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

赵云峰[1,2]，林河通[1,3]，林艺芬[1,3]，陈艺晖[1,3]，明艳林[4]

（1.福建农林大学食品科学学院，福建福州 350002）（2.盐城工学院化学与生物工程学院，江苏盐城 224051）（3.福建农林大学农产品产后技术研究所，福建福州 350002）（4.厦门华侨亚热带植物引种园，福建厦门 361002）

摘要：龙眼果实采后容易发生果皮褐变，是影响采后龙眼果实品质和货架期最重要的因素。热处理是一种能延缓果蔬衰老、保持贮藏品质的环保型采后物理处理方法。本文探讨热处理对采后龙眼果实果皮褐变和酚类物质代谢的影响。采后“福眼”龙眼果实用50 ℃热水处理10 min，晾干，用聚乙烯薄膜袋密封包装，置于（15±1）℃下贮藏。贮藏期间定期测定果皮褐变指数、总酚含量、苯丙氨酸解氨酶（PAL）、多酚氧化酶（PPO）和过氧化物酶（POD）活性的变化。结果表明：与对照果实相比，50 ℃热水处理10 min可有效降低采后龙眼果实果皮褐变指数，降低果皮PPO和POD活性，提高果皮PAL活性，保持较高的果皮总酚含量。因此认为，50 ℃热水处理10 min可有效降低采后龙眼果实酚类物质代谢，从而延缓采后龙眼果实果皮褐变的发生。

关键词：龙眼；果实；果皮褐变；酚类物质代谢；热处理

文章篇号：1673-9078(2014)5-218-224

Effect of Heat Treatment on Browning Delaying and Phenolics Metabolism in Pericarp of Harvested Longan Fruit

ZHAO Yun-feng[1,2], LIN He-tong[1,3], LIN Yi-fen[1,3], CHEN Yi-hui[1,3], MING Yan-lin[4]

(1.College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China) (2.School of Chemical and Biological Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China) (3.Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China) (4.Xiamen Overseas Chinese Subtropical Plant Introduction Garden, Xiamen 361002, China)

Abstract: Harvested longan is susceptible to pericarp browning, which is the most important factor affecting the quality and shelf-life of harvested longan. Heat treatment is an environment-friendly postharvest physical treatment, which can delay senescence and maintain quality of harvested fruits and vegetables. Effects of heat treatment on browning and phenolics metabolism in pericarp of harvested longan (*Dimocarpus longan* Lour.) were investigated in this paper. The harvested ‘Fuyan’ longans were treated with hot water at 50 ℃ for 10 minutes. Then they were dried, packaged and stored at (15±1) ℃. During storage, browning index, total phenolics content, activities of phenylalanine ammonialyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) in pericarp of harvested longan were determined. The results showed that as compared to the control fruits, the treatment with hot-water effectively reduced browning index, decreased PPO and POD activity, increased PAL activity, and remained higher total phenolics content in pericarp of harvested longan. Therefore, hot water treatment at 50 ℃ for 10 minutes can effectively reduce phenolics metabolism, thereby delaying the occurrence of browning in pericarp of harvested longan.

Key words: *Dimocarpus longan* Lour.; fruit; pericarp browning; metabolism of phenolics; heat treatment

收稿日期：2014-01-23

基金项目：国家自然科学基金项目（30972070、31171776、31201445）；国家科技支撑计划项目(2007BAD07B06)；高等学校博士学科点专项科研基金项目（20123515120016、20133515110014）；福建省自然科学基金项目（2011J01079、2012J05040）

