

## 果蔬主要挥发性成分与采后生理和品质的关系

潘永贵<sup>1,2</sup> 陈维信<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 华南热带农业大学食品科学与工程系, 儋州 571737; <sup>2</sup> 华南农业大学园艺学院, 广东省果蔬保鲜重点实验室, 广州 510642

## The Primary Volatiles in Fruits and Vegetables and Relation to Postharvest Physiology and Quality

PAN Yong-Gui<sup>1,2</sup>, CHEN Wei-Xin<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Food Science and Engineering, South China University of Tropical Agriculture, Danzhou 571737; <sup>2</sup> College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangdong Province Key Laboratory of Postharvest Physiology and Technology of Fruits and Vegetables, Guangzhou 510642

**提要** 介绍果蔬主要挥发性成分与果蔬采后生理和品质关系的研究进展。

**关键词** 水果; 蔬菜; 挥发性成分; 贮藏; 品质

果蔬生长发育到一定成熟度, 由于机械损伤、加工等导致组织破裂时都可产生某些挥发性成分。这些挥发性成分主要包括酯、醛、酮、醇、萜、酸等。这些物质不仅可以增进果蔬风味, 提高食品的消化率, 而且对于果蔬采后生理、贮藏加工和微生物等都有影响。因此探讨这些挥发性风味成分产生的影响很有必要。本文就这方面的研究情况作一概述。

### 1 醇类化合物

果蔬贮藏环境中氧气浓度过低时, 引起的糖酵解途径大量生成醇类化合物。果蔬组织逐渐成熟或受到机械损伤时, 也会以脂肪酸为前体, 经 $\beta$ -氧化途径或者脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)途径形成大量的醇类风味物质。此外, 通过氨基酸的转氨作用生成的酮酸经过脱羧还原作用可以生成甲醇、异丙醇、3-甲基丁醇和2-甲基丁醇<sup>[1]</sup>。甲醇还可以由果胶甲酯酶分解细胞壁成分时产生<sup>[2]</sup>。

果蔬如果贮藏时间太长或者包装太密闭, 醇类化合物在包装内的聚集, 一方面, 可导致产品产生酒精味; 另一方面, 由于缺氧, 乙醇所积累并刺激过氧化氢酶(catalase, CAT)成倍增加。果蔬组织从缺氧条件下转到空气中时, 乙醇在CAT的作用下生成乙醛, 很多伤害往往与乙醛有关<sup>[3]</sup>。此外, 苹果果实在贮藏过程中, 软斑病(soft scale)

的发生随着组织中己烯醇的积累而增加<sup>[4,5]</sup>; Pepito<sup>[6]</sup>认为, 香蕉果实中的绿软病(green soft disorder, GSD, 即虽然香蕉果实已经变软, 但果皮仍然保持绿色)则是因为乙醇抑制了乙烯诱导的叶绿素降解和乙醛诱导了软化所致, 而乙醇和乙醛的积累则主要是无氧呼吸形成的。

醇类化合物也有一些积极的效应。Kelly等发现, 缺氧条件下, 醇类化合物积累可推迟番茄果实的完熟<sup>[7]</sup>。也有人证明乙醇气体可以延缓花椰菜衰老, 推迟黄化<sup>[8,9]</sup>。Toivonen<sup>[10]</sup>认为, 乙醇能延长花椰菜货架期是与乙醇可抑制乙烯的产生和ACC氧化酶活性有关。乙醇还可以增强果蔬耐冷性, 这可能与乙醇分子进入细胞膜中后, 改变了膜的结构和功能有关<sup>[10]</sup>。此外, 将乙醇注射到香瓜和蜜瓜的种子腔中, 可抑制果实软化<sup>[11]</sup>。

