

# 适度加工果蔬生理特性及质量控制措施

彭丽桃<sup>1</sup>, 蒋跃明<sup>1</sup>, 杨书珍<sup>2</sup>

(1. 中国科学院华南植物所; 2. 西北农林科技大学园艺学院)

**摘 要:** 适度加工果蔬由于受到机械伤害产生伤响应加速了组织的生理劣变进程。该文从适度加工引起的机械效应、组织产生的短期的局部生理效应(产生伤信号、膜去极化、膜组分解离)、后期的整体生理效应(乙烯呼吸变化、蛋白合成改变、伤愈合、次生代谢加强)等方面作了评述。并对控制果蔬劣变的相应技术措施即材料选择、低温贮藏、气调贮藏、优化加工工艺、化学药剂处理以及物理措施等进行了探讨。

**关键词:** 适度加工果蔬; 生理特性; 质量控制

**中图分类号:** S377

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2002)03-0178-08

适度加工果蔬是指新鲜果蔬原料经过清洗、去皮、切分、消毒、包装等生产工艺形成的速食果蔬制品。由于具有品质新鲜、营养卫生、食用方便优点,因而拥有市场前景。目前鲜切加工产品主要销售到餐饮业和速食业,个人消费也占有重要比例,而且该比例在逐年增加。美国 2000 年的销售额预计高达 110 多亿美元,占蔬菜总销售的 25% 以上<sup>[1]</sup>。在我国,适度加工果蔬,如去皮土豆、马蹄、莴苣、哈密瓜、胡萝卜、菠萝等,一直受到消费者欢迎,但规模零散,无法形成规模效益。随着人们生活水平的提高、工作生活节奏的加快、消费能力的提高,对鲜切果蔬的需求与日俱增,适度加工果蔬显示出巨大的市场潜力,迫切需要研究、解决相应的贮运保鲜技术,维持鲜切产品质量、延长货架寿命、满足消费者对适度加工产品的需求。

与新鲜果蔬相比,适度加工果蔬有显著特点:加工造成的机械损伤导致一系列复杂的物理和生理效应,如水分丧失、乙烯产生上升、呼吸增加、酶促和非酶促褐变加速、营养物质消耗加剧、质地变软、代谢增强、风味等品质下降、贮藏寿命严重缩短。本文就适度加工果蔬的生理特性以及相应的控制措施研究进展进行评述。

## 1 适度加工对果蔬的物理效应

### 1.1 组织的机械冲击

果蔬经过切割、去皮、磨损等工艺处理时,外加的机械压力不仅伤害作用位点的细胞,而且伤害远处的细胞<sup>[2]</sup>。适度加工果蔬易发生碰伤、撕裂、断裂

等现象,组织较软的材料易碰伤,较硬的组织材料易产生撕裂和断裂。加工时压力愈大,产生伤响应的细胞愈多,往往造成组织大面积碰伤。降低加工速度、采用锐利切割工具等措施可以减少这种机械冲击引起的效应。不过,加工过程中短期的超高压处理反而有利于生产高质量的加工品,Shook 等认为这是由于超高压使酶和蛋白变性的结果<sup>[3]</sup>。

### 1.2 天然保护层消失

适度加工果蔬通常除去了天然的保护层,同时在果蔬组织表层造成损伤。最初细胞汁液和清洗用水在组织切片表面形成包被,阻止氧的摄入和 CO<sub>2</sub> 及乙烯的扩散。伤害促进了呼吸,气体交换受阻导致了 CO<sub>2</sub> 浓度显著升高、O<sub>2</sub> 浓度显著降低,从而刺激无氧呼吸<sup>[2]</sup>。组织切片产生的乙烯的累积,进一步促进乙烯敏感组织的成熟和衰老。天然屏障的丧失,易遭受微生物污染,加上加工品的表层残留含有丰富的糖分和蛋白,为微生物的生长提供了丰富的营养。完整组织材料中,由于果皮或者保护层的存在,水分扩散的阻力较大。而材料经过去皮、切分等处理后,水分蒸腾速率显著增加。表层轻微栓质化的完整材料与加工品的失水速率相差 5~10 倍;表层革质化的器官加工后失水速率增加了 10~100 倍;而栓质化程度高的土豆加工后失水达到 500 倍<sup>[4]</sup>。与对照相比,适度加工果蔬的气体交换显著加强,组织内部氧浓度增加,CO<sub>2</sub> 和乙烯减少,气体扩散增加,增加了氧与呼吸底物的接触,促进底物的消耗。在组织表面人为添加保护层如添加可食性被膜已经成为研究的热点<sup>[5,6]</sup>。

### 1.3 细胞残片

随表层水分散失,切片表面的光学特性发生改变,加工果蔬的表层由透明,转变成白色、半不透明的状态,严重影响鲜切果蔬的外观质量。锐利工具切

收稿日期: 200112212

作者简介: 彭丽桃, 博士生, 主要研究果蔬采后生理与保鲜。广州市乐意居 中国科学院华南植物所, 510650。Email: penglt12@yahoo.com

割的组织表层改变很小,但在磨擦去皮加工工艺中表层外观改变较大。胡萝卜经过磨擦去皮加工后,受破坏的细胞残留物在水的作用下牢固地结合在组织表面,没有能够被随后的清洗、离心等工艺除去,残层物呈现透明状态;当水分蒸发后,残层物与组织表层细胞分离,形成了粗糙的白色表层<sup>[7,8]</sup>。这是纯物理现象,不需新物质合成或活细胞的存在。