作者简介：赵云峰（1977-），男，博士，副教授，研究方向：农产品加工及贮藏工程

通迅作者：林河通（1967-），男，博士，教授，博士生导师，研究方向：农产品加工及贮藏工程；明艳林（1974-），男，博士，研究员，研究方向：食品科学

龙眼（*Dimocarpus longan* Lour.）是我国南方主要的亚热带果树之一，主产于福建、广东、广西和台湾等省（区）。龙眼属于非跃变型果实，成熟于高温季节，采后极易发生果皮褐变，是影响采后龙眼果实品质和货架期最重要的因素。因此，探索切实可行的控制采后龙眼果实果皮褐变的保鲜措施对龙眼远距离、长时间的贮运和销售将起到巨大的促进作用。前人研究发现，影响龙眼果实采后果皮褐变的因素有：果皮失水、能量亏缺、病原微生物侵染、采收期、低温冷害[1~6]等。果蔬在贮藏期间的褐变主要是酚类物质酶促氧化的结果，酶促褐变与酚类物质含量、组分和多酚氧化酶（PPO）活性密切相关[7~10]，还可能与苯丙胺酸解氨酶（PAL）和过氧化物酶（POD）等相关酶活性有关[11~13]。热处理作为一种无毒、环保的果蔬采后物理处理方法，能延缓果蔬衰老、保持果蔬贮藏品质[14]。Lichter等[15]研究认为，热水处理能降低荔枝采后果皮PPO活性，延缓褐变发生。邵兴锋等[16]研究发现，38 ℃ 96 h热空气处理能在贮藏中后期提高苹果的PAL、POD活性和总酚含量。谢晓娜等[17]研究发现，50 ℃热水处理20 min能显著抑制豇豆豆荚PPO和POD活性，提高PAL活性。笔者前期的研究认为，50 ℃热水处理10 min可以作为提高采后龙眼果实贮藏效果的适宜热处理条件。目前有关热处理对采后龙眼果实果皮褐变和酚类物质代谢的影响未见报道。本文以“福眼”龙眼果实为材料，研究热处理对采后龙眼果实果皮褐变和酚类物质代谢的影响，旨在为热处理控制采后龙眼果实果皮褐变、延长果实保鲜期提供科学依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

以福建省主栽名优龙眼品种“福眼”（Dimocarpus longan Lour. cv. Fuyan）果实为试验材料，大约九成熟，供试材料采自福建省安溪县龙眼科技示范场，采收当天运至福建农林大学农产品产后技术研究所食品保鲜实验室（福州），挑选大小、色泽基本一致、无损伤、无病虫害的健康果实进行以下处理。将果实浸泡于1.0 mL/L戴挫霉溶液中3 min，杀菌，晾干后，随机将果实分为2组：（1）热处理：50 ℃热水处理10 min。（2）对照：不经热水处理。取出果实通风晾干，冷却至室温，用0.015 mm厚的聚乙烯薄膜袋密封包装，每袋装果50个，然后置于（15±1）℃、相对湿度80%的环境下贮藏。贮藏期间定期取样观察果皮褐变情况和测定有关生理生化指标。

1.2 测定方法

1.2.1 果皮褐变指数测定

参照林河通等[2]介绍的方法。每次随机取50个果实，按照果皮内表面褐变面积大小把果皮褐变程度分为6级。1级：褐变面积为0；2级：褐变面积<1/4；3级：1/4≤褐变面积<1/2；4级：1/2≤褐变面积<3/4；5级：3/4≤褐变面积<1；6级：全部褐变。果皮褐变指数=Σ(褐变级数×该级果数) / 总果数。

1.2.2 总酚含量测定

从10个龙眼果实中部称取2 g果皮组织，按照林河通等[18]的方法测定总酚含量，结果以OD_{280nm}/g FW表示。

1.2.3 苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性测定

参照Duan等[19]的方法。从10个龙眼果实中部称取1 g果皮组织，加入0.1 mol/L pH 8.8硼酸-硼砂缓冲液（含2 mmol/L EDTA、5 mmol/L巯基乙醇），在冰浴中研磨成匀浆，在4 ℃下15000 r/min离心20 min，取上清液用于酶活性测定。

在试管中依次加入3 mL 50 mol/L pH8.8硼酸-硼砂缓冲液，0.5 mL 20 mmol/L l-苯丙氨酸溶液，0.5 mL酶液，置于37 ℃保温60 min，立即加入0.1 mL 6 mol/L HCl溶液终止反应，最后加入4.1 mL 50 mol/L pH8.8硼酸-硼砂缓冲液，混匀后于290 nm处测其OD值。以每小时酶促反应体系吸光值改变0.1为1个酶活力单位（U）。

