

不同淀粉型木薯品种采后块根变质生理特性的比较

樊吴静^{1,2} 罗兴录^{2,3*} 翟瑞宁² 覃徐建²

(1. 广西农业科学院 经济作物研究所, 南宁 530007;

2. 广西大学 农学院, 南宁 530005;

3. 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530004)

摘要 为探明不同淀粉型木薯品种采后块根变质的生理特性,以淀粉含量较高的木薯品种‘辐选 01’(RS01)和淀粉含量较低的木薯品种‘华南 124’(SC124)为试材,测定采后贮藏 0、5、10、15 和 20 d 的块根生理指标。结果表明:随着贮藏时间的延长,块根褐化程度逐渐加深,干物质含量和 CAT 酶活性变化趋势为先下降后上升,淀粉含量为先上升后下降,MDA 含量和 SOD 酶活性为先上升后下降再上升,POD 酶活性则表现为持续上升趋势。RS01 贮藏过程中块根褐化程度较严重,贮藏第 5 天褐化面积达 30%,而 SC124 贮藏第 20 天才开始出现褐化。淀粉含量较高的木薯品种块根干物质含量较高且变化大,失水速率较快,MDA 含量较高,SOD、POD 和 CAT 酶活性均较高。可见,块根采后抗变质能力与淀粉含量有密切关系,淀粉含量越高的木薯品种采后块根越容易发生变质。

关键词 木薯; 块根; 淀粉含量; 采后变质; 生理特性

中图分类号 S533

文章编号 1007-4333(2019)03-0039-06

文献标志码 A

Comparison on the physiological characteristics of tuberous roots of cassava varieties with different starch content during post-harvest deterioration

FAN Wujing^{1,2}, LUO Xinglu^{2,3*}, ZHAI Ruining², QIN Xujian²

(1. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science, Nanning 530007, China;

2. Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China;

3. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-Bioresources, Nanning 530004, China)

Abstract The aim of this study was to investigate the physiological characteristics of post-harvest deterioration in cassava tuberous roots with different starch content. The physiological indexes of tuberous roots of different cassava varieties with higher starch content (RS01) and lower starch content (SC124) were measured at 0, 5, 10, 15 and 20 days post harvest. The results showed that: With the storage duration, the browning degree of tuberous roots was gradually deepened, dry matter content and CAT enzymatic activities were firstly decreased and then increased, starch content was firstly increased and then decreased. Meanwhile, MDA content and SOD enzymatic activities were firstly increased and then decreased, lastly increased, and the POD enzymatic activities was continue increased. RS01's browning degree was more serious, it reached 30% in 5 d post harvest, and browning was discovered on SC124 20 d postharvest. In the roots of cassava varieties with higher starch, its dry matter content was richer and more changeable, water was lost faster, MDA content was richer. The SOD, POD and CAT enzymatic activities all were stronger during the

收稿日期: 2018-03-26

基金项目: 国家“973”计划课题(2010CB126601); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科重 14121005-2-1); 广西农业科学院科技发展基金(桂农科 2018JZ32)

第一作者: 樊吴静, 博士研究生, E-mail: fanwujing@163.com

通讯作者: 罗兴录, 教授, 主要从事木薯育种与栽培生理研究, E-mail: luoxinglu@sina.com

storage process. In conclusion, there were significantly correlation of storability with starch content that the storability of cassava varieties with low starch is stronger than those with high starch.

Keywords cassava; tuberous roots; starch content; post-harvest deterioration; physiological characteristics

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz), 又名树薯, 是大戟科木薯属唯一的栽培种, 誉有“淀粉之王”、“地下粮仓”、“生物质能源佼佼者”之美称^[1]。木薯的利用主要是加工鲜薯为主, 即采收后的木薯块根直接食用或进厂加工成淀粉或酒精。然而, 绝大多数木薯品种采收后 3~5 d 块根周围就会开始出现褐变, 这种现象被称为木薯特有的“采后生理性变质” (Post-harvest physiological deterioration, PPD), 它极大地限制了木薯的加工利用, 给农民及加工企业带来了重大的经济损失^[2]。据不完全统计, 全球每年因采后变质损失的木薯可达总产量的 10%~30%, 直接经济损失超过 2 亿元^[3]。因此, 研究木薯耐贮藏特性具有重要的意义。