## 2 适度加工引发的生理效应

### 2.1 短期局部效应

#### 2.1.1 伤信号

伤害不仅影响伤害细胞自身,而且影响远离伤害位点的细胞。这暗示伤害位点产生伤信号传递到远处细胞。虽然伤信号的准确特点仍然未知,伤信号的鉴定和特点分析将对控制微加工产品的伤响应产生重要影响,消除或者弱化伤信号可以阻止或者降低适度加工果蔬引起品质劣变的生理响应。伤信号可能是纯物理信号如水压波或者压力波<sup>[9]</sup>,纯生理的(系统素、寡糖素、SA、乙烯等信号分子诱导伤响应物质的特异合成)<sup>[10,11]</sup>,或者是物理和生理的综合结果(如生物电动势波或者电流波)<sup>[12]</sup>。但也有认为信号不是受伤组织特异合成,而是伤害细胞的最初伤响应的副产品(如胞壁降解的果胶片段)。

组织受到伤害后,细胞壁降解组分迅速产生,这些降解组分激发一系列相关的伤响应。果胶寡糖加入到梨细胞悬浮培养液中,能诱导乙烯快速、短暂的上升<sup>[13]</sup>。

许多植物受到伤害后,蛋白酶抑制子(PD)的表达激活,在伤害部位和其它未受伤部位大量积累<sup>[14]</sup>,这是组织伤响应的重要特征。诱导PI合成最有效的化合物是系统素,因而推测系统素是感受伤刺激和系统伤响应的信号物质。系统素可能通过活化硬脂酸的细胞间信号途径产生伤响应<sup>[11]</sup>。但伤信号在韧皮部中传递比较快,而化学物质的信号传递比较慢<sup>[14]</sup>,暗示可能存在其它的信号。影响离子转运的试剂可抑制番茄的伤响应;热和机械伤害诱导电话性的产生,与动物的上皮传导系统相似。

#### 2.1.2 膜去极化

伤害产生后,临近细胞的膜对一系列细胞组分的通透性增加。胞间正常的通透性破坏,导致细胞质和液泡组分混合,产生许多无法控制的反应,形成许多有毒物质(如褐变反应等)。伤害对植物细胞膜的通透性和膜极性产生快速而深远的影响。如伤害的豌豆上胚轴和黄瓜下胚轴在距离伤害部位10~40 cm 细胞的细胞膜有快速短暂的去极化过程<sup>[15]</sup>。细胞膜去极化的形状、振幅、和移动速度特征表明去极

化的信号传播由吸水震荡引起;氰化物抑制处理部位的电信号,但不抑制信号传播或在未处理组织的信号的产生。膜去极化可能是质膜质子泵关闭,而不像是大规模的离子流。缓慢移动的电势波信号在茎中通过伤害产生的水压震荡传递。

胞质钙含量多少影响胞质膜的稳定,同时钙参与了许多信号的传导。伤害破坏组织内的钙分布,可能改变许多生理过程。加工时应用钙处理可以延缓伤诱导的衰老进程,保持加工果蔬的质量<sup>[16,17]</sup>。

#### 2.1.3 膜组分变化

机械损伤可使细胞膜破裂,刺激膜脂的分解代谢。其分解代谢强度与果蔬种类有关。土豆切片2 h内磷脂丧失了30%,胡萝卜切片中未检测到磷脂的降解<sup>[18]</sup>。机械伤害可能改变膜脂组分,胡萝卜丝贮藏10 d后总磷脂上升47%,但卵磷脂含量下降<sup>[19]</sup>。伤害产生后,磷脂酶A<sub>2</sub>迅速激活<sup>[20]</sup>,促使细胞膜释放出游离脂肪酸,这些酸不仅毒害细胞,而且在脂氧合酶作用下通过十八烷酸途径进一步氧化生成茉莉酸或者茉莉酸甲酯,这类物质具有强烈的生理活性,能调节蛋白酶抑制剂基因的表达<sup>[11]</sup>。番茄和苜蓿受到伤害后诱导了亚油酸、茉莉酸、茉莉酸甲酯产生并激活了蛋白酶抑制剂基因的转录<sup>[21]</sup>。膜脂可进一步降解生成MDA等短链醛类物质和自由基,这些物质对蛋白、质膜造成更大的伤害。同时,伤害刺激组织细胞启动膜修复过程,这一过程需要油脂合成途径的活化<sup>[19]</sup>。土豆切片后数小时内脂类合成随着磷脂与脂肪酸合成中的关键酶的活化而迅速增加<sup>[22]</sup>。阻止膜的分解或促进膜修复可延长适度加工果蔬的货价期。

### 2.2 后期整体效应

#### 2.2.1 乙烯

组织受到伤害后,乙烯释放速率上升。在某些材料中乙烯猝发只需要几分钟,但大部分材料中乙烯猝发需要1 h,在6~12 h内达到乙烯高峰<sup>[23]</sup>。莴苣中乙烯猝发短暂,只持续几小时<sup>[24]</sup>,而其它组织中的诱导乙烯持续时间较长,并且有显著的生理变化如诱导跃变型果实的成熟、软化和衰老。伤害诱导的乙烯促进香蕉、猕猴桃果肉切片的软化<sup>[25]</sup>,加速番茄和鳄梨的呼吸跃变和成熟<sup>[26]</sup>。抑制绿熟番茄切片伤乙烯的产生,切片能在贮藏环境中正常成熟<sup>[27]</sup>。

