

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)06-0562-06

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.06.011

生物炭有机肥对马铃薯主要性状及生产效益的影响

徐茜*, 肖波, 宗洪霞, 曾新宇, 李保证

(重庆三峡农业科学院, 重庆 404155)

摘要: 马铃薯生产中常常忽视有机肥的使用, 为探讨生物炭有机肥对马铃薯生产的作用, 以马铃薯品系‘0201-17’为试验材料, 设不施肥(对照), 常规施肥(45%高塔园林复合肥 60 kg/667m² + 尿素 10 kg/667m²), 常规施肥减量 10%~50% 分别替代 30~70 kg/667m² 的生物炭有机肥(复合肥和生物炭有机肥为底肥、尿素为追肥), 共 7 个处理, 研究生物炭有机肥替代部分化肥对马铃薯性状产量和效益的影响。结果表明, 常规施肥减施 10% 的处理 T₃, 其肥料农学效率、商品薯率、块茎产量及扣除肥料成本后的产值均最高, 分别达到 38.99 kg/kg、83.43%、3 290 kg/667m² 和 3 666.9 元/667m²。此试验条件下, 马铃薯生产中, 可在常规施肥水平上, 减少化肥 10% 用量, 补充生物炭有机肥 30 kg/667m², 对肥料减量、产业增效等具有多重现实意义。

关键词: 马铃薯; 生物炭有机肥; 产量; 效益

Effects of Biochar Organic Fertilizer on Potato Main Traits and Production Benefit

XU Qian*, XIAO Bo, ZONG Hongxia, ZENG Xinyu, LI Baozheng

(Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 404155, China)

Abstract: The use of organic fertilizer is often neglected in potato production. In order to explore the effect of biochar organic fertilizer on potato production, with no fertilization (control), conventional fertilization (45% Tower Garden compound fertilizer 60 kg/667m² + urea 10 kg/667m²), and the reduction of conventional fertilization by 10% - 50% instead of 30-70 kg/667m² biochar organic fertilizer, respectively (compound fertilizer and biochar organic fertilizer as base fertilizer and urea as supplement), a total of seven treatments were set to study the effects of biochar organic fertilizer replacing part of chemical fertilizer on potato characters, yields and benefits, using potato breeding line '0201-17' as experimental materials. The fertilizer agronomic efficiency, marketable tuber percentage, tuber yield and output value after deducting fertilizer cost were the highest in treatment T₃ with conventional fertilization reduced by 10%, reaching 38.99 kg/kg, 83.43%, 3 290 kg/667m² and 3 666.9 Yuan/667m², respectively. Under the conditions of this experiment, in potato production, the chemical fertilizer application rate could be reduced by 10% at the level of conventional fertilization, and the biochar organic fertilizer could be added by 30 kg/667m², which has practical significances for fertilizer reduction and production benefit increase.

Key Words: potato; biochar organic fertilizer; yield; production benefit

收稿日期: 2021-09-21

基金项目: 重庆市科技局项目(cstc2019jscx-gksbX0157)。

作者简介: 徐茜(1965-), 女, 高级农艺师, 从事薯类育种与栽培研究。

*通信作者(Corresponding author): 徐茜, E-mail: xuq3826@163.com。

重庆市常年马铃薯种植面积33.4万 hm^2 , 全国排名第六, 约占全市旱粮的18.2%, 总产量608万t, 平均单产1086 $\text{kg}/667\text{m}^2$ 。主要分布在渝东北、渝东南中高山栽培, 鲜食占50%, 饲料占30%, 种薯占10%, 加工占10%^[1]。马铃薯生产中长期重施化肥、轻施有机肥, 肥料流失且利用率低, 造成土壤酸化、板结、土壤质量和肥力下降明显, 直接影响马铃薯产量和生产效益。生物炭有机肥料是以生物炭为载体, 采用复混方法制成的肥料, 由于生物炭的多孔构造, 通过吸附肥料中有效养分, 并缓慢释放, 既减少了肥料养分的流失, 提高了养分利用率, 还保证了作物和蔬菜生产后期的养分供给^[2]。作为一种新型有机肥, 生物炭有机肥能有效减轻养分流失、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]。目前生物炭有机肥在玉米^[5]、花生^[6]、水稻^[7]、生菜^[8]等作物上得到研究和应用, 但在马铃薯上的研究却较少。因此, 本试验开展生物炭有机肥替代部分化肥试验, 研究其对马铃薯主要性状、薯块产量和生产效益的影响, 为马铃薯生产合理施肥、提高产量和效益、保持土壤肥力、减少环境污染提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

