



王柏,廖梅芳,孙梦琦,等.生物炭与化肥配施对拔节期玉米根系生长及土壤的影响[J].黑龙江农业科学,2020(2):28-32.

生物炭与化肥配施对拔节期玉米根系生长及土壤的影响

王 柏,廖梅芳,孙梦琦,刘庆红,周文博,王智慧

(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:为促进生物炭在农业生产中的广泛应用,采用室外盆栽试验的方法,设6个处理,分别为T(常规尿素+磷酸二铵+硫酸钾)、TB(常规尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭)、T1B(80%尿素+80%磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭)、T2B(80%尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭)、T3B(尿素+80%磷酸二铵+硫酸钾+生物炭)、T4B(尿素+磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭),研究生物炭与化肥配施对玉米根系生长及土壤理化性质的影响。结果表明:化肥配施生物炭各处理(TB、T1B、T2B、T3B、T4B)的根系生长发育各项指标(根长、根系直径、根系表面积、根系总投影面积、根系体积)均优于单施肥(T)处理,其中T4B(尿素+磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭)处理的根系生长发育指标显著优于其它处理。化肥配施生物炭及化肥减量配施生物炭的土壤紧实度均降低,其中T2B(80%尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭)处理土壤紧实度最低。且化肥配施生物炭及化肥减量配施生物炭的土壤全氮、速效磷、速效钾含量均较单施化肥有一定的提高。同时生物炭和肥料配施均可提高土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性。生物炭的施用可在玉米拔节前期减少氮肥或钾肥施用量,并可促进玉米根系的生长发育。

关键词:生物炭;玉米;肥料;土壤;根系

目前,我国已成为全世界最大的肥料生产国与消费国,并且化肥施用量逐年增长。而肥料的过量施用和不合理施用已成为威胁土壤生态环境的重要因素之一^[1]。因此,减少化肥过量施入,采用合理的手段提高肥料利用率已刻不容缓。

生物炭是生物质在无氧或微氧条件下低温热解转化后的固体副产物,具有疏松多孔的特性^[2],施入土壤可以改善土壤结构^[3-4]、增加土壤阳离子交换量^[5-7],提高土壤中微生物数量^[7-10],提升土壤酶活性^[10-11],进而增强土壤养分有效性。生物炭与肥料混合施用不仅改良了土壤物理结构,而且可以增加土壤养分、提高肥料利用率,并且两者有互补的作用,施炭减肥是当前研究的热点。

玉米是C₄作物,对养分的需求量很大。玉米

拔节期是玉米一生中生长发育最旺盛的阶段,这一时期玉米逐渐进入营养生长和生殖生长并进时期^[12-14]。拔节前玉米主要以长根为主,地下部快速生长发育,拔节开始,玉米地下和地上部分同时快速生长发育,此时期根系生长情况及土壤养分状况将影响玉米的发育进程^[15-16]。然而,关于减施肥料配施生物炭对玉米根系生长发育及土壤性状的影响尚缺乏深入研究,因此本试验通过研究减施氮、磷、钾肥配施生物炭,探讨玉米拔节期根系生长发育、土壤养分、土壤酶活性等指标,探究更好的减肥施炭方案,以期为生物炭在农业生产上广泛应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2018年8-10月在黑龙江八一农垦大学盆栽场进行,供试玉米品种为郑单958。供试土壤为碱化草甸土,土壤基础肥力为pH 7.87,有机质25.92 g·kg⁻¹、全氮1.35 g·kg⁻¹、速效磷15.59 mg·kg⁻¹、速效钾127.25 mg·kg⁻¹。供试材料生物炭为玉米秸秆炭,购于辽宁金和福农业开发有限公司,基本理化性质为pH 7.94、有机碳440.62 g·kg⁻¹、全氮15.34 g·kg⁻¹、全磷7.81 g·kg⁻¹、全钾16.82 g·kg⁻¹。

收稿日期:2019-10-31

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大学生创新创业训练计划项目(XC2018006);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, HKKY190210-01);黑龙江省应用技术与开发计划项目(GZ13B018)。

