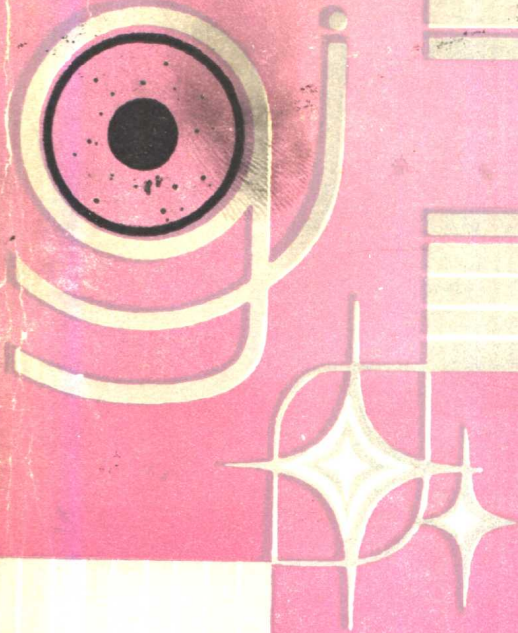




全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

果蔬采后生理

● 刘道宏 主编

● 食品科学专业 果蔬专业用

中国农业出版社

255.3
233

全国高等农业院校教材

果 蔬 采 后 生 理

刘道宏 主编

食品科学专业 果蔬专业用

中 国 农 业 出 版 社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材

果蔬采后生理

刘道宏 主编

* * *

责任编辑 王琦琰

中国农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 密云县印刷厂印刷

787×1092mm16开本 9印张 196千字

1995年5月第1版 1995年5月北京第1次印刷

印数 1—2,150册 定价 5.35元

ISBN 7-109-03295-7/S·2118

代 序

新鲜果蔬是人体保健营养必需品，亦是国内外市场流通的重要商品。新鲜果蔬容易腐烂变质，不耐贮藏运输，往往造成巨大的腐烂损耗，影响季产年销和周年供应。

《果蔬采后生理》由刘道宏教授主编，张维一、季作梁教授参加编写。全书共八章，十四万字。从生理方面介绍了果蔬成熟期间组织结构、生理生化变化，采前生态环境对于果蔬品质的影响，果蔬成熟期间的呼吸作用，乙烯的生物合成及其调节控制，气调贮藏在新鲜果蔬上的应用原理及其调控，果蔬低温贮藏的冷害、冻害，以及果蔬贮藏期间的生理失调、病理病害及其防治等。注意现代科学理论与生产技术的结合，阐明新鲜果蔬防腐保鲜的有效措施，理论联系实际，是一部有广泛应用价值的教材，亦是一部果蔬市场经济的宝贵参考书籍。

本书内容符合以经济建设为中心，密切联系果蔬商品市场的技术需要，介绍了现代科学进展，科学性强，具有理论上的先进性和生产上的应用价值，材料新颖，文字通顺，名词、术语、计量单位符合要求，图表清晰，符合教材的基本要求。适合作为农业大专院校教材及科研企事业单位参考应用。

章文才

1993年8月

前 言

本书受农业部前全国高等农业院校教材指导委员会生物基础学科组的委托，于1988年组织有关农业院校教师共同编写完成。

果蔬采后生理是食品科学、园艺、果蔬等专业一门重要基础课程。目前国内尚缺少适于高等农业院校使用的教材。本书在编写过程中既注意总结多年来在教学实践中的经验，又注意吸收国内外有关书籍的新资料和新成就。

本教材课堂教学共约40学时。主要内容有：果蔬成熟期间组织结构和生理生化变化，采前生态环境对果蔬品质的影响，果蔬成熟期间的呼吸作用，乙烯的生物合成及其调控，气调贮藏，果蔬低温贮藏的冷害和冻害，以及果蔬贮藏期间的生理失调、病害及其防治等。可供高等农业院校有关专业使用，也可供综合大学生物系和从事果蔬保鲜单位参考。

本书在编写过程中承蒙北京市蔬菜研究中心宗汝静研究员，中国科学院上海植物生理研究所刘愚副研究员，华中农业大学邓桂森教授提供资料并提出宝贵意见，华中农业大学章文才教授在百忙中抽出时间细心审阅，并热情为本书撰写序言。刘忻助工为本书绘图。在此一并表示感谢。

