



普通高等教育“十三五”规划教材
食品科学与工程类专业应用型本科教材

果蔬贮藏与加工

金昌海◎主 编
鲁茂林 秦 文◎执行主编

Storage and
Processing
of Fruits and
Vegetables



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目
《食品科学与工程》专业职教师资培养资源开发 (VTNE049)

果蔬贮藏与加工

金昌海 主 编
鲁茂林 秦 文 执行主编

图书在版编目 (CIP) 数据

果蔬贮藏与加工/金昌海主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2016. 9

食品科学与工程类专业应用型本科教材

ISBN 978 - 7 - 5184 - 0995 - 2

I. ①果… II. ①金… III. ①果蔬保藏—高等学校—教材 ②果蔬加工—高等学校—教材 IV. ①TS255.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 152825 号

责任编辑: 张 磊

策划编辑: 马 妍

责任终审: 劳国强

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 锋尚设计

责任校对: 晋 洁

责任监印: 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: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 21.75

字 数: 480 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5184 - 0995 - 2 定价: 45.00 元

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 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邮购联系调换

151519J1X101ZBW

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

项目牵头单位：扬州大学

项目负责人：金昌海

项目专家指导委员会

主 任：刘来泉

副主任：王宪成 郭春鸣

成 员（按姓氏笔画排列）：

刁哲军 王继平 王乐夫 邓泽民 卢双盈

石伟平 汤生玲 米 靖 刘正安 刘君义

孟庆国 沈 希 李仲阳 李栋学 李梦卿

吴全全 张元利 张建荣 周泽扬 姜大源

郭杰忠 夏金星 徐 流 徐 朔 曹 晔

崔世钢 韩亚兰

本书编写人员

主 编：金昌海（扬州大学）

执行主编：鲁茂林（扬州大学）

秦 文（四川农业大学）

副 主 编：王兆升（山东农业大学）

苏 琳（内蒙古农业大学）

阚 娟（扬州大学）

刘 俊（扬州大学）

编 者：千春录（扬州大学）

刘杏荣（江苏大学）

张 清（四川农业大学）

庞凌云（河南农业大学）

李素清（四川农业大学）

出版说明

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》颁布实施以来，我国职业教育进入到加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有60余所高校正在开展职教师资培养，但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目，中央财政划拨1.5亿元，系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中，包括88个专业项目，12个资格考试制度开发等公共项目。该项目由42家开设职业技术师范专业的高等学校牵头，组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发，一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了6项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果，共计800多本正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了一批高校的教学改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教教师培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自2013年项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员

做了大量深入细致的工作，结合职教教师培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照两部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

2016年3月

前 言

Preface

为加快发展现代职业教育,实现职业教育改革发展新跨越,国家对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。教育部、财政部通过在“职业院校教师素质提高计划”框架内设置专门的职教师资培养资源开发项目,系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源来加快建设一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍。根据教育部、财政部的要求,扬州大学牵头组织全国部分相关高等学校、职业学校、行业企业,承担了食品科学与工程专业职教师资培养资源的开发项目。《果蔬贮藏与加工》是本项目组完成的特色教材成果之一。

《果蔬贮藏与加工》课程教材的开发原则是重视学生的学科专业基础知识与能力、从事专业的知识与能力、行业企业实践能力和职业岗位操作能力的养成。在参考了国外优秀职教师资培养教材的基础上,以工作过程为导向,创新了有别于学科体系的教材架构。为了更好地体现职业性、专业性和师范性的特点,各章增加了“典型产品的贮藏或加工案例”“综合实验”等环节。并在此基础上对果蔬贮藏与加工的原料、主要产品的生产工艺与技术、工艺过程的分析与组织、原料和成品的检验、质量控制体系等进行了较为系统的介绍。

参加本教材编写的人员主要为扬州大学鲁茂林、阚娟、刘俊、千春录;四川农业大学秦文、张清、李素清;山东农业大学王兆升;内蒙古农业大学苏琳;江苏大学刘杏荣;河南农业大学庞凌云。具体执笔为:第一章和第二章由阚娟编写;第三章由千春录编写;第四章由庞凌云编写;第五章由秦文和李素清编写;第六章由刘杏荣编写;第七章由张清编写;第八章由鲁茂林编写;第九章由刘俊编写;第十章由王兆升编写;第十一章由苏琳编写。本教材由鲁茂林、秦文任执行主编,王兆升、苏琳、阚娟、刘俊任副主编,鲁茂林负责全书的设计与统稿工作。

