

DOI:10.11937/bfyy.201705042

果实采后软化生理机制及调控技术研究进展

韩英群, 郭丹, 魏鑫, 魏潇, 王柏松, 郝义

(辽宁省果树科学研究所, 辽宁 营口 115009)

摘要:软化是果实采后成熟衰老的重要特征,包括一系列复杂有序的生理变化。该研究介绍了影响果实软化的主要因素,包括果实品质、细胞壁组成成分、细胞壁降解酶活性、乙烯浓度等变化,并总结抑制果实采后软化的物理、化学技术和方法,以期掌握果实软化生理机制、调控果实软化提供参考依据。

关键词:果实;软化;生理机制;调控

中图分类号:TS 255.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)05-0180-04

软化几乎是所有果实成熟的一个重要特征,包括果实质地和色、香、味等品质变化,软化可以提高果实的风味和口感,但同时也削弱了果实抵御外界不良因素的能力,软化的果实容易受到机械伤害和病菌侵染,导致果实的耐贮性和抗病性下降,缩短货架寿命^[1]。目前,国内外相继开展不同果实软化的影响因子和生理机制研究,大量研究表明,果实软化是一个复杂有序的过程,其间经历了一系列生理生

化的变化,包括细胞壁的降解、内容物的变化、呼吸速率以及其它的代谢变化,它们不是独立地进行,而是彼此联系,互为因果^[2]。有效的采前处理及采后保鲜处理是抑制果实软化、延长果实贮藏期和货架期的主要技术措施。冷藏,气调贮藏,防腐保鲜处理,涂膜处理,辐射、电磁处理,热处理等技术均可起到调控果实软化的作用^[3]。该研究讨论果实软化过程中果实生理生化变化,揭示影响果实软化关键因子,分析调控果实软化的贮藏保鲜技术,为延缓果实软化、提高果实贮藏品质、延长果实贮藏期和货架期及开展相关试验研究提供参考依据。

1 果实软化生理机制

1.1 贮期品质

内容物是果实品质的衡量指标,从质量、果形、硬度、酸味、甜味等感官指标及可溶性固形物、维生

第一作者简介:韩英群(1965-),女,助理研究员,现主要从事果品贮藏保鲜等研究工作。E-mail:zc3390@163.com

责任作者:郝义(1969-),男,硕士,研究员,现主要从事果品贮藏保鲜等研究工作。E-mail:lnhy7849023@163.com

基金项目:辽宁省自然科学基金资助项目(2015020808);辽宁省果树产业技术体系岗位资助项目(LNGSCYTX-13/14-9)。

收稿日期:2016-09-27

SWOT Analysis on Development of Strawberry Industry in Sichuan Province

YUAN Min¹, CUI Yongliang¹, ZHENG Xiaoqin¹, LEI Siqin², LI Lijun¹, ZHONG Runxin¹

(1. Sichuan Academy of Natural Resource and Sciences, Chengdu, Sichuan 610015; 2. Rural Development Bureau of Shuangliu District, Chengdu, Sichuan 610200)

Abstract: In recent years, the cultivation area of strawberry in Sichuan Province was expanded rapidly, which had brought economic benefits in the main production areas, at the same time, had highlighted many restrictive factors to hinder the development of the strawberry industry. The strengths, weaknesses, opportunities and threats of industrial development of strawberry in Sichuan Province were analyzed by SWOT analysis in this study. Meanwhile, this research, contraposing the main restraining factor existing in strawberry industrial development of Sichuan Province, had put forward the corresponding countermeasure and suggestion.