以中早熟马铃薯新品系‘0201-17’为试验材料, 由重庆三峡农业科学院提供。生物炭有机肥(有机质 $\geq 50\%$ 、蛋白质 $\geq 40\%$ 、氨基酸 $\geq 10\%$ 、 $\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O} = 2.1\% + 1.4\% + 1.6\%$ 、 $\text{pH} 5.6$ 、含枯草芽孢杆菌+巨大芽孢杆菌, 有效活菌数 ≥ 2 亿/g), 河南土豆帮作物科学有限公司生产。尿素($\text{N} 46\%$), 四川泸天化集团有限公司生产。45%高塔园林复合肥($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O} = 18\% + 5\% + 22\%$), 湖北来地金润肥业有限公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况

试验安排在重庆三峡农业科学院甘宁基地, $\text{N} 30^\circ 40' 11''$, $\text{E} 108^\circ 14' 41''$, 海拔322 m。前作甘薯, 沙壤土, 土壤有机质17.9 g/kg, $\text{pH} 7.6$, 全氮0.816 g/kg, 全磷0.602 g/kg, 全钾16.4 g/kg, 碱解氮47.8 mg/kg, 有效磷43.9 mg/kg, 有效钾87.7 mg/kg。

1.2.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 设7个施肥处理, 分别为: 代号 T_1 (不施肥、CK), T_2 (常规施肥: 45%高塔园林复合肥60 $\text{kg}/667\text{m}^2$ + 尿素10 $\text{kg}/667\text{m}^2$), T_3 (常规施肥减量10% + 生物炭有机肥30 $\text{kg}/667\text{m}^2$), T_4 (常规施肥减量20% + 生物炭有机肥40 $\text{kg}/667\text{m}^2$), T_5 (常规施肥减量30% + 生物炭有机肥50 $\text{kg}/667\text{m}^2$), T_6 (常规施肥减量40% + 生物炭有机肥60 $\text{kg}/667\text{m}^2$), T_7 (常规施肥减量50% + 生物炭有机肥70 $\text{kg}/667\text{m}^2$) (表1)。3次重复, 小区面积7.5 m^2 , 3行区, 每行种植15窝, 行距0.5 m, 株距0.33 m, 密度4000株/667 m^2 。

1.3 试验过程

2021年1月16日整地开厢, 1月18日挖窝播种, 2月23日出苗, 3月22日中耕除草, 3月25日追肥、培土起垄, 3月24日现蕾, 4月12日开花, 5月14日成熟, 5月18日收获, 生育期82 d。底肥播种时窝施, 追肥结合起垄施用(表1)。3月22日开始, 用30%氟吗啉33.3 g + 250 g/L吡唑醚菌酯15 g + 5%啶虫脒40 mL兑水20 kg(60 $\text{kg}/667\text{m}^2$, 下同)预防晚疫病和蚜虫, 50%锰锌·氟吗啉75 g + 30%氟吗啉33.3 g兑水20 kg预防晚疫病, 7~10 d预防一次, 两组药剂交替使用, 预防5次, 另于4月17日用10%稀效唑3000倍液喷施控制植株旺长。

1.4 调查方法

开花期(4月16日)每小区调查10株的株高、主茎数, 收获当天(5月18日)取中间行10株调查单株结薯数、单株块茎重, 分小区调查块茎产量并进行商品薯(≥ 50 g为商品薯)分级。

肥料农学效率: $AE = Y_F - Y_0/F$ 。

式中, Y_F 为施肥区产量, Y_0 为不施肥区产量, F 为有效养分施用量^[9]。

1.5 数据分析

数据处理采用WPS 2019表格进行统计, 采用新复极差法进行处理间差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对植株性状的影响

试验各处理株高在63.7~95.1 cm, 常规施肥减量20%的处理 T_4 , 株高最高, 不施肥对照处理 T_1 株

表1 试验处理肥料用量
Table 1 Dosage of different fertilizer treatments

处理 Treatment	底肥(kg/667m ²) Base fertilizer		追肥(kg/667m ²) Topdressing	养分含量(kg/667m ²) Nutrient content				肥料成本(元/667m ²) Fertilizer cost
	生物炭有机肥 Biochar organic fertilizer	复合肥 Compound fertilizer	尿素 Urea	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	合计 Total	(Yuan/667m ²)
	T ₁ (CK)	0	0	0	0	0	0	0
T ₂	0	60	10	17.8	3.0	10.8	31.6	229.0
T ₃	30	54	9	16.7	3.1	10.2	30.0	281.1
T ₄	40	48	8	15.1	3.0	9.3	27.3	283.2
T ₅	50	42	7	13.5	2.8	8.4	24.7	285.3
T ₆	60	36	6	11.9	2.6	7.4	22.0	287.4
T ₇	70	30	5	10.4	2.5	6.5	19.4	289.5

