

气调包装对带叶荔枝褐变及品质的影响

于茂兰^{1,2}, 陈于陇¹, 徐玉娟¹, 吴继军¹, 王生有¹, 傅曼琴¹

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工公共实验室, 广东广州 510610)

(2. 广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘要: 本文研究了在高氧(100% O₂)气调包装条件下,带叶荔枝的营养品质以及褐变相关酶活性的变化规律。结果表明:与对照组(空气包装)相比,高氧气调包装抑制了荔枝的呼吸强度,相对应其呼吸过程产生的二氧化碳(CO₂)量下降,降低了带叶荔枝贮藏前期和后期的褐变程度,显著抑制了过氧化物酶(POD)的活性,显著推迟了多酚氧化酶(PPO)活性高峰的出现,说明了带叶荔枝的褐变与POD、PPO两种酶有一定的相关性;在贮藏的前6 d,可溶性蛋白、花色苷和总多酚的含量都比对照低,但在贮藏期的第9和12 d后,其含量比对照组要高;另外,高氧气调包装不利于荔枝汁维生素C(Vc)的含量的维持,而对可溶性固形物和可滴定酸的影响不明显。因此,高氧气调包装能够延缓带叶荔枝的褐变,但是不利于其果汁Vc含量的维持。

关键词: 带叶荔枝;高氧气调;褐变;品质

文章编号: 1673-9078(2014)1-108-114

Effect of High Oxygen Atmospheric Packaging on the Browning and Quality of Litchi Fruits with Leaves

YU Mao-lan^{1,2}, CHEN Yu-long¹, XU Yu-juan¹, WU Ji-jun¹, WANG Sheng-you¹, FU Man-qin¹

(1. Guangdong Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Sericulture and Agro-food Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

(2. College of food science and technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The changes of nutritional quality and activities of browning-related enzymes were studied in the litchi fruits with leaves under high oxygen atmospheric packaging. Compared with the control (air packaging), high oxygen atmospheric packaging inhibited respiratory intensity of litchi fruit, with decreasing of formation of carbon dioxide (CO₂). The treatment reduced the degree of browning after storage. Peroxidase (POD) activity in the pericarp of litchi fruit was significantly lower than control, while the maximal activity of polyphenol oxidase (PPO) was markedly delayed. It was illustrated that the browning of the litchi fruits with leaves had certain correlation with POD and PPO. The variation trends of soluble protein, anthocyanin and total polyphenol contents were similar: the contents of them were lower than control during the first 6 days of storage. But at day 9 and day 12, the contents were higher than control. Vitamin C (Vc) in litchi juice decreased significantly under high oxygen packaging, while soluble solids and titratable acid showed little changes. Therefore, high oxygen atmospheric packaging was benefit to the delay of browning, but not benefit with the maintenance of Vc.

Key words: litchi fruit with leaves; high oxygen; browning; quality

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 是华南地区特色的大宗水果, 味佳、色美、营养丰富, 深受人们的喜爱, 在国际和国内水果市场占有重要份额。但荔枝成熟于高温高湿的盛夏季节, 且果实 (特别是果皮) 结构特殊, 代谢旺盛, 营养物质消耗快, 采后极易发生果皮

收稿日期: 2013-09-01

项目支持: 公益性农业行业专项 (201303077)

作者简介: 于茂兰(1987-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果蔬贮藏加工研究

通讯作者: 徐玉娟(1974-), 女, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事农产品贮藏与加工研究

褐变和果肉腐烂变质。极大地限制了其在国内外水果市场上的竞争力, 因此荔枝保鲜研究具有十分重要的现实意义。

Jiang等^[1]认为, 荔枝采后果皮褐变中花色苷的降解与多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)有间接关系, 果皮褐变的链式反应为: 花色苷酶-花色苷-多酚-PPO, 认为抑制褐变主要方法是保护膜的完整性。Yi等^[2]认为, 添加一定量的三磷酸腺苷(ATP)可以增强荔枝的抗氧化能力和酚类化合物的合成能力, 进而抑制活性氧的积累, 维护膜的完整性。周玮婧^[3]研究认为, 荔枝果皮原花青素与Vc、VE都具有协同抗氧化作

