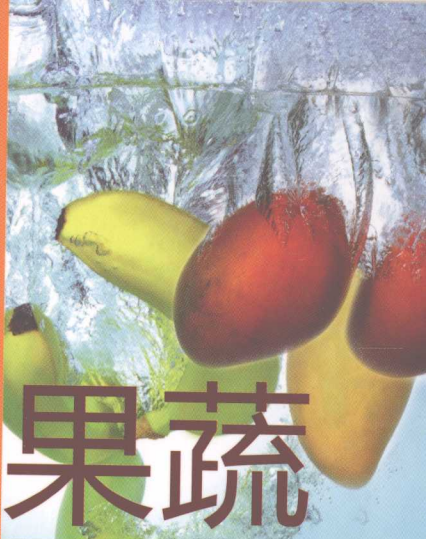


云南 名特优果蔬 保鲜实用技术



主编 / 李喜宏

参编 / 王小琼 李剑伟 胡云峰 郭红莲 李光普



中国轻工业出版社

云南 名特优



果疏

保鲜实用技术

张健·李健编

昆明理工大学 昆明学院 昆明城市学院 昆明卫生职业学院 昆明农业职业技术学院

昆明·昆明理工大学出版社

云南名特优果蔬 保鲜实用技术

主编 李喜宏

参编 王小琼 李剑伟 胡云峰

郭红莲 李光普



中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

云南名特优果蔬保鲜实用技术/李喜宏主编. —北京:中国轻工业出版社, 2008.5

ISBN 978 - 7 - 5019 - 6237 - 2

I. 云… II. 李… III. ① 水果 - 食品保鲜 ② 蔬菜 - 食品保鲜 IV. S660.9 S630.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 178439 号

责任编辑:伊双双

策划编辑:伊双双

版式设计:王培燕

责任终审:劳国强

责任校对:郎静瀛

封面设计:灵思舞意·刘微

责任监印:胡兵 张可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司

经销:各地新华书店

版次:2008年5月第1版第1次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:7.5

字数:191千字

书号:ISBN 978 - 7 - 5019 - 6237 - 2/TS · 3628

定价:20.00元

读者服务部邮购热线电话:010 - 65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010 - 85119845 65128898 传真:85113293

网·址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

70397K1X101ZBW

前言

云南省简称“云”或“滇”，土地辽阔，山川秀丽，资源丰富，位于北纬 $21^{\circ}8'32''\sim 29^{\circ}15'8''$ 、东经 $97^{\circ}31'39''\sim 106^{\circ}11'47''$ 之间。北回归线横贯全省南部。全境东西最大横距 864.9km，南北最大纵距 900km。土地面积 39.4 万 km^2 ，占全国陆地总面积的 4.1%，在全国各省市中居第 8 位，在世界上比日本、意大利略大，约与津巴布韦相等。全省国土面积中，土地约占 84%，高原、丘陵约占 10%，盆地、河谷约占 6%。全省海拔相差很大，最高点为滇藏交界的德钦县怒山山脉梅里雪山的主峰卡瓦格博峰，海拔 6740m；最低点在与越南交界的河口县境内南溪河与元江汇合处，海拔仅 76.4m。两地直线距离约 900km，高低差达 6000 多米。

云南省总人口为 4375.6 万人(2003 年末)，辖 16 个地州市、129 个县(市、区)。东部与贵州省、广西壮族自治区相连，北部与重庆市、四川省相连，西北隅紧倚西藏自治区，西部与缅甸接壤，南部和老挝、越南毗连。边界线总长为 4060km，其中，中缅段 1997km，中老段 710km，中越段 1353km，有 8 个地州、27 个县市分别与三国接壤。云南省自古就是中国连接东南亚各国的陆路通道，有出境公路 20 多条，有 15 个民族与境外相同民族在国境线两侧居住，与泰国、柬埔寨、孟加拉、印度等国相距不远。全省山区、半山区占 94%。边疆、民族、山区三位一体，成为云南省的突出特点。

