

过氧化氢对采后龙眼果实贮藏品质的影响

林毅雄, 林艺芬*, 陈艺晖, 王 慧, 林河通*

(福建农林大学食品科学学院, 福建农林大学农产品产后技术研究所, 福建 福州 350002)

摘 要: 过量的活性氧是导致果蔬采后品质劣变的主要原因之一。以活性最为稳定的过氧化氢作为活性氧, 研究活性氧对采后龙眼果实贮藏品质的影响。结果显示: 与对照龙眼果实相比, 过氧化氢处理的龙眼果实采后贮藏期间具较低的果皮叶绿素、类胡萝卜素和类黄酮等色素含量, 较低的果肉可溶性糖、蔗糖和VC等营养物质含量, 较高的龙眼果皮褐变指数和果肉自溶指数, 及较低的龙眼果实商品率。据此认为, 活性氧在采后龙眼果实品质劣变中起重要的促进作用, 活性氧会促进采后龙眼果实外观品质劣变和果肉营养物质的降解, 从而降低采后龙眼果实商品价值。

关键词: 龙眼; 果实; 品质劣变; 活性氧; 过氧化氢; 贮藏品质

Effects of Hydrogen Peroxide on Quality of Harvested Longan Fruits during Storage

LIN Yixiong, LIN Yifen*, CHEN Yihui, WANG Hui, LIN Hetong*

(Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, College of Food Science,
Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Excessive generation of reactive oxygen species (ROS) has been identified as a major cause of quality deterioration of harvested fruit and vegetables. The effect of hydrogen peroxide (H_2O_2), the most stable of the reactive oxygen, on the quality of harvested longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit during storage were investigated. The results showed that in comparison to the control longans, the H_2O_2 -treated longans had lower contents of pericarp pigments including chlorophyll, carotenoid and flavonoid, lower contents of pulp nutrients such as total sugar, sucrose and vitamin C, higher pericarp browning index and aril breakdown index, and lower percentage of commercially acceptable fruits. From the above findings, it could be concluded that H_2O_2 may play a key role in causing the quality deterioration of harvested longan fruit by accelerating the deterioration of pericarp color, stimulating the degradation of pulp nutrients, thereby reducing the marketable value of harvested longan fruit.

Key words: longan (*Dimocarpus longan* Lour.); fruit; quality deterioration; reactive oxygen species; hydrogen peroxide (H_2O_2); storage quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622037

中图分类号: TS255.3; S667.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 22-0244-05

引文格式:

林毅雄, 林艺芬, 陈艺晖, 等. 过氧化氢对采后龙眼果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 244-248.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622037. <http://www.spkx.net.cn>

LIN Yixiong, LIN Yifen, CHEN Yihui, et al. Effects of hydrogen peroxide on quality of harvested longan fruits during storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 244-248. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622037. <http://www.spkx.net.cn>

龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 是一种广泛分布于中国、泰国、越南、印度、澳大利亚、南非、美国等

国家热带亚热带地区的世界性名特优水果^[1-3]。由于中国龙眼果实的成熟季节为温度高且湿度大的夏季, 采后龙

收稿日期: 2016-05-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (30671464; 30972070; 31171776); 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20093515110011; 20123515120016; 20133515110014); 福建省自然科学基金项目 (2015J01608); 福建省财政厅项目 (K81MLV01A); 福建农林大学高水平大学建设项目 (612014042)

作者简介: 林毅雄 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: 393874860@qq.com

*通信作者: 林艺芬 (1986—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: yifenlin@126.com

林河通 (1967—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: hetonglin@163.com

眼果实极易发生腐烂、果肉自溶和果皮褐变等品质劣变现象,从而导致采后龙眼果实至今还难以长期贮藏或者远距离销售至北方市场和出口创汇^[4-6]。已有研究发现,活性氧产生与清除的平衡关系在果蔬采后品质变化及衰老过程中起重要作用^[1,7]。经短波紫外线处理的草莓果实^[8]、枞酸丙酯处理的龙眼果实^[9-10]、热空气处理的龙眼果实^[11-12]和热水处理的鲜切甜椒^[13]可以通过调节活性氧代谢的平衡来抑制活性氧的产生和膜脂过氧化,延缓采后果蔬贮藏品质的下降。

