,生育后期差异不显著。生物炭处理的根冠比高于对照,且在大喇叭口期C1和C2处理分别比CK高

15.36%和9.4%。

生物炭促进了根系前期生长,促使根系有更大的生长量,为地上部生长奠定了基础。在生育后期,生物炭在一定程度上延缓了根系衰亡,保持了较为适宜的根冠比,有利于提高根系吸收效率,促进地上部植株生长。

2.2 生物炭对玉米根系生理特性的影响

2.2.1 生物炭对玉米根系总吸收面积与活跃吸收面积的影响

由表2、表3可知,在整个生育期,玉米根系总吸

收面积和活跃吸收面积表现出施炭处理高于对照,且与对照相比差异均达显著水平;在拔节期到大喇叭口期表现为C1>C2>CK,大喇叭口期根系总吸收面积C1处理比对照和C2处理分别提高44.73%和

11.73%,活跃吸收面积分别提高71.81%和33.02%;抽雄期到成熟期,C1、C2处理的根系总吸收面积与活跃吸收面积均显著高于CK,但C1和C2处理间差异不显著。

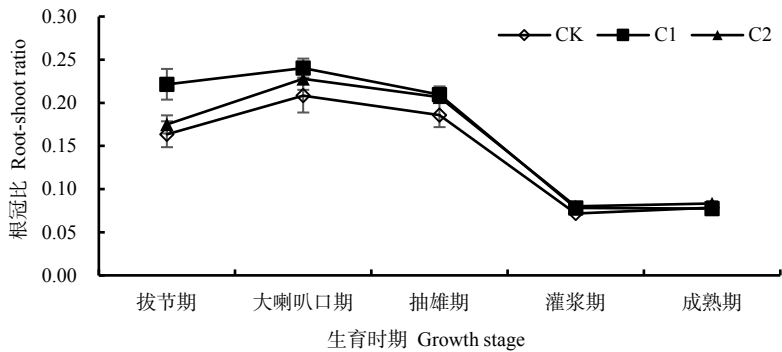


图1 生物炭对不同生育期玉米根冠比的影响

Fig.1 Effect of biochar on maize root-shoot ratio in different growth stages

表2 生物炭对不同生育时期玉米根系总吸收面积的影响

Table 2 Effects of biochar on the root total absorption area at different growth stages m²

处 理 Treatment	总吸收面积 Root total absorption area				
	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	成熟期
	Jointing stage	Big trumpet period	Tassel stage	Filling stage	Mature stage
CK	34.13 c	61.32 c	128.51 b	123.31 b	81.55 b
C1	50.26 a	88.75 a	142.33 a	138.52 a	94.12 a
C2	43.14 b	79.43 b	138.35 a	135.06 a	89.47 a

表3 生物炭对不同生育时期玉米根系活跃吸收面积的影响

Table 3 Effects of biochar on the root active absorption area in different growth stages m²

处 理 Treatment	活跃吸收面积 Root active absorption area				
	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	灌浆期	成熟期
	Jointing stage	Big trumpet period	Tassel stage	Filling stage	Mature stage
CK	19.38 c	33.95 c	59.37 b	53.21 b	32.31 b
C1	36.13 a	58.33 a	70.36 a	68.54 a	47.37 a
C2	28.26 b	43.85 b	68.42 a	64.15 a	41.14 a

2.2.2 生物炭对玉米根系活力的影响

根系活力及其生理活性是衡量作物根对养分吸收能力的重要指标。施炭处理C1、C2的根系活力高于对照处理,表明生物炭明显提高了玉米全生育期的根系活力;除拔节期,其余4个生育时期C1处理的根系活力比对照高13.12%~49.37%,差异达显著水平;生育后期,生物炭处理仍维持了相对较高的根系活力,成熟期施炭处理分别比对照高48.12%和42.71%(图2),表明生物炭在一定程度上延缓了根系衰老,提高根系吸收能力和对地上部养分的供应能力,对促进物质吸收、转运与分配具有重要作用。

