

# 芒果果实采后生理研究进展

李国鹏, 何红艳, 尼章光, 张林辉, 解德宏, 俞艳春

(云南省农科院 热带亚热带经济作物研究所, 云南 保山 678025)

**摘要:** 果实采收后仍是活的有机体, 因此都会有一些生理生化的变化。就芒果果实采收后的呼吸强度、乙烯代谢、香气变化、相关酶类、软化研究及果实内含物变化进行了概述, 并指出了进一步的研究方向。

**关键词:** 芒果; 采后生理

中图分类号: S667.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)增刊-0043-04

## Advances of Research on Postharvest Physiology of Mango Fruit

LI Guo peng, HE Hong yan, NI Zhang guang, ZHANG Lin hui, XIE De hong, YU Yan chun

(Tropical and Subtropical Cash Crops Institute of Yunnan

Agricultural Academy, Baoshan 678025, China)

**Abstract:** Fruits after harvest are still alive, so they would have many physiological and biochemical changes. This article summarized the changes including respiratory, ethylene, aroma, relative enzyme, softening and fruit inclusion, and at the end, point out the field for further research.

**Key words:** Mango; Postharvest physiology

芒果(*Mangifera indica* Linn.) 又名檬果、闷果。由于芒果风味独特, 肉质嫩滑, 营养价值高, 因此芒果素有“热带果王”的美誉, 其收获面积仅次于香蕉而成为世界第二大热带水果<sup>[1]</sup>。但其采收季节多为夏季高温高湿时期, 由于芒果为呼吸跃变型果实, 这就导致芒果果实在采后极容易腐烂, 从而影响芒果的产量及农民的经济利益。据报道, 在我国果蔬每年的采后损失率高达 20%~30%, 而西方国家的采后损失率仅有 15% 左右, 这就严重影响了我国芒果产业的发展<sup>[2]</sup>。而解决这一问题的关键就是要清楚果实采收后在果实内部发生的一系列的生理生化变化。笔者就前人的相关研究, 对芒果采后生理综述如下。

### 1 采后呼吸强度与乙烯产生

芒果属于呼吸跃变型果实, 其在采收后果实的呼吸强度先渐趋下降, 而后迅速上升, 并出现高峰, 随后迅速下降。据蔡於麒等<sup>[3]</sup>研究, 芒果在生理成熟过程中, 果实的呼吸强度在采收前有呈降低趋势, 而采收后第 3 天呼吸强度则直线上升。在一定的范

围内, 果实的呼吸强度与温度是呈正相关关系。但湿度对于芒果果实呼吸强度的影响目前还缺乏深入的研究。如果在果实采收或运输过程中出现机械伤, 即便是轻微的挤压和擦伤, 都会使得果实的呼吸强度增加。

乙烯是一种简单的不饱和烃类化合物, 其对果实的成熟衰老起着重要的调控作用。在不同的温度下贮藏芒果, 其果实内源乙烯含量都会随着贮藏时间的延长而增加。据研究芒果果实内乙烯含量的变化与呼吸强度的变化趋势一致<sup>[4, 5]</sup>。贮藏条件也会影响乙烯的作用, 主要表现为在低浓度的乙烯条件下, CO<sub>2</sub> 能有效地抑制乙烯的作用; 当在高浓度的 CO<sub>2</sub> 下, 则有助于延缓乙烯促进成熟的作用。对呼吸强度和乙烯含量进行相关性及其显著性检验表明, 低温下, 呼吸强度基本上随内源乙烯含量的升高而增强。说明乙烯含量的高低是决定芒果低温下呼吸强弱的关键因素。在气调贮藏中, 有很多是通过控制乙烯的含量来达到延缓呼吸高峰、降低呼吸强度的目的。芒果果实的乙烯释放源有内源和外源 2 种, 都在生理上起催熟的作用, 而内源乙烯是根本原

收稿日期: 2008-08-04

基金项目: 农业部“948”项目(2006-G33); 农业部“公益性(农业)科研专项”(nyhyzx07-032)