用。

目前,荔枝保鲜技术主要有冰温贮藏、高浓度CO₂、气调包装和臭氧处理以及壳聚糖复合保鲜剂结合冷藏等。其中,高氧气调保鲜技术是近几年才逐渐被广泛应用。高氧气调包装可抑制细菌和真菌地生长,减少果蔬贮藏中的腐烂,降低果蔬的呼吸作用和乙烯的合成,减缓组织的褐变,降低乙醛乙醇等异味物质的产生,从而改进了果蔬贮藏品质^[4]。杨震峰等^[5]研究采后杨梅经高氧气调保鲜处理,可以显著抑制果实失重率、花青素和丙二醛含量的增加,保持较高的Vc含量。Liu等^[6]研究高氧气调抑制了双孢蘑菇果肉及表面的褐变、活性氧(ROS),而相应清除自由基酶的含量较高,证明了褐变的减弱是因为高氧条件增强了蘑菇的抗氧化性和自由基清除酶的活性。高氧气调保鲜对于不同的果蔬有不同的影响,本文研究高氧气调对采后荔枝品质及生理的影响。

从消费者的角度,带叶荔枝的更加受欢迎,因此研究带叶荔枝的保鲜具有很强的应用价值。因此本文主要探讨了在高氧气调保鲜条件下,带叶荔枝的品质及酶促褐变相关酶的变化规律,为开发荔枝高氧气调包装保鲜技术提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验材料

试验所用荔枝的品种为“淮枝”,购于广州市天河区天平架农贸市场。挑选大小一致,形状、颜色均匀,并且没有损伤和虫害的果实用于试验。

1.1.2 主要仪器与设备

UV-1800紫外可见分光光度计,日本岛津公司; Sorvall Stratos高速冷冻离心机,美国Thermo Scientific公司; TN375 CO₂分析仪,泰纳电子科技有限公司; 手持气体成分分析仪,美国Checkpoint有限公司;

1.1.3 主要药品与试剂

福林酚试剂、没食子酸、交联聚乙烯比咯烷酮(PVPP)、丙酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、邻苯二酚等均为国产分析纯。

1.2 实验方法

1.2.1 包装处理

每份称取200 g,置于聚乙烯包装盒(300×100×30 mm)中,用biaxially oriented polypropylene film (BOPP)(由广东威孚包装材料有限公司提供,膜厚32 μm, O₂和CO₂的透气性分别为: 1344.81 mL/(m²·d·atm)和

2256.64 mL/(m²·d·atm)包装,高氧含量为100%,以空气包装的荔枝为对照组(CK)。将包装好的荔枝样品于4 °C冷藏,每个处理设3个重复。在4 °C,然后对带叶荔枝果皮用液氮处理粉碎以及荔枝果肉打浆成汁后,测定其它指标冷藏条件下,荔枝可以贮藏较长的时间,因此每隔3 d对褐变级数、呼吸强度和气体成分(O₂/CO₂)进行测量。

1.2.2 样品处理

按照统计学的要求,荔枝样品的每次取样量应该为30个以上,本实验荔枝样品每次取样量40个左右,设3次重复,取样时将荔枝剥壳,果皮与果肉分别处理,将果皮混合均匀,随机取果皮200 g左右,液氮处理后打碎成粉状,然后贮存于超低温冰箱-80 °C中,用于后期相关指标的测定。荔枝果肉打浆过滤成汁后,测定相关的果汁品质指标。

1.2.3 褐变指数、呼吸强度、O₂和CO₂气体成分

荔枝样品每次取样量为40个左右,设3次重复,荔枝果皮褐变程度用褐变指数来评估;褐变指数由量化褐变级数计算得来。褐变级数量化如下:0=没有褐变;1=轻微褐变;2=1/4褐变;3=1/4~1/2褐变;4≥1/2褐变;褐变指数=Σ褐变级数×该等级荔枝个数/荔枝总数。

呼吸强度由TN375 CO₂分析仪测定CO₂浓度的变化,然后计算得到单位时间内CO₂量的变化;

O₂和CO₂气体成分由手持气体成分分析仪测得含量的变化。

1.2.4 带叶的荔枝果皮成分的测定

1.2.4.1 PPO与可溶性蛋白质的测定

准确称取2 g带叶粉状荔枝果皮,共3份,加入0.4 g的交联聚乙烯比咯烷酮(PVPP)和6 mL 0.1 mol/L的磷酸盐缓冲溶液(pH 7.0),冰浴研磨。在4 °C下15000 r/min离心20 min,取上清液为酶的粗提液,在4 °C下5000 r/min进行第二次离心10 min,取上清液,用于测定PPO和可溶性蛋白。取0.1 mL粗酶液,加入2.9 mL 0.1 mol/L邻苯二酚(用缓冲液配制),测定398 nm处OD值变化,以OD值每分钟改变0.001所需的酶量表示一个酶活力单位^[7]。