1.2.4 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性测定

参照Duan等[19]的方法。酶液提取：从10个龙眼果实中部称取1 g果皮组织，加入50 mmol/L pH 5.5的磷酸缓冲液，在冰浴中研磨成匀浆，在4 ℃ 15000 r/min下离心20 min，取上清液用于酶活性测定。

PPO活性测定：酶反应体系中包括4.0 mL 50 mmol/L pH 5.5的磷酸缓冲液，1 mL 0.1 mol/L邻苯二酚溶液和1 mL酶液。反应体系加入酶液后，立即于35 ℃保温10 min，然后迅速转入冰浴中，并加入2 mL 20% TCA终止反应，15000 r/min离心10 min，收集上清液，于525 nm处测定OD值。以每分钟OD_{525nm}变化0.001为1个PPO酶活性单位（U）。

POD活性测定：酶反应体系包括3.0 mL 50 mmol/L pH 5.5的磷酸缓冲液，1 mL 2 % H_2O_2，1 mL 50 mmol/L愈创木酚和1 mL酶液。反应体系加入酶液后，立即于35 ℃保温15 min，然后迅速转入冰浴中，并加入2 mL 20% TCA终止反应，15000 r/min离心10 min，收集上清液，于470 nm处测定OD值。以每分钟$OD_{470\,nm}$

变化0.001为1个POD酶活性单位（U）。

以上所有指标测定均重复3次，采用SPSS数据分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 热处理对采后龙眼果实果皮褐变指数的影响

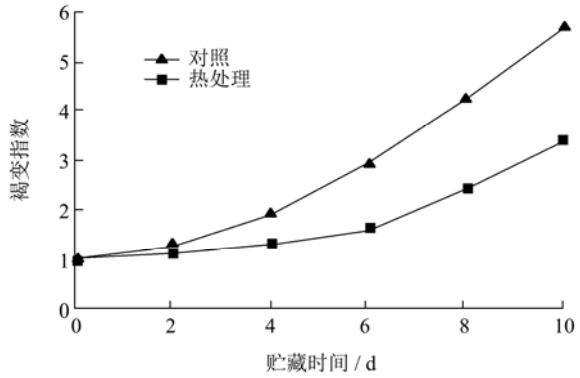


图 1 热处理对采后龙眼果实果皮褐变指数的影响

Fig.1 Effects of heat treatment on browning index in pericarp of harvested longan

褐变指数常用来表示果实褐变程度，是果实贮藏品质、货架寿命和商品性的重要指标。由图1可知，采后龙眼果实果皮褐变指数随贮藏时间的延长不断上升。对照果实果皮褐变指数在贮藏0~2 d内缓慢上升，之后褐变发生情况进一步加重，褐变指数快速上升，贮藏至第10 d褐变指数达5.76。而经热处理的果实果皮褐变指数在贮藏0~2 d内变化不明显，只有个别果实果皮出现褐变现象，贮藏2~6 d内褐变指数缓慢上升，之后快速上升，贮藏至第10 d褐变指数达3.42。统计分析表明，在整个贮藏期间，经热处理的龙眼果皮褐变指数都低于对照，且除第2 d外，差异达到显著（$P<0.05$）水平。由此表明，热处理可有效抑制采后龙眼果实果皮褐变的发生。

2.2 热处理对采后龙眼果实果皮总酚含量的影响

酚类物质是植物体内分布最为广泛的次生代谢物质，它不仅是参与褐变反应的必要酶促底物，还是植物防御体系的重要部分。由图2可知，采后龙眼果实果皮总酚含量呈不断下降的趋势。对照和经热处理的果实果皮总酚含量在贮藏0~2 d内缓慢增加，之后对照果实果皮总酚含量快速减少，而经热处理的果实果皮总酚含量在贮藏2~6 d内变化不大，6~8 d快速减少，之后略有减少。统计分析表明，在贮藏4~10 d内，经热处理的龙眼果实果皮总酚含量显著（$P<0.05$）高于对照。由此表明，热处理可保持较高的采后龙眼果实果皮酚类物质含量。