低浓度的 H_2O_2 可以作为信号转导分子,在生物和非生物胁迫应答、激素应答、气孔开闭、细胞程序化死亡和生长发育调控过程中起重要作用。但是,当植物组织中的 H_2O_2 含量超过一定阈值时, H_2O_2 会损伤生物大分子和毒害细胞,促进细胞死亡^[14]。郭殿卿等^[15]研究发现,4% H_2O_2 处理可以保持较高的采后新疆伽师瓜硬度,延缓果肉可溶性固形物及VC含量的下降,保持较好的贮藏品质。本课题组在前期研究 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果皮活性氧代谢、膜脂代谢和酚类物质代谢的影响时发现,1.96 mmol/L H_2O_2 处理会降低采后龙眼果实的活性氧清除能力,导致龙眼果实中活性氧的过量积累,促进膜脂过氧化和膜系统区室化功能的丧失,促进褐变底物(酚类物质)和酚酶(多酚氧化酶)的接触,从而导致采后龙眼果实果皮褐变的发生^[16-17]。但目前有关活性氧在采后龙眼果实品质劣变中的作用鲜见报道。本研究以‘福眼’龙眼果实为材料,以活性最稳定的 H_2O_2 作为活性氧,研究活性氧对龙眼果实采后贮藏期间果皮叶绿素、类胡萝卜素、类黄酮等色素含量,果肉可溶性糖、蔗糖和VC等营养成分含量,果皮褐变指数、果肉自溶指数和果实商品率的影响,旨在阐明活性氧在龙眼果实采后贮藏品质变化中的作用,为生产实践中通过调控采后龙眼果实活性氧产生而延缓采后龙眼果实贮藏品质下降、提高采后龙眼果实保鲜效果提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

福眼(*Dimocarpus longan* Lour. cv. Fuyan)龙眼果实为来自福建省安溪县龙眼科技示范场的福建省主栽名优品种。

H_2O_2 、间苯二酚、氢氧化钠、三氯乙酸、无水乙醇、三氯化铁、石英沙、碳酸钙和丙酮 国药集团化学试剂有限公司;盐酸 北京化工厂。

1.2 仪器与设备

HH-4数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;
GL-20G-II高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器有限公司;
T6紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任

公司;BSA224S电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

龙眼果实九成熟时采收并当天送到实验室,经挑选后的龙眼果实用1.0 mL/L的戴挫霉杀菌处理3 min,果实晾干后进行以下处理:1) H_2O_2 处理:前期研究0~3.26 mmol/L的 H_2O_2 浸泡采后龙眼果实时发现,大于1.96 mmol/L的 H_2O_2 会促进果皮褐变的发生,若使用的 H_2O_2 浓度太高则会快速促进果皮褐变,不利于结果的观察,本实验研究活性氧在采后龙眼果实品质劣变中的作用,因此采用浓度为1.96 mmol/L的 H_2O_2 来处理;龙眼果实经过1.96 mmol/L的 H_2O_2 浸泡20 min后,将果实取出并晾干,用聚乙烯保鲜膜袋(0.015 mm厚)包装(50个/袋),之后在 $(15\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度80%条件下贮藏,贮藏期间每隔2 d取样观察和测定相关指标。2) 对照:以蒸馏水取代1.96 mmol/L H_2O_2 ,其余处理步骤与同前面所述。

1.3.2 龙眼果皮色素含量测定

龙眼果皮色素的提取及含量的测定按照林艺芬^[9]、林河通^[18]等的方法。龙眼果皮叶绿素和类胡萝卜素含量以mg/g表示,类黄酮含量以 $A_{325\text{ nm}}$ /g表示。

