

生物炭基肥替代化肥对砂壤土养分含量及青贮玉米产量的影响

殷大伟¹, 金 梁², 郭晓红¹, 刘梦红¹, 王海泽¹, 薛盈文¹, 杨克军¹, 张翼飞¹, 郭永霞¹, 郭 伟¹, 赵长江¹, 张 鹏^{1,3*}

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农业科学院土壤与肥料研究所, 哈尔滨 150000; 3. 黑龙江省农垦总局绿色草原牧场, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 化肥投入不合理、肥料利用率低是目前制约黑龙江省玉米发展的重要因素, 迫切需要新型的肥料来更新原有的肥料应用模式。生物炭基肥可有效改善土壤理化性质、增加作物产量, 但关于生物炭基肥替代化肥减量施用模式对寒地青贮玉米的影响未见报道。本文采用大田条件下随机区组设计, 研究生物炭基肥减量施用模式对砂壤土养分含量、青贮玉米干物质积累量及产量的影响。研究结果表明, 处理 F₁~F₅ 增加了青贮玉米各生育时期土壤速效磷含量。在灌浆期和成熟期, F₁ 的有机质含量分别较 F_{ck} 增加了 0.70%、14.90%。在成熟期, F₁ 的茎重、穗重和地上部干物质重分别较 F_{ck} 增加了 15.80%、22.40%、11.35%。处理 F₂~F₄ 的生物炭基肥施用量分别为 570.00 kg/hm²、540.00 kg/hm²、510.00 kg/hm², 即生物炭基肥减量施用 5%~15%, 即分别减少化肥投入量 30.00 kg/hm²、60.00 kg/hm²、90.00 kg/hm², 减量施肥处理 F₂~F₄ 的青贮玉米产量与 F_{ck} 之间无显著差异, 起到了减量施肥效果。F₁ 的青贮玉米产量达到最大值, 较 F_{ck} 增加了 16.67%。

关键词: 生物炭基肥; 砂壤土; 养分; 玉米; 产量

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)04-0019-06

Effects of Biochar Based Fertilizer on Nutrient Content of Sandy Loam Soil and Yield of Silage Maize

YIN Dawei¹, JIN Liang², GUO Xiaohong¹, LIU Menghong¹, WANG Haize¹, XUE Yingwen¹, YANG Kejun¹, ZHANG Yifei¹, GUO Yongxia¹, GUO Wei¹, ZHAO Changjiang¹, ZHANG Peng^{1,3*}

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319; 2. Institute of Soil and Fertilizer Research, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150000; 3. The Green Grassland Ranch, Heilongjiang Agricultural Reclamation Bureau, Daqing 163319, China)

Abstract: Unreasonable fertilizer input and low fertilizer utilization are the important factors that restrict the development of maize in Heilongjiang Province at present. The biochar based fertilizer can effectively improve soil physical and chemical properties and increase crop yield, but the effect of biochar based fertilizer on silage maize in cold region has not been reported. In this paper, the effects of biochar based fertilizer on soil nutrient content, dry matter accumulation and yield of silage maize in sandy loam were studied by random block design under field conditions. The results showed that F₁~F₅ increased the content of available P in silage maize soil at different growth stages. In grouting stage and mature stage, the organic matter content of F₁ increased by 0.70% and 14.90% respectively compared with F_{ck}. In the mature stage, the stem weight, spike weight and above ground dry matter weight of F₁ increased by 15.80%, 22.40% and 11.35% respectively compared with F_{ck}. The amount of biochar base fertilizer treatments F₂~F₄ are 570.00 kg/ha, 540.00 kg/ha and 510.00 kg/ha, respectively. That is to say, the amount of fertilizer

收稿日期: 2019-04-16

基金项目: 国家十三五重点研发计划(2017YFD0200803、2016YFD0300104); 国家科技支撑计划项目(2015BAD23B05-04); 黑龙江省自然科学基金(QC2017023); 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD2017008); 黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z17186); 国家大学生创新创业项目(201810223019); 黑龙江八一农垦大学科研团队平台支持计划(TDJH201802); 黑龙江省农垦总局项目(HNK135-02-02、HNK135-02-03)

作者简介: 殷大伟(1984-), 男, 讲师, 博士, 主要从事生物炭应用基础研究。

通讯作者: 张 鹏, 男, 硕士, 高级农艺师, E-mail: lsnyk@126.com

input can be reduced by 5%–15% for 30.00 kg/ha, 60.00 kg/ha and 90.00 kg/ha, respectively. There was no significant difference between the yield of silage maize in F_2 – F_4 treatments reducing fertilization with F_{CK} , which played a role in reducing fertilization. The yield of F_1 silage maize reached maximum, and the silage maize yield of F_1 increased 16.67% than F_{CK} .

