

不同贮藏方式对双肩玉荷包荔枝氨基酸变化的影响

陈卓慧¹, 胡卓炎¹, 吕恩利², 赵雷¹, 李雅萍³, 徐步前⁴

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 华南农业大学工程学院, 广东广州 510642)

(3. 华南农业大学测试中心, 广东广州 510642) (4. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

摘要: 采用低温 (3~5 °C) 和气调保鲜 (3~6 °C、85~95% RH、O₂浓度3~5% vol、CO₂浓度3~5% vol) 两种方式贮藏双肩玉荷包荔枝, 通过全自动氨基酸分析仪分析荔枝样品在0~42 d贮藏期果实的氨基酸组分含量变化。结果表明, 初期 (0 d) 荔枝的氨基酸总量为2.93 mg/g, 其中主要为γ-氨基丁酸 (GABA)、丙氨酸(Ala)和谷氨酰胺 (GluNH₂)。两种贮藏方式荔枝的氨基酸总量在贮藏前期差异不显著 ($p>0.05$), 贮藏至42 d, 冷藏样品为2.93 mg/g, 气调样品为3.13 mg/g。贮藏期从0~14 d, 冷藏和气调样品的GABA含量分别从初始的1.01 mg/g和1.08 mg/g显著增加到1.25 mg/g和1.30 mg/g, 之后前者的GABA含量出现下降, 而后者的GABA含量仍较高, 差异达到显著水平 ($p<0.05$)。两种贮藏方式下样品的丙氨酸含量有增加趋势, 但差异不显著 ($p>0.05$), 谷氨酰胺含量在贮藏7d后显著减少, 而谷氨酸含量则在贮藏7~35 d期间显著增加 ($p>0.05$)。

关键词: 低温保鲜; 气调保鲜; 荔枝; 氨基酸; γ-氨基丁酸

文章篇号: 1673-9078(2013)8-1955-1960

Changes in Amino Acid Contents of Shuangjianyuhebao Litchi during Different Storage Conditions

CHEN Zhuo-hui¹, HU Zhuo-yan¹, LV En-li², ZHAO Lei, LI Ya-ping³, XU Bu-qian⁴

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(3. Analysis and Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(4. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Changes in contents of amino acids of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivar, Shuangjianyuhebao stored by refrigerated storage at 3~5 °C and controlled atmosphere (CA) storage (3~5 vol% O₂, 3~5 vol% CO₂ at 3~5 °C and 85~95% RH) for 42 days were analyzed by using an automatic amino acid analyzer. The results showed that the fresh litchi has total amino acid content of 2.93 mg/g with γ-amino-*n*-butyric acid (GABA), alanine and glutamine being of the dominant amino acid composition. No significant difference ($p>0.05$) in total amino acid content between samples with refrigerated storage and CA storage was found in the early storage period. After a 42-day storage, total amino acid contents of the samples by refrigerated storage and CA storage were 2.93 mg/g and 3.13 mg/g, respectively. GABA in samples stored for 14 days by refrigerated and CA storage was increased from 1.01 mg/g and 1.08 mg/g to 1.25 mg/g and 1.30 mg/g, respectively. Then GABA was decreased during refrigerated storage, but maintained a stable level during CA storage ($p<0.05$). Alanine content in sample stored by refrigerated and CA storage showed a little increase ($p>0.05$). During 7-day storages under different conditions, glutamine content was decreased and glutamic acid content was increased ($p<0.05$).

Key words: refrigerated storage; controlled atmosphere storage; litchi; amino acid; γ-amino-*n*-butyric acid (GABA)

荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 为无患子科荔枝属的果实, 营养丰富, 享有“岭南果王”等美誉。其产期主要集中在6月至7月上旬, 产期短收获集中且不

收稿日期: 2013-03-30

基金项目: 国家荔枝龙眼产业技术体系项目 (CARS-33-15); 国家自然科学基金项目 (31101363); 国家科技支撑计划项目子课题 (2013BAD19B01-1-3)

