



王智慧,李焮玉,李金哲,等.生物炭对松嫩平原盐碱土玉米生长、养分积累及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(1):12-16,17.

生物炭对松嫩平原盐碱土玉米生长、养分积累及产量的影响

王智慧^{1,2},李焮玉¹,李金哲¹,焦智琦¹,王天恩¹,宋明¹,王洪义¹

(1.黑龙江八一农垦大学园艺园林学院,黑龙江大庆163319;2.农业农村部农产品及加工品质量监督检验测试中心,黑龙江大庆163319)

摘要:为了探索生物炭施用量对盐碱化土壤种植玉米的效果,进行了田间小区试验,研究了生物炭不同施用量(0,10,20,40和80 t·hm⁻²)对玉米生长、养分积累及产量的影响。结果表明,生物炭增加了花后干物质积累量,促进了籽粒灌浆速率,提升了玉米植株及籽粒对养分(C、N、P、K)的吸收,进而提高了玉米产量,改善了玉米品质。因此,在松嫩平原西部碱化玉米田上生物炭施用量40 t·hm⁻²时玉米植株叶茎鞘养分积累最为充足,籽粒灌浆活跃期长,玉米产量最高,为最经济有效的用量。

关键词:生物炭;松嫩平原;盐碱化土壤;玉米;植株生长;产量

松嫩平原西部是我国主要的粮食产区之一,玉米是当地第一大作物,且种植面积逐年增加^[1]。玉米作为重要的粮食作物和能源作物,在保障国家粮食安全和国民经济发展战略中有十分重大的战略意义。但近年来由于不合理的耕地利用及大量施肥,导致该区域土壤性质不良,板结加剧,盐碱化日趋严重,农田生产力水平逐年下降,农业生态系统较为脆弱,严重制约着农业的可持续发展^[2]。不良的土壤性质显著降低玉米养分利用效率,这已经成为松嫩平原西部半干旱地区玉米增产的主要瓶颈。

然而,玉米大面积种植的同时产生大量秸秆。据国家发改委统计,我国年产玉米、水稻等大宗作物秸秆约7亿t,每到收获季节,秸秆堆积如山,超过50%的秸秆被随意焚烧,这不仅造成资源浪费,还导致空气质量下降,诱发雾霾现象^[3-4]。因此提高农业废弃资源利用效率,改善生态环境,已成为当前亟待解决的重要问题。

近年来,生物炭在农业生产方面得到了广泛关注^[5-7],其是利用农业废弃生物质(如:玉米秸秆)在缺氧或少氧条件下高温热解而成的稳定高碳产物,具有独特的疏松多孔、比表面积大等物理特性,施入土壤可改善土壤结构及理化特性,增加土壤养分含量,进而促进作物生长^[8-9]。但大多研究均以土壤环境为主要研究对象,而有关生物炭对松嫩平原西部盐碱化农田玉米生长的研究相对较少。本研究以此为切入点,研究生物炭对玉米生长发育及产量品质的影响,探索生物炭在盐碱化玉米田上最佳施用量,为生物炭在玉米生产上

的应用提供理论依据,对保持良好、稳定、可持续的农业生产有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2019年在黑龙江八一农垦大学试验基地开展。土壤类型为碱化草甸土,0~20 cm耕层土壤基础肥力为:pH8.32、有机质26.37 g·kg⁻¹、碱解氮128.65 mg·kg⁻¹、有效磷13.05 mg·kg⁻¹、速效钾139.18 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

供试生物炭材料为玉米秸秆炭,委托沈阳隆泰生物工程有限公司制备。制备原料为玉米秸秆,制备条件为450℃裂解2h。生物炭基本理化性质pH8.68、全碳582.38 g·kg⁻¹、全氮8.42 g·kg⁻¹、全磷8.15 g·kg⁻¹、全钾29.63 g·kg⁻¹。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用随机区组设计,设4个处理,分别为B0(0 t·hm⁻²)、B20(20 t·hm⁻²)、B40(40 t·hm⁻²)、B80(80 t·hm⁻²)。每个处理4次重复。试验小区垄长20 m,垄距0.65 m,每个小区设置6垄。供试品种为先玉335,种植密度7.5万株·hm⁻²。