本教材为高等院校食品科学与工程职教师资本科专业及应用型本科专业的主干课程教材,也可用于职业院校相关专业的教师培训教材,同时可供相关专业人员参考使用。教材编写是一项探索性的工作,难度较大,由于我们水平有限,教材中难免会有一些疏漏之处,恳请专家和广大读者予以指正,以便做进一步的修改完善。

编者

2016年3月

目 录

Contents

第一章	果蔬产品采后生理	1
第一节	呼吸生理	1
第二节	蒸腾生理	9
第三节	休眠生理	12
第四节	成熟（衰老）生理	15
第五节	病害生理	24
第六节	综合实验	29
第二章	采收与商品化处理	34
第一节	成熟与采收	34
第二节	原料预处理	38
第三节	分级与包装	45
第四节	果蔬产品运输	50
第五节	综合实验	54
第三章	果蔬贮藏	58
第一节	自然降温贮藏	58
第二节	人工降温贮藏	66
第三节	气调贮藏	69
第四节	其他贮藏技术	74
第五节	果蔬贮藏案例	77
第六节	综合实验	83
第四章	果蔬干制加工	87
第一节	果蔬干制原理与技术	87
第二节	水果干制加工案例	103
第三节	蔬菜干制加工案例	111
第四节	果蔬干制品的包装贮藏与复水	117
第五节	综合实验	121

第五章	果蔬糖制加工	125
第一节	果蔬糖制原理与技术	125
第二节	果蔬糖制工艺	136
第三节	果蔬糖制品加工案例	144
第四节	综合实验	152
第六章	蔬菜腌制加工	159
第一节	蔬菜腌制原理与技术	159
第二节	蔬菜腌制品的分类	163
第三节	盐渍菜加工案例	164
第四节	酱腌菜加工案例	166
第五节	酸泡菜加工案例	170
第六节	糖醋菜加工案例	173
第七节	综合实验	176
第七章	果蔬汁加工	180
第一节	果蔬汁产品的分类	180
第二节	果蔬汁加工原理与技术	191
第三节	果汁及果汁饮料加工案例	216
第四节	蔬菜汁及蔬菜汁饮料加工案例	221
第五节	综合实验	225
第八章	果蔬罐藏加工	230
第一节	果蔬罐藏原理	230
第二节	罐藏工艺技术	239
第三节	果蔬罐头加工案例	246
第四节	综合实验	257
第九章	果蔬速冻加工	265
第一节	果蔬速冻原理与技术	265
第二节	果蔬速冻加工案例	272
第三节	速冻果蔬产品的贮藏与运输	275
第四节	综合实验	278

第十章	鲜切果蔬加工	282
第一节	鲜切果蔬加工原理	282
第二节	鲜切果蔬加工工艺	290
第三节	鲜切果蔬加工案例	293
第四节	综合实验	295
第十一章	果酒果醋加工	298
第一节	果酒分类	298
第二节	果酒酿造原理	301
第三节	果酒加工案例	307
第四节	果醋加工案例	323
第五节	综合实验	326
参考文献		330

第一章 果蔬产品采后生理

[知识目标]

1. 了解果蔬产品采后生理的有关概念。
2. 掌握果蔬产品采后的成熟与衰老、乙烯与成熟衰老、呼吸、蒸腾、休眠等生理作用的基本理论。
3. 认识各种生理作用与果蔬产品贮运的关系。

[能力目标]

1. 掌握果蔬呼吸强度的测定方法和技能。
2. 能够准确使用相关仪器进行果蔬贮藏环境条件的测定。

第一节 呼吸生理

一、植物的代谢

代谢是维持生命各种活动过程中化学变化（包括物质合成、转化和分解）的总称。植物代谢的特点在于它能把环境中简单的无机物直接合成为复杂的有机物，因此植物是地球上最重要的自养生物。

植物的代谢，从性质上可分为物质代谢和能量代谢，从方向上可分为同化或合成和异化或分解。具体来说，植物从环境中吸收简单的无机物，经过各种变化，形成各种复杂的有机物，综合成为自身的一部分，同时把太阳光能转变为化学能，贮藏于有机物中。这种合成物质的同时获得能量的代谢过程，称为同化作用。反之，植物将体内复杂的有机物分解为简单的无机物，同时把