Keywords: Sichuan; strawberry; industrial development; SWOT analysis

素 C、可滴定酸、矿物质含量,糖酸比等理化指标可反映果实总体特征^[4-5]。在果实贮期软化成熟过程中,可溶性固形物、糖、酸、维生素 C 等内容物质都发生不同程度的变化。淀粉对细胞起着支撑作用。当其水解后,可引起甜度增加细胞张力下降,导致果实软化^[6]。另外,降解的内容物参与果实呼吸作用产生乙烯,乙烯进一步促进内容物降解,其与内容物的变化相互影响。可见,果实软化伴随着果实品质的改变,果实品质变化进一步贮期果实软化衰老。

1.2 细胞壁组成

果实细胞壁均由纤维素、半纤维素、果胶物质和糖蛋白等大分子组成。细胞壁结构的破坏引起细胞壁多糖组分的变化和组织凝结能力下降导致果实软化^[7]。有研究表明,果实软化与原果胶向水溶性果胶的迅速转换有密切关系^[8];与成熟有关的半纤维素结构改变可能是果实质地变化的重要因子^[9];果实成熟过程中,细胞壁中半纤维素含量变化不大,只是分子量明显变小^[10]。因此,不同果实品种软化时的降解成分和速度可能不尽相同,细胞壁组成对果实软化的影响也因品种而异。

1.3 细胞壁降解酶

细胞壁降解酶水解细胞壁,造成细胞间连接减少、细胞离散可导致果实软化^[11],已发现的与细胞壁降解相关的酶类有 30 多种,起主要作用为多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶酯酶(PME)、纤维素酶(Cx)、 β -D-半乳糖苷酶(β -D-Gal)、 α -L-阿拉伯呋喃糖苷酶(α -Afa)、脂氧合酶(LOX)等,但不同降解酶的影响效果和机制因品种不同而有所差异。ATKINSON 等^[12]认为 PG 是“皇家嘎啦”苹果果实软化与细胞水解的关键酶;BRUMMELL 等^[13]认为桃 Cx 使纤维素降解,最终导致细胞壁的解体及果实软化;陈安均等^[14]指出桃果实成熟软化先于乙烯高峰的出现,可能是 LOX 导致 JS PU 前期软化的原因。魏建梅^[15]证实糖苷酶类在苹果果实质地疏松和软化中占有重要地位,且 PME 的作用强于 PG;刘美艳等^[16]认为“泰山早霞”果实软化可能是 PG、PME、 β -D-Gal、 α -L-Afa 及 LOX 等多种酶基因协同作用的结果。各类细胞壁水解酶在果实成熟软化的不同阶段起着不同的作用,不同酶类对不同果品影响也不同,其相互作用共同促进并调控果实软化^[17]。

1.4 乙烯

乙烯是果实成熟衰老激素,是调节果实成熟衰老的关键因子,在果实采后成熟与软化过程中起着重要的调控作用。IRELAND 等^[18]认为乙烯促进细

胞壁的分解,从而控制果实软化,乙烯浓度的增加进一步促进苹果的成熟;刘超超等^[19]认为果实发育后期乙烯释放高峰的出现有可能是导致“泰山早霞”PG 活性上升并出现活性高峰及硬度快速下降的关键原因;ZHANG 等^[20]认为乙烯处理可增强猕猴桃果实的 LOX 活性,加速果实的成熟;SOZZI 等^[21]认为乙烯在 α -L-Afa 基因的表达过程中起重要作用,从而影响果实硬度。而 GWANPVA 等^[22]研究发现,“乔纳金”苹果乙烯浓度与果胶相关酶活性有时呈现相关性,有时无相关性。

另外,生长素可以促进油桃乙烯的释放,加速果实软化^[23],脱落酸启动了甜瓜果实成熟,通过诱导乙烯合成酶的表达参与成熟软化^[24]。

由以上研究可知,果实贮藏期的软化是一个极其复杂的过程,内容物的改变、细胞壁组成及其的降解、乙烯释放均与果实软化密切相关。但是,不同品种及同一品种不同时期细胞壁组成成分的变化和控制果实软化的关键酶、乙烯浓度不尽相同。因此,研究某一品种软化机制时有必要系统地研究影响果实软化的各个因素,从而揭示品种果实软化机理,从而提出延缓其果实软化的保鲜处理技术。

2 果实软化调控技术

2.1 冷藏

冷藏是延长果实贮藏期的常用方法,降低温度能显著抑制果实呼吸、后熟、衰老和腐烂、有效抑制果实成熟、保持果实品质、延长果实寿命,其中近年来发展的近冰点贮藏能最大程度延长果实的贮藏期^[25]。