生物炭颗粒于备耕整地前一次性均匀撒施于地表,用旋耕机与0~20 cm土壤均匀混合。所用肥料为尿素(N 46%),磷酸二铵(P₂O₅ 46%;N 18%),硫酸钾(K₂O 50%),氮(N)、磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)施用量分别为240 kg·hm⁻²、120 kg·hm⁻²和90 kg·hm⁻²。其中70%氮肥和全部磷钾肥作

收稿日期:2023-09-22

基金项目:大庆市指导性科技计划项目(zd-2023-64);国家级大学生创新创业训练计划项目(202210223042);黑龙江八一农垦大学学成人才科研启动计划(XDB202204)。

第一作者:王智慧(1984—),女,博士,副教授,从事土壤改良及作物生理生态研究。E-mail:byndwzh@163.com。

通信作者:王洪义(1978—),男,博士,教授,从事土壤改良及作物生理生态研究。E-mail:why021@163.com。

为基肥随播种一次性施入,剩余 30%氮肥在拔节期作为追肥施入。其他田间管理措施按照玉米高产栽培田进行。

1.3.2 测定项目及方法 玉米植株生长性状的测定:于玉米吐丝期、成熟期,分别选取能够代表各小区玉米长势的植株 4 株,按叶、茎、鞘、籽粒等器官分解植株,105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重。分别称量各部位的重量,计算干物质积累。玉米籽粒灌浆速率的测定:选吐丝期长势一致的玉米植株标记,自吐丝后 21 d 开始,每 7 d 取样 1 次,各小区分别取标记植株 3 穗。每穗分上、中、下 3 部分,分别脱粒混匀后取 100 粒,于 80℃烘干至恒重,用于计算玉米籽粒灌浆速率^[4]。

玉米植株养分的测定:取玉米成熟期根系、植株叶茎鞘、籽粒各器官粉碎样品。全碳的测定采用重铬酸钾氧化法;全氮采用硫酸消煮-凯氏定氮仪测定;全磷采用高氯酸消煮-钼锑抗比色法;全钾采用火焰光度计法^[10]。

玉米产量及品质的测定:每小区选取中间 2 行,

长 5 m 区域收获全部果穗,测定含水量后折算实际产量。籽粒品质(粗蛋白、粗脂肪、粗淀粉)采用透射型近红外谷物快速分析仪测定。

1.3.3 数据分析 利用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对试验数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭对玉米植株开花前后干物质积累的影响

由图 1 可知,生物炭对玉米吐丝期植株干物质积累有不同程度促进作用,其中 B40 处理植株干物质质量最大,较 B0 处理提高了 16.39%,其中叶片、茎秆干物质质量较 B0 分别提高了 14.06%和 22.47%(图 1 a)。成熟期生物炭处理植株干物质的积累均显著高于对照,干物质积累量表现为 B40>B20>B80 处理,且分别较 B0 处理提高了 21.44%、17.27%和 6.09%。其中 B40 处理植株叶片、茎秆、叶鞘、籽粒分别比 B0 处理提高 14.25%、32.98%、15.09%和 23.42%(图 1 b)。

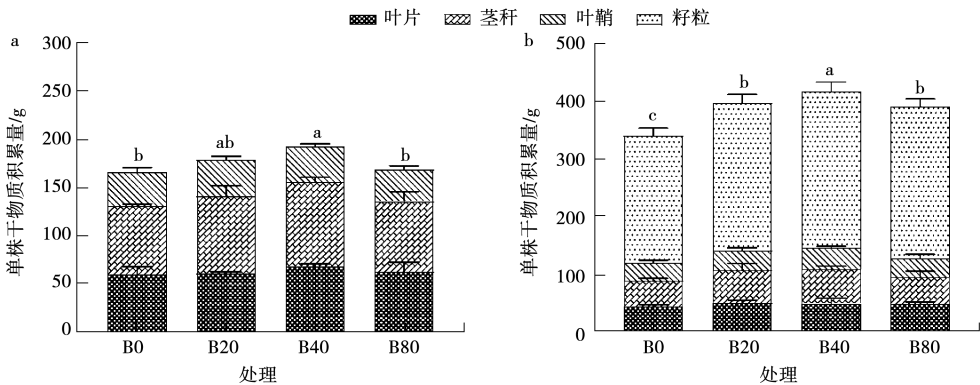


图 1 生物炭对玉米植株开花前后吐丝期(a)和成熟期(b)干物质积累的影响

2.2 生物炭对玉米开花前后营养器官干物质转运及对籽粒干物质积累的影响

由表 1 可知,玉米产量构成中,大部分来自花后干物质积累。生物炭显著提高了花后干物质积累量,B20、B40、B80 处理分别较 B0 处理显著提

高了 29.79%、32.97%和 31.89%。干物质积累对籽粒干物质的贡献主要为花后作用较大。施生物炭均显著提高了花后干物质积累对籽粒干物质的贡献率,3 个生物炭处理差异不显著,但均显著高于对照,较对照提高了 6.94%~10.08%。

