

香蕉果实成熟软化过程中细胞壁物质的变化

庄军平, 林焕章, 陈维信*

(广东省果蔬保鲜重点实验室, 华南农业大学园艺学院, 广州 510642)

摘要:系统研究了香蕉果实软化过程中细胞壁物质—醇不溶性固形物(AIS)以及3种不同性质的果胶物质:水溶性果胶(WSP)、酸溶性果胶(HP)和碱溶性果胶(OHP)含量的变化。结果表明:随果实的成熟软化,AIS的含量不断降低,且在呼吸跃变时急剧降低;WSP的含量不断增加,HP和OHP的含量不断减少,且均表现出在早期变化量少,在果实硬度迅速降低时变化明显。该研究进一步证明细胞壁物质的变化是导致香蕉果实软化的主要原因。

关键词:香蕉果实;细胞壁物质;果胶物质;果实软化

中图分类号:Q945.65

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2006)03-0218-04

Changes of Cell Wall Substances during Ripening of Banana Fruit

ZHUANG Jun-ping, LIN Huan-zhang, CHEN Wei-xin*

(Guangdong Province Key Laboratory for Postharvest Science and Technology,

College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Changes of alcohol-insoluble solids (AIS), water-soluble pectic substances (WSP), acid- and alkali-soluble pectic substances (HP, OHP) were determined during banana (*Musa acuminata* cv. Brazil) fruit softening. Results showed that the contents of AIS decreased continuously with the fruit ripening, and declined rapidly at climacteric stage. The contents of water-soluble pectic substances (WSP) were found increased, while those of acid- and alkali-soluble pectic substances (HP, OHP) decreased. Such changes were little at the beginning of fruit storage, but became more obvious when firmness declined rapidly. It was shown that changes of cell wall substances played an important role in banana fruit softening.

Key words: Banana fruit; Cell wall substances; Pectic substances; Fruit softening

香蕉是热带、亚热带地区的重要水果,采后贮藏过程中的软化是影响其贮藏寿命的重要原因。研究表明在果实成熟软化过程中果实细胞初生壁结构和组分发生明显的变化^[1],特别是果胶物质的变化最为显著,主要表现在可溶性果胶含量的增加和不溶性果胶含量的降低,同时伴随着一些中性多糖如半乳糖和阿拉伯糖含量的增加^[2-4]。有关香蕉果实成熟软化过程中细胞壁物质的变化尚未见报道。本研究目的在于了解其成熟软化过程中细胞壁物质和不同性质果胶组分的变化,为探讨果实成熟时软

化的机理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

所用香蕉品种为‘巴西’(*Musa acuminata* cv. Brazil),采自广州市番禺区万顷沙镇,采收时饱满度约为七至八成。采后于当天运回实验室,处理后将单个蕉指实放入0.03 mm厚的聚乙烯薄膜袋中,每个袋中4条蕉指。共设两个处理:对照,直接将袋放

收稿日期:2005-09-12 接受日期:2005-12-12

基金项目:十五国家科技攻关子课题(2001BA501A09);广东省科技厅重点攻关项目(B202)资助

* 通讯作者 Corresponding author

入 $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的恒温箱中,薄膜袋不封口;处理,每袋放入 3 g 乙烯吸收剂,封口后置恒温箱中,薄膜袋封口。每个处理 3 次重复,之后根据果实成熟情况,选择相应的处理时间取样, -20°C 的低温冰箱中保存。

