植物学通报 2004, **21** (5): 631~637
Chinese Bulletin of Botany

专 题 介 绍

果实香气形成及其影响因素①

乜兰春② 孙建设 黄瑞虹

(河北农业大学园艺学院 保定 071001)

摘要 综述了苹果(*Malus domestica* Borkh.)、草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)、香蕉(*Musa paradisiaca*)、甜瓜(*Cucumis melon* L.)和番茄(*Lycopersicon esculentum* L.)等果实香气的化学成分、主要合成途径及其影响因素。果实的香气物质主要包括酯类、醇类、酮类、醛类、萜类和挥发性酚类物质等，这些物质主要由脂肪酸、氨基酸和次生代谢产生。品种、成熟度、乙烯、环境和栽培措施(光照、砧木、套袋和灌溉等)以及采后贮藏条件均影响果实香气的形成。

关键词 果实，香气成分，酯类物质，合成，影响因素

The Biosynthesis and Affecting Factors of Aroma in Some Fruits

NIE Lan-Chun② SUN Jian-She HUANG Rui-Hong

(*Horticulture College, Agriculture University of Hebei*, Hebei 071001)

Abstract The synthesis pathway and affecting factors of aroma compounds in some fruits including apple, strawberry, banana and tomato, were reviewed in this paper. The main aroma compounds covered esters, alcohols, aldehydes, ketones, terpenes and volatile phenols. They are synthesized from fatty acids, amino acids and secondary metabolism and affected by variety, mature degree, ethylene, environmental and agronomic factors such as light, stocks, bagging, irrigation, and postharvest conditions.

Key words Fruit, Aroma components, Esters, Biosynthesis, Affecting factors

许多果实具有香气，怡人的香气是果品吸引消费者和增强市场竞争力的重要因素之一。随着国际市场对果品品质要求越来越高以及食品工业对天然风味物质需求的增加，果品香气日益受到关注。特别是近年来，随着气谱 - 质谱联用(GC-MS)分析测试技术的发展，香气已成为果品品质的重要研究领域之一。国外学者对许多果实香气的化学成分、合成途径及其影响因素进行了大量研究，我国这方面的研究报道尚不多。本文综述了苹果(*Malus domestica* Borkh.)、草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)、香蕉(*Musa paradisiaca*)和番茄(*Lycopersicon esculentum* L.)等果实香气的最新研究进展，以期为这一领域的深入研究和全面提高我国果品品质提供参考和依据 。

①国家教委优秀青年教师基金资助。
②通讯作者。Author for correspondence. E-mail: nlch6444@sina.com
收稿日期：2003-08-02 接受日期：2004-02-02 责任编辑：白羽红

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

1 果实的主要香气成分

果实的香气源于某些挥发性物质。果实挥发性物质种类很多，目前番茄已鉴定出400多种(Tandon *et al.*, 2000)，苹果350多种(Yahia, 1994)，厚皮甜瓜(*Cucumis melon* L.) 90多种(Wyllie and Leach, 1992)。但只有含量超过其味感阈值的少数物质对果实的风味起重要作用。构成果实香气的物质主要包括酯类、醇类、醛类、萜类和挥发性酚类物质等。

1.1 酯类物质

低分子酯类物质是苹果、草莓、梨(*Pyrus bretschneideri* Rehd.)、甜瓜、香蕉和甜樱桃(*Prunus avium* L.)等许多果实香气的主要成分(Ueda *et al.*, 1992; Bernalte *et al.*, 1999; 汪秋安和碧云, 2002)。苹果挥发性物质中，低分子酯类物质占78%~92%，以乙酸、丁酸和己酸分别与乙醇、丁醇和己醇形成的酯类为主(Dixon and Hewett, 2000)。菠萝(*Ananas comosus* Merr.)挥发性成分中酯类物质占44.9%(Teai *et al.*, 2001)。构成草莓香气的酯类以甲酯和乙酯为主(Perez *et al.*, 1992)。厚皮甜瓜挥发性物质中乙酸乙酯占50%以上，乙酸酯类特别是乙酸乙酯在甜瓜香气形成中起重要作用(Wyllie and Leach, 1992)。

