采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮褐变的差异性研究

林福兴，林毅雄，刘木水，林艺芬，陈艺晖，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：果皮褐变是影响采后荔枝果实品质和货架期最重要的因素。本文比较研究了在（8±1）℃贮藏条件下“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮褐变的差异性及其与酚类物质代谢的关系。结果表明：与“兰竹”荔枝果实相比，采后“乌叶”荔枝果实较不容易发生果皮褐变，贮藏期间，“乌叶”荔枝果实的果皮褐变指数显著低于“兰竹”；“乌叶”荔枝果实的果皮花色素苷、类黄酮和总酚含量高于“兰竹”，而多酚氧化酶（PPO）和过氧化物酶（POD）活性则低于“兰竹”。贮藏期间，荔枝果皮的花色素苷、总酚、类黄酮含量和 PPO 活性不断下降，而 POD 活性则不断上升，但在同一贮藏期间，“乌叶”荔枝果皮的花色素苷、总酚、类黄酮含量都高于“兰竹”，而 PPO 和 POD 活性则低于“兰竹”。据此认为，采后“乌叶”荔枝果实较不容易发生果皮褐变与其保持较低的果皮 PPO 和 POD 活性而减少果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量的下降有关。

关键词：荔枝；果实；果皮；褐变；酚类物质代谢；品种

文章篇号：1673-9078(2015)3-121-125 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.021

The Difference in Pericarp Browning between Harvested ‘Wuye’ and ‘Lanzhu’ Litchis

LIN Fu-xing, LIN Yi-xiong, LIU Mu-shui, LIN Yi-fen, CHEN Yi-hui, LIN He-tong

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

Abstract: Harvested litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit is susceptible to pericarp browning, which is the most important factor affecting the quality and shelf-life of this fruit. The difference in the pericarp browning between harvested ‘Wuye’ and ‘Lanzhu’ litchis was investigated during storage at 8 ± 1℃ in relation to phenolics metabolism. The results showed that as compared with ‘Lanzhu’ litchis, ‘Wuye’ litchis tended to be less susceptible to pericarp browning, and the browning index in the pericarp of ‘Wuye’ litchis during storage was remarkably lower than that of ‘Lanzhu’ litchis. There were higher contents of anthocyanin, total phenolics, and flavonoid in the pericarp of harvested ‘Wuye’ litchis than those of ‘Lanzhu’ litchis, whereas the activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) were lower as compared with ‘Lanzhu’ litchis. During storage, the contents of anthocyanin, total phenolics, and flavonoid as well as PPO activity in the pericarp of harvested ‘Wuye’ litchis and ‘Lanzhu’ litchis decreased continuously, while POD activity showed a continuous increase. However, during the same storage time, there were higher contents of anthocyanin, total phenolics, and flavonoid as well as lower activities of PPO and POD in the pericarp of ‘Wuye’ litchis than those in ‘Lanzhu’ litchis. From the results, it can be concluded that, ‘Wuye’ litchis tend to be less susceptible to pericarp browning, which is related to low PPO activity and decrease in anthocyanin, total phenolics, and flavonoid contents.

Key words: litchi (*Litchi chinensis* Sonn.); fruit; pericarp; browning; phenolics metabolism; cultivar

荔枝（*Litchi chinesis* Sonn.）为无患子科（Sapindaceae）荔枝属（Litchi Sonn.）亚热带常绿果树。目前中国、澳大利亚、泰国、越南、菲律宾、印度、斯里兰卡、南非、毛里求斯等国家有商业化栽培。中国是世界上荔枝栽培面积最大、总产量最多的国家，主要分布广东、广西、福建、海南、台湾等省（自治区）。荔枝果实营养丰富，具有较高的药用价值和保健作用，深受消费者喜爱。但是，中国荔枝果实成熟于

收稿日期：2014-08-15

基金项目：国家科技支撑计划专项(2007BAD07B06)；农业部公益性行业荔枝科研专项（nyhyzx07-031)；福建省重点科技项目(2006S0003)；福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划（闽教科〔2007〕20 号）资助

