

黄花梨果实采后软化生理基础

林河通^{1,2}, 席均芳¹, 陈绍军²

(¹ 浙江大学食品科学与营养系, 杭州 310029; ² 福建农林大学食品科技学院, 福州 350002)

摘要: 研究了 20℃、相对湿度 80% ~ 90% 条件下黄花梨果实采后软化的生理生化变化。结果表明, 黄花梨属于呼吸跃变型果实, 采后果肉硬度逐渐下降而出汁率逐渐增加。采后 5 d 内淀粉酶活性增加 2.9 倍而淀粉含量下降 72.80%, 之后淀粉酶活性和淀粉含量逐渐下降。采后原果胶和纤维素含量下降而可溶性果胶含量增加, 且果肉硬度同原果胶含量和纤维素含量都呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。采后 5 d 内, 多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 和纤维素酶活性变化不大, 之后迅速上升, 到采后 15 d 达到酶活性高峰, 分别为采收时的 3.0 倍和 7.9 倍, 之后酶活性逐渐下降。因而认为, 黄花梨采后 5 d 内果肉软化, 主要是淀粉酶活性的快速上升催化淀粉的快速水解造成的, 并为呼吸跃变准备能源物质; 之后果肉软化是由 PG、纤维素酶作用引起果胶质、纤维素等细胞壁组分降解所致。

关键词: 黄花梨; 果肉软化; 淀粉; 细胞壁组分; 淀粉酶; 细胞壁降解酶

Postharvest Softening Physiological Mechanism of Huanghua Pear Fruit

LIN He-tong^{1,2}, XI Yu-fang¹, CHEN Shao-jun²

(¹ Department of Food Science and Nutrition, Zhejiang University, Hangzhou 310029;

² College of Food Science and Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002)

Abstract: Postharvest physiological and biochemical changes of softened Huanghua Pear (*Pyrus Pyrifolia* Nakai cv. huanghua) fruit were investigated at 20°C and 80% - 90% RH. The results were as follows: the respiratory pattern of Huanghua pear belonged to climacteric fruit, flesh firmness gradually decreased but the flesh extractable juice content gradually increased. The amylase activity increased by 2.9 fold but the starch content decreased by 72.80% within 5 days after harvest, then the amylase activity and starch content gradually decreased. The protopectin and cellulose content decreased but soluble pectin content increased, and both protopectin content and cellulose content were positively correlated with flesh firmness significantly ($P < 0.01$). Polygalacturonase (PG) and cellulase activity had little changes within 5 days after harvest, then enzymic activity rapidly increased, and the enzymic activity peak appeared on the 15th day after harvest, PG activity increased by 3.0 fold and cellulase activity increased by 7.9 fold as compared with that at harvest day, then enzymic activity gradually decreased. It was suggested that flesh softening of Huanghua pear within 5 days after harvest was mainly caused by rapid degradation of starch, which was catalyzed by rapid increase of amylase activity. Energy substance was supplied by starch degradation for respiratory climacteric. Afterwards, flesh softening was caused by the degradation of cell wall components such as pectin and cellulose, which were brought about by the action of PG and cellulase.

Key words: Huanghua pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. huanghua); Flesh softening; Starch; Cell wall components; Amylase; Cell wall-degrading enzyme

收稿日期: 2001-07-07

基金项目: 福建省教育厅科技资助项目(K99008)

作者简介: 林河通(1967-),男,福建安溪人,副教授,博士研究生,主要从事果蔬采后生理与贮藏加工的的教学和研究工作。Tel: 0591-3792538;

E-mail: hetonglin@163.com

黄花梨(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Huanghua)为我国盛夏季节上市的主要南方水果之一,其果皮薄,果肉脆嫩,汁液丰富,风味十分优美,深受消费者青睐。因其果实采后极易软化变色,常温下仅能保鲜1周左右,所以供应期短,难以远距离运销。因此控制黄花梨采后软化、腐烂成为生产上亟待解决的问题。有关梨果实采后软化的研究虽有报道^[1~4],但对砂梨采后果肉软化的报道国内外甚少^[5]。笔者以黄花梨果实为材料,研究其采后软化生理生化变化规律,为延缓梨果实品质变化,提高保鲜、运销效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及其处理