Key words: Biochar based fertilizer; Sandy loam soil; Nutrient; Maize; Yield

黑龙江省为我国重要的商品粮基地,化肥投入不合理、肥料利用率低是目前制约黑龙江省玉米发展的重要因素,迫切需要新型的肥料来更新原有肥料应用模式^[1–2]。生物炭基肥作为一种新型肥料,可有效减轻养分流失、增加土壤地力,同时有机肥与化肥配施,也可有效减少化肥投入^[3–4]。

生物炭基肥符合我国可持续绿色农业发展要求,是由生物炭为载体与化肥经过特殊工艺制成。生物炭理化性质独特,具备丰富的养分含量和孔隙结构,比表面积巨大;生物炭中的微孔结构能为微生物繁殖生长提供“栖息地”,增加土壤微生物种群多样性,提高土壤酶活性,实现作物增产、抗病、高收益^[5–7]。研究表明:施用生物炭基肥可有效改善连作土壤理化性质、增加作物产量^[8–9],但相关研究多集中在短期年限,需进行多年重复验证。同时生物炭基肥对作物生长和产量的作用效果与生物炭基肥种类、组成成分、土壤类型等因素有关,需进一步深入研究^[10–11]。

生物炭基肥的应用在我国目前处于初步研究推广阶段,主要集中于对粮食作物及经济作物的相关研究,关于生物炭基肥对东北寒地青贮玉米产量的影响研究报道少见^[2]。因此本文研究了生物炭基肥替代化肥减量施用对黑龙江省寒地条件下青贮玉米产量的影响,明确生物炭基肥替代化肥的作用效果,为实现我国化肥投入零增长提供参考模式。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验于2017年在黑龙江省农垦总局齐齐哈尔管理局绿色草原牧场进行,土壤类型为砂壤土,基础养分背景值为:有机质含量 14.09 g/kg、pH 值(酸碱度)8.20、碱解氮 73.88 mg/kg、有效磷 8.52 mg/kg、有效钾 74.39 mg/kg、全氮 1.10 g/kg、全磷 0.29 g/kg、全钾 21.9 g/kg。玉米生物炭基缓释肥由辽宁省法库县隆泰生物炭工程有限公司生产($N+P_2O_5+K_2O \geq 45\%$),青贮玉米品种为杜玉2号。

1.2 试验设计

试验采用大田随机区组设计,试验设置7个处理、4次重复,7个处理分别为: F_{KB} (砂壤土空白

处理),不施肥; F_{CK} (砂壤土常规施肥对照),46%尿素 225.00 kg/hm²、64%磷酸二铵 225.00 kg/hm²、60%硫酸钾 150.00 kg/hm²; F_1 (砂壤土生物炭基肥处理1),生物炭施用量与 F_{CK} 等质量,施用生物炭基肥 600.00 kg/hm²; F_2 (砂壤土生物炭基肥处理2),即生物炭基肥减量 5%,生物炭基肥施用量为 570.00 kg/hm²; F_3 (砂壤土生物炭基肥处理3),生物炭基肥减量 10%,施用量为 540.00 kg/hm²; F_4 (砂壤土生物炭基肥处理4),生物炭基肥减量 15%,施用量为 510.00 kg/hm²; F_5 (砂壤土生物炭基肥处理5),生物炭基肥减量 20%,施用量为 480.00 kg/hm²,各处理小区面积 666.67 m²。各处理肥料均作为基肥一次性施用,后期不再追肥,其它按常规生产管理措施进行,5月1日播种,9月29日收获。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 土壤养分含量测定

