

炭基肥对土壤性质以及蔬菜生长的影响

潘润, 杲悦悦, 任国宇, 任佳慧, 李可心, 张子豪, 袁丽, 丁爱芳* (南京晓庄学院环境科学学院, 江苏南京 211171)

摘要 [目的]促进炭基肥的研究和农用。[方法]采用盆栽试验,研究炭基肥和复合肥不同施用对土壤部分化学性质、养分状况及3种不同品种蔬菜(奶油小白菜、四季小白菜、小青菜)植株养分、SPAD值及产量的影响。[结果]与普通复合肥相比,炭基肥可显著提高土壤有机质含量和阳离子交换量,蔬菜叶片SPAD值、产量、植株全磷和全钾含量。[结论]生物炭基肥可部分替代传统化肥,降低化学肥料的施用量,但不会影响产量;还能促进蔬菜对全磷、全钾养分的吸收利用并保持生物炭改良土壤的功能。

关键词 炭基肥;复合肥;蔬菜;养分;产量

中图分类号 S158;S634.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)21-0159-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.21.043

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Carbon-based Fertilizer on Soil Properties and Vegetable Growth

PAN Run, GAO Yue-yue, REN Guo-yu et al (School of Environmental Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171)

Abstract [Objective] To facilitate the research and application of carbon-based fertilizer in agriculture. [Method] The pot experiment was conducted to study the effects of carbon-based fertilizer and compound fertilizer on soil chemical properties, soil nutrients, and the nutrients, SPAD value and yield of three different vegetables (cream cabbage, four seasons cabbage, green stuff). [Result] Compound with compound fertilizer, carbon-based fertilizer could significantly increase soil organic matter, cation exchange capacity (CEC), SPAD value, yield, the total phosphorus and potassium contents in vegetables. [Conclusion] Carbon-based fertilizer can partially replace traditional chemical fertilizer and reduce the amount without affecting the yield of vegetables; it can also promote the absorption and utilization of total phosphorus and potassium nutrients in vegetables and maintain the biochar's function in improving soil.

Key words Carbon-based fertilizer; Compound fertilizer; Vegetable; Nutrient; Yield

随着我国人口数量增加和城镇化进程推进,对蔬菜的需求量不断增加。为了提高产量,人们在蔬菜种植生产过程中大量施用传统化学肥料。据统计,2014—2016年我国蔬菜生产年均化肥施用总量1 086.0万t,占化肥施用总量的18.0%^[1],长期大量施用化肥不但加大农业生产成本,还会造成土壤性质恶化并污染环境。尽管施用有机肥可以提高土壤肥力和改善蔬菜品质^[2],但受经济效益和管理方式的影响,目前我国蔬菜生产中仍主要施用无机化学肥料。因此,在保证蔬菜产量和效益的基础上,通过改善施肥种类来解决肥料浪费、养分利用率低、蔬菜品质和土壤质量下降的现状是蔬菜生产中亟需解决的关键问题^[3]。

炭基肥是将生物质炭按一定比例与氮磷钾复合肥混合制成3~4 mm的炭基肥颗粒,可以弥补单纯施用生物质炭或氮磷钾复合肥的不足。研究表明,炭基肥能够提高农田菜地土壤肥料利用率^[4]以及土壤保肥能力^[5]。但关于炭基肥施用对菜地土壤性质、蔬菜养分吸收及养分状况和产量的影响研究较少。为进一步研究炭基肥在蔬菜种植中的应用,笔者以奶油小白菜、四季小白菜和小青菜为试验材料,通过盆栽试验,研究炭基肥对土壤性质以及蔬菜养分吸收与产量的影响,以期为生物质炭基肥的推广应用提供科学依据。

1 材料与方

1.1 试验材料 土壤样品采自南京晓庄学院江宁方山校区土壤,土壤类型为黄棕壤,土壤基本理化性质为pH 6.77、有机

质含量14.7 g/kg、阳离子交换量20.60 cmol/kg、全氮含量1.00 g/kg、速效钾含量29.72 mg/kg、有效磷含量22.40 mg/kg。