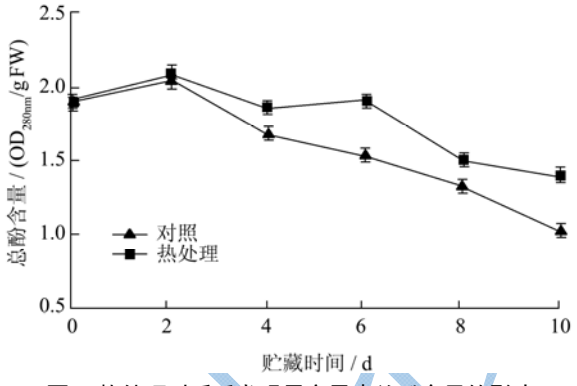


图 2 热处理对采后龙眼果实果皮总酚含量的影响

Fig.2 Effects of heat treatment on total phenolics content in pericarp of harvested longan

2.3 热处理对采后龙眼果实果皮苯丙氨酸解氨酶（PAL）活性的影响

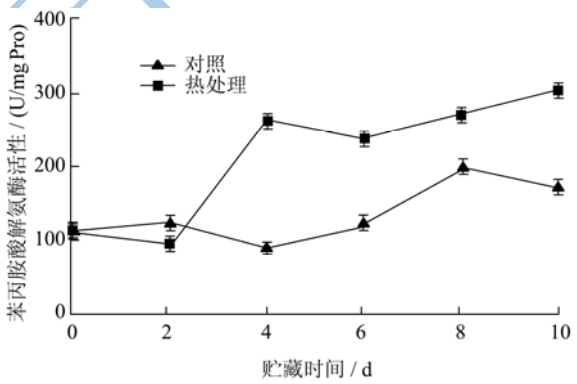


图 3 热处理对采后龙眼果实果皮 PAL 活性的影响

Fig.3 Effects of heat treatment on PAL activity in pericarp of harvested longan

植物组织的褐变是由酚类物质氧化所致，而PAL是酚类物质合成的关键酶。由图3可知，采后龙眼果实果皮PAL活性在不同贮藏时期变化趋势不同。对照果实果皮PAL活性在贮藏0~2 d内略有上升，2~4 d内快速下降，4~8 d内快速上升，之后又快速下降。而经热处理的果实在贮藏0~2 d内，其果皮PAL活性缓慢下降，2~4 d内急剧上升，4~6 d内快速下降，之后快速上升。统计分析表明，在贮藏4~10 d内，经热处理的龙眼果实果皮PAL活性极显著（$P<0.01$）高于对照。由此表明，热处理可以显著地促进采后龙眼果实果皮PAL活性的上升。

2.4 热处理对采后龙眼果实果皮多酚氧化酶

（PPO）活性的影响

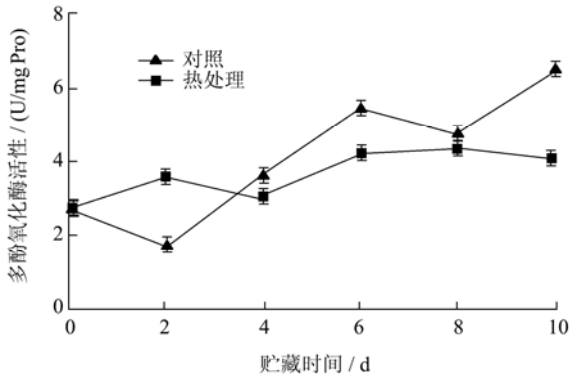


图 4 热处理对采后龙眼果实果皮 PPO 活性的影响

Fig.4 Effects of heat treatment on PPO activity in pericarp of harvested longan

PPO一般是指儿茶酚氧化酶和漆酶的统称，通常认为它是引起果实酶促褐变的主要酶类。从图4可看出，不同处理的龙眼果实果皮PPO活性变化趋势不同。对照果实果皮PPO活性在贮藏0~2 d内快速下降，2~6 d内快速上升，6~8 d内快速下降，之后又快速上升。而经热处理的果实果皮PPO活性在贮藏0~2 d内缓慢上升，2~4 d内快速下降，4~6 d内快速上升，之后变化不大。进一步比较发现，经热处理的龙眼果实果皮PPO活性在贮藏4~10 d内高于对照，尤其在贮藏第6 d和第10 d差异达显著（$P<0.05$）水平。由此表明，热处理可有效降低采后龙眼果实果皮PPO的活性，这是可能因为龙眼果皮PPO的最适温度为35 ℃[20]、50 ℃，10 min条件下PPO活性被部分钝化。