人们都知道，云南省的地理状况十分复杂，有终年积雪不化的高山，有炎热的河谷，有丘陵，也有星罗棋布的坝子，有奔腾不息、纵横交错的河系，有明镜似的湖泊，还有无数的森林，甚至古老的原始森林。云南省山地、高原、丘陵占总面积的 94%。全省有从北热带到寒温带的七种气候类型。从平面看全省，从垂直看一地，都具有寒、温、热不同的气候类型，被称为“一山分四季，十里不同天”。农业生

产条件因地域性差异和垂直差异而具有“立体农业”特点。广大的山区,为林业、畜牧业提供了十分丰富的资源,开发资源、发展“山区农业”潜力巨大。独特的地理条件和多种多样的气候环境,使全省生物资源种类非常丰富。这一切决定了云南物产的多种多样。云南的蔬菜水果资源不仅是多种多样,而且是有别于北方,也有别于南方的一般地区。地理、气候决定了可食性资源和人们的口味;可食性资源和口味,又进而决定了一个地区蔬菜水果的种类和特色。

云南省地处云贵高原,海拔高,纬度低,幅员广,劳动力充足,土地资源和果树资源丰富,地形复杂,气候多样,果树呈热带、亚热带、温带和寒温带“四带”垂直分布,各个果种和品种几乎都能选到最适宜的种植区。云南兼有热、温、寒三种气候带特征,使得蔬菜品种众多,有“常年蔬菜不断青”之说,青菜、白菜、南瓜、土豆应有尽有。与其他地区不同的是,在云南蔬菜中,鲜花占有很重要的地位,荷花、玫瑰、黄花菜、芋头花等早就是寻常菜了。古龙小说《绝代双娇》中的移花宫主只食鲜花,大概也是在云南学会的。云南省四季不断的蔬菜水果不但满足了省内市场,还可以供应北京、上海、中国香港等城市,而且早就走出了国门,行销日本、泰国、新加坡等国。

据云南省统计局统计,2001年果树种植面积为21.98万 hm^2 ,水果总产量为98.43万t。主要水果的种植面积和产量为:苹果4.25万 hm^2 ,10.35万t;梨4.09万 hm^2 ,15.75万t;柑橘2.16万 hm^2 ,10.29万t;香蕉1.78万 hm^2 ,12.41万t;桃1.72万 hm^2 ,8.07万t;石榴0.67万 hm^2 ,7.1万t;葡萄0.63万 hm^2 ,2.54万t;荔枝0.48万 hm^2 ,0.31万t;菠萝0.46万 hm^2 ,3.32万t;龙眼0.25万t;柿子2.74万t。干果中,核桃31.10万 hm^2 ,6.5万t;板栗13.33万 hm^2 ,1.2万t;枣0.23万t。从以上数字看出,目前是苹果、梨、柑橘、香蕉、桃等的栽培面积大、产量多。

云南省地热区域广阔,热力资源丰富,在西双版纳、德宏、普洱、临沧、文山等地州,伊洛瓦底江、澜沧江、怒江、金沙江、红河、珠江等6大河流和其支流流经的地域,多具有热带和亚热带气候,可利用其“热”资源,重点发展柑橘、荔枝、龙眼、西瓜、甜瓜、香蕉、菠萝、芒果、

大枣、小枣、青枣、酸角或甜酸角等热带和亚热带瓜果。由于自身特点,果蔬采后极易腐烂变质,损失很大。据统计,发达国家约有 10% ~ 20% 的新鲜果蔬由于采后病害导致腐烂,发展中国家则达到 40% ~ 50%。我国易腐烂特色水果总产量达 1.16 亿 t, 采后损失 25% ~ 30%, 约 700 亿元。云南省年均温、湿度高,水果蔬菜采后贮藏运输过程中损失更大,据估计,采后损失超过总产量的 30% 以上,年损失约 60 亿元。另外,由于采后贮运保鲜技术和设施的落后,没能够形成稳定的产后销售服务保障体系,水果蔬菜等鲜活农产品的采后商品化处理水平较低,大多数农产品都处于“一流产品、三流包装”的状态,没能把农产品有效地转化为商品,没能把云南的名特优农产品优势转化为品牌优势,严重影响了云南省优质果蔬的外销,影响了云南省农业的发展。

