

应铁进 编著

# 果蔬贮运学



浙江大學出版社

---

# 果蔬贮运学

应铁进 编著

浙江大學出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

果蔬贮运学 / 应铁进编著. — 杭州: 浙江大学出版社,  
2001. 12

ISBN 7-308-02850-X

I. 果... II. 应... III. ①水果—贮藏②水果—运  
输③蔬菜—贮藏④蔬菜—运输 IV. S609

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 083914 号

责任编辑 周奕青

封面设计 宋纪得

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号, 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: [zjupress@mail.hz.zj.cn](mailto:zjupress@mail.hz.zj.cn))

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江大学印刷厂

开 本 850mm×1168mm 1/32

印 张 13

字 数 326 千字

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

印 数 0001—1000

书 号 ISBN 7-308-02850-X/S·017

定 价 19.00 元

## 内 容 简 介

本书是有关新鲜水果和蔬菜采后处理、贮藏保鲜与运输技术的专业教材。全书共分八章,主要包括:果蔬品质构成的化学基础和采后品质变化的动力学;影响果蔬贮运品质的采前因素和采后因素;果蔬贮运的生理调控、环境因素控制和其他辅助处理;果蔬贮运病害的特点和防治;果蔬采后处理技术;果蔬运输包装设计和控温运输技术;果蔬的贮藏方法、设备设施以及各种果蔬的贮藏特点。

本书将采后果蔬生理理论与贮运保鲜的工程实践相结合,贯穿和强调了农产品保鲜的系统思想,适合作为高等院校食品科学与工程、园艺、果蔬等专业的本科生教材,也可供其他生物类专业师生以及从事果蔬贮运保鲜的科研、技术推广与管理工作人员阅读参考。

# 前 言

《果蔬贮运学》是食品科学与工程本科专业的专业课程《农产品贮运学》的主干部分(约占总课时的 80%)。该课程主要培养和训练学生掌握易腐农产品贮运保鲜方面的知识和基础技能。这些知识和技能,无论在提高鲜活农产品的供应质量、降低农产品的采后损失,还是在保障食品生产的品质与效率等方面,均起着重要的作用。

本书是在作者现用讲义的基础上经全面、系统的整理、扩充而成。该讲义初编于 1985 年,已经过 14 个教学周期的使用检验。这期间,作者和所在的教研组曾赴全国各地进行过广泛深入的专业调查研究,广泛收集了国内外研究资料和论著,总结了编者本人、编者所在单位和国内外同行在这方面的研究成果,在讲解过程中不断补充新的内容,优化了课程体系结构。至今已经做过三次全面的修订,在使用中普遍受到学生的好评。这次整理出版,重新安排了整个框架结构,改写了相当部分的章节,重点补充了果蔬品质动力学、果蔬贮运品质的基因工程调控、果蔬采后病害的生物防治、蓄冷剂的应用以及果蔬运输包装设计等果蔬贮运领域的前沿成果和应用技术,与原有内容一起,形成了比较完整、合理的应用技术基础与应用技术体系框架。

编者在编写本书时注意了与专业基础课《采后生理学》的科学衔接,尽可能地避免重复论述,又注意保持原理性与技术性论述之间的逻辑完整性。同时,在整个教材中尽可能地贯穿和强调系统思

想方法,注重对分析问题和解决问题的系统思维能力的培养,使读者认识到影响农产品采后品质的因素是十分复杂的,任何单项的技术措施都不可能达到贮运保鲜的综合效果,只有针对影响采后品质及其变化的主要因素,采取综合调控措施,才有可能以限定投入达到设定的贮运保鲜目标。

本书在果蔬运输技术方面具有鲜明的特色:在系统总结作者和国内外同行在果蔬运输生理方面的研究成果的基础上,首次建立了一个比较完整的果蔬运输的技术基础体系,在此基础上,系统论述了果蔬运输包装和控温运输的工艺设计方法。