### 2 醛类化合物

醛类化合物在组织中过量积累会对果蔬生理产生不利影响。Janes等<sup>[12]</sup>报道, 乙醛可诱导梨果实的软化, 而且这一过程不需要乙烯的参与。

收稿 2004-05-17 修定 2004-10-25

资助 广州市科技计划项目(2004E2-E0241)。

\*通讯作者(E-mail: chenweix@sti.gd.cn, Tel: 020-85283386)。

后来人们在猕猴桃<sup>[13]</sup>、香蕉<sup>[6]</sup>等果实中也发现类似现象。柿子果实自发气调贮藏过程中,其果实组织内部褐变与乙醛浓度呈正比<sup>[14]</sup>。蓝莓和草莓采用乙醛处理后,呼吸作用升高<sup>[15]</sup>,有人认为这主要与乙醛影响电子传递链中的细胞色素有关<sup>[10]</sup>。乙醛还可与植物蛋白结合,从而阻止含赖氨酸的酶(如葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和核糖核酸酶)的催化活性,而这两种酶都是核酸合成中的重要酶<sup>[4, 10]</sup>。醛类化合物过多,也会影响产品的风味。在草莓果实中乙醛达到 $37.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,便会对产品风味产生不利影响,超过 $157 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 就会对组织造成伤害<sup>[16]</sup>。这在其它果蔬组织中也有。乙醛对风味是否产生不利影响主要取决于乙醛的浓度、组织在乙醛中的时间和组织对乙醛的敏感性。

醛类化合物对果实也有积极影响。Pesis 和 Marinansky<sup>[17]</sup>报道,番茄果实在贮藏前(贮藏温度 $12$ 、 $20^\circ\text{C}$ ),采用乙醛气体处理 $24 \text{ h}$ ,可延缓果实变色,推迟果实完熟,还抑制多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)的活性。以后的研究指出,乙醛可以抑制ACC氧化酶活性上升,因此人们常采用乙醛阻止乙烯的生物合成<sup>[18]</sup>。柿子果实用乙醛处理可以脱涩,这主要是由于乙醛可使单宁发生聚合作用之故,但是如果处理不当,可能会对组织造成伤害<sup>[19]</sup>。鲜切苹果,采用己醛可防止褐变<sup>[20]</sup>,其原因可能与己醛转化成己醇有关,由于脂肪醇可以抑制多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)活性<sup>[21]</sup>。己醛也可能会直接作用于苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL),而PAL是酚类化合物形成的关键性酶<sup>[22]</sup>,因而可直接减少或抑制褐变底物酚类化合物的生成。另外,醛类物质同样是许多香气成分——醛和酯的前体物质,所以有人采用外源乙醛处理果实以增加香味。Pesis 等<sup>[23~25]</sup>用外源乙醛处理橘子、费约果、草莓和葡萄果实后,所有果实的挥发性风味成分生成量都有增加,尤其是草莓果实中内源乙醛和乙醇浓度增加 $3$ 倍。而在葡萄果实中,对于早采而且含有低的可溶性固性物(total soluble solid, TSS)和高酸度的果实,采用乙醛处理后还会增加果实的TSS,降低果实酸度和提高果实的感官品质<sup>[26]</sup>。

醛类化合物的另一个非常重要的作用是它可以抑制许多病原微生物的生长,因而可用于防腐。Pesis 和Avissar<sup>[24]</sup>采用乙醛气体处理草莓后,果实的腐烂推迟。随后,他们又用乙醛气体处理鲜食葡萄,结果由灰霉葡萄孢(*Botrytis cinerea*)、葡枝根霉(*Rhizopus stolonifer*)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)和链格孢(*Alternaria alternata*)引起的腐烂即明显减少<sup>[26]</sup>。Mattheis和Roberts<sup>[27]</sup>分别用乙醛、丙醛、丁醛和戊醛气体处理接种了扩展青霉(*Penicillium expansum*)的甜樱桃,其中,较高浓度的乙醛、丙醛和丁醛可抑制分生孢子发芽,但引起茎干褐变和产生植物毒素。乙醛还可有效抑制从梨果实中分离出来的灰霉葡萄孢、仁果丛梗孢(*Monilia fructicola*)、梨形毛霉(*Mucor piriformis*)和葡枝根霉,抑制程度与醛浓度呈正比<sup>[28]</sup>。醛类化合物的抑菌效果可能与浓度有关。Fallik 等<sup>[29]</sup>发现低浓度( $5.4$ 和 $10.3 \mu\text{mol}$ ) 2-己烯醛明显刺激葡萄孢霉菌丝生长;如要抑制菌丝生长,则需要较高的浓度。