本教材编写分工为：绪言、第二、三、六章由刘道宏编写；第一、七、八章由张维一编写；第四、五章由季作梁编写。

由于编者水平有限，错误及不当之处恳请同行及读者批评指正。

编 者

1993年7月12日

目 录

绪言.....	1
第一章 果蔬成熟期间形态结构和生物化学的变化	8
第一节 果蔬成熟期间组织结构的变化的	8
一、组织结构的变化	8
二、成熟与衰老期间细胞结构的变化	4
第二节 蛋白质的合成与磷脂代谢.....	5
一、蛋白质RNA的合成.....	5
二、核酸代谢与成熟的关系	5
三、衰老期间磷脂和脂肪酸的代谢	6
第三节 果蔬成熟和衰老期间色、香、味、维生素及硬度的变化	7
一、果实的色素及在成熟衰老期间的变化	7
二、挥发性物质及其在成熟期间的变化	9
三、果蔬中的糖和淀粉及在成熟、衰老期间的变化	11
四、果蔬中的有机酸及在成熟、衰老期间的变化	14
五、果胶物质与果蔬的硬度	15
第四节 果蔬中的维生素与矿物质	17
一、果蔬中的维生素及在成熟、衰老中的变化	17
二、果蔬中的矿物质.....	18
第二章 采前外界因素对采后果蔬品质及贮藏性的影响.....	19
第一节 环境因素的影响.....	19
一、温度.....	19
二、光照.....	20
三、水分.....	20
四、土壤结构	21
五、地理条件	21
第二节 栽培管理条件的影响	22
一、施肥.....	22
二、修剪.....	24
三、砧木.....	24
四、灌溉.....	25
第三节 采收前喷施化学药剂	25
一、植物生长调节物质	25
二、其它化学药剂	28
第三章 果蔬成熟期间的呼吸作用.....	34
第一节 果蔬采后的呼吸作用	34
一、蔬菜采后的呼吸作用	34
二、果实采后的呼吸作用	35

三、跃变型果实与非跃变型果实的区别	36
四、呼吸跃变发生的原因	39
五、乙烯与呼吸作用	41
第二节 影响呼吸作用的外界因素	42
一、温度	42
二、相对湿度	43
三、气体成分	44
四、化学因素	45
五、电离辐射	46
第四章 乙烯的生物合成及调节	47
第一节 乙烯的生理作用及其与果蔬成熟的关系	47
一、乙烯与果蔬成熟的关系	47
二、乙烯作用的机理	48
第二节 乙烯的生物合成途径	49
一、乙烯的生物合成途径	49
二、蛋氨酸循环	51
第三节 乙烯生物合成的调节	51
一、果实成熟和衰老的调节	52
二、生长素 (IAA) 促进乙烯的产生	53
三、乙烯对乙烯生物合成的调节	53
四、胁迫因素导致乙烯的产生	53
五、光和 CO_2 对乙烯合成的调节	54
第四节 控制乙烯在果蔬贮藏运输中的应用	55
一、控制成熟度或采收期	55
二、防止机械损伤	55
三、低温贮藏	56
四、乙烯吸收剂的应用	56
五、乙烯抑制剂的的应用	57
六、乙烯催熟剂的应用	57
第五章 果蔬的气调贮藏	59
第一节 国内外果蔬气调贮藏概况	59
第二节 气调贮藏的原理	60
一、低 O_2 浓度对呼吸作用的影响	61
二、高 CO_2 浓度对呼吸作用的影响	62
三、 O_2 、 CO_2 和温度的联合效应	62
四、短期高浓度 CO_2 处理的生理效应	63
第三节 气调贮藏的生理基础	64
一、气调对呼吸代谢的影响	64
二、气调对乙烯生物合成及其活性的影响	64
三、气调对酶系统及其活性的影响	65
四、气调对糖酵解和无氧呼吸的影响	66
五、气调对生理失调的影响	66
六、气调对果蔬感观和营养品质的影响	67
第四节 气调贮藏在果蔬上的应用	70

一、水果类	70
二、蔬菜类	72
第六章 果蔬贮藏期间的冷害和冻害	76
第一节 果蔬的冷害	76
一、冷害症状及对冷害的敏感性	76
二、影响冷害的因素	78
三、冷害的鉴定	80
第二节 冷害过程中的生理生化变化	81
一、对生物膜的影响	81
二、对细胞器的影响	81
三、不正常的呼吸反应	82
四、刺激乙烯生成	83
五、冷害对其它物质代谢的影响	83
第三节 减轻果蔬冷害的措施	84
一、调节贮藏温度	84
二、气调贮藏	85
三、化学处理	85
四、激素调节	85
第四节 果蔬的冻害	85
一、冻害症状及对冻害的敏感性	86
二、冻害机理	87
第七章 果蔬贮藏期间的生理失调	89
第一节 仁果类的生理病害	89
一、虎皮病	89
二、苦痘病	91
三、水心病	92
四、苹果果内渍变	92
五、鸭梨黑心病	93
第二节 柑桔类的生理病害	95
一、褐斑病	95
二、枯水	95
三、水肿病	98
第三节 其它果蔬的生理病害	99
一、香蕉	99
二、番茄	100
三、萝卜糠心(空心)	100
四、马铃薯	101
第八章 果蔬采后病理	103
第一节 果蔬采后的主要寄生病害	103
一、真菌病害	103
二、细菌病害	104
第二节 寄主植物的病害生理	105
一、呼吸作用的变化	105
二、次生代谢物质	106