2.2 气调贮藏

气调贮藏是继冷藏后发展的第二代果品保鲜技术,具有保藏效果好、贮藏时间长、安全无污染等特点,近年来在果品贮藏保鲜上的研究和应用不断发展进步^[26]。胡花丽等^[27]研究表明,3% O₂+5% CO₂ 处理可通过抑制 PE 活性而减缓草莓的软化进程;王亚楠等^[28]发现,气调贮藏可有效延缓猕猴桃硬度的下降,抑制细胞壁降解酶的活性,显著延长果实贮藏期;自发气调贮藏对果实软化也有抑制作用,可抑制油桃细胞壁物质降解和相关酶活性上升,延缓果实软化进程^[29];短时高浓度 CO₂ 处理可调控葡萄果实软化相关生理机制,抑制果实软化^[30]。

2.3 减压贮藏

减压贮藏的果实始终处于恒定的低氧、低温和湿润新鲜的条件下,从而降低果实的呼吸强度、抑制

乙烯的合成、延迟叶绿素的分解、减缓淀粉的水解及糖的增加和酸的消耗等过程,并能显著抑制细胞水解酶活性,维持果肉细胞的正常结构和功能,从而延缓杏果实的软化衰老进程^[31]。如黄森等^[32]研究表明,PG是影响火柿软化的关键酶,而在水柿软化中,PE和PG同样重要,因此,对不同品种而言,影响果实软化因素不尽相同。

2.4 钙处理

钙处理可维持果实细胞的结构和功能,采前、采后钙进行处理均有延缓果实软化的效果^[33],对网纹甜瓜进行采后浸钙比采前喷钙更显著地降低细胞壁水解酶的活性,从而抑制果实硬度下降,但在乙烯诱导条件下可促进果实的软化^[34]。王文雅^[35]研究表明,钙处理可通过抑制ACC氧化酶基因的表达和抑制内源ABA含量调控乙烯的生物合成,从而抑制番茄软化。

2.5 保鲜剂处理

1-甲基环丙烯(1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂,可抑制与果实后熟相关的一系列生理生化反应,并可明显延缓果实软化。张鹏等^[36]研究表明,1-MCP处理可有效抑制“磨盘柿”呼吸强度和乙烯生成量的增加,有效抑制柿果实的成熟软化;杨艳萍等^[37]认为1-MCP处理能够较好的保持“库尔勒香梨”采后果实的硬度,降低果胶、纤维素的降解速率,明显抑制PG、Cx的活性,延缓软化进程;张锋等^[38]认为1-MCP处理能显著降低“新红星”“富士”苹果呼吸强度和乙烯释放率,降低 β -D-Gal活性,维持较高的TA和维生素C含量,抑制TSS的升高,但对该试验表明1-MCP处理对2种不同软化类型苹果的保鲜效果存在差异。因此,1-MCP对果实软化的作用机制可因不同种水果及同一种水果不同品种而有所不同。另外,有研究指出,水杨酸、茉莉酸、乙醛等化学试剂处理也可延缓果实软化和乙烯生成^[39-40]。

2.6 热处理

果实采后热处理是一种有效的物理保鲜方法,该方法无毒、无药剂残留、无环境污染,可有效保持果实硬度,维持果实营养成分,抑制果实呼吸速率和乙烯释放^[41]。但也有研究表明,热处理可导致果实短时间内呼吸速率上升^[42]。

2.7 激素调节处理

赤霉素可促进果实生长,延缓果实衰老。罗自生^[43]认为,赤霉素处理可推迟扁花柿呼吸高峰和乙烯高峰,抑制细胞壁水解酶活性,延缓果实软化;付润山等^[44]研究表明,赤霉素和生长素调节剂NAA

