

短波紫外线处理对木薯保鲜效果及生理指标的影响

王中元¹, 王 展¹, 李 雯¹, 邵远志^{2,*}

(1.海南大学园艺园林学院, 海南 海口 570228; 2.海南大学食品学院, 海南 海口 570228)

摘 要: 探讨短波紫外线对木薯果实感官品质、营养品质和生理指标的影响, 为木薯的贮运保鲜提供技术指导。以‘华南5号’木薯果实为试材, 以波长254 nm紫外线杀菌灯为辐射源, 比较研究不同时间的紫外线处理对木薯品质的影响。结果表明: 与对照相比, 紫外线处理能够显著推迟果实硬度的下降和色泽的转变, 延缓总可溶性固形物(TSS)含量的增加和淀粉的降解, 并且能够抑制丙二醛(MDA)的积累, 维持超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性在较高的水平, 保持果实的贮藏品质, 推迟果实的成熟软化过程。综合来看, 30 min紫外线处理时间对木薯品质的保持最好, 20 min处理次之, 10 min效果最差。

关键词: 木薯; 紫外线处理; 保鲜; 应用效果

Effects of Ultraviolet-C Treatment on Postharvest Physiology and Storage Quality of Cassava Tubers

WANG Zhongyuan¹, WANG Zhan¹, LI Wen¹, SHAO Yuanzhi^{2,*}

(1. College of Horticulture and Landscape, Hainan University, Haikou 570228, China;

2. College of Food Science, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: This study was conducted to explore the effect of ultraviolet (UV-C) treatment on sensory, nutritional and physiological characteristics of cassava tubers, aiming to provide technical guidance for short-term storage and preservation of cassava. Tubers of the cassava cultivar ‘Southern China 5’ were irradiated by 254 nm UV light for different periods and quality characteristics of cassava tubers were determined during subsequent storage. Results showed that compared to the control, UV-C treatment significantly delayed the drop of tuber hardness and the changes in color, retarded the increase in total soluble solids (TSS) and starch degradation, inhibited the accumulation of malondialdehyde (MDA), maintained the enzymatic activities of superoxide dismutase (SOD) and polyphenol oxidase (POD) at a high level, maintained the quality of cassava tubers, and delayed the maturation and softening processes. Taken together, 30 min UV-C irradiation is optimal to keep the quality of cassava, followed by 20 min UV-C irradiation, and UV-C irradiation for 10 min provides the worst preservation of cassava quality.

Key words: cassava; ultraviolet treatment; preservation; application effect

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602045

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 02-0256-05

引文格式:

王中元, 王展, 李雯, 等. 短波紫外线处理对木薯保鲜效果及生理指标的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 256-260.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602045. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Zhongyuan, WANG Zhan, LI Wen, et al. Effects of ultraviolet-C treatment on postharvest physiology and storage quality of cassava tubers[J]. Food Science, 2016, 37(2): 256-260. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602045. <http://www.spkx.net.cn>

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 属于大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属植物, 是世界三大薯类 (木薯、马铃薯、甘薯) 之一^[1]。木薯是物美价廉的淀粉

原材料, 其块根富含淀粉量极高 (淀粉含量占干物质的75%~85%), 是热带亚热带地区重要的生物质能源植物^[2], 海南是其主产区之一^[3]。收获后的木薯不耐贮藏, 易出

收稿日期: 2015-02-17

基金项目: 海南省自然科学基金项目 (6312074)

作者简介: 王中元 (1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为果蔬采后生理与贮藏技术。E-mail: wzy2094360@163.com