注: 生物炭有机肥单价2 500元/t; 复合肥单价3 400元/t; 尿素单价2 500元/t。

Note: Unit price of biochar organic fertilizer is 2 500 Yuan/t; unit price of compound fertilizer is 3 400 Yuan/t; unit price of urea is 2 500 Yuan/t.

高最矮, 不同施肥处理株高在90.4~95.1 cm, 其中常规施肥处理T₂株高为92.7 cm。分析表明, 除对照外, 常规施肥及生物炭有机肥部分替代处理间差异不显著, 但施肥处理株高均极显著高于不施肥对照处理, 表明生物炭有机肥替代部分化肥对马铃薯株高无影响。

主茎数以最高替代量的处理T₇最多, 为6.1个, 常规施肥的处理T₂主茎数为4.5个, 不施肥对照处理主茎数最低, 仅3.9个, 主茎数随生物炭有机肥替代用量增加而增加。分析表明, 对照T₁与处理T₂、T₃、T₄主茎数无显著差异, 处理T₇主茎数显著高于其他施肥处理, 而其他施肥处理间差异不显著(表2)。

表2 不同施肥处理植株性状
Table 2 Plant traits of potato under different fertilizer treatments

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	主茎数(No.) Main stem number
T ₂	92.7 aA	4.5 bcB
T ₃	90.4 aA	4.5 bcB
T ₄	95.1 aA	4.8 bcAB
T ₅	93.6 aA	5.1 bAB
T ₆	90.9 aA	5.1 bAB
T ₇	92.8 aA	6.1 aA
T ₁ (CK)	63.7 bB	3.9 cB

注: 不同小写字母表示0.05水平显著, 不同大写字母表示0.01水平显著。采用SSR法进行多重比较分析。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significance at level of 0.05, and different capital letters indicate significance at level of 0.01. SSR method is used for multiple comparative analysis. The same below.

2.2 不同施肥处理对马铃薯块茎产量的影响

单株结薯数以最高生物炭有机肥替代量的处理 T₇ 最多, 为 11.0 个, 常规施肥 T₂ 为 9.6 个, 对照 T₁ 处理最低, 仅 6.8 个, 单株结薯数随生物炭有机肥用量增加而增加。分析表明, 施肥处理单株结薯数均显著高于不施肥处理, 而施肥处理间差异不显著。

单株块茎重以常规施肥处理 T₂ 最高, 为 806.33 g, 处理 T₃ 次之, 为 731.33 g, 不施肥处理 T₁ 最低, 仅 451.83 g, 单株块茎重随生物炭有机肥用量的增加而降低。分析表明, 施肥处理与对照 T₁ 差异极显著, 而处理 T₂、T₃、T₄、T₅ 之间差异不显著, 处理 T₃、T₄、T₅、T₆、T₇ 之间差异也不显著。

块茎产量以处理 T₃ 最高, 为 3 290 kg/667m², 对

照处理 T₁ 最低, 为 2 122 kg/667m², 块茎产量随生物炭有机肥用量的增加而减少。分析表明, 施肥与不施肥块茎产量差异极显著, 而处理 T₂、T₃ 间差异不显著, T₂ 和 T₄ 也无显著差异, 最高炭基肥的处理 T₇ 与其他施肥处理 (T₅、T₆ 除外) 差异均达显著水平。

各处理商品薯率在 76.89%~83.43%, 处理 T₃ 最高, 对照处理 T₁ 最低。分析表明, 处理间商品薯率差异不大。

施肥处理农学效率在 25.07~38.99 kg/kg, 以处理 T₃ 的农学效率最大, 处理 T₅ 的农学效率最小, 农学效率随生物炭有机肥用量的增加而降低。分析表明, 处理 T₂、T₃、T₄ 间差异不显著, 处理 T₂、T₄、T₅、T₆、T₇ 间差异也未达显著水平 (表 3)。

表 3 不同施肥处理产量和农学效率

Table 3 Yields and agronomic efficiencies of potato under different fertilizer treatments