第一作者:王柏(1998-),男,在读学士,从事作物生理生态及土壤改良研究。E-mail:907666974@qq.com。

通信作者:王智慧(1984-),女,硕士,高级实验师,从事作物生理生态研究。E-mail:byndwzh@163.com。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验设6个处理(表1),每个处理3次重复。盆栽用盆直径30 cm,高36 cm,每盆土重18 kg,播种前将肥料及生物炭与土壤混合均匀,每盆播3粒种子。试验常规施肥量为尿素(N 46%) 235 kg·hm⁻²、磷酸二铵(P₂O₅ 46%) 120 kg·hm⁻²、硫酸钾(K₂O 50%) 90 kg·hm⁻²,生物炭用量为土重的5.56%。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理代号	施肥情况
Treatment code	Fertilization conditions
T	常规 尿素+磷酸二铵+硫酸钾
TB	常规 尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭
T1B	80%尿素+80%磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭
T2B	80%尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭
T3B	尿素+80%磷酸二铵+硫酸钾+生物炭
T4B	尿素+磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭

1.2.2 测定项目及方法 取样时间为玉米生长拔节期。取样前使用TPY-9PC高智能土壤环境测试仪测量土壤紧实度。然后破坏性取样,完整取出根系后清洗干净,用EPSON Expression 12000XL根系扫描仪扫描根系。取根际土,测定土壤酶活性和土壤养分,其中土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法;土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法;土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[17]。土壤全氮采用凯氏法,土壤速效磷采用0.5 mol·L⁻¹NaHCO₃法,土壤速效钾采用火焰分光光度法^[18]

1.2.3 数据分析 采用Excel 2010和SPSS 17.0软件进行数据处理和分析,运用Duncan法进行显著性测验,显著水平为0.05。根系数据分析采用Win RHIZO Pro2017软件。

2 结果与分析

2.1 生物炭与化肥配施对玉米根系的影响

由图1可以看出,施用生物炭的TB、T1B、T2B、T3B、T4B处理根系明显较T处理根系生长旺盛,由此可见施用生物炭对玉米的根系生长有促进作用,并且施炭减肥的各处理根系生长也优于常规施肥处理。

2.1.1 生物炭与化肥配施对玉米根长的影响

由图2可知,炭、肥配施的处理TB、T1B、T2B和T4B的根长显著高于仅施化肥的T处理,这说明

生物炭的施用对根的生长有促进作用。T1B、T2B、T4B处理的玉米根长较TB处理无显著差异,但T3B处理的玉米根长显著低于TB处理,这说明磷肥减量对玉米根长有显著的抑制作用。

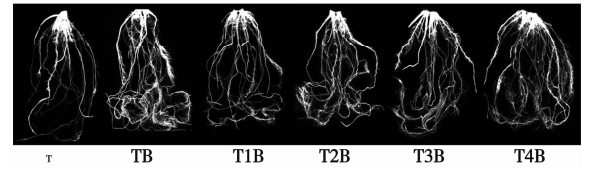


图1 各处理玉米根系扫描图

Fig. 1 Scanning map of maize root system of each treatment

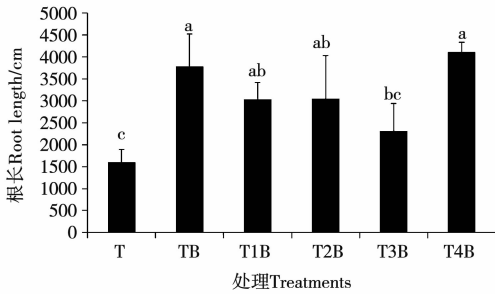


图2 生物炭与化肥配施对玉米根长的影响

Fig. 2 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on root length of maize

2.1.2 生物炭与化肥配施对玉米平均根直径的影响 由图3可知,各处理平均根直径无显著差异。其中,TB处理略高于T处理,表明正常施肥加生物炭可略提高玉米根系直径;T4B处理也略高于T处理,表明钾肥减量20%配施生物炭不会抑制玉米根系直径。