蛋白质采用考马斯亮蓝的方法^[8]进行测定。取上述的酶液1 mL,加入5 mL考马斯亮蓝,用旋涡混合机混合,两分钟后,测定在595 nm波长的吸收值,根据所作的标准曲线计算可溶性蛋白质的含量。

1.2.4.2 POD的活性测定

取1 g带叶粉状荔枝果皮,共3份,分别加入0.2 g交联聚乙烯比咯烷酮(PVPP)和4 mL 0.1 mol/L的磷酸盐缓冲溶液(pH 7.0),冰浴研磨。4 °C下5000 r/min离心20 min,取上清液为酶的粗提液,在4 °C下15000

r/min进行第二次离心20 min, 取上清液。取0.1 mL粗酶液, 加入2.7 mL 0.1 mol/L磷酸盐缓冲溶液 (pH 7.0), 0.1 mL 0.46% H_2O_2 (V/V)和0.1 mL 4%愈创木酚(m/V), 测OD₄₇₀值变化, 以OD每分钟改变0.01所需的酶量表示一个酶单位^[7]。

1.2.4.3 花色素苷含量的测定

取带叶荔枝果皮粉末1.25 g, 共3份, 加入7 mL 1% HCl, 充分研磨, 浸提1 h后, 将滤液定容至25 mL, 取1 mL滤液, 分别取0.4 mol/L HCl-KCl缓冲液 (pH 1.0) 和0.4 mol/L柠檬酸- Na_2HPO_4 缓冲液 (pH 5.0) 4 mL, 混匀后, 以蒸馏水为对照, 测OD₅₁₀^[9]。花色素苷含量 (mg/g)= $\Delta OD \times 5 \times 0.1 \times 1000 \times 445.2 / (29600 \times 5)$; $\Delta OD = OD$ (pH 1.0) - OD (pH 5.0); 第一个5为稀释倍数, 后一个5为果皮质量(g); 0.1为浸提液体积(L); 445.2为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量; 29600为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔比吸收系数。

1.2.4.4 总酚的测定

称取带叶荔枝皮粉末0.5 g, 共3份, 加入6 mL 80% 丙酮溶液浸提2 h, 5000 r/min离心20 min, 取上清液即为酚的提取液。将制备的多酚提取液定容到25 mL, 取0.1 mL稀释液和6 mL蒸馏水到10 mL容量瓶中, 加入0.5 mL Folin-Ciocalteu试剂, 立即漩涡震荡摇匀30 s左右, 充分接触, 一分钟之后八分钟之前加入20%的 Na_2CO_3 1.5 mL, 定容至10 mL。在暗室静置2 h后, 用紫外分光光度计测定其在760 nm波长的吸光值^[10]。总酚含量以没食子酸为标准物质计, 结果表示为: mg/g。制得标准曲线为: $y = 0.01x + 0.0306$, $R^2 = 0.999$ 。

1.2.5 荔枝汁成分的测定

1.2.5.1 Vc的检测

将荔枝汁迅速解冻并摇匀, 用吸管吸取, 精密称取1.0 g左右的荔枝汁, 共3份, 加入6 mL的1%草酸, 充分研磨后, 加入0.2 g已经处理好的活性炭, 充分振荡, 45000 r/min离心。分别吸取已氧化处理的滤液1 mL于A管 (样品管) 与B管 (样品空白管)。在A管中加入1 mL的250 g/L乙酸钠溶液, 在B管中1 mL的加入30 g/L硼酸-250 g/L乙酸钠溶液 (除去其他成分的干扰), 于漩涡混合器上充分混匀, 在暗处放置20 min。在暗室或避光条件下, 准确迅速地各试管加入1 mL 0.2 g/L邻苯二胺溶液, 于漩涡混合器上充分混匀, 在暗室中避光反应40 min。在激光波长355 nm, 发射波长425 nm, 两端狭缝均为5 nm。测定各管的荧光强度和空白荧光强度, 样品荧光强度减去样品空白荧光强度, 取得相对的荧光强度^[11]。以抗坏血酸为标准品, 结果表示: mg/g, 标准曲线: $y = 2.11x + 1.1644$, $R^2 = 0.9992$ 。

1.2.5.2 TSS的测定

荔枝汁在糖度仪上测定TSS。

1.2.5.3 总酸度的测定

按照GB/T12293-90《水果、蔬菜制品可滴定酸度的测定》, 采用0.1 mol/L NaOH滴定法测定, 结果以柠檬酸当量换算。

1.3 统计分析

实验所涉及到的统计分析均用SPSS17.0配对t检验 ($P \leq 0.05$) 和最小显著性差异 (LSD), 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 高氧气调包装对呼吸强度和气体成分的影响

