

第 1 章 果蔬采后品质变化的原因与控制方法

长期以来我国果蔬产地基础设施和条件缺乏，不能很好地解决产地果蔬分选、分级、清洗、预冷、冷藏运输等问题，致使果蔬在采后流通过程中的损失相当严重，果蔬每年损失率为 25% ~ 30%，约 750 亿元。据有关部门保守的估计，果蔬采后的腐烂损耗，几乎可以满足 2 亿人口的基本营养需求。

果蔬品质是一个综合性状概念，包括 4 个方面：

一是商品品质，包括果个、果形、着色、损伤程度、光洁度、病虫害、成熟度、农药残留、储运性等。优质商品果应是果个整齐、果形端正、着色度高而一致，并经洗果、打蜡、分级、包装工序，果实亮丽动人、整齐，包装精美。

二是食用品质，包括糖、酸含量、脆度、芳香、成熟度、果皮厚薄、质地、汁液等。要求甜酸适度、松脆多汁、肉细芳香、果心小等。

三是营养品质，包括脂肪、碳水化合物、蛋白质、纤维素、维生素 C、矿物质、芳香物质等的含量。要求营养成分高，不含有毒物质。

四是加工品质，包括质地、酸度、芳香及有关的化学、物理、生理等加工特性。要求糖酸含量高，果实出汁率高，颜色好，有香味等。

果蔬采收之后，虽然离开了原来的栽培环境和母体，但它仍然是有生命的实体，其生命活动不断地消耗自身所含的营养物质，使其逐渐走向衰老以致解体。营养丰富且又富含水分的果蔬是多种微生物良好的生活基质，果蔬极易受微生物侵染而失去食用价值。这一切，使采后果蔬在自然条件下，从最佳可食成熟度到风味、品质恶化、腐烂解体往往只有很短的时间。没有必要的果蔬保鲜贮藏和加工保藏能力，将不可避免出现“旺季烂、淡季断”的局面。本章主要讨论果蔬采收后一系列生理变化引起其品质变化的原因与控制方法。

1.1 果蔬采后品质变化过程中的成熟衰老及其生物化学变化

1.1.1 果蔬产品成熟衰老的概念

从植物本身来看，成熟是果实离开母体后，色、香、味等方面完全表现出该果品固有的特性，称为生理成熟（physiological maturity）。从园艺学观点，成熟是达到各种用途标准的成熟度，由于食用的组织、器官不同，鲜食或加工等目的不同，成熟的标准差异很大。例如，香蕉一般是生理成熟的 8 成采收，青梅也是 8 成生理成熟采收适于加工，蔬菜以可食部分最佳为度，叶菜类是营养生长最佳期，而豆芽是生长的初期。这种成熟称为园艺成熟（horticultural maturity）生理成熟与园艺成熟在多数情况下是一致的，但是由于商品的目的不同有时差别甚大。生理成熟也因是外来语翻译而常常遇到概念不明确的问题

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。

1.1.1.1 果蔬产品的成熟

成熟（maturation）这是指果实生长的最后阶段，即达到充分长成的时候。在这一时期，果实中各种物质发生了极明显的变化，例如，含糖量增加，含酸量降低，淀粉减少（苹果、梨、香蕉等），果胶物质变化引起果肉变软，单宁物质变化导致涩味减退，芳香物质和果皮、果肉中的色素生成，叶绿素分解，抗坏血酸增加，类胡萝卜素增加或减少等，而果实体积长到一定的大小、形状，果皮出现光泽或带果霜、果蜡。上述果实生长到一定阶段而表现出来的形态和生理生化的特点，是果实开始成熟的表现，说明进入成熟阶段。这个成熟阶段包括较长的时期，一般偏重于初进入成熟的时期，所以有的把 maturation 译成“绿熟”或“初熟”。因此，按中文习惯把它译为成熟，这只是指果实达到可以采摘的程度，但不一定是食用最佳的阶段。

1.1.1.2 果蔬产品的完熟

完熟（ripening）这是成熟以后的阶段，指果实达到完全表现出本品种典型性状，而且是食用品质最好的阶段。所以，成熟与完熟虽然概念上很难绝然分开，但是两者在果实成熟的程度上有实质性的差别。果实进入完熟时，体积已经充分长成，也达到了适宜于食用的品质。成熟的过程大都是果实着生在树上时发生，完熟则是成熟的终了时期，可以发生在树上，也可能发生在采收

以后。这时的果实风味、质地和芳香气味已经达到宜于食用的程度。有些果实如香蕉和芒果等着生在树上时，往往不能等到完熟就需要采收，而是在达到一定的饱满度时采收，然后进行催熟才能食用。又如鳄梨着生在树上不能完熟，只有离开树体以后，经过催熟以后才能达到完熟，巴黎也同样，尽管它已完全成长，但继续留在树上却不能完熟，刚采下来的鳄梨仍不能食用，一方面很硬，另一方面还没有充分体现该果品食用时应有的特性，无香味和甜味经过一段时间贮藏或处理以后才能达到完熟。这种采后必需经过一段时间或处理才能完熟的过程在果树栽培上称为“后熟”。

1.1.1.3 果蔬产品的衰老

衰老 (senescence) 是植物的器官或整个植株体在生命的最后阶段。对果实而言衰老是指果实生长已经停止，完熟变化基本结束的阶段。衰老也可能发生在采收之前，但大多数发生在果实采收之后。一般认为，果实的呼吸作用骤然升高，也就是某些果实的呼吸跃变 (respiration climacteric rise) 的出现是代表衰老的开始。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。