第三节 病原酶在病害发生中的作用	107
一、病原微生物产生的胞外酶	107
二、病原酶与寄主相互作用	109
第四节 果蔬采后病害侵染的方式	110
一、侵染途径	110
二、潜伏侵染	113
第五节 病原微生物发展的环境条件	115
一、温度	115
二、空气湿度和寄主水分状况	116
三、寄主的pH值	116
四、气体成分	116
五、乙烯	117
第六节 采后病害的控制	118
一、采前侵染的控制	118
二、采后侵染的控制	119
附录	122
参考文献	130

绪 言

—

水果和蔬菜是人们生活的必需品,含有大量人体生命活动所必需的维生素、矿物质、氨基酸、糖类、有机酸和纤维素等物质。发展水果、蔬菜商品生产,对保证人体健康,保障城乡市场供应,促进市场繁荣,改善人民生活,发展农村经济,增加外贸出口,都具有十分重要意义。

我国果蔬生产有着悠久历史,也有丰富的品种资源和栽培、贮藏保鲜的经验。新中国成立后,特别是在党的十一届三中全会以后,我国国民经济稳定持续发展,城乡人民生活不断改善和提高,人们的食物成分逐渐发生变化,增加了肉、鱼、禽、蛋的比例,而食物中肉类成分的增加,又要求适当的水果蔬菜配合,才能获得平衡的营养。因此,果蔬的生产在国民经济中的地位就显得越来越重要。党和各级政府非常重视发展水果和蔬菜的生产,注意加强果蔬商品基地的建设,为了保证城市居民每天有足够的果蔬供应,“菜篮子工程”也就提到了各级政府的重要议事日程。

由于果蔬生产季节性很强,新鲜产品含水量高,保藏不当,容易造成变质和腐烂。加之,果蔬生产又受地区制约,其中水果生产地区性的影响尤为明显,如我国南方生产柑桔、香蕉、荔枝,北方生产苹果、梨,新疆生产哈密瓜、葡萄等。产品一旦收获,因收获期集中、产量大,很难就地全部销售,必须考虑分级、包装、贮藏和运输等问题。运往市场以后,有的还要进一步妥善贮藏或加工保藏,以便均衡地满足市场的需要。

采收后的水果和蔬菜如管理保藏不当,常会造成巨大损失。据Coursey (1975)统计:全世界果蔬产品采收后平均损失约为收获量的25%。发展中国家如非洲和印度约为30%。发达国家如美国,果蔬产品收获后因运输、贮藏管理不当,遭受的损失也相当可观,1967年约损失2亿美元。我国属于发展中国家,果蔬贮藏保鲜技术与先进国家相比较还有不少差距。据调查,我国水果采收后的损失率约为25%,而蔬菜则高达40%—50%。

“丰产不丰收”。据统计,我国1990年约损失水果10000kt左右;蔬菜50000kt左右。距国务院提出的《1981—2000年全国食品工业发展纲要》中规定的果蔬损失率要降到5%左右的目标还相差很远。目前由于我国果蔬贮藏保鲜的能力有限,在国内市场既不能完全解决“旺季烂,淡季断”的问题;在国际市场也由于贮藏保鲜技术落后,影响果蔬品质,缺乏竞争力。

为了克服果蔬生产的季节性与消费者需要经常性的矛盾,使果蔬产品能够周年地均衡上市和提高果蔬品质,我国政府非常重视保鲜问题,国家“六五”“七五”“八五”期间进行的重点攻关课题中都列有果蔬保鲜项目。近年来,在总结群众保鲜经验,采用国内外先进技术,引进先进贮藏保鲜设备,开展科学研究等方面,做了不少工作,取得了可喜进展,基本上解决了市场上某些水果的周年供应问题。通过努力,相信在本世纪末一定会实