作者简介: 陈卓慧 (1986), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与保藏

通讯作者: 胡卓炎, 教授, 研究方向: 食品加工与保藏

耐贮藏, 因此采后处理和贮藏方法的探索成为了稳定荔枝供需平衡和 market 价格的必要条件。荔枝的采后保鲜途径目前主要依靠低温保鲜贮藏, 常用两种方式, 一是荔枝预冷后利用泡沫箱加冰短期维持低温进行贮藏, 另一种是荔枝预冷后在冷库冷藏和冷藏车运输和配送。此外, 低温结合气调保鲜 (Controlled Atmosphere, 简称 CA) 也成为了果蔬贮藏的方式之一^[1,2]。通过控制贮藏环境气体的比例、温度、湿度、

风速,控制果蔬的呼吸作用,进而保持果蔬较好的品质。

氨基酸是果蔬中一重要的营养物质,其含量和成分影响着果蔬的品质。崔珊珊等^[3]研究了海南、广东、广西等不同产地和妃子笑、怀枝、黑叶、糯米糍、桂味等不同品种荔枝的氨基酸组分,结果表明,荔枝果实氨基酸含量丰富,其中 γ -氨基丁酸(γ -amino-n-butyric acid, GABA)在荔枝中含量高,为其主要的氨基酸,占氨基酸总量的三分之一。GABA是广泛分布于生物体内的功能性氨基酸,是中枢神经系统主要的抑制性神经递质,介导神经系统快速抑制作用,在学习和记忆过程及视觉形成和发育中发挥重要作用,并参与人体内的多种代谢和生理活动,具有抗焦虑的效果,对高血压也有改善作用。随着年龄增长和精神压力加大,人体内GABA的自身积累变得困难,因此需要从膳食中补充GABA。20世纪90年代起,以 γ -氨基丁酸作为营养补充剂已流行于日本、美欧。近年来, γ -氨基丁酸在食物中的分布及其营养评价的研究也逐渐受到重视,如对发芽大米、大豆、发酵茶叶等植物来源的GABA的累积规律已有不少文献报道。在植物中,GABA是胁迫应激下的反应产物,其存在起到调节pH值、维持渗透稳定、影响植物生长、提高植物免疫等作用,GABA的增加有利于维持植物内部的稳定平衡^[4~8]。

荔枝的氨基酸分析已有报道,但不同贮藏方式下荔枝氨基酸的变化动态鲜有研究。本研究采用全自动氨基酸分析仪对低温保鲜和气调贮藏保鲜状态下的荔枝的氨基酸组分进行分析,讨论其主要氨基酸的变化,为荔枝采后贮藏保鲜的营养价值评价提供了参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

荔枝:产地为广东阳西,品种为双肩玉荷包,质量500 kg,采摘后进行冰水预冷,当日运回广州。将荔枝果实0.5%施保功浸2 min,进行杀菌防腐处理,将处理后的荔枝分成2份进行气调保鲜和低温保鲜对照试验,一份480 kg,另一份20 kg。

气调保鲜:将一份质量480 kg的荔枝先将置于塑料筐,而后放入气调保鲜运输保鲜环境调控试验平台(自主设计,华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点试验室)的保鲜室内。气调保鲜控制系统保鲜参数设置为:温度:3~6℃;湿度:85~95% RH;氧气和二氧化碳浓度:3~5% vol;为防止氧气浓度过低或二氧化碳浓度过高对荔枝产生伤

害,运输箱体內的氧气浓度不低于2% vol,二氧化碳浓度不高于7% vol。

低温保鲜:将另一份质量为20 kg的荔枝,置于1个聚乙烯薄膜塑料袋中,塑料袋开口放置于冷库中,库温设置为3~5℃。

为掌握荔枝在在气调保鲜和低温保鲜2种环境下的变化规律,每7 d取样一次,进行40种氨基酸的测定。

样品经清洗、去皮、去核、榨汁、过滤(100目),荔枝汁样品于-18℃冷冻保藏待测。

二氧化碳浓度传感器(范围:0~20% vol,精度:±5% F.S.)用于采集厢体内保鲜环境参数,并分别通过西门子S7-300PLC和无纸记录仪进行控制与记录(1 min记录1次)。

40种氨基酸混合标准液为日本Wako公司产品;5-磺基水杨酸、EDTA-2Na、盐酸等均为分析纯;pH 2.2柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液。

