

果树果实的风味物质及其研究

李晓颖, 谭洪花, 房经贵*, 韩键, 宋长年

南京农业大学园艺学院, 南京210095

摘要: 果树果实风味和芳香物质是果实的主要组成成分, 对于果实品质具有重要影响。有关果实风味和芳香物质的研究一直是果树研究领域的重点。为更好地了解果实风味和芳香物质及相关研究进展, 本文对果树不同树种与品种的芳香物质、特征效应化合物、糖和酸含量、糖酸比、多酚物质以及栽培、采收、贮藏条件等果实风味物质含量与组分的影响因素进行了较全面的介绍。

关键词: 果树; 果实; 风味物质; 影响因素

Flavor Compounds in Fruits and Research on Them

LI Xiao-Ying, TAN Hong-Hua, FANG Jing-Gui*, HAN Jian, SONG Chang-Nian

College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Fruit flavor and aromatic substances are important components that can greatly influence fruit quality. They have been focused on in fruit research areas. To better understand the fruit flavor, aromatic substances and related research advances, the aromatic substances, character impact compounds, sugar and acid contents, sugar-acid ratio, polyphenols in different fruit tree species and varieties, and the factors that can affect fruit flavor substances and components, such as cultivation practices, harvesting and storage conditions, are introduced in this article.

Key words: fruit tree; fruit; flavor compounds; factors

果树是大田与经济作物中果实直接食用的主要作物种类, 这是由其果实的结构与成分所决定的。果树果实主要包含水分、蛋白质、风味物质等, 其中的风味物质不仅决定了水果的食用性, 而且使不同的水果具备不同的风味特点。果实中所含有的香气成分的种类使每种果实具有各自的清香或浓郁芳香气味, 即果实特征香气。由于每种果树品种具有特定的香味, 因此通过品尝即可区分不同的果品。果树果实中的风味物质主要有糖、酸及芳香物质等。在众多种类的果实中, 葡萄果实中风味物质较为丰富。除了普遍存在的糖、酸外, 根据基因组测序, 葡萄的许多基因都是用来“制造”赋予葡萄香味的萜类化合物和单宁酸的“香味基因”, 其数目是其他已经完成基因组测序植物的2倍(房经贵等2008; Jaillon等2007)。如果将诸如葡萄等果树果实的“香味基因”转基因到小麦中, 不仅可以提高小麦加工后品质, 而且能使有关香味物质得到更久保存。有关果实品质的研究一直是果树科学研究的一个热点, 而对果实品质有着重要影响的风味物质的组成及其含量的研究工

作更是备受重视。鉴于此, 本文针对果树风味物质、形成的组分以及有关研究情况进行简要与概括性的总结。

1 果实风味及重要果实中的风味物质

1.1 果实风味

具体而言, 果实风味就是果实风味物质刺激人的嗅觉和味觉器官产生的短时和综合的生理感觉。果实风味是果实的内在品质, 由味感和嗅感构成, 前者以甜酸味为主体, 与糖、酸的种类和含量有关, 后者取决于挥发性芳香物质的种类和含量。欧美国家对风味的研究多针对果实的香气和芳香物质。不同果实风味物质的构成是非常复杂的, 如苹果风味构成除与果实含酸和含糖量有关外, 还与挥发性芳香物质有关。在苹果含有的250多种挥发性物质中, 能参与苹果特征香气形成的物质仅有为数不多的种类; 橙类果实中香味物质

收稿 2011-07-26 修定 2011-09-29

资助 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0796)。

* 通讯作者(E-mail: fanggg@njau.edu.cn; Tel: 025-84399069)。

可达120多种,其成熟果实的香味是由众多香味物质共同作用的结果,但果实的典型香味也仅决定于极少数特定物质类型(张华峰和常麦尚2000)。这类在不同种类的果实中为数不多甚至是一种决定果实特征风味的化合物成分称为特征效应化合物(character impact compounds)。

1.2 果实芳香物质及其形成的基础

果实风味中的芳香物质主要分为两类:一类是直链脂肪族醇、醛、酮和酯类物质,可使果实呈现特殊风味,例如C8-C12内酯化合物具有类似椰子、桃的香味;另一类是支链脂肪族醇、醛、酮和酯类物质,可直接赋予成熟果实风味,其中酯类是起决定性作用的特征效应化合物。果实中的芳香物质主要来源于莽草酸生物合成途径的支链化合物,包括芳香族氨基酸、苯甲酸、肉桂酸、木质素、二羟甲基戊酸的衍生物以及单萜、胡萝卜素降解的异戊二烯等。目前认为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,其主要合成途径是果实中的脂肪酸经 β -氧化产生酮酸和酰基-辅酶A (CoA)进一步被还原为醛和醇,如梨、桃、杏中芳香物质的形成途径;或者脂肪酸直接被脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)氧化形成C6醛或酮,进一步还原为相应的醇类(徐继忠等1998)。此类醇通常比母体羰基化合物有更高的感觉阈值,而且香味更浓。果实中的支链脂肪族醇、醛、酮和酯类等香气成分物质主要来源于氨基酸代谢。氨基酸通过转氨基作用形成支链酮酸,进一步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。香蕉和苹果是这种香气成分物质产生类型的典型例子。

