

外源钙对食用木薯产量及其品质的影响研究

陈会鲜¹, 朱涵钰^{1#}, 李恒锐^{1*}, 何文¹, 梁振华¹, 杨海霞¹, 黎萍¹, 曹升²

(1. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西 龙州 532415;

2. 广西农业科学院经济作物研究所, 广西 南宁 530007)

摘要:以木薯 NK-10、SC12、SC9 为试料, 设置 0 kg/hm² (CK)、20 kg/hm² (T1)、40 kg/hm² (T2)、60 kg/hm² (T3) 4 个外源钙用量处理, 研究外源钙对食用木薯产量及品质的影响。结果表明: 随着外源钙施入量的增加, 食用木薯的产量、薯长、薯粗、淀粉均呈现先增大后减小的变化趋势, 块根的钙、蛋白质、粗纤维呈现逐渐增加的变化趋势, 而生理性变质 (PPD) 的产生呈现逐渐减小的趋势, 其中产量和薯粗在 T1、T2 处理下显著大于 CK, 薯长在 T1 处理下显著大于 CK, 钙、蛋白质含量在 T2、T3 处理下显著大于 CK, 淀粉含量在 T1、T2、T3 处理下显著大于 CK, T2、T3 处理下的 PPD 产生显著少于 CK; 回归分析结果显示, 当外源钙的施用量为 33 kg/hm² 时, 食用木薯的产量达到最大值。综上所述, 一定范围内的外源钙可以提高食用木薯的根长、根粗、产量、淀粉、蛋白质, 对提高木薯的耐贮藏能力也有重要作用, 最适宜的外源钙施用量为 33 kg/hm²。

关键词: 食用木薯; 外源钙; 产量; 品质

食用木薯是大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属 (*Manihot*) 植物, 俗称面包木薯, 因其富含淀粉和膳食纤维, 近年来被加工成面条、饼干、蛋糕等产品^[1], 越来越受百姓所喜爱, 具有广阔的发展前景。然而, 食用木薯在产业化生产上存在产量和附加值低两大亟须解决的难题。钙作为植物生长所必需的中量元素, 在植物生长、花芽分化、抗逆、延长贮藏等方面有着至关重要的作用^[2-5], 适量的钙素营养对作物的产量和品质产生积极的作用^[6-7]; 钙也是人体所必需的矿物质, 它对人体的生长发育和新陈代谢有着举足轻重的作用, 通过外源钙的施入来提高农产品的钙含量, 对于提高农产品的附加值具有重要的实际意义。

前人在研究外源钙对木薯生长、产量和品质的影响时发现, 外源钙对木薯的生长、产量和淀粉积累具有促进作用。曾黎明^[8]发现施用石灰对木薯

产量和淀粉产量没有显著的影响, 但在一定程度上提高了木薯的株高和茎径; 冀乙萌等^[9]发现在低温胁迫下, 20 mmol/L 外源 Ca²⁺ 使木薯的各项抗寒生理指标提高, 有利于木薯的生长; 陆小静等^[10]发现用 1.0% 的氯化钙或是 1.0% 的石灰水浸泡木薯种茎, 可显著提高木薯的产量和淀粉含量。但是, 前人的研究焦点主要集中在木薯株高、茎粗、产量、淀粉含量的影响, 而对于外源钙对食用木薯的粗纤维、钙素营养、蛋白质、耐贮藏能力等因子的影响效应的研究很少。为了更为深入地研究外源钙对食用木薯产量和品质的影响, 本试验采用当前广西主推的 3 个食用木薯品种为试材, 分析不同食用木薯品种在不同外源钙施用量下的产量及产量构成因子、钙素含量、营养成分、耐贮藏力的综合变化, 探究外源钙对食用木薯的作用效应, 并确定一个最佳的钙肥施用量, 以期为食用木薯高产高质栽培提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2018 ~ 2019 年在广西南亚热带农业科学研究所的基地进行。试验基地位于广西壮族自治区崇左市龙州县境内, 地处北回归线以南, 22° 20' 26" N, 106° 47' 39" E, 海拔 330 m, 属南亚热带季风气候, 年平均气温 22.6 °C, 极端最高气

收稿日期: 2021-03-19; 录用日期: 2021-08-27

基金项目: 国家现代农业产业技术体系广西创新团队建设专项 (nycytxgxttd-11-07); 广西区公益性专项基金 (GXNYRKS2018 09); 崇左市科技计划 (崇科攻 2019030)。