有研究表明, 木薯采后生长停止, 但生理活动仍然继续, 水分代谢、能量代谢和呼吸代谢等一系列复杂的生理生化反应导致木薯发生变质^[4]。也有研究指出, 木薯采后发生变质是由于活性氧自由基的作用, 其使细胞质膜受损加速而导致的^[5]。巩慧玲等^[6]研究得出, 马铃薯贮藏期间淀粉含量有不同程度的下降。Van Oirschot 等^[7-8]发现薯类采后还原糖、淀粉、蛋白质和维生素 C 等的比例与块根变质显著相关。Judith 等^[9]研究表明, 木薯采后变质是一个涉及蛋白质代谢的生理生化过程。姚庆群等^[10]研究得出, 木薯采后变质与块根淀粉特性有密切关系。木薯是淀粉作物, 提高淀粉含量一直是木薯育种栽培的一个重要研究目标。

目前关于木薯块根淀粉含量高低与抗变质能力的关系研究鲜见报道, 本研究以遗传物质基础相近的高低淀粉木薯品种为材料, 比较研究其贮藏期间块根的生理指标变化情况, 探明块根变质的生理特性, 以期为高淀粉、耐贮藏木薯品种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为 2 个遗传物质基础相近的木薯品种: 淀粉含量较高品种‘辐选 01’(RS01)和淀粉含量较低品种‘华南 124’(SC124)。

1.2 试验设计

木薯于 2015 年 3 月 15 日在广西武鸣县里建经济开发区武帽农场种植, 每品种 3 次重复, 随机区组排列, 各小区栽培管理条件一致。于 2015 年 12 月 20 日(块根工艺成熟期), 每个小区挑选薯形均匀完整且无病虫害的木薯块根, 贮藏于自然条件下通风良好和阴凉的室内。期间昼夜气温为 13~18 ℃, 空气湿度 70%~90%。

分别在贮藏期的 0、5、10、15 和 20 d, 切片观察各品种块根褐化情况, 同时取样进行生理指标测定, 其中一部分样品立即用液氮速冻后置于 -80 ℃超低温冰箱保存, 另一部分先 105 ℃, 20 min 杀青, 70 ℃烘干至恒重, 计算含水率, 然后粉碎, 过 100 目筛子。

1.3 测定方法

变质程度检测采用国际热带作物研究中心建立的目测法, 即根据块根褐化程度(块根褐化面积占总切面面积百分比)来进行检测评估; 干物质含量测定采用烘干法^[11]; 淀粉含量的测定采用蒽酮比色法^[12]; 丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法^[13]; 超氧化物歧化酶活性(SOD)采用氮蓝四唑光化还原法测定^[14]; 过氧化物酶活性(POD)、过氧化氢酶活性(CAT)采用愈创木酚法测定^[14]。

1.4 数据处理方法

用 Excel 2003 进行数据整理及制图, SPSS 18.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根褐化面积的变化

变质程度检测是在恒温、恒湿条件下, 对木薯块根进行切块观察, 以褐化面积百分比作为检测标准。图 1 中可见, 淀粉含量不同木薯品种块根贮藏期间的褐化程度差异明显。随着贮藏时间的延长, 淀粉含量较高木薯品种 RS01 块根褐化面积逐渐增加, 在贮藏第 5 天褐化面积达到 30%, 第 10 天整个块根基本全部褐化, 之后并开始腐烂, 表明其采后块根容易发生褐化; 而淀粉含量较低的木薯品种 SC124 在贮藏 20 d 才开始有一点褐化, 可见其采后块根褐化抗性较强。