各类水果的芳香物质是不同挥发成分的混合物,包括醇类、醛类、酮类、酯类、萜类及含硫化合物等,这些成分有的气味强烈,有的气味较弱,有些甚至无味,而且只有当它们混为一体时,才体现出某果实的芳香特征(阎振立等2007)。其中,各成分往往以不同浓度和结合态存在,含量范围一般为 $1\sim 20\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,有的含量很低,难以检测到。另外,芳香物质的种类和含量也因果实品种不同而有所差异(吴继红等2005)。芳香物质具有较高的感官价值和一定的生理价值,对食欲及消化系统具有很大影响,甚至还影响人的精神状态。迄今,

人们已经对多种果树果实的芳香性物质进行了研究,本文根据已有的研究报道,对重要的经济果树果实中芳香物质及特征效应化合物进行了简要的总结(表1)。

1.3 糖和酸物质

除挥发性芳香物质以外,一些非挥发性的味觉物质对果实风味的形成同样起到关键作用。这类物质主要是糖类等产生甜味的物质、可溶性酸以及两类物质的相对含量(Malundo等1995)。果实中的糖主要包括蔗糖、果糖、葡萄糖、山梨醇(糖)等,不同树种果实中糖的种类和含量不同,同一树种不同品种的果实中糖含量也不同。果树果实中的有机酸以苹果酸、柠檬酸和酒石酸为主,随着果实的成熟,不同树种的不同酸含量也有所变化。不同树种中糖酸组分不仅各具特性,而且两者含量比值的大小影响果实甜、酸味间的平衡与果实的风味。其中,果实的酸含量对果实的风味影响更大。有关主要果树果实中的糖、酸含量及糖酸比等情况见表2。

1.4 多酚类及其他物质

多酚类物质以及果实的质地(组织结构和细胞壁状况、含水量、汁液量等)对果实的风味也具有不同程度的影响。多酚物质是一类广泛存在于果树体内及果实器官中的主要次生代谢产物,因其独特的理化性质,在果树生长发育、果实风味品质形成等过程中发挥着重要的作用(王贤萍等2011; 乜兰春2004; Mozetič和Trebše 2004)。多酚类物质的多少常常是评价柿、石榴、樱桃等富含多酚物质果实风味品质的主要指标之一。果实中的多酚类物质包括黄酮醇及黄烷酮醇类、儿茶素类、花色素、原花色素等黄酮类与非黄酮类物质。其中,苯丙烷类衍生物中水溶性酚(肉桂酸、香豆酸、绿原酸、咖啡酸)和水不溶酚(水溶性单宁、水不溶单宁、木质素)与果实品质的关系最为密切。例如,绿原酸、儿茶素和表儿茶素具有较强的涩味,根皮素、儿茶素具有较强的苦味。涩味果实中绿原酸、儿茶素、表儿茶素以及原花青素的含量较高;苦味果实中绿原酸、根皮素和原花青素含量高;苦涩感果实中绿原酸、儿茶素、表儿茶素、根皮素以及原花青素含量最高。另外,酚类物质与果品的加工品质也有很大关系。如葡

表1 主要果树果实中的芳香物质及特征效应化合物

Table 1 Aromatic substances and character impact compounds in fruit of main fruit trees