本书参考和摘引了国内外同行的相关论著中的观点和图表资料,附录的内容摘自有关标准,谨此致谢。书中内容不当之处,敬请读者指正。

编 者

2000年9月20日

# 目 录

绪 论	1
第一章 果蔬品质基础	4
第一节 果蔬的色泽	5
第二节 果蔬的香气	9
第三节 果蔬的滋味	12
第四节 果蔬的质地	21
第五节 果蔬品质在贮运中的变化	22
第六节 果蔬品质动力学	32
第二章 采前因素对果蔬贮藏特性的影响	43
第一节 遗传及生理特性因素	43
第二节 农业技术因素	52
第三节 生态环境因素	57
第三章 果蔬贮运原理	59
第一节 果蔬贮运的环境因素及其控制	61
第二节 延长果蔬贮藏寿命的辅助处理	81
第三节 果蔬品质和贮运寿命的基因工程调控	99
第四章 果蔬贮运病害及其防治	110

第一节	果蔬腐烂变质的基本成因·····	110
第二节	侵染性病害的病原·····	113
第三节	果蔬采后病害的侵染过程和流行特性·····	117
第四节	病原微生物生长繁殖的环境条件·····	124
第五节	果蔬贮运病害的化学防治·····	131
第六节	果蔬采后病害的综合防治策略·····	139
第七节	果蔬采后病害的生物防治技术概述·····	145
<b>第五章</b>	<b>果蔬采收及采后商品处理·····</b>	<b>156</b>
第一节	果蔬的采收·····	156
第二节	果蔬预冷·····	167
第三节	果蔬分级与包装·····	175
第四节	果蔬的其他采后处理·····	189
<b>第六章</b>	<b>果蔬运输·····</b>	<b>193</b>
第一节	果蔬运输的环境条件·····	194
第二节	果蔬对运输环境的生物学适应性·····	198
第三节	果蔬运输包装的设计·····	209
第四节	果蔬运输方式与运输工具·····	217
第五节	果蔬的控温运输技术·····	224
第六节	农产品合理运输·····	238
<b>第七章</b>	<b>果蔬贮藏方式·····</b>	<b>245</b>
第一节	果蔬的简易贮藏·····	245
第二节	果蔬通风库贮藏·····	251
第三节	果蔬冷藏·····	260
第四节	果蔬气调贮藏·····	268
第五节	减压贮藏·····	278



第八章 果蔬贮藏各论·····	281
第一节 苹果和梨贮藏·····	281
第二节 柑橘贮藏·····	312
第三节 香蕉贮藏·····	334
第四节 葡萄贮藏·····	347
第五节 板栗贮藏·····	351
第六节 大白菜贮藏(附甘蓝)·····	355
第七节 番茄贮藏(附青椒)·····	363
第八节 马铃薯贮藏·····	367
第九节 洋葱贮藏·····	372
第十节 姜贮藏·····	374
第十一节 蒜薹贮藏·····	377
 附录一 果品冷库管理技术规范(摘要)·····	 379
 附录二 主要果品冷藏的 ISO 标准(摘要)·····	 384
 参考文献·····	 400

## 绪 论

新鲜水果与蔬菜是人类不可缺少的食物。人们对于水果与蔬菜的需求,不仅要求质优量足,而且要求在时间上能够均衡供应。这种消费需求特点与农业生产的季节性构成了巨大的矛盾。为解决这一矛盾,人类在远古时期就发明了食物的贮藏方法。例如,1000多年前的《齐民要术》中就有关于蔬菜贮藏的记载。随着社会经济的发展、社会分工的形成与进一步的发展,人们建立了流通体系来解决果蔬供应的空间均衡性。现代社会中,为了把专业化的果蔬产地与人口高度集中的海内外城市消费地联结起来,运输的作用越来越突出。

贮运保鲜技术在很大程度上决定着水果、蔬菜的采后利用程度和采后损失。在当今世界范围的人口、资源和生态危机中,农产品的采后损失问题已受到了各国政府和有识之士的密切关注。在当今的农业生产领域,绝大多数的土地资源已经被高度利用,农产品进一步增产的边际成本已经变得很高。为了提高一倍的单产,往往需要10倍的投入,耗费大量的人力财力物力来培育良种、兴修水利、改良土壤、加强管理。而收获后的食物却常常由于贮运不当造成大量损失。根据联合国粮农组织的估计,发展中国家的易腐农产品(果蔬、水产)的采后损失高达20%~30%。因此,通过改进采后处理和贮运保鲜技术,将在现有的生产力水平上大大改善果蔬的有效供应,产生巨大的社会效益。