作者简介：林福兴（1990-），男，硕士研究生，研究方向：农产品加工及贮藏工程

通讯作者：林河通（1967-），男，博士，教授，研究方向：农产品加工及贮藏工程；林艺芬（1986-），女，博士，讲师

夏季 5~7 月高温季节，采后生理代谢旺盛，极易发生果皮褐变等品质劣变现象，严重影响荔枝果实贮藏期和外观品质[1]。因此，开展荔枝果实采后果皮褐变机理研究和开发果皮褐变控制措施对荔枝产业发展、提升荔枝产业经济效益的意义重大。前人研究发现，采后荔枝果实果皮褐变可能与果皮的失水程度[2~3]、病原微生物侵染[4]及能荷状况[5~7]等因素有关，这些因素会引起荔枝果实果皮多酚氧化酶（PPO）活性、过氧化物酶（POD）活性、花色素苷、总酚和类黄酮含量的变化，从而导致褐变的发生。林艺芬等[8]研究认为，福建省主栽的 2 个名优荔枝品种“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮的褐变存在差异，其中采后“兰竹”荔枝果实果皮比“乌叶”荔枝果实果皮更容易发生褐变，但其褐变的差异性与酚类物质代谢的关系未见报道。本文以福建省主栽名优品种“乌叶”和“兰竹”荔枝果实为材料，研究采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮褐变的差异性及其与酚类物质代谢的关系，旨在阐明耐贮性不同的荔枝果实采后褐变与酚类物质代谢的关系，为荔枝保鲜中选择不易褐变、耐贮藏的荔枝品种提供理论依据和生产指导。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试荔枝品种“乌叶”（Litchi chinensis Sonn. cv. Wuye）和“兰竹”（Litchi chinensis Sonn. cv. Lanzhu）果实采自福建省龙海市九湖荔枝园，在果实大约九成熟时采收。采收当天果实运至福建农林大学农产品产后技术研究所食品贮藏保鲜实验室（福州），选择大小均匀、色泽一致，无病虫、无损伤的健康果实进行试验。经挑选后的荔枝果实先用水清洗，之后再用 25% 的抑霉唑（Imazalil）杀菌剂 1.0 mL/L 浸果 5 min，晾干后用 0.03 mm 厚的聚乙烯薄膜袋包装，每袋装果 50 个，在（8±1）℃下贮藏。定期取样观察和测定果皮酚类物质代谢有关指标。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 果皮褐变指数的测定

参照林艺芬等[8]的方法测定荔枝果皮褐变指数。每次随机取 50 个荔枝果实，按照果皮外表面褐变面积大小把果皮褐变程度分为 6 级。1 级果：没有褐变；2 级果：褐变面积<1/4；3 级果：1/4≤褐变面积＜1/2；4 级果：1/2≤褐变面积＜3/4；5 级果：褐变面积≥3/4；6 级果：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 果皮花色素苷、总酚、类黄酮含量的测定

从 10 个荔枝果实中取果皮 2 g，按照林河通等[9]的方法测定荔枝果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量。以△$OD_{530\,nm\sim600\,nm}$=0.1 作为一个花色素苷单位（U），结果以 U/g FW 表示；总酚含量以没食子酸作标准曲线加以计算含量，结果以 mg/g FW 表示；类黄酮含量结果以 $OD_{325\,nm}$/g FW 表示。

1.2.3 果皮多酚氧化酶（PPO）和过氧化物酶（POD）活性的测定

从 10 个荔枝果实中取果皮 2 g，加 0.2 g 聚乙烯吡咯烷酮（PVP）于 10 mL 50 mmol/L pH 5.5 磷酸缓冲液中，在冰浴中研磨成匀浆，在 15000×g 4 ℃下离心 20 min，之后取上清液用于酶活性测定。PPO 活性的测定参照 Jiang 等[10]的方法，以每分钟 $OD_{525\,nm}$ 变化 0.01 为一个 PPO 酶活性单位（U），结果以 U/mg protein 表示；POD 活性的测定参照 Zhang 等[11]的方法，以每分钟 $OD_{470\,nm}$ 变化 0.01 为一个 POD 酶活性单位（U），结果以 U/mg protein 表示。

1.2.4 果皮可溶性蛋白质含量的测定

按照 Jiang 等[10]的方法测定荔枝果皮可溶性蛋白质含量，以牛血清蛋白作标准曲线。

1.3 数据分析

以上各指标测定均重复3次。数据采用SPSS 16.0数据分析软件进行方差分析(ANOVA)和Ducan多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮褐变指数的变化