### 3 柑橘类香精油

柑橘类果实的一个重要特点是果皮中含有大量的油胞,这些油胞中含有由各种挥发性风味成分(如柠檬醛、香茅醛、丁子香酚等)组成的香精油。研究表明,香精油中有许多成分具有良好的防腐效果。例如,处于绿色阶段的柠檬果实较老熟变黄的果实腐烂率低。有实验表明这与果皮中精油成分有关<sup>[30]</sup>。因为处于绿色阶段的柠檬果实果皮中含柠檬醛含量较高,以后随着果实成熟度的增加,橙花醇乙酸酯逐渐生成,柠檬醛含量即减少。橙花醇乙酸酯对指状青霉(*Penicillium digitum*)几乎没有抑制效果,而且在浓度低于 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,反而会刺激病原菌的生长<sup>[30]</sup>。Wuryatmo等<sup>[31]</sup>研究用柠檬醛及其异构体香叶醛和橙花醛以及相关化合物对造成柑橘果实采后腐烂的主要真菌指状青霉、意大利青霉(*Penicillium italicum*)和白色地丝菌(*Geotrichum candidum*)的影响的结果表明,柠檬醛和它的两种异构体可抑制这3种病原菌的生长,对其它成分效果则较差。最近, Lanciotti 等<sup>[32]</sup>报道,将橘子、柠檬、酸橙等香精油用于鲜切水果沙拉,可以有效延长产品的货架期,而不会改变产品的感官品质。

在柑橘精油中, Caccioni 等<sup>[33~35]</sup>认为氧化了的单萜具有最高的抗菌活性, 而柠檬醛是最有效的抑制指状青霉和意大利青霉的成分。至于柑橘精油抑菌机制如何, 由于其成分的复杂性和变动性, 这可能与某种成分有关, 也可能与相互拮抗和协同作用有关。Caccioni 等<sup>[36]</sup>提出, 柑橘精油抑菌效果可能是其中各种成分达到一定的量平衡时的结果。

#### 4 茉莉酮酸酯类

茉莉酮酸酯类(jasmonates)在植物中普遍存在, 是许多果实中芳香物质的成分之一, 包括茉莉酮酸(jasmonic acid, JA)和它的甲基酯(methyl jasmonate, MeJA), 是以亚麻酸为前体, 通过脂氧合酶途径生成的。尤其是 MeJA, 目前普遍认为它是重要的细胞调节物之一, 不仅调节各种生长发育进程, 而且还调节由生物性和非生物性胁迫引起的防御性反应。

茉莉酮酸酯类对采后果蔬生理也起作用: (1) 影响成熟。以茉莉酮酸酯处理呼吸跃变期前的苹果, 可以提高 ACC 氧化酶活性, 刺激乙烯生成, 进而促进成熟。MeJA 也可以提高草莓的乙烯产生和呼吸速率。但连续用高浓度茉莉酮酸酯处理则会抑制苹果成熟<sup>[37]</sup>。(2) 减轻病害。MeJA 不仅可以减轻冷害的发生, 还可以抑制侵染性病害的发生。在油梨、葡萄柚、甜椒<sup>[38]</sup>、芒果<sup>[39]</sup>、木瓜<sup>[40]</sup>等果蔬中都发现 MeJA 可以减轻冷害的发生, 其原因可能与 MeJA 诱导热激蛋白产生有关<sup>[41]</sup>; 在侵染性病害中, MeJA 可以抑制草莓果实中由灰霉葡萄孢引起的灰霉腐烂病<sup>[42]</sup>, 降低鲜切芹菜和甜椒中的微生物污染<sup>[43]</sup>; 葡萄柚和木瓜果实中, MeJA 也能有效地抑制真菌腐烂和冷害的发生<sup>[40, 44]</sup>。(3) 提高果实中 PPO 活性。MeJA 可促进 PPO 同工酶活性, 但并不诱导新的同工酶合成<sup>[45]</sup>。