树种	芳香物质		特征效应化合物	主要参考文献
	种类数量	主要物质成分		
苹果(<i>Malus domestica</i>)	250多种	低分子酯类物质为主(78%~92%),且多是以乙酸、丁酸和己酸分别与乙醇、丁醇、己醇形成的酯类为主	2-甲基-丁酸乙酯、己醛、2-乙烯醛、丙醇、乙酸乙酯、3-甲基戊烷、正丁醇、丙酮、2-甲基丁醇、2-甲基戊烷、异丙醇等	阎振立等2007; Dixon和Hewett 2000
圆金柑(<i>Citrus madurensis</i>)	300多种	绝大部分是萜烯类氧化衍生物,如醇类、醛类、酯类和酮类	主要化合物有丁酸甲酯、己酸甲酯、己酸甲酯、正丁酸乙酯、异丁酸乙酯、己酸乙酯、2-二甲基丁酸乙酯、乙醛、2-辛烯醛、2-烯醛、3-乙氧基己醛等醛、乙醇、芳樟醇等	Yo和Lin 2004
葡萄(<i>Vitis vinifera</i>)	380多种	有C6类、醇类、萜醇类、羰基类、酯类、含氮类等化合物,以及萜烯类化合物	沉香醇、牻牛儿醇、橙花醇、香叶醇、香茅醇、金合欢醇、乙酸乙酯、己酸乙酯、橙花醇乙酸酯、乙酸苯乙酯、异丁醇、邻苯二甲酸二异辛酯、谷甾醇、反-2-己烯醛、邻苯二甲酸二丁酯、N,N-二甲基甲酰胺、己基氢过氧化物、十六碳酸(棕榈酸)、17-三十五烯等	涂正顺等2007; Jaillon等2007
梨(<i>Pyrus communis</i>)	120多种	以酯类、醇类、醛类化合物为主,酯类主要是乙酸酯类,醇类主要为己醇、辛醇等,醛类主要为己醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛等	乙酸乙酯、丙酸乙酯、己醇、己醛、丁酸乙酯、乙酸丁酯、反-2-己烯醛、乙酸己酯、2-甲基丁酯、癸酸乙酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸辛酯、反-2-顺4癸二烯酸乙酯等	陈计峦2005
桃(<i>Prunus persica</i>)	190多种	C6-C11的 γ -内酯、 δ -内酯,其中 δ -癸内酯含量最多, γ -十一内酯又叫桃醛, δ -十一内酯有椰子香气	C6-C11的 δ -内酯、 γ -癸内酯、 δ -十一内酯、乙酸己酯、乙酸-(2反)-己烯酯、己醇、苯甲醛、辛醇等	李玲等2011; Wang等2009; 胡花丽等2007
草莓(<i>Fragaria ananassa</i>)	350多种	醇类、醛类、酮类、内酯类、酯类	2,5-二甲基-4-甲氧基-3(2H)-呋喃酮(DMMF)、2,5-二甲基-4-羟基-3(2H)-呋喃酮、2,5-二甲基-4-羟基-3-二氢呋喃酮、环氧酸酯、2-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯、3顺-己烯醇、芳樟醇	张运涛等2011
杏(<i>Prunus armeniaca</i>)	100多种	醇类、醛类、酮类、内酯类、酯类和酸类(在果实成熟过程中,香味组分及含量差异很大)	紫罗酮、沉香醇、葵内酯、环柠檬醛、苯乙醛、辛内酯	张波等2008; 陈美霞等2005
树莓(<i>Rubus idaeus</i>)	200多种	以萜类为主,还含有一些酮、醛、酯和醇等成分	对-羟基苯基-2-丁酮(树莓酮)、苯甲醛、 α -紫罗酮、 β -紫罗酮、 α -蒎烯、 β -石竹烯、香叶醇、 β -香叶醇、 γ -萜品烯、反式- β -罗勒烯、乙酸乙酯、庚酸乙酯、树莓酮、2-甲基丁醇	郭琳等2008
甜樱桃(<i>Prunus avium</i>)	37种	醛类、醇类和酯类(醛类主要包括C6醛类和芳香醛类;醇类主要包括C6醇类、芳香醇类及乙醇;酯类主要包括 γ -内酯、 δ -内酯)	己醛、(E)-2-己烯醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醇、乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、 γ -葵内酯、 δ -十一内酯、	王江勇等2008; 张序等2007
木瓜(<i>Chaenomeles speciosa</i>)	50多种	萜烯类物质、酯类、内酯类化合物	α -法呢烯以及较长链的辛酸酯、己酸酯、丁酸酯、癸(烯)酸酯、乙酸异丁酯、丁酸丁酯、己酸乙酯、辛酸异丁酯、己酸己酯、辛酸丁酯	刘拉平等2006

萄酒中主要成分之一的多酚类化合物不仅影响葡萄酒的外观、色泽和口感,还影响葡萄酒的风味

和储存(李光宇和彭丽萍2007)。有关主要果树果实中的多酚物质种类及成分特点见表3。

表2 主要果树果实中的糖和酸含量及糖酸比

Table 2 Sugar and acid contents and sugar-acid ratio in fruit of main fruit trees

树种	糖	酸	糖酸比	主要参考文献
苹果(<i>Malus domestica</i>)	以果糖含量最高, 品种间存在差异小, 但蔗糖和葡萄糖含量与果糖明显不同, 不同品种间存在较大差异	以苹果酸为主	果实风味优良的品种, 其糖酸比值为20~60, 低于20者风味淡或者趋酸, 高于60者甜味增强	王海波等2007
桃(<i>Prunus persica</i>)	主要为果糖、葡萄糖、蔗糖, 另外还含有淀粉	苹果酸、柠檬酸, 其中苹果酸占总酸的60%, 桃为苹果酸型果实	果实风味优良的品种, 糖度高, 酸度低	郭雪峰等2004
梨(<i>Pyrus communis</i>)	砂梨品种果实中, 果糖含量最高, 蔗糖居中, 葡萄糖最低	苹果酸、柠檬酸	风味优良者糖酸比为20~60	王涛等2008
荔枝(<i>Litchi chinensis</i>)	主要为蔗糖、葡萄糖和果糖, 如‘妃子笑’果肉中主要的糖是还原糖, 而‘糯米兹’中主要为蔗糖	苹果酸、酒石酸	糖酸比为70左右成熟	胡志群等2005
柠檬(<i>Citrus limon</i>)、甜橙(<i>C. sinensis</i>)	主要为葡萄糖、果糖和蔗糖	柠檬酸、苹果酸	不同品种的糖酸比有显著差异, 如柠檬的糖酸比 ≤ 1 , 而冰糖橙高达60以上	赵森等2008
葡萄(<i>Vitis vinifera</i>)	主要为葡萄糖和果糖, 另外还含有少量蔗糖、棉子糖等	酒石酸、苹果酸和柠檬酸	糖酸比为20~35最适宜采收	问亚琴等2009