2.5 热处理对采后龙眼果实果皮过氧化物酶（POD）活性的影响

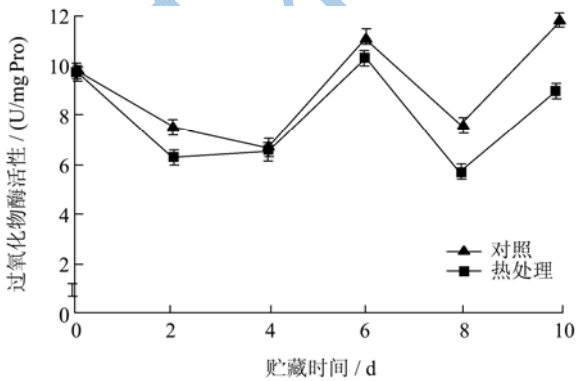


图 5 热处理对采后龙眼果实果皮 POD 活性的影响

Fig.5 Effects of heat treatment on POD activity in pericarp of harvested longan

POD是果蔬成熟和衰老的指标之一，可参与酚类物质的氧化和黑色素的形成。由图6可见，采后龙眼果实果皮POD活性变化趋势相同，但不同处理变化幅度不同。对照果实果皮POD活性在贮藏0~4 d内快速下降，4~6 d内快速上升，6~8 d内快速下降，之后又快速上升。而经热处理的果实果皮POD活性在贮藏0~2 d内快速下降，2~4 d内缓慢上升，4~6 d内快速上升，6~8 d内急剧下降，之后又快速上升。进一步比较发现，在整个贮藏期间，经热处理的龙眼果实果皮快POD活性都低于对照，尤其在贮藏第8 d和第10 d差异达显著（$P<0.05$）水平。由此表明，热处理可有效降低采后龙眼果实果皮POD的活性。

3 讨论

3.1 采后龙眼果实果皮褐变与酚类物质含量及相关代谢酶活性的关系

果蔬贮藏过程中发生的组织褐变主要是酶促褐变，首先是果实组织中酚类物质在酶的作用下先氧化为醌类，然后醌类聚合形成褐色物质，从而引起组织褐变，其中，酚类物质、酚氧化酶酶和O_2是酶促褐变的三要素，三者缺一不可[21]。研究表明，酶促褐变与PPO、POD、PAL等酶有关[22]。PPO是植物体内普遍存在的一种含铜离子的膜结合蛋白酶，在组织细胞内以游离态和结合态两种形式存在，细胞质膜一旦被破坏，结合态PPO便会转化为游离态PPO。PPO能在有氧条件下催化将酚类物质转变成红褐色，再与氨基酸氧化缩合生成黑褐色聚合物[23]。POD具有双重功能，一方面能清除过氧化氢（H_2O_2）和脂类氢过氧化物，维持组织中活性氧代谢平衡；另一方面是在H_2O_2存在下，参与酚类物质和类黄酮的氧化和聚合，导致组织褐变[23]。PAL与酚类物质的合成和诱导抗病性密切相关，是连接初级代谢和苯丙烷类代谢、催化苯丙烷类代谢第一步反应的酶，是苯丙烷类代谢的关键酶和限速酶，它可以催化苯丙氨酸脱氨基生成苯乙烯酸。PAL是一种诱导酶，受到环境因子的影响[24]。正常情况下，酚类物质分布于液泡中，而PPO、POD位于细胞壁、细胞膜和细胞质中，底物与酶的区域化分布阻止了它们之间的接触，从而避免了酶促褐变的发生。然而随着细胞膜遭到破坏，膜透性增大，细胞区域化逐渐丧失，使得底物和酶相互接触，最终导致果实褐变[25]。Zhan等[26]研究认为，鲜切生菜褐变与PPO、POD活性和及醌积累有关。Jin等[27]研究发现，桃果实褐变是由PPO、POD和PAL共同作用引起的。罗自生等[24]研究鲜切竹笋后发现，随着褐变指数的上升，PAL、PPO、POD活性迅速上升，总酚积累增加。陆胜民等[25]认为，