2.1.1 呼吸强度

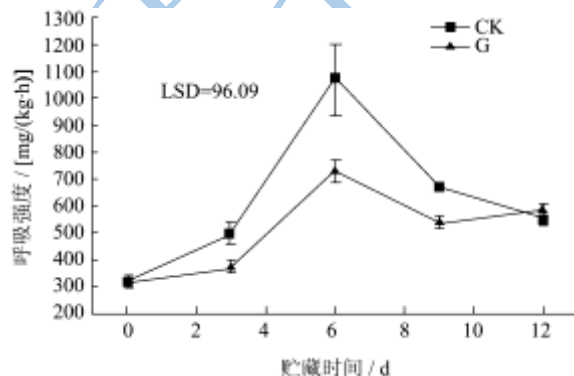


图1 高氧气调下荔枝呼吸强度的变化

Fig.1 Changes of high oxygen treatment on respiratory rate of litchi fruit

从图1可知, 荔枝呼吸强度的变化趋势是先升后降, 第6 d达到最大值。对照组比高氧气调保鲜的呼吸强度大, 尤其第3、6、9 d的呼吸强度差异比较显著 ($P < 0.05$)。由此看出, 高氧可有效地抑制荔枝的呼吸强度。郑永华^[12]的研究认为, 经过高氧处理的蓝莓, 其呼吸强度也受到抑制; 但同样处理的草莓, 其呼吸强度却没有显著变化。林德球等^[13]认为, 用同样处理的香蕉, 其呼吸强度却增加。因此, 不同水果的高氧气调处理, 呼吸强度的变化是不一样的。

2.1.2 气体成分

由图2a可知, 在整个贮藏过程中对照组比高氧气调的 O_2 含量低, 贮藏的前3 d, 高氧气调包装样品的 O_2 含量下降的速率比较快, 但最终都趋于稳定; 在图2b中, 贮藏的前6 d, 高氧处理样品 CO_2 的增加速率比较大, 贮藏后6 d CO_2 的含量下降, 而对照组中 CO_2 的含量一直都呈上升的趋势。贮藏后6 d, 高氧气调包装样品 CO_2 的含量显著下降的可能原因是, 因为后期包装袋内 O_2

含量的下降引起呼吸强度的下降,进而呼吸作用的产物CO₂的含量也下降。Lu^[14]研究高氧条件下“Spartan”苹果切片的变化,得到包装袋中O₂含量的变化趋势与本实验一致,而高氧气调包装样品CO₂含量的变化呈增加的趋势,在贮藏期缓慢下降。

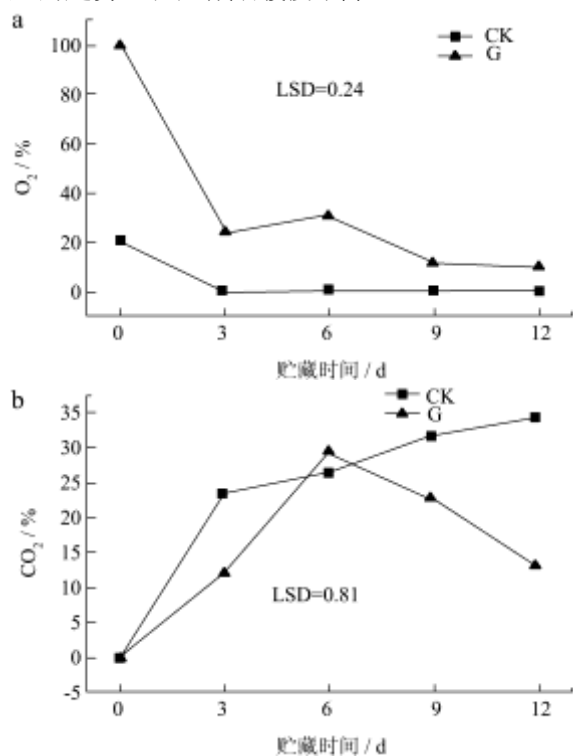


图2 高氧气调包装下荔枝的气体成分(O₂与CO₂)的变化
Fig.2 Changes of high oxygen treatment on O₂ and CO₂ of litchi fruit

2.2 高氧气调包装对带叶荔枝果皮品质及生理的影响

2.2.1 高氧气调包装对荔枝褐变的影响

由图3可知,高氧气调包装荔枝的褐变指数比对照低,只有在贮藏第9 d时,其褐变指数有所增加。结果说明高氧气调包装在一定程度上可以抑制荔枝褐变。这与Lu^[14]所研究的纯氧处理“Spartan”苹果片的结论一致;也与Duan等^[15]用纯氧处理荔枝的结果一致。