于青贮玉米拔节期、灌浆期、成熟期三个时期对土壤进行“S”(土壤取样方式)点取样,土壤充分混合、阴干备用。土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定,土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定,土壤全磷含量采用氢氧化钠熔融–钼锑抗比色法测定,土壤全钾含量、速效钾含量采用原子吸收分光光度法测定,土壤碱解氮含量采用扩散法测定,土壤速效磷含量采用碳酸氢钠浸提–钼锑抗比色法测定,土壤 pH 值采用 pH 计测定^[10]。

1.3.2 青贮玉米植株干物质重量、SPAD 值与生物产量测定

于青贮玉米拔节期、灌浆期、成熟期三个时期测定植株干物质重量变化规律,即测定玉米茎干物质重量、鞘与叶干物质重量、穗干物质重量及地上部总干物质重量,采用烘干法进行,植株各部分经 105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒质量;于青贮玉米拔节期、灌浆期测定功能叶片即倒三叶的 SPAD 值,采用日本美能达公司生产的 SPAD-502 叶绿素仪进行测定;于青贮玉米成熟期,对各处理小区进行生物产量实测。

1.4 数据分析

数据统计分析采用 SPSS20.0 统计软件进行方差分析,Microsoft Excel 2010 作图。

2 结果与分析

2.1 生物炭基肥对土壤养分含量的影响

在玉米拔节期,生物炭基肥对砂壤土 pH 值无明显影响。 F_3 处理增加了土壤的有机质含量,较 F_{CK} 增加了 10.67%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥处理 $F_3 \sim F_5$ 增加了土壤碱解氮含量,分别较 F_{CK} 增加了 16.30%、16.22%和 16.11%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥处理 $F_2 \sim F_5$ 增加了

土壤的速效磷含量,分别较 F_{CK} 增加了 24.62%、29.33%、19.23%、29.23%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 $F_1 \sim F_3$ 增加了砂壤土的速效钾含量,分别较 F_{CK} 增加了 28.09%、22.47%、16.85%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 F_5 处理增加了土壤全氮含量,较 F_{CK} 增加了 4.67%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥对土壤全磷含量、全钾含量无明显作用(表 1)。这说明生物炭基肥等质量施用处理(F_1)可有效增加砂壤土的速效磷和速效钾含量。

表 1 生物炭基肥对青贮玉米拔节期土壤养分含量的影响

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)
F_{KB}	8.21a	14.20cd	74.02b	8.70d	77.00d	1.05b	0.321c	22.6a
F_{CK}	8.12a	15.00bc	74.00b	13.00c	89.00c	1.07b	0.375ab	22.1ab
F_1	8.12a	15.00bc	73.95b	14.30bc	114.00a	1.09ab	0.368b	21.4b
F_2	8.02a	13.40d	74.00b	16.20a	109.00ab	1.09ab	0.375ab	21.3b
F_3	8.20a	16.60a	86.06a	16.80a	104.00b	1.0ab	0.375ab	21.6ab
F_4	8.20a	15.90ab	86.00a	15.50ab	89.00c	1.09ab	0.380a	21.8ab
F_5	8.01a	14.40c	85.92a	16.80a	84.00c	1.12a	0.341bc	21.8ab

如表 2 所示,在玉米灌浆期,处理 F_5 显著降低了土壤的有机质含量,较 F_{CK} 降低了 7.09%。生物炭基肥对碱解氮含量无影响。处理 $F_1 \sim F_5$ 增加了砂壤土的 pH 值。 $F_1 \sim F_5$ 的 pH 值分别较 F_{CK} 增加了 2.24%、0.75%、1.75%、2.37%、2.49%。 $F_1 \sim F_3$ 、 F_5 增加了土壤的速效磷含量,其中 F_1 、 F_2 、 F_5 与 F_{CK} 之间达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥降低了

速效钾含量, $F_1 \sim F_5$ 分别较 F_{CK} 降低了 21.93%、20.18%、14.91%、21.93%、20.18%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥处理 F_5 的全氮含量、全磷含量分别较 F_{CK} 降低了 20.51%、9.38%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥对全钾含量无明显影响。这说明生物炭基肥整体上增加了砂壤土的速效磷含量,但降低了速效钾的含量。