伤乙烯促进叶衰老。离体叶片切割(伤害胁迫)后有一乙烯快速促发过程,随后有类似跃变乙烯的上升,上升的乙烯促进了叶绿素的降解,加速叶片或叶圆片的衰老,但这种衰老能被AVG(氨基乙氧基甘氨酸,乙烯生物合成的专一抑制剂)抑制<sup>[28]</sup>。由伤诱导的衰老与乙烯产生的速率和伤害的程度有关。

可能伤信号为诱导叶片衰老的主要原因,而伤乙烯调控衰老进程。

伤诱导乙烯和果实跃变时产生的乙烯是相对独立的,在时间上表现不一致,如 3 mm 厚的鳄梨圆片中伤诱导乙烯在 18 h 时达到最大,而果实的跃变乙烯在 72 h 达到最高点;2,5-二冰片二烯(NBD,乙烯作用抑制剂)可刺激鳄梨切片的伤乙烯增加而抑制呼吸跃变时的乙烯释放<sup>[26]</sup>。但伤诱导的乙烯合成途径与正常和成熟相关的乙烯合成途径相同,伤乙烯的产生是对伤信号产生响应的 ACS 同工酶或 ACO 酶表达的结果。生理实验表明:乙烯生物合成抑制剂 AVG 阻止了绿熟番茄切片伤乙烯和跃变乙烯和呼吸高峰的产生,抑制果实后熟。分析番茄 ACC 合成酶同工酶表达时发现,番茄果实成熟时 ACS1 和 ACS2 表达,而伤害只能增强 ACS1 的表达<sup>[29]</sup>;甜瓜叶片中也发现了受伤害诱导的 ACC 氧化酶基因 Cm2ACO1<sup>[30]</sup>。

#### 2.2.2 呼吸

受伤组织的呼吸上升认为是乙烯增加的结果,乙烯增加刺激呼吸强度上升,淀粉降解加强,三羧酸循环和电子传递链得到活化<sup>[31]</sup>。伤害也影响果实的呼吸跃变。番茄果实从 40 cm 高处反复摔伤 1~8 次后,在成熟过程中呼吸和乙烯释放量均上升,成熟速率加快<sup>[32]</sup>。草莓和梨的切片在 2.5 贮藏 7 d 呼吸均高于对照果实<sup>[33]</sup>。成熟猕猴桃去皮或切片后,呼吸增加一倍,而成熟的香蕉去皮和切片处理对呼吸没有影响<sup>[34]</sup>。伤呼吸可能是脂肪酸发生氧化转变成 CO<sub>2</sub> 的结果。Rolle 等认为土豆切片 CO<sub>2</sub> 的释放是脂肪酸氧化引起的<sup>[35]</sup>。

组织伤害后呼吸强度上升,CO<sub>2</sub> 大量产生,O<sub>2</sub> 消耗和热量释放剧增,组织代谢活性加强。而果蔬切割表面的汁液阻塞气孔,气体扩散速率下降,造成局部的 CO<sub>2</sub> 上升,达到一定程度后产生无氧呼吸。组织无氧呼吸产生乙醇和乙醛的大量积累,与其它的挥发物质造成加工产品产生异味,严重降低了包装产品的质量;同时伤呼吸消耗大量的贮藏物质,造成产品品质的下降。石刁柏适度加工后,组织的碳水化合物、氨基酸、蛋白损失速率是完整组织的 2 倍多<sup>[36]</sup>。适度加工果蔬消耗的 O<sub>2</sub> 远远超过呼吸所需要的 O<sub>2</sub>,其中很大一部分被酚类物质氧化所消耗<sup>[37]</sup>。

#### 2.2.3 蛋白合成

机械损伤引发一系列蛋白质合成有关的变化。超微结构研究表明:受伤组织中粗面内质网迅速增加,多核糖体出现,核孔扩大,高尔基体数目增多,这是蛋白质合成加强的典型特征<sup>[19]</sup>。受伤果蔬的蛋白

数量、种类和核糖核酸 RNA 水平均有很明显的改变。在伤处理的番茄中,几丁质酶、山梨醇 26-磷酸脱氢酶、酰基载体蛋白、纤维素酶、过氧化物酶的 mRNA 水平显著上升<sup>[38]</sup>。受到伤胁迫的胡萝卜诱导一些分泌蛋白(主要是富含羟脯氨酸的蛋白和富含甘氨酸的蛋白)的合成,这些蛋白具有维持细胞壁结构,参与防御反应的作用<sup>[39,40]</sup>。冬瓜受到伤害胁迫后,果肉中 ACC 合成酶、ACC 氧化酶、苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶活性快速增长<sup>[41]</sup>。NBD 能有效阻止 PAL 和 POD 活性增加,抑制木质素形成;但乙烯对番茄中伤诱导的 POD 阴离子型同工酶的累积无作用。我们将适度加工的马蹄(荸荠)在放线菌酮(蛋白合成抑制剂)溶液中浸泡 1 min,有效地抑制了伤诱导的 POD 和 PAL 的合成。

#### 2.2.4 伤愈合

组织受到伤害后,会在伤害部位细胞的胞壁中产生和沉积木栓质和木质素<sup>[4]</sup>。土豆、红薯、胡萝卜、菜豆、番茄和黄瓜的果皮受伤后表层细胞均发生栓质化反应<sup>[42]</sup>,而柑橘果皮受伤部位发生木质化反应<sup>[43]</sup>。