2.2.2 高氧气调包装对POD、PPO酶活性的影响

由图4a可知,与对照相比,高氧气调包装在整个贮藏期都抑制了POD酶活性。特别是在贮藏的第9、12 d,其抑制效果显著(P<0.05);该结果与Wang等^[16]的高氧气调包装桃子的POD酶的变化相似;由图4b可知,高氧气调包装显著推迟了荔枝果皮PPO酶活性高峰出现的时间。荔枝高氧处理褐变减少的原因:POD和PPO酶活性的下降,或者高水平的无色醌在随后代谢过程

中引起POD和PPO酶的反馈抑制。

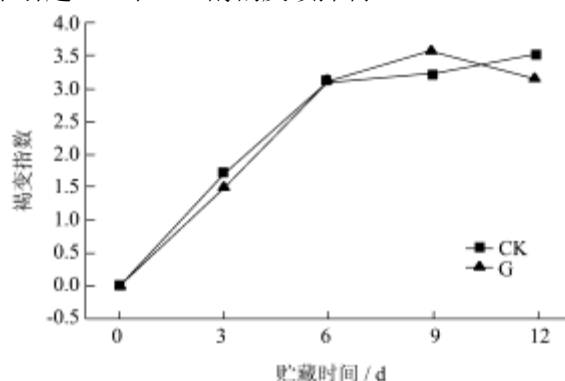


图3 高氧气调包装下荔枝褐变指数的变化
Fig.3 Changes of high oxygen treatment on browning index of litchi fruit

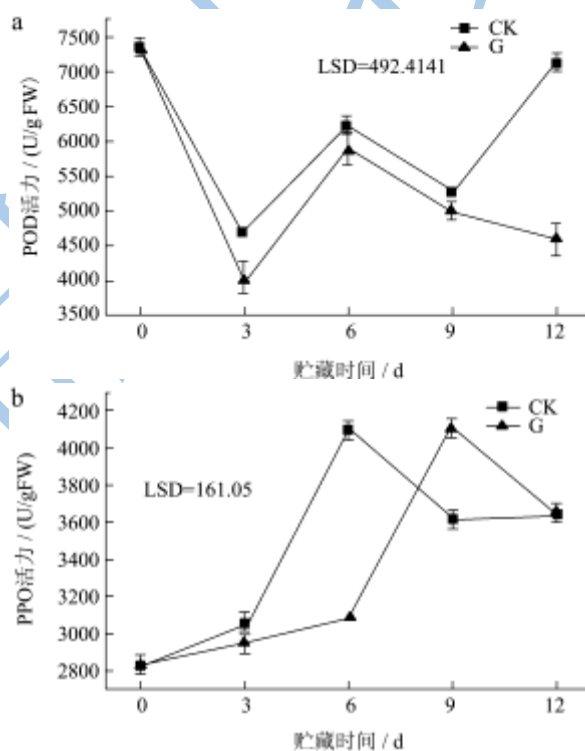


图4 高氧气调对POD、PPO酶活性的影响

Fig.4 Changes of high oxygen treatment on POD and PPO of litchi fruit

2.2.3 高氧气调包装对可溶性蛋白质的影响

由图5可知,在贮藏期的前6 d,高氧包装荔枝果皮中可溶性蛋白的含量相对空气包装的要少,但在贮藏期的第6和9 d,其含量显著高于对照(P<0.05)。其变化的原因可能是在贮藏的前6 d中,荔枝的呼吸强度增加(图1),次生代谢旺盛,可溶性蛋白质含量作为代谢底物呈现上升趋势,而后期代谢活动下降,可溶性蛋白质的含量也随之下降。

2.2.4 高氧气调保鲜对花色苷的影响

从图6可知,花色苷的含量呈现增长的趋势,在荔枝贮藏的前6 d,高氧处理的荔枝皮中花色苷的含

量比对照组明显要低 ($P < 0.05$)，但是在贮藏期的第9、12 d，高氧处理荔枝皮中花色苷的含量比对照要高。但是Duan等^[5]认为，荔枝经过28 °C、纯氧气调处理后，其花色苷的变化趋势却是下降的，并且纯氧气调抑制了花色苷的下降，与本实验的结果不同。差异的原因可能是处理条件的不同。