在构成果实香气的低分子酯类中，一部分为甲基或甲硫基支链酯，如苹果挥发性物质中含有较多的乙酸-2-甲基丁酯、2-甲基丁酸乙酯和2-甲基丁酸丁酯等，它们具有典型的苹果香味，且味感阈值很低，其中2-甲基丁酸乙酯的味感阈值仅为0.1×10^{-6} mL·L^{-1}(V/V)，被认为是苹果的重要香气成分之一(Rowan *et al.*, 1996)。甲硫基乙酸甲酯、甲硫基乙酸乙酯、乙酸-2-甲硫基乙酯、3-甲硫基丙酸甲酯、3-甲硫基丙酸乙酯和乙酸3-甲硫基丙酯等6种硫酯被认为是甜瓜的重要香气成分。3-甲硫基丙酸甲酯和3-甲硫基丙酸乙酯对菠萝风味影响较大。某些草莓品种和柑橘挥发性物质中也含有硫酯(Wyllie and Leach, 1992；Tamura, 2000)。

大枣(*Zizyphus jujube* Mill.)的挥发性成分主要为高分子酯类物质，以棕榈烯酸乙酯、肉豆蔻烯酸乙酯、亚油酸乙酯、棕榈酸乙酯、油酸乙酯、月桂酸乙酯和肉豆蔻酸乙酯等的含量较高(穆启运和陈锦屏, 2001)。

1.2 醇类、酮类和醛类物质

番茄果实挥发性物质以醇类、酮类和醛类物质为主，主要有顺-3-己烯醛、己烯醛、己烯醇、顺-3-己烯醇、1-庚烯-3-酮、3-甲基丁醇、3-甲基丁醛、丙酮、2-庚烯醛(Tandon *et al.*, 2000)。苹果中的醇类物质占总挥发性物质的6%~12%，主要醇类为丁醇和己醇，还有少量酮类和醛类物质(Yahia, 1994)。甜瓜未成熟果实中存在大量中链醇和醛类物质(Shalit *et al.*, 2001)。

1.3 挥发性酚类物质

丁香醇、丁香醇甲酯及其衍生物等酚类物质大量存在于成熟香蕉果实的挥发性物质中(Tressl and Drawert, 1973)。葡萄挥发性物质中含有苯甲醇、苯乙醇、香草醛、香草酮及其衍生物(Bureau *et al.*, 2000)。草莓成熟果实中也发现有肉桂酸的衍生酯，以甲酯和乙酯为主，它们的前体物质为1-O-反式肉桂酰-β-D-吡喃葡萄糖(Latza *et al.*, 1996)。甜瓜中含有乙酸苯酯类物质(Shall *et al.*, 1994); 番茄的香气成分中有2-苯基乙醇(Tandon *et al.*, 2000) 。

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

1.4 萜类

萜类物质是葡萄香气的重要组成部分，Okamoto等(2001)从葡萄挥发性物质中鉴定出36种单萜类物质，并认为沉香醇和牦牛儿醇为其主要香气成分。葡萄挥发性物质中还含有C_{13}异戊二烯类物质(Bureau *et al.*, 2000)。

2 果实香气物质的合成

果实的主要香气物质来源于脂肪酸、氨基酸和次生代谢。

2.1 脂肪酸氧化

果实香气成分中直链脂肪族醇、醛、酮和酯类物质主要来源于脂肪酸氧化。苹果成熟前果实游离脂肪酸含量很低，果实香气也很少；随着果实成熟，脂肪酸特别是油酸、亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸含量增加，果实香气增多。‘Cox's orange pippin’成熟果实中亚麻酸和亚油酸含量分别达总脂肪酸的50%和10%~25%，果实呼吸高峰过后，香气大量产生，亚麻酸、亚油酸含量也随之下降(Dixon and Hewett, 2000)。果实中的脂肪酸经β氧化产生的酮酸和酰基-CoA可被进一步还原成醛和醇，用于合成酯类。外源C_4-C_8脂肪酸在苹果果实中形成C_{n-2}、C_{n-4}的酯类物质(Dixon and Hewett, 2000)，^{14}C标记的脂肪酸在香蕉果实中也转化成了相应的醇和酯类物质(Tressl and Drawert, 1973)，说明成熟果实中存在活跃的脂肪酸β氧化。Dixon和Hewett(2000)认为苹果不同品种脂肪酸β氧化酶活性和专一性决定着丁酸向乙酸的转化速率和丁酸酯与乙酸酯的比例。