细胞栓质化和愈伤周皮的形成受组织周围环境条件的影响。土豆启动栓质化的时间与温度有关,5℃下需要 3~6 周,10℃下只需要 1~2 周,20℃下只需 3~6 d;而伤表皮形成的启动在上述温度条件下分别需要 4 周、1~2 周和 3~5 d<sup>[44]</sup>。伤愈合也与空气相对湿度有关。土豆在 10℃下伤愈合的最适相对湿度是 98%,当相对湿度低于 90% 时愈合速率下降;20℃时只要 RH 高于 70% 伤愈合速率已经很高。气体组分影响伤愈合进程。当 O<sub>2</sub> 浓度低于 10%、CO<sub>2</sub> 高于 5% 能有效抑制土豆栓质化和伤周皮的形成<sup>[45]</sup>。组织的伤愈合能改变适度加工产品的外观,降低其食用品质,应采用相应的措施抑制愈伤组织的形成。

#### 2.2.5 次生代谢

组织受到伤害后合成一系列次生物质,主要有苯丙烷类、聚酮化合物类、黄酮类、萜类、生物碱、单宁、芥子油苷、长链脂肪酸和醇类等<sup>[46]</sup>。这些物质主要集中在伤口及其附近部位,参与伤愈合反应和抵抗病菌的入侵。薯蓣、荔枝、莴苣等果蔬在伤害部位形成许多黑色斑点,为大量酚类物质累积所致<sup>[47]</sup>。不仅不同种类的果蔬,即使同一果蔬的不同品种,产生次生物质的种类和数量也有差异。Brodic 和 Torridon 两个土豆品种摩擦去皮后绿原酸含量上升,而 Alisha、Eden 和 Pentland Dell 3 个品种中变化不大<sup>[48]</sup>;产地不同的同一品种,伤诱导的次生物质也有差异<sup>[49]</sup>。这些物质的生成一般会影响适度加工品

的香气、风味、外观和营养价值,有时甚至会改变加工品的食用安全性。土豆损伤后茄碱合成加强,茄碱含量超过一定限度后有很强的毒性。有些香气和风味物质具有挥发性,短期贮藏后加工品的风味品质严重下降。

主要次生代谢物质如木质素、酚类、黄酮类等均通过苯丙烷类代谢途径合成,这一合成途径的3个关键酶分别是苯丙氨酸解氨酶(PAL)、肉桂酸2,4-羟化酶和4-香豆酸辅酶A连接酶,其中以苯丙烷代谢途径的第一个关键酶苯丙氨酸解氨酶研究最多。大量研究表明,果蔬遭受机械损伤后PAL活性迅速上升。鲜切莴苣品质下降的主要原因是产品的褐变,而褐变与酚类代谢的主要酶之一PAL活性密切相关<sup>[50]</sup>。伤诱导PAL活性的动力学特性受果蔬种类、品种、生理状态、环境条件等因素的影响<sup>[51]</sup>。乙烯可以诱导PAL活性增加<sup>[47]</sup>,利用这一特点可以选择合适的加工原材料,推测适度加工果蔬品质下降速率,预计加工品的贮藏寿命,从而作出正确的营销决策,争取最大的经济效益。

### 3 适度加工果蔬的质量控制措施

#### 3.1 原料种类和品种

不同种类的果蔬之间贮藏性差异很大,易腐果蔬的呼吸速率极高,贮藏物质含量少。适度加工的胡萝卜、甜椒、萝卜等耐贮蔬菜呼吸速率较低,为30~40  $\text{IL O}_2/\text{g} \cdot \text{h}$ ;而易腐的青花菜、蘑菇、香菇呼吸非常高,达到264~653  $\text{IL O}_2/\text{g} \cdot \text{h}$ <sup>[52]</sup>。另外,乙烯释放也是影响贮藏寿命的重要因素。不同种间的乙烯释放速率差别可达1000倍以上<sup>[53]</sup>。因此,选择合适的品种保证合适的货架期尤为重要。一些如成熟减慢、组织质地较好、风味增加的突变体或者遗传特性发生改变的种类如番茄的 $R_{in}$ 和 $N_r$ 等是优选的加工材料<sup>[54]</sup>。低温是控制加工果蔬腐败变质的主要途径,对冷害敏感的品种一般不适合做加工原料,因此,最好选择较耐冷的品种。

#### 3.2 原料的生理状态

在生理发育早期采收的菜花、黄秋葵、甜玉米等通常生理代谢强烈,贮藏物质含量低。适度加工后果蔬的乙烯释放和呼吸速率上升,其它代谢也相应得到加强,因而能快速消耗贮存不多的物质,劣变会很快发生<sup>[55,56]</sup>。而大蒜、土豆、冬瓜等在发育晚期采收,生长基本完成,代谢活动相对较弱,伤害的响应容易控制<sup>[16,57]</sup>。

跃变型果实的采收成熟度决定加工品的货架期和食用品质。过早采收,加工果实不能正常后熟,果实品质差;过晚采收果实极易软化,贮藏性差。绿熟

番茄的切片能正常后熟,达到完熟切片的食用品质,而货架期最长<sup>[27]</sup>;桃和油桃果实硬度在18~31 N时为适度加工的最佳生理成熟度<sup>[58]</sup>;但其它果实最适加工成熟度报道尚少。非跃变果实如草莓等,采收时几乎达到完熟状态,果实耐贮性很差。因此,选择合适成熟度的原料,以期获得质量和贮藏寿命的综合平衡,是适度加工果蔬的重点考虑因素。