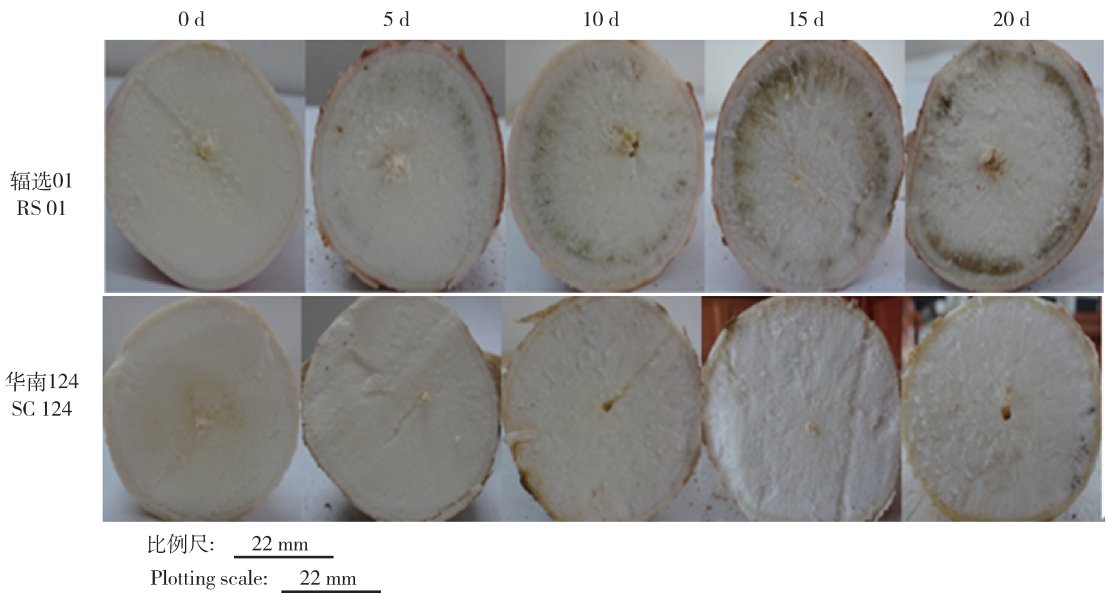


图 1 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的褐化面积

Fig. 1 Browning areas of cassava tuberous roots in different periods of storage

2.2 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根干物质含量的变化

图 2 可见,淀粉含量不同木薯品种贮藏期间块根干物质含量存在明显差异。块根采收后 0~5 d 干物质含量迅速减小,5 d 后又缓慢增加,其中 RS01 增加的幅度较大,SC124 增加幅度较小。采收后 0~5 d 干物质含量迅速减小,可能是贮藏前期块根呼吸强度较大,消耗干物质较多,失水速率较快的原因。淀粉含量较高木薯品种 RS01 在整个贮藏期间干物质含量均显著大于淀粉含量较低品种 SC124,RS01 干物质含量最高为 39.51%,SC124 最高为 32.59%,相差 6.92%。

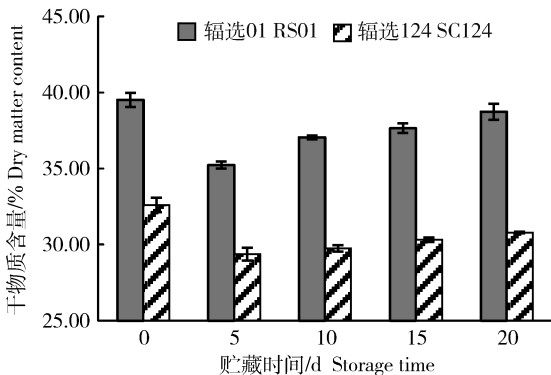


图 2 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的干物质含量
Fig. 2 Dry matter content of cassava tuberous roots in different periods of storage

2.3 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根淀粉含量的变化

图 3 可见,随着贮藏时间的延长,木薯块根淀粉含量表现为先上升后下降的趋势,淀粉含量不同品种均在贮藏第 5 天达到最大值,第 5 天后 RS01 块根淀粉含量迅速下降,SC124 下降幅度较小。贮藏前期,2 个品种块根淀粉含量相差较大,后期则相差较小。整个贮藏期间,淀粉含量较高木薯品种 RS01 块根淀粉含量变化幅度较大,为 36.26%~26.72%,淀粉含量较低木薯品种 SC124 变化幅度较小,为 24.62%~29.28%。经相关性分析,得到块根褐化程度与淀粉含量呈极显著正相关关系 ($R=0.712$),即淀粉含量越高,块根越容易发生褐化。