*通信作者: 邵远志 (1969—), 男, 副教授, 本科, 研究方向为果蔬采后病害与贮藏技术。E-mail: syz123789@sina.com

现“采后生理性变质”，这种变质导致贮藏根褐化及腐烂，影响其淀粉加工及产品^[4]。

短波紫外线 (ultraviolet-cirradiation, UV-C) 波长为 180~280 nm。紫外线一直被作为灭菌方法广泛使用，经过UV-B处理的新鲜农产品可以提高抗病性，产生功能成分，延缓成熟衰老，抑制病原微生物的生长繁殖^[5-6]。美国已研制出适用于果蔬采后处理与加工的UV-C处理设备，经在苹果采后处理中应用，效果很好^[7]。在我国，该项技术虽然还没有开发用于商业，但其应用于果蔬商品化处理的前景非常好。目前，国内外针对木薯贮藏的报到很少，但在其他方面的研究表明，UV-C处理可诱导采后果蔬抗病性，显著延缓果蔬贮藏期间后熟作用，降低腐烂率，延长货架寿命。如汪开治^[8]用UV-C照射成熟芒果10 min，增加了芒果皮组织中多胺含量，起到了防止芒果腐烂的效果。吴芳芳等^[9]报道，低剂量UV-C照射能在一定程度上降低苹果炭疽病发病率，抑制苹果采后炭疽病的发生。荣瑞芳等^[10]的研究表明，短波紫外线照射可以减轻草莓贮藏期病害，延缓后熟，较好地保持VC含量。而UV-C处理后的番茄，果皮细胞中的叶绿体等细胞器衰老延缓，细胞壁和细胞质变得致密和黏稠^[11]。Francisco等^[12]的研究表明，UV-C处理可抑制鲜切西瓜上微生物的生长，并显著增强其抗氧化能力。Lorenza等^[13]研究表明，采后花椰菜经UV-C处理后，呼吸作用下降，叶绿素降解延缓，硬度和抗氧化力维持在较高水平。李波等^[14]的研究表明，UV-C处理鸡腿菇，能够显著延长其保鲜时间，抑制后熟作用，降低多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性及呼吸强度，延缓褐变反应，但UV-C处理时间越长，带给鸡腿菇的损伤 (如褐变、呼吸增强) 越强烈。

本实验采用不同时间的紫外线处理木薯，对其进行采后感官品质、营养品质及腐烂影响的研究，探索用紫外线处理对木薯进行贮藏保鲜的作用和效果，以期为本薯的贮藏保鲜提供理论和方法依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘华南5号’木薯 (果用)：九成熟，由中国热带科学院品质资源所提供。样品采后立即运回实验室：挑选出无病虫害、无机械损伤、大小均匀一致的木薯，先用0.1%次氯酸钠溶液浸泡10 min，取出晾干后再用0.5 g/L施宝功浸泡5 min，晾干后备用。

磷酸氢二钠 广州化学试剂厂；L-甲硫氨酸、愈创木酚、硫代巴比妥酸、核黄素 国药集团化学试剂有限公司；磷酸氢二钠、氮蓝四唑、乙二胺四乙酸二钠、过氧化氢 西陇化工股份有限公司。所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

UV-1900型紫外-可见分光光度计、G30T8型普通紫外杀菌灯 (灯下垂直30 cm处的紫外强度为0.20 mW/cm²) 上海亚研电子科技有限公司；TGL-16G型台式高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂；CM-700d分光测色计 柯尼卡-美能达公司；FHM-1型果实硬度计、N-1α手持式折光计 日本Atago公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

紫外线处理：清水清洗木薯，清除木薯表面污垢，置于普通紫外灯下分别照射10、20 min和30 min，即1.2、2.4 kJ/m²和3.6 kJ/m²，照射一半时间翻转果实，使果面接受均匀照射。以不照射的果实为对照。

处理后的果实用0.01 mm厚的聚乙烯薄膜保鲜膜包装，每袋3条果实 (长度20 cm左右，粗度5 cm左右)，每个处理共装6袋 (4次测定，2次观察贮藏时间)，置于 (25±0.5) °C智能人工气候箱 (相对湿度为86%~90%) 中贮藏。贮藏期间每过6 d取样测定一次，一根木薯为一次重复，每个处理重复3次 (1袋果实)。由于对照组的果实在第18天，10 min组的果实在第24天已全部腐烂，故取样测定分析到此结束。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 果实 (木薯) 硬度的测定

硬度计 (锥形头，基部直径12 mm) 测定去皮后果肉的硬度，将木薯去皮后从果实中部切开，测定横切面的硬度，每个面测定4个点，重复3次，取平均值为该果实的硬度 (N/cm²)。

1.3.2.2 果实 (木薯) 色泽的测定

分光测色计测量果实中部果肉的色度，单果测定4个点，记录不含镜面反射光条件下L*值。L*值表示亮暗方向颜色变化。

1.3.2.3 果实 (木薯) 可溶性固形物 (total soluble solid, TSS) 含量的测定

用手持式折光计测定，结果采用百分数表示。

1.3.2.4 果实 (木薯) 淀粉含量的测定

依照陆国权等^[15]的方法进行测定 (碘-淀粉比色法)，结果计算见式 (1)：

$$\text{淀粉含量}/\% = \frac{m \times V \times N}{V_s \times M \times 10^6} \times 100 \quad (1)$$