表 1 生物炭对玉米开花前后营养器官干物质转运及对籽粒干物质积累的影响

处理	花前(吐丝期)			花后(成熟期)	
	单株干物质 转运量/g	干物质转运 率/%	干物质转运对籽粒干物质 积累贡献率/%	单株干物质 积累量/g	干物质积累对籽粒干物质 贡献率/%
B0	49.32±2.11 a	29.62±0.63 a	22.65±0.27 a	168.50±7.54 b	77.35±0.27 b
B20	39.72±3.76 a	22.43±2.91 bc	15.32±1.01 b	218.70±6.47 a	84.68±1.01 a
B40	39.05±5.39 a	20.24±2.40 c	14.94±2.35 b	224.05±4.98 a	85.15±0.16 a
B80	46.38±4.79 a	27.54±1.54 ab	17.28±1.85 b	222.23±5.89 a	82.72±1.85 a

2.3 生物炭对玉米籽粒灌浆速率的影响

由图 2 可知,玉米籽粒灌浆速率呈单峰曲线变化,吐丝后 21~28 d 灌浆速率呈直线上升,达到最大;吐丝 28~56 d,灌浆速率整体呈下降趋势。在吐丝后 21 d,各处理灌浆速率差异不明显;

吐丝后 28 d,施生物炭处理的灌浆速率峰值明显高于对照处理,B20、B40 和 B80 处理平均较 B0 处理提高了 17.04%、28.03%和 27.94%;吐丝后 35 d,生物炭处理的灌浆速率缓慢降低,但对照处理的灌浆速率急剧下降。因此随着灌浆进程推

进,生物炭处理的各部位灌浆速率始终较对照高。 灌浆期籽粒干物质积累。
由此可见,生物炭能提高玉米籽粒灌浆速率,促进

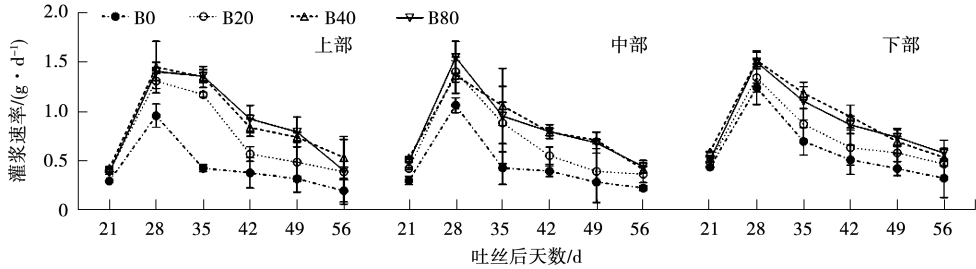


图 2 生物炭对玉米籽粒灌浆速率的影响

2.4 生物炭对玉米根系、叶茎鞘、籽粒中碳、氮、磷、钾的影响

由图 3 可知,施生物炭能够增加玉米根系、叶茎鞘、籽粒中全碳含量,其中根系碳和叶茎鞘碳含量受生物炭影响大于籽粒(图 3a~c)。生物炭处理能够增加根系、叶茎鞘、籽粒全氮含量,其中 B40 处理籽粒中全氮比 B0 处理含量高,处理间差异达到显著水平(图 3d~f)。生物炭能够促进叶茎鞘、籽粒全磷含量,B40 处理和 B80 处理叶茎鞘、

籽粒磷含量分别较 B0 处理提高 12. 22%、20. 21% 和 52. 37%、32. 22%,且 B80 处理显著高于 B0 处理(图 3g~i)。不同生物炭处理增加了玉米根系、叶茎鞘、籽粒中全钾含量,但处理间差异未达显著水平,且不同施用量在不同部位表现不尽相同(图 3 j~l)。综上,施生物炭 B40 处理能促进全碳在根系和叶茎鞘中显著增加,促进全氮在玉米籽粒中显著积累。B80 处理促进全碳在叶茎鞘中显著增加,促进全磷在玉米叶茎鞘和籽粒中显著增加。