L-8800型全自动氨基酸分析仪(包括:自动进样器、855-350型分析柱、紫外检测器),日本Hitachi公司。

5424小型高速离心机,德国Eppendorf公司。

1.2 分析方法

测试条件:855-350型色谱柱(4.6 mm×60 mm);柱温134℃;双通道紫外检测波长为440 nm和570 nm;进样量20 μ L,检测时间110 min。检测依据JY/T019-1996氨基酸分析方法通则。

取2 g荔枝汁,加入2 mL质量浓度为60 mg/mL的5-磺基水杨酸,反应1 h后加入1 mL的0.06 mol/L HCl溶液及1 mL的10 mg/mL EDTA-2Na溶液,充分混合后14000 r/min低温离心15 min。吸取2 mL上述混合液,加入2 mL pH 2.2的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液,混合均匀,离心,过滤后直接上机测定。根据氨基酸标准物质的质量浓度与峰面积的关系,外标法定量果汁样品中的氨基酸组分,单位以mg/g表示^[9~10]。

1.3 数据统计

数据处理:采用Microsoft Office Excel 2007软件进行数据处理,计算试验数据均值及标准偏差和绘图。采用SAS 8.2统计软件进行邓肯氏均数差异显著性分析,显著水平为p=0.05。

2 结果与分析

2.1 氨基酸组分标准物与样品中的氨基酸组分

色谱图对比

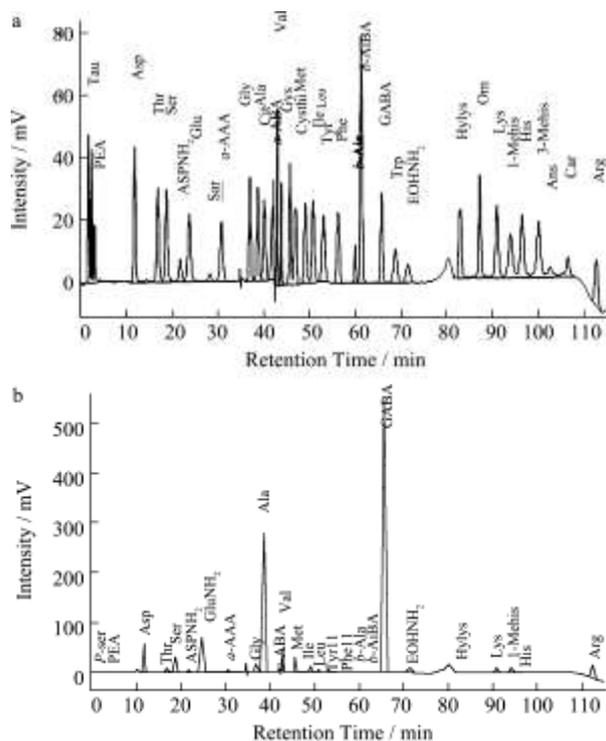


图1 氨基酸组分数谱图

Fig.1 Chromatograms of amino acid standards and Shuangjianyuhebao litchi juice

注：a：标准物；b：贮藏0d的双肩玉荷包荔枝(广东阳江)。

图1a是以38种氨基酸混合标准物溶液作为标准物质，以全自动氨基酸分析仪分析所得的氨基酸标准物色谱图。图1b是贮藏期0d的双肩玉荷包荔枝汁(广东阳江产区)氨基酸组分数谱分析的其中一个通道色谱图。

图1b可见，在保留时间38.63 min和65.59 min处分别出现两个强的吸收峰，对比氨基酸组标准物色谱图1a可知，此吸收峰的氨基酸分别为丙氨酸(Ala)和GABA，为荔枝汁的主要氨基酸。

2.2 低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的氨基酸总量变化

对广东阳江产区的双肩玉荷包荔枝进行氨基酸分析，结果见图2。贮藏期0d时的氨基酸总量为2.93 mg/g，低温保鲜贮藏42d后其氨基酸总量为2.93 mg/g，而气调保鲜贮藏42d后其氨基酸总量为3.13 mg/g，比低温保鲜贮藏增加了0.20 mg/g。