果实成熟期间，脂肪酸也可通过脂氧合酶(LOX)直接氧化，形成C_6醛及相应的醇和酯类。Angerosa 和 Basti(2001)研究表明，橄榄(*Canarium album* Raeusch.)果实成熟过程中，其挥发性物质中来自亚麻酸脂氧合途径的C_6化合物持续增加。苹果香气在呼吸跃变期产生最多，此时LOX活性也最高。用脂氧合产物己烯醛和己酸气体处理苹果,苹果的己酯、丁酯和乙酯会显著增加(Dixon and Hewett, 2000)。用2 mg·g^{-1} FW的外源亚麻酸和亚油酸处理番茄果实,其挥发性物质中的己烯醛分别增加12倍和14倍(Boukobza *et al.*, 2001)。

2.2 氨基酸代谢

果实香气成分中支链脂肪族醇、醛、酮和酯类物质主要来源于氨基酸代谢,氨基酸通过转氨作用形成支链酮酸，经脱羧或脱氢,形成支链醇和酰基-CoA，进而形成支链酯类物质。参与香气合成的氨基酸主要有缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、半胱氨酸和苯丙氨酸等。其中缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和丙氨酸为甲基支链酯合成的前体物质。香蕉成熟过程中亮氨酸和缬氨酸含量增加了3倍，而其他氨基酸含量稳定。^{14}C标记试验表明，亮氨酸在香蕉果实中转化为3-甲基-1-丁醇、3-甲基丁酯、3-甲基丁酸和酮异己酸；缬氨酸转化为2-甲基-1-丙醇、乙酸2-甲基丙酯、2-甲基丙酸和酮异戊酸(Tressl and Drawert, 1973)。草莓‘Chandler’在产生大量酯类香气过程中缬氨酸含量由最高时的16.7 mg·100 g^{-1}下降到1.6 mg·100 g^{-1}(Pérez *et al.*, 1992)。Wang 等(1996)研究表明，在甜瓜成熟过程中，伴随氨基酸含量显著增加，香气也大量产生，且作为氮转移物质的谷氨酰胺呈先增加后下降的趋势，表明香气形成伴随着活跃的氮转移过程。半胱氨酸是甜瓜及其他果实香气中硫酯合成的前体物质。苯丙氨酸作为挥发性酚类物质的合成前体，在香蕉成熟过程中显著增加；草莓不含酚类香气，成熟期间苯丙氨酸含量没有变化(Pérez *et al.*, 1992)。

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

氨基酸代谢酶活性及其底物专一性影响支链醇和酯的种类与含量。体外供应异亮氨酸，苹果‘红元帅’将其转化为2-甲基丁醇、2-甲基丁酸酯和2-甲基乙酸丁酯；而‘Grany smith’只形成了2-甲基乙酸丁酯。亮氨酸和异亮氨酸在苹果‘Bratbum’、‘Grany smith’、‘富士’、‘红元帅’和‘Royal Gala’中的代谢速率显著不同(Dixon and Hewett, 2000)，表明不同品种支链醇和酯类香气物质的产生受氨基酸代谢酶对底物选择性的影响。

2.3 由醛、醇到酯类

脂肪酸和氨基酸代谢产生的醛在醇脱氢酶(ADH)的作用下，形成醇类物质。苹果中的ADH以NAD和NADH为辅因子，品种‘Cox's Pippin’的醇脱氢酶体外在pH 5.5~6.0时，将醛还原成醇；在pH 7.0~10.0时将醇氧化为醛，在苹果果实中对乙醛的亲和力是对乙醇亲和力的13倍(Dixon and Hewett, 2000)。

酯类物质的合成则由醇和酰基-CoA在醇酰基转移酶(AAT)的作用下合成，这一过程为需氧过程。因而酯类物质在果实表皮合成最活跃。AAT在不同果实中的生化特性相似，表现最大活性的温度为30℃，pH为7~8.5 (Dixon and Hewett, 2000)。AAT活性及其对底物的选择性影响果实香气成分中酯类的含量和种类。Pérez等(1996)对4个草莓品种果实成熟期间AAT活性的研究表明，各品种AAT活性均随果实成熟而增加，但不同品种最大活性差异很大，‘Os0 Grande’最高，为55 $mU \cdot g^{-1}$ FW, 而‘I-101’最低，仅为25 $mU \cdot g^{-1}$ FW，其风味也最差。缺乏香气的甜瓜品种‘Rochet’果实无AAT活性。草莓AAT对相同碳数的直链醇比支链醇活性大，其最适底物为乙酰-CoA、丁酰-CoA和己醇。香蕉果实AAT最适底物为乙酰-CoA、丙酰-CoA和丁醇，而对丁酰-CoA活性很低(Ueda *et al.*, 1992；Pérez *et al.*, 1993)。