在中国和东盟的多数国家中,农业都是其重要的经济支柱。但农业发展的差异性和互补性,决定了扩大双方的贸易和合作存在巨大的发展空间。云南省位于中国与东盟贸易区的交通要道,提出要建成西部地区面向南亚、东南亚的经济枢纽和重要增长点。本项目实施地红河州开远市是云南省内陆至河口到越南的必经通道,途经的昆河铁路和昆河公路都是云南省到越南、老挝、柬埔寨等东南亚国家、进而出海的陆地运输的最短通道,随着我国与东南亚的农产品和农业技术贸易迅速增长,果蔬等农产品出口额也大幅增长。

然而,由于云南省果蔬的现代贮运保鲜技术研究、相关保鲜剂的研制以及贮运保鲜设备的研究均起步较晚,再加上在观念、经济条件上与发达国家及其他先进省份的差异,使云南省在技术和产品质量上都与国内外先进水平有不少差距,尤其是云南省一些特种果蔬,如石榴、竹笋、脐橙、柚子、辣椒等的贮运保鲜技术以及用于这些果蔬贮运的保鲜药剂和设备还没有很好地解决。随着云南省农业结构的调整和东南亚农产品大市场的发展,这些问题都急需研究、解决。

本书主要是针对云南省名特优果蔬成熟采收季节气温普遍偏高、果蔬采后呼吸强度大、生理衰老速度快、耐藏性差、病害严重,以及名特优果蔬区域消费量小、产地贮运保鲜技术缺乏等实际问题,重

目 录

第一章 果蔬采后生理与病理	1
第一节 果蔬采后生理与调控技术	1
第二节 果蔬采后病理与防控	14
第二章 产地保鲜设施与设备	25
第一节 国内外果蔬保鲜技术现状与发展趋势	25
第二节 国内外果蔬保鲜设施与设备的种类、特点	33
第三节 云南果蔬产地预冷技术与方法	39
第四节 云南微型保鲜冷库的设计、建造与技术分析	50
第五节 云南微型保鲜冷库专用设备与故障分析	67
第三章 果蔬专用保鲜膜	83
第一节 国内外果蔬专用保鲜膜种类与应用	83
第二节 云南果蔬专用保鲜膜的技术设计	99
第三节 云南果蔬专用保鲜膜的应用分析	113
第四章 果蔬专用保鲜剂	126
第一节 国内外果蔬专用保鲜剂种类与应用	126
第二节 云南果蔬专用保鲜剂的设计与应用	133
第三节 云南果蔬专用保鲜剂的应用分析	164
第五章 果蔬分类保鲜技术	172
第一节 苹果	172
第二节 梨	176
第三节 桃	179

第四节	芒果	182
第五节	葡萄	184
第六节	柑橘	188
第七节	猕猴桃	191
第八节	荔枝	194
第九节	龙眼	197
第十节	甜石榴	199
第十一节	枣	201
第十二节	香蕉	203
第十三节	大蒜	207
第十四节	番茄	209
第十五节	马铃薯	211
第十六节	辣椒	215
第十七节	竹笋	217
第十八节	毛豆	219
第十九节	茄子	220
参考文献		223

第一章 果蔬采后生理与病理

第一节 果蔬采后生理与调控技术

果蔬采摘后仍是生理活体,仍具有呼吸、水分代谢、衰老等生理活性,所以保鲜技术与其采后生理活性的合理配合,是现代果蔬保鲜的根本原则。不论哪种保鲜措施,都是通过对保鲜品质起关键作用的主要因素进行调控,以延缓果蔬采后衰老、保持水分和抑制呼吸等生理活性为目的。如通过抑制呼吸代谢为主的气调保鲜和高压、低压冷藏及新近研究的一些热点技术,主要作用都是以抑制呼吸分解、延缓合成作用来实现保鲜的,其次延缓衰老,如低温贮藏、酶法保鲜等主要是通过对衰老代谢或衰老相关的酶及基因的钝化作用来实现;再有就是控制果蔬内部水分蒸发,主要通过对环境相对湿度的控制和细胞间水分的结构化来实现。