现代化的果蔬采后贮运保鲜技术体系也是高效率的果蔬生产

业的支柱。保鲜与运输技术的发展可以在很大程度上带动生产的发展和专业化、集约化程度的提高。例如在美国,由于采后处理技术的发展和商品化冷链的建立,水果、蔬菜在经过数千公里的长途运输后,仍能以极高的品质出现在市场上,从而有可能在最佳气候区建立高效率的水果、蔬菜专业化生产基地。

经过几代人的努力,我国的果蔬贮运保鲜技术已经有了长足的进步。从贮藏技术手段上看,目前已普遍采用技术性能、经济性能比较适合国情的通风库贮藏技术性能,仅国有蔬菜公司就拥有通风库  $12 \times 10^5 \text{m}^2$ 。机械冷库贮藏也已有大规模应用,尤其在北方水果主产地、各大城市及外贸部门较为普遍。果蔬气调贮藏技术和设备方面则正走向规模化的实用阶段。在运输方面,开发了适合我国国情的果蔬冷藏运输链综合技术以及隔热通风新车型,并进行了大规模的运输试验,取得了满意的效果;已有部分果蔬采用了冷藏集装箱、气调集装箱运输;在北京还建立了水果、蔬菜流通开发培训中心(EEC 资助),装备有现代化的果蔬采后处理流水线,标志着我国的果蔬采后流通体系已经迈进了现代化的门槛。但是,从总体上来说,大部分现代化的果蔬采后技术在我国尚未达到技术经济上的实用阶段。作为采后技术体系核心的冷链,在我国也只是近年来随着城市家庭冰箱的逐渐普及初露端倪。在运输上,现有少量专用控温运输设备主要用于高价值的水产品和畜产品,很少用于果蔬。绝大部分的果蔬运输只能采用无保温设施的篷车,甚至敞车。由于技术与管理水平跟不上实际需要,我国生产的果蔬产品在贮运环节中的损失是惊人的。据估计,我国瓜果及商品蔬菜的年产量为 3200 万吨,采后损失达 25% 以上,每年损失价值数 10 亿元。

《果蔬贮运学》是一门涉及水果与蔬菜生产、流通、贮藏和营销的综合性应用学科。本课程以采后生理学的理论为基础,研究如何根据具体的果蔬种类、品种和贮运环境等条件,利用限定的投入来

实现高品质的果蔬采后处理、贮藏与运输流通。学习《果蔬贮运学》，掌握果蔬采后处理、贮藏与运输流通中一系列商品化处理的原理与应用技术，目的在于促进果蔬采后技术的开发和推广应用，降低果蔬产品的采后损失，获取良好的社会经济效益。

# 第一章 果蔬品质基础

为了在一定的贮运期限内尽可能地维持原有的果蔬消费品质,首先必须对果蔬品质的概念及其在贮运(从对果蔬本身的影响来说,运输也可视为在特定条件下的贮藏)中的变化有充分的了解。

从贮藏运输及消费的角度出发,果蔬品质可以划分为营养品质和感官品质两大类。在营养品质与感官品质之间,并不存在必然的相关性。

果蔬的营养品质主要取决于果蔬的化学组成。详细的果蔬化学组成已在《采后生理》课程中有介绍,这里只作一个小结。决定果蔬营养价值的主要化学物质有碳水化合物、有机酸、矿物盐及各种维生素。此外,果实中的芳香物质、含氮物质、色素等,也能起到增进食欲,改善消化机能的“准”营养作用。

水果、蔬菜并非人类所需的脂肪、蛋白质及碳水化合物的主要来源。它们在人类营养中的作用,主要是作为维生素、矿物质及水分、粗纤维的供应者。尤其在维生素C、钾和钠等电解质、胡萝卜素( $V_A$ 原)等的供给上,起着不可替代的重要作用。一般而言,果蔬的总干物质的含量高,其营养价值则较高。

果蔬的营养品质直接影响人体的健康,其重要性不言而喻。但营养品质一般说来属于隐蔽特性,即一般不能凭人的感官来加以评价;但也有例外,例如,水果、蔬菜的颜色与 $V_A$ 原的含量之间,即有明显的相关关系。黄色或橙黄色的水果、蔬菜,或深绿色的蔬菜,其 $V_A$ 原的含量也比较高。