供试肥料:供试复合肥购自合肥利科农业有限公司,总养分含量为51%,N-P₂O₅-K₂O=17-17-17。供试炭基肥购自勤丰众成生物质新材料(南京)有限公司,生物质原料为小麦和稻壳炭,将生物质炭按一定比例与氮磷钾肥混合制成3~4 mm的炭基肥颗粒,含水率在20%左右,其中生物质≥40%,总养分含量为40%,N-P₂O₅-K₂O=15-10-15。

供试植物:小青菜购于南京嘉华农业发展有限公司,品种为“不结球白菜”,奶油小白菜购自郑州市方震种子有限公司,品种为“黄金奶油小白菜”,四季小白菜购自齐鲁绿源有限公司,品种为“四季小白菜”。

1.2 试验设计 室外盆栽培养试验,共设6个处理:①施用复合肥的奶油小白菜(T1),施用炭基肥的奶油小白菜(T2);②施用复合肥的四季小白菜(T3),施用炭基肥的四季小白菜(T4);③施用复合肥的小青菜(T5),施用炭基肥的小青菜(T6)。每个处理重复3次。按照每盆1 000 g土装入圆形塑料花盆(盆高10.7 cm,外口直径18 cm,内口直径15.5 cm,底口直径10.1 cm),2019年9月23日将炭基肥和复合肥一次性按照0.3 gN/kg施入,即T2、T4、T6处理施入炭基肥2 g, T1、T3、T5处理施入复合肥1.764 7 g,次日分别将种子播入土壤中,不再追肥,待其生长至幼苗期后将每盆定植为3株,随机摆放于室外。试验期间定期用去离子水给作物浇水,每隔3~5 d将花盆重新摆放一次,使蔬菜生长条件尽量保持一致,于2019年11月8日收获,共生长46 d。

1.3 样品采集及分析

1.3.1 土壤样品采集与测定 装盆前采集基础土样,收获

基金项目 南京市重点建设学科《环境科学与工程》项目(2018ZHDXK1); 2020年度江苏省大学生创新项目(202011460082H)。

作者简介 潘润(1998—),男,江苏镇江人,从事植物营养与肥料研究。
*通信作者,教授,博士,从事土壤污染修复研究。

收稿日期 2020-04-14

后采集收获期土样带回实验室,在阴凉通风处自然风干,研磨,过筛后装袋备用。pH 采用无 CO₂ 蒸馏水 1:2.5 土水比浸提,pH 玻璃电极测定^[6];有机碳含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定^[6];阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法测定^[7];有效磷含量采用碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法测定^[6];速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度法^[6]测定。

1.3.2 SPAD 值的测定。收获时,蔬菜叶片中叶绿素用日本产 SPAD 502Plus 叶绿素测定仪测定 3 株植物叶片中心处的 SPAD 值,计算每盆中 3 株植物 SPAD 的平均值。

1.3.3 植物养分测定。植物成熟后整株收获,分根部和地上两部分收集鲜样,称取地上部分鲜重记录数据。经 105 °C 杀青 30 min,然后 70 °C 下烘干至恒重,粉碎后测定养分含量。用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮扩散法定氮,用钼锑抗比色法测定植株全磷含量;用火焰分光光度计法测定植株全钾含量。

1.4 数据分析 试验数据采用 Excel 2010 和 Origin 2016 软件进行处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 炭基肥对土壤 pH 和 CEC 的影响

2.1.1 pH。从表 1 可以看出,施用复合肥和炭基肥后,土壤 pH 较未施肥前原土 pH 均呈下降趋势,复合肥施用的 T1、T3、T5 处理下降了 8.71%~10.19%,炭基肥施用的 T2、T4、T6 处理下降了 6.50%~8.27%。炭基肥施用的下降幅度比复合肥施用的下降幅度小,除小青菜之间存在显著差异($P < 0.05$)外,其他处理之间无显著差异。复合肥施用使土壤酸化,炭基肥可以缓解这种变化。卢广远等^[8]研究表明,施用炭基肥料能调节土壤 pH 向中性靠近。

表 1 不同施肥处理对土壤 pH 和 CEC 的影响

Table 1 Effect of different fertilization treatments on soil pH and CEC

蔬菜种类 Vegetable species	处理 Treatment	土壤 pH Soil pH	阳离子交换量 CEC cmol/kg
奶油小白菜 Cream cabbage	T1	6.08±0.08 a	21.53±0.19 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T2	6.21±0.09 a	23.86±2.24 a
小青菜 Green stuff	T3	6.14±0.13 a	23.61±0.56 a
	T4	6.30±0.04 a	23.89±0.71 a
	T5	6.18±0.03 a	21.69±0.33 a
	T6	6.33±0.06 b	22.74±0.49 b