处理均可有效延缓柿果实后熟软化,延长贮藏期,但赤霉素效果尤为明显。

3 结语与展望

软化是果实采后衰老的重要特征,影响和决定着果实贮藏期和货架期。软化与果实品质变化、细胞壁组成成分变化、细胞壁降解酶变化、呼吸作用和乙烯浓度变化等密切相关,掌握果实软化影响因素及生理变化,对调节果实软化、延长贮藏期及货架期有积极作用。低温是果品贮藏的基础,在延缓果实软化衰老中维持果实适宜而稳定的低温高湿环境,再结合气调包装、涂膜、保鲜剂处理等多种处理手段,可最大限度达到抑制果实软化的目的。

参考文献

- [1] 张海新,及华.果实成熟软化与相关的酶学研究[J].食品科技,2008,33(11):57-60.
- [2] 朱明月,沈文涛,周鹏.果实成熟软化机理研究进展[J].分子植物育种,2005,3(3):421-426.
- [3] 张广华,葛会波,张进献,等.草莓果实软化机理及调控研究进展[J].果树学报,2001,18(3):172-177.
- [4] 马玉娟,赵见军,邓红,等.陕西洛阳富士鲜苹果品质综合评价及分级体系的构建[J].食品科学,2015,36(1):69-74.
- [5] BAVAY C, SYMONEAUX R, MAITRE T, et al. Importance of fruit variability in the assessment of apple quality by sensory evaluation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77: 67-74.
- [6] 闫瑞香,王仁才.果实软化衰老的生理生化机制[J].湖南农业大学学报,2000,26(3):230-234.
- [7] 张鹏龙,陈复生,杨宏顺,等.果实成熟软化过程中细胞壁降解研究进展[J].食品科技,2010,35(11):62-66.
- [8] 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.
- [9] HARPSTER M H, DAWSON D M, NEVINS D J. Constitutive over-expression of a ripening-related pepper endo-1,4- β -glucanase in transgenic tomato fruit does not increase xyloglucan depolymerization or fruit softening[J]. Plant Molecular Biology, 2002, 50: 357-369.
- [10] NEWMAN R H, REDGWELL R J. Cell wall changes in ripening kiwifruit; ¹³C solid state NMR characterization of relatively rigid cell wall polymers[J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49: 121-129.
- [11] BRUMMELL D A. Cell wall disassembly in ripening fruit[J]. Function Plant Biology, 2006, 33: 103-119.
- [12] ATKINSON R G, SUTHERLAND P W, JOHNSTON S L, et al. Down-regulation of polygalacturonase1 alters firmness, tensile strength and water loss in apple (*Malus × domestica*) fruit[J]. Plant Biology, 2012(12):129.
- [13] BRUMMELL D A, DALCIN V, CRISOSTO C H, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55: 2029-2039.
- [14] 陈安均,蒲彪,罗云波,等.桃果实成熟期的软化机理探讨[J].四川农业大学学报,2003,21(2):113-115.
- [15] 魏建梅.苹果果实质地品质发育及采后调控的生理和分子基础[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.