总之，果实的成熟、完熟和衰老是果实发育过程后期的几个明显的阶段，但是又是相互密切联系的，成熟从广义说包括完熟，而完熟可以说是成熟的最后阶段。正常的完熟过程发生在果实停止生长之后，同时必须有某种物质来诱发这一过程。研究者普遍认为，适当浓度的乙烯是果实生理上达到完熟阶段所必需的成分，而乙烯开始出现，则是果实进入成熟的征兆，由于乙烯这种促进成熟激素的作用，果实的呼吸作用随之提高，从而导致果实成熟、完熟、衰老的一系列生理生化的变化，同时果实也表现出不同成熟阶段的特征 (见图 1-1)。

1.1.2 果蔬采后成熟衰老过程中的生物化学变化

成熟过程是发生在果实停止生长之后进行的一系列的生物化学变化，达到食用标准的完熟可以发生在植株上，也可以在采后，以下将讨论果蔬采后在成熟衰老过程中呈现特有的色、香、味的一系列变化。

1.1.2.1 色素物质的变化

1. 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。

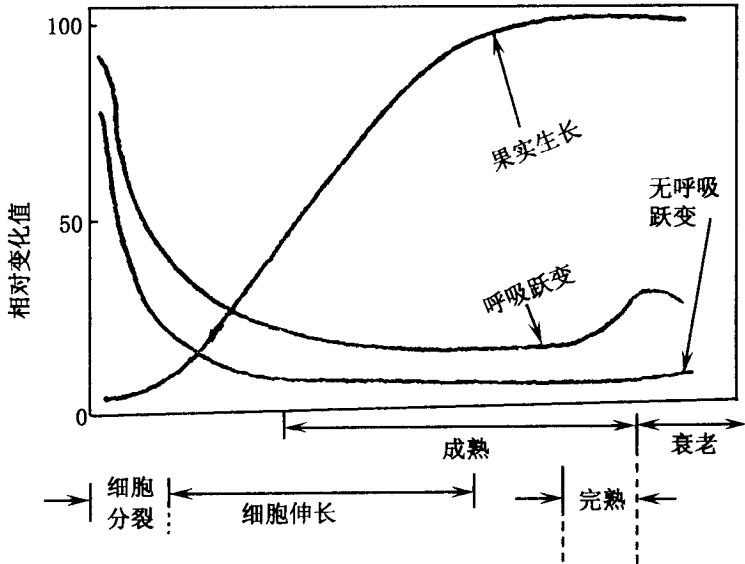


图 1-1 果实发育期间生长和呼吸作用的模式
(J. B. Biale, 1964)

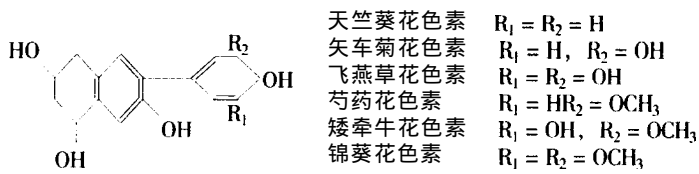
(1) 叶绿素 普通绿叶中含有叶绿素 0.28% ，由叶绿酸、叶绿醇和甲醇三部分组成的酯，高等植物中由叶绿素 a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) 和叶绿素 b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) 混合而成，叶绿素 a 与 b 的含量比为 3:1。

(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 4 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：

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。这类色素包括 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。

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、醇和环氧化物等形式存在。

(3) 花色素 花色素以糖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：



花色素的颜色随环境的 pH 改变而异。一般在 pH 7 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。

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。

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。

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、云香糖等结合成糖甙类形式而存在，黄酮类色素是由苯并吡喃与基环组成。

2. 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

色素种类	发育成熟阶段				
	绿色期	破色期	粉红期	红色期	全红期
叶绿素 (mg/g 鲜重)	45.0	25.0	9.0	0.0	0.0
番茄红素 (mg/g 鲜重)	8.0	124.0	230.0	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 $0\sim 1.3$ 下，经2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 $6\% \text{O}_2$ 。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°C 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，6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，没有叶绿素的明显分解，例： Gr 突变番茄，青花椰菜和青皮甜瓜和西瓜等虽然有乙烯释放，但并不诱发叶绿素分解，这是遗传基因所决定的。

(2) 类胡萝卜素的合成与花色素的变化 番茄果实成熟所生成的类胡萝卜素主要为番茄茄红素，呈红色，还有少量的 β -胡萝卜素及叶黄素。番茄茄红素合成的适温约为 $19\sim 24^\circ\text{C}$ ，采用绿熟番茄果实贮放在 30°C 以上变红减慢， $10\sim 12^\circ\text{C}$ 以下变红也非常缓慢。番茄茄红素的形成需要氧气，气调贮藏可完全抑制番茄茄红素的生成，而外源乙烯则可加速番茄茄红素的形成。番茄茄红素的合成直接依赖于乙烯的刺激，因为只有番茄果实从气调贮藏环境移至普通空气中，在内源乙烯开始合成以后，番茄茄红素才迅速累积。

葡萄、李、樱桃、草莓等果实的色彩以花色素为主，不同果蔬的花色素受遗传因子控制，在田间发育期间必须有可溶性碳水化合物积累，昼夜温差大，光照充足才能形成良好的花色素。通常草莓在花色素开始着色以后才采收，在成熟期间温度越高着色越快。

1.1.2.2 碳水化合物的变化

1. 果蔬中的碳水化合物

(1) 糖 果蔬中的糖主要有葡萄糖、果糖和蔗糖。葡萄糖和果糖均属己糖，具有还原性，蔗糖无还原性，在蔗糖酶（又称转化酶）的作用下或与稀酸共热可水解成等量的葡萄糖与果糖，称为转化糖。糖的甜度因种类而不同，果糖最甜，蔗糖次之，葡萄糖甜度较低。不同的果蔬其含糖量和含糖的种类各不相同，因此它们的甜度也不同。