由图 1 可知，采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮褐变指数均随着贮藏时间的延长而上升，但是在贮藏的同一阶段，不同品种的荔枝果实果皮的褐变程度不同。其中，“兰竹”荔枝果实果皮褐变指数在贮藏 0~20 d 内迅速上升，20 d 之后缓慢上升；而 “乌叶”荔枝果实果皮褐变指数在贮藏 0~15 d 内上升缓慢，15 d 之后则迅速上升。进一步比较发现，在整个贮藏期间的同一时间，“兰竹”荔枝果实果皮褐变指数均高于“乌叶”荔枝果实。如贮藏至第 15 天、第 20 天和第 25 天时，“兰竹”荔枝果实果皮褐变指数分别为“乌叶”荔枝果实的 2.1、1.7 和 1.3 倍，两者间的差异极显著（P<0.01）。上述结果表明，“兰竹”荔枝果实果皮比“乌叶”荔枝果

实果皮更容易发生褐变。

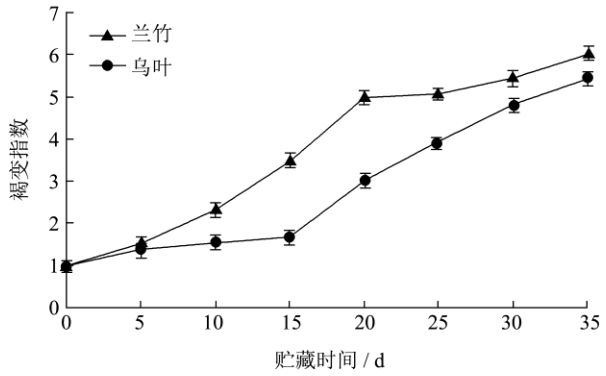


图 1 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮褐变指数的变化

Fig.1 Changes in browning index in the pericarp of harvested ‘Wuye’ and ‘Lanzhu’ litchis during storage

2.2 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量的变化

由图 2a 所示，荔枝果实采收当天“乌叶”荔枝果实果皮的花色素苷含量比“兰竹”高；采后贮藏期间，荔枝果实果皮花色素苷含量随贮藏时间的延长而下降，但荔枝果实果皮花色素苷含量的下降幅度因品种不同而异。其中，“兰竹”荔枝果实果皮花色素苷素含量在整个贮藏期间呈缓慢下降趋势；而“乌叶”荔枝果实果皮的花色素苷素含量在贮藏 0~5 d 内快速下降，5~15 d 内变化不大，15 d 之后又快速下降。进一步比较发现，在整个贮藏期内的同一贮藏时间，“乌叶”荔枝果实果皮花色素苷含量极显著（$P<0.01$）高于“兰竹”荔枝果实果皮花色素苷含量。

由图 2b 所示，荔枝果实采收当天“乌叶”荔枝果实果皮的总酚含量比“兰竹”高；采后贮藏期间，荔枝果实果皮总酚含量随贮藏时间的延长而下降。“兰竹”荔枝果实果皮总酚含量在贮藏 0~5 d 内迅速下降，5 d 之后缓慢下降；而“乌叶”荔枝果实果皮总酚含量在贮藏 0~5 d 内迅速下降，5~10 d 内变化不大，10 d 之后缓慢下降。进一步比较发现，在整个贮藏期内的同一贮藏时间，“乌叶”荔枝果实果皮总酚含量极显著（$P<0.01$）高于“兰竹”荔枝果实果皮总酚含量。

由图 2c 所示，荔枝果实采收当天“乌叶”荔枝果实果皮的类黄酮含量比“兰竹”高；采后贮藏期间，荔枝果实果皮类黄酮含量随贮藏时间的延长而下降。在整个贮藏期内的同一贮藏时间，“乌叶”荔枝果实果皮类黄酮含量极显著（$P<0.01$）高于 “兰竹”荔枝果实果皮类黄酮含量。

上述结果表明，刚采收的“乌叶”荔枝果实果皮花色素苷、类黄酮和总酚含量高于“兰竹”；与“兰竹”荔枝果实比较，在采后同一贮藏期间，采后“乌叶”荔枝果实能保持较高的果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量。