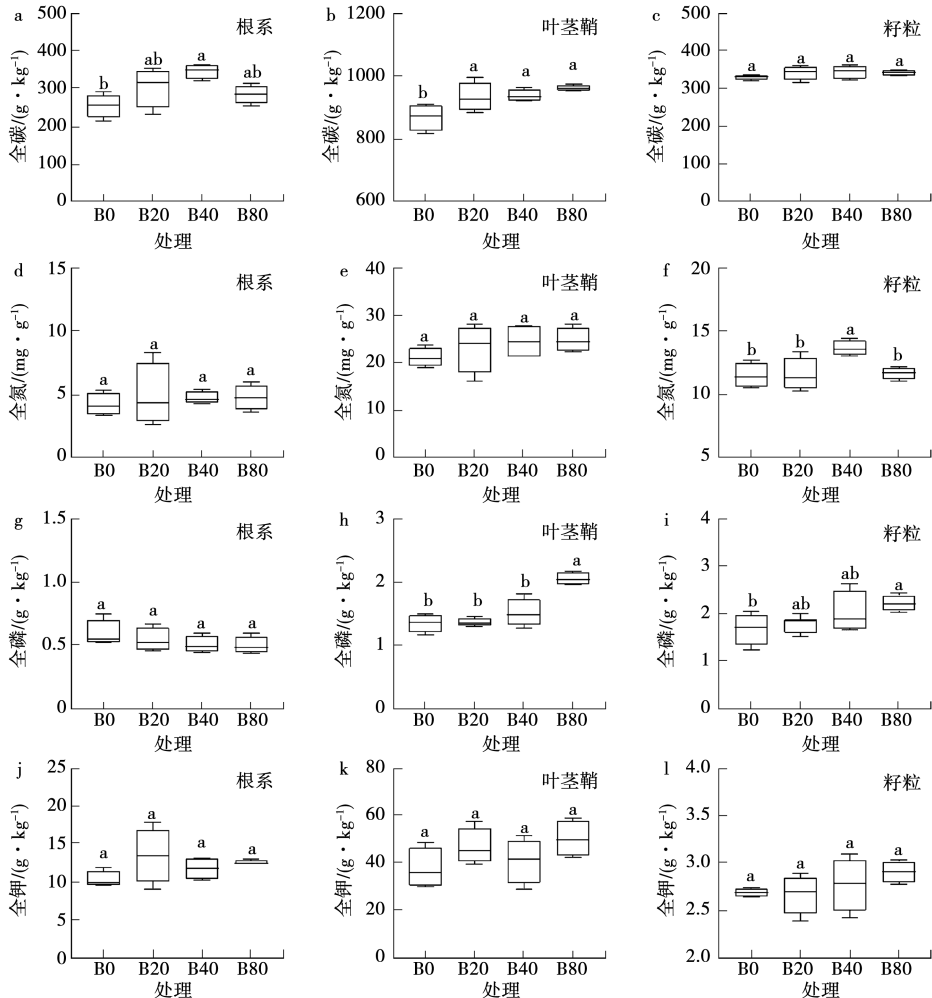


图 3 生物炭对玉米根系、叶茎鞘、籽粒中碳、氮、磷、钾的影响

2.5 生物炭对玉米籽粒产量及品质的影响

施用生物炭改变了玉米籽粒品质,且不同施用量对品质的影响不同。由图 4a 可知,生物炭增加了玉米籽粒粗蛋白含量,B40 处理玉米籽粒粗蛋白含量显著高于 B0 处理,提高了 3.93%。施用生物炭对玉米粗脂肪含量无显著性差异(图 4b)。生物