#### 3.3 加工工艺

苹果、番茄、红薯、豆角、豆芽菜等原料随着伤害程度的加剧乙烯释放量增加<sup>[23]</sup>,贮藏寿命显著下降。加工工具对产品的贮藏寿命也有影响,用锋利的刀加工的莴苣切片,比钝刀加工的莴苣贮藏寿命显著增强<sup>[59]</sup>。切块大小也影响贮藏寿命,切块愈小,呼吸强度愈高,贮藏寿命越短<sup>[52]</sup>。切割的方位也可能影响贮藏寿命。纵切的青椒比横切的青椒品质劣变快<sup>[60]</sup>,因为纵切增加了果胶的溶解性<sup>[61]</sup>。工艺流程对加工果蔬的品质有重要影响。随加工工艺的增多,菠菜的膜脂过氧化程度和膜透性显著增加;离心脱水工艺加剧了叶绿素的损失<sup>[62]</sup>。因此,在原材料的采收、运输、加工、包装等环节要尽量优化加工工艺,减少机械损伤,以期延长加工产品的贮藏寿命。

#### 3.4 低温

严格的温度控制是生产优质耐贮果蔬产品的关键;加工前、中、后低温控制失误会造成产品质量和货架期严重损失。温度每降低10℃,代谢速率会下降2~3倍,因此,鲜切材料在低温下操作可以将乙烯和呼吸速率的上升及其它劣变的生理代谢减到最低。Madrid研究表明降低甜瓜和哈密瓜的加工温度,能降低伤响应引起的乙烯释放和呼吸速率的升高<sup>[63]</sup>。加工过程中材料浸泡在冷水中有利于降低和保持产品温度。温度一般接近0℃较为合适。由于时间较短,几乎可以不考虑冷害的问题。此外,在运输、贮藏、销售环节保持低温可以有效地延缓后熟和其他代谢进程,降低腐烂,抑制乙烯的作用。

#### 3.5 高湿

果蔬经过适度加工后,表面天然的保护层已经除去,因此更易失去水分。适度加工产品常采用塑料薄膜包装来减少水分散失。贮藏环境温度的变动会导致包装袋内水分凝结,而产品仍然会继续失水。因此,加工用的果蔬需要充分预冷,加工过程中要保持良好的温度控制,才能有效地减少水分损失。除了采用塑料薄膜包装外,可考虑应用可食性被膜<sup>[5]</sup>。

#### 3.6 气体组分

调节气体组分可以抑制加工果蔬的代谢活性,抑制呼吸、抑制乙烯的产生与作用,从而保持适度加工果蔬的品质,延长贮藏寿命<sup>[64]</sup>。通常的做法是

果蔬用塑料膜包装,采用自发气调(MAP)或者人工配制最佳气体组分进行包装,延长贮藏期。气调结合低温贮藏能有效地保持适度加工果蔬的品质。鲜切莴苣在 3%  $O_2$  + 10%  $CO_2$  5 环境下可以贮藏 12 d,品质仍然良好,而对照则失去食用价值<sup>[65]</sup>;24 个辣椒品种鲜切后在 10%  $CO_2$  5 下贮藏 12 d,品质良好;而在 5%  $CO_2$  气体条件下的贮藏效果则不太理想<sup>[66]</sup>。但过高的  $CO_2$  促进乙醇和乙醛产生,导致组织软化、食用品质劣变。

包装袋中的乙烯促进加工果蔬的衰老和劣变。将二氯化钾与活性炭混合放入猕猴桃、香蕉包装袋中,乙烯分别从 2  $IL \mu$  和 10  $IL \mu$  降低到 0  $IL \mu$ ,显著抑制了果实软化;二氯化钾能有效抑制鲜切菠菜叶绿素降解<sup>[61]</sup>。

### 3.7 化学药剂

化学药剂处理主要为了控制腐烂、减少褐变、保持果蔬硬度。适度加工中常用次氯酸处理,以减少果蔬的微生物数量;有机酸和山梨酸保持果蔬的低 pH 值环境,抑制细菌和真菌的生长繁殖和褐变的发生。 $SO_2$  和硫化物是最有效的褐变和微生物生长抑制剂,但由于其对人体的毒性,已经禁止在适度加工果蔬上使用<sup>[67]</sup>。目前替代的药剂主要有 2,4,2-羟基-12-己基苯酚、肉桂酸以及维生素 C 结合柠檬酸等<sup>[68]</sup>。2,4,2-羟基-12-己基苯酚是最近发现的抑制褐变最有效的芳香族化合物,能抑制易褐变产品如虾、苹果、土豆、生菜等的褐变,由于其作用专一(只对 PPO 酶作用)、作用浓度低、不具有漂白作用,已经作为抗褐变产品在商业上使用<sup>[69,70]</sup>。

果蔬中的钙具有稳定膜系统维持细胞壁结构的功能<sup>[71]</sup>。钙处理抑制土豆切片乙烷的产生,阻止了脂质过氧化<sup>[72]</sup>。钙或钙与维生素 C 结合处理能有效抑制苹果、梨等果实的褐变;同时钙处理能维持适度加工产品的硬度<sup>[16,17]</sup>。