茉莉酮酸酯类物质对果实采后的品质也会产生影响<sup>[45]</sup>: (1) 茉莉酮酸酯处理可以明显地促进苹果果皮中  $\beta$ -胡萝卜素合成和叶绿素降解, 从而促进苹果果皮颜色的变化; (2) MeJA 处理呼吸跃变前的夏红(Summerred)苹果, 能促进酯类、乙醇和乙酸的产生, 但是对跃变后的果实影响很小。用 MeJA 处理贮藏后的金帅苹果, 则会使酯类含量降低, 其中己酯可减少 50%~90%<sup>[46]</sup>。

#### 5 含硫化合物

许多蔬菜中的挥发性成分主要以含硫化合物为主。这些含硫的化合物在植物组织中主要以含硫的氨基酸、多肽、硫代葡萄糖苷和噻吩为前体生成。这些化合物的积累往往会引起产品味变, 产生不良风味。在短时间内引起产品呼吸上升, 打破球茎和根茎休眠<sup>[10]</sup>。因此, 含硫化合物的积累在许多情况下是不利的。这一点在鲜切果蔬中更为重要。由于这些含硫化合物在完整的组织中一般以非挥发性前体物质存在, 所以不会产生很严重的不良后果; 而在鲜切蔬菜中, 尤其如十字花科蔬菜, 由于切割导致细胞破裂, 引起一些非挥发性前体物质会和相应的酶接触, 形成含硫化合物。而鲜切产品一般都需要包装, 很容易在包装内积累大量的含硫化合物, 对此应十分重视。

甲硫醇是许多十字花科蔬菜的挥发性成分之一。花椰菜在缺氧条件下或切割时会生成大量的甲硫醇<sup>[47, 48]</sup>。在低氧气体贮藏中, 花椰菜组织中甲硫醇的释放随着游离氨基酸的积累而增加<sup>[49]</sup>, 从而引起变味。但是也有研究指出, 在未包装的花椰菜中, 甲硫醇并不明显, 这可能与挥发到周围环境中有关。对大部分十字花科蔬菜, 甲硫醇释放主要发生在组织被切割或受到伤害时。甲硫醇在包装内的大量积累, 除了可能引起产品变味外, 也会对产品生理过程产生影响。有研究发现, 甲硫醇可以抑制体内和体外的细胞色素 C 和 CAT 的活性, 因而随着 CAT 活性的降低, 组织容易受过氧化伤害<sup>[50]</sup>。

甲硫醇非常不稳定, 可以迅速氧化生成二甲基二硫化物(dimethyl disulfide)。有人在草莓果实中发现, 二甲基二硫化物和二甲基三硫化物熏剂处理后, 果实中乙基酯类风味成分增加 5~90 多倍, 而另外一些品质指标如颜色和硬度则不受影响<sup>[51]</sup>。

有些蔬菜(如洋葱、大蒜、白菜等)还会生成异硫氰酸酯及其衍生物烯丙基异硫氰酸酯等。它们具有强烈的抗菌作用, 但是会对产品风味产生不良影响, 所以, 烯丙基异硫氰酸酯等在目前主要作为农业杀虫剂使用。对异硫氰酸酯来说, 推测其抗菌活性可能与氧化裂解二硫键钝化细胞外酶有关, 反应性硫氰酸盐的自由基可增加抗菌活

性, 它们对果蔬生理也会产生一定的影响。Delaquis和Mazza<sup>[52]</sup>认为烯丙基异硫氰酸酯可能是细胞色素C氧化酶潜在的抑制剂, 可能会促进抗氰呼吸途径, 加快果蔬成熟衰老。其作用机理可能与酶蛋白作用有关, 目前认为烯丙基异硫氰酸酯主要作用于硫醇的二硫键和末端氨基酸基团(如半胱氨酸和精氨酸)<sup>[52]</sup>。