由图2可知，在0~7d，低温保鲜和气调保鲜荔枝汁的氨基酸总量稍有下降，但差异不显著($p>0.05$)，而后7~14d不同程度回升。低温保鲜和气调保鲜的氨

基酸总量的区别在于14d以后。21d时低温保鲜的荔枝中氨基酸总量下降到2.82 mg/g，后维持相对稳定。而气调保鲜的荔枝则在14d后氨基酸总量变化不大，14~35d间略微上升，而后稍有下降，但差异不显著($p>0.05$)。

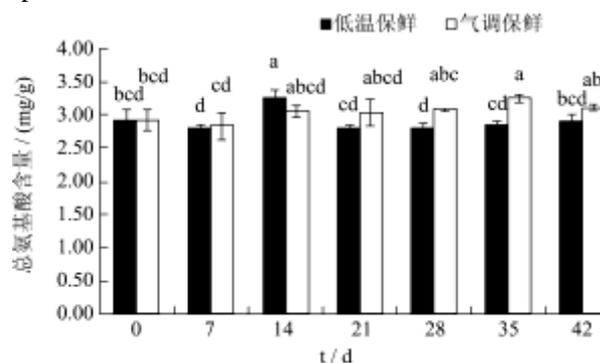


图2 低温保鲜和气调保鲜荔枝氨基酸总量的变化

Fig.2 Variation of total litchi amino acid content during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

注：柱形图中数据上方带有相同字母表示处理间差异不显著， $p>0.05$ 。

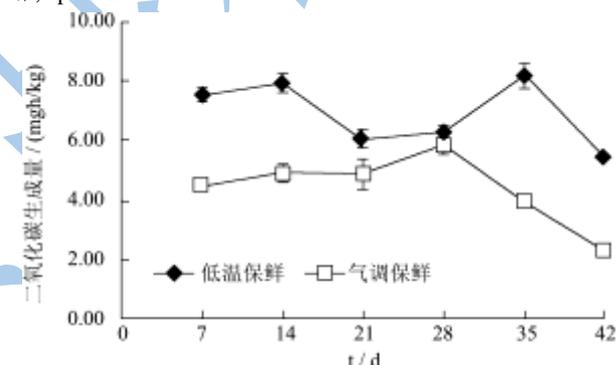


图3 低温保鲜与气调保鲜荔枝呼吸强度的变化

Fig.3 Variation of Litchi respiratory intensity during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

荔枝属于非呼吸跃变型水果。图3为荔枝分别在气调保鲜和低温保鲜贮藏环境下呼吸强度变化。由图3可以看出，荔枝在两种处理方式下的呼吸强度均较低，而气调保鲜贮藏的荔枝CO₂生成量明显低于低温保鲜的，说明气调保鲜有助于抑制荔枝的呼吸作用强度。

在贮藏前期，荔枝果实呼吸作用相对较强，消耗了部分氨基酸，蛋白质水解使其逐渐回升。低温保鲜储藏的荔枝在中后期呼吸作用较气调保鲜的强，消耗更多的能量。气调保鲜贮藏的荔枝则由于环境中CO₂含量较高，O₂含量较低，果实在胁迫作用下减低呼吸强度，维持较高水平的氨基酸含量^[1-2]。

2.3 低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的GABA

含量变化

低温保鲜荔枝 GABA 含量变化幅度为 1.01~1.25 mg/g, 占氨基酸总量的 35.21~41.54%。气调保鲜荔枝汁 GABA 含量变化幅度为 1.08~1.30 mg/g, 占氨基酸总量的 36.94~42.16%。