1.3.3 龙眼果肉营养成分含量测定

龙眼果肉营养成分(可溶性糖、蔗糖和VC)含量的测定按照林艺芬^[9]、林河通^[18]等的方法。

1.3.4 龙眼果皮褐变指数、果肉自溶指数和果实商品率的测定

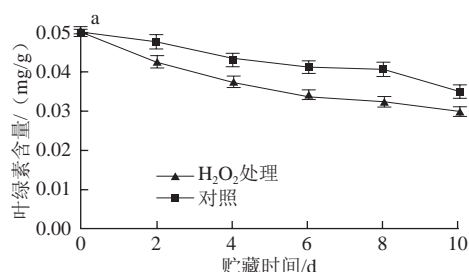
贮藏期间每隔2 d随机取3袋(共150个龙眼果实)用于测定果皮褐变指数、果肉自溶指数和果实商品率。龙眼果皮褐变指数测定参照林艺芬^[9]、林河通^[18]等方法;龙眼果肉自溶指数测定参照林河通^[19]、赵云峰^[20]等的方法;龙眼果实商品率测定参照Chen Mengyin^[5]、林艺芬^[9]等的方法。

1.4 数据分析

各指标测定均重复3次,取其平均值。采用SPSS 17.0数据分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果皮色素含量的影响



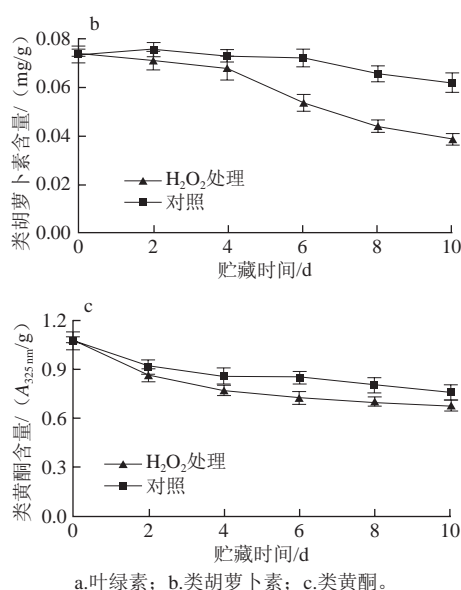


图1 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果皮色素含量的影响

Fig. 1 Effects of hydrogen peroxide treatment on pigment contents in pericarp of harvested longan fruit

由图1a可知,在贮藏期间,对照与经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮叶绿素含量均呈下降趋势,其中 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮叶绿素含量下降速率更快。进一步比较发现,在贮藏2~10 d的同一贮藏时期,经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮叶绿素含量都显著($P<0.05$)低于对照龙眼果实。结合前期研究结果^[16], H_2O_2 处理会降低采后龙眼果实的果皮活性氧清除酶活性和内源抗氧化物质含量,促进果皮超氧阴离子自由基产生、膜脂过氧化产物丙二醛积累及细胞膜相对渗透率的上升。因此认为, H_2O_2 促进龙眼果实的果皮叶绿素含量下降可能与 H_2O_2 促进采后龙眼果实果皮活性氧和膜脂过氧化产物丙二醛等有害物质的积累及其对叶绿体结构的破坏有关。

从图1b可以看出, H_2O_2 处理的龙眼果实果皮类胡萝卜素含量在0~4 d内缓慢下降,贮藏4 d之后则快速下降,而对照龙眼果实的果皮类胡萝卜素含量则缓慢下降。进一步比较发现,在贮藏2~10 d内的同一贮藏时期,经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮类胡萝卜素含量都低于对照龙眼果实,如在贮藏第6、8天和第10天时,经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮类胡萝卜素含量分别是对照龙眼果实果皮类胡萝卜素含量的75%、66%和62%,两种处理间的差异极显著($P<0.01$)。

已有研究认为,在 H_2O_2 存在条件下,过氧化物酶也能催化类黄酮的氧化和聚合,参与果蔬组织褐变发生^[1]。由图1c可知,对照与经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮类黄酮含量在0~4 d内快速下降,之后缓慢下降。进一步比较发现,在贮藏2~10 d内的同一贮藏时期,经 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮类黄酮含量都显著($P<0.05$)低于对照龙眼果实。联系前期研究结果^[17],与对照龙眼果实相比,经