式中： m 为从标准曲线查得的淀粉质量/ μg ； V 为样品提取液总体积/mL； N 为样品提取液稀释倍数； V_s 为测定时所取样品提取液体积/mL； M 为样品质量/g。

1.3.2.5 果实 (木薯) 超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性的测定

采用氮蓝四唑光还原法^[16]测定，按式 (2) 计算：

$$\text{SOD活性}/(\text{U/g}) = \frac{(A_0 - A_s) \times V_t \times 60}{A_0 \times 0.5 \times m \times V_s \times t} \quad (2)$$

式中： A_0 为光下对照管吸光度； A_s 为样品测定管吸光度； V_t 为样品提取液总体积/mL； V_s 为测定时取粗酶液量/mL； t 为显色反应光照时间/min； m 为样品鲜质量/g。

1.3.2.6 果实（木薯）过氧化物酶（peroxidase, POD）活性的测定

采用紫外吸收法测定^[16]。记录反应体系在470 nm波长处的光密度值，制作 $\text{OD}_{470 \text{ nm}}$ 随时间变化曲线，根据曲线的初始线性部分，按式（3）计算每分钟光密度变化值 $\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}}$ 。

$$\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}} = (\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}} - \Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}}) / (t_f - t_i) \quad (3)$$

式中： $\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}}$ 为每分钟反应光密度变化值； $\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}}$ 为反应混合液光密度终止值； $\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}}$ 为反应混合液光密度初始值； t_f 为反应终止时间/min； t_i 为反应初始时间/min。

以每克果蔬样品（鲜质量）每分钟470 nm波长处光密度变化值增加1时为1个POD活性单位，计算见公式（4）：

$$\text{POD活性}/(\text{U/g}) = (\Delta\text{OD}_{470 \text{ nm}} \times V) / (V_s \times m) \quad (4)$$

式中： V 为样品提取液总体积/mL； V_s 为测定时所取样品提取液体积/mL； m 为样品质量/g。

1.3.2.7 果实（木薯）丙二醛（malondialdehyde, MDA）含量的测定

采用硫代巴比妥酸法进行测定^[17]，计算见式（5）：

$$\text{MDA含量}/(\mu\text{mol/g}) = \frac{[6.452 \times (A_{532 \text{ nm}} - A_{600 \text{ nm}}) - 0.559 \times A_{450 \text{ nm}}] \times V_t}{V_s \times m} \quad (5)$$

式中： V_t 为提取液总体积/mL； V_s 为测定用提取液体积/mL； m 为样品鲜质量/g。

1.4 数据处理

测定数据用Excel处理并用SAS 9.0软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 UV-C紫外线处理对活性氧代谢的影响

2.1.1 紫外线处理对木薯MDA含量的影响

由图1可见，随着贮藏时间的延长，各处理的木薯果实MDA含量总体呈上升趋势，紫外线处理的木薯果实MDA含量上升速度低于对照，其中20 min和30 min紫外线处理的果实MDA含量最低。贮藏到第12天时，对照、10、20、30 min紫外线处理的果实MDA含量分别是7.86、5.95、5.05、4.22 $\mu\text{mol/g}$ ，紫外线处理过的各组和