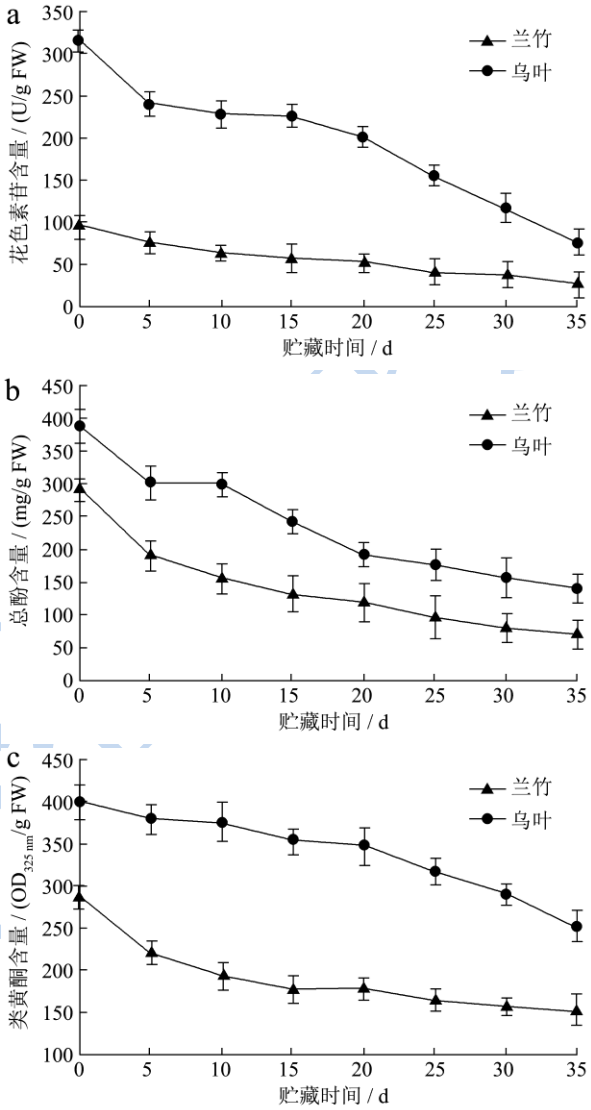


图 2 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量的变化

Fig.2 Changes in the contents of anthocyanin, total phenolics, and flavonoid in the pericarp of harvested ‘Wuye’ and ‘Lanzhu’ litchis during storage

2.3 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮 PPO 和 POD 活性的变化

由图 3a 表明，荔枝果实采收当天“乌叶”荔枝果实果皮的 PPO 活性比“兰竹”低；采后贮藏期间，果皮 PPO 活性随贮藏时间的延长而下降。其中，“兰竹”荔枝果实果皮 PPO 活性在贮藏 0~5 d 内极快速下降，5~20 d 内快速下降，20~30 d 内缓慢下降，30 d 之后快速下降。而“兰竹”荔枝果实果皮 PPO 活性在贮藏

0~5 d 内变化不大，5~20 d 内快速下降，20 d 之后缓慢下降。进一步比较发现，在整个贮藏期内的同一贮藏时间，“乌叶”荔枝果实果皮 PPO 活性极显著（P<0.01）低于“兰竹”荔枝。

从图 3b 可以看出，采后“兰竹”和“乌叶”荔枝果实果皮 POD 活性变化趋势相同，但贮藏不同时期，其变化幅度不同。“兰竹”荔枝果实果皮 POD 活性在贮藏 0~25 d 内缓慢上升，25~35 d 内快速上升；而“乌叶”荔枝果实果皮 POD 活性在整个贮藏期内缓慢上升。进一步比较发现，在贮藏 25~35 d 内的同一贮藏时间，“乌叶”荔枝果实果皮 POD 活性显著（P<0.05）低于“兰竹”荔枝果实果皮 POD 活性。

上述结果表明，刚采收的“乌叶”荔枝果实果皮 PPO、POD 活性低于“兰竹”；与“兰竹”荔枝果实比较，在采后同一贮藏期间，采后“乌叶”荔枝果实能保持较低的果皮 PPO 和 POD 活性。