H_2O_2 处理的龙眼果实具有较高的果皮过氧化物酶活性。因此认为, H_2O_2 促进采后龙眼果实的果皮类黄酮含量下降,这可能与 H_2O_2 处理提高采后龙眼果实的果皮POD活性,促进龙眼果皮类黄酮的氧化和聚合,参与龙眼果皮褐变有关。

上述结果表明, H_2O_2 处理能促进采后龙眼果实果皮色素(叶绿素、类胡萝卜素和类黄酮)的降解,从而促进龙眼果实外观颜色及外观品质的劣变。

2.2 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果肉可溶性糖、蔗糖和VC含量的影响

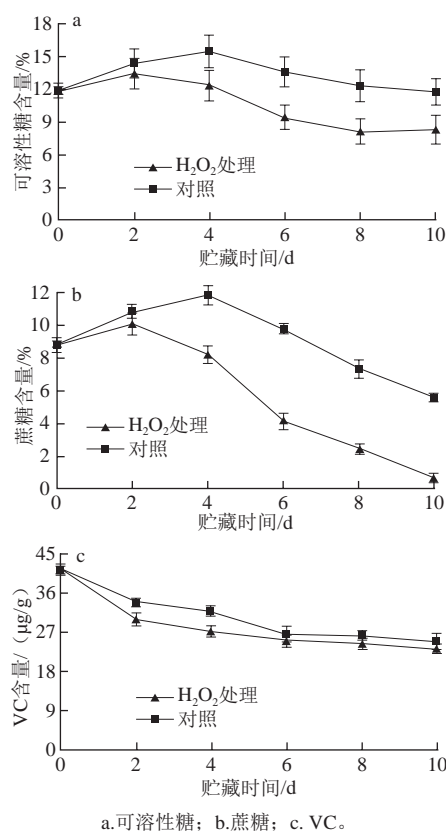


图2 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果肉可溶性糖、蔗糖和VC含量的影响

Fig. 2 Effects of hydrogen peroxide treatment on the contents of total soluble sugars, sucrose and VC in pulp of harvested longan fruit

由图2a可知,随着采后贮藏时间的延长,龙眼果肉可溶性糖含量呈先上升后下降的趋势。贮藏前期龙眼果肉可溶性糖含量上升可能是因为非糖大分子化合物在相关酶的作用下转变为糖类,后期下降是因为糖分作为呼吸作用的主要底物被消耗有关^[11]。图2a还显示,对照龙眼果实的果肉可溶性糖含量在贮藏第4天开始下降,而 H_2O_2 处理的龙眼果肉可溶性糖含量在贮藏第2天就开始下降,而且下降速率快于对照果实。进一步比较发现,在采后贮藏期间的同一贮藏时期,经 H_2O_2 处理的龙眼果肉可溶性糖含量都低于对照龙眼果实(图2a),这与 H_2O_2 处理提高采后龙眼果实呼吸强度,促进龙眼果实呼吸底物的消耗有关。

由图2b可知, 对照与经 H_2O_2 处理的龙眼果实果肉蔗糖含量变化趋势与可溶性糖的变化趋势相似。经 H_2O_2 处理龙眼果实果肉蔗糖含量比对照龙眼果实提前2 d快速下降, 而且下降速率显著 ($P < 0.05$) 快于对照龙眼果实。进一步的比较发现, 在贮藏4~10 d内的同一贮藏时期, 经 H_2O_2 处理的龙眼果肉蔗糖含量都极显著 ($P < 0.01$) 低于对照龙眼果实, 如贮藏至第6、8天和第10天时, 经 H_2O_2 处理的龙眼果肉蔗糖含量分别为对照龙眼果实的42%、33%和12%。

从图2c可以看出, 龙眼果肉VC含量随采后贮藏时间的延长而逐渐下降, 说明随着采后龙眼果实的衰老, 其果肉营养物质含量和清除活性氧的能力下降。进一步比较发现, 在采后贮藏2~10 d内的同一贮藏时间, 经 H_2O_2 处理的龙眼果肉VC含量都低于对照龙眼果实。