去壳雷笋的褐变并非由PPO引起，而有可能是POD和PAL作用所致。有研究报道，梨果实中褐变相关酶（PPO、POD、PAL等）活性、酚类物质组分及含量对其酶促褐变的影响程度因品种不同而存在差异[13,28]。本研究结果显示，对照组龙眼果实采后果皮褐变指数不断上升（图1），果皮总酚含量在贮藏前2天略有增加（图2），这可能与同期PAL活性上升（图3），合成大量酚酸和类黄酮等苯丙烷类次生代谢物质有关，之后总酚含量不断减少，这可能是由于PPO和POD活性的升高和作为活性氧清除剂（图4、图5），酚类物质被大量消耗所致。相关性分析结果显示，龙眼果实采后果皮褐变与总酚含量呈极显著（$P<0.01$）负相关，相关系数r=-0.9783，表明果皮褐变程度越高，总酚含量越少，这与赵云峰等[29]对茄子的研究结果相一致。龙眼果实采后果皮PAL、PPO和POD活性总体呈先下降后上升的趋势（图3、图4、图5），贮藏前期活性下降可能是由于贮藏温度低于采收温度，酶活性被抑制；贮藏中后期PAL活性上升可能是由于果实衰老过程中产生大量活性氧，从而诱导生成PAL，激活防卫系统之一的苯丙烷类代谢；而PPO和POD在贮藏中后期活性的增加可能与结合态PPO和POD转变为游离态有关，此外，PPO和POD活性的上升，促进酚类物质的氧化，一是会引起果皮褐变的发生，二是不利于具有清除活性氧自由基功能的酚类物质的积累。相关性分析结果显示，龙眼果实采后果皮褐变与PAL、PPO和POD活性呈显著性（$P<0.05$）正相关，相关系数分别为r=0.7738、0.8964、0.4743，由此表明，龙眼果实采后果皮褐变与PAL、PPO和POD活性密切相关，且影响顺序为：PPO>PAL>POD。

3.2 热处理延缓采后龙眼果实果皮酚类物质代谢的可能机理

许多研究表明，热处理可以通过影响果蔬酚类物质及其相关代谢酶的活性，从而延缓褐变的发生，但是作用的机制却有差异。Khademi等[30]研究发现，45 ℃热水处理柿子30 min或50 ℃处理20 min，可降低POD的活性，而对PPO和PAL活性的影响不显著。Nishimura等[31]将绿豆芽浸泡在50 ℃温水中60 s后发现，热处理显著抑制了PAL活性的增加和酚类物质的积累，但是对PPO活性的影响不显著。张福平等[32]研究认为，50 ℃热水处理黄皮果20 min可显著抑制PPO和POD的活性，提高PAL活性。张兰等[33]以蚕豆为材料，研究发现45 ℃热水处理60 s可显著降低PPO和PAL活性，抑制总酚含量及褐变度的上升，但对POD活性的影响不显著。本研究结果显示，50 ℃热水处理10 min可显著抑制龙眼果实采后果皮褐变指数的上升（图1），抑制PPO、POD活性的增加（图4、图5），提高PAL的活性（图3），延缓总酚含量的下降（图2）。因此认为，热处理能提高与酚类物质合成有关的PAL活性，增强果实组织抗衰老能力；同时，热处理能有效降低与采后龙眼果实果皮酶促褐变有关的PPO和POD活性，较好维持果皮细胞膜区室化结构的完整性，避免褐变底物（总酚）与酶（PPO、POD）接触，从而延缓采后龙眼果实果皮褐变的发生。

4 结论

50 ℃热水处理10 min可有效延缓采后龙眼果实果皮褐变指数的增加，降低果皮PPO和POD活性，提高果皮PAL的活性，保持较高的果皮总酚含量。因此认为，50 ℃热水处理10 min可有效降低采后龙眼果实果皮酚类物质代谢，从而延缓采后龙眼果实果皮褐变的发生。