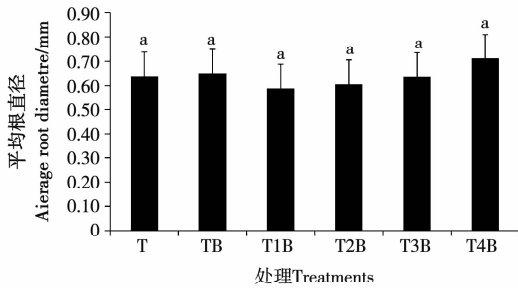


图3 生物炭与化肥配施对玉米平均根直径的影响

Fig. 3 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on average root diameter of maize

2.1.3 生物炭与化肥配施对玉米根系表面积和总投影面积的影响 由图4、图5可知,各处理对玉米根系表面积、根系总投影面积的影响趋势一致。炭、肥配施各处理(TB、T1B、T2B、T3B、T4B)的玉米根表面积和根系总投影面积均大于仅施肥的T处理,这表明施加生物炭可以提高玉米根系表面积及总投影面积。T4B、T2B处理较

TB 处理无显著差异,但都显著高于 T 处理;而 T1B、T3B 处理的根系表面积、总投影面积较 TB 处理小,且 T3B 处理显著低于 TB 处理,与 T 处理无显著差异,这说明施加生物炭减磷肥对玉米根表面积和总投影面积有一定抑制作用。

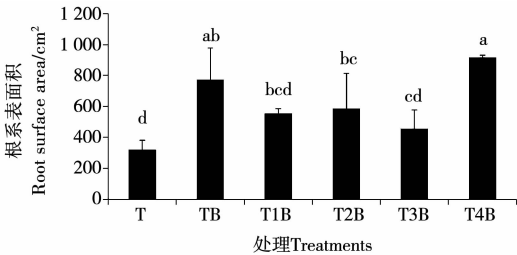


图 4 生物炭与化肥配施对玉米根表面积的影响
Fig. 4 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on surface area of maize root

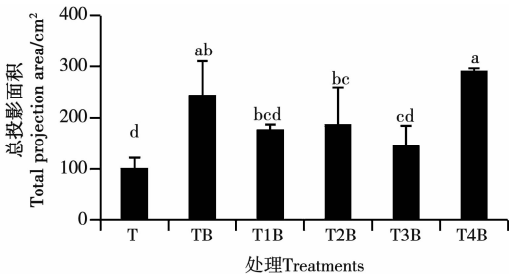


图 5 生物炭与化肥配施对玉米根系总投影面积的影响
Fig. 5 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on total projection area of maize root

2.1.4 生物炭与化肥配施对玉米根系体积的影响 由图 6 可知,TB、T1B、T2B、T3B、T4B 处理的根系体积均不同程度的高于 T 处理,这说明施加生物炭可以促进根系体积增大,但仅 TB、T4B 处理表现出显著差异,T1B、T2B、T3B 处理的根系体积较 T 处理无显著差异,这表明配施生物炭减施钾肥对玉米根系体积有促进作用。

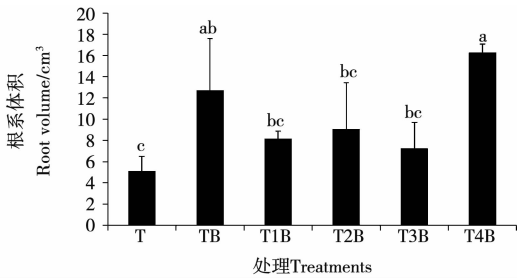


图 6 生物炭与化肥配施对玉米根系体积的影响
Fig. 6 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on root volume of maize

2.2 生物炭与化肥配施对土壤性质的影响

由表 2 可知,各处理的土壤紧实度表现为 TB、T1B、T2B、T3B、T4B 处理均低于 T 处理,这表明施加生物炭可降低土壤紧实度,这可能是由于生物炭本身疏松多孔的特性决定的。施加生物炭各处理(TB、T1B、T2B、T3B、T4B)的土壤全氮、速效磷、速效钾含量均高于仅施肥的 T 处理,这说明化肥配施生物炭可提高土壤养分,即使在氮、磷、钾肥减量时配施生物炭也不会降低土壤养分,反而对土壤养分有一定促进作用。