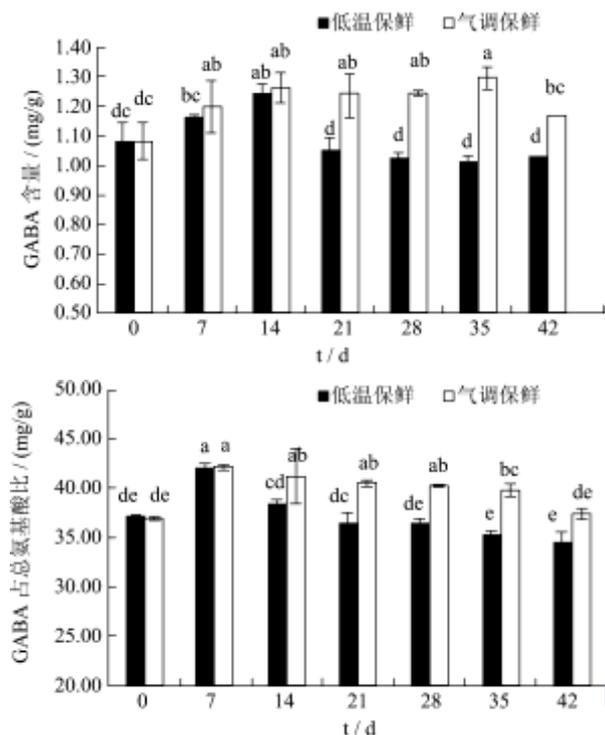


图4 低温保鲜和气调保鲜荔枝GABA含量的变化

Fig.4 Variation of litchi GABA during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

注: 柱形图中数据上方带有相同字母表示处理间差异不显著, $p>0.05$ 。

由图 4 可知, 荔枝中的 GABA 含量在贮藏期前 14 d 都处于上升状态, 在 14~21 d 期间低温保鲜贮藏荔枝的 GABA 含量下降明显, 而后维持稳定。气调保鲜贮藏荔枝的 GABA 含量则在 14~35 d 内保持稳定且略有上升, 而后才逐渐下降。就占氨基酸总量比例而言, 贮藏期第 7d 时 GABA 已达到最大比例, 气调保鲜的荔枝 GABA 在中后期下降较低温保鲜的平缓。

前人研究发现, GABA 在果实中起维持 pH 值稳定、兼容渗透调节、细胞内和细胞间传递调节、植物的免疫等作用, 在氧含量较低且低温的状态下, 会通过三羧酸循环支路积累 GABA, 从而保证植物果实细胞内和细胞间环境在胁迫条件下维持稳定^[7-8, 11-13]。低温保鲜和气调保鲜贮藏温度较低, 所以贮藏初期荔枝内 GABA 含量均有增加。气调保鲜贮藏环境中 O_2 含量较低, CO_2 含量较高, 果实呼吸作用较低温保鲜贮藏弱, 从而使其 GABA 含量在贮藏中后期内维持相对

稳定。

2.4 低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的谷氨酸含量变化

低温保鲜和气调保鲜贮藏下谷氨酸总量的浓度变化结果见图 5。结果表明, 在 0~35 d 贮藏期间, 低温保鲜贮藏荔枝的谷氨酸含量处于显著上升状态 ($p<0.05$), 在 35~42 d 后略有下降。而气调保鲜的荔枝谷氨酸含量在前 14 d 显著增加 ($p<0.05$), 而后下降明显, 在 21~42 d 内维持相对稳定。

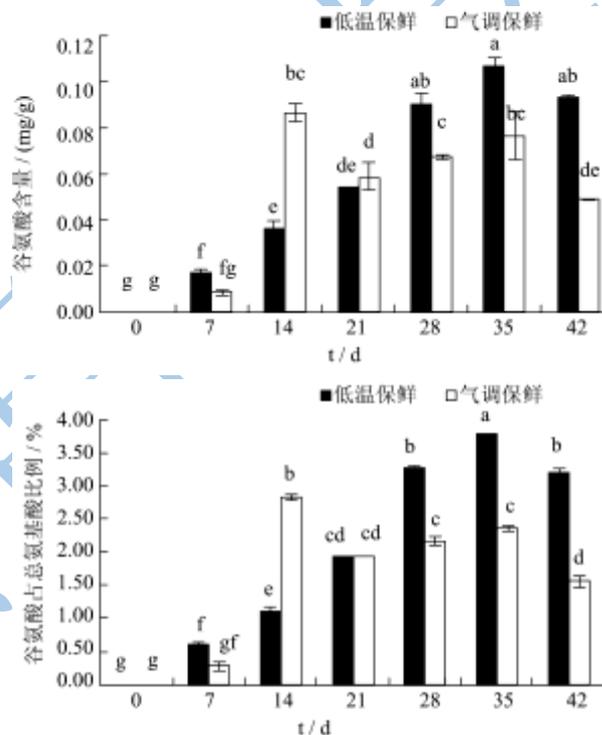


图 5 低温保鲜和气调保鲜荔枝谷氨酸含量的变化

Fig.5 Variation of litchi glutamic acid during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