注:同一种类蔬菜不同小写字母表示 2 种施肥处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different fertilizer treatments at 0.05 level

2.1.2 CEC。从表 1 可以看出,与普通复合肥相比,炭基肥对土壤 CEC 均有不同程度提高,且均高于原土 CEC 值 20.60 cmol/kg。炭基肥处理种植小青菜(T6)土壤 CEC 比复合肥处理土壤(T5)有显著提高($P < 0.05$),其余 2 种蔬菜也有一定比例的提高,但无显著差异。生物炭对土壤 CEC 的改善作用与生物炭在生物和非生物的作用下氧化产生如羧基等类的官能团有关,从而导致土壤 CEC 的增加^[9],该研究试验时间并不长,且施肥量不大,肥料与土壤作用时间较短,可能需要进一步长期试验可以看到更显著的变化。

2.2 炭基肥对土壤养分的影响

2.2.1 有机质。从表 2 可以看出,与普通复合肥相比,炭基

肥对土壤有机质均有不同程度提高,且均高于原始土壤有机质含量 14.7 g/kg,其中四季小白菜提升比例最大,为 19.02%,但差异不显著。种植奶油小白菜、四季小白菜、小青菜下施用炭基肥较复合肥均有一定程度提高。杨劲峰等^[10]研究表明,施用炭基肥可提高土壤有机质,且效果显著。

2.2.2 速效养分。由表 2 可知,相对于原土有效磷含量(22.40 mg/kg)、速效钾含量(29.72 mg/kg),6 种处理土壤有效磷和速效钾含量均显著提升。复合肥施用下 3 种蔬菜有效磷的提升比例在 43.32%~55.52%,速效钾的提升比例在 14.53%~52.25%,炭基肥施用下 3 种蔬菜有效磷的提升比例在 36.45%~47.36%,速效钾的提升比例在 5.34%~46.18%。说明施用复合肥和炭基肥对提升土壤速效养分均有一定的促进作用,复合肥施用下土壤速效养分效果优于炭基肥,原因可能是供试的复合肥磷和钾含量略高于炭基肥;另一方面,可能是炭基肥的保肥性能较好,生物炭对钾、磷的吸附作用较强,缓慢释放。

表 2 不同施肥处理对土壤养分的影响

Table 2 Effect of different fertilization treatments on soil nutrients

蔬菜种类 Vegetable species	处理 Treatment	有机质 Soil organic matter/g/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
奶油小白菜 Cream cabbage	T1	15.33±0.25 a	39.52±6.17 a	41.15±16.95 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T2	15.51±0.42 a	35.25±16.85 a	31.40±11.53 a
小青菜 Green stuff	T3	14.87±0.37 a	50.36±0.80 b	62.24±9.13 a
	T4	18.40±2.30 b	42.55±2.30 a	55.22±8.51 a
	T5	15.33±0.81 a	45.79±11.40 a	34.77±13.45 a
	T6	15.84±1.34 a	41.74±9.75 a	26.61±6.52 a

注:同一种类蔬菜不同小写字母表示 2 种施肥处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different fertilizer treatments at 0.05 level

2.3 炭基肥对 3 种蔬菜植株养分含量的影响 由表 3 可知,复合肥施用下 3 种蔬菜中全氮含量均高于炭基肥,提升比例在 6.27%~11.34%,但无显著差异。炭基肥施用下四季小白菜和小青菜全磷和全钾含量较复合肥施用下均有一定提高,提升比例在 1.74%~6.67%,其中四季小白菜提升比例最大,且差异显著($P < 0.05$)。综上所述,炭基肥施用可以提升蔬菜中全磷和全钾含量,而复合肥施用下 3 种蔬菜全氮含量高于炭基肥。以一定配比混合施用复合肥和炭基肥可以提高氮肥利用率,提高植物全磷、全钾含量,促进植物生长。谢发萍等^[11]研究表明化肥配施高量炭基肥可促进生菜对氮、磷、钾养分的吸收利用。