贮藏有机物中的能量释放出去,供生命活动用。这种分解物质的同时释放能量的代谢过程,称为异化作用。这种划分不是绝对的,其实在同化作用中有异化反应(如光合作用暗反应中消耗ATP,生成ADP和Pi),在异化作用中有同化反应(如呼吸作用中把ADP和Pi形成ATP)。

碳素营养是植物的生命基础。首先,植物体的干物质中有90%是有机化合物,而有机化合物都含有碳素(约占有机化合物质量的45%),碳素就成为植物体内含量较多的一种元素;其次,碳原子是组成所有有机化合物的主要骨架。碳原子与其他元素有各种不同形式的结合。因此,决定了这些化合物的多样性。

果蔬在采收之后,仍然是具有生命活动的生命体,其呼吸作用和蒸腾作用依旧进行,但由于离开了母体,失去了母体和土壤的水分及养分供应,其同化作用基本结束。因此,呼吸作用就成为新陈代谢的主体和其生命活动的重要标志。呼吸代谢集物质代谢与能量代谢为一体,是果蔬生命活动得以顺利进行的物质、能量和信息的源泉,是代谢的中心枢纽。

二、呼吸作用

呼吸作用是生物界非常普遍的现象,是生命存在的重要标志。果蔬的呼吸作用是呼吸底物在一系列酶参与的生物氧化下,经过许多中间环节,将生物体内的复杂有机物分解为简单物质,并释放出化学键能的过程。依据呼吸过程中是否有氧的参与,可将呼吸作用分为有氧呼吸和无氧呼吸两大类型。

(一) 有氧呼吸

有氧呼吸是在有氧参与的情况下,将本身复杂的有机物(糖、淀粉、有机酸及其他物质)逐步分解为简单物质(H_2O 和 CO_2),并释放能量的过程。以己糖为呼吸底物时,有氧呼吸的总反应式是:



呼吸作用释放的能量,少部分以ATP、NADH和NADPH的形式贮藏起来,为果蔬体内生命活动过程所必需,大部分以热能的形式释放到体外。在正常情况下,有氧呼吸是高等植物进行呼吸的主要形式。然而,在各种贮藏条件下,大气中的 O_2 量可能受到限制,不足以维持完全的有氧代谢,植物也被迫进行无氧呼吸。有氧呼吸是主要的呼吸方式,它是从空气中吸收 O_2 ,将糖、有机酸、淀粉及其他物质氧化分解为 CO_2 和 H_2O ,同时放出能量的过程。这种生物氧化过程释放的能量并非全部以热量的形式散发,而是一步步借助于载体——高能磷酸键来传递,同时释放出热量。

(二) 无氧呼吸

无氧呼吸是指在无 O_2 参与条件下,把某些有机物分解成不彻底的氧化产物,同时释放出部分能量的过程。这时,糖酵解产生的丙酮酸不再进入三羧酸循环,而是生成乙醛,然后还原成乙醇。以己糖为呼吸底物时,其反应式是:



无氧呼吸释放的能量很少。为了获得同等数量的能量,要消耗远比有氧呼吸为多的呼吸底物。而且,无氧呼吸的最终产物为乙醛和酒精,这些物质对细胞有毒性,浓度高时还能杀死细胞。从这些方面来看,无氧呼吸是不利的或是有害的。但有些植物的器官内层组织,处在气体交换比较困难的位置,经常缺氧,如薯类。这些产品的正常呼吸中包括部分缺氧呼吸,这是植

物对环境的适应；只是这种无氧呼吸在整个呼吸中所占的比例不大。

由于呼吸作用同各种果蔬的生理生化过程有着密切的联系，并制约着生理生化变化，因此必然会影响果蔬采后的品质、成熟、耐贮性、抗病性以及整个贮藏寿命。呼吸作用越旺盛，各种生理生化过程进行得越快，采后寿命就越短。因此在果蔬采后贮藏和运输过程中要设法抑制呼吸，但又不可过分抑制，应该在维持产品正常生命过程的前提下，尽量使呼吸作用进行得缓慢一些。