1.2 果实硬度和呼吸强度的测定

果实硬度的测定参照段学武等的方法^[5],用 KM 型(日本产)果实硬度计测定,以 kg cm^{-2} 表示。呼吸强度的测定参照胡位荣的方法^[6]。

1.3 醇不溶性固形物(alcohol-insoluble solids, AIS)提取

参照 Majumder 等的方法^[7]进行。称取 10 g 果肉,加入 80°C 预热的 95% 乙醇后研磨,然后将匀浆倒入布氏漏斗中过滤,滤渣再用 95% 的乙醇反复冲洗数次,直至滤液中不再呈现糖的反应(苯酚-硫酸法检验)为止;然后在通风橱中向滤渣中加入乙醚,不断搅拌冲洗,并用布氏漏斗过滤 3 次,以除去滤渣中的脂类和色素类物质,减少其对果胶测定的影响。在通风橱中待乙醚完全挥发后,将滤渣放入培养皿中,在恒温箱中 40°C 下过夜烘干,即为醇不溶性固形物,称重,含量以每 10 g 新鲜样品中所含的醇不溶性固形物的量计算,表示为 g (10 g)^{-1} FW。

1.4 果胶物质的提取和测定

果胶物质的提取参照 Majumder 的方法^[7]。

水溶性果胶(water-soluble pectic substances, WSP)的提取 称取 0.2 g AIS,加 5 ml 双蒸水,在混匀仪上剧烈混合 10 min, $4000 \times g$ 离心 10 min,取上清液于 25 ml 的容量瓶中;如上反复提取 3 次,合并上清液,用双蒸水定容至 25 ml,即为水溶性果胶。

酸溶性果胶(acid-soluble pectic substances, HP)的提取 将上述离心后的沉淀加入 5 ml 0.05 mol/L 的 HCl,充分混匀后在 100°C 的水浴锅中水浴 30 min, $4000 \times g$ 离心 10 min,取上清液于 25 ml 的容量瓶中,如上重复提取 3 次,合并上清液,并用 0.05 mol/L 的 HCl 定容至 25 ml,即为酸性果胶。

碱溶性果胶(alkali-soluble pectic substances, OHP)的提取 将上一步离心后的沉淀加入 5 ml 0.05 mol/L 的 NaOH,充分混匀后在室温下提取

20 min, $4000 \times g$ 离心 10 min,取上清液于 25 ml 的容量瓶中,重复提取 3 次,合并上清液,用 0.05 mol/L 的 NaOH 溶液定容至 25 ml,即为碱性果胶。

果胶物质含量的测定 参照韩雅珊的方法^[8]。果胶的含量用单位鲜重的香蕉样品中所含的半乳糖醛酸量表示($\text{Gal } \mu\text{g g}^{-1}$ FW)。以半乳糖醛酸制作标准曲线,然后计算其相应的果胶含量。

2 结果和分析

2.1 果实硬度和呼吸强度的变化

如图 1A 所示,在刚采收时香蕉果实的硬度为 1.2 kg cm^{-2} 左右,随着贮藏时间的延长硬度不断降低,其中对照在 26 d 急剧下降,32 d 时硬度即接近 0,而处理在 38 d 急剧下降,50 d 降低到 0;呼吸强度的变化如图 1B 所示,随着贮藏时间的延长呼吸强度不断增加,其中对照在 30 d 达到呼吸高峰,而处理在 48 d 达到呼吸高峰。