表3 主要果树果实中的多酚物质

Table 3 Polyphenols in fruit of main fruit trees

树种	多酚物质种类	主要物质成分	主要参考文献
苹果(<i>Malus domestica</i>)	黄酮醇及黄烷醇类、儿茶素类、花色素、原花色素	绿原酸、咖啡酸、儿茶素、表儿茶素、原花青素、槲皮酮、槲皮苷、儿茶素、槲皮素、二经查耳酮等	孙平平2011
石榴(<i>Punica granatum</i>)	原花青素、花色素及黄酮类物质	单宁、没食子单宁、鞣花酸、没食子酸、儿茶素、花色素、绿原酸、阿魏酸和栲精等	郭珊珊2007
梨(<i>Pyrus communis</i>)	黄酮醇及黄烷醇类、儿茶素类	没食子酸、儿茶素、表儿茶素、咖啡酸、香草醛、绿原酸、阿魏酸、芦丁、根皮苷、槲皮素等	袁江等2011
荔枝(<i>Litchi chinensis</i>)	儿茶素类、花色素、原花色素	原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素、丁香酸、p2香豆酸、芦丁、阿魏酸等	王敏等2010
樱桃(<i>Prunus pseudocerasus</i>)	儿茶素类、花色素、原花色素	原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素、丁香酸、p2香豆酸、芦丁、阿魏酸等	Mozetič和Trebše 2004
葡萄(<i>Vitis vinifera</i>)	花色素、原花色素以及缩合单宁、黄酮醇及黄烷醇类、儿茶素类、白藜芦醇	没食子酸、香豆酸、咖啡酸、花青素、甲基花青素、锦葵黄素、槲皮苷、儿茶素、表儿茶素、花白素、原花青素、原花翠素、原天竺葵素、杨梅黄酮等	王晨等2009; 唐传核和彭志英2000
柿(<i>Diospyros kaki</i>)	苯丙烷类衍生物, 如缩合单宁	绿原酸、儿茶素、表儿茶素、原花青素、根皮酚、没食子酸、柿果素等、肉桂酸、香豆酸、咖啡酸等	董新海等2008

2 影响果实风味物质含量与组分的因素

不同树种果实的风味物质种类、含量都有所不同, 这些差异造就了其不同的风味。但是, 品种、栽培条件及采收与贮藏等因素也会影响果实风味物质的种类与含量。

2.1 品种

2.1.1 芳香物质及特征效应化合物 相同树种的不

同基因型由于遗传物质上的差异, 其果实风味物质的种类和含量也不完全相同。苹果品种‘金冠’、‘乔纳金’、‘Elstar’和‘Cox's Orange 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和Hewett 2000)。

‘Cox's Orange Pippin’苹果中挥发性成分丁醇与乙酸丁酯的比值为0.08, 而‘Royal Gala’为3.0 (Young等1996)。柑橘种类繁多, 每种果实所含芳香物质存在差别, 特别是一些特殊成分的不同形成不同的香味。如‘加地蒙地亚橘’的典型香气成分包括苧烯、反-氧化芳樟醇、芳樟醇、 α -萜品油醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛和甲基-N-氨基苯甲酸甲酯; ‘Mandrin’的典型芳香成分是甲基-N-氨基苯甲酸甲酯; ‘Sudachi’的典型芳香成分包括香茅醛、胡萝卜素和香茅醇; 我国安岳的柠檬果实中典型芳香成分最具有价值的、能体现柠檬风味的是柠檬醛(包括橙花醛和香叶醛两种异构体); 埃塞俄比亚的‘夏橙’和‘哈姆林甜橙’的冷榨皮油中发现均存在n-辛醛和n-癸醛, 它们对这两种甜橙的香气影响较大。桃果实品种与果实芳香物质种类和含量存在显著差异, 而且相同物质含量也存在明显差别。白果肉桃果实中的己醛、反-2-己烯醛、芳樟醇、水芹烯、C2癸内酯和D2癸内酯含量显著高于黄果肉桃(胡花丽等2007)。