作者简介: 陈会鲜 (1986-), 农艺师, 硕士, 研究方向为作物栽培及遗传育种。E-mail: 798555436@qq.com。共同第一作者: 朱涵钰 (1994-), 助理农艺师, 学士, 研究方向为经济作物杂交选育种。E-mail: 1134452806@qq.com。

通讯作者: 李恒锐, E-mail: lihengrui88@163.com。

温 40.9 ℃, 极端最低气温 2.0 ℃, 最热月平均气温 27.5 ℃, 最冷月平均气温 19.9 ℃, 平均年降水量 1392.7 mm, 年平均相对湿度 86%, 平均年蒸发量 1113.9 mm, 无霜期 350 d 以上。土壤类型为砂壤土, 土壤有机质 29.6 g/kg, 碱解氮 63.2 mg/kg, 有效磷 80 mg/kg, 速效钾 210 mg/kg, pH 7.23, 可溶性钙含量 273.25 μg/g。

供试材料为木薯 NK-10、SC12、SC9, 均由广西农业科学院经济作物研究所提供。于 3 月 25 日种植, 当年 12 月收获, 采用一垄双行, 种植规格为 100 cm × 80 cm。试验设 4 个处理, 施用的钙肥为氯化钙, 施肥量换算成钙含量施入, 钙含量分别是 0、20、40、60 kg/hm², 分别记做 CK、T1、T2、T3。本试验采取裂区设计, 整区处理为 3 个品种, 裂区处理为 4 个外源钙处理, 设 3 个重复区组, 每个试验小区面积 24 m²。外源钙分别在块茎形成期和块茎膨大期配合第一、第二次追肥施入, 每次施用量为总量的一半, 施用方法为将氯化钙溶液施入植株根部土壤。除外源钙的施用方法不一样外, 其他的栽培措施均按韦本辉^[11]的木薯常规栽培技术种植。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 产量及其产量构成的测定

在木薯的收获期调查 6 株正常生长植株的薯长、薯粗、薯数。薯长用直尺测定, 从薯柄与薯块的连接处开始测定, 直至块根尾部; 薯粗用游标卡尺测定, 测定薯块上中下 3 个部位的直径, 取 3 个直径的平均值作为薯粗。每个小区连续取 8 株正常

生长的植株, 称量每株植株块根的鲜重, 然后按每公顷 1.2 万株换算成公顷产量。

1.2.2 营养成分的测定

淀粉含量测定采用 GB 5009.9-2016 第二法, 酸水解法; 蛋白质含量测定采用 GB 5009.5-2016 第一法, 凯氏定氮法; 粗纤维素含量测定采用 GB/T 5009.10-2003, 植物类食品中粗纤维的测定方法; 钙含量测定采用火焰分光光度法。

1.2.3 食用木薯耐贮藏力测定

采用国际热带作物研究中心 (The International Center for Tropical Agriculture, CIAT) 建立的目测法^[12]测定采后生理性变质 (PPD)。

1.3 试验数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 和 Excel 2016 进行裂区试验的方差分析和作图。

2 结果与分析

2.1 外源钙对食用木薯产量及产量构成因子的影响

不同外源钙处理下食用木薯产量及其产量构成因素的变化如表 1 所示, 产量、薯长、薯粗均呈先增大后减小的变化趋势, 薯数呈逐渐增大的变化趋势, 其中产量和薯粗在 T1 和 T2 处理下显著大于 CK, 薯长在 T1 处理下显著大于 CK, 薯数在各处理下的变化不显著。以上结果表明: 外源钙在一定范围内可以提高食用木薯的薯长和薯粗, 从而增加木薯的产量, 但超出一定范围就会对食用木薯产量及块根的生长产生消极的影响。

表 1 不同外源钙处理下食用木薯的产量及其构成因素的变化

处理	产量 (kg/hm ²)	薯长 (cm)	薯粗 (mm)	薯数 (条)
CK	24098 ± 1077c	31.73 ± 1.63b	45.72 ± 1.27b	8.00 ± 0.52a
T1	27659 ± 1137ab	38.50 ± 1.57a	51.09 ± 0.53a	9.00 ± 0.43a
T2	29810 ± 972a	33.36 ± 0.94b	52.14 ± 0.76a	9.00 ± 0.78a
T3	25468 ± 1106bc	32.14 ± 2.31b	46.96 ± 1.25b	9.00 ± 0.56a