视《纲要》提出的要求。

二

水果、蔬菜收获以后，虽然离开了原来的栽培环境和母体，但它仍是一个活着的有机体，还在不断地进行生命活动。采后 (post harvest) 的含义顾名思义是采收以后。Coursey 对采后下的定义是指“通过人的劳动从植株上采收下来供人类食用的植物产品”。这里突出在一个“采”字，按此定义如没有通过人的劳动从植株上采收的植物产品例如自然脱落的果实，则不属于“采后”内容。由于采收只是一个人工的生产措施，不但不同的果蔬产品其采收时间不同；即使是同一品种，根据消费者的爱好和市场需要，其采收时间也可按植物不同生长阶段进行。因此，采后的时间概念并不十分固定。当然，供人类食用的植物产品种类很多，不只限于水果和蔬菜，如大田生产的粮食、油料、糖料等作物产品也应属于采后范畴。但本书只专门讨论水果、蔬菜的采后问题，其它食用植物产品就不涉及了。

采后生理学 (post harvest physiology) 是研究采收以后的植物食用产品生命活动过程及其与环境条件关系的科学。采后植物产品的生命活动主要表现在呼吸作用，贮藏物质转化和水分的散失等方面。而这些生命活动和采前及采后的环境条件又有着不可分割的联系。研究果蔬收获后的生命活动和环境的关系，是果蔬贮藏保鲜的理论基础，对指导果蔬采后在分级、包装、贮藏、运输、加工等过程中，如何调节和控制其生命活动，以达到降低损耗、保持品质和提高其耐藏性的目的，有着非常重要的意义。

第一章 果蔬成熟期间形态结构和生物化学的变化

果实是由细胞分裂使细胞数量增加和细胞本身膨大而形成。在开花前及开花初期的子房及花托的生长主要依靠细胞分裂，此时果实不大，但到一定时期，果实急剧生长膨大，达到最大体积以后即进入成熟、衰老阶段。

成熟与衰老是生活有机体生命过程中的两个阶段。供食用的果蔬有些是成熟的产品，如各种水果和部分蔬菜，有些则是不成熟或幼嫩的，如大部分蔬菜。所以讨论成熟问题是对前者而言。果实发育的过程，从开花受精后，完成细胞、组织、器官分化发育的最后阶段通常称为成熟 (maturation) 或生理成熟。此时不一定是最佳食用阶段，譬如巴梨果实尽管已完成发育或达到了生理成熟阶段，但果实很硬并不能食用，变软以后才宜于食用，当果实表现出特有的风味、香气、质地和色泽，达到最佳食用的阶段称为完熟 (ripening)。成熟过程是发生在果实停止生长之后进行的一系列生物化学变化。达到食用标准的完熟可以发生在植株上，也可以在采后，把果实采后呈现特有的色、香、味的成熟过程称为后熟 (post-maturation)。

衰老 (senescence) 是植物的器官或整个植株体在生命的最后阶段。食用的植物根、茎、叶、花及其变态器官没有成熟问题，但有组织衰老问题。衰老的植物组织细胞失去补偿和修复能力，胞间的物质局部崩溃，细胞彼此松离。细胞的物质间代谢和变换减少，膜脂发生过氧化作用，膜的透性增加，最终导致细胞崩溃及整个细胞死亡的过程。果实的成熟与衰老都是不可逆的变化过程。因此，有些生理学家很早就认为果实成熟是衰老的开始。有些成熟过程过度到衰老是连续的，两者不易分割。生产上把果蔬最佳食用阶段以后的品质劣变或组织崩溃阶段称为衰老。

第一节 果蔬成熟期间组织结构的変化

一、组织结构的变化

(一) 表皮组织结构的变化 表皮是果蔬最外一层组织，细胞形状扁平，排列紧密，无细胞间隙，其外壁常角质化，形成角质层。表皮上分布有气孔或皮孔。有的还分化出表皮毛覆盖于外表。表皮这种结构上的特点，既能起到防止外来损伤和病虫侵入的作用，又具有调节呼吸和蒸腾作用的功能，是植物的保护组织。

角质膜的厚薄随果蔬的种类而异，苹果、洋葱等的角质膜都很发达。通常角质膜的发育随年龄而变化，一般幼嫩果蔬的角质膜不及成熟的发达。苹果在活跃的生长时期角质膜逐渐加厚，并且，在成熟期及以后的贮藏期中继续增厚。番茄在成熟期角质膜也有明显的增厚。油梨在达到成熟后角质膜厚度不再变化，但角质膜上出现大量浅裂缝或鳞状物。哈密瓜随着贮藏期的延长，角质膜变薄，因而抗病性减弱。