(三) 呼吸作用的生理意义

呼吸作用对植物生命活动具有十分重要的意义，主要表现在以下三个方面。

1. 提供植物生命活动所需要的大部分能量

呼吸作用释放能量的速度较慢，而且逐步释放，适合于细胞利用。释放出来的能量，一部分转变为热能而散失掉，另一部分以 ATP 等形式贮存着。当 ATP 在 ATP 酶作用下分解时，就把贮存的能量释放出来，以不断满足植物体内各种生理过程对能量的需要，未被利用的能量就转变为热能而散失掉。

2. 中间产物是合成植物体内重要有机物质的原料

呼吸过程产生一系列的中间产物，这些中间产物很不稳定，成为进一步合成植物体内各种重要化合物的原料，在植物体内有机物转变中起着枢纽作用。由于呼吸作用供给能量以带动各种生理过程，其中间产物又能转变为其他重要的有机物，当呼吸作用发生改变时，中间产物的数量和种类也随之而改变，从而影响着其他物质代谢过程。

3. 增强植物抗病免疫能力

在植物和病原微生物的相互作用中，植物依靠呼吸作用来氧化分解病原微生物所分泌的毒素，以消除其毒害。植物受伤或受到病菌侵染时，也通过旺盛的呼吸，促进伤口愈合，加速木质化或栓质化，以减少病菌的侵染。此外，呼吸作用的加强还可促进具有杀菌作用的绿原酸、咖啡酸等的合成，以增加植物的免疫能力。

三、 果蔬采后的呼吸作用

(一) 基本概念

1. 呼吸强度

呼吸强度是衡量呼吸作用强弱的一个指标，在一定的温度下，用单位时间内单位质量来产品放出的 CO₂ 或吸收的 O₂ 的量来表示，常用单位为 mgCO₂/ (kg · h) 或 mgO₂/ (kg · h)。以 CO₂ 或 O₂ 的容积计 [mL/ (kg · h)] 时，可称为呼吸速率。呼吸强度是表示组织新陈代谢的一个重要指标，是估计产品贮藏潜力的依据，呼吸强度越大说明呼吸作用越旺盛，营养物质消耗得越快，会加速产品衰老，缩短贮藏寿命。常见果蔬的呼吸强度见表 1-1。

表 1-1 不同温度下各种果蔬的呼吸强度 单位: mgCO₂/ (kg · h)

产品	温度					
	0℃	4~5℃	10℃	15~16℃	20~21℃	25~27℃
夏苹果	3~6	5~11	14~20	18~31	20~41	—
秋苹果	2~4	5~7	7~10	9~20	15~25	—

续表

产品	温度					
	0℃	4~5℃	10℃	15~16℃	20~21℃	25~27℃
杏	5~6	6~9	11~19	21~34	29~52	—
草莓	12~18	16~23	49~95	71~62	102~196	169~211
甘蓝	4~6	9~12	17~19	20~32	28~49	49~63
胡萝卜	10~20	13~26	20~42	26~54	46~95	—
花椰菜	16~19	19~22	32~36	43~49	75~86	84~140
芹菜	5~7	9~11	24	30~37	64	—
甜樱桃	4~5	10~14	—	25~45	28~32	—
柠檬	—	—	11	10~23	19~25	20~28
黄瓜	—	—	23~29	24~33	14~48	19~55
猕猴桃	3	6	12	—	16~22	—
芒果	—	10~22	—	45	75~151	120
蘑菇	28~44	71	100	—	264~316	—
菠菜	19~22	35~58	82~138	134~223	172~287	—

资料来源：美国农业部，《农业手册》66卷，果蔬花卉商业性贮藏，1986。

2. 呼吸热

果蔬呼吸过程中所释放的热量，只有一小部分用于维持生命活动及合成新物质，大部分都以热能的形态释放至体外，使果蔬体温和环境温度升高，这种释放的热量称为呼吸热。由于果蔬采后呼吸作用旺盛，释放出大量的呼吸热，当大量产品采后堆积在一起或长途运输缺少通风散热装置时，由于呼吸热无法散出，产品自身温度会升高，而温度升高又会使呼吸增强，放出更多的热，形成恶性循环，缩短贮藏寿命。因此，贮藏中通常要尽快排除呼吸热，降低产品温度。但在北方寒冷季节，环境温度低于产品要求的温度时，产品可以利用自身释放的呼吸热进行保温，防止冷害和冻害的发生。

根据呼吸反应方程式，消耗1mol己糖产生6mol（264g）CO₂，并放出2870kJ自由能，以此计算，则每释放1mg CO₂，应同时释放10.87J的热能。假设这些能全部转变为呼吸热，则可以通过测定果蔬的呼吸强度计算呼吸热。以下是呼吸热的计算公式。