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上各处理差异显著。下同。

2.2 外源钙对食用木薯块根钙素营养的影响

从图 1 可知, 随着外源钙施用量的不断增加, 食用木薯块根的钙含量呈逐渐升高的趋势, 且 T1、T2、T3 处理的块根钙含量均大于 CK, 其中 T2 和 T3 处理下食用木薯块根的钙素含量均显著高于 CK。这说明食用木薯施用外源钙后, 块根的钙素含量提高了。

2.3 外源钙对食用木薯块根淀粉含量的影响

淀粉是食用木薯的主要营养物质, 它的含量大小对食用木薯的品质评价具有举足轻重的作用。从图 2 可知, 随着外源钙使用量的增加, 各外源钙处理下的淀粉积累量呈现先增大后减小的变化趋势, 但各外源钙处理下的块根淀粉含量均显著高于 CK。这表明外源钙的施用有利于食用木薯淀粉的积累。

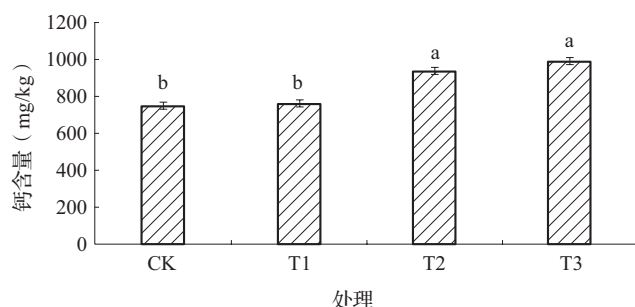


图1 不同外源钙处理下食用木薯块根钙素含量的变化

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上各处理差异显著。下同。

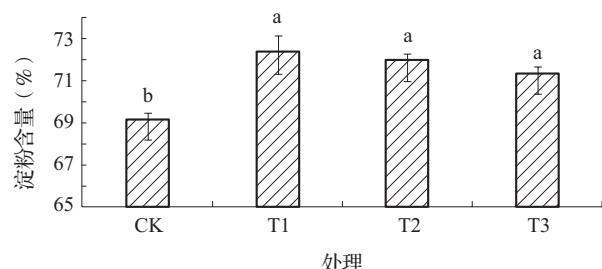


图2 不同外源钙处理下食用木薯块根淀粉含量的变化

2.4 外源钙对食用木薯块根蛋白质含量的影响

食用木薯的蛋白质含量较低, 这是制约其营养价值的主要因素。从图 3 可知, 随着外源钙施用量的增加, 食用木薯块根的蛋白质含量逐渐增加, 其中在 T2 和 T3 处理下显著高于 CK, 这说明外源钙可促进食用木薯蛋白质的积累。

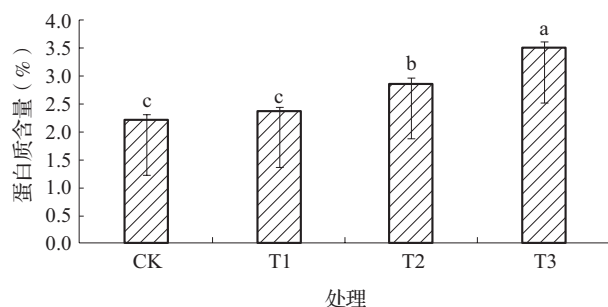


图3 不同外源钙处理下食用木薯块根蛋白质含量的变化

2.5 外源钙对食用木薯块根粗纤维含量的影响

从图 4 可知, 食用木薯块根的粗纤维含量随着施钙量的增加而增加, 但是增加的幅度很小, T1、T2、T3 处理与 CK 的差异不显著。这说明外源钙可以增加食用木薯块根的粗纤维含量, 但作用效果很小。