上述结果表明, H_2O_2 处理能促进采后龙眼果肉可溶性糖、蔗糖和VC等营养物质含量的下降。

2.3 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果皮褐变和果肉自溶的影响

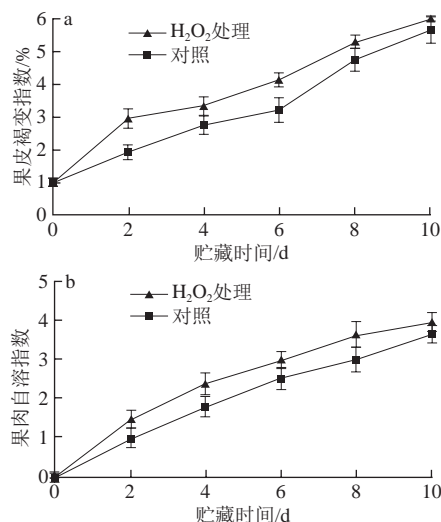


图3 H_2O_2 处理对采后龙眼果实果皮褐变指数 (a) 和果肉自溶指数 (b) 的影响

Fig. 3 Effects of hydrogen peroxide treatment on pericarp browning index and aril breakdown index of harvested longan fruit

从图3a可以看出, 龙眼果实果皮褐变指数随着采后贮藏时间的延长而逐渐上升, 其中, 经过 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮褐变指数上升速率快于对照龙眼果实, 这说明随着采后龙眼果实的衰老, 其果皮颜色由黄色逐渐转为黄褐色、褐色。进一步比较发现, 在采后贮藏2~10 d内的同一贮藏时期, 经过 H_2O_2 处理的龙眼果实果皮褐变指数都高于对照龙眼果实, 这可能与 H_2O_2 处理提高采后龙眼果皮酚酶 (多酚氧化酶和过氧化物酶) 活性, 促进龙眼果皮酚类物质的氧化降解而合成醌类物质有关^[17]。

果肉自溶可能与龙眼果实衰老所引起的细胞壁物质 (果胶、纤维素和半纤维素等) 降解及细胞壁降解酶

(果胶酯酶、多聚半乳糖醛酸酶、纤维素酶和 β -半乳糖苷酶等) 的作用有关^[2,19-20]。由图3b可知, 对照和经 H_2O_2 处理的龙眼果实果肉自溶指数都随着采后贮藏时间的延长而上升。进一步的比较发现, 在采后贮藏2~10 d内的同一贮藏时期, 经过 H_2O_2 处理的龙眼果实果肉自溶指数都显著 ($P < 0.05$) 高于对照龙眼果实, 这可能是由于 H_2O_2 处理促进采后龙眼果肉超氧阴离子等活性氧大量产生, 破坏龙眼果肉细胞壁结构, 促使细胞壁物质与细胞壁降解酶接触, 从而导致龙眼果肉细胞壁物质的裂解而使果肉自溶流汁^[7]。

上述结果表明, 随着采后龙眼果实的衰老, 其果皮颜色逐渐变为褐色, 果肉逐渐溶解溃败。同时, H_2O_2 处理会加快采后龙眼果实果皮褐变和果肉自溶的发生。

2.4 H_2O_2 处理对采后龙眼果实商品率的影响

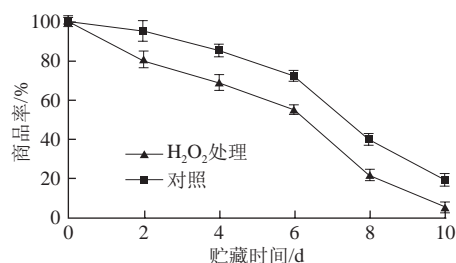


图4 H_2O_2 处理对采后龙眼果实商品率的影响

Fig. 4 Effects of hydrogen peroxide treatment on the percentage of marketable longan fruit