2.1.2 糖和酸含量及糖酸比 果实糖酸物质含量和比值也是果实风味的影响因素之一, 不同果树树种的果实糖、酸含量与种类均有差异; 但在同一树种的不同品种中多数只存在糖、酸含量的差异, 而不存在种类的差异。例如, 苹果果实中均含有果糖、蔗糖、葡萄糖3种糖与苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、草酸、酒石酸、乙酸6种有机酸组分(王海波等2010)。不同成熟期的苹果品种果实在糖、酸含量上存在明显差异: ‘早丰甜’、‘辽伏’、‘早金冠’等早熟苹果品种果实的主要糖组分为果糖, 其次为蔗糖、葡萄糖, 主要有机酸是苹果酸(王海波等2007); ‘皇家嘎拉’、‘美隆’、‘秋口红’等5种中早熟苹果的主要糖组分是果糖, 其次为葡萄糖、蔗糖, 主要有机酸为苹果酸, 其次为琥珀酸、草酸等(王海波等2010); 中熟品种‘乔纳金’果实主要糖组分是果糖, 其含量占糖总量的55%以上, 其次为蔗糖、葡萄糖与山梨醇, 最主要的有机酸是苹果酸, 占酸总量的95%以上(Róth等2007); ‘红星’、‘红富士’、‘国光’等13个中熟、晚熟苹果品种果实糖酸组分中, 果糖约占总糖的53%, 葡萄糖、蔗糖次之, 苹果酸约占总酸的84%(赵尊行等1995)。

对苹果果实糖酸含量的分析表明, 苹果风味

品质主要取决于含酸量, 含糖量影响相对较小。例如, 含酸量在0.6%以上的品种, 包括‘东光’、‘长嫁’、‘绿香蕉’、‘自由红’等, 尽管相互间含糖量差异很大(固形物含量11.1%~15.3%), 但风味都过酸, 不适于鲜食; 含酸量在0.5%~0.6%的品种, 包括‘红玉’、‘金红’、‘锦红’、‘丹顶’、‘八月酥’等, 含糖量差异也很大(固形物9.8%~15.7%), 风味都较酸, 鲜食品质较差; 含酸量低于0.2%的品种, 包括‘印度’、‘香红’、‘胜利’、元帅系品种等, 尽管含糖量也存在明显差异(固形物13.1%~15.3%), 但由于含酸量很低, 其果实风味都淡甜, 鲜食品质不佳; 含酸量在0.2%~0.5%的品种含糖量差异很大(12.7%~17.8%), 但都表现为甜酸适宜, 鲜食品质较好, 风味浓郁的优质品种, 如‘富士’、‘阳光’、‘乔纳金’、‘千秋’、‘津轻’、‘红月’、‘北斗’等含酸量都在此范围内。所以, 可滴定酸含量0.2%~0.5% (或pH值3.4~4.0)是鲜食苹果最适宜的酸度范围(李宝江等1994)。

2.1.3 多酚物质 不同品种之间多酚类物质含量和组成均存在差异。乜兰春(2004)对苹果果实的多酚物质研究发现, ‘富士’苹果的单体酚以绿源酸和表儿茶素为主, ‘王林’以儿茶素为主, ‘金冠’以绿源酸和儿茶素为主, 单体酚类物质总量以‘新红星’最高。张小燕等(2008)研究发现: 新疆野苹果(或塞威士苹果, *Malus sieversii*)的多酚物质以原花青素含量最高, 占总酚含量的35.03%, 其次为表儿茶素、根皮苷和绿原酸, 分别占总酚含量的15.50%、12.76%和10.10%, 是新疆野苹果成熟果实多酚物质的主要组分; 而栽培品种‘红星’以表儿茶素、原花青素和绿原酸为主。经差异显著性测验表明, 新疆野苹果果实的总酚、原花青素、表儿茶素、根皮苷、绿原酸、儿茶素含量与栽培品种‘红星’呈极显著差异, 分别是‘红星’的5.1、8.0、3.2、13.0、3.1、34.1倍, 具有明显的高酚性状。

2.2 栽培条件

2.2.1 栽培的地理区域 不同的环境条件对果树生长有不同的影响, 也影响了物质代谢, 造成不同果实品质的形成。果树在长期生存发展过程中形成了一定的自然分布地带, 它反映了果树与自然环境条件的关系, 特定的区域环境条件促进或限制了某些树种、品种的形成和进化。如苹果是喜冷

凉干燥的温带果树,要求冬无严寒,夏无酷暑,年较差小,日较差大,在云南海拔1 800 m以下地区由于夏秋温度过高,降温晚,果实着色差,且糖低酸高,风味欠佳。新疆气候特点是光照时间长,昼夜温差大,因此,有利于植物更多养分的产生与储存,所以新疆吐鲁番的葡萄以优异的品质闻名国内外。