2.6 外源钙对食用木薯块根贮藏能力的影响

木薯采后容易产生生理性变质 (PPD), 影响木薯的贮藏能力。本研究采用 CIAT 建立的目测法

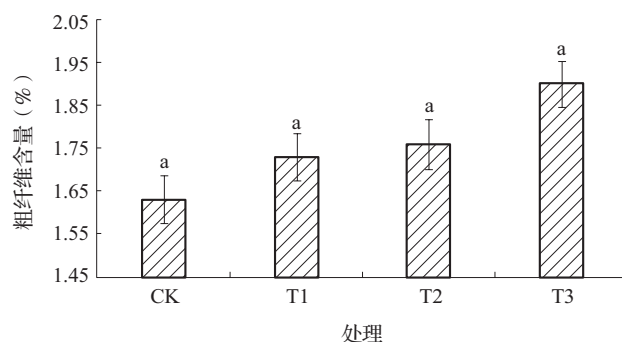


图4 不同外源钙处理下食用木薯块根粗纤维含量的变化

测定 PPD, 以薯块产生 PPD 所占的面积计量。把食用木薯采收回来放置阴凉干燥处 20 d, 观察 PPD 的发生情况。如图 5 所示, 随着外源钙施用量的增加, 食用木薯块根产生 PPD 的面积占比呈逐渐下降的趋势, 且 T1、T2、T3 产生 PPD 均显著小于 CK, 这说明施用外源钙可抑制食用木薯品种 PPD 的产生。

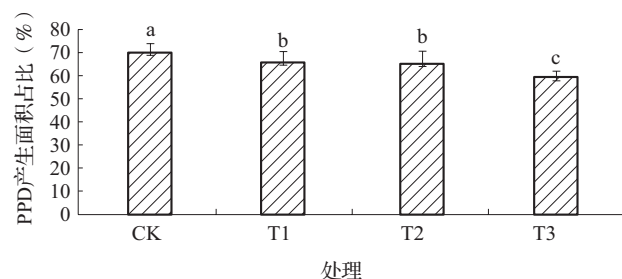


图5 不同外源钙处理下食用木薯 PPD 的产生情况

2.7 食用木薯最佳外源钙施用量的确定

为了找到一个具有普遍指导意义的外源钙使用量, 以产量作为研究对象, 利用 SPSS 17.0 对不同外源钙处理下食用木薯的产量进行回归分析。通过观察发现, 食用木薯的产量呈先增大后减小的变化趋势, 这说明外源钙的施用量与食用木薯产量之间的关系呈曲线相关。通过曲线回归分析 (表 2), 发现外源钙的施用量与食用木薯产量之间的关系呈现二次项关系, 建立的回归方程的 Sig 都小于 0.01, R^2 也比较接近 1, 这说明食用木薯产量与外源钙施用量之间的回归关系极显著, 且回归方程能很好地描述外源钙施用量与产量之间的相关关系。拟以回归方程作为施钙效应函数, 通过计算发现在外源钙

表2 不同外源钙处理下产量的回归分析

回归方程	Sig	R^2
$Y=23844.39+327.66X-4.94X^2$	0.000	0.932

的施用量为 33 kg/hm² 时产量最大, 是最适宜的外源钙施用量。

3 讨论

3.1 外源钙可提高食用木薯的产量

本试验结果表明, 适量的施入外源钙可以提高食用木薯的产量, 并对块根的增长和增粗具有促进作用, 但对薯数的作用不大。陆小静等^[10]发现用 1.0% 的氯化钙或是 1.0% 的石灰水浸泡木薯种茎, 可显著提高木薯的产量; 袁伟玲等^[13]发现通过叶面喷施外源钙, 白菜的生物量增加了, 进而提高了产量; Ozgen 等^[14]研究结果表明, 给马铃薯补充钙素养分, 可以提高块茎的数量和大小, 提高产量; Escalante 等^[15]发现马铃薯施用糖醇钙肥后单株结薯数、单薯重量、单株产量均有不同程度的增加。刘运平^[16]研究在盆栽条件下氯化钙对不同甘薯品种的薯数、单薯重、产量的影响, 发现不同品种的单薯重和产量均呈先升后降的趋势, 但不同甘薯品种的薯数变化趋势不同。通过对比前人的研究结果发现, 外源钙对产量和块根有伸长、增粗的促进作用, 在很多作物上都得到了验证, 但外源钙对薯数的作用却难以统一, 这说明外源钙促进薯数增加的作用效应可能会因品种而异。