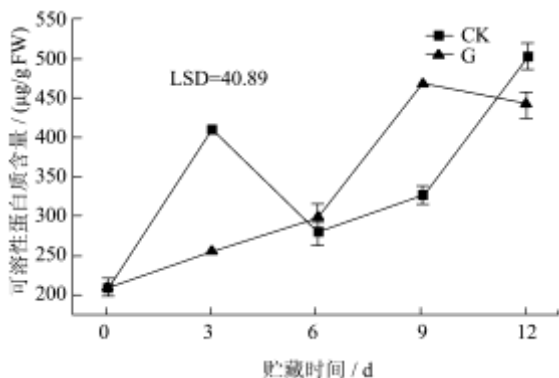


图5 高氧气调包装下荔枝的可溶性蛋白的变化

Fig.5 Changes of high oxygen treatment on soluble protein of

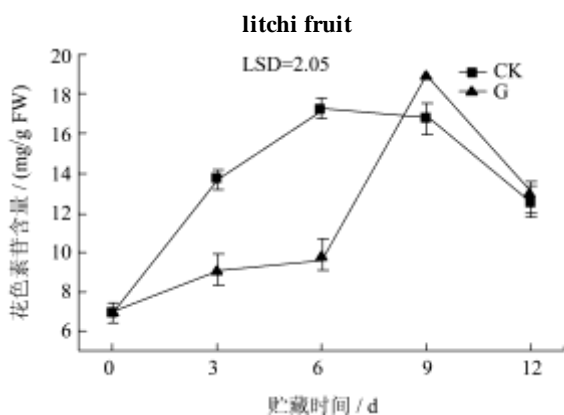


图6 高氧与气调包装下荔枝的花色素苷的变化

Fig.6 Changes of high oxygen treatment on anthocyanin of litchi fruit

2.2.5 高氧气调包装对总酚的影响

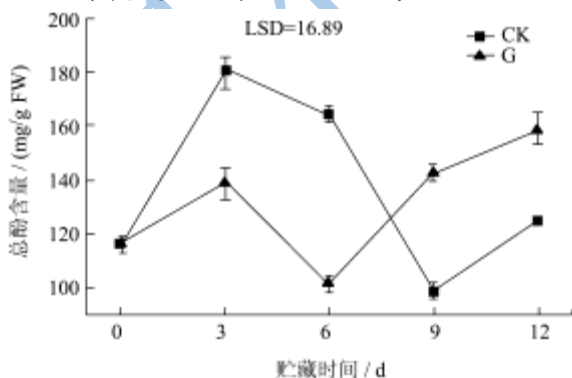


图7 高氧气调包装下荔枝的总多酚的变化

Fig.7 Changes of high oxygen treatment on total polyphenol of litchi fruit

从图7可知，在贮藏期的前3 d，高氧气调包装和对照组荔枝果皮中总多酚的变化呈现上升的趋势；在贮

藏的3 d到第12 d，呈先下降后上升的趋势。相对于对照组，在贮藏期的第3~6 d中，高氧包装处理荔枝皮中多酚的含量比对照显著低 ($P < 0.05$)；但是在贮藏期的第9~12 d中，其含量显著 ($P < 0.05$) 高于对照组。这些结果与Zheng等^[17]研究南瓜经过高氧气调处理后总酚含量的变化不同：高氧气调样品的总多酚含量在贮藏期的前9 d比对照组高，但在贮藏第12 d，其含量比对照组低很多。说明高氧包装对荔枝果皮和南瓜中的总酚含量的作用机制可能不同，所以得到不同的结果，有待更深入地研究。

2.3 高氧气调包装对荔枝汁品质的影响

2.3.1 高氧气调包装对荔枝汁Vc的影响

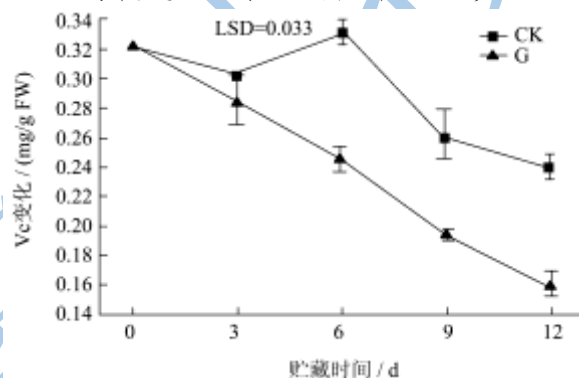


图8 高氧气调包装下荔枝的维生素C的变化

Fig.8 Changes of high oxygen treatment on vitamin C of litchi fruit

从图8可知，荔枝汁中Vc的含量呈下降趋势，并且相对于对照组，高氧处理荔枝的果汁Vc的变化速率比较快。在贮藏期的第6、9、12 d中，高氧包装荔枝Vc含量显著低于对照 ($P < 0.05$)。而陈学红等^[18]和李伟丽等^[20]研究认为，高氧抑制草莓和鲜切雪莲果的Vc的损失。本试验荔枝汁Vc的变化，可能由于高氧促进了荔枝果肉中Vc的降解，破坏了Vc结构，导致其含量下降。