2.2.2 栽培技术 栽培技术是指人为控制果树的生长环境与条件,使其生长更好地满足人们的需要。控制光照、温度、水分的多种栽培技术对不同树种的果实芳香物质、糖、酸、多酚等风味物质均有不同程度的影响。Bureau等(2000)研究表明,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。Mpelasoka和Behboundian (2001)报道,缺水管理的果实在成熟时,其香气与对照无显著差异,但贮藏期间香气较对照增加。贾惠娟等(2004)研究了不同的施肥处理对桃果实风味的影响,其结果表明,不同的氮肥水平对桃果实风味物质的形成有影响:用80 mg·L⁻¹氮肥处理的果实中,γ-己内酯、γ-辛内酯、γ-癸内酯高于其他果实,而反-2-己烯醛、异-3-己烯醇的含量较低。养分供给较差的果树一般所结的果实风味较淡。养分均衡对风味的形成很重要,乙酸-2-甲基丁酯的产生受氮肥施用量和时间的影响(Daane等1995)。施用肥料的量、种类、时间以及砧木、生长调节剂的选用、果实套袋与否等对果实的风味都有不同程度的影响(也兰春2004;卜万锁等1998)。因此,加强土肥水管理、合理整形修剪、控制过量结果和适期采收等提高芳香物质、可溶性固形物的措施,均可提高果实的风味。

2.3 采收与贮藏

2.3.1 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的结果表明,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*)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,这时洋梨风味也最好(汪秋安和碧云1994)。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。杏果实成熟过程中,香味组分及含量差异很大,绿熟期检出香味成分35种,含量较多的有(*E*)-2-己烯醛、芳樟醇、α-萜品醇、(*E*)-2-己烯-1-醇己醛、1-己醇;商熟期共检出香味成分45种,主要有(*E*)-2-己烯醛、芳樟醇、α-萜品醇、己醛、罗勒烯醇、香叶醇;完熟期共检出香味成分44种,主要包括芳樟醇、(*Z,Z,Z*)-9,12,15-三烯十八酸甲酯、α-萜品醇、γ-癸内酯、(*E*)-2-己烯醛、γ-十二内酯、乙酸丁酯、乙酸己酯。C6醛类和醇类的含量在绿熟期最高,然后随着果实成熟逐渐下降(陈美霞等2005)。

不仅香气物质的生成及含量随果实的成熟会发生变化,而且其他风味物质如糖、酸、涩味等也会随之变化。桃果实发育的前期,以果糖和葡萄糖为主,占可溶性糖的90%以上,后期果实中的蔗糖含量急剧增加,成熟时蔗糖达到可溶性总糖的80%以上(金锡凤1993)。随着果实成熟度的增加,总糖量升高、总酸量降低、糖与酸的比值升高。果实多酚(包括涩味物质)相对含量(以单位鲜重计)在幼果期最高,随着果实发育迅速下降。随着成熟度的增加,除少数几种如绿源酸、儿茶素、表儿茶素、根皮素和原花青素等物质含量有所增加外,多种酚类物质处于缓慢下降或稳定状态,且绝对含量(以果实计)随果实发育而增加(也兰春2004)。苹果、柿子、香蕉、石榴等随着果实的成熟度增加,单宁类物质会形成聚合物而失去水溶性,涩味也随之消失。

2.3.2 贮藏条件 果实采收后尚具有很活跃的生理代谢,不同的条件下其代谢种类与水平存在差异。为延长果实的市场供应期,果实采收后进行贮藏处理。随着贮藏时间的延长,果实的新鲜香气往往会变淡或消失(魏好程2005)。苹果较耐贮藏,贮藏期间香气生成量在0~30 °C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和Mattheis (1999)用1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 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℃)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和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1994)。由于多数水果在贮藏期间易发生包括香味物质在内的品质成分以及营养成分的变化, 因此, 选用合适的贮藏条件对于保持不同果实的风味、质地等品质性状是一项重要工作。

3 展望

果实风味物质广泛存在于水果中, 是果树果实品质评价的重要指标之一, 不同树种、品种中风味物质的组分、含量都不尽相同, 因此, 加强果树果实风味物质的研究, 对于育种目标的制定以及生产中对不同品种的选用具有重要的参考价值。目前, 果树果实中风味物质的研究主要集中在不同树种和品种的香气, 糖、酸、多酚等物质组成和含量差异以及影响因素等方面, 而对于主要成分形成、代谢调控机制及相关酶的生理功能的研究较少。同时, 由于植物风味物质成分代谢的复杂性和种属之间的特异性, 果实风味物质代谢基因工程还面临很多挑战。如在苹果、柑橘、梨、菠萝、桃、香蕉等多种果树果实的芳香成分中, 酯类物质是特征香气中最重要的组成成分, 赋予了果实成熟的特征香气, 因此, 可首先考虑系统研究酯类合成途径中的关键酶基因的表达特性及作用机制, 在确定酯类挥发性物质代谢调控机制的基础上, 从整个代谢途径出发, 利用蛋白质组和代谢组学技术, 探明影响该香气成分差异的多个基因及其在代谢途径中的作用, 最终确定果树果实香气成分的代谢途径。果实特异性挥发性成分代谢工程的研究结果将为改良果实香气品质提供理论依据。另外, 对不同果树果实特异香气基因进行分离、克隆, 并加以转化利用, 也为果树新品种培育提供了有效途径。