没有被病原菌侵染且 (或) 表面果皮褐变面积占果皮总面积少于1/4的龙眼果实为商业上可接受的水果, 即这种果实具有商品价值^[5,21]。由图4可知, 随着采后贮藏时间的延长, 龙眼果实的商品率逐渐下降, 而且在贮藏后期 (6~10 d) 的下降速率大于贮藏前期 (0~6 d), 这与龙眼果皮褐变指数在贮藏6~10 d快速上升一致 (图3a)。统计分析表明, 采后在贮藏2~10 d内, H_2O_2 处理的龙眼果实商品率显著 ($P < 0.05$) 低于对照龙眼果实。上述结果表明, H_2O_2 处理会促进采后龙眼果实商品率的下降。

3 讨论与结论

导致采后果蔬品质劣变的因素很多, 如采后果实衰老、失水、低温冷害、病原微生物侵染等因素都会导致采后果蔬品质劣变而缩短贮藏保鲜期^[1-2,7,16-17,22-24]。林福兴等^[22]报道, 采后“兰竹”荔枝果实果皮褐变发生进程中, 果皮活性氧超氧阴离子自由基产生速率快速增加, 认为采后活性氧的增加是导致采后荔枝果实衰老和果皮褐变发生的重要因素; 林河通等^[1]研究发现, 在龙眼果实采后失水所致果皮褐变过程中, 果皮超氧阴离子自由基

产生速率含量增加,认为采后龙眼果实失水所致果皮褐变与细胞内活性氧代谢的失调有关;鞠志国等^[23]研究认为,急降温处理所致低温贮藏鸭梨果实冷害果心褐变与活性氧 H_2O_2 的积累有关;Yi Chun等^[24]研究报道,霜疫霉菌(*Peronophythora litchi*)侵染采后荔枝果实,会导致活性氧清除能力下降而积累大量的活性氧,活性氧的积累会破坏细胞膜结构,造成膜系统区室化功能丧失,最终导致荔枝果皮褐变和果实病害的发生。因此认为,采后果蔬品质劣变可能与活性氧代谢有关,活性氧可能在采后果蔬品质劣变发生中起重要作用,但目前还缺乏实验证据。本研究认为,1.96 mmol/L的活性氧 H_2O_2 处理会促进采后龙眼果实果皮叶绿素、类胡萝卜素和类黄酮等色素含量的下降,保持较低的龙眼果肉可溶性糖、蔗糖和VC等营养物质含量,促进龙眼果皮褐变和果肉自溶发生,降低采后龙眼果实商品率。联系到活性氧 H_2O_2 处理会促进采后龙眼果实呼吸作用增强^[25],而呼吸作用的增强会进一步加速龙眼果肉可溶性糖、蔗糖和VC等营养物质含量的下降^[9]。据此认为,过量的活性氧(H_2O_2)在采后龙眼果实品质劣变中起重要的促进作用, H_2O_2 会促进采后龙眼果实外观品质劣变和果肉营养物质的降解,从而降低采后龙眼果实商品价值。生产实践中可以通过柠檬酸丙酯^[4,9-10,26]、抗坏血酸^[26]等外源活性氧清除剂处理,减少采后龙眼果实活性氧产生而延缓采后龙眼果实贮藏品质下降、提高采后龙眼果实保鲜效果。

参考文献:

- [1] 林河通,席均芳,陈绍军. 龙眼果实采后失水果皮褐变与活性氧及酚类代谢的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(3): 287-297.
- [2] MENZEL C, WAITE G. Litchi and longan: botany, cultivation and uses[M]. Wallingford, UK: CAB International, 2005: 273-295.
- [3] CHEN Y H, LIN H T, JIANG Y M, et al. *Phomopsis longanae* Chi-induced pericarp browning and disease development of harvested longan fruit in association with energy status[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 93: 24-28. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.02.003.
- [4] LIN Y F, HU Y H, LIN H T, et al. Inhibitory effects of propyl gallate on tyrosinase and its application in controlling pericarp browning of harvested longan fruits[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2013, 61: 2889-2895. DOI:10.1021/jf305481h.
- [5] CHEN M Y, LIN H T, ZHANG S, et al. Effects of adenosine triphosphate (ATP) treatment on postharvest physiology, quality and storage behavior of longan fruit[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(5): 971-982. DOI:10.1007/s11947-014-1462-z.
- [6] 陈梦茵,林河通,洪延康,等. DNP和ATP对*Phomopsis longanae* Chi侵染的龙眼果实病害发生、能荷状态和呼吸代谢的调控[J]. 现代食品科技, 2015, 31(5): 49-58; 89. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.009.
- [7] DUAN X W, ZHANG H Y, ZHANG D D, et al. Role of hydroxyl radical in modification of cell wall polysaccharides and aril breakdown during senescence of harvested longan fruit[J]. Food Chemistry, 2011, 128: 203-207. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.03.031.
- [8] 蔡艳,施丽愉,陈伟,等. UV-C处理对采后草莓果实品质和活性氧代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 128-136. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.03.017.
- [9] 林艺芬,林河通,陈艺晖,等. 柠檬丙酯处理对采后龙眼果实的保鲜效应[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 157-162. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.04.028.
- [10] LIN Y F, LIN Y X, LIN H T, et al. Inhibitory effects of propyl gallate on browning and its relationship to active oxygen metabolism in pericarp of harvested longan fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60: 1122-1128. DOI:10.1016/j.lwt.2014.10.008.
- [11] 赵云峰,林河通,王静,等. 热处理对龙眼果实采后生理和贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 124-133.
- [12] 赵云峰,林河通,林艺芬,等. 热处理延缓采后龙眼果实果皮褐变及其与酚类物质代谢的关系[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 218-224. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.05.038.
- [13] 刘洪竹,赵习姮,陈双颖,等. 热激处理对鲜切甜椒活性氧代谢及贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 310-314. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.01.039.
- [14] MARINHO H S, REAL C, CYRNE L, et al. Hydrogen peroxide sensing, signaling and regulation of transcription factors[J]. Redox Biology, 2014, 2: 535-562. DOI:10.1016/j.redox.2014.02.006.
- [15] 郭殿卿,冯作山,吴婧婧,等. 采后过氧化氢处理对伽师瓜贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 234-237.
- [16] LIN Y F, LIN H T, ZHANG S, et al. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 96: 42-48. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.05.001.
- [17] LIN Y F, LIN H T, LIN Y X, et al. The roles of metabolism of membrane lipids and phenolics in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 11: 53-61. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.05.001.
- [18] 林河通,瓮红利,张居念,等. 果实采前套袋对龙眼果实品质和耐贮性的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 232-237. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2006.11.047.
- [19] 林河通,赵云峰,席均芳. 龙眼果实采后果肉自溶过程中细胞壁组分及其降解酶活性的变化[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2007, 33(2): 137-145.
- [20] 赵云峰,林河通,王静,等. 热处理抑制采后龙眼果肉自溶及细胞壁物质降解[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 268-275. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.11.033.
- [21] JIANG Y M, ZHANG Z Q, JOYCE D C, et al. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(3): 241-252. DOI:10.1016/S0925-5214(02)00047-9.
- [22] 林福兴,林毅雄,刘木水,等. “乌叶”和“兰竹”荔枝果实采后果皮活性氧代谢的差异性[J]. 热带作物学报, 2014, 35(11): 2185-2190. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2014.11.015.
- [23] 鞠志国,原永兵,刘成连,等. 急降温对活性氧和梨果心褐变的影响[J]. 中国农业科学, 1994, 27(5): 77-81.
- [24] YI C, JIANG Y M, SHI J, et al. ATP-regulation of antioxidant properties and phenolics in litchi fruit during browning and pathogen infection process[J]. Food Chemistry, 2010, 118: 42-47. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.04.074.
- [25] LIN Y X, LIN Y F, CHEN Y H, et al. Hydrogen peroxide induced changes in energy status and respiration metabolism of harvested longan fruit in relation to pericarp browning[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(22): 4627-4632. DOI:10.1021/acs.jafc.6b01430.
- [26] 林毅雄,林艺芬,林河通,等. 活性氧清除剂处理对采后龙眼果实果皮褐变的影响[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(3): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2013.03.001.