2.3.2 高氧气调包装对TSS的影响

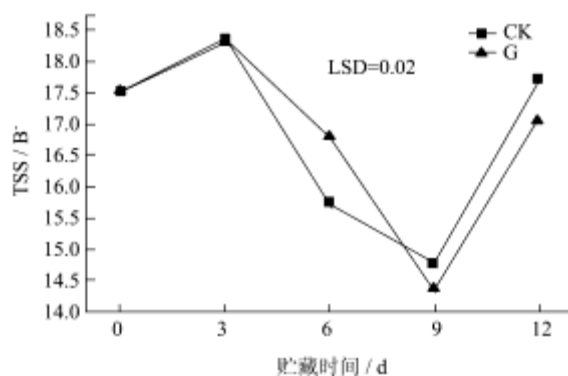


图9 高氧气调包装荔枝的可溶性固形物(TSS)的变化

Fig.9 Changes of high oxygen treatment on soluble solids of litchi fruit

从图9可知,在荔枝贮藏期的前9 d, TSS含量的变化呈现先上升后下降的趋势,在第3 d达到最高值,在第9 d达到最低值;在荔枝贮藏的第9~12 d, TSS又呈现上升的趋势。其中在贮藏的3~6 d,高氧处理显著高于对照组 ($P<0.05$);而在贮藏期的第9~12 d,高氧处理的TSS显著低于对照组 ($P<0.05$)。这与李伟丽等^[19]得出高氧处理的鲜切雪莲果的TSS的变化结果基本相同,但在后期(第9、12 d)趋势不同, TSS的变化仍旧呈下降趋势。原因可能是本试验中高氧条件荔枝的后期有呼吸强度的减弱,底物消耗减少,因此TSS会增加。

2.3.3 高氧气调包装对可滴定酸的影响

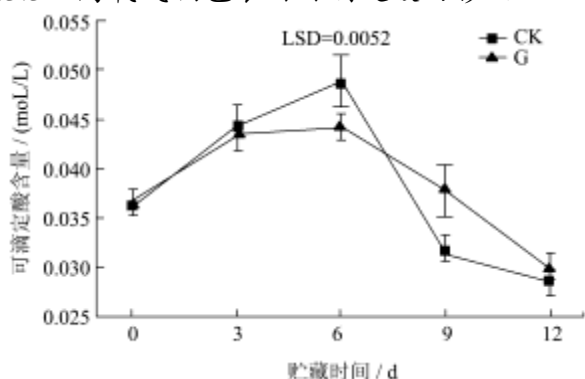


图10 高氧气调包装下荔枝的可滴定酸的变化

Fig.10 Changes of high oxygen treatment on titratable acid contents of litchi fruit

从图10可知,可滴定酸的变化趋势是先升后降,在贮藏的第6 d达到最高值;同时,相对于对照组,高氧气调包装荔枝的可滴定酸含量变化趋势比较平缓,与陈学红等^[20]研究高氧处理草莓可滴定酸的变化趋势一致。在贮藏期的第6 d,高氧气调包装荔枝汁的可滴定酸含量显著低于对照组 ($P<0.05$);而在贮藏期的第9 d,高氧气调包装荔枝汁的可滴定酸含量显著高于对照组 ($P<0.05$)。

3 结论

高氧气调包装抑制了荔枝的呼吸强度、PPO和POD酶的活性,因此能够有效抑制荔枝的褐变。但是,高氧气调包装不利于Vc的维持。如果结合Vc保护的措施,高氧气调包装是一项有潜力的保鲜方法。