果蔬中的还原糖，特别是戊糖能与氨基酸或蛋白质反应，生成黑蛋白，这

种褐变反应无需酶参加，所以称非酶褐变，非酶褐变的发生和反应速度因参加反应的糖的种类不同而不同。糖类中的单糖作用最快，其反应速度与温度、含水量、含 O₂ 的多少及 pH 值等有关。一般温度和 pH 升高，反应加速，含水量在 5% 以下，变色减少。有 O₂ 时变化快。

不同水果蔬菜中糖分的组成同植物种类或品种的不同而有差异，以苹果和梨为代表的仁果类所含的糖以果糖为主，葡萄糖和蔗糖次之。果糖是最易消化的糖，所以苹果及其他仁果类中的糖对人体特别适宜。以桃、梅、李、杏为代表的核果类果实是以蔗糖为主，葡萄糖和果糖次之，其中葡萄糖多于果糖。浆果类中的柿子、葡萄、草莓、番茄等以葡萄糖和果糖最多，二者含量几乎相等，蔗糖含量很少，一般低于 1%，其中番茄和葡萄中几乎没有蔗糖，西瓜中以果糖为主，葡萄糖次之，蔗糖最少。柑橘果实中蔗糖含量最多，果糖次之，葡萄糖最少。

(2) 淀粉 淀粉是由葡萄糖聚合而成的。属高分子糖类，吸湿性强，是植物体中的贮藏物质。淀粉无还原性，不能溶解于冷水，但与无机酸共热或在淀粉酶和麦芽糖酶的共同作用下，可水解为葡萄糖。

天然的淀粉有两种结构，一种是直链结构，一种是支链结构，前者称直链淀粉，后者称支链淀粉。直链淀粉能溶于热水而不成糊状，遇碘生成深蓝色，可被淀粉酶全部水解成麦芽糖。支链淀粉不溶于水，但能在热水中吸水膨胀而糊化。

淀粉是粮食的主要成分，未成熟的果实中有较多的淀粉，可以看成是葡萄糖的天然贮藏形式；一般果蔬中的淀粉含量虽不多，但淀粉在组织中的变化可以影响到果蔬的品质。香蕉、马铃薯中淀粉含量高达 17% ~ 21%，苹果、藕、百合、慈姑、荸荠、芋头、豆类、菱中的淀粉含量也较丰富。

(3) 果蔬中的果胶物质及纤维素 在果蔬组织中存在有 3 种状态的果胶物质，即原果胶、果胶和果胶酸。

原果胶 原果胶存在于未成熟的果蔬组织和植物茎叶里。原果胶是果胶与纤维素缩合而成的高分子化合物，不溶于水。未熟果实组织坚硬就是与原果胶存在有关，原果胶含量愈多，果肉硬度也愈大，随着果实成熟度提高，原果胶逐渐分解为果胶或果胶酸，细胞间松弛，果实硬度也就随之而下降。原果胶在原果胶酶或酸的作用下能水解成果胶和纤维素。

果胶 果胶也称可溶性果胶，成熟的果实组织中的果胶物质是以可溶性果胶为主。它虽具粘性，但粘性能力弱，使细胞间结合力松弛，果实质地变软。果胶主要成分是半乳糖醛酸甲酯及少量半乳糖醛酸通过 1,4-苷键连接而成的直链高分子化合物，果胶在果胶酶和酸、碱作用下水解。在半乳糖醛酸中甲酯部

分经果胶酯酶作用水解成果胶酸和甲醇。

果胶酸 果胶酸是由许多个半乳糖醛酸通过 1,4-苷键结合而成，存在于成熟的果实中，无粘性，使组织变软。果胶酸在果胶酸酶、酸、碱的作用下，或加热的情况下，水解成半乳糖醛酸和己糖及戊糖。

果胶物质与糖和有机酸一起加热，可形成胶冻，其凝胶能力与果胶的分子量和甲酯化程度有关。一般分子量越大，分子中甲氧基数目越多，胶凝能力越强。据计算，完全甲酯化的果胶，甲氧基占全部羧基的 16.32%（实际上只有 12% ~ 14%），通常按照果胶分子结构中甲氧基的多少，分成高甲氧基果胶和低甲氧基果胶，前者甲氧基约 7% ~ 14%，胶凝能力强；后者在 7% 以下，胶凝力弱或不成胶冻。低甲氧基果胶可以加入微量钙盐，以加强其凝胶能力。

纤维素 纤维素为植物细胞壁的主要成分，由 β -D 葡萄糖分子缩合而成的直链多糖，分子量很大，无还原性，不溶于水，较淀粉更难水解，用酶水解可得纤维二糖，在浓酸和压力下长时间加热才能转变成葡萄糖。

在植物体内纤维素常与果胶和半纤维素等结合在一起，是组成细胞壁的基本物质，起支持作用。细胞壁的物理性质大部分取决于纤维素的性质。如弹性和可塑性。在果实成熟过程中，纤维素通过果胶与木栓质、角质等结合成较坚实的复合纤维素，该物质具有抗机械损伤的能力，它对果品贮藏具有重要意义。但因其组织粗糙，影响口感，降低了食用品质。梨、番茄、石榴组织内的石细胞就是由纤维素和木质素聚合起来的厚壁细胞所组成。

纤维素曾一度被认为是人类饮食中的多余成分，现在对纤维素的食用价值在重新认识，因为饮食中缺乏纤维素可引起阑尾炎、结肠癌、便秘、亏血性心脏病、肥胖、糖尿病、胆结石、静脉曲张等，纤维素可使这些疾病减少到最小限度。