一、果蔬采后呼吸与调控

果实采收脱离了母体后,光合作用基本停止,呼吸作用成为其维持生命活动的主要代谢过程。呼吸作用在为果实生命活动提供能量和物质的同时,也消耗了果实贮存的有机物和水分,导致果实品质下降。因此,对果实采后呼吸作用的调控是采后贮藏保鲜的基本原则。

果蔬采后的呼吸作用与采前一样,以有氧呼吸为主,吸入氧气进行体内物质的转化,放出能量供代谢的需要。如果抑制果蔬的呼吸过程和降低果蔬的呼吸频率,都可以在一定程度上起到抑制果蔬营养代谢,包括活性氧代谢酶系的变化及与活性氧相关的糖醛酸代谢过程等,从而保持果蔬营养成分和风味的作用,如保鲜过程中的涂膜保鲜、自发气调保鲜、充氧保鲜等措施围绕呼吸代谢的

各环节加以调控。下面以自发气调保鲜为例介绍保鲜过程的主要调控机理。

采取措施适当地降低 O_2 和增加 CO_2 浓度来抑制果蔬的后熟作用,是当今世界上果蔬贮藏最先进的方法,也是果蔬气调贮藏的主要理论基础。但低 O_2 和高 CO_2 会造成一些伤害,贮藏环境中缺氧,不仅会导致果蔬的无氧酵解积累乙醛、乙醇等异味物质,从而对果蔬本身产生毒害并影响风味,还会促进一些厌氧致病菌在果蔬上生长繁殖,影响果蔬的食用安全性。反之,增加环境中 O_2 的浓度,超过大气中的氧含量即高氧(21%~100%),除对厌氧微生物的生长起到抑制作用之外,对果蔬未见明显的影响。

高氧(21%~100%)对果蔬采后生理与品质变化及腐烂发生影响的研究逐渐增多,高氧处理有望发展成为一种全新概念的气调贮藏技术而在果蔬贮藏中发挥更大作用。在高氧贮藏过程中,可增加果蔬的呼吸速率。如有研究表明,超大气压高氧(21%~100% O_2)可显著促进柠檬和胡萝卜的呼吸作用,且 O_2 浓度越高,呼吸速率也越大。但高氧不一定都促进呼吸作用,如“Wickson”李(品种名)果实的呼吸速率随 O_2 浓度的升高而增大,但当 O_2 浓度升至40%时达到最大值,此后一直稳定在这一水平,不再随 O_2 浓度的上升而变化。还有一些研究表明,当 O_2 浓度高于某一临界水平时,高氧反而抑制呼吸作用,如30%和50% O_2 促进绿熟番茄果实的呼吸作用,而80%和100% O_2 则抑制其呼吸作用,40%、60%和80% O_2 也都削弱Bartlett梨(品种名)切片的呼吸作用。以纯氧处理的马铃薯、苹果果实的呼吸作用也受到显著抑制,经纯氧短期前处理的桃在空气中冷藏期间,以及经纯氧短期前处理的苹果鲜切加工而成的苹果片在低氧自发气调贮藏期间,呼吸作用也都受到显著抑制,这表明高氧处理对呼吸作用的抑制作用还有后续效应。关于高氧抑制呼吸作用的机理,Tucker和Laties等提出负反馈抑制假说,这个假说认为,当 O_2 浓度超过使呼吸链末端氧化酶饱和的浓度时, O_2 对呼吸作用即起负反馈抑制作用。有人发现高氧可抑制顺乌头酸酶的活力,因而三羧酸循环途径中柠檬酸到 α -酮戊二酸的反应受抑制,以致呼吸作用受

抑制。超大气高氧对朝鲜蓟、鳄梨、樱桃和杏等果蔬的呼吸作用无明显影响。这些结果表明,高氧处理对果蔬呼吸作用的影响随果蔬的种类、 O_2 浓度及乙烯等因素的变化而变化。