作者简介: 李国鹏(1982-), 男, 河北井陉人, 硕士, 研究实习员, 主要从事热带作物育种研究。

因,当芒果采后短期内,不会有内源乙烯的产生,存放一段时期后,便产生内源乙烯,促进芒果生理活动加速,产生外源乙烯,并随着呼吸速率的增强而释放量加大,芒果逐渐成熟。因此,为了延长芒果的保鲜时间,采用相应的乙烯吸收剂来吸附产生的乙烯也可达到延缓芒果果实成熟的目的。

## 2 采后果实的香气变化

果实在成熟时都会发出特有的芳香气味,其多由挥发性的香味物质组成。芒果果实的香气成分种类和含量是芒果的重要品质特性之一。据报道,芒果果实中有 270 多种香气挥发性成分,其中大多数是单萜和倍半萜类,占挥发性物质的 70% ~ 90%,其次是酯类,占 20% 左右,且不同品种其香气成分有所差异<sup>[6]</sup>。王花俊等<sup>[7]</sup>利用同时蒸馏萃取装置提取芒果的挥发油,并对挥发油成分进行了 GC-MS 分析研究,结果显示共确认了 68 种成分,主要为萜类物质和脂肪酸类物质,其中萜烯类最多,有 22 种;脂肪酸类物质有 8 种;其他物质中有醇类物质、酯和内酯类物质及酮类物质。魏长宾等<sup>[8]</sup>采用顶空固相微萃取技术和气相色谱-质谱联用仪对完熟金煌芒果果实的香气成分进行初步研究,结果共检出 22 种香气成分,主要是醇(相对含量 25.76%)、酸(相对含量 24.42%)、萜烯类化合物(相对含量 18.18%)等,另外还有少量的酯、醛、酮等。魏长宾等<sup>[9]</sup>对商熟期及完熟期的红芒 6 号芒果果实采用顶空固相微萃取法(HS-SPME)提取香气成分,以气相色谱-质谱分析进行鉴定,共检出 22 种香气成分,其中商熟期 14 种,完熟期 10 种,主要为萜烯类、醛类、酸类等。这也说明芒果在不同的生育期,果实内香气物质的成分及含量是有所不同的。Herianus J D 等<sup>[10]</sup>利用固相微萃取技术,对‘Kensington Pride’芒果后熟过程中香气物质的成分及含量进行了分析,发现成熟的最初 3~4 d,单萜的含量增加,随后下降。大部分倍半萜类的合成也始于成熟初期,之后不断增加,并且萜烯类物质与乙烯的产生密切相关。酯类物质的含量在后熟期间也显著增加。

## 3 采后相关酶类的研究

任何园艺产品的成熟衰老都是一个十分复杂的发育调控过程,其间经历了一系列的生理生化变化,导致果实在颜色、质地和风味等方面变化,而参与这些变化的酶的种类比较繁多,主要包括以下几种:

### 3.1 多聚半乳糖醛酸酶(Polygalacturonase, PG)

果胶类物质是存在于植物初生细胞壁和细胞间

隙的一组多糖类化合物,在细胞与细胞间起着一种粘联合结的作用,其主要的成分是多聚半乳糖醛酸,由  $\alpha$  (1-4) 连接的 D-半乳糖醛酸组成的线状链。多聚半乳糖醛酸酶(PG)是一种水解酶,按其作用方式分为内切多聚半乳糖醛酸酶(endo-PG)和外切多聚半乳糖醛酸酶(exo-PG)以及寡聚 PG(oligo-PG)。前者是以内切方式水解断裂多聚半乳糖醛酸链,后者是以外切方式作用,依次从多聚半乳糖醛酸多聚糖链或者寡聚链的非还原末端释放出一个单体或二聚体。endo-PG 对底物的特异性较强,exo-PG 和 oligo-PG 则较弱。通常所说的 PG 即为 endo-PG,但 exo-PG 在果实后熟软化进程中也起作用<sup>[2]</sup>。通过对果实 PG 活性与果实软化关系的研究发现,二者关系密切相关。随着 PG 活性的增加,果胶物质组分发生了明显变化,即总果胶和原果胶含量明显下降,而可溶性果胶含量增加<sup>[11-13]</sup>。赵玉梅等以象牙芒果为材料研究了其在贮藏过程中果胶酶活性的变化,研究表明原果胶量随着贮藏期的延长呈下降趋势,随着果实的后熟,果胶酶、多酚氧化酶等酶的活性逐渐加强。石海燕等<sup>[14]</sup>研究也发现采后芒果果实的 PG 活性的增加与果实硬度的下降呈显著相关。但在不同的部位,其活性有所不同:在芒果果实后熟前期,上部和内部的 PG 活性分布比下部和外部的高;在后熟期 PG 活性上升至最高峰后下降。由此可见,PG 的活性与芒果果实的软化关系密切。

### 3.2 过氧化物酶(Peroxidase, POX)

过氧化物酶是植物体内的一类重要的氧化酶,其活性随着芒果果实贮藏时间的延长而有较大的变化。石海燕等<sup>[14]</sup>通过气调贮藏对紫花芒果的 POX 活性的影响研究表明,在采后的 15 d 前 POX 活性均很低,随着贮藏期的延长,POX 活性逐渐上升,采后 30 d 时 POX 活性达到最高峰值。

### 3.3 超氧化物歧化酶

超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)是植物细胞衰老过程中最为重要的一种酶,其主要作用是清除活性氧自由基。在果实衰老初期,果实内部能及时有效的清除活性氧自由基;而随着果实的成熟衰老,果实内部产生的活性氧自由基越来越多,SOD 的活性受到激活而参与活性氧自由基的清除。但由于活性氧自由基的增加使得 SOD 活性不足以清除完活性氧自由基,这样果实也就不可避免地进入了衰老期。石海燕等<sup>[14]</sup>对紫花芒果研究表明,SOD 活性随着果实后熟衰老,其活性逐渐上升。

### 3.4 其他相关酶

其他果实衰老的酶有果胶脂酶(PE)、纤维素

酶、蔗糖磷酸合成酶( SPS) 以及脂氧合酶( LOX) 。但这些酶在芒果果实成熟衰老上的作用还有待进一步深入研究。

## 4 果实的软化研究

芒果果实采收后经过一定时间的后熟, 其硬度变小, 果实开始软化。果实的软化过程是指所有果实的成熟的一个重要特征。由胞间层结构改变, 细胞壁总体结构破坏以及细胞壁物质降解引起的。细胞分离是果实软化的重要原因。但在不同果种类的果实软化中起主导作用的水解酶不同, 在果实发育的不同阶段也存在差异。果实软化时细胞壁物质中大量分解, 包括果胶物质、纤维素、半纤维素的降解, 其中发生的最显著的变化是果胶物质溶液化。果胶物质是由原果胶、果胶酸甲酯和果胶酸组成<sup>[15]</sup>。果实成熟前, 果胶质呈不溶状态, 即以原果胶形式存在, 因而这期间果实质地较坚硬。而在果实后熟过程中, 原果胶逐渐迅速降解为可溶性果胶, 细胞结构也随之受损, 导致果肉质地发生变化, 硬度迅速下降。对苹果、猕猴桃和梨等的研究认为软化快的果实较软化慢的果实在成熟过程中原果胶含量下降及水溶性果胶含量的增加速度都要快<sup>[16-18]</sup>。在芒果果实采后贮藏过程中, 果实内淀粉在淀粉酶的催化下被水解并转化为可溶性糖, 从而引起细胞膨压力的下降, 这也就导致了果实的软化。唐友林等<sup>[19]</sup>研究认为, 芒果中淀粉的水解和消失, 是使芒果中果皮细胞壁失去支撑, 致使果实软化的重要原因之一。