果蔬的感官品质是指能凭人的感官进行评价的各种品质属性,它们直接影响果蔬作为消费品的市场品质。因此果蔬的感官品质也可称商业品质、消费品质。感官品质包括色泽、香气、风味、大小、形状及质地等品质属性。对这些品质属性进行鉴定是评价果蔬消费品质的常用方法。

## 第一节 果蔬的色泽

果蔬产品具有各种不同的色泽。一般而言,未成熟的水果、蔬菜多呈绿色,成熟后则呈现各种类(或品种)所固有的色泽,这是由于果蔬体内色素变化的结果。色泽反映了果蔬产品的新鲜度、成熟度以及品质的变化,因此,它是果蔬品质评价的重要指标之一。

果蔬所含的色素依溶解性不同可分为脂溶性色素和水溶性色素,前者存在于细胞质中,后者含于细胞液中,主要包括叶绿素(chlorophylls)、类胡萝卜素(carotenoids)、花青素(anthocyan)和类黄酮素(flavonoids)四大类。

### 一、叶绿素

叶绿素是由叶绿酸与叶绿醇及甲醇形成的二酯。其绿色来自叶绿酸残基。叶绿素的主要结构是一个卟吩环,由四个吡咯环的 $\alpha$ 碳原子通过四个次甲基链结而成的环状共轭体系。它与另一种天然的吡咯色素即血红素的区别,仅在于卟吩环上的取代基和环中结合的金属元素不同。高等植物的叶绿素由叶绿素a和叶绿素b混合组成,通常a与b的含量比例为3:1。叶绿素a与叶绿素b在结构上的区别仅在于Ⅱ吡咯环9碳原子上的取代基不同,取代基是甲基( $\text{CH}_3$ )为叶绿素a,取代基是醛基( $\text{CHO}$ )为叶绿素b。

叶绿素a和叶绿素b不溶于水,而溶于乙醇、丙酮、乙醚、氯

仿、苯等有机溶剂。叶绿素 a 为蓝黑色粉末,其乙醇溶液显蓝绿色,有深红色荧光;叶绿素 b 为深绿色粉末,其乙醇溶液显黄绿色,有红色荧光。游离的叶绿素很不稳定,对光和热敏感,受到光辐射时,会由于光敏氧化作用而裂解为无色产物。叶绿素用酸处理时,其分子中的镁被 2 个氢原子取代,生成褐色的脱镁叶绿素 a 或褐绿色的脱镁叶绿素 b 而失去原有的绿色,加热可促进反应的进行。

叶绿素在弱碱溶液中较为稳定,若加热则两个酯键断裂,水解为叶绿醇、甲醇和不溶性的叶绿酸。叶绿酸呈鲜绿色,较稳定。当碱液浓度高时,可生成绿色的叶绿酸钠(或钾)盐。叶绿酸中的镁还可被铜或铁取代,生成不溶于水呈鲜绿色的铜(或铁)代叶绿酸。

在叶绿素分解酶的作用下,叶绿素分解为绿色的叶绿酸甲酯和叶绿醇。此时若用碱溶液处理,则叶绿酸甲酯水解为叶绿酸盐和甲醇。

## 二、类胡萝卜素

类胡萝卜素的种类很多,这类色素中最早的一个是从胡萝卜中获得的,因此定名为“胡萝卜素”,以后又陆续发现了许多结构与胡萝卜素不相似的色素,于是将这类色素统称为“类胡萝卜素”。按其结构和溶解性的不同分为胡萝卜素类(carotenes)和叶黄素类(xanthophylls),前者为共轭多烯烃类化合物,易溶于石油醚而难溶于乙醇;后者为胡萝卜素类的含氧衍生物,溶于乙醇而不溶于乙醚。利用这一性质,可将两类色素分开。

类胡萝卜素耐热性强,即使与 Zn、Cu、Fe 等金属共存时,其结构也不易被破坏。

由于类胡萝卜素分子中含有多个双键,故易被氧、脂肪氧化酶、过氧化物酶等氧化而脱色变褐。类胡萝卜素的结构被破坏主要是由于光敏氧化作用导致双键发生裂解从而失去颜色。类胡萝卜素的被破坏与其所处的状态有关,在果蔬细胞中类胡萝卜素与蛋