- [16] 刘美艳,魏景利,刘金,等. “泰山早霞”苹果采后 1-甲基环丙烯处理对其软化及相关基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 845-852.
- [17] 佟兆国,王飞,高志红,等. 果胶降解相关酶与果实成熟软化[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 305-312.
- [18] IRELAND H S, GUNASEELAN K, MUDDUMAGE R, et al. Ethylene regulates apple (*Malus × domestica*) fruit softening through a dose-by-time dependent mechanism and through differential sensitivities and dependencies of cell wall-modifying genes[J]. Plant Physiologists, 2014(2): 5-9.
- [19] 刘超超,魏景利,徐玉亭,等. 苹果 3 个早熟品种果实发育后期硬度及其相关生理指标的初步研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 133-138.
- [20] ZHANG Y, CHEN K S, CHEN Q J, et al. Effects of acetylsalicylic (ASA) and ethylene on ripening and softening of postharvest kiwifruit[J]. Acta Bot Sin, 2003, 45: 1447-1452.
- [21] SOZZI G O, FRASCHINA A A, NAVARRO A, et al. α -L-Arabinofuranosidase activity during development and ripening of normal and ACC synthase antisense tomato fruit[J]. Hort Science, 2002, 37(3): 564-566.
- [22] GWANPUA S G, BUGGENHOUT S V, VERLINDEN B E, et al. Pectin modifications and the role of pectin-degrading enzymes during postharvest softening of Jonagold apples[J]. Food Chemistry, 2014, 158: 283-291.
- [23] 曾文芳,王志强,潘磊,等. 生长素对油桃‘24-30’果实软化和乙烯生物合成的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 200-205.
- [24] 杨晓玉,王艳萍,冷平,等. ABA 对甜瓜果实成熟和软化的调节[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(4): 25-32.
- [25] 高雪,杨绍兰,王然,等. 近冰温贮藏对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 140-146.
- [26] 梁洁玉,朱丹实,冯叙桥,等. 果蔬气调保鲜贮藏技术研究现状与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(6): 1617-1625.
- [27] 胡花丽,李鹏霞,王毓宁,等. 气调贮藏对草莓细胞壁酶活性的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 98-101.
- [28] 王亚楠,胡花丽,张璇,等. 气调贮藏对‘红阳’猕猴桃果胶含量及相关酶活的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8): 207-211.
- [29] 高慧. MA 冷藏对油桃果实成熟软化的控制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [30] 张平,李志文,王莉,等. 短时高浓度二氧化碳处理对冰温贮藏期间葡萄果实软化生理的影响[J]. 食品工业科技, 2012(4): 368-373.
- [31] 王伟,张有林. 减压处理对采后杏果实软化的生理控制效应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 131-135.
- [32] 黄森,张继澍,李维平. 减压处理对采后柿果实软化生理效应的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(5): 57-60.
- [33] RECASENS A, BENAVIDES J, PUY T. Preharvest calcium treatments in relation to the respiration rate and ethylene production of Golden smoothie apples[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 2004, 84: 765-771.
- [34] 吕双双. 钙调控乙烯诱导网纹甜瓜果实软化效果以其作用机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [35] 王文雅. 钙对番茄乙烯生物合成和信号转到的调控机理及果实软化的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [36] 张鹏,陈绍慧,李江阔,等. 1-MCP 对‘磨盘柿’采后成熟软化的调控效应[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 409-415.
- [37] 杨艳萍,李学文,苏文贵,等. 1-MCP 对库尔勒香梨采后果实软化的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(3): 460-465.
- [38] 张锋,张莹莹,龚新明,等. 1-MCP 延缓采后苹果果实成熟软化的生化机制[J]. 河北农业大学学报, 2011, 34(4): 54-59.
- [39] 许文平,陈昆松,李方,等. 脂氧合酶、茉莉酸和水杨酸对猕猴桃果实成熟软化进程中乙烯生物合成的调控[J]. 植物生理学报, 2000, 26(6): 507-514.
- [40] 曲凤静,韩涛,李丽萍,等. 不同浓度乙醛处理对桃果实软化剂相关生理代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 245-250.
- [41] 李香玉,张新华,李富军,等. 采后热处理影响果蔬贮藏品质机理的研究进展[J]. 北方园艺, 2011(5): 204-208.
- [42] 毛晓英,吴庆智,李宝坤,等. 热处理对新疆哈密瓜采后贮藏特性的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 491-493.
- [43] 罗自生. GA₃ 对柿果实成熟软化及细胞壁组分代谢的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2006, 32(4): 415-419.
- [44] 付润山,姜妮娜,饶景萍,等. 赤霉素和萘乙酸对柿果实采后成熟软化生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(6): 1204-1208.

Research Advances on Softening Physiological Mechanisms and Its Regulation in Postharvest Fruit

HAN Yingqun, GUO Dan, WEI Xin, WEI Xiao, WANG Baisong, HAO Yi
(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou, Liaoning 115009)

Abstract: Softening was an important feature of postharvest fruit during ripening and senescence, including an ordered series of complex physiological changes. This study described the main factors in fruit softening, including quality changes, cell wall composition changes, cell wall degrading activity changes and ethylene. The physical, chemical technologies and methods which can control fruit softening were summarized to provide references on softening physiological mechanism and regulation in fruit.

Keywords: fruit; softening; physiological mechanism; regulation