在十字花科中, 尤其是芸薹属蔬菜, 还会产生一种异硫氰酸的剧毒含硫化合物, 植物组织中这类化合物达到 30 mg·L<sup>-1</sup>时就会产生剧毒。但这一一般在组织发生破裂时才会大量增加, 有报道认为卷心白菜在切割时异硫氰酸释放量会超过 30 mg·L<sup>-1</sup>。一般蔬菜组织中含量都很低<sup>[53]</sup>。

## 6 萜烯类挥发性成分

萜烯类化合物是许多水果中的重要香气成分。在果蔬组织中则主要是单萜和倍半萜。如在不同的芒果品种中, 单萜和倍半萜化合物占主要挥发性成分的 70%~90%<sup>[54]</sup>。苹果组织中也含有大量的萜烯类挥发性物质。萜烯类化合物在果蔬组织中往往是重要的次生性防御物质, 这些物质是重要的抗真菌和抗细菌病原微生物物质, 对许多昆虫也有毒。萜烯类挥发性风味成分可能对部分果蔬组织会产生不利影响。在苹果果实中, 目前普遍认为虎皮病的产生与倍半萜烯化合物—— $\alpha$ -法呢烯有关。苹果产生法呢烯的高峰, 往往也是虎皮病发生的敏感时期, 所以, 虎皮病的发生可能主要是法呢烯氧化物共轭三烯积累的结果<sup>[55]</sup>。

总之, 果蔬挥发性成分种类繁多, 这些成分与果蔬采后生理和品质有密切关系。相信, 今后随着科学技术, 尤其是分析检测技术和分子生物学技术的发展, 将会发现越来越多的挥发性成分, 人们对这些成分影响果蔬采后生理和品质的认识也将逐步深入。

## 参考文献

- Salunkhe DK, Do JY. Biogenesis of aroma constituents of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1976, 8: 161~189
- Nemcek-Marshall M, MacDonald RC, Franzen JJ et al. Methanol emission from leaves. *Plant Physiol*, 1995, 108: 1359~1368
- Perata P, Vernieri P, Armellini D et al. Immunological detection of acetaldehyde—protein adducts in ethanol-treated carrot cells. *Plant Physiol*, 1992, 98: 913~918
- Wills RBH. Hexanol and hexyl acetate and soft scald of apples. *Phytochemistry*, 1970, 9: 1035~1036
- Wills RBH. Relationship between hexanol levels in apples and the development of soft scald. *J Hort Sci*, 1973, 48: 165~168
- Pepito FB. Green soft disorder (GSD) of 'Saba' banana. *PCARRD Highlights* 2001, 2002: 88~89
- Saltveit ME, Sharaf AR. Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *J Am Soc Hort Sci*, 1992, 117: 793~798
- Corcuff R, Arul J, Hamza F et al. Storage of broccoli florets in ethanol vapor enriched atmospheres. *Post Biol Technol*, 1996, 7:219~229
- Suzuki Y, Uji T, Terai H. Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapor from alcohol powder. *Post Biol Technol*, 2004, 31: 117~182
- Toivonen PMA. Non-ethylene, non-respiratory volatiles in harvested fruits and vegetables: their occurrence, biological activity and control. *Post Biol Technol*, 1997, 12:109~125
- Ritenour MA, Mangrich ME, Beaulieu JC et al. Ethanol effects on the ripening of climacteric fruit. *Post Biol Technol*, 1997, 12:35~42
- Janes HW, Frenkel C. Promotion of softening processes in pear by acetaldehyde, independent of ethylene action. *J Am Soc Hort Sci*, 1978, 103:397~400
- Mencarelli F, Savarese P, Saltveit ME Jr. Ripening of kiwi-fruit exposed to ethanol and acetaldehyde vapors. *HortSci*, 1991, 26:566~569
- Pesis E, Levi A, Ben-Arie R. Role of acetaldehyde production in the removal of astringency from persimmon fruits under various modified atmospheres. *J Food Sci*, 1988, 53: 153~156
- Janes HW, Chin C-K, Frenkel C. Respiratory upsurge in blueberries and strawberries as influenced by ethylene and acetaldehyde. *Bot Gaz*, 1978, 139:50~52
- Ke D, Goldstein L, O'Mahony M et al. Effects of short-term exposure to low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> atmospheres on quality attributes of strawberries. *J Food Sci*, 1991, 56:50~54
- Pesis E, Marinansky R. Inhibition of tomato ripening by acetaldehyde vapour or anaerobic conditions prior to storage. *J Plant Physiol*, 1993, 142:717~721
- Burdon J, Dori S, Marinansky R et al. Acetaldehyde inhibition of ethylene biosynthesis in mango fruit. *Post Biol Technol*, 1996, 8:153~161
- Ben-Arie R, Zutkhi Y, Sonogo L et al. Modified atmosphere packaging for long-term storage of astringent persimmons. *Post Biol Technol*, 1991, 1:169~179
- Corbo MR, Lanciotti R, Gardini F et al. Effects of hexanal, (E)-2-hexenal, and storage temperature on shelf life of fresh sliced apples. *J Agr Food Chem*, 2000, 48:2401~2408
- Valero E, Varon R, Garcia-Carmona F. Inhibition of grape polyphenol oxidase by several aliphatic alcohols. *J Agr Food Chem*, 1990, 38:1097~1103