注: 柱形图中数据上方带有相同字母表示处理间差异不显著, $p>0.05$ 。

有报道, L-谷氨酸是 GABA 合成的前体, 在谷氨酸脱羧酶 (GAD) 作用下不可逆地脱去 α 位上的羧基形成 GABA。在许多植物粗提取液中, GAD 都具有活力, 其最适 pH 值为 5.5~5.8, 与荔枝果实的 pH 值相近, 因此这条合成支路为荔枝中 GABA 形成的主要来源。当细胞中 H^+ 含量增加时, 会促进 GABA 的积累, 进而起到调节 pH 值的作用。GAD 在具有钙离子结合区域有较高的活性, 增加 Ca^{2+} 含量有利于增加 GAD 活性, 从而增加 GABA 含量。而外加刺激或冷刺激会提高细胞中 Ca^{2+} 的含量^[7-8], 因此在冷风维持低温的环境中, 荔枝果实内 GAD 的活性较高, GABA

合成较多。底物谷氨酸含量的增加,有适合 GAD 活性的环境,解释了在贮藏前期两种保鲜方法下荔枝的 GABA 含量均有增加的原因。

气调中荔枝呼吸作用较低,氨基酸消耗较少,且植物为维持细胞内和细胞间稳定产生较多的 GABA 进行调节,因此中后期 GABA 前体的谷氨酸消耗较多,维持在较低的含量水平。

2.5 低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的谷氨酰胺含量变化

谷氨酰胺在荔枝中含量相对较高,贮藏期 0 d 时可达 0.33 mg/g,占氨基酸总量的 11.31%。由图 6 可得,谷氨酰胺含量在贮藏前期 7 d 下降明显,低温保鲜荔枝的谷氨酰胺含量在其后略有上升,而后继续下降,在中后期维持稳定。而气调保鲜荔枝的谷氨酰胺则在前期下降后维持稳定水平。

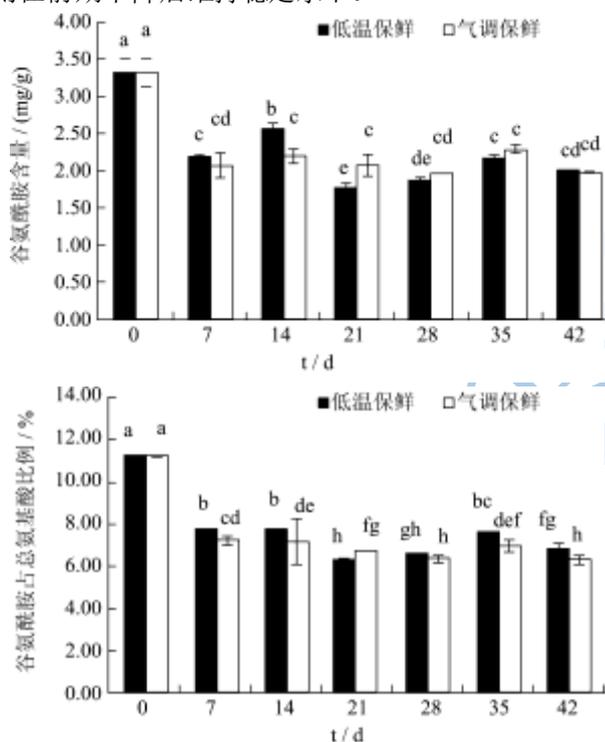


图 6 低温保鲜和气调保鲜荔枝的谷氨酰胺含量变化
Fig.6 Variation of litchi glutamine during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

注:柱形图中数据上方带有相同字母表示处理间差异不显著, $p>0.05$ 。

谷氨酰胺是植物体内通过谷氨酸反应积累氮的另一条途径^[14]。其含量增加意味着可供 GABA 合成的底物谷氨酸的减少。在贮藏初期由于 GABA 的积累,谷氨酰胺支路反应削弱,其含量有明显的降低。中后期从 GABA 含量和谷氨酰胺含量的稳定可推测这两