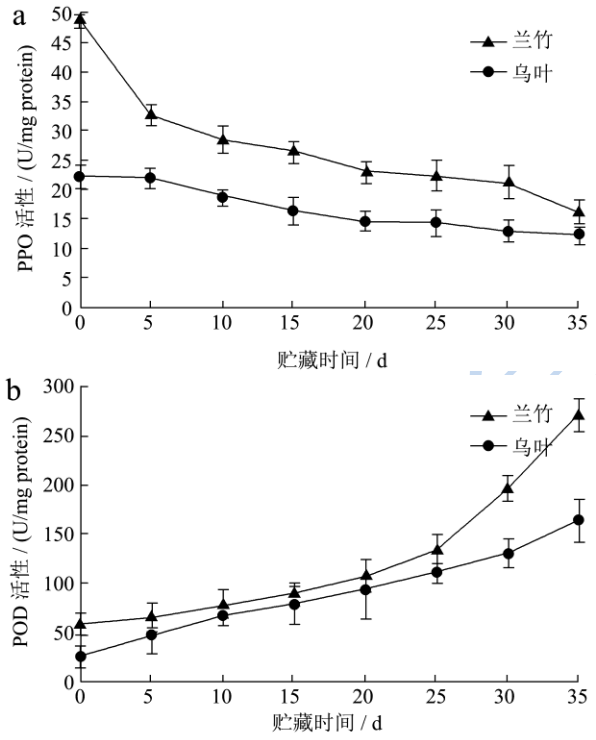


图 3 “乌叶”和“兰竹”荔枝果实贮藏期间果皮 PPO 和 POD 活性的变化

Fig.3 Changes in the activities of PPO and POD in the pericarp of harvested ‘Wuye’ and ‘Lanzhu’ litchis during storage

3 讨论

前人研究认为，果实采后果皮褐变与酚类物质含量、花色素苷含量、PPO 和 POD 活性密切相关[12~14]。POD 和 PPO 的作用是催化酚类物质氧化为醌，醌通过聚合作用形成褐色高聚物，从而导致组织酶促褐变。在贮藏期间，保持较低的 PPO 活性有利于维持较高含量的酚类物质，而 POD 活性的提高促进了酶促褐变的发生[9]。在健康果实中，花色素苷、酚类物质等褐变底物存在于液泡中，而酚氧化酶主要集中在细胞质中，这种膜系统区室化功能阻止了酚类物质与酚酶之间的接触，从而避免褐变的发生[9]。但随着果实的衰老，细胞膜降解，膜系统区室化功能丧失，酚类物质和酶相互接触，最终导致褐变[12]。庞学群等[15]研究发现，在荔枝果实果皮褐变过程中，首先 PPO 催化氧化酚类物质形成相应的醌类物质，醌类物质进一步氧化花色素苷，花色素苷含量降低，荔枝果皮褪色或变色，最终导致褐变。本研究结果显示，采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮褐变指数不断上升（图 1），花色素苷、总酚和类黄酮含量不断下降（图 2a、2b、2c）。相关分析表明，荔枝果实采后果皮褐变指数与花色素苷含量呈显著负相关（$r_{乌叶}$=-0.961；$r_{兰竹}$=-0.959），褐变指数与总酚含量呈显著负相关（$r_{乌叶}$=-0.907；$r_{兰竹}$=-0.916），褐变指数与类黄酮含量呈显著负相关（$r_{乌叶}$=-0.978；$r_{兰竹}$=-0.881），表明花色素苷、总酚和类黄酮含量越少，果皮褐变程度越高。随着荔枝果皮褐变指数的提高，果皮 PPO 活性呈下降的趋势，而 POD 活性逐渐升高(图 3a、3b)。相关分析表明，荔枝果实采后果皮褐变指数与 PPO 活性呈显著负相关（$r_{乌叶}$=-0.891；$r_{兰竹}$=-0.891），褐变指数与 POD 活性呈显著正相关（$r_{乌叶}$=0.968；$r_{兰竹}$=0.959），这与张昭其对“淮枝”荔枝品种的研究结果相一致[16]。本研究还发现，采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮花色素苷含量、总酚含量、类黄酮含量和 PPO 活性不断下降（图 2a、2b、2c、3a），而 POD 活性不断上升（图 3b）。相关分析表明，荔枝果实采后果皮花色素苷含量与 PPO 活性呈显著正相关（$r_{乌叶}$=0.891；$r_{兰竹}$=0.957），总酚含量与 PPO 活性呈显著正相关（$r_{乌叶}$=0.956；$r_{兰竹}$=0.989），类黄酮含量与 PPO 活性呈显著正相关（$r_{乌叶}$=0.891；$r_{兰竹}$=0.986）；花色素苷含量与 POD 活性呈显著负相关（$r_{乌叶}$=-0.984；$r_{兰竹}$=-0.860），总酚含量与 POD 活性呈负相关（$r_{乌叶}$=-0.946；$r_{兰竹}$=-0.750），类黄酮含量与 POD 活性呈负相关（$r_{乌叶}$=-0.985；$r_{兰竹}$=-0.692）。因此认为，采后“乌叶”和“兰竹”荔枝果实果皮快速褐变是 POD 活性的快速升高，促进类黄酮、花色素苷和总酚等褐变底物的氧化而造成的。进一步的研究发现，“乌叶”荔枝果实果皮 PPO 和 POD 活性显著低于“兰竹”荔枝果实果皮（图 3a、3b），且“乌叶”荔枝果实果皮含有较高的花色素苷、总酚和类黄酮含量（图 2a、2b、2c）和较低的褐变指数（图 1）。因此认为，“乌叶”荔枝果实果皮比“兰竹”更不容易褐变，这与“乌叶”荔枝果实果皮具有较低的 PPO、POD 活性而减少果皮花色素