2. 碳水化合物在贮藏期间的变化

(1) 淀粉和糖在贮藏期间的变化 果蔬在贮藏期间含糖量变化受呼吸、淀粉水解和组织失水程度这 3 个因素的影响。采收时不含淀粉或含淀粉较少的果蔬随贮藏时间的推移含糖量逐渐减少，如番茄（表 1-2）和甜瓜（表 1-3）。绿熟阶段采收的番茄经 40 ~ 60 天气调贮藏后，如果生理状态接近，保存的糖、酸、抗坏血酸的含量也比较接近；但各种营养成分与刚采收时相比均呈下降趋势。

表 1-2 番茄贮藏期间糖、酸、Vc的变化 (张维一, 1985)

番茄品种	测定日期 (月/日)	总糖 (%)	还原糖 (%)	果糖 (%)	葡萄糖 (%)	蔗糖 (%)	淀粉 (%)	滴定酸 (%)	抗坏血酸 (mg/100g 鲜重)	备注
苹	9/17	3.55	3.96	1.99	1.46	0.10	0.10	0.64	23.50	绿熟果
果	10/27	3.15	2.93	1.53	1.36	0.00	0.00	0.34	13.40	红(硬)
青	11/29	2.94	2.94	1.63	1.33	0.00	0.00	0.34	13.01	红(硬)

甜瓜经长期贮藏含糖量明显下降, 各种糖的比例也发生了变化, 成熟的甜瓜总糖含量高, 蔗糖比例也大。在贮藏期间蔗糖因水解而减少, 还原糖增加, 还原糖/蔗糖的比值由贮藏初期的 0.6 增加到 1.9。未成熟的甜瓜经两个月贮藏还原糖减少, 蔗糖增加, 还原糖/蔗糖的比值由 1.2 下降到 0.6。5 个月后蔗糖又趋于减少, 还原糖则又增加, 还原糖/蔗糖比值增加到 2.3。在甜瓜果实成熟和衰老时期, 糖分组成变化经历了还原糖→蔗糖 还原糖的转化过程。

表 1-3 甜瓜贮藏期间含糖变化 (张维一, 1985)

成熟度	测定日期 (月/日)	总糖 (%)	还原糖 (%)	果糖 (%)	葡萄糖 (%)	蔗糖 (%)	还原糖/蔗糖	抗坏血酸 (mg/100g 鲜重)	备注
未成熟	9/20	8.32	4.54	2.18	2.36	3.78	1.2	24.0	表皮
	11/27	7.30	2.96	1.94	1.72	4.34	0.6	12.0	1/3 网纹
	3/3	7.58	5.62	2.34	3.26	3.26	2.3	6.5	纹
成熟	9/20	11.70	4.72	2.56	2.16	6.98	0.6	39.6	表皮全
	11/27	9.88	5.18	2.48	2.70	4.70	1.1	17.0	网纹
	3/3	9.58	6.31	2.54	3.77	3.27	1.9	4.5	

采收时含淀粉较高 (1%~2%) 的果实, 如苹果贮藏期间淀粉水解, 含糖量短暂增加, 但达到最佳食用阶段以后, 含糖量因呼吸消耗而下降; 苹果贮藏过程中淀粉水解, 蔗糖也有水解趋势。

采收时淀粉含量较高, 贮藏期间失水较严重的辣椒果实随着后熟变红, 水分和淀粉粒减少, 干物质与含糖量随果实成熟度增加而递增 (表 1-4)。果糖与葡萄糖的比例也随着果实成熟度而变化, 青果内葡萄糖略占优势。随着果实的成熟果糖的比例增加, 蔗糖则随果实的成熟而减少。

马铃薯块茎含有丰富的淀粉, 约 17%~21% 在贮藏期间淀粉与糖相互转化。当温度由 20℃ 下降至 0℃ 时。淀粉转化成糖与糖合成淀粉的速度都降低。淀粉合成/分解的比值下降。

表 1-4 辣椒在贮藏期间的干物质及糖的变化 (张维一, 1982)

品种	贮藏方式	贮藏天数	果实色泽	水分 (%)	细胞液浓度 (%)	总糖 (%)	还原糖 (%)	葡萄糖 (%)	果糖 (%)	蔗糖 (%)	淀粉粒多少
新疆大辣椒 (四头平)	贮前	0	青果	91.3	5.2	3.43	2.82	1.43	1.39	0.61	+++
	气调	40	青果	92.0	5.8	5.51	5.16	3.79	1.37	0.41	0
	普通	40	青果	90.0	5.1	2.93	2.66	0.56	2.10	0.27	0
	气调	80	青果	90.8	5.2	2.81	2.52	1.30	1.20	0.35	0
	普通	80	青果	89.5	5.5	4.26	3.89	1.85	2.04	0.37	0
茄门甜椒	贮前	0	青果	92.0	5.0	4.11	3.77	2.21	1.56	0.34	+++
	气调	40	青果	92.0	4.3	3.21	3.05	1.58	1.47	0.16	0
	普通	80	青果	91.0	4.8	2.96	2.79	1.61	1.18	0.27	0

秋季马铃薯含糖量一般为 0.5% ~ 1.5% , 冬季贮藏温度降低, 马铃薯块茎可溶性糖积累, 含糖量可增到 2.3% , 甚至 6% 以上。糖的积累首先是蔗糖, 然后是单糖。当贮藏温度升高到 20 时, 淀粉合成 / 分解的比值上升, 呼吸消耗也增加, 可溶性糖又再次下降。

在呼吸跃变期间淀粉糖化, 蔗糖和还原糖显著增加, 特别是蔗糖在跃变期间达到最高值 (表 1-5), 随着果实的成熟, 呼吸跃变后期还原糖进一步增加, 但由于蔗糖减少, 总糖则略有下降。