2.3 生物炭与化肥配施对土壤酶活性的影响

由表 3 可知,施加生物炭各处理(TB、T1B、T2B、T3B、T4B)的土壤过氧化氢酶高于或显著高于未施生物炭的 T 处理;施炭处理中,TB 处理的过氧化氢酶最高,显著高于 T1B 处理,与 T2B、T3B、T4B 处理无显著性差异。各处理的碱性磷酸酶表现为 T4B 处理最高,显著高于其他所有处理;其次为 TB、T2B、T3B 处理的碱性磷酸酶含量较高,均显著高于 T 处理,但三者间无显著性差异。各处理的土壤蔗糖酶表现为施加生物炭的 T2B 处理显著高于 T 处理,TB、T1B、T3B、T4B 处理高于 T 处理,但与 T 处理差异不显著。土壤脲酶各处理无显著性差异,但施加生物炭的各处理脲酶活性均略高于未施加生物炭的 T 处理。

表 2 生物炭与化肥配施对土壤性质的影响

Table 2 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on soil properties

处理 Treatments	土壤紧实度 Soil compactness/g	全氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/(mg·kg ⁻¹)
T	76.66±17.13 a	1.33±0.03 d	7.74±2.09 b	177.52±13.93 c
TB	53.97±18.11 ab	1.60±0.04 a	10.04±1.19 ab	241.68±35.46 ab
T1B	54.95±7.47 ab	1.45±0.05 c	10.53±0.22 ab	267.87±25.76 a
T2B	41.06±13.24 b	1.56±0.07 ab	11.78±1.35 a	273.70±11.34 a
T3B	44.22±3.41 b	1.48±0.03 bc	8.11±1.47 b	275.78±16.50 a
T4B	62.21±10.15 ab	1.51±0.09 abc	12.13±1.89 a	223.25±12.98 b

表 3 生物炭与化肥配施对土壤酶活性的影响
Table 3 Effects of biochar combined with chemical fertilizer on soil enzyme activity

处理 Treatments	过氧化氢酶活性 Catalase activity/ (mL·g ⁻¹ ·0.5 h ⁻¹)	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity/(mg·g ⁻¹ ·2 h ⁻¹)	脲酶活性 Urease activity/ (mg·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹)	蔗糖酶活性 Sucrase activity/ (mg·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹)
T	1.94±0.17 c	0.65±0.06 d	0.41±0.01 a	79.19±4.37 b
TB	2.73±0.33 a	0.84±0.06 b	0.46±0.03 a	101.38±2.51 ab
T1B	2.23±0.36 bc	0.70±0.10 cd	0.44±0.04 a	104.40±16.90 ab
T2B	2.71±0.22 ab	0.80±0.02 bc	0.46±0.03 a	115.15±34.66 a
T3B	2.33±0.25 abc	0.77±0.06 bc	0.44±0.02 a	86.70±7.04 ab
T4B	2.45±0.10 ab	0.96±0.03 a	0.45±0.03 a	96.80±19.29 ab