黄花梨果实来源于福建省建宁县金溪乡果茶场,树龄10年生左右,果实约九成熟时采收,采后当天常温运回实验室(福州),挑选大小均匀、成熟度一致、无机械伤和无病虫害的果实供试验用。果实用25%戴挫霉杀菌剂 $1.0\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ 洗净后晾干,用打孔(孔径0.5 cm,20孔/袋)的聚乙烯薄膜袋(厚度为0.04 mm)包装,每袋5 kg,10个重复,在 $20\pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度80%~90%条件下贮藏。每隔5 d进行检查和测定。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 呼吸强度测定 用气流法测定,空气流量为 $0.4\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

1.2.2 果肉硬度测定 用GY-1型果实硬度计测定。

1.2.3 果肉出汁率测定 参照Zhou等^[6]的方法测定。

1.2.4 淀粉含量和淀粉酶活性测定 参照韩雅珊^[7]的方法测定。

1.2.5 果胶物质含量、多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性和果胶甲酯酶(PME)活性测定 果胶物质(原果胶、可溶性果胶)含量用咔唑比色法^[7]测定;PG活性参照Soda等^[8]的方法测定;PME活性参照Hagerman等^[9]的方法测定。

1.2.6 纤维素含量和纤维素酶活性测定 纤维素含量参照宁正祥^[10]的方法测定,纤维素酶的酶液提取与PG相同,其活性参照王贵禧等^[11]的方法测定。

果肉硬度测定重复10次,其余项目均重复3次进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 呼吸强度、果肉硬度和出汁率的变化

图1表明,黄花梨果实有呼吸高峰,15 d达最大值,为采收时的3.0倍,之后迅速下降。采后果肉硬度呈下降趋势,但采后不同时期,其下降幅度不同。采后5 d内,果肉硬度平均每天下降1.21%;采后5~10 d内,平均每天下降0.32%;此后下降加速,尤其是采后20~25 d时,平均每天下降2.20%(图1)。采后果肉出汁率呈上升趋势,但采后不同时期,增加幅度不同。采后0~5 d内,果肉出汁率平均每天增加5.31%;采后5~15 d内,平均每天增加1.84%;采后15~20 d,增加速度加快,平均每天增加6.19%;此后出汁率增加缓慢,平均每天增加1.16%(图1)。相关分析表明,果肉硬度与出汁率呈极显著负相关($P < 0.01$)。

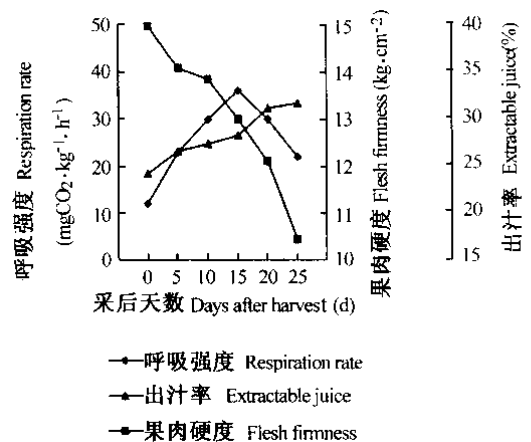


图1 黄花梨果实采后呼吸强度、果肉硬度和出汁率的变化
Fig.1 Changes of postharvest respiration rate, flesh firmness and extractable juice content in Huanghua pears