2.3 生物炭对玉米产量及其构成因素的影响

从表4可以看出,生物炭处理的玉米产量高于对照,表现为C1>C2>CK,且各处理间差异显著。C1、C2处理比对照平均增产7.40%,其中以C1处理的产量最高,为12 076.35 kg/hm²,比对照增产10.23%。产量构成因素中,C1、C2处理的穗长、穗行数、行粒数、百粒重均高于对照,其中C1处理与对照差异显著。添加生物炭提高了玉米穗长、穗行数、行粒数,是增产的主要原因,说明适宜的生物炭用量对提高玉米产量具有重要作用。

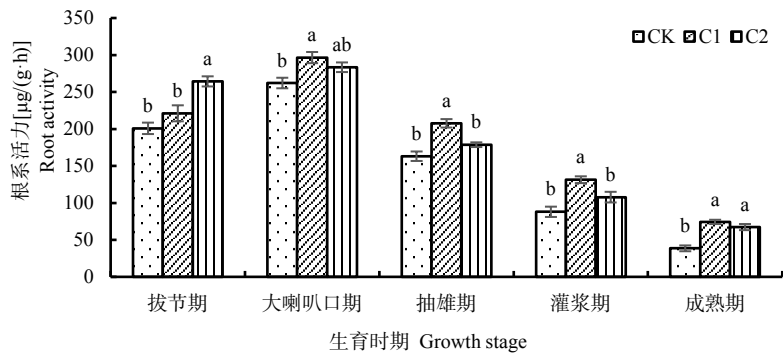


图2 生物炭对玉米根系活力的影响

Fig.2 Effects of biochar on maize root activity at different growth stages

表4 生物炭对玉米产量及其构成因素的影响

Table 4 Effects of biochar on maize yield and its components

处 理	穗长(cm)	穗行数	行粒数	百粒重(g)	产量(kg/hm ²)	比对照±%
Treatment	Ear length	Ear rows	Grains per row	100-grain weight	Yield	Than CK
CK	15.33 b	14.53 b	33.13 b	31.70 b	10 955.55 c	
C1	19.29 a	16.00 a	40.67 a	35.47 a	12 076.35 a	10.23
C2	16.49 b	15.07 ab	35.87 b	32.17 b	11 455.05 b	4.56

3 结论与讨论

虽然生物炭的作用机理尚不完全清楚,但其作用效果不断被试验所证实。许多研究表明,适量的生物炭施入可以显著提高农作物的生物量和产量^[11~15]。发达而健壮根系是作物高产的基础,生物炭对作物根系影响的相关研究报道较少。张伟明等的研究表明,生物炭在一定程度上使水稻根系形态特征得到优化、根系生理功能增强、促进了产量的提高^[16]。土壤容重低、通透性好等良好的物理结构是高产超高产土壤主要特征之一^[17,18],有利于玉米根系的发育,对玉米产量的提高具有促进作用^[19]。生物炭本身具有的多孔结构和比表面积大的特征,使其施入土壤后降低了土壤容重、增大了总孔隙率^[20],改善了根系周围土壤的物理性状,为根系生长创造了条件;促进土壤生物化学与物理化学的交互作用^[21,22],促进与N等矿质元素利用相关的微生物和酶的活性^[23],改善了根际生长环境^[24],从而提高了根系周围养分供应水平,使玉米生育后期根系尤其是深层根系保持较高的活力和较强生理功能,延缓了衰老,保障了地上部光合产物的形成、积累与转化,促使产量提高。

本研究结果表明,生物炭明显促进了生育前期玉米根长的生长,使生育后期保持较大的根体积和

根干重,利于养分吸收;提高了根冠比,并且生育后期维持适宜的根冠比,促进了根系与地上部的协调生长;扩大了根系总吸收面积和活跃吸收面积,保证了对地上部生长所需养分和水分的供应;提高了根系活力,增强了根系对养分的吸收能力,使玉米生育中后期能够维持地上部正常的生理功能,延缓叶片衰老,保证子粒灌浆充足;增加了玉米产量,最高增产10.23%。生物炭施入土壤后不易降解,对土壤质量和作物生长的正效应是长期的,其产出远优于投入。关于生物炭对土壤理化性质及微生物的影响机理还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 勾芒芒,屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1348-1352 .
Gou M M, Qu Z Y. Effect of biochar on root distribution and yield of tomato in sandy loam soil[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(8): 1348-1352. (in Chinese)