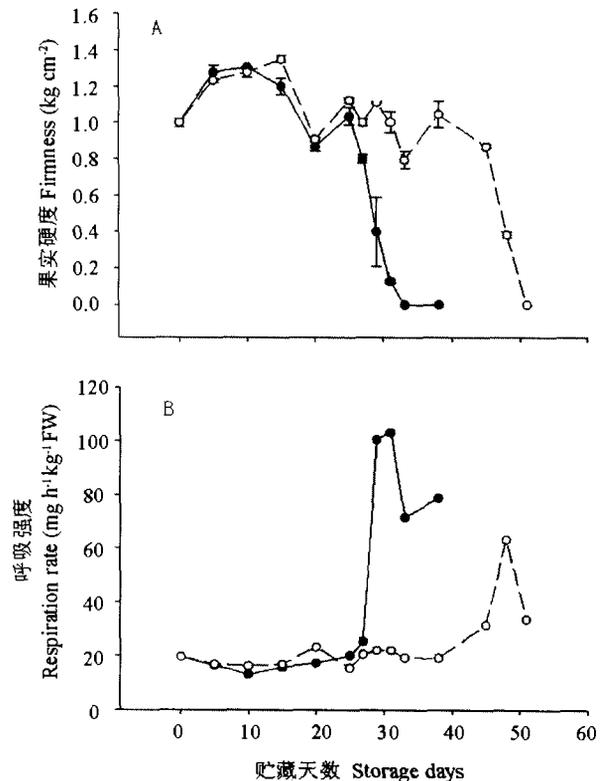


图 1 香蕉果实在 24°C 贮藏过程中果实硬度 (A) 和呼吸强度 (B) 的变化

Fig. 1 Changes in firmness (A) and respiration rate (B) of banana fruit during storage at 24°C

● Control; ○ 处理 Treatment

2.2 醇不溶性固形物含量和水溶性果胶含量的变化

从图 2A 可以看出,在贮藏过程中,果实中醇不溶性固形物的含量不断降低,其中对照从 $2.63 \text{ g (10g)}^{-1} \text{ FW}$ 降低到 $0.24 \text{ g (10g)}^{-1} \text{ FW}$,在完全成熟时果实中 AIS 的含量仅为最初的 1/10 左右,且在贮藏早期变化较小,而在后期急剧下降,其中对照在贮藏 29 d 时开始急剧下降,处理的 AIS 量在 38 d 开始急剧下降,处理和对照在完全成熟时 AIS 的量无明显差异,均为 $0.24 \text{ g (10g)}^{-1} \text{ FW}$ 左右。

从图 2B 可以看出,在刚采收时香蕉果实中水溶性果胶的含量为 $4.65 \text{ Gal } \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 。在贮藏过程中,含量均不断增高。对照的 WSP 在第 20 天开始明显增加,处理的 WSP 则在第 40 天开始明显增加,48 d 时达到最高。

2.3 酸溶性果胶和碱溶性果胶含量的变化

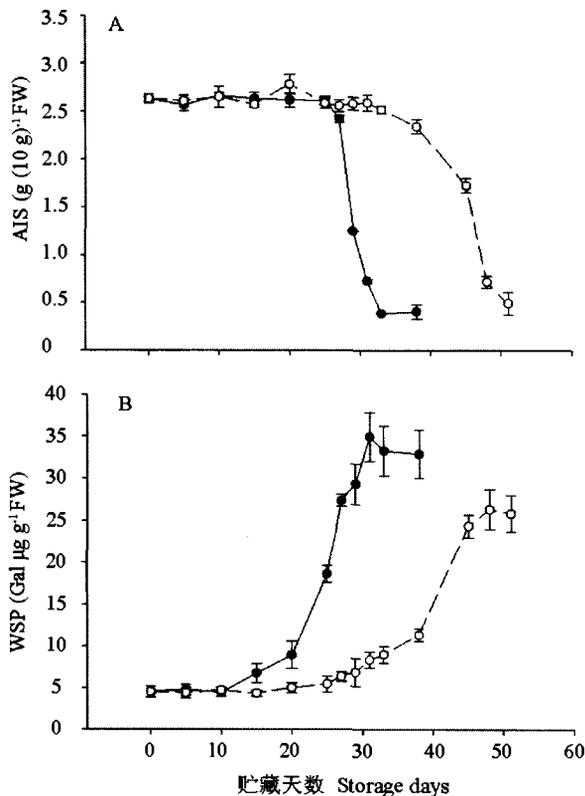


图 2 香蕉果实在 24°C 贮藏过程中醇不溶性固形物含量 (A) 和水溶性果胶含量 (B) 的变化

Fig. 2 Changes in contents of alcohol-insoluble solids (AIS) (A) and water-soluble pectic substances (WSP) (B) in banana fruit during storage at 24°C
● Control; ○ 处理 Treatment