条反应支路达到了相对平衡稳定。

2.6 低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的丙氨酸含量变化

低温保鲜和气调保鲜贮藏下荔枝的丙氨酸含量变化见图 7。

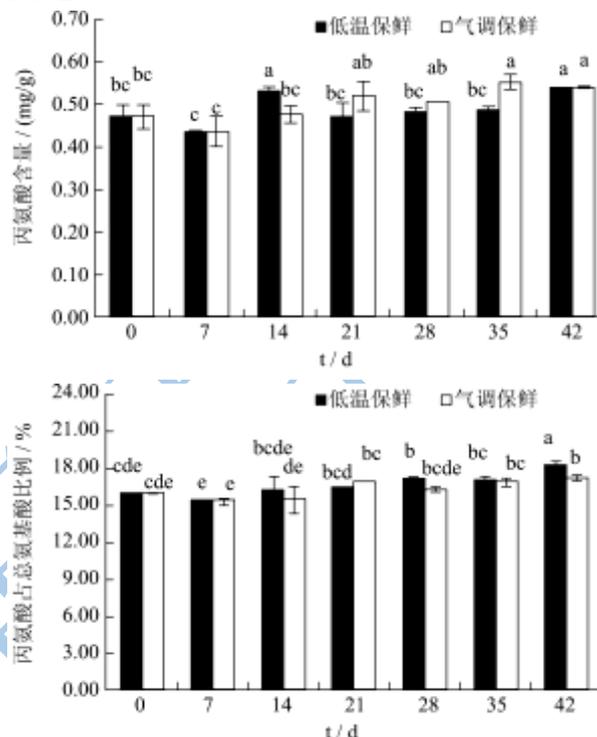


图 7 低温保鲜和气调保鲜荔枝的丙氨酸含量变化
Fig.7 Variation of litchi alanine during refrigerating fresh-keeping and CA fresh-keeping

注:柱形图中数据上方带有相同字母表示处理间差异不显著, $p>0.05$ 。

丙氨酸为荔枝中含量第二大的主要氨基酸。低温保鲜贮藏荔枝的丙氨酸含量变化范围为 0.47~0.54 mg/g,占氨基酸总量的 15.36~18.35%。气调保鲜贮藏荔枝中丙氨酸含量为 0.44~0.55 mg/g,占氨基酸总量的 15.19~17.29%。结果表明,贮藏期间丙氨酸的量处于相对稳定的状态,贮藏后期略有增加。在 0~7 d 内两种保鲜贮藏方法的荔枝丙氨酸均轻微下降,后以不同程度小幅度回升。

有研究报道 GABA 生成支路中第二个酶为 GABA 转氨酶 (GABA-T),能够催化 GABA 可逆的转化成琥珀酸半醛。丙氨酸在此参与反应,在 GABA: α -酮戊二酸转氨酶作用下与琥珀酸半醛参与反应生成 GABA 和 α -酮戊二酸。另一方面,丙氨酸还可以在 GABA: 丙酮酸转氨酶作用下转换成谷氨酸,增加 GABA 合成另一条支路的底物。但 GABA-T 的最适

pH值在8~10^[7-8],在偏酸性的荔枝果实环境中活性不强。从丙氨酸含量变化不大这点可以推出,由GABA-T催化的琥珀酸半醛和丙氨酸反应生成GABA和 α -酮戊二酸的反应作用并不大。丙氨酸在贮藏前期略有下降,推测有可能参与了谷氨酸转化的反应。

3 结论

采用氨基酸全自动分析仪对低温保鲜贮藏和气调保鲜贮藏的广东阳江双肩玉荷包荔枝的氨基酸含量变化进行了分析,并讨论了其主要氨基酸在贮藏期42 d内的变化过程。GABA和丙氨酸为荔枝中的主要氨基酸。贮藏期前期低温保鲜和气调保鲜的氨基酸含量差异不大,中后期由于呼吸强度的不同,气调保鲜荔枝的氨基酸总量和GABA含量都较低温保鲜的高,且在较长时间内保持相对稳定。丙氨酸在贮藏期间维持相对稳定,可推断出丙氨酸作为反应物参与的产生GABA和 α -酮戊二酸的反应并非GABA合成的主要支路。由主要氨基酸的变化动态可看出,气调保鲜贮藏对荔枝氨基酸含量水平的维持有积极的作用。