植物在正常的呼吸过程中,通过呼吸链的电子传递会产生 O_2 和 H_2O_2 等活性氧,但植物中同时存在足够浓度的维生素 C 和维生素 E 等活性氧清除剂,能维持活性氧代谢的平衡,从而防止活性氧对生物膜磷脂和膜蛋白的伤害。当植物在遭受逆境因素侵袭时,线粒体的呼吸基质增加,呼吸链不能传递过量的电子流而发生“电子泄漏”(leakage)现象,活性氧产生能力大于抗氧化系统清除活性氧的能力,以致植物受活性氧的伤害。逆境下植物中抗氧化酶的活力增强,呼吸基质进行正常的氧化,不会产生过量的活性氧而伤害植物。但高氧侵袭下采后果蔬的抗氧化酶的活力增强是否普遍存在,还有待于深入研究。

除了自发气调、高氧保鲜外,其他一些措施在一定程度上也与呼吸代谢调控有关。如采后果蔬的热处理保鲜过程中,即在采后适宜温度(一般在 $35 \sim 50^\circ\text{C}$)处理果蔬,除杀死或抑制病原菌的活力、降低酶的活力之外,与呼吸作用的代谢调控也有密切关系。国外许多研究报道,在热处理初始时果实释放 CO_2 量受热刺激而增大,并且温度越高对呼吸作用的刺激越大。但当温度高于临界温度时,呼吸强度就不再上升,反而下降。热处理期间温度升高,有的果蔬可能会改变果实的呼吸模式,如在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 之间时,Hass 鳄梨(品种名)呈典型的呼吸跃变模式,且呼吸强度随温度的上升而上升;但在 40°C 下,虽然起始时呼吸强度增大,但随着时间的延长而持续下降,且不出呼吸峰。据报道,热处理后,果实贮藏期间的呼吸有两种不同情况。Hass 梨在 40°C 下热处理 2d 期间呼吸强度持续下降,而转到 20°C 时,呼吸强度开始恢复上升,随后达到呼吸高峰。但 Lurie 等人在苹果的研究中发现,苹果经 38°C 热处理后再回到 20°C 时,其 CO_2 释放量下降,且一直低于对照。

二、果蔬衰老生理与调控

果实的成熟和衰老是一个复杂的生理生化变化过程。果实成熟

系指从生长发育后期到衰老之间所发生的综合过程,其结果是形成典型的外观及食用品质,如成分、色泽、质地或其他感官属性之变化;果实衰老系指果实分解代谢和组织阻抗系统的逐渐崩溃。现在认为成熟过程既有分解代谢,又是一个组织进一步分化的过程,包括新蛋白质的合成。所以,不能将成熟完全等同于衰老。不过成熟也包含衰老的征候群,成熟加速衰老。与成熟紧密相伴随的是果实的衰老、软化,甚至腐烂,给贮藏运销等工作带来了很大困难。因此,研究和探明果实成熟和衰老的生理机制是人们关注的问题。

(一) 乙烯与果蔬的成熟和衰老

乙烯是启动和促进果蔬成熟和衰老的主要因子,它通过调节基因表达来实现对衰老的促进作用。外源乙烯可诱导未成熟番茄中新 mRNA 的出现、累积和细胞核中的转录活性,用乙烯拮抗剂处理未成熟果实则抑制了与成熟有关的基因表达。许多研究表明:乙烯是通过与膜上受体结合而发生作用的,用乙烯受体拮抗剂处理果实可抑制乙烯的作用;重氮基环戊二烯(DACP)是乙烯受体专一性抑制剂,DACP 处理苹果果实后抑制了内源乙烯的生成,保持了果实硬度,抑制了淀粉转化。 CO_2 是乙烯的竞争性抑制剂,气调贮藏中高浓度 CO_2 可以减少果实乙烯的生成,延缓果实衰老,其原因就是 CO_2 争夺了乙烯受体,使乙烯不能发挥催熟作用。至于乙烯与受体结合后如何调控基因表达及相应的成熟和衰老过程尚不清楚。从目前研究结果看,可能涉及细胞的第二信使 Ca^{2+} ,乙烯可能诱导胞内第二信使 Ca^{2+} 增加,通过活化钙调素(CaM, calmodulin)而引起成熟反应,其机理尚需深入研究。