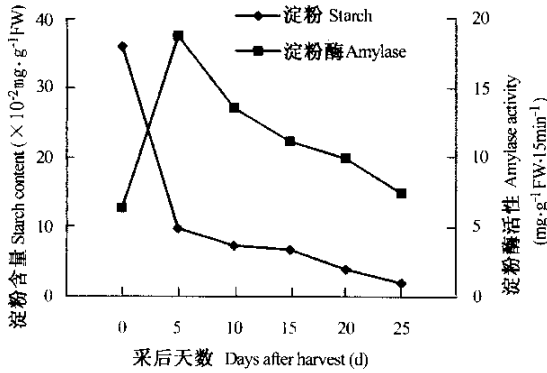
2.2 淀粉含量、淀粉酶活性变化与果肉软化的关系

黄花梨采后淀粉酶活性呈快速上升趋势,5 d达到高峰,为采收时的2.9倍;之后逐渐下降。采后0~5 d内,果实淀粉含量下降72.80%;之后缓慢减少,采后25 d,仅为采收时的5.68%(图2)。相关分析表明,淀粉含量与果肉硬度的相关系数($r = 0.7337$)不显著($P > 0.05$)。

2.3 果胶物质含量、PG、PME活性变化与果肉软化的关系

黄花梨采后原果胶含量下降而可溶性果胶含量增加,两者呈极显著负相关($P < 0.01$)。采后0~5 d,原果胶含量下降9.42%,可溶性果胶含量增加

29.41% ,之后果胶物质变化加大 ,尤其是采后 10 ~ 25 d ,原果胶含量下降 47.83% ,可溶性果胶含量上升到 405.88%。黄花梨采后 5 d 内 ,PG 活性变化不大 ,之后明显上升 ;15 d 达到高峰 ,为采收时的 3.0 倍 ,之后呈下降趋势。采后 25 d 中 ,PME 活性始终呈下降趋势(图 3)。相关分析表明 ,果肉硬度与原果胶含量呈极显著正相关($P < 0.01$) ;果肉硬度与



可溶性果胶含量呈极显著负相关($P < 0.01$)。
图 2 黄花梨果实采后淀粉含量和淀粉酶活性的变化

Fig. 2 Changes of starch content and amylase activity in Huanghua pears after harvest

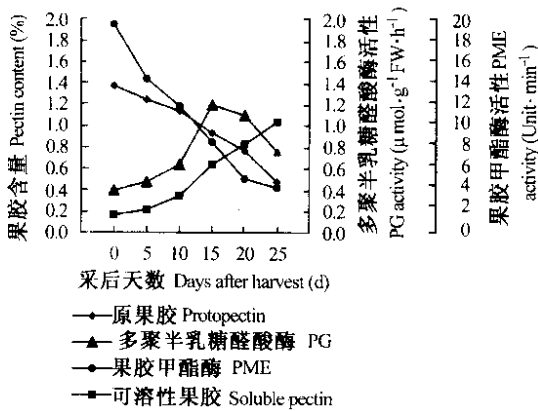


图 3 黄花梨果实采后原果胶与可溶性果胶含量和 PG、PME 活性的变化

Fig. 3 Changes of content of protopectin and soluble pectin , and PG , PME activities in Huanghua pears after harvest

2.4 纤维素含量、纤维素酶活性变化与果肉软化的关系

黄花梨采后纤维素含量随采后时间的延长而减少(图 4)。采后 5 d 内 ,纤维素酶活性很低 ;之后明显上升 ,15 d 时达到活性高峰 ,为采收时的 7.9 倍 ;之后逐渐下降 ,采后 20 ~ 25 d ,则快速下降 ,酶活性从 $\text{FW } 28.50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 下降到 $\text{FW } 7.125 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,下降了 75%(图 4)。相关分析证明 ,纤维素含量与果肉硬度呈极显著正相关($P < 0.01$)。

$\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,下降了 75%(图 4)。相关分析证明 ,纤维素含量与果肉硬度呈极显著正相关($P < 0.01$)。