表 2 生物炭基肥对青贮玉米灌浆期土壤养分含量的影响

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)
F_{KB}	8.20a	13.80bc	74.00a	12.40e	67.00d	1.16a	0.293c	23.0a
F_{CK}	8.02a	14.10ab	73.95a	12.80d	114.00a	1.17a	0.373a	23.5a
F_1	8.20a	14.20ab	74.11a	18.70b	89.00c	1.17a	0.366ab	23.0a
F_2	8.08a	13.80bc	74.19a	15.10c	91.00c	1.17a	0.370ab	23.1a
F_3	8.16a	14.80a	73.88a	13.40d	97.00b	1.17a	0.362ab	23.1a
F_4	8.21a	13.30bc	74.00a	12.80d	89.00c	1.13a	0.373a	23.0a
F_5	8.22a	13.1c	74.09a	20.60a	91.00c	0.93b	0.338b	22.7a

如表 3 所示,玉米成熟期生物炭基肥对土壤 pH 值无明显影响。处理 $F_1 \sim F_4$ 增加了土壤的有机质含量,分别较 F_{CK} 增加了 6.35%、14.29%、7.14%、8.73%,其中 F_2 、 F_4 与 F_{CK} 达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 F_2 、 F_5 增加了土壤的碱解氮含量,分别较 F_{CK} 增加了 6.20%、6.37%、6.32%、6.20%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 $F_3 \sim F_5$ 显著增加了土壤的速效磷含量,与 F_{CK} 相比达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 F_5

增加了土壤的速效钾含量,较 F_{CK} 增加了 12.77%,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 F_4 、 F_5 降低了土壤全氮含量,其中 F_5 与 F_{CK} 之间达差异显著水平($P \leq 0.05$)。 F_4 、 F_5 降低了土壤全磷含量,达差异显著水平($P \leq 0.05$)。生物炭基肥对全钾含量无明显影响。生物炭基肥处理 $F_1 \sim F_4$ 可有效增加青贮玉米成熟期的土壤有机质含量、碱解氮、速效磷含量。

从整体上看,在拔节期和灌浆期,生物炭基肥

处理 F₃增加了砂壤土有机质含量;在成熟期,生物炭基肥处理 F₂增加了砂壤土有机质含量。生物炭基肥增加了砂壤土有机质含量,可能是因为生物炭基肥的载体生物炭是一种化学及生物“惰性”物质、不易被矿化,生物炭可通过表面吸附土壤中不稳定有机碳抑制其矿化,并促进吸附的有

机分子聚合形成有机质,其作用程度与生物炭性质等因素有关^[4,9]。在玉米的各个关键生育时期,生物炭基肥增加了砂壤土的碱解氮含量,这是因为生物炭自身含有丰富的氮素,同时具备丰富的多孔结构和极强的吸附能力,进而可对土壤中的游离氮起到有效的吸附作用^[5-6]。

表 3 生物炭基肥对青贮玉米成熟期土壤养分含量的影响

处理	pH 值	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)
F _{KB}	8.30a	13.10bc	63.04b	3.90b	78.95b	0.92ab	0.289c	24.7a
F _{CK}	8.31a	12.60cd	63.09b	4.70b	78.92b	1.09a	0.368a	23.0ab
F ₁	8.29a	13.40bc	63.10b	5.40b	79.00b	1.12a	0.351ab	22.7ab
F ₂	8.31a	14.40a	67.00a	5.40b	79.10b	1.07a	0.369a	22.5ab
F ₃	8.30a	13.50abc	67.11a	9.40a	79.06b	1.07a	0.352ab	22.1b
F ₄	8.31a	13.70ab	67.08a	9.60a	84.00ab	0.93ab	0.334b	22.2b
F ₅	8.28a	11.80d	67.00a	9.60a	89.00a	0.90b	0.327b	22.2b