跃变型果实和非跃变型果实的区别除了呼吸作用的变化外,更重要的是乙烯的生成特性和对乙烯反应的不同。McMurchie 等人(1972)根据两类果实对丙烯(乙烯作用类似物,代替乙烯作用)处理时乙烯生成反应不同,提出跃变型果实中有两个乙烯生成调节系统:系统 I 负责跃变前果实中低速率的基础乙烯生成;系统 II 负责跃变时成熟过程中乙烯自我催化大量生成。非跃变型果实乙烯生成速率相对较低、变化平稳,整个成熟过程中只有系统 I 活动,缺乏系统 II。

非跃变型果实成熟时没有呼吸高峰的出现,但是外源乙烯处理能促进呼吸作用的增强,同时也能促进叶绿素破坏降解、组织软化、多糖水解等变化。所以,乙烯对非跃变型果实的成熟和衰老同样具有促进作用。但两类果实对乙烯反应有不同之处:对于跃变型果实,外源乙烯只在跃变前起作用,诱导呼吸作用增强,同时促进乙烯大量生成,即启动了系统Ⅱ,形成乙烯自我催化,并且与作用的乙烯浓度关系不大,是不可逆反应;非跃变型果实则相反,外源乙烯在整个成熟期间都能起作用,促进呼吸作用增强,其反应大小与作用的乙烯浓度有关,是可逆的,当处理乙烯除去后,呼吸作用下降恢复至原有水平,同时不会促进乙烯增加。

如甜樱桃属呼吸非跃变型果实,Li 等人(1994)认为甜樱桃果实的成熟和衰老与乙烯无关,因为用外源乙烯处理各发育时期的甜樱桃果实均不会引起呼吸速率的加快,但用外源乙烯处理发育后期的其他非跃变型果实却可刺激呼吸作用。Reid 等人(1985)也认为乙烯对甜樱桃果实的成熟和衰老没有影响。而 Hartmann(1989,1992)却认为乙烯对甜樱桃果实的成熟和衰老有促进作用,因为虽然甜樱桃果实的乙烯释放量比跃变型果实低得多,但在成熟和衰老过程中(无论是在树上还是采后)都明显增加,而且 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)和丙二酰基-1-氨基环丙烷-1-羧酸(MACC)等也有所变化。

(二) 果实软化与细胞壁水解酶之间的关系

果实成熟期间,一系列细胞壁水解酶基因在果实生长的最后时期特异性表达,导致细胞壁多糖被水解(Rose 和 Bennet,1999)。果实的软化及货架寿命与细胞壁水解酶的活力,尤其与多聚半乳糖醛酸酶(PG, polygalacturonase)、纤维素酶及果胶甲酯酶(PME, pectin methylesterase)的活力密切相关。鸭梨贮藏期间虽然产生大量乙烯,但由于细胞壁水解酶活力较低,所以果实货架期较长。

番茄中成功导入抗衰老 PG 基因的研究成果,为调控果实成熟过程的基因转移以及改变内在基因的表达提供了可能。然而,转基因番茄与对照番茄软化进程相似,说明硬度变化除受 PG 影响外,还

有其他酶参与软化过程。Kramer 等人(1990)认为 PG 不仅与果实硬度变化有关,还可调节并增加果实成熟相关物对机会病原菌的敏感性。目前,已经阐明编码细胞壁水解酶如 PG 与纤维素酶的基因的表达,这些酶在调节细胞壁的结构方面发挥重要作用。另外,受溶质平衡影响的膨压变化也与果实软化密切相关,深入研究溶质平衡维持的机理以及参与维持溶质平衡的酶的基因表达对于了解膜的半透性和果实软化都具有重要意义。