尽管基因型决定了树种及品种的风味物质组分和含量, 但栽培措施同样对其有重要的影响, 因而外界条件也是风味物质代谢途径的重要调控因素。果实中风味物质如有机酸的积累尤其受生态

因素温度和果实成熟度的影响, 研究与有机酸积累有关的温度等信号在细胞内的传递以及果实发育过程中的变化机制, 不仅可以揭示生态因素与果实品质形成的关系, 也为果树生产中栽培管理和贮藏加工等技术的改进和最佳采收时期的确定提供理论依据。

参考文献

- 卜万锁, 牛自勉, 赵红钰(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
- 陈计峦 (2005). 梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[学位论文]. 北京: 中国农业大学
- 陈美霞, 陈学森, 周杰, 刘扬岷, 慈志娟, 吴燕(2005). 杏果实不同发育阶段的香味组分及其变化. 中国农业科学, 38 (6): 1244~1249
- 董新海, 张宝善, 苏百究(2008). 柿果单宁组成及其生物学特性的研究状况. 中国林副特产, (1): 91~93
- 房经贵, 刘洪, 杨光(2008). 基因组学研究时代的葡萄酿造明星——黑比诺. 中外葡萄与葡萄酒, (4): 57~59
- 郭琳, 于泽源, 李兴国(2008). 几种小浆果挥发性成分研究概述. 园艺学报, 35 (4): 611~617
- 郭珊珊(2007). 石榴中类单宁的分离纯化、结构及活性研究[学位论文]. 武汉: 华中农业大学
- 郭雪峰, 李绍华, 刘国杰, 付占方, 李松涛(2004). 桃果实和叶片中糖分的季节变化及其与碳代谢酶活性的研究关系. 果树学报, 21 (3): 196~200
- 胡花丽, 王贵禧, 李艳菊(2007). 桃果实风味物质的研究进展. 农业工程学报, 23 (4): 280~287
- 胡志群, 王惠聪, 胡桂兵(2005). 高效液相色谱测定荔枝果肉中的糖、酸和维生素C. 果树学报, 22 (5): 582~585
- 贾惠娟, 冈本五郎, 平野健(2004). 桃果实品质形成成分与其风味之间的相关性. 果树学报, 21 (1): 5~10
- 金锡凤(1993). 桃果实发育期间几种成分的变化. 落叶果树, (2): 27~29
- 李宝江, 林桂荣, 崔宽(1994). 苹果糖酸含量与果实品质的关系. 沈阳农业大学学报, 25 (3): 279~283
- 李光宇, 彭丽萍(2007). 葡萄酒中主要的多酚类化合物及其作用. 酿酒, 34 (4): 60~61
- 李玲, 王慧, 张梅, 陈修德, 高东升(2011). 设施栽培桃果实芳香成分的GC-MS分析. 山东农业大学学报(自然科学版), 42 (1): 41~48
- 刘拉平, 史亚歌, 岳田利, 赵锁芳(2006). 木瓜芳香物质固相微萃取GC-MS分析. 园艺学报, 33 (6): 1245~1246
- 卮兰春(2004). 苹果果实酚类和挥发性物质含量特征及其与果实品质关系的研究[学位论文]. 保定: 河北农业大学
- 孙平平(2011). 苹果多酚的研究概况. 科技创新导报, (7): 1, 4
- 唐传核, 彭志英(2000). 葡萄多酚类化合物以及生理功能. 中外葡萄与葡萄酒, (2): 12~15
- 涂正顺, 薛洁, 常伟, 宋建强, 李华(2007). 吉林地区山葡萄果实香气成分的GC/MS分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 35 (10): 66~70
- 王晨, 房经贵, 曹雪, 杨光(2009). 葡萄中原花青素的代谢. 中国农学