呼吸热 [J/（kg·h）] =呼吸强度 [mg/（kg·h）] ×10.87J/mg (1-1)

3. 呼吸商

呼吸商（RQ），也称呼吸系数或气体交换率，是指一定质量的果蔬，在一定时间内，释放CO₂与吸收O₂的体积之比或物质的量之比，即指呼吸作用所释放的CO₂和吸收的O₂的分子比。即RQ=V_{co2}/V_{o2}，RQ的大小与呼吸状态和呼吸底物有关。不同呼吸底物有着不同的RQ值，通过测定植物不同组织或器官的RQ，可以判断呼吸底物的类型。例如，以糖为呼吸底物时，

$RQ=1.0$ ；以有机酸（苹果酸）为底物时， $RQ=1.3>1.0$ ；以脂肪为呼吸底物时， $RQ=0.69<1.0$ 。在正常情况下，以糖为呼吸底物，当 $RQ>1$ 时，可以判断出现了无氧呼吸，这是因为无氧呼吸只释放 CO_2 而不吸收 O_2 ，因此整个呼吸过程的 RQ 值就要增大。

不过，呼吸商往往还受到许多其他因素的影响而变得更为复杂。例如，无氧呼吸时，没有 O_2 的吸收，只有 CO_2 的释放，此时 RQ 值为无穷大；当植物体内发生物质的转化，呼吸作用中间产物用于其他物质的生物合成时， RQ 值会受到影响；植物体内往往是多种呼吸底物同时进行呼吸作用，其呼吸商实际上是这些物质氧化时细胞耗 O_2 量和释放 CO_2 量的总体结果。

（二）果蔬采后呼吸作用

果蔬呼吸速率的高低与果蔬的生长发育有密切关系。根据采后呼吸强度的变化曲线，呼吸作用又可以分为呼吸跃变型和非呼吸跃变型两种类型。有一类果实的呼吸强度在幼果发育阶段不断下降，此后在成熟开始时，呼吸强度急剧上升，达到高峰后便转为下降，直到衰老死亡，伴随呼吸高峰的出现，体内的代谢发生很大的变化，这一现象被称为呼吸跃变。具有呼吸跃变的果实称为跃变型果实，如苹果、梨、桃、李、杏、柿、香蕉、油梨、芒果、无花果、西瓜、香瓜、哈密瓜、番茄等果实。

进一步研究表明并非所有的果实在完熟时期都出现呼吸高峰，不产生呼吸高峰的果实称为非跃变型果实，包括甜橙、红橘、温州蜜柑、柠檬、柚、葡萄柚、葡萄、草莓、荔枝、菠萝、灯笼椒、黄瓜等。

不同种类的跃变型果实其呼吸跃变高度和出现的时间不完全相同。果蔬呼吸模式不能单纯从呼吸强度的高低和呼吸峰的出现与否加以判断。有些果实如苹果留在树上也可以出现呼吸高峰，但与采摘下来的果实相比，其高峰出现的时间和高度是有差异的。另外一些果实如油梨，由于留在母树上可以持续不断地生长，不能成熟，因此无呼吸高峰出现，它只有在离开母体以后才会成熟，故呼吸高峰的出现也只限于离体果实。呼吸跃变的发生并不只限于将成熟的果实，某些未长成的幼果（如苹果、桃、李等）采后放置一段时间，或早期脱落的幼果，也可发生短期的呼吸跃变，甚至某些非跃变型的果实如甜橙，将其幼果采摘下来，也可出现呼吸跃变现象，而长成的果实反而没有此现象。此类果实呼吸跃变并未伴有成熟过程，因而称之为伪跃变现象。因此，判断呼吸跃变型和非呼吸跃变型应从多方面因素综合评价。