任何生理变化都会有一系列的酶参与, 其中参与果胶物质降解的主要涉及到多聚半乳糖醛酸酶( PG) 与果胶脂酶( PE) 。但随着采后分子生物学的深入研究, 近年来一些作用于细胞壁的非果胶成分、纤维素、半纤维素的酶类引起关注<sup>[25-28]</sup>。木葡聚糖内糖基转移酶( XET) 是最近发现的一种与果实软化相关的酶。木葡聚糖是一种细胞壁的结构多糖, 为双子叶植物细胞初生壁中的主要半纤维素。XET 是通过分解细胞壁半纤维素多糖的主要成分——木葡聚糖而参与果实软化<sup>[20]</sup>。

此外, 钙对果实的发育及质地也有着重要的影响。电镜观察证明, 钙和细胞壁的果胶酸结合成果胶酸钙, 保护细胞中胶层的结构<sup>[21]</sup>。钙还对 PG 的活性和 EFE 的活性有拟制作用。通过拟制 PG 和 EFE 的活性, 从而延缓果实成熟及软化的过程<sup>[22, 23]</sup>。

## 5 果实内含物的变化

芒果在采收后, 由于呼吸及蒸腾作用及相关酶

类的影响, 果实内淀粉经降解为多糖, 使得贮藏一段时间后芒果内的可溶性糖、还原糖、非还原糖、可溶性固形物含量增加。可溶性糖在采后 14 d 增至最高, 果实即进入最佳食用状态, 随后各种糖含量均开始下降, 味道变淡。郑小林等<sup>[24]</sup>以“红 6 号”果实为材料, 经采收草酸、采前草酸+ 采后草酸和采前钙+ 采后草酸 3 个处理后进行贮藏, 研究发现 3 种处理都有效的拟制的果实硬度的下降速度, 并且在果实完熟时的可溶性固形物含量没有产生影响, 因此草酸处理可作为芒果贮藏保鲜的一种方法。王育林等<sup>[4]</sup>采用紫红 为试材, 研究 35℃ 和 38℃ 热空气处理后对果实生理生化特性和贮藏效果的影响, 结果表明温度升高或者处理时间延长均可拟制果实可溶性固形物含量的上升, 从而达到延缓果实后熟的目的。

## 6 小结

综上所述, 成熟期的芒果果实及其采后的主要生理生化的变化都有一定的规律。对其采后生理生化变化的研究将对芒果的贮藏保鲜提供一定的理论基础。但芒果的成熟衰老是一个复杂的过程, 要真正解决芒果采后保鲜问题, 必须从细胞与分子水平上对芒果果实成熟与衰老的机理和各种采后处理对衰老进程影响机理进行研究, 将来随着分子生物学及基因工程等生物技术的发展, 对果实采后的研究将更加深入。

### 参考文献:

- [1] 高爱平, 陈业渊, 朱 敏, 等. 中国芒果科研进展综述 [J]. 中国热带农业, 2006(6): 21- 23.
- [2] 罗云波, 蔡同一. 园艺产品贮藏加工学(贮藏篇) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 42- 46.
- [3] 蔡於麒, 何和明. 芒果生长发育过程中若干生理参数的变化[J]. 中国野生植物资源, 2000, 19(5): 56- 58.
- [4] 王育林, 彭永宏. 热空气处理对 果果实若干生理特性和贮藏效果的影响[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(2): 1- 4.
- [5] 胡美姣, 高兆银, 李 敏, 等. 热水和 1-MCP 处理对 果贮藏效果的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(3): 243- 24.
- [6] Shibamoto T. ‘Minor’ tropical fruit mango, papaya, passion fruit, and guava[M]// Monton I D. Food Flavors Part C: The Flavour of Fruit. Amsterdam: Elsevier Science Press, 1990: 221- 234.
- [7] 王花俊, 李光照, 黄鸿勋, 等. 芒果中香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(10): 142- 146.
- [8] 魏长宾, 武红霞, 马蔚红, 等. 完熟金煌芒果果实香气成分研究[J]. 广西农业科学, 2007, 38(4): 443- 446.