### 3.8 物理措施

非生物胁迫如 C 辐射和热处理能消除组织的伤响应。切块胡萝卜照射 2 kGy 的 C 射线后,呼吸下降 50%,乙烯下降 80%,糖消耗减半,提高寿命和货架期。1.5 kGy 和 2 kGy 的 C 射线处理降低蘑菇的呼吸速率,显著抑制了褐变、延长货架期<sup>[73]</sup>。瞬时热结合微波处理能强烈抑制多酚氧化酶活性,阻止褐变,保持蘑菇的品质<sup>[74]</sup>。热处理改变胡萝卜组织的伤诱导的分泌蛋白的合成。短期热冲击可以抑制莴苣锈斑形成<sup>[75]</sup>。此外,短期超高压处理加工果蔬能够使蛋白变性,抑制伤响应引起的劣变<sup>[3]</sup>。利用物理方法维持适度加工产品品质是较为有前景的措施之一。

由上所述,优质、耐贮的适度加工果蔬的生产是

一个系统工程。筛选适合加工的种类和品种,良好农业栽培管理措施生产健壮、质优的原料是生产适度加工果蔬的前提,良好的工艺和规范化的操作,严格的卫生要求是关键,果蔬加工前、中、后及销售过程中良好的低温冷链系统和适当的药剂或物理处理是保持适度加工果蔬品质不可缺少的条件。

### [参 考 文 献]

- [1] Aron B. Researchers forecast healthy future for retail fresh-cut sales[J]. *Fresh-Cut*, 1998, 6: 14~15
- [2] Shook GM, Shellhammer TH, Schwartz SJ. Polygalacturonase, pectinesterase, and lipoxygenase activities in high pressure processed diced tomatoes[J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49: 664~668
- [3] Saltveit ME. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables[A]. In: Tomas-Barberan FA (ed). *Phytochemistry of fruits and vegetables*[M]. Oxford Univ Press: Oxford, United Kingdom, 1997, 205~220
- [4] Burton WG. *Post-harvest physiology of food crops* [M]. Longman, London, 1982
- [5] Baldwin EA, Nisperos MO, Baker RA. Use of edible coatings for lightly processed fruits and vegetables[J]. *Hort Sci*, 1995, 30(1): 35~38
- [6] Cameron AC, Talasila PC, Joles DW. Predicting film permeability needs for modified atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables[J]. *Hort Sci*, 1995, 30(1): 25~34
- [7] Bolin HR, Huxsoll CC. Control of minimally processed carrot surface discoloration caused by abrasive peeling[J]. *J Food Sci*, 1991, 56(2): 359~361
- [8] Cineros-Zevallos LA, Saltveit ME, Krochta JM. Hygroscopic coatings control surface white discoloration of peeled carrots during storage[J]. *J Food Sci*, 1997, 62: 363~366
- [9] Malone M, Alarcon JJ, Palumbo L. An hydraulic interpretation of rapid, long distance wound signalling in the tomato[J]. *Planta*, 1994, 193: 181~185
- [10] Hara K, Yagi M, Koizumi N, et al. Screening of wound-responsive genes identifies an immediately expressed gene encoding a highly charged protein in mechanically wounded tobacco plants[J]. *Plant Cell Physiol*, 2000, 41(6): 684~691
- [11] Ryan CA. The system in signaling pathway: differential activation of plant defensive genes[J]. *Biochem Biophys Acta*, 2000, 1477: 112~121
- [12] Shaller A, Frasson D. Induction of wound response gene expression in tomato leaves by ionophores[J]. *Planta*, 2001, 212: 431~435
- [13] Campbell AD, Labavitch JM. Induction and regulation