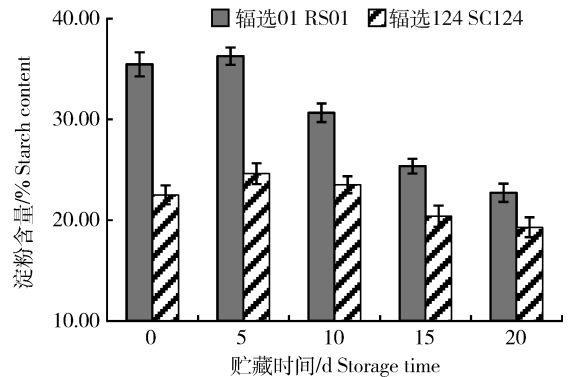


图 3 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的淀粉含量
Fig. 3 Starch content of cassava tuberous roots in different periods of storage

2.4 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根丙二醛含量的变化

在逆境伤害过程中,细胞膜会发生膜质过氧化而产生丙二醛,丙二醛含量的高低可说明植物细胞膜受损程度^[25]。图4中,随着贮藏时间的延长,块根MDA含量变化趋势表现为先迅速上升后下降,然后又逐渐上升。木薯刚采收时,RS01和SC124的块根MDA含量相差不大,分别为5.15和4.70 nmol/g;贮藏第5天相差最大,分别为7.53和5.56 nmol/g。整个贮藏期间,RS01的MDA含量均高于SC124,可见在贮藏过程中,淀粉含量高的木薯品种细胞膜受损较严重。

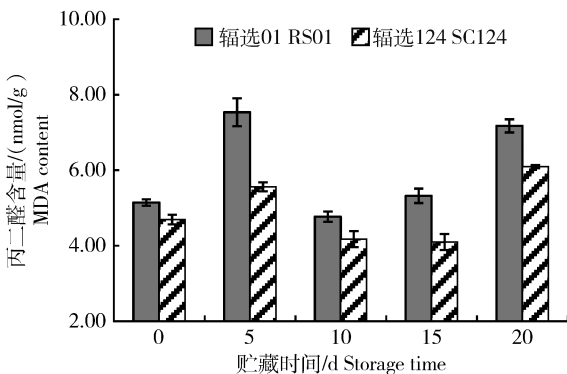


图4 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的丙二醛含量
Fig. 4 MDA content of cassava tuberous roots in different periods of storage

2.5 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根SOD酶活性的变化

SOD是一种重要的抗氧化酶,在逆境中可消除活性氧对细胞膜的伤害,对细胞起保护作用。淀粉含量不同木薯品种贮藏期间块根SOD酶活性存在明显差异(图5)。随着贮藏时间的延长,2个品种SOD酶活性变化趋势相似,均表现为采收后酶活性先上升,第5天后又下降,第10天后又逐渐上升。淀粉含量较高木薯品种RS01在整个贮藏期间的SOD酶活性均大于淀粉含量较低的品种SC124。

2.6 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根POD酶活性的变化

POD也是植物细胞的重要保护酶之一,其主要作用是清除 H_2O_2 。图6可见,刚采收的木薯块根POD酶活性相差不大,随着贮藏时间的延长,POD酶活性逐渐上升,到第20天达到最大值。RS01上升的幅度较大,SC124上升的幅度较小。整个贮藏期间,RS01的POD酶活性均大于SC124。

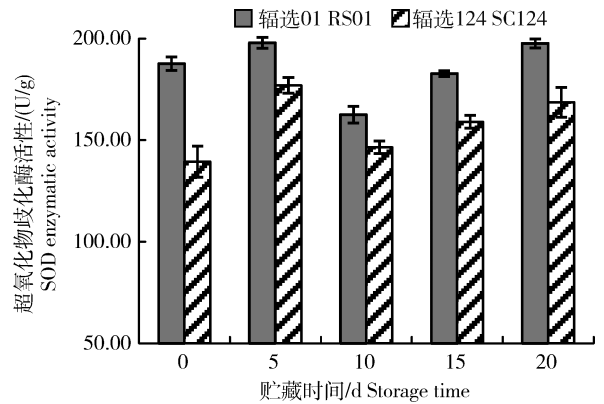


图5 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的SOD酶活性
Fig. 5 SOD enzymatic activity of cassava tuberous roots in different periods of storage