参考文献

- [1] Rujira Deewatthanawong, Jacqueline F Nock, Christopher B. Watkins. γ -Aminobutyric acid (GABA) accumulation in four strawberry cultivars in response to elevated CO₂ storage [J]. *Postharvest Biology and Technology* 2010, 57: 92-9
- [2] Rujira Deewatthanawong, Peter Rowell, Christopher B. Watkins. γ -Aminobutyric acid (GABA) metabolism in CO₂ treated tomatoes [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 57: 97-105
- [3] 崔珊珊,胡卓炎,余恺,等.不同产地妃子笑荔枝果汁的氨基酸组分[J].*食品科学*,2011,12:269-273
Cui Shanshan, Hu Zhuoyan, Yu Kai, et al. Amino Acid Composition of Feizixiao Litchi Juice from Different Geographic Origins [J]. *Food Science*, 2011, 12: 269- 273
- [4] 林亲录,王婧,陈海军. γ -氨基丁酸的研究进展[J].*现代食品科技*,2008,24(5):496-500
Lin Qinlu, Wang Jing, Cheng Haijun. Research Progress of γ -Amino Butyric Acid [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2008, 24(5): 496-500
- [5] 顾振新,蒋振晖.食品原料中 γ -氨基丁酸(GABA)形成机理及富集技术[J].*食品与发酵工业*,2002,28(10):65-69
Gu Zhenxin, Jiang Zhenhui. Formation Mechanism and Accumulation Technique of γ -Aminobutyric Acid of Food Raw Materials [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2002, 28(10): 65-69
- [6] 白青云.低氧胁迫和盐胁迫下粟谷 γ -氨基丁酸富集机理及抗氧化性研究[D].南京:南京农业大学,2009
- [7] 吕莹果,张晖,王立.植物中 γ -氨基丁酸的代谢和功能[J].*中国食品添加剂*,2010,1:92-99
Lv Yingguo, Zhang Hui, Wang Li. Metabolism and functions of γ -aminobutyric acid in plants [J]. *China Food Additives*, 2010, 1: 92-99
- [8] 宋红苗,陶跃之,王慧中.GABA在植物体内的合成代谢及生物学功能[J].*浙江农业科学*,2010,2:225-229
Song Hongmiao, Tao Yuezhi, Wang Huizhong. Synthesis metabolism of GABA in plants and its biological functions [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2010, 2: 225-229
- [9] 钱爱萍,颜孙安,林香信,等.氨基酸自动分析仪快速测定 γ -氨基丁酸[J].*福建农业学报*,2007,22(1):73-76
Qian Aiping, Yan Sunan, LIN Xiangxin, et al. Rapid determination of γ -amino butyric acid using amino acid analyzer [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(1): 73-76
- [10] 任红波.氨基酸分析仪快速测定糙米中的 γ -氨基丁酸[J].*杂粮作物*,2003,23(4):246-247
Ren Hongbo. Rapid Determination of γ -aminobutyric Acid in Husked Rice with Amino Acid Analyzer [J]. *Rain Fed Crops*, 2003, 23(4): 246-247
- [11] Gut H, Dominici P, Pilati S, et al. A common structural basis for pH- and calmodulin mediated regulation in plant glutamate decarboxylase [J]. *J Mol Biol*, 2009, 392 (2): 334-351
- [12] Serraj R, Shelp B J, Sinclair T R. Accumulation of γ -aminobutyric acid in nodulated soybean in response to droughtstress [J]. *Physiol Plant*, 1998, 102: 79-86
- [13] Bouché N, Fait A, Bouchez D, et al. Mitochondrial succinicsemialdehyde dehydrogenase of the γ -aminobutyrate shunt is required to restrict levels of reactive oxygen intermediates in plants [J]. *PNAS*, 2003, 100 (11): 6843-6848
- [14] 蒋振晖,顾振新.高等植物体内 γ -氨基丁酸合成、代谢及其生理作用[J].*植物生理学通讯*,2003,39(3):249-253
Jiang Zhenhui, Gu Zhenxin. Biosynthesis, Catabolism and Physiological Roles of γ -Aminobutyric Acid in Higher Plants [J]. *Plant Physiology Communications*, 2003, 39(3): 249-253