2.4 炭基肥对 3 种蔬菜叶片叶绿素含量的影响 以叶绿素仪测得的 SPAD 值来表征叶片叶绿素含量,植株叶片叶绿素含量与叶片氮素营养有很好的相关性^[12]。不同施肥处理对 3 种蔬菜叶绿素含量及产量的影响见表 4。由表 4 可知,施用炭基肥下奶油小白菜、四季小白菜、小青菜的叶绿素含量较复合肥施用下均有提高,提升比例在 5.93%~11.56%,其中四季小白菜提升比例最大,为 11.56%,且差异显著($P < 0.05$)。这说明施用炭基肥,蔬菜生长良好,较复合肥有利于

蔬菜光合作用。

表 3 不同施肥处理对蔬菜植株全氮、磷和钾含量的影响

Table 3 Effect of different fertilization treatments on total nitrogen, phosphorus and potassium contents in different vegetables %

蔬菜种类 Vegetable species	处理 Treat- ment	全氮含量 Total nitrogen	全磷含量 Total phosphorus	全钾含量 Total potassium
奶油小白菜 Cream cabbage	T1	3.22±0.26 a	0.46±0.01 b	0.51±0.01 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T2	3.03±0.61 a	0.41±0.07 a	0.51±0.01 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T3	3.24±0.12 a	0.42±0.04 a	0.51±0.02 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T4	2.91±0.50 a	0.45±0.03 a	0.53±0.00 b
小青菜 Green stuff	T5	3.58±0.03 a	0.45±0.01 a	0.50±0.00 a
小青菜 Green stuff	T6	3.30±0.35 a	0.46±0.03 a	0.51±0.22 a

注:同一种类蔬菜不同小写字母表示 2 种施肥处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different fertilizer treatments at 0.05 level

2.5 炭基肥对 3 种蔬菜产量的影响 由表 4 可知,与普通复合肥相比,炭基肥施用下 3 种蔬菜产量均有所提高,T2 较 T1 处理产量提高 5.88%,但无显著差异。T4 较 T3 处理产量显著提高 23.14%,T6 较 T5 处理产量显著提高 32.02%。由此可知,施用合适的炭基肥有利于提高蔬菜的产量,且效果优于普通复合肥。

表 4 不同施肥处理对 3 种蔬菜叶绿素含量及产量的影响

Table 4 Effect of different fertilization treatments on chlorophyll content and yield of different vegetables

蔬菜种类 Vegetable species	处理 Treatment	SPAD 值 SPAD Value	产量 Yield g/盆
奶油小白菜 Cream cabbage	T1	41.59±4.26 a	31.31±4.88 a
奶油小白菜 Cream cabbage	T2	45.47±2.01 a	33.16±2.76 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T3	37.93±3.28 a	22.88±1.50 a
四季小白菜 Four seasons cabbage	T4	42.89±1.14 b	32.37±2.03 b
小青菜 Green stuff	T5	42.21±1.06 a	27.09±2.27 a
小青菜 Green stuff	T6	44.87±2.96 a	39.84±3.15 b

注:同一种类蔬菜不同小写字母表示 2 种施肥处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different fertilizer treatments at 0.05 level

3 结论与讨论

该试验中复合肥使土壤酸化,炭基肥因为复合了呈碱性的生物质炭,减轻了化学肥料对土壤的酸化效果。该试验施用炭基肥较复合肥能够更好地提升土壤有机质含量,但由于生物质炭结构较稳定,在土壤中难以被氧化,短暂的盆栽作物试验,尚不能确定有多少外引生物炭转化为土壤结构中的碳。但施用炭基肥可将部分大气 CO_2 以稳定的生物炭形式封存于土壤中,有助于降低大气中的 CO_2 水平,这对减缓温

室效应具有重要意义。研究表明,我国每年可供生物炭生产的农林生物质资源总量为 6.04×10^8 t;温室效应净潜力(以 CO_2e 计, CO_2e 为 CO_2 当量)为 5.32×10^8 t,相当于 1 t 原料可封存 0.88 t^[13]。该研究中炭基肥施用下四季小白菜和小青菜全磷和全钾含量较复合肥施用下均有一定提高。说明炭基肥能够促进蔬菜植株全磷、全钾含量,促进植物生长,复合肥施用下 3 种蔬菜全氮含量均高于炭基肥施用下 3 种蔬菜全氮含量,因此可以以一定配比混合施用复合肥和炭基肥提高氮肥利用率,促进蔬菜对养分的吸收。与普通复合肥相比,炭基肥能够一定程度提高蔬菜 SPAD 值及产量,且差异显著 ($P < 0.05$),施用炭基肥蔬菜生长良好,有利于蔬菜光合作用。