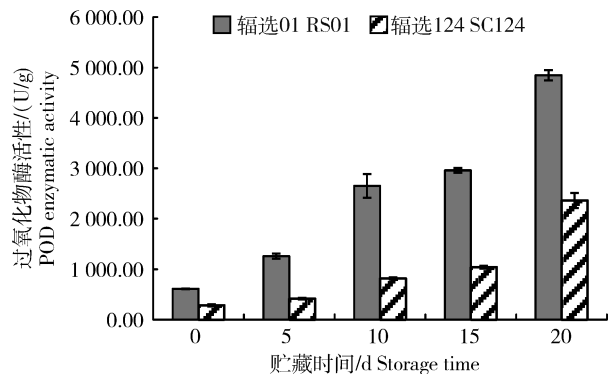


图6 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的POD酶活性
Fig. 6 POD enzymatic activity of cassava tuberous roots in different periods of storage

2.7 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根CAT酶活性的变化

CAT和SOD、POD一样,也是活性氧物质的清除剂。由图7可见,随着贮藏时间的延长,木薯块根

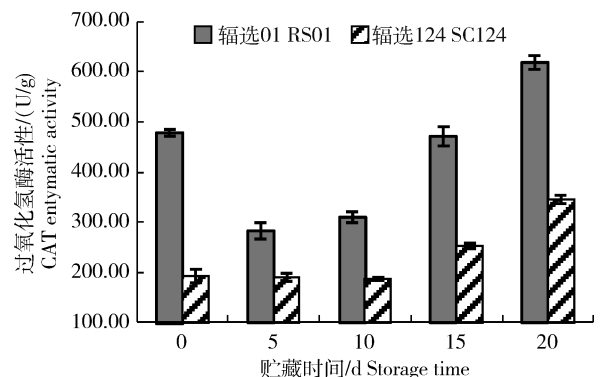


图7 不同淀粉型木薯品种贮藏期间块根的CAT酶活性
Fig. 7 CAT enzymatic activity of cassava tuberous roots in different periods of storage

CAT酶活性变化趋势呈先下降后上升的趋势。SC124贮藏期间块根CAT酶活性的变化幅度较小,从第0~10天几乎没有变化,第10天后才逐渐上升;RS01变化幅度较大,第0~5天迅速下降,第10天后迅速上升。整个贮藏期间,RS01的CAT酶活性均显著大于SC124。

3 讨论

木薯块根变质分为初级变质和次级变质,初级变质是一个内在的生理变化过程,次级变质则主要是由于微生物入侵导致^[15]。有研究报道,木薯采后贮藏期间块根发生褐变是由于酚类等物质氧化引起的,木薯块根的初级变质与过氧化物酶介导的酚类化合物氧化有关,出现呼吸增强、活性氧自由基增多,过氧化物酶活性增高和酚类等次级代谢物积累^[16]。本研究得出,随着贮藏时间的延长,褐化程度逐渐加深,RS01采后第5天褐化面积达30%,而SC124采后第20天才开始出现褐化。研究还得出,块根淀粉含量与变质抗性呈极显著负相关关系,可见淀粉含量越高,块根可能越容易发生变质。

木薯块根贮藏期间第0~5天干物质含量迅速降低,淀粉含量有所增加,可能是木薯块根刚采收,由于环境突然改变,要维持自身的生命活动而发生应激反应,导致呼吸加强,失水严重,干物质消耗快。前期可能淀粉的转化速率较慢,再加上含水率减少,导致淀粉含量有所增加,第5天后由于淀粉酶的分解作用,淀粉转化速率加快,淀粉含量逐渐减少。简纯平等^[17]研究得出,木薯块根采后3~5d以水分消耗为主,7~9d淀粉消耗速率比水分消耗快。

