

第一节 果品蔬菜的成熟与衰老

果实发育过程可分为三个主要阶段，即生长、成熟和衰老。虽然这三个阶段没有明显的界限，但一般而言，生长包括细胞分裂和以后的细胞膨大，到产品达到大小稳定这一时期，果实内部物质发生极明显的变化，从而使产品可以食用。生长和成熟阶段合称为生长期。果实在开花受精后的发育过程中，完成了细胞、组织、器官分化发育的最后阶段，充分长成时，达到生理成熟(Maturation, 有的称为“绿熟”或“初熟”)。果实停止生长后还要进行一系列生物化学变化逐渐形成本产品固有的色、香、味和质地特征，然后达到最佳的食用阶段，称完熟(Ripening); 我们通常将果实达到生理成熟到完熟过程都叫成熟(包括了生理成熟和完熟)。达到食用标准的完熟过程既可以发生在植株上，也可以发生在采摘后，采后的完熟过程称为后熟。生理成熟的果实在采后可以自然后熟，达到可食用品质，而幼嫩果实则不能后熟。生长和成熟统称为发育阶段。衰老定义为由合成代谢(同化)的生化过程转入分解代谢(异化)的过程，从而导致组织老化、细胞崩溃及整个器官死亡的过程。果实中最佳食用阶段以后的品质劣变或组织崩溃阶段称为衰老。这三个阶段很难明确地划分。植物的根、茎、叶、花及变态器官从生理上不存在成熟，只有衰老问题。园艺学上，一般将产品器官细胞膨大定型、充分长成，由营养生长开始转向生殖生长或生理休眠时，或根据人们的食用习惯达到最佳食用品质时，称产品已经成熟。果蔬在很长的生理时期内，从成熟开始之前很久的时候起一直到衰老开始都可以收获。采收后的果蔬逐步走向衰老和死亡。

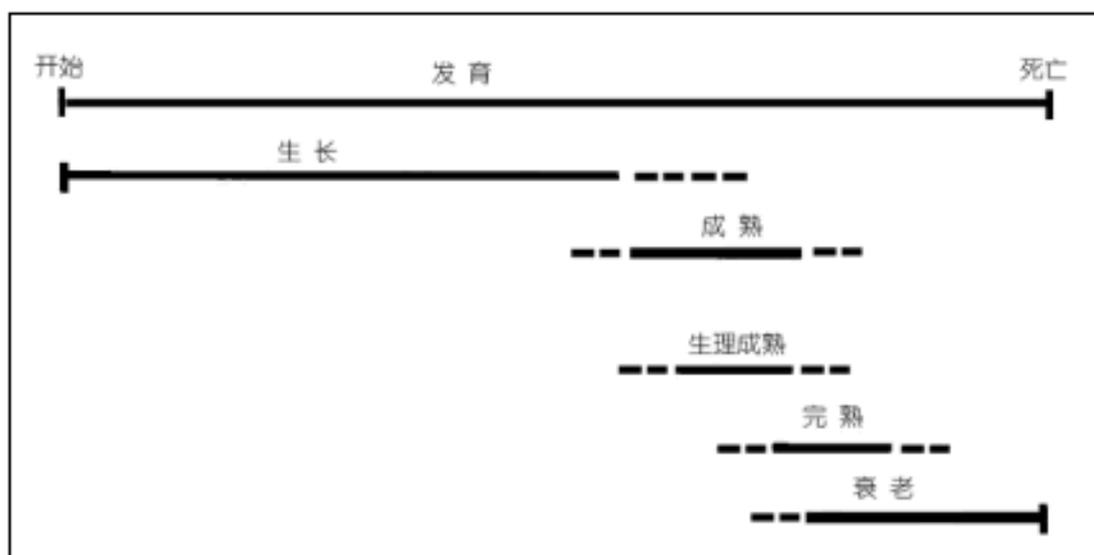


图 2-1 果实的生长、成熟、完熟和衰老阶段示意图 (Watada 等, 1984)

一、成熟与衰老的概念

成熟 (maturation) 是指果实生长的最后阶段，在此阶段，果实充分长大，养分充分积累，已经完成发育并达到生理成熟。对某些果实如苹果、梨、柑橘、荔枝等来说，已达到可以采收的阶段和可食用阶段；但对一些果实如香蕉、菠萝、番茄等来说，尽管已完成发育或达到生理成熟阶段，但不一定是食用的最佳时期。

完熟 (ripening) 是指果实达到成熟以后，即果实成熟的后期，果实内发生一系列急剧的生

理生化变化，果实表现出特有的颜色、风味、质地，达到最适于食用阶段。香蕉、菠萝、番茄等果实通常不能在完熟时才采收，因为这些果实在完熟阶段的耐藏性明显下降。成熟阶段是在树上或植株上进行的，而完熟过程可以在树上进行，也可以在采后发生。