因此,炭基肥将是未来生物炭农用的新方向,生物炭基肥农用于不仅解决了长期施用化肥对土壤结构、质量的破坏,减少对生态环境的污染和破坏,且对于缓解我国严峻的温室气体排放压力具有巨大潜力。但目前关于生物炭基肥的研究仍处于初级阶段,制备生物炭基肥的生物炭与肥料的混合比、实际施用量的不同对土壤与作物产生作用的差异,还未有深入研究^[14]。生物炭基肥施用后产生的效果未在不同地域、不同环境条件下进行长期、定位对比试验^[14],是今后需要加强研究的。

参考文献

- [1] 徐洋,杨帆,张卫峰,等. 2014–2016 年我国种植业化肥施用状况及问题[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(1):11–21.
- [2] 应金耀,阮弋飞,郭奇峰,等. 有机肥配施生物质炭对土壤肥力与蔬菜生长的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(16):82–87.
- [3] 李大伟,周加顺,潘根兴,等. 生物质炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响[J]. 南京农业大学学报,2016,39(3):433–440.
- [4] 于南卓. 生物炭及炭基肥料对小白菜、油菜及玉米的生长和土壤养分的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2018.
- [5] 冉宗信. 生物炭基肥料的制备方法及其在农业中的应用研究进展[J]. 安徽农业通报,2019,25(9):116–118.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:12,30–34,49–56,81–83,106–108,169–172.
- [7] 张力平,张台凡,魏斌,等. 凯氏定氮仪测定土壤阳离子交换量方法优化[J]. 资源节约与环保,2018(7):22,27.
- [8] 卢广远,张艳,王祥福,等. 炭基肥料种类对土壤物理性质及玉米产量的影响[J]. 河北农业科学,2011,15(5):50–53.
- [9] 夏璐,赵蕊,金海燕,等. 生物炭对土壤理化性质及玉米生长影响的研究进展[J]. 天津农学院学报,2018,25(2):64–69.
- [10] 杨劲峰,江彤,韩晓日,等. 连续施用炭基肥对花生土壤性质和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(3):68–73.
- [11] 谢发萍,高亮,李苗苗,等. 炭基肥与化肥配施对生菜养分吸收与产量的影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(21):163–165.
- [12] 杨虹霞,龙春瑞,刘红明,等. 不同柠檬品种叶片 SPAD 值、氮素含量与叶绿素含量相关性分析[J]. 热带农业科学,2019,39(8):22–28.
- [13] 姜志翔,郑浩,李锋民,等. 生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估[J]. 环境科学,2013,34(6):2486–2492.
- [14] 余慧敏,郭熙. 生物炭与生物炭基肥利用研究进展[J]. 天津农业科学,2018,24(12):82–86.

(上接第 155 页)

- [15] 卢辉,卢芙蓉,梁晓,等. 糖醋液诱杀热带瓜菜害虫轻简化技术研究[C]//中国热带作物学会. 中国热带作物学会第九次全国会员代表大会暨 2015 年学术年会论文摘要集. 海口:中国热带作物学会,2015:120.
- [16] 王杰,简路军. 糖醋液诱杀桃园梨小食心虫配方优化试验研究[J]. 中国果菜,2017,37(4):34–36,39.

- [17] 郭丽娜,李伯辽,董蓝蔓,等. 樱桃果蝇发生与诱捕技术比较研究[J]. 西北农业学报,2014,23(2):55–60.
- [18] 苏俊平,于海利,丁倩,等. 苹果蠹蛾性诱剂对梨小食心虫性诱剂诱集效果的影响[J]. 林业科技通讯,2018(7):40–42.
- [19] 张文斌,钱丰,贾育恒,等. 不同性诱剂组合对苹果害虫的诱集效果[J]. 北方园艺,2018(22):70–74.
- [20] 刘文旭,冉红凡,路子云,等. 性诱剂与糖醋液组合对桃园梨小食心虫的诱捕效果研究[J]. 中国植保导刊,2014,34(10):43–47.