醇的供应被认为是AAT催化酯类合成的限制因子，体外供应丁醇，苹果果实的乙酸丁酯和丁酸酯类合成增加，体外供应乙醇和己醇则促进乙酯和己酯的合成(Dixon and Hewett, 2000)。用2-甲基丁醇处理香蕉果实1 h，可使香蕉形成大量的乙酸2-甲基丁酯和异戊酸(Wyllie and Fellman, 2000)。

2.4 次生代谢

挥发性酚类和萜类物质均为次生代谢物质。丁香醇及其衍生物、香草醛、香草酮以及肉桂酸的衍生酯均由苯丙氨酸经莽草酸途径形成。番茄中的紫罗兰香酮和葡萄(*Vitis vinifera* L.)中的萜类物质由胡萝卜素代谢产物形成；番茄中的6-甲基庚烯酮、丙酮及四甲基丙酮则由番茄红素代谢产物形成(Tandon *et al.*, 2000)。

3 果蔬香气形成的影响因素

3.1 品种

果实种类不同香气成分存在较大的差异，同一种类的不同品种之间也存在基因型差异。苹果品种‘金冠’、‘乔纳金’、‘Jubile belbar’、‘Elstar’和‘Cox's pippin’含较多的乙酸丁酯和乙酸己酯；‘Nico’、‘Grany Smith’、‘Panlared’和‘Summerred’含较多的丁酸己酯和己醇；而‘Boskoop’和‘Jacques lebel’含较多的法呢烯和2-甲基丁酸己酯(Dixon and Hewett, 2000)。‘Cox's pippin’挥发性成分中丁醇与乙酸丁酯的比值为0.08；而‘Royal Gala’为3.0(Young *et al.*, 1996)。草莓不同品种甲酯和乙酯含量不同，‘Gorella’等品种的甲酯含量占总酯类60%~70%，‘Confieura’含有较多的乙酯，其含量

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

占总酯类 50% 左右，甲酯仅占 25% 左右(Pérez *et al.*, 1992)。

3.2 果实成熟度

果实香气物质是随着果实的成熟而产生的，对苹果、梨和香蕉等呼吸跃变型果实研究表明，绝大多数香气物质是在呼吸跃变开始之后大量产生的。如洋梨(*Pyrus communis* L.)的特征香气成分 2,4-癸二烯酸酯的生成量在呼吸和乙烯生成量达到高峰后的 2 ~ 3 d 内升到最高值，这时洋梨吃起来滋味也最好(汪秋安和碧云, 2002)。Yahia(1994)报道苹果的香气物质丁酸乙酯、丁酸丙酯、己酸丁酯、己酸己酯、2-甲基丁酸乙酯和 2-甲基丁酸己酯等也是随着成熟迅速产生的，未成熟果实几乎不含这些物质。Song 等(1994)和 Bangerth 等(1998)研究表明，早采苹果(呼吸高峰前 4 周)的香气很少，总量不足呼吸高峰期采收果实的 1/10。草莓果实在成熟前缺乏酯类，花后 36~41 d 进入成熟阶段才开始形成酯类，果实不同成熟阶段，酯的种类含量也有差异，花后 36 d 的果实己酯占总酯的 25% 左右，到花后 46 d，仅占 4.8%，成熟果实以甲酯和乙酯为主(Pérez *et al.*, 1992)。

3.3 乙烯

乙烯可以通过增强呼吸，为脂肪酸和氨基酸代谢提供能量和物质保证，促进果实香气的产生。甜瓜果实有呼吸跃变型和非跃变型，跃变型果实能产生大量乙烯，往往有很浓的香气；而非跃变型果实释放的乙烯少，香气也很少。‘Arava’为跃变型，未成熟时其挥发性物质以中链醛和醇为主，发生跃变后，作为甜瓜主要香气成分的乙酸酯类占总挥发性物质的 77%。而‘Rochet’为非跃变型，其成熟前后挥发性物质均以短链或中链的醛或醇为主，变化很小(Shalit *et al.*, 2001)。用乙烯利处理采后的苹果，可促进其香气的形成，且支链酯的增加早于直链酯，表明乙烯利对某些氨基酸积累的促进作用早于脂肪酸(Song and Bangerth, 1994)。