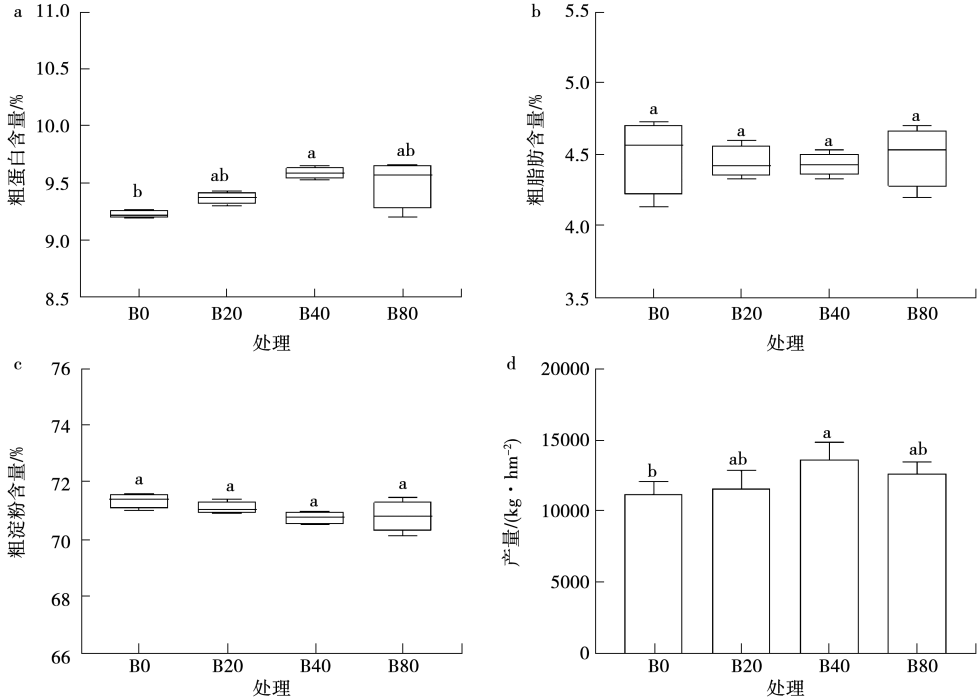


图 4 生物炭对玉米产量及品质的影响

3 讨论

3.1 生物炭对玉米植株生长发育的影响

作物干物质积累是产量形成的基础。在玉米产量构成中,花前营养器官茎、叶、鞘贮藏物质的转运起到非常重要的作用,但花后干物质积累是影响籽粒产量形成的关键因素^[11-13]。本研究发现施用生物炭显著提高了成熟期干物质积累量,表现为 B40>B20>B80 处理。同时施用生物炭提高了花后干物质积累对籽粒的贡献率,降低了转运对籽粒的贡献,这主要是因为生物炭增加了花后干物质的积累。这与孟繁昊^[14]的研究结果一致,其认为受生物炭影响玉米干物质积累增加及干物质积累对籽粒的贡献主要是花后作用较大。这也是生物炭处理籽粒灌浆速率提高、灌浆积累量增大的原因。程效义^[15]在棕壤上开展的研究也有类似的结论,其认为生物炭处理的玉米在籽粒灌浆后期达到较高的干物质增加速率与较高的粒重增加速率,从而获得较高的籽粒产量和收获指数。

炭对玉米粗淀粉含量有降低趋势,但各处理间无显著性差异(图 4c)。

生物炭对玉米产量有不同程度促进作用,B20、B40、B80 处理玉米产量分别比对照增加 3.52%、21.66%和 12.80%,其中 B40 处理显著高于对照(图 4d)。

3.2 生物炭对玉米养分吸收的影响

作物干物质积累过程与植株养分吸收利用密切相关。本研究发现,施用生物炭提高了玉米植株叶茎鞘及籽粒对养分(C、N、P、K)的吸收。这可能是生物炭自身含有速效养分,增加了土壤养分供给,可直接被作物吸收利用;或是生物炭改善土壤性质,提高阳离子交换量,促进土壤养分有效性,增加植物对养分的吸收^[16-17]。许多学者的研究都表明,植物体营养元素的含量与生物炭施用量关系密切,适量的生物炭添加能促进作物对营养元素的吸收。本研究中 4 个施炭量(B0、B20、B40 和 B80)中,B40 处理的玉米养分含量最高。而过量生物炭添加可能由于 C/N 过高或吸附能力过强,使得某些养分有效性降低,对作物生长产生负效应^[18-19]。本研究也验证了这一结论,B80 处理植株生长及养分元素含量略低于 B40 处理。