参考文献

[1] 陈莲,陈梦茵,林河通,等.解偶联剂DNP处理对采后龙眼果实果皮褐变和活性氧代谢的影响[J].中国农业科学，2009,42(11):4019-4026
CHEN L, CHEN M Y, LIN H T, et al. Effects of uncouple agent DNP treatment on browning and active oxygen metabolism in pericarp of harvested longan fruit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(11): 4019-4026

[2] 林河通,席玙芳,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
LIN H T, XI Y F, CHEN S J. The relationship between the desiccation-induced browning and the metabolism of active oxygen and phenolics in pericarp of postharvest longan fruit [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005, 31(3): 287-297

[3] 陈艺晖,林河通,林艺芬,等.拟茎点霉侵染对龙眼果实采后果皮褐变和活性氧代谢的影响[J].中国农业科学，2011,44(23):4858-4866
CHEN Y H, LIN H T, LIN Y F, et al. Effects of *phomopsis longanae* chi infection on browning and active oxygen metabolism in pericarp of harvested longan fruits [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 44(23): 4858-4866

[4] 林河通,陈绍军,席玙芳.采收期对龙眼果实品质和耐贮性的影响[J].农业工程学报,2004,19(6):179-184
LIN H T, CHEN S J, XI Y F. Effects of harvesting date on

quality and storability of longan fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 19(6): 179-184

[5] 周云,季作梁.龙眼冷藏适温及其冷害的研究[J].园艺学报, 1997,24(1):13-18
ZHOU Y, JI Z L. Study on the optimum storage temperature and chilling injury mechanism of longan fruit [J]. Acta Horticultu ae Sinica, 1997, 24(1): 13-18

[6] Jiang Y, Zhang Z, 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

[7] Altunkaya A, Gökmen V. Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*) [J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 122-126

[8] Queiroz C, da Silva A J R, Lopes M L M, et al. Polyphenol oxidase activity, phenolic acid composition and browning in cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) after processing [J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 128-132

[9] Jung S K, Watkins C B. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored 'Empire' apple fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(3): 219-226

[10] Hong K Q, Xu H B, Wang J N, et al. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 151: 68-74

[11] Chisari M, Todaro A, Barbagallo R N, et al. Salinity effects on enzymatic browning and antioxidant capacity of fresh-cut baby romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Duende) [J]. Food chemistry, 2010, 119(4): 1502-1506

[12] Graham-Acquaah S, Ayernor G S, Bediako-Amoa B, et al. Spatial distribution of total phenolic content, enzymatic activities and browning in white yam (*Dioscorea rotundata*) tubers [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012: 1-6

[13] 邹丽红,张玉星.砂梨果肉褐变与酚类物质及相关酶活性的相关分析[J].果树学报, 2012,29(6):1022-1026
ZOU L H, ZHANG Y X. Correlation analysis of flesh browning between phenolic compound and relavent enzymatic activity in fruit of *pyrus pyrifolia* [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6): 1022-1026

[14] Lu J, Vigneault C, Charles M T, et al. Heat treatment application to increase fruit and vegetable quality [J]. Stewart Postharvest Review, 2007, 3(3): 1-7

[15] Lichter A, Dvir O, Rot I, et al. Hot water brushing: an alternative method to SO_2 fumigation for color retention of litchi fruits [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 18(3): 235-244

[16] 邵兴锋,屠康,静玮,等.热处理对红富士苹果贮藏期间青霉病的抑制效果[J].园艺学报,2007,34(3):743-746
SHAO X F, TU K, JING W, et al. Effec t of pre-storage hot air treatment on the blue mold rot of '*Red Fuji*' apple fruit [J]. Acta Horticultu ae Sinica, 2007, 34(3): 743-746

[17] 谢晓娜,沈少芸,陈圆圆,等.热水处理对豇豆贮藏品质的影响[J].广东农业科学,2011,38(1):104-107
XIE X N, Shen S Y, Chen Y Y, et al. Effect of hot water treatment on quality of vigna sinensis fruit during storage [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(1): 104-107