对照组差异显著（ $P < 0.05$ ）。说明紫外线处理能延缓木薯果实的膜脂过氧化进程，推迟木薯的成熟与衰老。

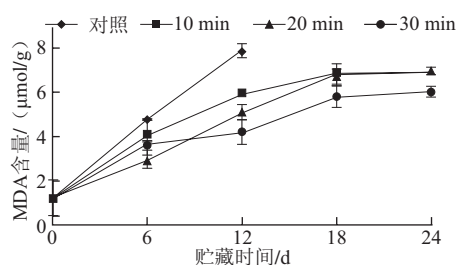


图1 紫外线处理对木薯MDA含量的影响

Fig.1 Effect of ultraviolet light treatment on MDA content

2.1.2 紫外线处理对木薯SOD、POD活性的影响

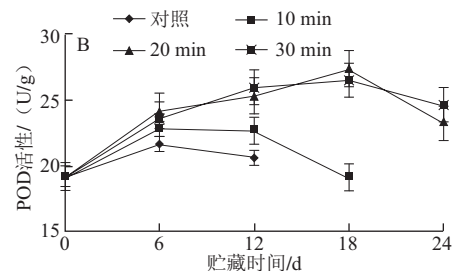
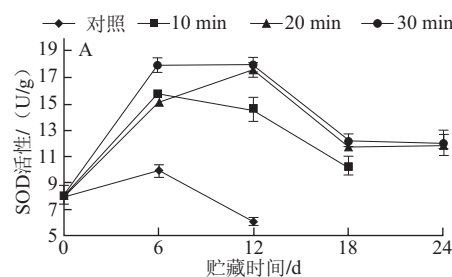


图2 紫外线处理对木薯SOD (A) 和POD (B) 活性的影响

Fig.2 Effect of ultraviolet light treatment on the activities of SOD and POD

SOD和POD是植物体保护酶系统中重要的酶类，能消除生物体在新陈代谢过程中产生的有害物质^[18]。由图2可以看出，木薯果实SOD活性总体呈现由低到高再到低的变化趋势。0、10、20 min和30 min处理的SOD活性高峰分别出现在第6、6、12、12天，活性峰值分别为9.88、15.80、17.64、17.94 U/g，处理间差异极显著（ $P < 0.01$ ）。POD活性呈现先上升后下降的趋势，对照、10、20、30 min处理的POD活性峰值分别为21.65、22.86、27.42、26.54 U/g，处理间差异极显著（ $P < 0.01$ ）。说明紫外线处理有利于提高木薯SOD和POD活性，20 min和30 min的照射时间效果更显著。

2.2 紫外线处理对木薯品质的影响

2.2.1 紫外线处理对木薯果肉色泽的影响

果肉颜色变化是反映果实品质优劣的重要指标之一，

色度 L^* 表示亮色或暗色, 正值为亮色, 负值为暗色^[19]。由图3可以看出, 不同处理间木薯果肉色泽 L^* 值呈逐渐下降状态, 即由亮变暗。在第12天, 10、20 min和30 min紫外线处理组与对照组之间差异显著 ($P<0.05$), 18~24 d内, 对照组和10 min紫外线处理的果实已经腐烂, 其他处理间差异不显著。整个贮藏期内紫外线处理的果实其 L^* 值都显著高于对照, 且20 min和30 min处理的木薯果肉色泽 L^* 值始终保持在较高水平, 说明20 min和30 min的紫外线处理最有利于保持木薯果肉的白色色泽。

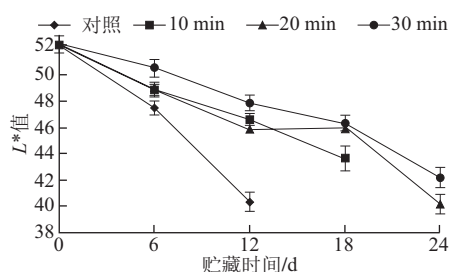


图3 紫外线处理对木薯果肉色泽影响

Fig.3 Effect of ultraviolet light treatment on color L^* value

2.2.2 紫外线处理对木薯硬度的影响

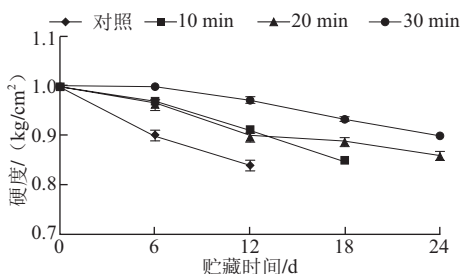


图4 紫外线处理对木薯硬度的影响

Fig.4 Effect of ultraviolet light treatment on cassava firmness

由图4可以看出, 各组处理的木薯果实硬度变化比较平缓, 但总体呈下降趋势。在4个处理中, 30 min紫外线处理的果实硬度一直维持在最高的水平, 在6~12 d紫外线处理的果实硬度明显高于对照组。在第12天, 10、20 min和30 min处理的果实硬度分别比对照组硬度高0.07、0.06、0.13 kg/cm², 处理间差异达极显著水平 ($P<0.01$), 且经紫外线30 min处理的果实硬度始终最大。说明紫外线处理可抑制木薯果实的后熟软化, 以30 min的紫外线处理对于木薯果实硬度的保持效果最好, 20 min次之, 10 min最差。