- [ 9] 魏长宾,马蔚红,武红霞,等. 红芒 6 号果实成熟阶段香气成分研究[J]. 亚热带植科学, 2007, 36(2): 1- 3.
- [ 10] Herianus J D, LaleL Zom Singh, Soon Chye Tan. Aronla volatiles production during fruit ripening of ‘ Kensington Pride’ mango[ J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 27: 323- 336.
- [ 11] 寇晓虹,罗云波. 植物多聚半乳糖醛酸酶功能研究进展[J]. 生物技术通报, 2003, 5: 15- 18.
- [ 12] 张昭其,段学武,陆旺金. 果实多聚半乳糖醛酸酶分子生物学研究进展[J]. 生命科学, 2002, 14(2): 92- 94.
- [ 13] 张 ,孙保娟,孟凡娟,等. 植物多聚半乳糖醛酸酶抑制蛋白研究进展[ J]. 广东农业科学, 2006, 7: 102- 104.
- [ 14] 石海燕,冯双庆. 气调贮藏对‘ 紫花’ 芒果 PG、纤维素酶及果实硬度的影响[J]. 园艺学报, 1997, 24( 4): 407 - 409.
- [ 15] 朱广廉. 果实成熟的基因工程研究[J]. 生物学通报, 1995, 30( 1): 1- 4.
- [ 16] 关军锋,马智宏. 苹果果实软化与果胶含量、质膜透性和钙溶性的关系[J]. 果树学报, 2001, 18( 1): 11- 14.
- [ 17] 王贵椿,韩雅珊,于 梁. 浸钙对猕猴桃果实硬度变化影响的生化机制[J]. 园艺学报, 1995, 22( 1): 21- 24.
- [ 18] 周宏伟,吴耕西. 长把梨贮藏中多聚半乳糖醛酸酶与果胶甲酯酶的作用[J]. 山东农业大学学报, 1992, 23( 1): 67- 69.
- [ 19] 唐友林,周玉蝉,潘小平. 采后芒果的后熟软化与贮藏淀粉变化之间的关系[J]. 亚热带植物通讯, 1997, 26( 2): 40- 44.
- [ 20] Lu Wangjin, Ryohei Nakano, Yasutaka Kubo, *et al.* Cloning and expression analysis of an XET cDNA in the peel and pulp of banana fruit ripening and softening[ J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46( 3): 355- 362.
- [ 21] 莫开菊,汪兴平. 钙与果实采后生理[ J]. 植物生理学通讯, 1994, 30( 1): 44- 47.
- [ 22] 牟咏花. 钙的生理功能及在果蔬生理中的重要性( 综述)[ J]. 浙江农业学报, 1995, 7( 6): 499- 501.
- [ 23] 关军锋. 钙与果实生理生化关系的研究进展[J]. 河北农业大学学报, 1991, 14( 4): 105- 109.
- [ 24] 郑小林,田世平,岳 洪. 草酸处理对 果贮藏效果的影响( 英文)[ J]. 园艺学报, 2007, 34( 3): 579- 584.
- [ 25] 侯晓东,施瑞城. 芒果采后生物学特性及其研究进展[ J]. 华北农学报, 2006, 21( 增刊): 24- 28.
- [ 26] 赵 磊,杨延杰,林 多. 贮藏温度对蒲公英采后生理和品质的影响[ J]. 华北农学报, 2008, 23( 3): 36- 38.
- [ 27] 赵丛枝,张子德,唐 霞. 不同贮藏条件对赞皇大枣采后生理的影响[ J]. 华北农学报, 2006, 21( 增刊): 21- 24.
- [ 28] 吕昌文,齐 灵,修德仁,等. 桃波动温度贮藏及其机理研究[J]. 华北农学报, 1994, 9( 1): 14- 19.