有些果蔬表皮角质膜的外面还覆盖着极薄的蜡质层，如甘蔗的茎秆外表和葡萄、李、冬瓜等成熟果实的表面，均有“白霜状”的蜡被。有些果实（如梨和李子等）从幼果开始，随着成熟，膜片状的蜡质变为颗粒状，在果面上常呈白色果粉。苹果趋于成熟时表面变得更胶粘，片状的蜡变软并且相互融合。果蔬采后，根据需要可进行人工蜡剂处理，以防止水分过分散失。

木栓层，木栓形成层和栓内层共同构成周皮（periderm）。木栓层不易透水透气，由多层叠生的扁平细胞组成，无细胞间隙，细胞壁富含木栓质。木栓层的功能与角质膜相似，为良好的保护组织。

大多数果蔬在生长期，如受到机械损伤，可形成愈伤组织，产生木栓层。但是，在接近成熟或在收获后受到的损伤，果蔬形成木栓层的能力减弱，或很难再形成木栓层。但薯类收获后在13℃以上的温度以及湿润的流动空气中，经1—2周可形成愈伤组织，有利于贮藏。叶菜类蔬菜不具木栓层。

植物体表面的开孔有两种：一为气孔；一为皮孔。它们是植物体与外界环境之间气体交换和水分蒸腾的孔道。

气孔一般多集中于果实和叶片表面，特别是叶片，大多数果蔬叶片每平方毫米的下表皮平均有气孔100—300个。

皮孔多存在于根、茎和果实表面，叶片上没有皮孔。皮孔的数目会因果蔬品种的不同而有很大的差异，一般老龄果实较幼嫩的皮孔多。在苹果和梨果实表面，皮孔也称之为果点。有些果蔬如柿子、葡萄、茄子、番茄和柿子椒等的果面上，既没有气孔也没有皮孔，这些果蔬是通过集中在蒂部的气孔进行气体交换和蒸腾，葡萄则是在果梗部进行这些生理作用，和气孔不同，皮孔形成后，持续张开，不能自动调节。

（二）内部薄壁组织的变化 薄壁组织也叫基本组织，它决定果蔬可食部分的品质，生理方面担负吸收、同化、贮藏通气、传递等功能。薄壁组织细胞共同的结构特点是，细胞壁薄，液泡较大，细胞排列疏松，具有较大的细胞间隙，叶菜类细胞间隙约占总体积20%以上，根菜类约20%，果实类约10%—15%，块茎最小。一般说，随着成熟的进行，果蔬组织细胞间隙增大，但一些多汁浆果类在成熟或衰老过程中，细胞中胶层解体，细胞间隙充满液体水膜，间隙度可能变小。

二、成熟与衰老期间细胞结构的变化

在果蔬成熟与衰老的生理生化变化方面已积累了大量的材料，认为植物细胞衰老的第一个可见征象是核糖体数目减少以及叶绿体破坏，以后的变化顺序为内质网和高尔基体消失，液泡膜在微器官完全解体之前崩溃，线粒体可以保持到衰老晚期。细胞核和质膜最后被破坏，质膜的崩溃宣告细胞死亡。他们认为，这种变化顺序在许多植物和组织中带有普遍性。

下面介绍番茄果实成熟期间质体的变化。

在即将达到绿熟期的果实中，叶绿体具有发育良好的片层系统，含有大量的淀粉和少量的嗜锲球。当果实成熟时，淀粉粒消失而嗜锲球增多并变大。在绿熟阶段后期，基粒进入溶胞阶段。在转色期，基粒减少，在基质中大类囊体的膜仍然可见，其结构很象类囊体

丛。

到坚熟期，正值呼吸高峰期，有色体形成，其内膜的电子致密区可能是类胡萝卜素的沉积处。当新鲜材料中转变的质体在显微镜下观察时，常可见到基粒与色素晶体共同存在。在质体近周缘的部位出现大量由质体内膜的内褶作用而形成的泡囊，在未熟绿果和绿熟果的叶绿体内泡囊较少。番茄有色体中这些泡囊的作用还不清楚，可能在有色体的发育中涉及膜的重组和生长。

从坚熟期到软熟期的一周内，番茄茄红素大量增加，这一变化伴随着基质中膜的减少，与胡萝卜素晶体相联系的“电子致密区”的缩小以及嗜银球变大和增多，都表明基质在崩溃和溶解。