处理 Treatment	单株结薯数(No.) Tuber number per plant	单株块茎重(g) Tuber yield per plant	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	较CK±(%) Compared with CK	商品薯率(%) Marketable tuber percentage	农学效率(kg/kg) Agronomic efficiency
T ₃	9.4 aA	731.33 abAB	3 290 aA	55.08	83.43	38.99 aA
T ₂	9.6 aA	806.33 aA	3 122 abAB	47.16	79.69	31.67 abA
T ₄	9.5 aA	701.67 abAB	2 936 bcABC	38.38	81.83	29.80 abA
T ₅	9.6 aA	695.00 abAB	2 721 cdBC	28.24	79.78	24.29 bA
T ₆	10.1 aA	668.83 bAB	2 715 cdBC	27.99	78.14	26.97 bA
T ₇	11.0 aA	633.33 bB	2 608 dC	22.93	81.08	25.07 bA
T ₁ (CK)	6.8 bB	451.83 cC	2 122 eD	0	76.89	0 cB

2.3 不同施肥处理对效益的影响

随着肥料成本的增加, 各处理产值呈现先增加后降低的趋势, 产值以处理 T₃ 产值最高, 达 3 948.0 元/667m², 常规施肥处理 T₂ 产值居第二位, 为 3 746.4 元/667m², 对照 T₁ 最低, 为 2 546.4 元/667m²; 扣除肥料成本后, 各处理产值仍呈现先增加后降低的趋势, 仍以处理 T₃ 最高, 常规施肥处理 T₂ 居第二, 对照 T₁ 最低; 所有施肥处理扣除肥料成本后, 与对照 T₁ 相比, 处理 T₃ 产值增加最高, 为 1 120.5 元/667m², 增

幅 44.00%, 处理 T₇ 最低, 为 293.7 元/667m², 增幅 11.53%。表明生物炭有机肥替代化肥越多, 产值、产值增幅降低越多 (表 4)。

3 讨论

马铃薯生长过程中, 需要养分供应以保证地上部植株生长, 而株高、主茎数是反应植株生长状况主要指标, 本试验条件下, 常规施肥、生物炭有机肥替代部分化肥处理的株高和主茎数均较不施肥处

表4 不同施肥处理产值
Table 4 Output values of potato under different fertilizer treatments

处理 Treatment	产量 (kg/667m ²) Yield	产值 (元/667m ²) Output value (Yuan/667m ²)	肥料成本 (元/667m ²) Fertilizer cost (Yuan/667m ²)	扣除肥料成本后产值 (元/667m ²) Output value minus fertilizer cost (Yuan/667m ²)	较CK± Compared with CK (元/667m ²) %	位次 Rank
T ₃	3 290	3 948.0	281.1	3 666.9	1 120.5 44.00	1
T ₂	3 122	3 746.4	229.0	3 517.4	971.0 38.13	2
T ₄	2 936	3 523.2	283.2	3 240.0	693.6 27.24	3
T ₅	2 721	3 265.2	285.3	2 979.9	433.5 17.02	4
T ₆	2 715	3 258.0	287.4	2 970.6	424.2 16.66	5
T ₇	2 608	3 129.6	289.5	2 840.1	293.7 11.53	6
T ₁ (CK)	2 122	2 546.4	0	2 546.4	- -	7

注: 马铃薯按照当地批发均价 1.20 元/kg 计算。

Note: Potatoes are calculated based on local average wholesale price of 1.20 Yuan/kg.

理极显著或显著增加, 与武新娟等^[10]研究认为的施肥提高了马铃薯株高和主茎数相一致。生物炭有机肥具有改善土壤通透性的作用, 能促进主茎数增加, 本试验生物炭有机肥的使用显著增加了植株主茎数, 与生物炭有机肥的使用密切相关。

生物炭还可以影响土壤持水量、透水性、容重等物理性质, 这种影响作用与生物炭的特殊结构及其施用量等有关。研究表明, 在农场土壤中添加 20 g/kg 生物炭, 田间持水量增加 15%^[11]。Asai 等^[12]研究发现, 生物炭能够改善土壤饱和导水率, 土壤透水性得到提高。多数研究表明, 土壤容重随生物炭施用量的增加而降低^[11,13]。单株结薯数和单株块茎重是构成马铃薯产量的两个重要因素, 本试验生物炭有机肥替代部分化肥处理增加了单株结薯数, 与生物炭积极影响土壤环境、改善土壤的理化性质密切相关^[14]; 单株块茎重随生物炭有机肥替代量的增加而下降, 与马铃薯需肥量大, 而生物炭有机肥仅仅只能作为土壤改良剂配合化肥使用, 不能过量替代有关^[15]。商品薯率作为品种特性之一, 一般与结薯早迟、薯块生长期相关。作为衡量马铃薯块茎商品性重要指标, 在中国不同季节和产区有不同要