3.3 生物炭对玉米产量及品质的影响

本研究还发现,在盐碱化土壤上施用生物炭(B20、B40 和 B80)玉米产量提升,品质改善,尤其

是 B40 处理的玉米产量最高,显著高于对照。这可能与生物炭和土壤协同互促有关。盐碱化土壤上,生物炭利用其疏松多孔的特性和巨大的比表面积可吸附土壤中部分盐基离子或使盐基离子 Na^+ 与 Ca^{2+} 置换到土壤溶液中淋溶,从而导致土壤 pH 逐年降低^[20]。生物炭的固有特性与结构,不仅提高了土壤有机质含量;还通过吸附土壤酶反应底物促进了酶促反应,提高了土壤酶活性,促进了土壤氮、磷、钾元素有效转化^[21-22];生物炭还可以促进特定微生物生长,改变微生物群落结构、丰度、活性^[23-24],然而有益微生物的大量繁殖,不仅能够促进土壤有效养分转化,而且还会反作用于生物炭,促进生物炭持续分解。这种良性的循环使适量的生物炭施入土壤后土壤性质有所改善,作物产量有所提高,且可以随着时间的延长表现持续促进效应。国内一些学者的研究也有类似的结论^[25-26]。然而关于生物炭促进玉米产量及品质提升的内在机制还有待进一步深入研究。因此,施用生物炭对提高农业资源利用效率,农田土壤养分管理,实现农业节本增效、农田土壤可持续利用有重要意义。

4 结论

生物炭对玉米植株花后干物质积累量、籽粒灌浆速率均有促进作用,对玉米植株及籽粒养分(C、N、P 和 K)的吸收有一定提升,进而提高了玉米产量,改善了玉米品质。其中,一次性施入 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭玉米生长最茂盛,植株叶茎鞘养分积累充足,籽粒灌浆活跃期长,玉米产量最高,较对照提高了 21.66%。因此,施用生物炭对农业增产增收有重要意义。

参考文献:

- [1] 许健,陈清利,马宝新,等.黑龙江省西部半干旱地区玉米生产现状与对策[J].中国种业,2018(12):26-29.
- [2] 徐北春,刘慧涛,杨双,等.基于节本增效的东北松嫩平原玉米种植模式评价[J].玉米科学,2018,26(1):167-172.
- [3] 张伟明,修立群,吴迪,等.生物炭的结构及其理化特性研究回顾与展望[J].作物学报,2021,47(1):1-18.
- [4] 蔡丽君.土壤耕作方式对土壤理化性状及夏玉米生长发育的影响[D].保定:河北农业大学,2014.
- [5] 胡沙沙,胡海军,吴映霞,等.生物炭对连作障碍影响的研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(9):143-147.
- [6] 齐虹凌,许丽颖,王立凤,等.生物炭对土壤碳库的影响研究[J].黑龙江农业科学,2022(11):100-104.
- [7] WANG Z H,WANG H Y,ZHAO C J,et al. Effects of biochar on the microenvironment of saline-sodic soil and maize growth[J]. Agronomy,2022,12(11):2859.
- [8] 项剑,孙禧,王成,等.生物炭对滨海盐碱土氮素转化和 N_2O

- 排放的影响[J].应用生态学报,2023,34(11):2969-2977.
- [9] 郭书亚,尚赏,张艳,等.生物炭施用五年后对土壤生物化学特性及夏玉米产量的影响[J].土壤与作物,2022,11(3):290-297.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [11] 穆心愿,赵霞,谷利敏,等.秸秆还田量对不同基因型夏玉米产量及干物质转运的影响[J].中国农业科学,2020,53(1):29-41.
- [12] 李博洋,叶茵,楚睿雯,等.施加生物炭对谷子干物质积累、转运、分配和土壤理化性质的影响[J/OL].作物学报,(2023-09-27)[2023-10-20].<https://link.cnki.net/urlid/11.1809.S.20230926.1343.004>.
- [13] 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.
- [14] 孟繁昊.生物炭配施氮肥对土壤理化性质及春玉米产量和氮效率的影响机制[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [15] 程效义.生物炭还田对棕壤氮素利用及玉米生长的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [16] CHENG C H,LEHMANN J. Ageing of black carbon along a temperature gradient [J]. Chemosphere, 2009, 75 (8): 1021-1027.
- [17] 王高飞,刘鸿雁,邢丹,等.育苗基质添加辣椒秆生物炭对辣椒幼苗生长与养分的影响[J].西南农业学报,2022,35(3):543-549.
- [18] BARONTI S,ALBERTI G,DELLE VEDOVE G,et al. The biochar option to improve plant yields: first results from some field and pot experiments in Italy[J]. Italian Journal of Agronomy,2010,5(1):3-11.
- [19] 段建军,郭琴波,徐彬,等.氮肥减量施生物炭对水稻产量和养分利用的影响[J].水土保持学报,2022,36(6):298-308.
- [20] 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.
- [21] CZIMCZIK C I,MASIELLO C A. Controls on black carbon storage in soils [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2007, 21 (3):GB3005.
- [22] 李毅,梁嘉平,王小芳,等.改善土壤理化性质和作物出苗率的最佳生物炭施用量[J/OL].土壤学报,(2023-08-31)[2023-10-20].<https://link.cnki.net/urlid/32.1119.P.20230831.1257.002>.
- [23] STEINBEISS S,GLEIXNER G,ANTONIETTI M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009,41(6):1301-1310.
- [24] 何大卫,赵艳泽,高继平,等.生物炭和氮肥配施对梗稻产量形成、氮肥当季效应及其后效的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(12):2114-2124.
- [25] 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.
- [26] 唐光木,葛春辉,徐万里,等.施用生物炭灰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.