表 1-5 香蕉果实成熟期间碳水化合物及酶活性的变化

	呼吸跃变期前	呼吸跃变期	呼吸跃变期后
果皮颜色	绿色	黄绿色	深黄色
水分 (%)	65.1	67.1	69.3
淀粉 (%)	22.1	0.90	0.30
还原糖 (%)	0.41	6.53	10.7
蔗糖 (%)	2.01	12.04	6.46
葡萄糖/果糖	—	1.65/1.00	1.19/1.00
可溶性果胶 (%)	0.04	0.17	0.13
淀粉酶作用力	0.05	0.15	1.30
磷酸化酶	0.08	0.94	7.57

在贮藏期间还可观察到某些果蔬组织的糖分转移和再分配的情况。西瓜瓜瓢含糖量高于皮层, 贮藏初期瓜瓢总糖量为 6.64% , 皮层总糖量为 2.92% , 经 50 天贮藏的瓜瓢含糖下降至 3.98% , 皮层含糖量增加 5.68%。晚熟结球甘蓝在冬季贮

前,含糖量内层叶片少,而外层叶片高,贮藏期间外层叶片糖分不断向内层叶片及顶芽转移,到第二年春季糖量以中心顶芽最高,内层叶次之,外层叶片最少。

(2) 果实和蔬菜的硬度 果实的硬度是指果肉抗压力的强弱,果肉的硬度与细胞之间原果胶含量成正相关,可作为果实成熟度判别标准之一。

由于果蔬供食用的部分不同,对成熟度要求不一,因此,硬度作为果蔬质量或采收标准就有其不同的含义,其一,硬度高表示果蔬没有过熟变软,能耐储运。如苹果、梨、香蕉、番茄、辣椒等。其二,硬度高表示蔬菜发育良好,充分成熟,达到商品的质量标准。如甘蓝叶球、花椰菜花球都应充分坚硬,这时品质最好,耐藏性强。其三,硬度高表示品质下降。如莴苣、芥菜采收应在叶球坚硬之前,黄瓜、四季豆、甜玉米等都应在幼嫩采收,不希望硬度过高。

果蔬采收后硬度会发生变化,一般随着贮藏时间延长,硬度逐渐下降,其原因是中胶层细胞之间的原果胶转变为可溶性果胶,并进一步变成小分子的糖以致细胞分离,引起香蕉、苹果、番茄等组织变软。但有些蔬菜却不同,像豌豆、蚕豆等在采收后,如果放置于常温下,1~2天就会明显硬化,其主要原因是由于糖急速地转变成淀粉所致。

果实或蔬菜硬度的测定主要采用压入法,即将硬度计的圆柱状或者圆锥状柱塞压入试验样品,压入时所需的力就是所测样品的硬度,单位用磅(或kg)/cm²表示。此法由于快速简便而被广泛使用。测定有些不均质的材料如芹菜的硬度时,压入法就不适宜了,对此,可采用切断法,即测定切断时所用的力表示其硬度。

1.1.2.3 有机酸的变化

果蔬中的有机酸主要有:柠檬酸、苹果酸、酒石酸等,统称为果酸,此外还有少量的草酸、琥珀酸、延胡索酸、醋酸、乳酸、水杨酸和甲酸等。有机酸是果蔬酸味的主要来源,但是酸的浓度与酸味之间不是简单的相关关系。因为有些酸可能不处于游离状态,而处于结合状态。酸味与酸根种类、pH值、可滴定的酸度、缓冲效应以及其他物质,特别是糖的存在都有关系。通常果品的风味常以糖酸比来衡量。许多水果的有机酸特点是游离酸比结合酸多,很少有例外(如葡萄),叶片中常以结合酸占优势,菠菜就是一例。

1. 几种水果蔬菜的有机酸

(1) 苹果的有机酸 苹果中的总有机酸含量一般在0.2%~1.6%之间,已发现的有机酸种类有:苹果酸、柠檬酸、酒石酸、 α -酮戊二酸、草酰乙酸、丙酮酸、乙酸、氯原酸和其他的酸。在总酸量中,苹果酸约为70%,柠檬酸为20%,酒石酸7%,剩余的酸仅为3%。

但不同品种之间的差异性很大,也有特殊的情况,据报道,醇露苹果中苹果酸约占总数量的100%,而柠檬酸仅痕量,赛红玉苹果的苹果酸为100%,

柠檬酸为 0.0%

(2) 柑橘类的有机酸 柑橘类果实中总酸一般为 0.43% ~ 1.20%，所含的有机酸主要是柠檬酸，其次是苹果酸，此外还有草酸、酒石酸、甲酸、丙二酸、奎尼酸、异柠檬酸和顺乌头酸等。甜橙中还有半乳糖醛酸 据研究 温州蜜柑果实内的有机酸中 80% ~ 88% 为柠檬酸，而苹果酸在普通温州蜜柑中约占总数量的 5% ~ 6%。葡萄柚汁中柠檬酸含量为 98.72%，草酸 0.23% 酒石酸仅 0.05%，所以柑橘类果实中有机酸的含量均以柠檬酸计算。柠檬酸集中存在于柑橘果肉中 果皮中的酸含量很少。不同种类的柑橘果实中柠檬酸含量差异很大。完全成熟时 宽皮橘类在 1% 以下，甜橙多在 1% 左右 柠檬较高在 3% ~ 6%。