参考文献

[1] JIANG Yue-ming, DUAN Xue-wu, JOYCE Daryl, et al. Advances in Understanding of Enzymatic Browning in Harvested Litchi Fruit [J]. Food Chemistry, 2004, 88: 443-446
 [2] YI Chun, JIANG Yue-ming, SHI John, 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
 [3] 周玮婧,隋勇,孙智达,等.荔枝皮原花青素与Vc、VE的协同抗氧化研究[J].食品科学,2012,33(3):5-8
 ZHOU Wei-jiang, SUI Yong, SUN Zhi-da, et al. Synergistic Antioxidant Effects of Procyanidins from Litchi Chinensis Pericarp and Vc or VE [J]. Food Science, 2012, 33(3): 5-8
 [4] JAXSENS, Devlieghere F, VAN der Steen C, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microbial Growth and Sensorial Qualities of Fresh-cut Produce [J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71:197-210
 [5] 杨震峰,郑永华,冯磊,等.高氧处理对杨梅果实采后腐烂和品质的影响[J].园艺学报,2005,32(1):94-96
 YANG Zhen-feng, ZHENG Yong-hua, FENG Lei, et al. Effect of High Oxygen Treatments on Fruit Decay and Quality in Chinese Bayberry [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32 (1): 94-96
 [6] LIU Zhan-li, WANG Xiang-you. Changes in Color, Antioxidant, and Free Radical Scavenging Enzyme Activity of Mushrooms under High Oxygen Modified Atmospheres [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 69: 1-6
 [7] 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(第2版),2005
 WANG Xue-kui. Plant Physiological Biochemical Experiment Principle and Technology (second edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005
 [8] 邓丽莉,潘晓倩,生吉萍,等.考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J].食品科学,2012,33(24):185-189
 DENG Li-li, PAN Xiao-qian, SHENG Ji-ping, et al. Optimization of Experimental Conditions for the Determination of Water Soluble Protein in Apple Pulp Using Coomassie Brilliant Blue Method [J]. Food Science, 2012, 33(24): 185-189
 [9] ZHANG Zhao-qi, PANG Xue-qun, DUAN Xue-wu, et al. Role of Peroxidase in Anthocyanin Degradation in Litchi Fruit Pericarp [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 47-52
 [10] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of Total Phenols and other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-ciocalteu Reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178
 [11] AOAC. Official Methods of Analysis. 14th ed. Williams S (Ed.) [M]. Association of official analytical chemists, Virginia, pp.1984

- [12] 郑永华.高氧处理对蓝莓和草莓果实采后呼吸速率和乙烯释放速率的影响[J].园艺学报,2005,32(5):866-868
ZHENG Yong-hua. Effects of High Oxygen on Respiratory Rate and Ethylene Production in Harvested Blueberries and Strawberries [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32 (5): 866-868
- [13] 林德球,刘海,刘海林,等.高氧对香蕉果实采后生理的影响[J].中国农业科学,2004,41(1):201-207
LIN De-qiu, LIU Hai, LIU Hai-lin, et al. Effects of high oxygen on postharvest physiology of banana fruit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(1): 201-207
- [14] LU Chang-wen, TOIVONEN Peter M A. Effect of 1 and 100 kPa O₂ Atmospheric Pretreatments of Whole 'Spartan' Apples on Subsequent Quality and Shelf Life of Slices Stored in Modified Atmosphere Packages [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 18: 99-107
- [15] DUAN Xue-wu, LIU Ting, ZHANG Dan-dan, 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: 1905-1911
- [16] WANG You-sheng, TIAN Shi-ping, XU Yong. Effects of High Oxygen Concentration on Pro-and Anti-oxidant Enzymes in Peach Fruits During Postharvest Periods [J]. Food Chemistry, 2005, 91: 99-104
- [17] ZHENG Yong-hua, FUNG Raymond WM, WANG S Y, et al. Transcript Levels of Antioxidative Genes and Oxygen Radical Scavenging Enzyme Activities in Chilled Zucchini Squash in Response to Superatmospheric Oxygen [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47: 151-158
- [18] 陈学红,郑永华,杨震峰,等.高氧处理对草莓果实采后活性氧代谢和腐烂的影响[J].南京农业大学学报,2005,28(1):99-102
CHEN Xue-hong, ZHENG Yong-hua, YANG Zhen-feng, et al. Effects of High Oxygen Treatments on Active Oxygen Metabolism and Fruit Decay in Post-harvest Strawberry [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2005, 28 (1): 99-102
- [19] 李伟丽,李喜宏,张培培,等.高氧处理对鲜切雪莲果货架寿命的影响[J].中国农学通报,2009,25(20):72-75
LI Wei-li, LI Xi-hong, ZHANG Pei-pe, et al. Effects of High O₂ Treatment on Shelf-life of Fresh-cut Smallanthus Sonchifolius [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20): 72-75
- [20] 陈学红,郑永华,杨震峰,等.高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响[J].农业工程学报,2004,20(5):200-202
CHEN Xue-hong, ZHENG Yong-hua, YANG Zhen-feng, et al. Effect of High Oxygen Treatments on Fruit Decay and Quality of Strawberries [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 200-202