孙思淼, 王晓军, 高洪生. 液体厩肥替代化肥对玉米生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2024(1):17-22.

液体厩肥替代化肥对玉米生长及产量的影响

孙思淼, 王晓军, 高洪生

(黑龙江省肥料工程技术研究中心/黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部东北平原农业环境重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为了改善农业用地品质,促进作物生长及农业可持续发展,采用田间试验研究不同比例液体厩肥替代化肥对玉米生长和产量的影响。结果表明,增施液体厩肥 $45\sim 90\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,可减少 $25\%\sim 50\%$ 化肥用量,玉米增产 $2.76\%\sim 6.04\%$;其中减 10% 化肥+液体厩肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理玉米产量最高,达到 $11\,278.51\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮肥利用率为 32.57% 。综上,液体厩肥和化肥配施可提高土壤含水率和温度,还能提高玉米的生物量和产量,可作为东北北部春玉米增产和养分平衡的合理施肥模式。

关键词:有机肥;秸秆还田;玉米;产量

随着我国经济和农业的迅速发展,化肥用量以 4.0% 的增长速度逐年递增^[1]。长期过量施用化肥引起了广泛关注,它会产生土壤退化、面源污染和资源浪费等问题^[2],严重影响农业生态和食品安全^[3]。有机肥替代化肥是农业减肥增效绿色生产的重要措施^[4]。有研究表明,有机肥中含有的养分通常可以被植物直接吸收利用,在改善农田土壤理化性质,提高作物生产力,减轻环境污染

等方面具有积极影响,具有种类繁多和易获取等优点,被广泛应用在农业生产中^[5-6]。化肥见效更快,其与有机肥二者进行适量配施,既充分利用了肥料资源,又改善了土壤质量,达到作物高产、稳产的效果^[7],是一种高效可持续的施肥制度。

当前我国畜禽粪便年产生量约 38 亿 t,综合利用率约为 60% 左右^[8]。但是不合理的处理不仅会造成资源浪费,也会成为农业污染源。畜禽粪

收稿日期:2023-09-26

基金项目:黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”农业特色产业科技创新支撑项目(XC23TS25)。

第一作者:孙思淼(1996—),女,硕士,研究实习员,从事修复生态学研究。E-mail:550456722@qq.com。

通信作者:高洪生(1968—),男,硕士,研究员,从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:ghs6837@163.com。

Effects of Biochar Applied on Growth, Nutrient Accumulation and Yield of Maize on Saline Alkali Soil in Songnen Plain

WANG Zhihui^{1,2}, LI Xinyu¹, LI Jinzhe¹, JIAO Zhiqi¹, WANG Tianen¹, SONG Ming¹, WANG Hongyi¹

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Agricultural Products and Processed Products Supervision and Testing Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to explore the optimal application rate of biochar for planting maize on saline alkali soil, a field plot experiment was conducted to study the effects of different application rates ($0, 10, 20, 40, 80\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of biochar on maize growth, nutrient accumulation, and yield. The results showed that, biochar increased the accumulation of dry matter after flowering, promoted the increase of grain filling rate, and enhanced the absorption of nutrients (C, N, P, K) by maize plants and grains, thereby increasing maize yield and improving maize quality. Therefore, in the alkaline maize field of the western Songnen Plain, the application amount of biochar of $40\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ is the most sufficient for nutrient accumulation in the leaves, stems, and sheaths of maize plants, with a long active period of grain filling and the highest maize yield, making it the most economically effective amount.

Keywords: biochar; Songnen Plain; saline alkali soil; maize; plant growth; yield