3.4 环境条件和栽培措施

环境条件和栽培措施对果蔬香气形成影响的研究报道尚不多。果实香气物质多少，与果实成熟期间的光照条件有关。Miller 等(1998)研究了果面光照强度对苹果‘Starkrimson’和‘Topred’挥发性物质的影响，结果表明，酯类在花后 165 d 时形成很少，受光照影响也小，花后 179 d，酯类物质含量最高，两品种果实均在光强为充分光照 53% 的条件下酯类形成最多。果实的位置也影响香气，位于树冠南面和西面的果实比东面和北面的果实酯类物质合成多。Bureau(2000)研究了葡萄人工遮光、充分光照和枝叶自然遮光对葡萄香气的影响，结果表明，人工遮光降低了葡萄中萜类等香气物质的含量，而自然遮光对萜类和挥发性酚类物质无显著影响，并认为果穗所处的环境条件(温和光)比枝条所处的环境条件对果实香气的影响更大。牛自勉等(1996)研究表明，矮化砧可显著增加苹果的香气，而套袋使苹果香气减少(卜万锁和牛自勉, 1998)。Mpelasoka 等(2002)报道缺水管理的果实在成熟时，香气与对照无显著差异，但贮藏期间香气较对照增加。而负载量对果实香气无显著影响。

3.5 贮藏条件

果蔬经过贮藏后，新鲜香气往往会变淡或消失。苹果较耐贮藏，贮藏期间香气生成量在 0~30℃范围内随着温度的升高而增加，达到高峰后，逐渐减少。低温和气调贮藏抑制香气的产生，Fan 等(1999; 2001)用 1-甲基环丙烯(1-MCP)、茉莉酸甲酯及离子辐射处理，均抑制苹果香气的形成，其机理是抑制了乙烯的产生和呼吸作用。但苹果若给予低氧常温(大于 20℃)

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

的短期(数小时到几天)处理，由于果实因无氧呼吸积累大量酯类合成的前体物质醛类和醇类，回到空气后会促进果实合成大量的酯类香气物质(Dixon and Hewett, 2000)。对于苹果和香蕉等果实，贮藏期间用香气前体物质的气体处理，可显著增加其香味，使果实具有优质和谐的香气(汪秋安和碧云, 2002)。

参 考 文 献

卜万锁, 牛自勉, 1998. 套袋处理对苹果芳香物质含量及果实品质的影响. 中国农业科学, **31**(6):88~90

牛自勉, 王贤萍, 孟玉萍, 林桂荣, 许月明, 1996. 不同砧木苹果品种果肉芳香物质的含量变化. 果树科学, **13**(3): 153~156

汪秋安, 碧云, 2002. 水果在成熟与贮藏时香气的形成与变化. 香料香精化妆品, (4):42~47

穆启运, 陈锦屏, 2001. 红枣挥发性物质在烘干过程中的变化研究. 农业工程学报, **17**:251~255

Angerosa F, Basti C, 2001. Olive oil volatile compounds from the lipoxygenase pathway in relation to fruit ripeness. *Italian Journal of Food Science*, **13**:421~428

Bangerth F, Streif J, Song J, Brackmann A, 1998. Investigations into the physiology of volatile aroma production of apple fruits. *Acta Hort*, **464**: 189~194

Bernalte M J, Hernadez M T, Vidal-Aragon M C, 1999. Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in 'Valle del Jerte' (spain). *J Food Quality*, **22**: 403~416

Boukobza F, Dunphy P J, Taylor A J, 2001. Measurement of lipid oxidation-derived volatiles in fresh tomatoes. *Post Bio Tech*, **23**: 117~131

Bureau S M, Razungles A J, Baumes R L, 2000. The aroma of ' Muscat of Frontignan ' grapes: effect of the light environment of vine or bunch on volatiles and glycoconjugates. *J Sci Food Agric*, **80**: 2012~2020

Dixon J, Hewett E W, 2000. Factors affecting apple Aroma/flavor volatile concentration: review. *New Zealand J of Crop and Hort Sci*, **28**: 155~173

Fan X, Mattheis J P, 1999. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J Agric Food Chem*, **47**: 2847~2853

Fan X, Argenta L, Mattheis J, 2001. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening ' Gala ' apple fruit. *J Agric Food Chem*, **49**: 254~262

Latza S, Dietmar G, Berger R G, 1996. Identification and accumulation of 1-o-trans-cinnamoyl-beta-D-glucopyranose in developing strawberry fruits (*Fragaria ananassa* Duch. cv. kent). *J Agric Food Chem*, **44**: 1367~1370