2.2 生物炭基肥对青贮玉米 SPAD 值的影响

如表 4 所示, F₁处理增加了青贮玉米拔节期的 SPAD 值,较 F_{CK}增加了 2.69%,但未达差异显著水平。处理 F₂~F₅降低了玉米的 SPAD 值,分别较 F_{CK}降低了 6.19%、5.57%、7.04%、14.22%,其中 F₅与 F_{CK}达显著差异($P\leq 0.05$)。生物炭基肥 F₁处理增加了青贮玉米灌浆期的 SPAD 值,较 F_{CK}增加了 2.94%,但未达差异显著水平。处理 F₂~F₅降低了玉米的 SPAD 值,分别较 F_{CK}降低了 11.55%、17.94%、15.17%、29.71%,其中 F₅与 F_{CK}之间达显著差异水平($P\leq 0.05$)。生物炭基肥等质量施用(F₁)可以促进青贮玉米拔节期、灌浆期的 SPAD 值,间接说明对于叶绿素含量起到积极的促进作用。

表 4 生物炭基肥对青贮玉米 SPAD 值的影响

处理	拔节期	灌浆期
F _{KB}	32.55cd	38.26ab
F _{CK}	36.79ab	44.16a
F ₁	37.78a	45.46ab
F ₂	34.51bc	39.06ab
F ₃	34.74bc	36.24ab
F ₄	34.2bcd	37.46ab
F ₅	31.56d	31.04b

2.3 生物炭基肥对青贮玉米干物质重量的影响

如表 5 所示,生物炭基肥降低了青贮玉米拔节期的茎干物质重量、叶鞘与叶片干物质重量及地上部干物质重量。F₁~F₅的茎干物质重量分别较 F_{CK}降低了 7.24%、35.11%、61.82%、80.90%、89.19%,其中 F₂~F₅与 F_{CK}之间达显著差异($P\leq$

0.05)。F₁~F₅的叶鞘与叶片干物质重量较 F_{CK}降低了 6.94%、26.00%、43.84%、62.88%、72.59%,其中 F₂~F₅与 F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。F₁~F₅的地上部干物质重量分别较 F_{CK}降低了 7.06%、29.78%、51.30%、70.36%和 79.48%,其中 F₂~F₅与 F_{CK}达显著差异($P\leq 0.05$)。这说明在拔节期生物炭基肥等质量施用(F₁)的干物质重量与 F_{CK}之间无明显差异,但在生物炭基肥减量施用条件下对青贮玉米干物质积累量起到了负向效应。

如表 6 所示,在灌浆期,生物炭基肥降低了青贮玉米茎干物质重量、穗干物质重量和地上部干物质重量。F₁~F₅的茎干物质重量分别较 F_{CK}降低了 8.04%、35.33%、37.56%、46.61%、64.86%, F₄~F₅与 F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。F₁~F₅的穗重分别较 F_{CK}降低了 14.64%、53.63%、68.33%、85.49%、88.06%, F₂~F₅与 F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。F₁、F₅的地上部干重分别较 F_{CK}降低了 6.54%、40.13%、50.96%、60.97%、69.12%, F₂~F₅与 F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。处理 F₁增加了玉米的叶鞘与叶片干物质重量, F₁的叶鞘与叶片干物质重量较 F_{CK}增加了 9.61%。这说明在青贮玉米拔节期,生物炭基肥减量施用条件下对青贮玉米干物质积累量起到一定的抑制作用。

如表 7 所示,在成熟期,生物炭基肥减量施用模式即 F₂~F₅降低了玉米茎干物质重量,分别较 F_{CK}降低了 15.67%、15.83%、26.72%、37.69%。生物炭基肥降低了青贮玉米的叶鞘与叶片干物质重量, F₁~F₅分别较 F_{CK}降低了 35.28%、4.08%、

40.85%、26.72%、46.81%，其中F₃、F₅与F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。F₁增加了青贮玉米穗的干物质质量，F₁较F_{CK}增加了22.41%；F₂~F₅降低了青贮玉米穗的干物质重量，分别较F_{CK}降低了10.03%、12.01%、37.99%、34.36%。F₁增加了青贮玉米地上部干物质重量，较F_{CK}增加了11.35%；F₂~F₅降低了

青贮玉米的地上部干物质重量，分别较F_{CK}降低了10.29%、17.65%、33.62%、37.17%，其中F₄、F₅与F_{CK}之间达差异显著水平($P\leq 0.05$)。这说明在青贮玉米成熟期，生物炭基肥等质量施用(F₁)可增加青贮玉米的地上部干物质重量，同时减量施肥模式F₂~F₃与F_{CK}之间的干物质积累量无明显差异。