在番茄、辣椒、甜橙、梨等果实中，叶绿体的衰老与有色体的出现是相一致的，因此，似乎可以肯定果实有色体发育，表明衰老已经开始。但有些果实的衰老可以发生在果实变色之前。

成熟与衰老是个极为复杂的生理生化过程，在这个过程中，细胞内各细胞器也先后不同程度地发生解体或破坏。但可以肯定的是，细胞超微结构的变化并不是启动衰老的原因，而是衰老的结果。

第二节 蛋白质的合成与磷脂代谢

过去对果实成熟过程的理解主要是物质降解，细胞及组织的解体。近年来的研究证明成熟期间还存在许多物质的合成，特别是蛋白质和酶的合成是成熟必需的生理准备。

一、蛋白质RNA的合成

蛋白质在植物体内的生理功能是多种多样的，核蛋白与生物的遗传变异密切相关。果蔬的成熟特性，耐藏性、抗病性是由它的遗传特性所决定。在成熟过程中各种生物化学变化，几乎都由酶所催化，酶本身就是蛋白质。近年来研究成熟过程的蛋白质及核酸代谢越来越受到关注。据研究苹果成熟，蛋白质有净增现象。但油梨在开始成熟时蛋白质合成增加，接近成熟时蛋白质下降。现已证实苹果、梨、番茄、香蕉等果实成熟期间标记的氨基酸掺入蛋白质均出现净增加。

单位组织标记氨基酸掺入蛋白质的量，从跃变前期向跃变中期增大，在接近呼吸跃变顶峰时又急剧下降。蛋白质合成速率增大表示成熟时组织代谢速率加强，成熟开始时合成的蛋白质可能是催化成熟过程中所需的酶。如果蛋白质合成作用受到抑制则不成熟。用减压法处理洋梨，抑制内源乙烯生成，则成熟推迟，蛋白质合成同样也被推迟。这既表明乙烯可诱发成熟，同时也说明成熟过程中蛋白质的合成是一个重要的步骤。

二、核酸代谢与成熟的关系

核酸代谢与成熟也密切相关。试验表明，在果实成熟期间RNA合成增加，如番茄和无花果成熟期间放射性尿嘧啶掺入RNA有所增加。乙烯刺激苹果和无花果RNA的合成，并使番茄果实RNA的相对数量发生变化。番茄在不同发育阶段核酸的含量变化趋势是：果实总

的RNA含量在成熟（显现红色素）前1—2个星期内增加，利用5—³H尿嘧啶饲喂番茄组织切片掺入RNA，发现番茄果实临近绿熟，掺入RNA合成速率下降，但开始红熟前5—³H尿嘧啶掺入RNA又突然增加，呈峰状变化，说明RNA合成速率突然上升与成熟相联系。

综上所述，在果实成熟阶段有新的mRNA转录并翻译成新的蛋白质，奠定了果实成熟的生物化学基础，使用RNA合成抑制剂和蛋白质合成抑制剂可以抑制成熟过程，表明成熟过程需要基因表达。从各种番茄突变体成熟的研究证明，基因可控制成熟过程。

三、衰老期间磷脂和脂肪酸的代谢

（一）磷脂和生物膜的生理意义 磷脂和蛋白质是构成生物膜的主要化学成分。磷脂约占细胞和亚细胞器膜构成成分的30%—40%，主要是卵磷脂、磷脂胆胺。只有叶绿体内的类囊体膜以半乳糖酯为主要成分。脂肪酸中亚麻酸（18：3）占有很高比例。叶绿体的双层膜仍然以卵磷脂和磷脂酰甘油为主体约占膜质的35%，有人把细胞中磷脂看成是生命的重要组分。

（二）衰老期细胞膜的变化 膜脂破坏意味着膜结构发生变化，一般说来植物组织衰老期间膜脂下降，一方面是脂肪酸酯化成磷脂的水平下降，同时也是植物膜磷脂分解脱脂作用（deesterification）加强。

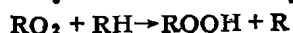
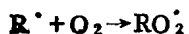
脂肪酸是脂类的重要组成，它的链的长短和饱和程度影响脂肪的理化性质，也影响到膜脂的功能。在植物组织衰老期间总脂含量没有明显变化，但膜脂的脂肪酸组分发生了改变：

大分子不饱和脂肪酸明显减少，降低了衰老组织膜的流动性。研究一些木本植物叶片中叶绿体的脂肪组分发现，衰老叶片的亚麻酸（18：3）含量减少34%—80%，亚油酸（18：2）也减少，而硬脂酸（18：0）以及C₁₂，C₁₄碳的短链脂肪酸累积增加。在衰老的苹果果皮中也可观察到嗜饿球明显发展，亚麻酸分解。