(3) 葡萄的有机酸 葡萄果实中的总酸在 0.3% ~ 2.1% 之间，以苹果酸和酒石酸为主。据报道，一般苹果酸占总酸量的 60% 左右，含量在 0.22% ~ 0.92%。酒石酸约为 40%，含量在 0.21% ~ 0.71%。葡萄中还存在着微量的柠檬酸、草酸等二十几种有机酸。

仁果类、核果类以及大多数浆果类，一般以苹果酸占优势，柑橘类、石榴、树莓、草莓、菠萝以柠檬酸为主，葡萄果实中则以苹果酸和酒石酸为主，前者稍高于后者。

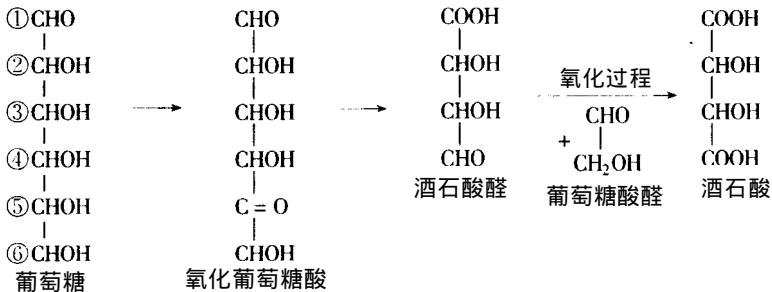
2. 有机酸在成熟、衰老期间的变化 通常果实发育完成后含酸量最高，随着成熟或贮藏期的延长逐渐下降（表 1-6）。但辣椒则例外，随着贮藏期延长，色泽由青转红，可滴定酸反而增加。有机酸的代谢具有重要的生理意义。果蔬中的苹果酸和柠檬酸在三羧酸循环中占有重要地位。

表 1-6 苹果和梨贮藏期间的含酸量的变化（张维一，1985）

品 种	可滴定酸度 (g/100g 果肉)		有机酸种类 (薄板层析)		
	贮藏初期	贮藏 120 天	苹果酸	柠檬酸	酒石酸
元帅	0.28 ~ 0.45	0.10 ~ 0.12	+	痕	0
金冠	0.33 ~ 0.51	0.18 ~ 0.26	+	痕	0
青香蕉	0.67	0.50	+	痕	0
国光	0.96	0.59	++	+	0
鸡冠	0.69	0.41	++	+	0
香梨	0.05 ~ 0.08	0.02	+	痕	
鸭梨	0.09	0.05	+	痕	
酥梨	0.07	0.04	+	痕	

葡萄浆果中的酒石酸，在浆果发育初期就可观察到酒石酸的合成，成熟初始阶段积累增快，到成熟阶段积累减慢。用 $^{14}\text{C}_1$ 葡萄糖与 $^{14}\text{C}_6$ 葡萄糖引入幼嫩葡萄叶，发现 $^{14}\text{C}_2$ 葡萄糖较 $^{14}\text{C}_6$ 葡萄糖代谢进入酒石酸显著得多，据推测酒石

酸合成可能在葡萄糖 4 碳与 5 碳原子之间断裂。反应式如下：



在油梨叶片中也证实了这一过程。

果实贮藏期间更多的利用有机酸作为呼吸基质，有机酸的消耗较可溶性糖降低更快。经长期贮藏的果实糖酸比升高，贮藏温度越高有机酸消耗越多，糖酸比也越高。

1.1.2.4 芳香物质的变化

1. 果蔬芳香物质的组成 果蔬成熟时发出特有的芳香气味，由多种挥发性的香味物质组成，以酯类、醇类、萜类为主，其次为醛类、酮类以及挥发酸等。由低级饱和脂肪酸与脂肪醇所形成的脂具有各种果香。醇类的气味随分子量增加而增强。C₁—C₃ 具有愉快的香味是水果醇香的主体。具有双键的醇类比饱和的醇类气味强。羰基化合物多具有强烈的气味，丙酮有类似薄荷的香气，低级脂肪醛具有强烈的刺鼻气味。随分子量增加刺激性的程度减弱，并逐渐出现愉快的香气。低分子脂肪酸具有较强刺激气味如甲酸、醋酸有刺鼻气味。丁酸有腐坏的不愉快气味。上述的酯、醇、醛、酮以及低分子挥发酸总和表现出果实的香味。但各种果实的芳香物质成分及主体成分有很大差异。

(1) 苹果 苹果有 100 种以上的挥发性组分，其中含量最多的是醇、酯、醛及酮类。据分析苹果汁挥发性成分 92% 为醇类，如甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、丁醇、异丁醇，其次为羰基化合物约占 6%，如乙醛、丙酮、乙烯酮。其他脂类占 2%，如乙酸乙酯、丙酸乙酯、己酸乙酯。检测出元帅苹果挥发性物质 53 种，酯类占 48%，以 C₂ ~ C₅ 脂肪酸形成的酯为主。酯类含量少，但香气阈值低，因此发香值仍然较高。

(2) 香蕉 含有 200 种以上的挥发性物质，主体香味物质为戊基形成的短链酯；如乙酸异戊酯。从感觉可分为三类主要香型：①香蕉类，如乙酸异戊酯，果香类如乙酸丁酯，霉臭类如乙酸甲酯。据研究香蕉果肉中有游离型与结合型的乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸和异戊酸，其中乙酸是主要的，其结合型高于游离型数倍。结合型丙酸是第二个重要的组分。并与成熟进度一起增