2.2.3 紫外线处理对木薯淀粉含量的影响

由图5可知, 各处理果实淀粉在贮藏期间的变化比较平缓, 总体呈下降趋势, 其中对照组下降最快, 20 min和30 min紫外线处理的木薯果实淀粉含量下降最慢。在第12天, 处理间差异明显, 经紫外线处理的木薯果实的淀粉含量明显高于对照组, 且20 min和30 min紫外线

处理果实的淀粉含量最高, 分别为28.76%和30.60%。12~24 d, 20 min和30 min紫外线处理的果实淀粉含量始终维持在较高水平, 而对照组和10 min紫外线处理组果实已经腐烂, 差异极显著 ($P<0.01$), 说明20 min和30 min的紫外线处理可以保持木薯的淀粉含量, 防止淀粉的转化。

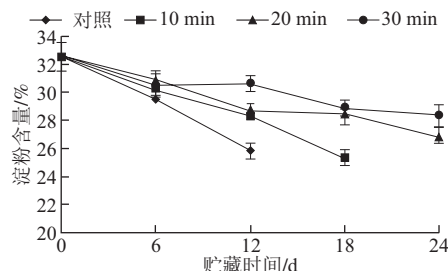


图5 紫外线处理对木薯淀粉含量的影响

Fig.5 Effect of ultraviolet light treatment on starch content

2.2.4 紫外线对木薯TSS含量的影响

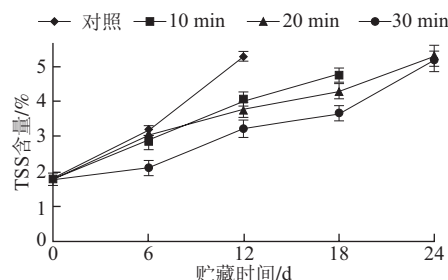


图6 紫外线处理对木薯TSS含量的影响

Fig.6 Effect of ultraviolet light treatment on the content of total soluble solids

如图6所示, 木薯果实的TSS含量在贮藏期间呈缓慢上升的变化趋势。对照组木薯到第12天时TSS含量达到最大值, 为5.30%, 随后开始腐烂; 10 min紫外线处理组在第18天TSS含量达到最大值, 为4.77%, 之后开始腐烂; 20 min和30 min紫外线处理组果实到第24天可TSS含量最高, 并且稳定增长, 没有腐烂。说明与对照组相比, 紫外线处理可以抑制木薯由淀粉向TSS的转化, 有利于保持木薯品质, 其中以20 min和30 min的紫外线处理效果最佳。

3 讨论与结论

3.1 UV-C对木薯果实采后生理的影响

紫外照射处理可通过影响果蔬产品的采后生理代谢而影响产品的贮藏品质。荣瑞芬等^[10]的研究指出, 低剂量UV-C处理能减少芒果、番茄和葡萄果实的有机物质的消耗, 保持果实品质。本研究结果表明, 紫外线处理能够明显抑制木薯MDA含量的增长, 维持SOD和POD活性保持在很高的水平, 从而延缓了木薯的成熟与衰老, 在

康朵兰^[20]研究中指出在马铃薯块茎上也有类似的报道。李长看等^[21]研究指出, γ 射线辐照山药, 能够抑制山药MDA含量的增长, 促进SOD和POD活性的增长, 与本研究结果一致。

3.2 UV-C对木薯果实感官品质的影响

感官品质是衡量果蔬商品性的重要指标。UV-C处理可提高果实的抗病能力, 改善果蔬的外观品质^[7,22]。本研究表明, 不同的紫外照射时间对木薯果实的感官品质影响不同, 以20 min和30 min的照射时间效果最好, 能显著降低贮藏过程中木薯硬度的下降, 推迟果实色泽的转变, 起到了保持木薯果实商品价值的作用。这可能与紫外处理诱导了抗病物质如酚类等的积累, 激活了病程相关蛋白, 如苯丙氨酸解氨酶和几丁质酶, 提高了抗病性有重要关系^[23-24]。

3.3 UV-C对木薯果实营养品质的影响

紫外照射处理对木薯果实的营养品质也有重要影响。木薯是典型的热带薯芋类果实, 本实验结果表明, 在采后贮藏期间, 木薯果实TSS含量持续上升, 淀粉含量持续下降, 这与朱先波等^[25]在马铃薯上的研究结果是一致的, 再一次说明了采后薯芋类果实淀粉向糖的转化过程。