- 22 Lanciotti R, Corbo MR, Gardini F et al. Effect of hexanal on the shelf-life of fresh apple slices. *J Agr Food Chem*, 1999, 47:4769~4776
- 23 Pesis E, Marinansky R, Avissar I. Effect of prestorage treatments with acetaldehyde vapors or anaerobic conditions on volatiles accumulation during storage of various fruits. *Acta Hortic*, 1989, 258:661~667
- 24 Pesis E, Avissar I. Effect of postharvest application of acetaldehyde vapour on strawberry decay, taste and certain volatiles. *J Sci Food Agr*, 1990, 52(3):377~385
- 25 Pesis E. Acetaldehyde vapors influence postharvest quality of table grapes. *Hortic Sci*, 1989, 24(2):315~317
- 26 Avissar I, Pesis E. The control of postharvest decay in table grapes using acetaldehyde vapours. *Ann Appl Biol*, 1991, 118(1):229~237
- 27 Mattheis JP, Roberts RG. Fumigation of sweet cherry (*Prunus avium* Bing) fruit with low molecular weight aldehydes for postharvest decay control. *Plant Disease*, 1993, 77(8):810~814
- 28 El Sheikh Aly MM, Baraka MA, El Sayed Abbass AG. The effectiveness of fumigants and biological protection of peach against fruit rots. *Assiut J Agr Sci*, 2000, 31(5):19~31
- 29 Fallik E, Archbold DD, Hamilton-Kemp TR et al. (*E*)-2-hexenal can stimulate *Botrytis cinerea* growth *in vitro* and on strawberries *in vivo* during storage. *J Am Soc Hortic Sci*, 1998, 123(5):875~881
- 30 Rodov V, Ben-Yehoshua S, De-Qui-Fang et al. Preformed antifungal compounds of lemon fruit: citral and its relation to disease resistance. *J Agr Food Chem*, 1995, 43(4):1057~1061
- 31 Wuryatmo E, Klieber A, Scott ES. Inhibition of citrus postharvest pathogens by vapor of citral and related compounds in culture. *J Agr Food Chem*, 2003, 51(9):2637~2640
- 32 Lanciotti R, Gianotti A, Patrignani F et al. Use of natural aroma compounds to improve shelflife and safety of minimally processed fruits. *Trends Food Sci Technol*, 2004, 15:201~208
- 33 Caccioni DRL, Deans SG, Ruberto G. Inhibitory effect of citrus fruits essential oil components on *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum*. *Petria*, 1995, 5:177~182
- 34 Caccioni DRL, Deans SG. Action of citrus fruits essential oils on germination of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. In: International Symposium on Industrial Crops and Products, Pisa, Italy, 1993. 22~24
- 35 Caccioni DRL, Guizzardi M. Inhibition of germination and growth of fruit and vegetables post-harvest pathogenic fungi by essential oil components. *J Essential Oil Res*, 1994, 6:173~179
- 36 Caccioni DRL, Guizzardi M, Biondi DM et al. Relationships between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Inter J Food Microbiol*, 1998, 43:73~79