各种亚细胞器膜脂的组分存在差别，其膜脂的半衰期也有差异，据研究马铃薯和花椰菜的微粒体膜脂自然衰老最快，线粒体脂衰变速度最慢。洋葱组织细胞器膜脂衰变顺序是：微粒体>高尔基体>光滑内质网>核>线粒体>前质体，这一现象与亚细胞器膜崩溃是一致的。

（三）膜脂的过氧化作用 脂质的过氧化作用是指在不饱和脂肪酸中发生的一系列自由基反应，第一步形成氢过氧化物，这些物质非常不稳定，可进一步裂解成短链挥发醛如丙二醛、任醛、辛醛、己醛和乙烷等。膜脂的过氧化作用在衰老的植物组织中很普遍。

（四）植物组织中自由基产生与保护机制 近年来发现在衰老植物组织内活性氧和自由基增加，自由基是具有未配对电子的原子、分子或基团，其化学性质非常活泼具有很强的氧化能力，能持续进行连锁反应，对许多生物功能分子有破坏作用，对植物细胞和亚细胞膜起破坏作用。启动脂质过氧化作用，如OH[·]催化脂质过氧化作用的链反应：

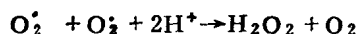


脂质过氧过程中也产生脂质过氧自由基（ROO[·]）并相互作用形成单线态氧（¹O₂）：



单线态氧又能加速脂质过氧作用的链反应。

植物对膜脂过氧化作用有酶促和非酶促两类防御系统。超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase) (SOD) 就是植物细胞中最重要的保护机制之一, 使超氧化物阴离子自由基歧化形成过氧化氢和分子氧:



细胞中 H_2O_2 的积累与 $O_2^{\cdot-}$ 相互作用, 即 Haberweiss 反应: $O_2^{\cdot-} + H_2O_2 \rightarrow OH^{\cdot} + OH^- + O_2$ 。形成的羟自由基 ($OH^{\cdot}$) 活性比 $O_2^{\cdot-}$ 更强, 是生物体内氧化能力最强、破坏性最大的一种自由基。及时清除细胞中的 H_2O_2 , 对防止自由基的伤害也是很重要的。超氧化物歧化酶, 过氧化氢酶和过氧化物酶三者的协同作用, 能使生物自由基维持在一个低水平上, 这就是酶促防御系统。

非酶类自由基清除剂可分为天然和人工合成两大类, 天然自由基清除剂有维生素E, 抗坏血酸等可与 H_2O_2 、 $O_2^{\cdot-}$ 或 $OH^{\cdot}$ 反应, 而胡萝卜素, 维生素E又可直接与 1O_2 反应。人工合成的自由基清除剂有苯甲酸、二苯胺、没食子酸丙酯、2,6-叔丁基对苯基苯甲酸等。

第三节 果蔬成熟和衰老期间色、香、味、维生素及硬度的变化

一、果实的色素及在成熟衰老期间的变化

(一) 果蔬的色素 果蔬中所含色素主要是叶绿素 (绿), 类胡萝卜素 (红、黄), 黄酮素 (黄), 花青素 (红、青、紫) 等。

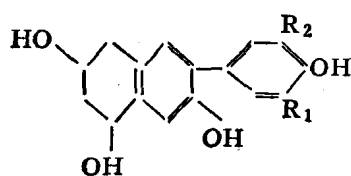
1. 叶绿素 普通绿叶中含有叶绿素0.28%, 由叶绿酸, 叶绿醇和甲醇三部分组成的酯, 高等植物中由叶绿素a ($C_{55}H_{12}O_5N_4Mg$) 和叶绿素b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) 混合而成, 叶绿素a与b的含量比为3:1。

2. 类胡萝卜素 类胡萝卜素是从浅黄到深红的脂溶性色素, 分子中含有四个异戊二烯单位。在植物体中多与脂肪酸相结合成酯。通常, 叶绿素存在较多时, 类胡萝卜素含量也较多。类胡萝卜素可分为两类:

(1) 胡萝卜素类 这类色素为碳氢化合物 ($C_{40}H_{56}$) 呈红色, 红黄色, 易溶于石油醚等有机溶剂, 不溶于水。这类色素, α -, β -, γ -胡萝卜素和番茄茄红素。番茄茄红素为胡萝卜素的异构体, 存在于番茄、西瓜中。