从图 3A 可见,在贮藏过程中,酸溶性果胶的含量明显降低,在贮藏初期降低量较小,随着贮藏时间的增加果实中 HP 含量的降低明显加剧,其中对照的 HP 含量在第 20 天开始明显降低,处理的变化规律与对照类似;碱溶性果胶含量的变化如图 3B 所示,也表现出随果实软化而降低(降低量达 50% 以上),在对照中 OHP 的含量在第 10 天就开始明显降低,而处理的在第 30 天才开始明显降低。

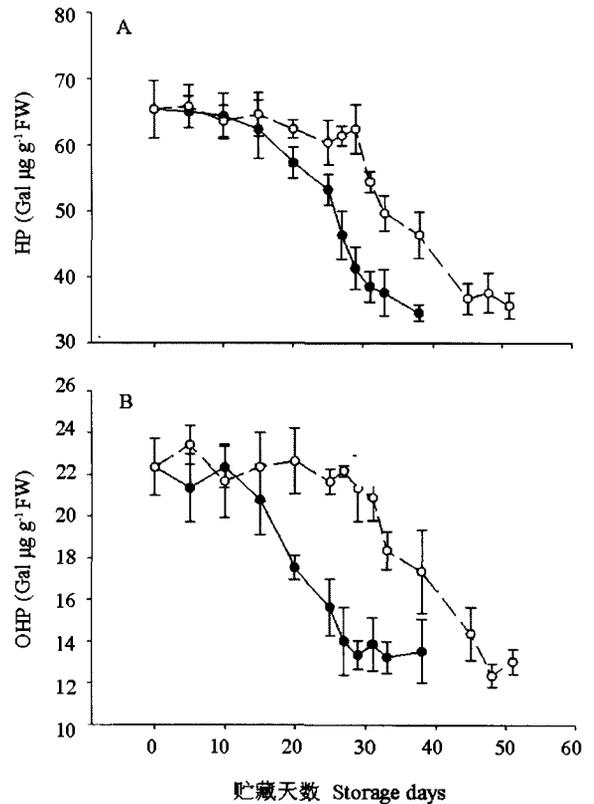


图 3 香蕉果实在 24°C 贮藏过程中酸溶性果胶含量 (A) 和碱溶性果胶含量 (B) 的变化

Fig. 3 Changes in contents of acid-soluble pectic (HP) (A) and alkali-soluble pectic (OHP) (B) in banana fruit during storage at 24°C
● Control; ○ 处理 Treatment

3 讨论

在果实成熟软化过程中,细胞壁物质的含量和成份均发生变化。细胞壁物质一般以醇不溶性固形物 (AIS) 表示, AIS 主要包括纤维素、半纤维素和果胶多糖,其中以果胶多糖在果实成熟软化中的作用最为重要^[9]。果胶多糖是植物细胞壁中胶层的主要成分,研究表明在果实的成熟软化过程中其结构发生明显的变化,并认为其结构的改变是导致果实硬

度下降的主要原因^[10]。

许多研究表明在果实的软化过程中细胞壁物质的量明显降低, 如 Rose 等报道番茄在从绿熟到成熟的过程中 AIS 的含量降低^[3]。Barnavon 等报道葡萄在果实软化中 AIS 的含量也不断降低^[12]。本研究表明在香蕉果实成熟软化中果实 AIS 的量明显降低(图 2A), 从 $2.63 \text{ g (10g)}^{-1} \text{ FW}$ 下降至 $0.24 \text{ g (10g)}^{-1} \text{ FW}$ 。而且特别值得注意的是, 虽然果实中 AIS 的量在完全成熟时仅为起始时的 10% 左右, 但在果实硬度明显下降之前 AIS 的变化很小, 在果实硬度开始明显下降至完全成熟的短暂时间内 AIS 的量才迅速下降, 这也进一步说明香蕉果实软化过程中细胞壁物质的降解是导致果实软化的主要原因。