- ation of ethylene biosynthesis by pectic oligomers in cultured pear cells[J]. *Plant Physiol*, 1991, 97: 699~705
- [14] Wildon D C, Thain J F, Minchin P E H, et al. Electrical signalling and systemic proteinase inhibitor induction in the wounded plant[J]. *Nature*, 1992, 360, 62~ 65
- [15] Stahlberg R, Cogrosvie D J. Comparison of electric and growth responses to excision in cucumber and pea seedlings. Long distance effects are caused by the release of xylem pressure[J]. *Plant Cell Environ*, 1994, 18: 33~ 41
- [16] Izumi H, Watada A E. Calcium treatment to maintain quality of Zucchini Squash slices[J]. *J Food Sci*, 1995, 60(4): 789~ 793
- [17] Gorny J R, Hess-Pierce B, Kader A A. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments[J]. *J Food Sci*, 1999, 64(3): 429~ 432
- [18] Theologis A, Laies G G. Wound-induced membrane lipid breakdown in potato tuber[J]. *Plant Physiol*, 1981, 68: 53~ 58
- [19] Picchioni G A, Watada A E, Roy S, et al. Membrane lipid metabolism, cell permeability, and ultrastructure changes in lightly processed carrots[J]. *J Food Sci*, 1994, 59(3): 597~ 601
- [20] Narvaez-Vasquez J, Florin-Christensen J, Ryan C A. Positional specificity of a phospholipase A activity induced by wounding, systemin and oligosaccharide elicitors in tomato leaves[J]. *Plant Cell*, 1999, 11: 2249~ 2260
- [21] Farmer E E, Johnson R R, Ryan C A. Regulation of expression of proteinase inhibitor genes by methyl jasmonate and jasmonic acid [J]. *Plant Physiol*, 1992, 98: 995~ 1002
- [22] Barckhausen R. Ultrastructural changes in wounded plant storage tissue cells[A]. In: Kahl G (ed). *Biochemistry of Wounded Plant Tissues* [M], New York: Walter de Gruyter, 1978, 1~ 42
- [23] Abeles FB, Morgan P W, Saltveit M E. *Ethylene in plant biology* [M]. 2nd ed. Academic, San Diego. 1992
- [24] Ke D, et al. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce[J]. *Physiol Plant*, 1989, 76: 412~ 418
- [25] Abe K, Saltveit M E. Ethylene absorbent in maintain quality of lightly processed fruits and vegetables [J]. *J Food Sci*, 1991, 56: 1493~ 1496
- [26] Starrett D A, Laties G G. Involvement of wound and climacteric ethylene in ripening avocado discs [J]. *Plant Physiol*, 1991, 97: 720~ 729
- [27] Mencarelli F, Saltveit M E. Ripening of mature green tomato fruit slices[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1988, 113: 742~ 745
- [28] Hikosoph Hadas S, Meir S, Aharoni N. Effect of wounding on ethylene biosynthesis and senescence of detached spinach leaves[J]. *Physiol Plant*, 1991, 83: 241~ 246
- [29] Olson D C, White J A, Eddman L, et al. Differential expression of two genes for 12-aminocyclopropane-12-carboxylate synthase in tomato fruits [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1991, 88: 5340~ 5344
- [30] Bouquin T, Elassere E, Pradier J, et al. Wound and ethylene induction of the ACC oxidase melon gene CMACO1 occurs via two direct and independent transduction pathways[J]. *Plant Mol Biol*, 1997, 35: 1029~ 1035
- [31] Laties G G. The development and control of respiratory pathways in slices of plant storage organs[A]. In Kahl G (ed). *Biochemistry of wounded tissues* [M]. Walter de Gruyter & Co., Berlin. 1978, 421~ 466
- [32] MacLeod R F, Kader A A, Morris L L. Stimulation of ethylene and carbon dioxide production of mature green tomatoes by impact bruising [J]. *Hort Sci*, 1976, 11: 604~ 606
- [33] Rosen J C, Kader A A. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits[J]. *J Food Sci*, 1989, 54: 656~ 659
- [34] Watada A E, Abe K, Yamauchi N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables [J]. *Food Technol*, 1990, 116, 118, 120~ 122
- [35] Rolle R S, Chism G W, . Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables[J]. *J Food Qual*, 1987, 10: 157~ 177
- [36] Saltveit M E, Kasmire R F. Changes in respiration and composition of different length asparagus spears during storage[J]. *Hort Sci*, 1985, 20: 1114~ 1116
- [37] Laurila E, Kervinen R, Ahvenainen R. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits[J]. *Postharvest News and Information*, 1998, 9(4): 53~ 66
- [38] Mehta R A, Parsons B L, Mehta A M. Differential protein metabolism and gene expression in tomato fruit during wounding stress[J]. *Plant Cell Physiol*, 1991, 32: 1057~ 1065
- [39] Stum A. A wound-inducible glycine rich protein from *Daucus carota* with homology to single-stranded nucleic acid binding proteins [J]. *Plant Physiol*, 1992, 99: 1689~ 1692
- [40] Ebener W, Fowler T J, Suzuki H, et al. Expression