- 通报, 25 (9): 169~173
- 王海波, 陈学森, 辛培刚, 张小燕, 慈志娟, 石俊, 张红(2007). 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价. 果树学报, 24 (4): 513~516
- 王海波, 李林光, 陈学森, 李慧峰, 杨建明, 刘嘉芬, 王超(2010). 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质. 中国农业科学, 43 (11): 2300~2306
- 王江勇, 高华君, 魏树伟, 王少敏, 王家喜(2008). 2种砧木‘红宝石’大樱桃果实芳香成分分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 37 (10): 120~124
- 王敏, 陈磊, 黄雪松(2010). 荔枝中多酚含量的测定. 食品与发酵工业, 36 (2): 172~175
- 汪秋安, 碧云(1994). 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
- 王涛, 林媚, 王海琴, 房经费, 陈丹霞, 章镇(2008). 设施条件下4个中熟砂梨品种果实发育及糖酸含量的变化. 园艺园林科学, 24 (8): 350~354
- 王贤萍, 段泽敏, 戴桂林, 杨晓华, 聂国伟, 韩彦龙(2011). 甜樱桃主要栽培品种多酚含量的测定与品质分析. 中国农学通报, 27 (13): 173~176
- 魏好程(2005). 桃果实采后贮藏保鲜及其品质控制的研究[学位论文]. 儋州: 华南热带农业大学
- 问亚琴, 张艳芳, 潘秋红(2009). 葡萄果实有机酸的研究进展. 海南大学学报自然科学版, 27 (3): 302~307
- 吴继红, 张美莉, 陈芳, 廖小军, 胡小松(2005). 固相微萃取GC-MS法测定苹果不同品种中主要芳香成分的研究. 分析测试学报, 24 (4): 101~104
- 徐继忠, 王颀, 陈海江, 郝荣庭, 刘新忠(1998). 套袋对鸭梨果实内挥发性物质的影响. 园艺学报, 25 (4): 393~394
- 阎振立, 张全军, 过国南, 赵锁印, 张顺妮, 李玉萍(2007). 产地和砧木对华冠苹果芳香物质及风味的影响. 果树学报, 24 (3): 263~267
- 袁江, 张绍铃, 曹玉芬, 吴俊, 田路明, 陶书田, 董星光(2011). 梨果实酚类物质与酶促褐变底物的研究. 园艺学报, 38 (1): 7~14
- 张波, 韩舜愈, 蒋玉梅, 毕阳, 祝霞(2008). 杏果挥发性风味成分分析. 食品科学, 29 (12): 559~563
- 张华峰, 常麦尚(2000). 果实成熟的味感变化及其生理生化基础. 生物学通报, 35 (3): 10~11
- 张小燕, 陈学森, 彭勇, 刘遵春, 石俊, 王海波(2008). 新疆野苹果多酚物质的遗传多样性. 园艺学报, 35 (9): 1351~1356
- 张序, 姜远茂, 彭福田, 何乃波, 李延菊, 赵登超(2007). ‘红灯’甜樱桃果实发育进程中香气成分的组成及其变化. 中国农业科学, 40 (6): 1222~1228
- 张运涛, 王桂霞, 董静, 钟传飞, 常琳琳, 王丽娜(2011). 33个欧美草莓品种果实挥发性物质的分析. 果树学报, 28 (3): 438~442
- 赵淼, 吴延军, 蒋桂华, 谢鸣, 林毅, 蔡永萍(2008). 柑橘果实有机酸代谢研究进展. 果树学报, 25 (2): 225~230
- 赵尊行, 孙衍华, 黄化成(1995). 山东苹果中可溶性糖、有机酸的研究. 山东农业大学学报, 26 (3): 355~360
- Bureau SM, Razungles AJ, Baumes RL (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 (14): 2012~2020
- Daane KM, Johnson RS, Michailides TJ, Themis J, Crisosto CH, Dlott JW, Ramirez HT, Yokota GY, Morgan DP (1995). Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. California Agric, 49 (4): 13~17
- Dixon J, Hewett EW (2000). Factors affecting apple aroma/flavor volatile concentration: a review. New Zeal J Crop Hort Sci, 28: 155~173
- Fan X, Mattheis JP (1999). Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. J Agric Food Chem, 47 (7): 2847~2853
- Jaillon O, Aury JM, Noel B, Policriti A, Clepet C, Casagrande A, Choise N, Aubourg S, Vitulo N, Jubin C et al (2007). The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla. Nature, 449: 463~467
- Malundo TMM, Shewfelt RL, Scott JW (1995). Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. Postharvest Biol Tec, 6 (1): 103~110
- Mozetič B, Trebše P (2004). Identification of sweet cherry anthocyanins and hydroxycinnamic acids using HPLC coupled with DAD and MS detector. Acta Chim Slov, 51: 151~158
- Mpelasoka BS, Behboundian MH (2001). Fruit water relations, growth, yield, and quality of ‘Braeburn’ apple in response to deficit irrigation and to crop load [dissertation]. Pamerston North: Massey University
- Róth E, Berna A, Beullens K, Yarramraju S, Lammertyn J, Schenk A, Nicolaï B (2007). Postharvest quality of integrated and organically produced apple fruit. Postharvest Biol Tec, 45 (1): 11~19
- Wang YJ, Yang CX, Li SH, Wang YN, Zhao JB, Jiang Q (2009). Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. Food Chem, 116: 356~364
- Yo SP, Lin CH (2004). Qualitative and quantitative composition of the flavour components of Taiwan calamondin and Philippine calamansi fruit. Eur J Hort Sci, 69 (3): S117~S124
- Young H, Gilbert JM, Murray SH, Ball RD (1996). Causal effects of aroma compounds on Royal Gala apple flavours. J Sci Food Agric, 71: 329~336