（三）跃变型果实与非跃变型果实的区别

跃变型果实与非跃变型果实的区别，不仅在于成熟时期是否出现呼吸跃变，两者在内源乙烯的产生和对外源乙烯的反应等方面均有很大差异。

1. 内源乙烯含量不同

所有的果实在发育期间都产生微量的乙烯。然而在完熟期内，跃变型果实所产生乙烯的量比非跃变型果实多得多，而且跃变型果实在跃变前后其内源乙烯的量变化幅度很大；非跃变型果实的内源乙烯一直维持在很低的水平，没有产生上升现象。对于跃变型果实和非跃变型果实在成熟期间内源乙烯生成量的巨大差异，引起了许多学者的关注。Kidd 等最早用乙烯短时间处理跃变前期的苹果果实，发现不仅能提前启动呼吸跃变的时间，还能促进组织内乙烯产生自动催化作用，产生大量内源乙烯。McMurchie 等人（1972）在前人研究的基础上用 500mg/kg 的丙烯（相当于 5mg/kg 乙烯）代替乙烯启动果实成熟，以研究完熟开始时期的变化和对自动催化的诱导，试验在香蕉上获得成功，不仅生成大量乙烯，并引起呼吸跃变。由此提出植物体内存在有两套乙烯合成系统的理论，认为所有植物组织在生长发育过程中都能合成并释放微量乙烯，

这种乙烯的合成系统称为系统I。就果实而言，非跃变型果实或未成熟的跃变型果实所产生的乙烯，都是来自乙烯合成系统I。而跃变型果实在完熟期前期合成并大量释放的乙烯，则是由另一个系统产生的，称为乙烯合成系统II，它既可以随果实的自然完熟而产生，也可被外源乙烯所诱导。当跃变型果实内源乙烯积累到一定限值，便出现生产乙烯的自动催化作用，产生大量内源乙烯，从而诱导呼吸跃变和完熟期生理生化变化的出现。系统II引发的乙烯自动催化作用一旦开始即可自动催化下去，即使停止施用外源乙烯，果实内部的各种完熟反应仍然继续进行。非跃变型果实只有乙烯生物合成系统I，缺少系统II，如将外源乙烯除去，则各种完熟反应便停止了。根据 McMurchie 的理论和大量实验结果，可以认为跃变型果实与非跃变型果实的第一个区别是两者组织内存在有两种不同的乙烯生物合成系统。几种跃变型和非跃变型果实内源乙烯含量见表 1-2。

表 1-2 几种跃变型和非跃变型果实内源乙烯含量 (S. P. Burg)

跃变型果实	乙烯/ (mg/m ³)	非跃变型果实	乙烯/ (mg/m ³)
苹果	25 ~ 2500	柠檬	0.11 ~ 0.17
桃	0.9 ~ 20.7	酸橙	0.30 ~ 1.96
油桃	3.6 ~ 602	橙	0.13 ~ 0.32
香蕉	0.05 ~ 2.1	菠萝	0.16 ~ 0.40

2. 对外源乙烯的刺激反应不同

对跃变型果实来说，外源乙烯只有在呼吸跃变前期施用才有效果，它可引起呼吸作用上升和内源乙烯的自动催化作用，这种反应是不可逆的，一旦反应发生即可自动进行下去。而且在呼吸高峰出现以后，果实就达到完全成熟阶段。非跃变型果实任何时候都可以对外源乙烯发生反应，但将外源乙烯除去，则由外源乙烯所诱导的各种生理生化反应便停止了，呼吸作用又回复到原来的水平。与跃变型果实不同的是呼吸高峰的出现并不意味着果实已完全成熟。

3. 对外源乙烯浓度的反应不同

不同浓度的外源乙烯对两种不同类型的果实呼吸作用的影响是不同的。对跃变型果实来说，提高外源乙烯浓度，果实呼吸跃变出现的时间可以提前，但不改变跃变的高度，乙烯浓度的改变与跃变期提前的时间大致呈对数关系；对非跃变型果实来说，提高外源乙烯浓度，可提高呼吸跃变的高度，但不能提早呼吸跃变出现的时间。

四、 影响呼吸作用的因素

果蔬在贮藏过程中的呼吸作用与产品贮藏寿命密切相关，呼吸强度越大所消耗的营养物质越多。因此，在不妨碍果蔬正常生理活动和不出现生理病害的前提下，应尽可能降低它们的呼吸强度，减少营养物质的消耗，延长果蔬贮藏的寿命。影响呼吸强度的因素很多，概括起来主要有如下几种。

(一) 果蔬产品本身因素

1. 种类与品种

园艺产品的呼吸强度相差很大，这是由遗传特性决定的。一般来说，热带、亚热带果实的呼吸强度比温带果实的呼吸强度大，高温季节采收的产品比低温季节采收的大；就种类而言，