果实采后由于失水、机械损伤和微生物入侵等逆境胁迫导致细胞膜结构破坏,为酚类物质酶促褐变创造了条件,引起组织发生褐变^[18]。丙二醛是细胞膜发生过氧化的产物,其含量高低可作为细胞膜损伤程度的参数。南海风等^[19]研究发现,随着贮藏时间的延长,果实丙二醛含量也随之增加,变质逐渐加重。还有研究表明,植物在逆境条件下丙二醛会积累增加,且不同品种增幅有差异,增幅越大的品种对逆境的忍耐力越弱^[20]。本研究得出,整个贮藏期间,淀粉含量较高的木薯品种块根MDA含量均较大,且变幅也大,说明淀粉高的木薯品种贮藏过程中变质抗性较弱,细胞膜受损程度比淀粉含量低的木薯品种严重。

SOD、POD和CAT是植物体内清除活性氧自

由基的重要酶促防御系统,在逆境中可降低膜质过氧化水平,减轻细胞膜伤害程度。赖建勋^[21]研究得出,荔枝采后果皮抗氧化系统重要酶的活性会增高以保护细胞膜。单忠英等^[22]对木薯干早胁迫研究表明,随着胁迫程度加深,木薯叶片SOD、POD和CAT酶活性逐渐增强。本研究表明,SOD、POD和CAT酶活性与块根淀粉含量有密切关系,淀粉较高的木薯品种块根贮藏期间比较容易受侵害而发生变质,其SOD、POD和CAT酶活性显著高于变质抗性强的淀粉较低的品种。

淀粉含量较高的木薯品种贮藏过程中较容易发生变质,干物质含量较高且变化大,失水速率较快,丙二醛含量较高,SOD、POD和CAT酶活性均较高。原因可能是淀粉含量高的品种失水较严重,引起木薯块根活性氧快速积累, H_2O_2 浓度增加,导致细胞膜脂过氧化作用增强,细胞膜结构的完整性破坏程度加深,为酚类物质的酶促褐变创造条件,加速褐变发生,因此需保持较高的SOD、POD和CAT活性,以减少活性氧的积累,减轻膜脂过氧化作用,保持细胞膜结构的完整性。

参考文献 References

- [1] 梁海波,黄洁,安飞飞,魏云霞.中国木薯产业现状分析[J].江西农业学报,2016,28(6):22-26
Liang H B, Huang J, AN F F, Wei Y X. Analysis of present situation of cassava industry in China[J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2016, 28(6): 22-26 (in Chinese)
- [2] 林莹,古碧,刘婷,查春月,谢江.不同贮藏方式对木薯鲜薯品质的影响[J].热带农业工程,2011,35(2):5-8
Lin Y, Gu B, Liu T, Cha C J, Xie J. Effect of different storage ways on the quality of fresh cassava[J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2011, 35(2): 5-8 (in Chinese)
- [3] Ithemere U, Arias-garzon D, Lawrence S, Sayre R. Genetic modification of cassava for enhanced starch production[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2006, 4(4): 453-465
- [4] 张振文,李开绵.木薯块根采后腐烂及贮藏方法研究进展[J].热带作物学报,2012,33(7):1326-1331
Zhang Z W, Li K M. Review on postharvest deterioration and methods of storage for cassava tuberous root [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33 (7): 1326-1331 (in Chinese)
- [5] José A. García, Teresa Sánchez, Hernán Ceballos. Non-destructive sampling procedure for biochemical or gene expression studies on postharvest physiological deterioration of cassava roots[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 86: 529-535