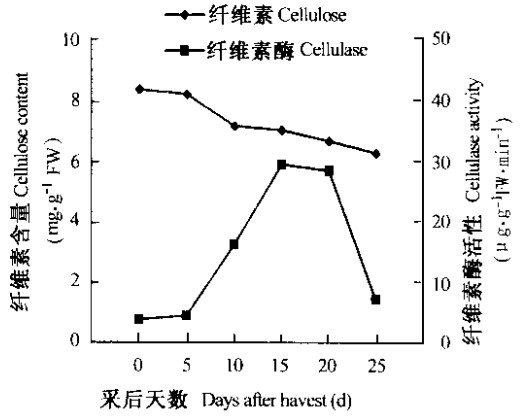


图 4 黄花梨果实采后纤维素含量和纤维素酶活性的变化
Fig. 4 Changes of cellulose content and cellulase activity in Huanghua pears after harvest

3 讨论

3.1 淀粉代谢在黄花梨后熟软化中的作用

淀粉在细胞中以淀粉粒状态存在 ,对细胞起着支撑作用 ,当淀粉被淀粉酶水解为可溶性糖后 ,淀粉对细胞的支撑作用下降 ,导致果实软化^[12]。试验表明 ,黄花梨采后 5 d 内 ,PG 和纤维素酶活性变化不大 ,原果胶和纤维素降解少(图 3、4) ;而淀粉酶活性增加 2.9 倍 ,淀粉含量下降 72.80% ,果肉硬度快速下降 ;之后淀粉酶活性和淀粉含量逐渐下降(图 1、2)。因此认为 ,采后 5 d 内 ,果肉硬度的快速下降主要是淀粉酶活性的快速上升 ,引起淀粉快速水解造成的 ;之后果肉软化是由果胶、纤维素等细胞壁组分降解引起的。

黄花梨采后 5 d 内淀粉的剧烈水解和可溶性糖的增加(数据未列出)是果实呼吸跃变和果实成熟的能源准备 ,表现出风味变甜 ,之后糖作为呼吸基质被消耗 ,含糖量下降。随着贮藏时间的延长 ,甜味也下降。

3.2 果胶物质、纤维素代谢在黄花梨采后果肉软化中的作用

果实在成熟衰老过程中 ,PG、PME、纤维素酶等胞壁降解酶活性增加 ,果胶、纤维素等细胞壁组分降解 ,导致果肉软化和出汁率提高^[6,13]。试验表明 ,黄花梨采后果肉软化过程中 ,原果胶和纤维素含量下降 ,果肉出汁率增加(图 1、3、4) ,并且果肉硬度同原果胶含量、纤维素含量呈极显著正相关($P < 0.01$) ,说明果胶物质和纤维素两者代谢与黄花梨果肉软化密切相关。

黄花梨采后初期 纤维素酶活性很低 ;采后 5 d 内 ,PG 和纤维素酶活性变化不大 ,原果胶和纤维素降解较少 ;之后酶活性迅速上升 ,到采后 15 d 达到酶活性高峰 ,PG 和纤维素酶活性分别为采收时的 3.0 倍和 7.9 倍 ;PG 和纤维素酶活性的增加同原果胶和纤维素含量的下降以及果肉的快速软化一致 (图 1、3、4) 。因而认为 ,采收 5 d 后 ,PG 和纤维素酶活性的提高促进果胶和纤维素降解 ,可能是黄花梨软化的关键。Ben-Arie 等^[1,2]研究和观察了细胞壁降解酶与超微结构也证实了 PG 和纤维素酶在梨成熟软化中起着关键作用。

果肉硬度下降过程中 ,PME 活性一直处于下降状态 (图 3) ,表明 PME 与果实硬度下降的关系不明显 这与长把梨^[4]、Spadona 梨^[2]和猕猴桃^[11]的研究结果一致。但 Hagerman 等^[9]认为 ,当 PME 将高甲氧基果胶转变为低甲氧基果胶时 ,创造了适于 PG 作用的条件 ,因而更有利于 PG 对果胶物质的水解 ;Yoshioka 等^[3]还观察到 Red Bartlett 梨果实软化过程中果胶物质的酯化度降低。因此 ,PME 的生理意义可能在于为 PG 准备作用底物 ,对果胶物质的降解和果实软化起辅助作用。