白质成结合状态,相当稳定;相比之下,提取后的类胡萝卜素对光、热、氧较为敏感。

类胡萝卜素与三氯化锑的氯仿溶液反应,多呈蓝色,与浓硫酸反应呈蓝绿色,故常用于对这类色素作定性鉴定。

$\alpha$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素、 $\gamma$ -胡萝卜素、玉米黄素等,其分子中均含有 $\beta$ -紫罗酮环,在人与动物的肝脏和肠壁中能转变成具有生物活性的维生素A,故称维生素A原。

### 三、花青素

花青素是一类水溶性的植物色素,以糖苷形式存在于植物细胞液中,构成果实、蔬菜及花卉的艳丽色彩。最重要的三种花青素是天竺葵素(草莓、苹果)、青芙蓉素(樱桃、葡萄、无花果)和飞燕草素(石榴、茄子)。现在已知的花青素类色素不下20种,除个别外,都是上述三种花青素的衍生物。此外,还有一种无色花青素(leucoanthocyanins),它与花青素有着相似的结构,广泛地存在于植物的花、茎和果实中。在实验条件下,无色花青素可转变为相应的花青素。无色花青素也是果蔬中主要的涩味成分之一。

自然界中的花青素通常是与葡萄糖、半乳糖、鼠李糖、木糖及阿拉伯糖等结合成糖苷形式存在于细胞中,叫花青苷。花青素的基本结构是一个2-苯基苯并吡喃环,由苯环上取代基的数目和种类的不同而形成各种各样的花青素类色素。通常用盐酸提取花青素,得到的氯化物被称为氯化花青素。

各种花青素呈现不同的颜色,其色泽与结构有一定的相关性。随着苯环上羟基数目增加,颜色向紫蓝方向移动。当苯环上的羟基被甲氧基(-OCH<sub>3</sub>)取代后,颜色又向红色方向移动。甲氧基数目越多,红色越深。各种花青素的颜色可随pH值增减而变化,故可作指示剂。其原因是在不同的pH值下花青素的结构发生了变化,所以,同一种花青素在不同的农产品中可以表现不同的颜色。只有



当花青素与 Ca、Mg、Mn、Fe、Al 等金属结合成蓝色的络合物时，才变得稳定而不受 pH 值的影响。

一般情况下，花青素极不稳定，除受 pH 值影响外，还易受氧化剂、抗坏血酸以及温度和光的影响而变色。SO<sub>2</sub> 可使花青素褪色，是因两者形成一种加成物之故，若经加热或 SO<sub>2</sub> 吸收剂处理将 SO<sub>2</sub> 除去，则可恢复原来的颜色。花青素在抗坏血酸等还原剂的作用下，也会分解褪色，此时若有 O<sub>2</sub> 存在，则褪色更为显著。

各种农产品中所含的花青素种类取决于遗传因素的作用，但积累量的多少则受环境条件的所左右。花青素是一种感光性色素，日光照射对花青素的形成有促进作用，例如，红苹果在高海拔地区栽培比低海拔地区着色更鲜艳。温度对花青素形成也有显著的影响，低温促进花青素的积累。秋天红叶是由于夜间低温促进花青素积累的结果。花青素的形成和积累还受植物体内的营养状况、水分含量等因素的影响。

#### 四、类黄酮素

类黄酮素是农产品中呈无色或黄色的一类色素，通常以游离或糖苷形式存在于细胞液中，也属“酚类色素”，但比花青素稳定。

类黄酮素种类很多，其基本结构为 2-苯基苯并吡喃酮，一般分为四种基本类型：即黄酮(flavone)、黄酮醇(flavonol)、黄烷酮(flavanone)和黄烷醇醇(flavanol)，自然界中的类黄酮色素都是上面四种的衍生物。

类黄酮色素与碱液(pH 值为 11~12)作用，生成苯基苯乙烯酮即查耳酮型结构的物质，呈黄色、橙色以至褐色，在酸性条件下，查耳酮又可回复到原来的结构而颜色消失。

芸香苷、橙皮苷、圣草苷等类黄酮色素在生理上具有维生素 P 的功效，柚皮苷又是柑橘果实中主要的苦味成分。

最后还要提到丹宁，它也属多酚类色素，在苹果、桃、李、葡萄、