[2] 王 典,张 祥,姜存仓,等. 生物质炭改良土壤及对作物效应的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2012,20(8):963-967 .
Wang D, Zhang X, Jiang C C, et al. Biochar research advances regarding soil improvement and crop response[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(8): 963-967. (in Chinese)

[3] 姜玉萍,杨晓峰,张兆辉,等. 生物炭对土壤环境及作物生长影响的研究进展[J]. 浙江农业学报,2013,25(2):410-415 .
Jiang Y P, Yang X F, Zhang Z H, et al. Progress of the effect of bio-

- mass charcoal on soil environment and crop growth[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(2): 410–415. (in Chinese)
- [4] Steiner C, Glaser B, Teixeira W, et al. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central amazonian ferralsol amended with compost and charcoal[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, 171(6): 893–899.
- [5] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(5): 1719–1730.
- [6] 何绪生,耿增超,余 雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(2): 1–7.
He X S, Geng Z C, She D, et al. Implications of production and agricultural utilization of biochar and its international dynamics[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(2): 1–7. (in Chinese)
- [7] 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.
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[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(9): 1797–1802. (in Chinese)
- [8] 陈红霞,杜章留,郭 伟,等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2930–2934.
Chen H X, Du Z L, Guo W, et al. Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the North China Plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11): 2930–2934. (in Chinese)
- [9] 袁金华,徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(4): 779–785.
Yuan J H, Xu R K. Progress of the research on the properties of biochars and their influence on soil environmental functions[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(4): 779–785. (in Chinese)
- [10] 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999.
- [11] Noguera D, Rondon, Laossi K R, et al. Contract effect of biochar and earthworms on rice growth and resource allocation in different soils[J]. *Soil Biol. Bio. Chem.*, 2010, 42(7): 1017–1027.
- [12] Major J, Rondon M, Molina D, et al. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol [J]. *Plant and Soil*, 2010, 33(1–2): 117–128.
- [13] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant and Soil*, 2010, 327(1–2): 235–246.
- [14] Hossain M K, Strezov V, Chan K Y, et al. Agronomic properties of waster sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato(*Lycopersicon Esculentum*)[J]. *Chemosphere*, 2010, 78(1): 1167–1171.
- [15] Graber E R, Harel Y M, Kolton M, et al. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soil-less media[J]. *Plant Soil*, 2010, 337: 481–496.
- [16] 张伟明,孟 军,王嘉宇,等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(8): 1445–1451.
Zhang W M, Meng J, Wang J Y, et al. Effect of biochar on root morphological and physiological characteristics and yield in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(8): 1445–1451. (in Chinese)
- [17] 王春枝,葛海峰,姚 刚,等. 钾肥对春玉米氮、磷、钾吸收动态模型及养分生产效率影响的研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2000, 21: 148–152.
Wang C Z, Ge H F, Yao G, et al. Studies on the effect of potassium fertilizer on dynamic model of N P K uptake by spring maize and its productivity[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2000, 21: 148–152. (in Chinese)
- [18] 王鸿斌,赵兰坡,王淑华,等. 吉林省超高产玉米田土壤理化环境特征的研究[J]. *玉米科学*, 2008, 16(4): 152–157.
Wang H B, Zhao L P, Wang S H, et al. Study on the characteristics of physiochemical properties environment with super high-yield corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(4): 152–157. (in Chinese)
- [19] 孔晓民,韩成卫,曾苏明,等. 不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. *玉米科学*, 2014, 22(1): 108–113.
Kong X M, Han C W, Zeng S M, et al. Effects of different tillage managements on soil physical properties and maize yield[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(1): 108–113. (in Chinese)
- [20] 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(4): 591–596.
- [21] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(4): 219–230.
- [22] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(5): 1719–1730.
- [23] Steinbeiss S, Gleixner G. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6): 1301–1310.
- [24] Warnock D D, Lehmann J, Kuypers T W, et al. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms[J]. *Plant Soil*, 2007, 300: 9–20.

(责任编辑:李万良)