3 结论与讨论

3.1 生物炭与化肥配施对玉米根系的影响

根系是植物生长主要的功能器官,作物栽培中的土壤管理、施肥、灌水等措施都是通过根系一系列生理功能的实施来发挥作用的,地下根系生长茂盛,才能保证作物生长及产量形成^[19-20]。如今,长期大量施用化肥不仅造成肥料大量浪费,还导致土壤严重板结,容重增加,影响根系生长发育,进而限制植株生长及产量提高^[21-22]。有研究表明施入生物炭可改良土壤结构,增加土壤孔隙结构,降低土壤紧实度,为根系生长提供良好的空间,促进玉米根系生长,对根长、根表面积及根系活跃吸收面积都有提升^[23]。本研究表明,化肥配施生物炭各处理(TB、T1B、T2B、T3B、T4B)的根系生长发育各项指标(根长、根系直径、根系表面积、根系总投影面积、根系体积)均优于单施肥(T)处理。这表明肥料和生物炭配施,不仅可以改善土壤结构,还可为根系生长发育提供良好的空间。研究中尿素+磷酸二铵+80%硫酸钾+生物炭处理的根系生长发育指标显著优于其他处理。这表明钾肥减量20%配施生物炭可促进玉米根系生长,这可能是由于供试土壤钾含量较高,减量后配施生物炭使土壤养分更平衡,更适宜玉米拔节期根系生长发育;还可能是由于玉米拔节期根系生长发育对土壤钾需求量不是很高,适当的减施更能促进根系吸收。韩立军等^[24]研究也有类似的结论,其认为过量的钾肥施用抑制了玉米根系生长。而研究中氮肥减量、磷肥减量、氮磷钾均减量配施生物炭对玉米根系生长有一定抑制。这说明在玉米拔节期合理的氮、磷肥施用量是保证植株根系生长的关键因素,生物炭的加入不能替代拔节期部分氮、磷肥发挥作用。

3.2 生物炭与化肥配施对土壤的影响

由于生物炭自身疏松多孔的结构特征,生物

炭施入土壤后可改良土壤物理结构,增加土壤孔隙度,降低土壤紧实度,促进土壤养分增加,提高土壤养分有效性。本研究表明,化肥配施生物炭及化肥减量配施生物炭的土壤紧实度均降低、土壤全氮、速效磷、速效钾含量均较单施化肥有一定的提高,这可能是由于生物炭改良了土壤结构,使养分更容易转化和利用;还可能是由于生物炭的原因,生物炭施入土壤可携带一部分养分。研究中,80%尿素+磷酸二铵+硫酸钾+生物炭处理土壤紧实度最低,土壤全氮、速效磷、速效钾均较高。这表明氮肥减量加施生物炭使土壤更疏松,土壤养分更平衡,因此认为在玉米生长拔节期过量的氮肥施用导致土壤结构、土壤养分平衡受到限制。本研究还发现,化肥配施生物炭及化肥减量配施生物炭均可提高土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性。这可能是由于生物炭的施入,改善了土壤环境,促进了土壤微生物活动,提高了土壤酶活性,周震峰等^[25]研究也有类似的结论。

在黑龙江省西部半干旱地区碱性草甸土上施用生物炭可促进玉米根系生长发育,提高土壤养分及土壤酶活性。施用生物炭可在玉米拔节前期减少氮肥或钾肥施用量。但本研究仅考察了玉米拔节期玉米根系生长状况及土壤养分、土壤酶活性,还有待进一步深入对玉米全生育期开展全面系统研究。

参考文献:

[1] 闫湘.我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D].北京:中国农业科学院,2008.
[2] 邱云霄,黄彩凤,周垂帆.生物碳性质及对土壤物理性质改良的研究[J].民营科技,2016(9):75-76.
[3] 吴昱,赵雨森,刘慧,等.秸秆生物炭对黑土区坡耕地生产能力影响分析与评价[J].农业机械学报,2017,48(7):247-256.
[4] 尚杰,耿增超,赵军,等.生物炭对壤土水热特性及团聚体稳定性的影响[J].应用生态学报,2015,26(7):1969-1976.