3.2 外源钙可改善食用木薯的品质

通过施入适量的外源钙, 食用木薯块根的钙素养养、蛋白质、淀粉含量有所增加, 这一结论与其他研究在马铃薯^[17]、菠菜^[18]、窝笋^[19]上得出的结论一致。这是因为给作物补充外源钙后, 土壤中的 Ca²⁺ 浓度上升, 更有利于植物吸收钙元素; 而且钙能提高作物的光合作用、提高磷酸蔗糖合成酶 (SPS) 的活性, 降低转化酶活性^[16], 激发植株磷酸戊糖途径和三羧酸循环^[20], 促进碳水化合物和氨基酸的合成与分配, 为淀粉和蛋白质的积累奠定了物质基础, 因此, 适量施入外源钙能提高作物的蛋白质和淀粉含量。

3.3 外源钙可抑制食用木薯 PPD 的形成

采后生理性变质是食用木薯采后不耐贮藏的主要原因。目前, 已经明确了木薯采后生理性变质产生的重要途径是活性氧 (ROS), 而超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD) 是清除 ROS 的相关酶, 提高其酶活性更有利于抑制 PPD 的产生^[21]。冀乙萌等^[9]研究发现在干旱胁迫下, 外源钙可以提高木薯的 SOD 和 POD

活性; 李贺^[22]发现给大蒜施钙可以提高其体内的抗氧化酶活性; 王芳等^[23]在研究钙对花生幼苗生长的影响时发现, 钙可以提高花生叶片中 SOD、CAT 的活性, 从而抑制了 ROS 的积累。可见, 外源钙可以提高作物的抗氧化性, 这可能是外源钙抑制食用木薯产生 PPD 的重要原因。

3.4 食用木薯施用外源钙的最佳施用量

外源钙的施用量并不是越多越好。通过回归分析发现, 外源钙的施用量与食用木薯产量的关系呈现二次项关系, 最佳外源钙施用量为 33 kg/hm², 超过这个施用量, 产量会降低。这可能是因为过量的钙施入会对植物产生毒害作用, 不利于作物的生长^[24-26]。前人在研究作物最适施肥量时得到的数值往往不同^[27-29], 这可能是因为不同作物的生长特性不一样, 从而导致对钙的耐受能力不一样, 因此, 每种作物对外源钙吸收利用均存在一个特定的阈值, 确定这个特定阈值对其生产具有指导意义。

4 结论

通过开展外源钙对食用木薯产量和品质的影响研究, 得出结论: 一定范围内的外源钙可以提高食用木薯的根长、根粗、产量、淀粉、蛋白质, 对提高木薯的耐贮藏能力也有重要作用, 但是对薯数和粗纤维的影响较小; 食用木薯的外源钙施用量在 33 kg/hm² 左右为宜。

参考文献:

- [1] 张雅媛, 严华兵. 美味木薯 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.
- [2] Ferguson I B. Calcium in plant senescence and fruit ripening [J]. Plant Cell and Environment, 1984, 7 (6): 477-489.
- [3] 邹邦基, 何雪晖. 植物的营养 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1985.
- [4] 孙静, 金光辉, 刘喜才. 不同药剂及施用方式对马铃薯疮痂病的防效 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29 (2): 107-111.
- [5] 毕阳, 刘红霞. 钙对果蔬采后腐烂的控制及作用 [J]. 甘肃农业大学学报, 2000 (1): 1-5.
- [6] 陈秀文, 陈吉宝, 蔡德宝, 等. 钙肥不同用量对巨峰葡萄产量及品质的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2019, 21 (8): 140-146.
- [7] 陈黎明. 氯化钙喷施对番茄产量和品质影响的研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2007.
- [8] 曾黎明. 生物有机肥与石灰对土壤肥力和木薯产量及品质的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [9] 冀乙萌, 惠杜娟, 李瑞梅, 等. 钙对低温胁迫下木薯抗寒相关生理指标的影响 [J]. 热带作物学报, 2012, 33 (5):