[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
LIN H T, Weng H L, Zhang J N, et al. Effects of fruit pre-harvest bagging on the quality and post-harvest storability of longan fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(11): 232-237

[19] Duan X W, Su X G, You Y L, et al. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism [J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 571-576

[20] Jiang Y M. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit [J]. Food Chemistry, 1999, 66(1): 75-79

[21] 杨巍,刘晶,吕春晶,等.氯化钙和抗坏血酸处理对鲜切苹果品质和褐变的影响[J].中国农业科学,2010,43(16): 3402-3410
YANG W, LIU J, LV C J, et al. Effects of $CaCl_2$ and AsA treatments on quality and browning in fresh-cut apple [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(16): 3402-3410

[22] Sun J, Xiang X, Yu C Y, et al. Variations in contents of browning substrates and activities of some related enzymes during litchi fruit development [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 120(4): 555-559

[23] 李宁,阎瑞香,王步江.不同包装方式对白灵菇低温保鲜效果的影响[J].农业工程学报,2011,27(7):377-382
LI N, YAN R X, WANG B J. Effect of different package methods on quality of Pleurotus nebrodensis during cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 377-382

[24] 罗自生,张莉.壳聚糖/纳米 SiOx 复合物涂膜对鲜切竹笋品质和生理的影响[J].中国农业科学,2010,43(22):4694-4700
LUO Z S, ZHANG L. Effect of chitosan/nano-SiOx complex

on quality and physiology of fresh-cut bamboo shoot [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(22): 4694-4700

[25] 陆胜民,孔凡春.低氧气调包装对去壳雷笋褐变和木质化的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(4):387-392
LU S M, KONG F C. Effects of low oxygen-modified atmosphere packaging on browning and lignification of peeled bamboo shoots [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30(4): 387-392

[26] Zhan L J, Li Y, Hu J Q, et al. Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 14: 70-76

[27] Jin P, Zheng Y H, Tang S S, et al. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(1): 24-29

[28] 张亚伟,陈义伦.不同品种梨汁酶促褐变因子及相关性[J].中国农业科学,2011,44(9):1880-1887
ZHANG Y W, CHEN Y L. Enzymatic browning factors of pear Juice in different varieties and its correlation with enzymatic browning [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(9): 1880-1887

[29] 赵云峰,林瑜,吴玲艳.热处理对冷藏茄子果实褐变及酚类物质代谢的影响[J].食品科技, 2012,37(11):45-49
ZHAO Y F, LI Y, WU L Y. Effects of heat treatment on browning and metabolism of phenolics in cold-stored eggplant fruits [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(11): 45-49

[30] Khademi O, Salvador A, Zamani Z, et al. Effects of hot water treatments on antioxidant enzymatic system in reducing flesh browning of persimmon [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012: 1-9

[31] Nishimura M, Sameshima N, Joshita K, et al. Regulation of enzymatic browning of mung bean sprout by heat-shock treatment [J]. Food Science and Technology Research, 2012, 18(3): 413-417

[32] 张福平,林晓萍.热水处理对黄皮果实贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(4):299-303
ZHANG F P, LIN X P. Effect of hot water treatment on quality of wampee fruit during storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(4): 299-303

[33] 张兰,郑永华,汪峰,等.热激处理对冷藏蚕豆种子褐变和有关酶活性的影响[J].植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(4):327-331
ZHANG L, ZHENG Y H, WANG F, et al. Effect of heat shock treatment on browning and related enzyme activities in cold-stored broadbean seeds [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(4): 327-331

欢迎订阅 EI 收录期刊、中文核心期刊

《现代食品科技》

邮发代号：46-349　　刊号：ISSN 1673-9078/CN 44-1620

每期定价 15 元，全年 12 期仅 180 元。欢迎食品及相关行业的机构和科学工作者到各地邮局订阅，并踊跃投稿或建立广告宣传和产学研合作关系。

地址：广州五山华南理工大学轻工与食品学院麟鸿楼 508，邮编：510640

电话：020-87113352

E-mail：xdspkj@126.com

投稿系统：www.xdspkj.cn