衰老 (senescence) Rhodes (1980) 认为，果实在充分完熟之后，进一步发生一系列的劣变，最后才衰亡，所以，完熟可以视为衰老的开始阶段。Will 等 (1998) 把衰老定义为代谢从合成转向分解，导致老化并且组织最后衰亡的过程。果实的完熟是从成熟的最后阶段开始到衰老的初期。

二、成熟衰老中的化学成分变化

表 2-1 果实成熟的有关生理生化变化

降解	合成
叶绿体破坏	保持线粒体结构
叶绿体分解	形成类胡萝卜素和花色素苷
淀粉的水解	糖类互相转化
酸的破坏	促进 TCA 循环
底物氧化	ATP 生成增加
由酚类物质引起钝化	合成香气挥发物
果胶质分解	增加氨基酸的掺入
水解酶活化	加快转录和翻译速率
膜渗透开始	保存选择性的膜
由乙烯引起细胞壁软化	乙烯合成途径的形成

(Biale 和 Yoang, 1981)

(一) 颜色的变化

果蔬内的色素可分为脂溶性色素和水溶性色素两大类：

a) 脂溶性色素包括叶绿素和类胡萝卜素。叶绿素使果蔬呈现绿色，类胡萝卜素呈现黄、橙、红等颜色。

b) 水溶性色素主要是花色素苷。

(二) 香气的变化

表 2-2 一些果蔬香气的主要成分

果蔬名称	香气成分
苹果- (成熟)	乙基 2-甲基丁酸盐
苹果- (绿色)	己醛、2-己烯醛
香蕉- (绿色)	己烯醛
香蕉- (成熟)	丁子香酚
香蕉- (过熟)	异戊醇
葡萄柚	Nootakaton
柠檬	柠檬醛
橙子	巴伦西亚橘烯
树莓	1- (π 羟基苯) -3-丁酮
黄瓜	2,6-壬二烯
甘蓝 (生)	烯丙基介子油
甘蓝 (煮熟)	二甲基二硫化合物
蘑菇	1-辛烷-3-醇蘑菇香精
马铃薯	2-甲氧-3-吡嗪-2,5 二甲基吡嗪
萝卜	4-甲硫-反-3-丁醛异硫

(据 Salunkhe, 1977)

(三) 味感的变化

随着果实的成熟，果实的甜度逐渐增加，酸度减少。

果实的可溶性糖主要是蔗糖、葡萄糖和果糖，这三种糖的比例在成熟过程中经常发生变化。对于在生长过程以积累淀粉为主的果实来说，在果实成熟时碳水化合物成分发生明显的变化，果实变甜。

(1) 糖含量变化

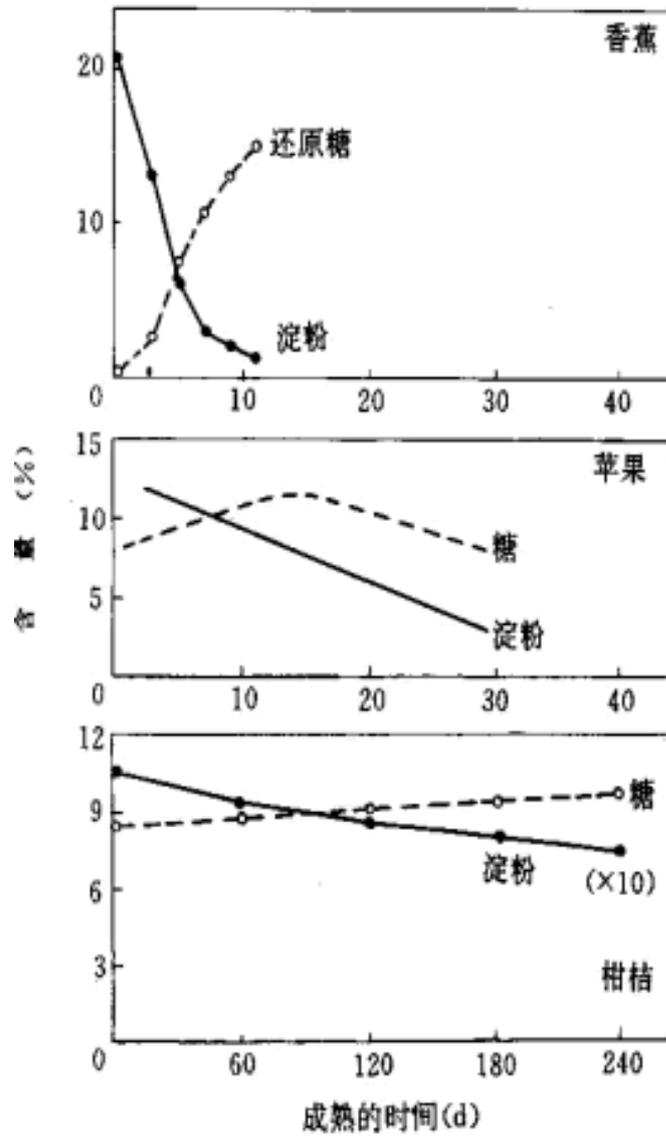


图 2-3 香蕉、苹果、柑桔在完熟过程中糖含量的变化

(Loeseke, 1950; Smock & Neubert, 1950; Stahl & Camp, 1936)