- 37 薛炳焯, 姚胜蕊. 茉莉酮酸酯类及其在果树上的应用. *落叶果树*, 1999(2):12~13
- 38 Meir S, Philosoph-Hadas S, Lurie S et al. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Can J Bot*, 1996, 74:870~874
- 39 González-Aguilar GA, Fortiz J, Cruz R et al. Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality of mango fruit. *J Agr Food Chem*, 2000, 48:515~519
- 40 González-Aguilar GA, Buta JG, Wang YC. Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya 'Sunrise'. *Post Biol Technol*, 2003, 28:361~370
- 41 Ding CK, Wang CY, Gross KC et al. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Sci*, 2001, 161:1153~1159
- 42 Moline HE, Buta JG, Saftner RA et al. Comparison of three volatile natural products for the reduction of postharvest decay in strawberries. *Adv Strawberry Res*, 1997, 16:43~48
- 43 Buta JG, Moline HE. Methyl jasmonate extends shelf life and reduces microbial contamination of fresh-cut celery and peppers. *J Agr Food Chem*, 1998, 46:1253~1256
- 44 Droby S, Porat R, Cohen L et al. Suppressing green mold decay in grapefruit with postharvest jasmonate application. *J Am Soc Hortic Sci*, 1999, 124, 184~188
- 45 Cheong JJ, Choi YD. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. *Trends Genet*, 2003, 19:409~413
- 46 Olías JM, Sanz LC, Ríos JJ et al. Inhibitory effect of methyl jasmonate on the volatile esterforming enzyme system in golden delicious apples. *J Agr Food Chem*, 1992, 40:266~270
- 47 Chin HW, Lindsay RC. Volatile sulfur compounds formed in disrupted tissues of different cabbage cultivars. *J Food Sci*, 1993, 58:835~841
- 48 Forney CF, Mattheis JP, Austin RK. Volatile compounds produced by broccoli quality during postharvest storage. *J Agr Food Chem*, 1991, 39:2257~2259
- 49 Di Pentima JH, Ríos JJ, Clemente A et al. Biogenesis of off-odor in broccoli under low-oxygen atmosphere. *J Agr Food Chem*, 1995, 43:1310~1313
- 50 Finkelstein A, Benevenga NJ. The effect of methanethiol and methionine toxicity on the activities of cytochrome c oxidase and enzymes involved in protection from peroxidative damage. *J Nutr*, 1986, 116:204~215
- 51 Hamilton-Kemp TR, Archbold DD, Collins RW et al. Two volatile sulfur compounds promote increases in natural aroma compounds in strawberry. *Acta Hortic*, 2002, 567(2):775~777
- 52 Delaquis PJ, Mazza G. Antimicrobial properties of isothiocyanates in food preservation. *Food Technol*, 1995, 49(11):73~84
- 53 Kawakishi S, Toshiyaki T. Interaction of proteins with allyl isothiocyanate. *J Agr Food Chem*, 1987, 35:85~88
- 54 Winterhalter P. Fruit IV. In: Maarse H (ed). *Volatile Compounds in Foods and Beverages*. New York: Marcel Dekker, 1991. 389~409
- 55 刘道宏. 果蔬采后生理. 北京: 中国农业出版社, 1995. 89~91