- [6] 巩慧玲,赵萍,杨俊丰. 马铃薯贮藏期间淀粉和还原糖含量的变化及回温处理的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(2): 277-279, 316
Gong H L, Zhao P, Yang J F. Effects of warming up treatment on contents of starch and reducing sugar of potato during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008, 29(2): 277-279, 316 (in Chinese)
- [7] Van Oirschot Q E A, O'Brien G M, Dufour D, El-Sharkawy M A, Mesa E. The effect of pre-harvest pruning of cassava upon root deterioration and quality characteristics[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80(13): 1866-1873
- [8] 张有林, 张润光, 王鑫腾. 甘薯采后生理、主要病害及贮藏技术研究[J]. 中国农业科学, 2014, 3(47): 553-563
Zhang Y L, Zhang R G, Wang X T. Study on postharvest physiology, main diseases and storage technology of sweet potato[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(3): 553-563 (in Chinese)
- [9] Owiti J, Grossmann J, Gehrig P, Dessimoz C, Laloi C, Hansen M B, Gruissem W, Vanderschuren H. iTRAQ-based analysis of changes in the cassava root proteome reveals pathways associated with post-harvest physiological deterioration [J]. *The Plant Journal*, 2011, 67(1): 145-156
- [10] 姚庆群, 张振文. 木薯采后生理性变质与淀粉特性研究[J]. 热带农业科学, 2012, 32(12): 12-15
Yao Q Q, Zhang Z W. Physiological deterioration and starch characteristics of harvest cassava tuberous root [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2012, 32(12): 12-15 (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB5009—3, 水分含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010
Ministry of Health of the PRC. GB5009—3, Determination of Water Content[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010 (in Chinese)
- [12] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
Shanghai Institute of Plant Physiology. *Experimental Manual of Plant Physiology* [M]. Shanghai: Shanghai science and Technology Press, 1985 (in Chinese)
- [13] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985
He Z F. *Grain and Oil Grain Quality and Its Analytical Techniques* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1985 (in Chinese)
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
Li H S. *Principles and Techniques of Plant Physiology and Biochemistry Experiments* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [15] 赵平娟, 孙海彦, 黎娟华, 卢诚, 彭明. 木薯采后生理性变质的研究进展[J]. 热带农业科学, 2013, 33(1): 35-41
Zhao P J, Sun H Y, Li J H, Lu C, Peng M. Review of cassava post-harvest physiological deterioration research [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2013, 33(1): 35-41 (in Chinese)
- [16] 马秋香, 许佳, 乔爱民, 张鹏. 木薯储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
Ma Q X, Xu J, Qiao A M, Zhang P. Current progress in studies on post-harvest physiological deterioration of cassava storage roots [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2009, 17(3): 309-314 (in Chinese)
- [17] 简纯平, 张振文, 李庚虎, 安飞飞. 4个华南系列木薯品种块根采后贮存能力分析[J]. 热带农业科学, 2013, 33(7): 74-79
Jian C P, Zhang Z W, Li G H, An F F. Storage ability analysis of postharvest tuberous roots of 4 cassava varieties [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2013, 33(7): 74-79 (in Chinese)
- [18] 潘德灼, 盖永红, 吕晓杰, 蒋雨露, 邱志敏. 龙眼果实采后果皮褐变过程差异蛋白表达分析[J]. 果树学报, 2016, 33(5): 542-551
Pan D Z, Gai Y H, Lv X J, Jiang Y L, Qiu Z M. Analysis of differentially expressed proteins during the pericarp browning of postharvest longan fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(5): 542-551 (in Chinese)
- [19] 南海风, 朱冠宇, 樊丽, 刘艳, 刘欢, 郭金丽. 草莓果实采后衰老过程中活性氧及保护酶活性的变化[J]. 北方园艺, 2016, (15): 123-126
Nan H F, Zhu G Y, Fan L, Liu Y, Liu H, Guo J L. The Dynamic variation of reactive oxygen and protective enzyme activity during the ageing process in strawberry fruit [J]. *Northern Horticulture*, 2016, (15): 123-126 (in Chinese)
- [20] 刘琳, 毛凯, 干友民, 白史且, 李君, 唐雪辉. 抗寒锻炼对假俭草 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2005, 44(6): 87-89
Liu L, Mao K, Gan Y M, Bai S Q, Li J, Tang X H. Effects of cold hardening on SOD, POD activities and MDA contents in different populations of wild centipede grass [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2005, 44(6): 87-89 (in Chinese)
- [21] 赖建勋. 荔枝采后果皮抗氧化系统重要酶的活性变化及其基因的差异表达[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2007
Lai J X. Antioxidant enzymes activities and their genes expression in postharvest litchi [D]. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture, 2007 (in Chinese)
- [22] 单忠英, 罗兴录, 樊吴静, 罗璇. 干旱胁迫对木薯苗生理特性影响研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(2): 339-343
Shan Z Y, Luo X L, Fan W J, Luo X. Effects of drought stress on the physiological characteristics of cassava seeding [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015, 36(2): 339-343 (in Chinese)