细胞壁水解酶在绝大多数非呼吸跃变型果实中都存在。为了验证甜樱桃果实在发育过程中是否也存在细胞壁水解酶活力,Andrews 和 Li(1995)在甜樱桃生长的不同时期检测了果实中 PG、PME 和纤维素酶活力,发现这三种酶的活力在花后 48~58d 之间开始升高,花后果实变红时,三种酶活力都达到最高值,而此时果实硬度急剧下降,说明这三种细胞壁水解酶活力不仅在甜樱桃果实中存在,而且与果实软化密切相关。采后浸钙处理能够增加甜樱桃果实硬度,还可引起 PME 活力上升(Alonso 等人,1995)。钙能够在细胞壁中残余的半乳糖醛酸和附近的果胶链之间形成钙桥,钙桥的增多使胞间黏着性和组织稳固性增强,而 PME 活力的上升会降低果胶甲酯化作用的程度并促进新钙桥的形成,因此,Alonso 等人(1995)认为浸钙后 PME 活力上升是引起甜樱桃硬度上升的主要原因。

当植物基因被改造而改变细胞壁多糖水解酶的活力或果实中的多糖被降解时,果实软化要比正常水平快或慢(Cosgrove,2000)。随着研究的深入,番茄及其他果实中膨胀素(expansins)的发现使揭示果实成熟过程中细胞结构的变化和果实软化问题有了突破性进展。在细胞壁的纤维素微纤丝和基质多糖的交叉处,膨胀素以一种可逆的(非水解的)方式作用于纤维素微纤丝表面紧密结合的基质聚合物,使多聚体网络间的非共价键(即基质多糖和纤维素微纤丝的氢键)断裂,促使聚合物滑动,从而使细胞壁伸展。在番茄果实成熟后期,膨胀素基因 Le-ExpI 不仅被特异性表达,而且能被乙烯所刺激。用反义 RNA 技术减少番茄果实 Le-ExpI 基因的表达可降低果实软化程度,相反,成熟过程中 Le-ExpI 基因的过分表达使果实比正常果软。

在草莓和甜瓜等水果中,膨胀素 mRNA 也能在成熟后期表达,因此,膨胀素 mRNA 的这种表达可能是果实软化的一般特点。这些结果表明:除了细胞壁水解酶外,膨胀素也在果实软化过程中发挥着重要作用。然而,这些结构上的影响是相对较小的,果实软化仍会发生,只是被推迟或加速了而已。因此,尽管 Le-Exp I 基因的表达与果实软化有关,但它不是该过程的唯一决定性因素。

(三) 果实成熟和衰老过程中细胞膜的变化

果实成熟和衰老过程中膜结构的变化历来备受关注,因为生物膜在维持细胞结构和功能等方面具有重要作用。果实的成熟和衰老过程中膜透性的增加表明膜完整性丧失。跃变型果实膜透性变化与成熟和衰老的关系在不同研究中有不同的解释:①膜透性变化是果实成熟和衰老的原初反应,即膜透性的增加促进了基质与成熟和衰老相关酶的结合,使酶活化,从而促进了果实跃变及成熟衰老;②膜透性变化与果实成熟和衰老同步;③膜透性随果实成熟和衰老而变化,其增大是果实衰老的结果而不是衰老的起因。膜透性急剧增大发生在跃变期,之后平稳变化。

非跃变型果实杨梅的膜透性也随果实衰老而逐渐增大。而有关甜樱桃果实成熟和衰老过程中膜透性及膜结构的变化未见有报道。目前,将膜透性作为跃变型果实和非跃变型果实衰老指标之一的观点已被普遍认同。

膜脂组分发生改变是果实成熟和衰老过程中膜透性增大的原因。研究表明,果实成熟和衰老过程中膜脂组分的显著变化主要包括:①膜脂肪酸不饱和度下降,使不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸的比值显著降低,膜的流动性降低;②膜脂发生脱磷脂,磷脂含量下降,固醇含量增加,使膜更加刚性化。膜脂组分的这些变化可诱导膜由液晶相转变为凝胶相,同时膜的微黏度增大,导致膜渗漏,使膜透性增大。Plataola(1981)曾发现鳄梨在跃变期间脂膜发生相变。膜脂组分的这些变化主要发生在跃变期和跃变后期,与膜透性变化相吻合。

热处理和浸钙均可延缓果实衰老,是由于处理后果实中含有较多的不饱和脂肪酸和磷脂所致。膜脂组分的变化与膜脂降解有关,