不同时间的紫外线处理均对木薯保鲜有一定的效果, 但不同处理时间对木薯生理和品质的影响不同, 以30 min照射时间最好, 20 min次之, 10 min效果最差。

参考文献:

- [1] 朱元芳, 张华, 王旭初, 等. 木薯块根贮藏物质的研究进展[J]. 热带农业科学, 2006, 26(1): 64-68. DOI:10.3969/j.issn.1009-2196.2006.01.017.
- [2] ROGERS D J. Studies of *Manihot esculenta* Crantz and related species[J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1963, 90(1): 43-54.
- [3] 方佳, 满文辉, 张慧坚. 国内外木薯产业发展近况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 353-361. DOI:10.2307/2482858.
- [4] 马秋香, 许佳, 乔爱民, 等. 木薯储藏根采后生理性变质研究进展[J]. 亚热带植物学, 2009, 17(3): 309-314. DOI:10.3969/j.issn.1005-3395.2009.03.018.
- [5] SHAMA G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hermetic responses[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(1): 1-8. DOI:10.1016/j.postharvbio.2006.11.004.
- [6] SHAMA G, ALDERSON P. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization[J]. Trends in Food Science and Technology, 2005, 16: 128-136. DOI:10.1016/j.tifs.2004.10.001.
- [7] WILSON C L, GHOUTH A E, UPCHURCH I B, et al. Using an on-line UV-C apparatus to treat harvested fruit for controlling postharvest decay[J]. Hori Technology, 1997, 7(3): 278-282.
- [8] 汪开治. 芒果防腐保鲜的有效措施: 紫外线照射[J]. 生物技术通报, 2002(4): 38-38.
- [9] 吴芳芳, 郑有飞, 檀根甲. UV-C对苹果采后炭疽病的控制[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 1081-1083. DOI:10.3321/j.issn:1672-2043.2006.04.053.
- [10] 荣瑞芬, 于涛. 短波紫外线辐照对草莓贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(1): 146-149.
- [11] 荣瑞芬, 冯双庆, 赵玉梅. UV-C照射采后番茄果皮细胞超微结构变化与抗病性研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 166-169.
- [12] FRANCISCO A H, PEDRO A, ROBLES P A, et al. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(1): 114-120. DOI:10.1016/j.postharvbio.2009.09.002.
- [13] LORENZA C, ARIEL R V I, PEDRO M C, et al. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39: 204-210. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.10.012.
- [14] 李波, 芦菲, 余小领, 等. 短波紫外线照射对鸡腿菇保鲜的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 306-309.
- [15] 陆国权, 施志仁. 甘薯淀粉的测定方法及标准化探讨[J]. 国外农学报, 1997, 6(3): 38-42.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 267-283.
- [17] 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, 2005: 164-167.
- [18] 方允中, 李文杰. 自由基与酶: 基础理论及其在生物学和医学中的应用[M]. 北京: 北京科学出版社, 1994: 88-100.
- [19] IGLESEAS I, GRAELL J, ECHEVERRÍA G, et al. Differences in fruit color development anthocyanin content, yield and quality of seven "delicious" apple strains[J]. Fruit Varieties Journal, 1999, 53(3): 133-145. DOI:10.1016/j.scienta.2008.07.004.
- [20] 康朵兰. 马铃薯大西洋块茎在休眠萌发和低温贮藏期的生理生化变化[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [21] 李长看, 杨宗渠, 曲金柱, 等. 冷藏与辐照对山药保鲜效果的比较研究[J]. 北方园艺, 2011(7): 148-150.
- [22] CHARLES M T, MAKLOUS J, ARU J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. II: Modification of fruit surface and changes in fungal colonization[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47: 21-26. DOI:10.3865/j.issn.1001-3547.2005.04.034.
- [23] 程顺昌, 任小林, 张少颖, 等. 不同处理方法对辣椒采后贮藏特性的影响[J]. 长江蔬菜, 2005(4): 41-43.
- [24] BONOMELLI A, MERCIER L, FRANCHET K, et al. Response of grapevine defenses to UV-C exposure[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2004, 55: 51-59.
- [25] 朱先波, 任小林, 刘砚璞. NO处理对马铃薯保鲜的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 237-240. DOI:10.3969/j.issn.1004-1389.2009.02.053.