(2) 叶黄素类 是胡萝卜素类的含氧衍生物, 呈黄色或橙黄色, 以醛、酸、醇和环氧化合物等形式存在。

3. 花色素 花色素与糖以甙的形式存在于植物细胞液中, 并构成花、叶、茎及果实的美丽色彩。它属于水溶性色素。花色素经水解后, 则生成糖与非糖部分 (花色素)。花色素是由苯骈吡喃环与酚环组成, 其结构如下:



天竺葵花色素	$R_1 = R_2 = H$
矢车菊花色素	$R_1 = H, R_2 = OH$
飞燕草花色素	$R_1 = R_2 = OH$
芍药花色素	$R_1 = HR_2 = OCH_3$
矮牵牛花色素	$R_1 = OH, R_2 = OCH_3$
锦葵花色素	$R_1 = R_2 = OCH_3$

(1) 花色素的颜色随环境的pH改变而异。一般在pH7以下时呈红色, pH 8.5左右显紫色, 在pH11则显蓝色(或蓝紫色), 在不同pH下, 花色素的分子结构发生了变化, 所以色泽也发生了变化。自然界所见的花色素是协同色素形成的金属螯合物, 而不是简单地由pH决定。

(2) 花色素与Ca、Mg、Fe、Mn等金属相结合生成青色络合物后, 不受pH的影响。例如矢车菊花色素在植物体中以 $K^+NH_4^+$ 等盐类形式存在, pH5时均为蓝色。

(3) 花色素对光和温度极其敏感, 在光照或高温下会很快变成褐色, 这是发生缩合反应的结果, 但日光和低温能促进植物体内花色素的形成。

(4) 花色素易受氧化剂、抗坏血酸等影响而变色, 如 SO_2 可使花色素褪色, 并能改变pH, 花色素能被水解酶分解成糖, 以致褪色。

4. 黄酮类色素 此类色素广布于植物花、果实和茎、叶中, 是水溶性的黄色色素, 它与葡萄糖、鼠李糖、云香糖等结合成配糖甙类形式而存在, 黄酮类色素是由苯骈吡喃与基环组成。

(二) 成熟和衰老期间色素的变化 果实成熟期间叶绿素迅速降解, 类胡萝卜素或花色素增加, 表现出黄色, 红色或紫色是成熟最明显的标志。红色番茄品种成熟期间累积胡萝卜素, 其中番茄茄红素所占比率为75%—85%, 有少量 β -胡萝卜素, 也有全为番茄茄红素的品种(表1-1)。

表 1-1 番茄果实不同成熟期色素变化

发育成熟阶段 色素种类	绿色期	破色期	粉红色期	红色期	全红期
叶绿素 (mg/g鲜重)	45.0	25.0	9.0	0.0	0.0
番茄茄红素 (mg/g鲜重)	8.0	124.0	236.0	374.0	412.0
β -胡萝卜素 (mg/g鲜重)	50.0	242.0	443.0	10.0	0.0

黄色番茄品种以及洋梨、香蕉等黄色果实成熟时, 仅含有 β -胡萝卜素及叶黄素。

1. 叶绿素降解 采后果蔬在常温下叶绿素分解迅速, 低温可抑制叶绿素分解, 香蕉、番茄、甜椒果实在12℃以下, 叶绿素分解, 受到明显抑制, 苹果和梨贮藏0—1.3℃下, 经二个月果皮仍保持绿色。气调贮藏的实践证明降低贮藏环境空气的氧分压, 增加 CO_2 分压可抑制叶绿素分解, 对苹果、梨、番茄都具有良好的保绿效果。抑制番茄果实叶绿素分解的“阈值”约为6% O_2 。高温和乙烯可加速叶绿素分解。

在常温空气中经8天贮藏的番茄果实叶绿素完全消失, 在相同温度的空气中增加乙烯可加速叶绿素分解。在12℃气调贮藏环境中没有乙烯, 经过两个星期后叶绿素才开始明显下降, 六个星期后下降到50%, 当果实从气调贮藏环境移出之后, 叶绿素几乎完全分解, 说明气调贮藏可延缓叶绿素分解, 在没有乙烯的气调贮藏环境中叶绿素也可缓慢分解。

使用赤霉素处理绿熟番茄果实延迟了叶绿素分解, 但并未阻止呼吸跃变和乙烯释放, 使用外源乙烯处理也没有影响赤霉素作用, 可见在成熟期间叶绿素分解并不与呼吸上升和乙烯释放等生理变化相偶联。有些果蔬成熟和衰老期间长期保持绿色, 没有叶绿素的明显