Miller T W, Fellman J K, Mattheis J P, Mattinson D S, 1998. Factors that influence volatile ester biosynthesis in 'Delicious' apples. *Acta Horti*, **464**: 195~200

Mpelasoka B S, Behboundian M H, 2002. Production of aroma volatiles in response to deficit irrigation and to crop load in relation to fruit maturity for 'Brae burn' apple. *Postharvest Biology and Technology*, **24**:1~11

Okamoto G, Liao K, Fushimi T, 2001. Aromatic substances evolved from the whole berry, skin and flesh of ' Muscat of Alexandria ' grapes. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, Olcayama University, **90**:21~25

Pérez A G, Sanz C, Rios J J, Olias J M, 1992. Aroma components and free amino acids in strawberry variety Chandler during ripening. *J Agric Food Chem*, **40**: 2232~2235

Pérez A G, Sanz C, Olías J M, 1993. Partial purification and some properties of alcohol acyltransferase from strawberry fruits. *J Agric Food Chem*, **41**:1462~1466

Pérez A G, Sanz C, Olías R, Rkos J J, Olkas J M, 1996. Evolution of srawberry alcohol acyltransferase activity during fruit development and storage. *J Agric Food Chem*, **44**: 3286~3290

Rowan D D, Lane H P, Allen J M, Fielder S, Hunt M B, 1996. Biosynthesis of 2-methylbutyl, 2-methyl-2-butenyl and

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150

2-methyl butanoate esters in ‘Red Delicious’ and ‘Granny Smith’ apples using deuterium-labeled substrate. *J Agric Food Chem*, **44**: 3276~3285

Shalit M, Katzir N, Larkov O, Burger Y, Shalekhet F, Lastochkin E, Ravid U, Awar O, Edelstein M, Lewinsohn E, 1994. Aroma formation in muskmelon volatile acetates in ripening fruits. *Acta Hort*, **510**: 455~461

Shalit M, Katzir N, Tadmor Y, Larkov O, Burger Y, Shalekhet F, Lastochkin E, Ravid U, Amar O, Edelstein M, Karchi Z, Lewinsohn E, 2001. Acetyl-CoA: alcohol acetyltransferase activity and aroma formation in ripening melon fruits. *J Agric Food Chem*, **49**:794~799

Song J, Bangerth F, 1994. Production and development of volatile aroma compounds of apple fruits at different times of maturity. *Acta Hort*, **368**: 150~159

Tamura H, 2000. Characterization and evaluation of aroma quality of citrus fruits by means of odor threshold. *Aroma Res*, **1**(3): 28~36

Tandon K S, Baldwin E A, Shewfelt R L, 2000. Aroma perception of individual volatile compounds in fresh tomatoes as affected by the medium of evaluation. *Postharv Biol Technol*, **20**: 261~268

Teai T, Claude-Lafontaine A, Schippa C, Cozzdino F, 2001. Aroma compounds in fresh pulp of pineapple from French Polynesia. *J Ess Oil Res*, **13**:314~318

Tressl R, Drawert F, 1973. Biogenesis of banana volatiles. *J Agric Food Chem*, **21**: 560~565

Ueda Y, Tsuda A, Bai J H, Fujishita N, Chachin K, 1992. Characteristic pattern of aroma ester formation from banana, melon and strawberry with reference to the substrate specificity of ester synthetase and alcohol contents in pulp. *J Jpn Soc Food Sci Technol*, **39**: 183~187

Wang Y, Wyllie S G, Leach David-N, 1996. Chemical changes during the development and ripening of the fruit of *Cucumis melon* (cv. *makdimon*). *J Agric Food Chem*, **44**:210~216

Wyllie S G, Leach D N, 1992. Sulfur-containing compounds in the aroma volatiles of melons (*cucumis melon*). *J Agric Food Chem*, **40**: 253~256

Wyllie S G, Fellman J K, 2000. Formation of branched chain esters in bananas (*Musa sapientum* L.). *J Agric Food Chem*, **48**:3493~3496

Yahia E M, 1994. Apple flavor. *Hort Rev*, **16**: 197~234

Young H, Gilbert J M, Murray S H, Ball R D, 1996. Causal effects of aroma compounds on royal ‘Gala’ apple flavours. *J Sci Food Agric*, **71**: 329~336

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t23-150