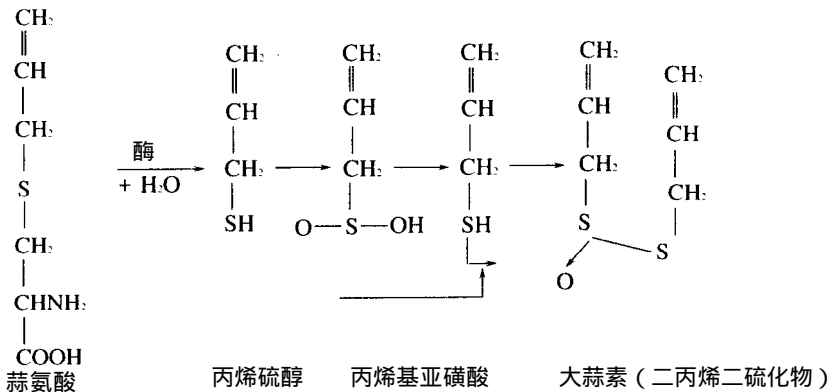
长，丁酸、异丁酸、异戊酸只有少量存在。但成熟过程中增长很快。

(3) 柑橘类 柑橘类果实的香气存在于果肉及果皮内。尤其是果皮中所含的精油香气特别强，称为橙皮油。其主要成分为萜烯类，占85%~96%。碳酰基化合物占1%~25%，醇类及酯类占0.05%~4%及少量挥发酸。可见，柑橘类的香气成分以C₁₀H₁₆为主体。不同于苹果以短链(C₆~C₅)脂肪酸结合形成的酯，比较稳定。

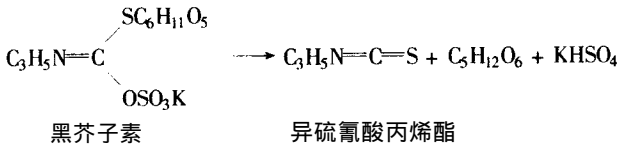
(4) 蔬菜的香气 蔬菜类的香气不如水果类的香气强，但有些蔬菜具有特殊的香味。尤以蒜最强，主要含有硫代丙烯类化合物，例如，蒜的气味成分每100g中所含的硫代丙烯类化合物就有：

丙基丙烯二硫化物	C ₃ H ₅ S—SC ₃ H ₇	37mg
二丙烯二硫化物	C ₃ H ₅ S—SC ₃ H ₅	23mg
二丙烯三硫化物	(C ₃ H ₅ S) ₂ S ₃	13mg
丙烯硫化物	(C ₃ H ₅ S) ₂ S	3mg

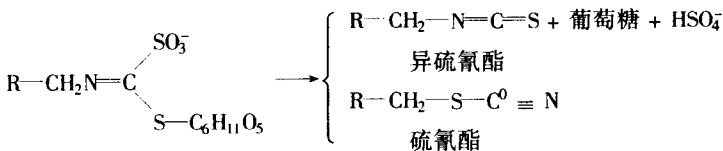
这些硫化物是由植物体中蒜氨酸水解而成：



萝卜的挥发性辣味，是含有甲硫醇和黑芥子素，它们经水解而成异硫氰酸丙烯酯。



芥菜的芥子油分解而成异硫氰酯及硫氰酯



2. 挥发性物质在果实成熟期间的积累 不论各种果实释放的挥发性物质组分差异如何，只有成熟或衰老时才有足够的数量累积，显示出该品种特有的香气。可以说挥发性物质是果实成熟或衰老过程的产物，具有呼吸跃变的果实呼吸高峰后挥发性物质才有明显的积累，而在植株上正常成熟的果实远比提前采收的果实芳香物质累积要多（图 1-2）。

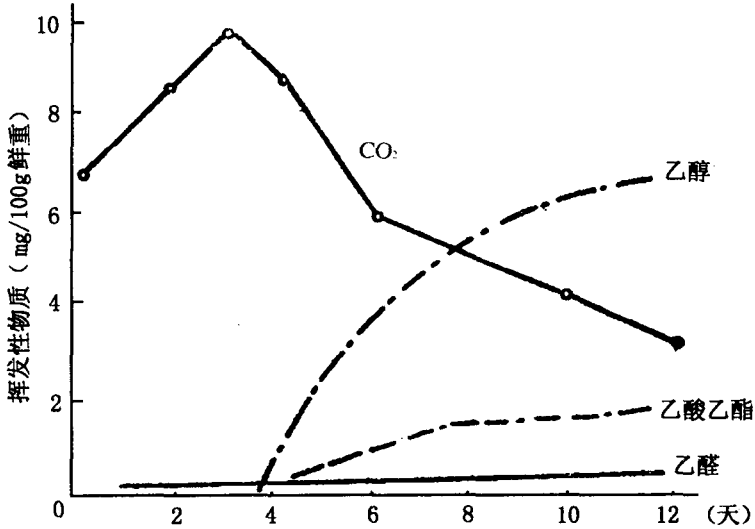


图 1-2 黄旦子甜瓜贮藏期间果肉挥发性物质的积累
(花后 28 天采收，贮藏在 21℃)

无呼吸高峰的果实挥发性物质积累可作为成熟或衰老的标志。通常产生挥发性物质多的品种耐藏性较差（表 1-7），如耐藏的小国光苹果在土窖中贮藏 210 天，乙醇仅为 0.89mg/100g，检测不出乙酸乙酯，同期红元帅乙醇积累达到 14.5mg/100g 乙酸乙酯 4.6mg/100g。

表 1-7 不同苹果品种几种挥发性成分的累积

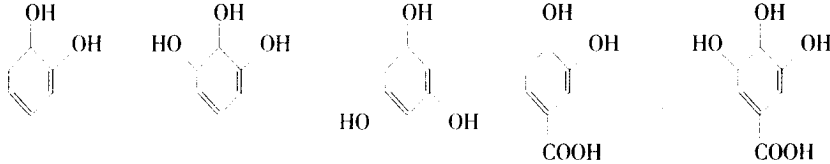
品种	120 天			210 天		
	乙醛	乙醇	乙酸乙酯	乙醛	乙醇	乙酸乙酯
小国光	0.01	0.01	—	0.45	0.89	0
金 冠	0.51	5.10	—	0.51	12.30	7.3
元 帅	0.55	5.50	—	1.50	14.50	4.6