早在 1983 年 Malis-Arad 等发现在果实成熟过程中硬度下降一般伴随着不溶性果胶物质含量的降低^[11]。Prasanna 等研究报道芒果在果实成熟软化过程中总果胶的含量从 2.0% 降低至 0.7%^[13]。Majumder 等将灯笼果中的果胶分为: 水溶性果胶、草酸溶性果胶 (OXF)、酸溶性果胶和碱溶性果胶 4 种, 并发现在灯笼果果实的生长发育和成熟软化过程中 HP 和 OHP 的含量不断下降, 其中以 HP 下降最为明显^[7]。

本研究对香蕉果实软化过程中 WSP、HP 和 OHP 含量变化的研究表明, 香蕉果实成熟软化过程中 WSP 的含量不断增加, HP 和 OHP 的含量不断减少, 且均表现出在早期变化量少, 在果实硬度迅速下降时变化明显。由于 WSP 主要是由一些低甲氧基化的果胶酸组成, 而 HP 和 OHP 主要是由一些高分子量的原果胶和高甲氧基化的不溶性果胶酸组成, 在香蕉果实的成熟软化过程中, 在果胶降解相关酶的作用下, 果胶物质发生降解, 由一些高分子量的、高甲氧基化的果胶多糖转变为低分子的、可溶于水的果胶多糖, 导致细胞壁中胶层降解, 细

胞壁结构破坏, 最终使果实软化。

参考文献

- [1] Brady C J, McGlasson W B, Pearson J A, et al. Interactions between the amount and molecular forms of polygalacturonase, calcium, and firmness in tomato fruit [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1985, 1(10): 254-258.
- [2] Redgwell R J, Melton L D, Brasch D J. Cell wall dissolution in ripening kiwifruit [J]. *Plant Physiol*, 1992, 98:71-81.
- [3] Rose J K C, Hadfield K A, Labavitch J M, et al. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit [J]. *Plant Physiol*, 1998, 117(2):345-361.
- [4] Carrington C M S, Greve C L, Labavitch J M. Cell wall metabolism in ripening fruit [J]. *Plant Physiol*, 1993, 103:429-434.
- [5] Duan X W(段学武), Pang X Q(庞学群), Zhang Z Q(张昭其). Effects of cold shock treatment on softening of postharvest banana and some related enzymes activities [J]. *Acta Hort Sin(园艺学报)*, 2002, 29 (3) :214-217.(in Chinese)
- [6] Hu W R(胡位荣). The physiology of chilling injury and technology of ice-temperature storage in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2003. 16-17.(in Chinese)
- [7] Majumder K, Mazumdar B C. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene [J]. *Sci Hort*, 2002, 96:91-101.
- [8] 韩雅珊. 食品化学实验指导 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 33.
- [9] Saulnier L, Brillouet J M. Structural studies of pectic substances from the pulp of grape berries [J]. *Carbohydr Res*, 1988, 182:63-78.
- [10] Proctor A, Peng L C. Pectin transitions during blueberry fruit development and ripening [J]. *J Food Sci*, 1989, 54:385-387.
- [11] Malis-Arad S, Didi S, Mizrahi Y, et al. Pectic substances: changes in soft and firm tomato cultivars [J]. *J Hort Sci*, 1983, 58:111-116.
- [12] Barnavon L, Thierry D, Nancy T, et al. Analysis of cell wall neutral sugar composition, β -galactosidase activity and related cDNA clone throughout the development of *Vitis vinifera* grape berries [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2000, 38(4):289-300.
- [13] Prasanna V, Yashoda H M, Prabha T N, et al. Pectic polysaccharides during ripening of mango (*Mangifera indica* L.) [J]. *J Sci Food Agri*, 2003, 83:1182-1186.