苷、总酚和类黄酮含量的下降有关。

4 结论

采后“乌叶”荔枝果实比“兰竹”荔枝果实较不容易发生果皮褐变。刚采收的“乌叶”荔枝果实果皮花色素苷、类黄酮和总酚含量高于“兰竹”，而 PPO、POD 活性则低于“兰竹”。采后贮藏期间，“乌叶”和“兰竹”荔枝果实的果皮花色素苷、总酚、类黄酮含量和 PPO 活性不断下降，而 POD 活性则不断上升；但在同一贮藏期间，“乌叶”荔枝果皮的花色素苷、总酚、类黄酮含量都高于“兰竹”，而 PPO 和 POD 活性则低于“兰竹”。认为采后“乌叶”荔枝果实较不容易发生果皮褐变与其保持较低的果皮 PPO 和 POD 活性而减少果皮花色素苷、总酚和类黄酮含量的下降有关。

参考文献

[1] 于茂兰,陈于陇,徐玉娟,等.气调包装对带叶荔枝褐变及品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(1):108-114
YU Mao-lan, CHEN Yu-long, XU Yu-juan, et al. Effect of high oxygen atmospheric packaging on the browning and quality of litchi fruits with leaves [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 108-114

[2] Wang J B, Wang X S, Xu B Y, et al. Physiological changes during the process of pericarp browning in the postharvest litchi [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2010, 11(5): 10-16

[3] Bryant P H. A model of postharvest moisture loss under air currents to reduce pericarp browning of litchi (Litchi chinensis Sonn.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 73: 8-13

[4] Xu L X, Xue J H, Wu P, et al. Antifungal activity of hypothemycin against peronophythora litchi in vitro and in vivo [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(42): 10091-10095

[5] Li H, Song L L , Jiang Y M, et al. Short-term anoxia treatment maintains tissue energy levels and membrane integrity and inhibits browning of harvested litchi fruit [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(9): 1767-1771

[6] 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: 42-17

[7] Duan X W, Liu T, Zhang D D, et al. Effect of pure oxygen atmosphere on antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit during storage [J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1905-1911

[8] 林艺芬,刘木水,林河通,等.“乌叶”与“兰竹”荔枝果实的耐贮性比较[J].热带作物学报,2009,30(10):1537-1542
LIN Yi-fen, LIU Mu-shui, LIN He-tong, et al. A comparative study of fruit storability between ‘Wuye’ litchi and ‘Lanzhu’ litchi [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(10): 1537-1542

[9] 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 He-tong, XI Yu-fang, CHEN Shao-jun. 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

[10] Jiang Y M. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lychee pericarp browning [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80: 305-310

[11] Zhang Z Q, Pang X Q, Duan X W, et al. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 47-52

[12] Jiang Y M, Duan X W, Joyce D, et al. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit [J]. Food Chemistry, 2004, 88: 443-446

[13] Sivakumar D, Korsten L. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar McLean's Red to 1-methylcyclopropene pre-treatment and controlled atmosphere storage conditions [J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 43(6): 942-948

[14] Liang Y S, Chen N L, Ke L S. Influence of dipping in sodium metabisulfite on pericarp browning of litchi cv. Yu Her Pau (Feizixiao) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 68: 72-77

[15] 庞学群,黄雪梅,杨晓棠,等.多酚氧化酶在荔枝果皮花色素苷降解中的作用[J].中国农业科学,2008,41(2):540-545
PANG Xue-qun, HUANG Xue-mei, YANG Xiao-tan, et al. Role of polyphenol oxidase in anthocyanin degradation of lychee pericarp [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(2): 540-545

[16] 张昭其,庞学群,段学武,等.荔枝采后果皮花色素苷的降解与花色素苷酶活性变化[J].中国农业科学，2003，36(8):945-949
ZHANG Zhao-qi, PANG Xue-qun, DUAN Xue-wu, et al. The anthocyanin degradation and anthocyanase activity

during the dericarp browning of lychee fruit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(8): 945-949

现代食品科技