表5 生物炭基肥对青贮玉米拔节期干物质重量的影响 g/株

处理	茎干物质重量	叶鞘与叶片干物质重量	地上部干物质重量
F _{KB}	0.57d	5.86e	7.01e
F _{CK}	10.33a	29.14a	49.81a
F ₁	9.59a	27.12a	46.29a
F ₂	6.71b	21.56b	34.97b
F ₃	3.95c	16.37c	24.26c
F ₄	1.97cd	10.82d	14.76d
F ₅	1.12d	7.99de	10.22de

表6 生物炭基肥对玉米灌浆期干物质重量的影响 g/株

处理	茎干物质重量	叶鞘与叶片干物质重量	穗干物质重量	地上部干物质重量
F _{KB}	12.53c	17.77c	7.30c	37.60c
F _{CK}	35.29a	31.41a	56.07a	122.79a
F ₁	32.45a	34.43a	47.86ab	114.76a
F ₂	22.82a	24.69b	26.00bc	73.51b
F ₃	22.03a	20.41bc	17.76bc	60.21bc
F ₄	18.84b	20.94bc	8.13c	47.91bc
F ₅	12.40c	18.82c	6.69c	37.91c

表7 生物炭基肥对青贮玉米成熟期干物质积累量的影响 g/株

处理	茎干物质重量	鞘与叶干物质重量	穗干物质重量	地上部干物质重量
F _{KB}	12.788c	12.15c	34.878c	59.816c
F _{CK}	29.716ab	22.348a	82.272ab	134.336a
F ₁	34.414a	14.462abc	100.708a	149.584a
F ₂	25.06abc	21.436ab	74.018ab	120.514ab
F ₃	25.012abc	13.218bc	72.392ab	110.622ab
F ₄	21.776abc	16.376ab	51.018bc	89.17bc
F ₅	18.514bc	11.886c	54.004bc	84.404bc

2.4 生物炭基肥对青贮玉米生物产量的影响

生物炭基肥对青贮玉米青贮产量的影响。F₁的青贮玉米产量为7.35 t/hm²，较F_{CK}的6.3 t/hm²增加了16.67%。F₃~F₅的青贮玉米产量略有下降，分别为5.25 t/hm²、5.04 t/hm²、3.89 t/hm²，分别较F_{CK}的6.3 t/hm²降低了16.67%、20.00%、38.33%，其中F₅与F_{CK}之间达显著差异($P\leq 0.05$)。这说明生物炭基肥等质量应用模式(F₁)可以增加青贮玉米的生物产量；同时生物炭基肥减量施用的处理F₂~F₄、即生物炭基肥减量5%~15%条件下对青贮玉米的生物产量无明显影响。

3 讨 论

3.1 生物炭基肥对土壤养分含量的影响

研究表明，生物炭基肥能够增加土壤中铵态氮及硝态氮含量，对提高土壤速效养分含量的作用好于普通的氮磷钾肥料^[11]；施用生物炭基肥在提高土壤有机质、全钾、速效钾含量方面效果优于其它处理方式^[12]。本研究结果表明，生物炭基肥等量替代化肥条件下，可增加青贮玉米各时期砂壤土有机质、碱解氮、速效磷的含量。这是因为生物炭自身含有丰富的养分含量，可向土壤补