- [5] 李金文,顾凯,唐朝生,等.生物炭对土体物理化学性质影响的研究进展[J].浙江大学学报(工学版),2018,52(1):192-206.
- [6] 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.
- [7] 饶霜,卢阳,黄飞,等.生物炭对土壤微生物的影响研究进展[J].生态与农村环境学报,2016,32(1):53-59.
- [8] 李怡安,胡华英,周垂帆.生物炭对土壤微生物影响研究进展[J].内蒙古林业调查设计,2019,42(4):101-104.
- [9] 唐行灿,陈金林.生物炭与土壤微生物相互作用研究进展[J].广东农业科学,2015,42(8):130-136.
- [10] 周之栋,卜晓莉,吴永波,等.生物炭对土壤微生物特性影响的研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(6):1-8.
- [11] 胡华英,殷丹阳,曹升,等.生物炭对杉木人工林土壤养分、酶活性及细菌性质的影响[J].生态学报,2019,39(11):4138-4148.
- [12] 吕秀英.玉米拔节期管理技术[J].河北农业,2019(6):16-17.
- [13] 管引秀.旱地玉米拔节期至抽穗期管理技术[J].农业技术与装备,2018(5):75-76.
- [14] 贺冬梅,张崇玉,王丹妮,等.玉米拔节期水肥耦合效应研究[J].水土保持研究,2008(3):164-166.
- [15] 彭龙,郭克贞,吕志远,等.不同水肥处理对毛乌素沙地玉米根系土壤养分含量的影响[J].北方农业学报,2018,46(1):90-98.
- [16] 路海东,薛吉全,马国胜,等.陕西榆林春玉米高产田土壤理化性状及根系分布[J].应用生态学报,2010,21(4):895-900.
- [17] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:271-319.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:42-108.
- [19] 朱倩,姚兴东,单玉姿,等.生物炭对 R2 期大豆根系生长和氮磷吸收利用的影响[J].沈阳农业大学学报,2019,50(4):385-391.
- [20] 郑亚萍,王春晓,郑祖林,等.磷对花生根系形态特征的影响[J].中国油料作物学报,2019,41(4):622-628.
- [21] 张韶昀,李向岭,刘盼,等.土壤耕作与施肥配合对玉米根系微观结构及产量的影响[J].作物杂志,2018(6):144-148.
- [22] 尹宝重,甄文超,冯悦.海河低平原深松播种对夏玉米根系生理的影响及其节水增产效应[J].作物学报,2015,41(4):623-632.
- [23] 程效义,孟军,黄玉威,等.生物炭对玉米根系生长和氮素吸收及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2016,47(2):218-223.
- [24] 韩立军,李羽,王守富,等.钾肥对玉米根系生长状况及地上干物质积累的影响[J].吉林农业大学学报,2004(1):10-12,22.
- [25] 周震峰,王建超,饶潇潇.添加生物炭对土壤酶活性的影响[J].江西农业学报,2015,27(6):110-112.

Effects of Combined Application of Biochar and Chemical Fertilizer on Root Growth and Soil of Maize at Jointing Stage

WANG Bai, LIAO Mei-fang, SUN Meng-qi, LIU Qing-hong, ZHOU Wen-bo, WANG Zhi-hui

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

Abstract: In order to promote the widespread application of biochar in agricultural production, using the method of outdoor potted experiment, set 6 treatments, which are T (conventional urea + diammonium phosphate + potassium sulfate) and TB (conventional urea + diammonium phosphate + potassium sulfate + biochar), T1B (80% urea + 80% diammonium phosphate + 80% potassium sulfate + biochar), T2B (80% urea + diammonium phosphate + potassium sulfate + biochar), T3B (urea + 80% phosphoric acid) Diammonium + potassium sulfate + biochar), T4B (urea + diammonium phosphate + 80% potassium sulfate + biochar). The effects of biochar combined with chemical fertilizer on the growth of maize root system and the physical and chemical properties of soil were studied. The results showed that the various indicators of root growth and development (root length, root diameter, root surface area, total root projected area, and root volume) of each treatment (TB, T1B, T2B, T3B, T4B) with chemical fertilizer and biochar were better than those of single fertilization (T) treatment. Among them, urea + diammonium phosphate + 80% potassium sulfate + biochar had the highest root growth and development. The soil compactness of chemical fertilizer combined with biochar and the reduction of chemical fertilizer combined with biochar decreased. Among them, 80% urea + diammonium phosphate + potassium sulfate + biochar had the lowest soil compaction. In addition, the total nitrogen, available phosphorus, and available potassium content of the soil with chemical fertilizer combined with biochar and the reduced amount of fertilizer combined with biochar increased to a certain extent compared with the application of chemical fertilizer alone. At the same time, the combined application of biochar and fertilizer could increase soil catalase, alkaline phosphatase, urease, and invertase activities. The application of biochar could reduce the amount of nitrogen or potassium fertilizer applied in the early stage of jointing of maize, and could promote the growth and development of maize root system.

Keywords: biochar; maize; fertilizer; soil; root system