综上所述 ,黄花梨果肉软化前期主要是淀粉酶作用引起淀粉降解所致 ,并为呼吸跃变准备能源 ;之后的果肉软化是由 PG、纤维素酶作用引起果胶物质、纤维素等细胞壁组分降解所致 ;呼吸跃变过后 ,果实进入衰老阶段 ,果肉加速软化 ,出汁率显著增加。

在保鲜贮运实践中 ,采取适当贮前处理和贮藏措施 ,如适宜低温贮藏 ,可降低黄花梨果实呼吸强度 ,延缓呼吸高峰出现^[5] ,抑制淀粉酶、PG 和纤维素酶活性 ,保持果实较高的淀粉、原果胶和纤维素含量 (资料待发表) ,保持果实较高的硬度^[5] ,从而达到抑制果实软化、延长保鲜贮运期、提高保鲜运销效果的目的。此外 ,有关脂氧合酶、乙烯代谢在黄花梨果实采后软化中的作用和果实软化调控技术的目的有待进一步研究。

References

[1] Ben-Arie R, Sonogo L. Changes in pectic substances in ripening pears. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1979, 104(4): 500 - 505.

[2] Ben-Arie R, Kislev N. Ultrastructural changes in the cell walls

of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiology*, 1979, 64: 197 - 202.

- [3] Yoshioka H, Aoba K, Kashimura Y. Molecular weight and degree of methoxylation in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1992, 117(4): 600 - 606.
- [4] 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. *山东农业大学学报*, 1992, 23(1): 67 - 70.
Zhou H W, Wu G X. Effect of polygalacturonase and pectin esterase during storage of long-stalk pear. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1992, 23(1): 67 - 70. (in Chinese)
- [5] 林河通, 洪启征, 袁振林, 蔡建元. 黄花梨果实冷藏适温的研究. *农业工程学报*, 1997, 13(1): 206 - 210.
Lin H T, Hong Q Z, Yuan Z L, Cai J Y. Study on the optimum cool storage temperature for Huanghua pear fruits. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1997, 13(1): 206 - 210. (in Chinese)
- [6] Zhou H W, Sonogo L, Ben-Arie R, Lurie S. Analysis of cell wall components in juice of flavortop nectarines during normal ripening and woolliness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1999, 124(4): 424 - 429.
- [7] 韩雅珊. 食品化学实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 33 - 41, 129 - 132.
Han Y S. *A Laboratory Guidance of Food Chemistry*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1992: 33 - 41, 129 - 132. (in Chinese)
- [8] Soda I, Hasegawa T, Suzuki T, Ogura N. Detection of polygalacturonase in kiwifruit during ripening. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1986, 50: 3191 - 3192.
- [9] Hagerman A E, Austin P J. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methylesterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1986, 34: 440 - 444.
- [10] 宁正祥. 食品成分分析手册. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 45 - 47.
Ning Z X. *A Handbook of Food Ingredient Analysis*. Beijing: China Light Industrial Press, 1998: 45 - 47. (in Chinese)
- [11] 王贵禧, 韩雅珊, 于 梁. 猕猴桃总淀粉酶活性与果实软化的关系. *园艺学报*, 1994, 21(4): 329 - 333.
Wang G X, Han Y S, Yu L. The relationship between amylase activity and softening of kiwifruit after harvest. *Acta Horticulturae Sinica*, 1994, 21(4): 329 - 333. (in Chinese)
- [12] Arpaia M L, Labavitch J M, Greve C, Kader A A. Change in the cell wall components of kiwifruit during storage in air controlled atmosphere. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1987, 112(2): 474 - 481.
- [13] Seymour G B, Gross K C. Cell wall disassembly and fruit softening. *Postharvest News and Information*, 1996, 7: 45 - 52.