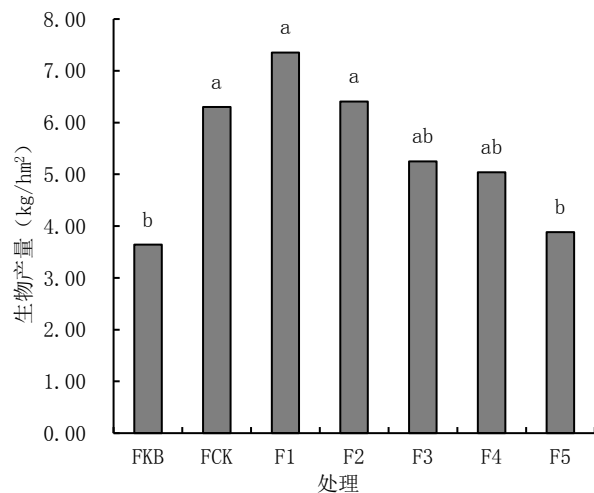


图1 生物炭基肥对青贮玉米生物产量的影响

充一定数量的养分^[13-14],同时生物炭具有丰富的孔隙结构、极强的吸附性能,可以吸附土壤中的游离态养分离子^[15-16]。生物炭为微生物的繁殖提供了充足的碳源^[17],同时其丰富的微孔结构可作为微生物的栖息地,可促进微生物的大量繁殖,进而对于活化土壤养分具有重要作用^[18]。

3.2 生物炭基肥对玉米产量的影响

生物炭基肥可显著增加作物产量^[8],生物炭与肥料混施可以显著提高作物的产量^[19-21],这与本研究结果基本一致。本研究结果表明,生物炭基肥等质量替代化肥条件下可显著增加青贮玉米产量,F₁的产量较F_{CK}增加了16.67%,这是由于生物炭基肥可对其中的养分起到缓慢释放的作用,同时对土壤溶液中的可溶解态养分具有一定的吸附作用,生物炭自身具有丰富的孔隙结构,可有效改良致密性土壤的物理结构,可促进微生物的繁殖,活化土壤养分^[22-23]。

3.3 黑龙江省生物炭基肥应用技术前景

黑龙江省耕地面积0.16亿hm²,年秸秆产生量约1.30亿t左右。沈阳农业大学陈温福院士率先提出了以生物炭为核心,以简易制炭技术为基础,以生物炭肥料和土壤改良剂为主要发展方向,兼顾炭化生物质煤等多元产品开发的“就地或就近制炭、集炭异地深加工模式”,1t秸秆可以制得约0.30t的生物炭,仅此一项就可以将运输成本降低60%以上。同时,各个分散的制炭点规模较小,在其周边五公里半径内收集秸秆就可以满足生物炭加工需要^[24]。因此可在黑龙江垦区等进行一定范围秸秆炭化装备布置、实现生物炭制备及返还农田,进而实现秸秆处理及增加农田地力的双重效应,对于进一步实现黑龙江省绿色农

业发展、保障国家粮食安全具有重要意义。同时如何发展适合黑龙江垦区推广的高效制炭设备,降低生物炭、生物炭基肥成本是目前需要迫切解决的问题。生物炭是一项功在当代、利在千秋的战略性新兴举措,将在黑龙江省农业障碍性土壤改良、减肥减药、有机绿色作物生产发挥关键作用。

4 结 论

处理F₁~F₅增加了青贮玉米各生育时期土壤速效磷含量。在灌浆期和成熟期,生物炭基肥等质量投入的条件下(生物炭基肥600.00 kg/hm²),即处理F₁的有机质含量分别较F_{CK}增加了0.70%、14.90%。在成熟期,F₁的茎重、穗重和地上部干物质重分别较F_{CK}增加了15.80%、22.40%、11.35%。F₁的青贮玉米产量达到最大值,较F_{CK}增加了16.67%。处理F₂~F₄的生物炭基肥施用量分别为570.00 kg/hm²、540.00 kg/hm²、510.00 kg/hm²,即生物炭基肥减量施用5%~15%,可分别减少化肥投入量30.00 kg/hm²、60.00 kg/hm²、90.00 kg/hm²,F₂~F₄的青贮玉米产量与F_{CK}之间无显著差异,说明起到了减量施肥效果。F₂处理成熟期的有机质含量较F_{CK}显著增加。但需进一步进行年际间重复验证。

参考文献:

- [1] 梁卫,袁静超,张洪喜,等.东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J].东北农业科学,2016,41(2):44-49.
- [2] 徐艳荣,仲义,代秀云,等.我国青贮玉米的发展现状及种质改良[J].东北农业科学,2017,42(1):8-11.
- [3] 孟凡彬,孟军.生物质炭化技术研究进展[J].生物质化学工程,2016,50(6):61-66.
- [4] 孙建飞,郑聚锋,程琨,等.面向自愿减排交易的生物质炭基肥固碳减排计量方法研究[J].中国农业科学,2018,51(23):4470-4484.
- [5] 高梦雨,江彤,韩晓日,等.施用炭基肥及生物炭对棕壤有机碳组分的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2126-2135.
- [6] Smebye A, Alling V, Vogt R D, et al. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition[J]. Chemosphere, 2016, 142: 100-105.
- [7] Tian J, Wang J, Dippold M, et al. Biochar affects soil organic matter cycling and microbial functions but does not alter microbial community structure in a paddy soil[J]. Science of the Total Environment, 2016, 556: 89-97.
- [8] Zhu L X, Xiao Q, Shen Y F, et al. Effects of biochar and maize straw on the short-term carbon and nitrogen dynamics in a cultivated silty loam in China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(1): 1019-1029.

(下转第88页)

- [20] 成林,李彤霄,刘荣花.主要生育期气候变化对河南省冬小麦生长及产量的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(6):931-940.
- [21] 赵俊芳,李宁,候英雨,等.基于APSIM模型评估北方八省春玉米生产对气候变化的响应[J].中国农业气象,2018,39(2):108-118.
- [22] 穆佳,赵俊芳,郭建平.近30年东北春玉米发育期对气候变化的响应[J].应用气象学报,2014,25(6):680-689.
- [23] 吴海燕,孙甜田,范作伟,等.东北地区主要粮食作物对气候变化的响应及其产量效应[J].农业资源与环境学报,2014,31(4):299-307.
- [24] 李树岩,刘伟昌.基于气象关键因子的河南夏玉米产量预报研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):223-227.
- [25] 宫丽娟,李宇光,王萍,等.黑龙江省玉米气候适宜度变化分析[J].吉林农业科学,2012,37(5):75-80.
- [26] 王冬妮,曲思邈,姚渝丽,等.吉林省主要农区气候变化特征及其对玉米农田土壤湿度的影响[J].吉林农业科学,2015,40(6):42-46.
- [27] 王静,杨晓光,吕硕,等.黑龙江省春玉米产量潜力及产量差的时空分布特征[J].中国农业科学,2012,45(10):1914-1925.

(上接第24页)

- [9] 孙宁川,唐光木,徐万里,等.棉秆炭和炭基专用肥对棉花生长及产量的影响[J].新疆农业科学,2016,53(1):163-169.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-109.
- [11] Wang J, Xiong Z, Kuzyakov Y, et al. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects[J]. Global Change Biology Bioenergy, 2016, 8(3): 512-523.
- [12] Sun F, Lu S. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2014, 177(1): 26-33.
- [13] Dai Z, Zhang X, Tang C, et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification—A critical review[J]. Science of the Total Environment, 2017, 581-582: 601-611.
- [14] Ali S, Rizwan M, Qayyum M F, et al. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(14): 1-13.
- [15] Bruun E W, Petersen C T, Hansen E, et al. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention[J]. Soil Use and Management, 2014, 30(1): 109-118.
- [16] Zhang A F, Zhou X, Li M, et al. Impacts of biochar addition on soil dissolved organic matter characteristics in a wheat-maize rotation system in loess plateau of China[J]. Chemosphere, 2017, 186: 986-993.
- [17] Chen J H, Sun X, Zheng J F, et al. Biochar amendment changes temperature sensitivity of soil respiration and composition of microbial communities 3 years after incorporation in an organic carbon-poor dry cropland soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2018, 54(2): 175-188.
- [18] Zhou Y X, Berruti F, Greenhalf C, et al. Increased retention of soil nitrogen over winter by biochar application: implications of biochar pyrolysis temperature for plant nitrogen availability[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017, 236: 61-68.
- [19] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. Plant and Soil, 2007, 291: 275-290.
- [20] Yamato M, Okimori Y, Wibowo I F, et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize cowpea and peanut and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2006, 52: 489-495.
- [21] 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.
- [22] Fungo B, Lehmann J, Kalbitz K, et al. Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under conventional hand-hoe tillage[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 165: 190-197.
- [23] Hammer E C, Balogh-Brunstad Z, Jakobsen I, et al. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 77(7): 252-260.
- [24] 陈温福,张伟明,孟军.生物炭与农业环境研究与展望[J].农业环境科学学报,2014,33(5):821-828.