求, 西南混作区以 50 g 及以上薯块作为商品薯, 北方薯区以 100 g 及以上薯块作为商品薯。随着本地早熟品种的推广, 南方习惯消费的锅巴洋芋、土豆泥等甚至可以用 50 g 以下的薯块为加工原料。近年来, 以 10~50 g 薯块为珍珠薯的新消费理念也逐步被推广, 因此商品薯率已不是衡量品种商品性的唯一指标。本试验中, 施肥与否对商品薯率有一定影响, 而其他施肥处理商品薯率也无明显提高, 这与杨子芬等^[9]研究结果一致。肥料农学效率方面, 本试验常规施肥减量 10% + 替代 30 kg/667m² 的生物炭有机肥处理 T₃ 的农学效率最高, 为 38.99 kg/kg, 说明在相似水平的大田, 可以用一定的生物炭有机肥替代 10% 化肥, 对减少环境污染, 保护土壤有利。

有机肥替代是实现化肥使用量零增长的重要途径。有机肥中含有大量的有机质, 可改善土壤的理化性质, 优化根际细菌, 提高土壤的连续生产能力, 达到增产增效的作用^[15], 本试验条件下, 土壤肥力较好, 在不施肥的情况下, 块茎产量达 2 122 kg/667m², 在施复合肥(45% 高塔园林复合肥) 60 kg/667m²、尿素 10 kg/667m² 的常规施肥水平下, 产量达到 3 122 kg/667m², 在用生物炭有机肥 30 kg/

667m²替代10%化肥的处理T₃,其农学效率、商品薯率、块茎产量及扣除肥料成本后的产值均最高或最重,分别达到38.99 kg/kg、83.43%、3 290 kg/667m²、3 666.9元/667m²。

绿色发展已成为新时代中国农业发展的最强音,是缓解资源环境压力的需要,是提升农业竞争力的需要,是实现人民美好生活愿景的需要。有机肥替代化肥是深入推进农业绿色发展手段之一^[16]。因此,马铃薯生产中,在常规施肥水平上,用生物炭有机肥30 kg/667m²替代10%化肥使用,对增产增效、提高肥料利用率、改善和保持土壤质地、推进马铃薯产业绿色发展十分必要。

[参 考 文 献]

- [1] 金良,李明聪,王继平,等.重庆市马铃薯生产现状问题与对策初探[J].南方农业,2018,12(28):88-89,107.
- [2] 程月琴,徐生,陈文超.浅析江苏省炭基肥料研发和推广应用前景[J].农业与技术,2018,38(18):246-247.
- [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] 殷大伟,金梁,郭晓红,等.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[J].东北农业科学,2019,44(4):19-24,88.
- [6] 于立宏,易祎,王一博,等.生物炭有机肥料对花生生长及产量的影响研究[J].辽宁农业科学,2017(6):31-34.
- [7] 刘善良,常春丽,蒲加军,等.生物炭有机肥料在水稻上的应用效果研究[J].现代农业科技,2019(15):5-6.
- [8] 徐孟泽,梁敏,李苗苗,等.炭基肥与化肥配施对生菜产量与品质的影响[J].农学学报,2020,10(7):45-49.
- [9] 杨子芬,郭华春,杨晓利,等.大理市秋马铃薯生物有机肥替代化肥试验及效益分析[J].农业科技通讯,2020(7):146-149.
- [10] 武新娟,金光辉,唐贵,等.不同施肥类型对马铃薯生长发育及产量效益的影响[J].中国马铃薯,2020,34(3):158-162.
- [11] Laird D A, Fleming P, Davis D D, *et al.* Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil [J]. *Geoderma*, 2010, 158(3): 443-449.
- [12] Asai H, Samson B K, Stephan H M, *et al.* Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield [J]. *Field Crops Research*, 2009, 111(1): 81-84.
- [13] Oguntunde P G, Abiodun B J, Ajayi A E. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, 171(4): 591-596.
- [14] 李雅洁.有机肥替代部分化肥对马铃薯生长的影响[J].安徽农学通报,2021,27(8):87-88.
- [15] 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].安徽农学通报,2019,25(9):116-118.
- [16] 杜为研,唐杉,汪洪.我国有机肥资源及产业发展现状[J].中国土壤与肥料,2020(3):201-219.