- of DcPRP1 is linked to carrot storage root formation and is induced by wounding and auxin treatment[J]. *Plant Physiology*, 1993, 101: 259~ 265
- [41] Hyodo H, Fujiam i H. The effects of 2, 5 $\alpha$ -bornadiene on the induction of activity of phenylalanine ammonia-lyase in the wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*[J]. *Plant Cell Physiology*, 1989, 30: 857~ 860
- [42] Walter M W, Randall Schadel Jr B, Schadel W E. Wound healing in cucumber fruit[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1990, 115: 444~ 452
- [43] Brown G E. Development of greenmold in degreened oranges[J]. *Phytopathology*, 1973, 63: 1104~ 1107.
- [44] Wigginton M J. Effects of temperature, oxygen tension and relative humidity on the wound healing process in the potato tuber[J]. *Potato Res*, 1974, 17: 200 ~ 214
- [45] Lipon W J. Controlled atmosphere for fresh vegetables and fruits—why and when[A]. In Haard N F and Salunkhe D F (eds). *Postharvest biology and handling of fruits and vegetables*[M]. AV I, Westport, Conn, 1975, 130~ 143
- [46] Miller A R. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables[J]. *Postharvest News & Info*, 1992, 3: 53~ 58
- [47] Asanuma H N, Wellington M A, Odutuga A A, et al. effect of short term storage on phenolic content of phenolase and peroxidase activities of cut yam tubers[J]. *J Sci Food Agric*, 1992, 60: 309~ 312
- [48] Dale M F B, Griffiths D W, Bain H. Effect of bruising on the total glycoalkaloid and chlorogenic acid content of potato tubers of five cultivars[J]. *J Sci Food Agric*, 1998, 77: 499~ 505
- [49] Babic I, Amiot M J, Nguyen T C, et al. Changes in phenolic content in fresh ready-to-use shredded carrots during storage[J]. *J Food Sci*, 1993, 58(2): 351 ~ 355
- [50] Couture R, Cantwell M I, Ke D, et al. Physiological attributes related to quality attributes and storage life of minimally processed lettuce[J]. *Hort Sci*, 1993, 28: 723~ 725
- [51] Lopez Galvez G, Saltvelt M E, Cantwell M I. Wound induced phenylalanine ammonia lyase activity: Factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuce[J]. *Postharvest Biol Tech*, 1996, 9: 223~ 233
- [52] 孙伟, 丁宝莲, 虞冠军等. 半加工切割蔬菜生产的生理和品质保持问题[J]. *上海农业学报*, 1999, 15(3): 73~ 76
- [53] Kader A A. Postharvest biology and technology, an overview [A]. In: Kader A A (ed). *Postharvest technology of horticultural crops*[M]. 2nd ed. Univ of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland Publ 3311, 1992, 15~ 20
- [54] Romig W R. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables[J]. *Hort Sci*, 1995, 30: 38 ~ 40
- [55] Risse L A, McDonald R E. Quality of supersweet corn film overwrapped in trays[J]. *Hort Sci*, 1990, 25(3): 322~ 324
- [56] Yamauchi N, Watada A E. Chlorophyll and xanthophyll changes in broccoli florets stored under elevated CO<sub>2</sub> or ethylene-containing atmosphere[J]. *Hort Sci*, 1998, 33: 114~ 117.
- [57] Howard L R, Griffin L E. Quality changes in diced onions stored in film packages[J]. *J Food Sci*, 1994, 59: 110
- [58] Gorny J R, Hess-Pierce B, Kader A A. Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration of fresh cut peach and nectarine slices[J]. *Hort Sci*, 1998, 33: 110~ 113
- [59] Bolin H R, Huxson C C. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce[J]. *J Food Sci*, 1991, 56: 60~ 67.
- [60] Zhou Y F, Abe K, Iwata T. Effect of shredding modes on the deterioration of the quality of partially processed pepper fruits[J]. *Nippon Shokuhin Gogyo Gakkaishi*, 1992, 39: 161~ 166
- [61] Abe K, Yoshimura K, Zhou Y F, et al. Studies on physiological and chemical changes of partially processed sweet pepper fruit (Part 1). Changes of chemical compounds in cut surface of sweet pepper in relation to difference of storability by shredding direction[J]. *J Jpn Soc Cold Preservation Food*, 1992, 17: 146~ 151.
- [62] Hodges D M, Forney F C. Processing line effects on storage attributes of fresh cut spinach leaves[J]. *Hort Sci*, 2001, 35(7): 1308~ 1311.
- [63] Madrid M. Postharvest physiology and quality of intact or lightly processed melon fruit stored in air or controlled atmospheres[D]. University of California, Davis, CA.
- [64] Kader A A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables[J]. *Food Technol*, 1986, 40: 99~ 100, 102~ 104
- [65] Lopez Galvez G, Saltvelt M E, Cantwell M I. The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types[J]. *Postharvest Biol Tech*, 1996, 8: 179~ 190
- [66] Cantwell M. Quality of red and green fresh-cut pepper

- pers during storage[A]. Gorny J R (ed). Fresh-cut fruits and vegetables and MAP [M]. Postharvest Hort Series No. 19, Univ California, Davis, 1998, 152~ 157.
- [67] F D A. Sulfiting agents: Revocation of GRAS status for use in fruits and vegetables intended to be served or sold raw to consumers[R]. Food and Drug Admin, Fed Reg, 1986, 51: 25021~ 25026
- [68] Weller A, Sims C A, Matthews R F, et al. Browning susceptibility and changes in composition during storage of carambola slices[J]. J Food Sci, 62: 256~ 260
- [69] McEvily A J, Iyengar R, Otwell W S, et al. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages[J]. Crit Rev Food Sci & Nutr, 1992, 32: 253~ 273
- [70] Castner M, Gil M I, Arts F, et al. Inhibition of browning of harvested head lettuce[J]. J Food Sci, 1996, 61: 314~ 316
- [71] Poovaiah B W. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables[J]. Food Technol, 1986, 40: 86~ 89
- [72] Evensen K B. Calcium effects on ethylene and ethane production and 12aminocyclopropane-2-carboxylic acid content in potato disks[J]. Physiol Plant, 1984, 60: 125~ 128
- [73] Benoit M A, D'Aprano G, Lacroix M. Effect of  $\text{CO}_2$  irradiation on phenylalanine ammonia lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushrooms (*Agaricus Bisporus*) [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 6312~ 6316
- [74] Devece C R, Rodriguez-Lopez, Fenoll L G, et al. Enzyme inactivation analysis for industrial blanching applications: comparison of microwave, conventional, and combination heat treatments on mushroom polyphenoloxidase activity[J]. J Agric Food Chem, 1999, 47: 4506~ 4511
- [75] Loaiza-Valarde J G, Saltveit M E. Heat shocks applied either before or after wounding reduce browning of lettuce leaf tissue[J]. J Amer Hort Sci, 2001, 126(2): 227~ 234

## Physiological Changes in Fresh-Cut Fruits and Vegetables and Their Quality Controlling Strategies

Peng Litao<sup>1</sup>, Jiang Yueming<sup>1</sup>, Yang Shuzhen<sup>2</sup>

(1. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. College of Horticulture, Northwest Science & Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Fresh-cut fruits and vegetables are important part of food industry and this part increases rapidly in recent years. However, fresh-cut products are more perishable than the intact fruits and vegetables due to the physical injury and physiological responses to wounding. The advances on the physical effects of wounding, the possible wounding signals, and the subsequent events of tissue to wounding such as elevation of respiration and ethylene production, enhancement of wounding healing and secondary metabolism, etc are comprehensively summarized. Several strategical approaches to control or to alleviate those detrimental responses including raw material selection, processing line optimum, chemical and physical treatments, low temperature storage, and modified atmosphere storage are also illustrated and discussed.

**Key words:** fresh-cut fruits and vegetables; physiological responses; quality controlling strategies