- 894–898.
- [10] 陆小静, 刘子凡, 柳红娟, 等. 含钙药剂浸种对木薯产量和品质的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2014, 40 (4): 349–352.
- [11] 韦本辉. 中国木薯栽培技术与产业发展 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [12] 马秋香, 许佳, 乔爱民, 等. 木薯贮藏根采后生理性变质研究进展 [J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17 (3): 309–314.
- [13] 袁伟玲, 陈磊夫, 刘志雄, 等. 外源钙对小白菜酶活性、钙含量及其产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (6): 254–261.
- [14] Ozgen S, Palta J P. Supplemental calcium application influences potato tuber number and size [J]. HortScience, 2005, 40 (1): 102–105.
- [15] Escalante B Z, Langille A R. Photoperiod, temperature, gibberellin, and an anti-gibberellin affect tuberization of potato stem segments in vitro [J]. HortScience, 1998, 33 (4): 701–703.
- [16] 刘运平. 氯化钾钙镁对甘薯产量与品质的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [17] 高静. 钙肥对马铃薯生长生理、产量及品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [18] Kreimer G, Melkonian M, Latzko J A M H. Characterization of calcium fluxes across the envelope of intact spinach chloroplasts [J]. Planta, 1985, 166 (4): 515–523.
- [19] Meagy M J, Eaton T E, Barker A V. Nutrient density in lettuce cultivars grown with organic or conventional fertilization with elevated calcium concentrations [J]. HortScience, 2013, 48 (12): 1502–1507.
- [20] Hepler P K, Wayne R. Calcium and plant development [J]. Annual Review of Plant Biology, 1985, 36 (1): 397–439.
- [21] Kim R, Rocío Gómez-Vázquez, Holger B, et al. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration [J]. Plant Molecular Biology, 2003, 53 (5): 669–685.
- [22] 李贺. 钙对大蒜生理特性、产量与品质及缓解镉胁迫的影响效应 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [23] 王芳, 杨莎, 郭峰, 等. 钙对花生幼苗生长、活性氧积累和光抑制程度的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (5): 1496–1504.
- [24] 辛建华. 钙素对马铃薯生长发育、光合作用及物质代谢影响的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
- [25] 刘梦龙, 张鲁刚, 丁海燕. 钙胁迫对大白菜幼苗生长的影响 [J]. 西北农业学报, 2014, 23 (8): 128–134.
- [26] 韩志平, 张海霞, 李侠, 等. 硝酸钙胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 [J]. 北方园艺, 2019 (1): 22–29.
- [27] 何鑫, 张存政, 刘贤金, 等. 外源硝酸钙对水培生菜生长及矿质元素吸收的影响 [J]. 核农学报, 2016, 30 (12): 2460–2466.
- [28] 李香君, 张广岐, 李慧, 等. 外源钙对沙地樟子松幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 土壤通报, 2021, 52 (5): 1095–1103.
- [29] 任城帅, 李慧, 翁小航, 等. 外源钙对水曲柳生长、光合特性及水分利用效率的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51 (6): 663–669.

Effects of exogenous calcium on the yield and quality of edible cassava

CHEN Hui-xian¹, ZHU Han-yu^{1#}, LI Heng-rui^{1*}, HE Wen¹, LIANG Zhen-hua¹, YANG Hai-xia¹, LI Ping¹, CAO Sheng²
(1. Guangxi South Subtropical Agricultural Sciences Research Institute, Longzhou Guangxi 532415; 2. Institute of Cash Crops, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning Guangxi 530007)

Abstract: In this study, NK-10, SC12 and SC9 were used as test materials, and 4 exogenous calcium treatments [0 kg/hm² (CK), 20 kg/hm² (T1), 40 kg/hm² (T2) and 60 kg/hm² (T3)] were set up to study the effects of exogenous calcium on the yield and quality of edible cassava. The results showed that with the increase of exogenous calcium application amount, the yield, potato length, potato thickness and starch of edible cassava increased first and then decreased, the calcium, protein and crude fiber of root tuber increased gradually, while the production of physiologically deteriorated (PPD) production decreased gradually. The yield and potato diameter under T1 and T2 treatments, potato length under T1 treatment, calcium and protein contents under T2 and T3 treatments, starch content under T1, T2 and T3 treatments were significantly higher than the CK, while the PPD production under T2 and T3 treatments was significantly less than the CK. The results of regression analysis showed that when the application amount of exogenous calcium was 33 kg/hm², the yield of edible cassava reached the maximum. It can be concluded that exogenous calcium in a certain range can improve the root length, root diameter, yield, starch and protein of edible cassava, and it also plays an important role in improving the storage capacity of cassava. The optimal application amount of exogenous calcium is 33 kg/hm².

Key words: edible cassava; exogenous calcium; yield; quality