(张维一, 1982) (单位: mg/100g)

1.1.2.5 涩味与苦味物质的变化

1. 涩味物质及其变化 一切未成熟的果实均有不同程度的涩味，涩味物质主要是单宁，有些水果和蔬菜中则是由于草酸、香豆素类、奎宁酸等的存在而引起。

单宁，又称鞣质，是属于酚类的化合物，主要由下列单体组成：



儿茶酚 焦性没食子酸 根皮酚 原儿茶酸 (鞣酸、没食子酸、五倍子酸)

单宁可分为水解型和缩合型两类，含于果蔬中的为缩合型，整个分子具有单一碳架，分子中的苯核以 C-C 键相连，当与稀酸共煮时，不是分解为单体，而是进一步缩合为高分子的无定型物质即红酚 (phlobaphene)。区别这两类单宁可根据以下几点：

	水解型	缩合型
与稀硫酸共煮	水解生成糖和没食子酸	生成暗红色无定型沉淀
加入溴水	无沉淀	橙红色或黄色沉淀
间基三酚的定性试验负反应		正反应
在 HCHO 及 HCl 的存在下小心加热	无沉淀	全部沉淀
与 醋酸盐作用	形成的沉淀不溶于稀醋酸	沉淀溶于稀醋酸

单宁除能影响食品的味道外，还能影响食品的颜色。经氧化或与金属反应而使食品变色。果皮中含量多于果肉，种类间差异很大。

糖、酸、单宁适当的配合可增进果汁、果酒的风味，由于单宁易与蛋白质结合，它的存在有助于果汁、果酒的澄清，加强稳定性。

在果实成熟过程中，通过一系列的生化变化，一般涩味逐渐消失，有些还残留一部分，个别的还很多，柿子就是含单宁特多的果实，但因品种不同，也有于树上成熟时，已退去涩味，采下即可供食，因此分为甘柿和涩柿两类。据日本资料，富有柿 (一种甘柿) 成熟中单宁的含量变化如下 (g/100g 果肉)：

分析日期	总单宁	可溶性单宁
11/9	0.67	0.13
22/9	0.59	0.11
2/10	0.79	0.09
11/10	0.59	痕迹
23/10	0.58	0
2/11	0.34	0

13/11	0.43	0
22/11	0.39	0
30/11	0.40	0

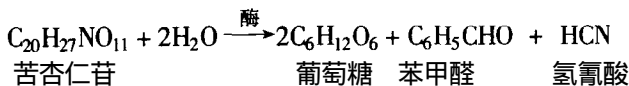
从上列数据可知，甘柿在成熟中单宁含量有所减少，更显著的是可溶性单宁含量的变化，感觉涩味主要是存在可溶性单宁。甘柿的自然脱涩是由于甘柿存在着活性强的乙醇脱氧酶，能将乙醇转变为乙醛，乙醛能与单宁缩合成为不溶性物质，食时不感到涩味。涩柿缺乏乙醇脱氧酶，所以不能自然脱涩，须采后经人工脱涩方可食用。

单宁有助于果汁澄清，调节风味，但单宁、绿原酸以及酪氨酸等酚类化合物，在多酚氧化酶作用下，进行一系列变化生成有色物质而引起褐变。在正常情况下，完整健全的果蔬组织中，酚的氧化还原反应是偶联进行的，醌不致发生聚合，所以不会形成黑色物质，但当发生机械性的损伤（如削皮、切开、压伤、虫害、压榨、打浆）或处于异常的环境变化下（冻害、受热），由于氧气的大量侵入，即失去这种平衡而趋于氧化，如香蕉、苹果、梨、茄子、马铃薯等都是很容易在受伤后发生褐变的果蔬。

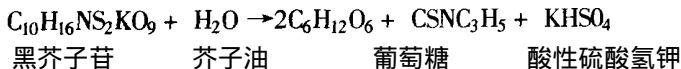
2. 苦味物质及其变化 水果和蔬菜的苦味主要来自含有生物碱和糖苷的苦味物质，果蔬中最常见有苦味的为柑橘类和瓜类。苦味物质种类很多，依果蔬种类而不同，多数为苷类。

(1) 苦杏仁苷 苦杏仁苷是苦杏仁素（氰苯甲醇）与龙胆二糖所形成的苷，存在于多种果实的种子中，以核果类含量最多，如桃、梅、李、杏。酸樱桃、苦扁桃、苹果、枇杷等的果核种仁中均有存在，尤以苦扁桃中含量最多，约为种子的2.5%~3.0%。

苦杏仁苷本身无毒，但在苦杏仁酶（扁桃腈酶及洋李酶的复合物）或酸的作用下，水解为1分子的苯甲醛，1分子的氢氰酸和2分子的葡萄糖，由于氢氰酸的存在而引起中毒。



(2) 芥子苷和茄碱苷 十字花科蔬菜中除含有辛辣成分外，还常常含有苦味，也是由芥子苷引起的。芥子苷水解后生成具有特殊风味和香气的芥子油。葡萄糖和其他化合物，不但苦味消失，而且品质有所改进，此种变化在蔬菜腌渍中很重要。黑芥子苷在黑芥硫酸酯酶和硫苷酶的作用下进行水解：



茄碱苷（ $\text{C}_{45}\text{H}_{73}\text{NO}_{15}$ ），又称龙葵碱，是一种有毒的糖苷，存在于马铃薯块