(2) 酸味

表 2-3 几种果实中有机酸种类及含量

果实种类	pH	总酸量 (%)	柠檬酸 (%)	苹果酸 (%)	草酸 (%)
苹果	3.00~5.00	0.2~1.6	+	+	—
梨	3.20~3.95	0.1~0.5	0.24	0.12	0.03
杏	3.40~4.00	0.12~2.6	0.1	1.30	0.14
桃	3.20~3.90	0.2~1.0	0.2	0.50	—
李		0.4~3.5	+	0.36~2.90	0.06~0.12
甜樱桃	3.20~3.95	0.3~0.8	0.1	0.5	—
葡萄	2.50~4.50	0.3~2.1	0	0.22~0.9	0.08
草莓	3.80~4.40	1.3~3.0	0.9	0.1	0.1~0.8

注：+表示存在，—表示微量，0表示缺乏
(周山涛, 1998, 《果蔬贮运学》)

固酸比是园艺学特别是在柑橘栽培学上作为果实品质或成熟度常用的参考指标之一。这里的“固”是指可溶性固形物 (soluble solids)，通常可用手持糖量计测定，操作简便。由于糖的测定较为复杂，而果汁的可溶性固形物主要是糖，因此，在生产上通常用可溶性固形物的测定值作为糖含量的参考数据。由于果实成熟时糖含量逐渐增加而酸含量逐渐减少，所以固酸比往往随果实的成熟而逐渐增高，用固酸比可作为果实成熟的指标之一。

(3) 涩味

是一些果实风味的重要组成部分，如有些柿子或未熟苹果的涩味很明显。涩味来源于可溶性单宁，单宁与口腔粘膜上的蛋白质作用，当口腔粘膜蛋白凝固时，会引起收敛的感觉，也就是涩味，使人产生强烈的麻木感和苦涩感。

(四) 成熟衰老中细胞壁结构和与软化有关的酶化学变化

果实成熟的一个主要特征是果肉质变软，这是由于果实成熟时，细胞壁的成分和结构发生改变，使细胞壁之间的连接松弛，连接部位也缩小，甚至彼此分离，组织结构松散，果实由未熟时的比较坚硬状态变为松软状态。

(1) 细胞壁的主要组分

- 纤维素
- 半纤维素
- 果胶
- 蛋白质

(2) 细胞壁的结构模型结构

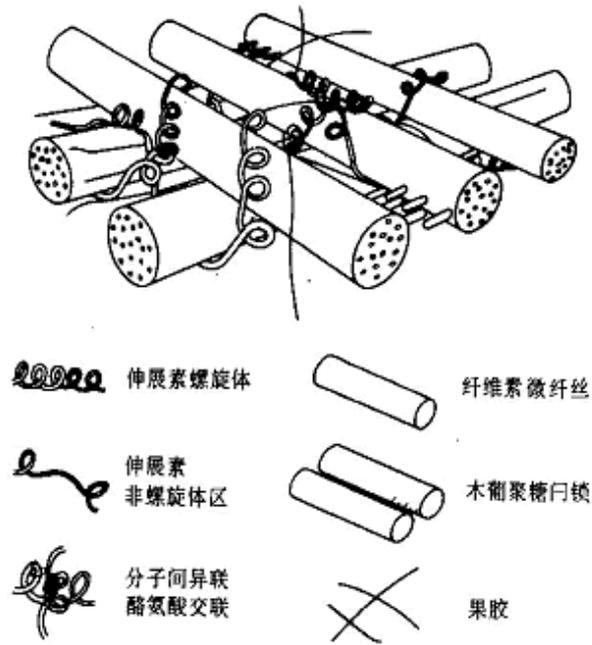


图 2-4 细胞壁多聚体排布的一种图解(Wilson 和 Fry, 1986)

(3) 与软化有关的化学变化及酶

- a、多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 催化果胶水解而引起的, 使半乳糖醛苷连接键断裂。
- b、果胶甲酯酶 (PME) : 协同 PG 酶使果胶水解。
- c、纤维素酶: 其活性水平在果实完熟期间显著提高。
- d、其它糖苷酶: 参与果实的软化过程