

Comparative Analysis of Aroma Components of 'Lumi 1' Cultivated in Different Cultivation Environments

Cuiying Zhu¹, Xiling Fu^{1,2,3}, Wei Xiao^{1,3}, Xiude Chen^{1,3}, Ling Li^{1,3}, Chao Wang¹, Dongsheng Gao^{1,2,3*}

¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

²State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

³National Research Center for Apple Engineering and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

Email: [*chunying196217@163.com](mailto:chunying196217@163.com)

Received: Sep. 20th, 2015; accepted: Oct. 9th, 2015; published: Oct. 14th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The purpose of this study is to investigate the components of aroma by selecting a new variety of 'Lumi 1' peach fruit under distinct conditions (outdoors and greenhouse) through using Head Space Solid-Phase Microextraction (HS-SPME) and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) coupled techniques. The results show that there are significant differences in the components of aroma in peach fruit under different cultivating conditions. None of aldehydes, ketones, and acids are found in both outdoor and greenhouse conditions; however, 8 categories of aroma of 26 kinds of compounds are found outdoors, which are higher than 5 categories of aroma of 25 kinds of compounds in greenhouse. The major components of aroma are esters, accounting for 91.23% and 84.89% respectively, of which the highest contents of hexylacetate are 72.4% and 58.98% respectively. A total of 7 kinds of characteristic aroma are found in the current study, and the content of 7 aromas outdoors is 90.61%, which is lower than 88.26% of 4 aromas in greenhouse. The main reasons for being lack of flavour in greenhouse result from the decrease of ester compounds of "fruity type", the decrease of the categories and contents of alcohol compounds of "green type", the lack of aldehydes, acids and flavonoids, and the increase of terpenoid compounds of "floral type".

Keywords

Greenhouse, Peach, Aroma

*通讯作者。

不同栽培环境下桃果实香气成分的比较分析

朱翠英¹, 付喜玲^{1,2,3}, 肖伟^{1,3}, 陈修德^{1,3}, 李玲^{1,3}, 王超¹, 高东升^{1,2,3*}

¹山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东 泰安

²山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安

³山东农业大学国家苹果工程技术研究中心, 山东 泰安

Email: *chunying196217@163.com

收稿日期: 2015年9月20日; 录用日期: 2015年10月9日; 发布日期: 2015年10月14日

摘要

以选育的毛桃新品种‘鲁蜜1号’为试材, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱—质谱(GC-MS)联用技术, 测定了不同环境条件下(露天与设施栽培)桃果实香气成分。结果表明, 不同栽培条件下的桃果实中香气物质种类及含量差异较大。露天条件下检测到8类26种化合物, 设施条件下香气种类及含量略少, 检测到5类25种化合物, 没有检测到醛类、酮类、酸类化合物。其中酯类均为香气主要成分, 分别占总香气含量的91.23%、84.89%。乙酸己酯含量最高, 分别占72.4%和58.98%。在本实验中, 共检测出7种特征香气, 露天栽培条件下为7种, 总含量为90.61%。设施栽培条件下仅有4种, 总含量低于露天栽培, 为88.26%。设施栽培条件下, 果实中“果香型”酯类化合物含量减少, “青香型”醇类化合物种类及含量减少, 并且缺少醛类、酸类和酮类化合物, “花香型”萜烯类化合物增加, 是造成风味不足的主要原因。

关键词

设施, 桃, 香气

1. 引言

随着设施果树产业的迅猛发展, 桃的设施栽培面积也不断扩大, 在设施果树产业中占有相当大的比重。但是, 由于设施内环境与露天相比存在光照强度弱、光照时数少、缺少紫外线等特点, 导致设施栽培的桃果实品质往往低于露天, 最明显的就是风味偏淡。果实品质的下降成为制约设施桃产业发展的重要因素之一 [1]。香味同甜度、酸度、质地、外观一样, 是桃(*Prunus persica* L.)果实品质的重要组成部分, 直接影响人们的喜好程度。不同品种的果实其香气成分的物质组成和含量均不相同 [2] [3], 芳香物质组合及其比例决定了水果的特有香味 [4]。目前已从桃果实中鉴定出 100 多种挥发性芳香成分, 主要包括醛类、醇类、酯类、内酯类、萜烯类、酮类和烃类等 [5]-[8]。在这些香气物质中, 只有为数不多的特征性香气物质对其香气品质具有重要作用, 这些物质主要包括 C6 醛、醇、酯和内酯 [9]。

‘鲁蜜1号’毛桃, 是山东农业大学园艺科学与工程学院设施果树实验室利用 MES 诱变方法选育的早熟耐贮新品种, 具有着色艳丽、肉质细腻、口感纯正、硬度大、挂树时间长、果个大、甜度较高、花芽易分化等优点。该品种需冷量较低, 在山东气候条件下, 需冷量花芽为 424 C.H (冷温小时)、叶芽为 398 C.H; 自花结实, 果实发育期 72 天; 果实椭圆形或近圆形, 果个大, 平均单果重 160 g, 最大单果重 278 g; 果面深红色, 着色全面; 硬溶质, 粘核, 硬度大, 耐储运性良好; 日光温室栽培可溶性固形物含

量 11.1%，品质上乘，适应性广。本研究通过分析露天和设施栽培条件下‘鲁蜜 1 号’果实香气组分，探索设施栽培条件下桃香气形成特点，以期为提高设施栽培桃果实品质提供理论依据，在达到提前上市的同时确保优良的品质。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

本实验在山东农业大学园艺学院实验站进行，供试桃‘鲁蜜 1 号’分别种植于设施果树日光温室和露天两种栽培环境。株行距 $0.8\text{ m} \times 2\text{ m}$ ，采用独特“细柱式”修剪模式，5 月底、10 月底分两次施用以免粪、羊粪为主的有机肥。常规管理，树势生长健壮。设施栽培条件下，每年 12 月中旬扣棚升温，光照以自然光为主，光照时数为每天 9 小时，露天栽培研究的桃树种植于山东农业大学园艺学院实验站。设施和露天栽培条件下分别于 5 月 2 号、6 月 24 日采取完熟果实，硬度为 $0.24\sim 0.28\text{ kg/m}^2$ ，可溶性固形物为 10.2%~11.3%。每次采取 9 个果实，三次重复。样品的采集由试验者一人完成，以尽量减少采样造成的误差。

2.2. 香气成分测定

香气成分在山东农业大学园艺科学与工程学院中心实验室测定，采用的仪器为日本岛津公司生产的 GC-MS QP2010Plus 气相色谱-质谱联用仪；磁力搅拌加热板、固相微萃取器手柄及 SPME 纤维萃取头 $50/30\text{ }\mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS (双极性涂层)为美国 Supelco 公司制造。香气萃取采取顶空固相微萃取 (HS-SPME)法。

SPME 取样：每实验样品取新鲜果实 3 个洗净去皮，果肉破碎混匀，采用四分法取样，再打成匀浆，然后准确称取 40 g 加入 100 mL 锥形瓶中，加盖封口后放在磁力搅拌加热板上 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 平衡 10 分钟。将老化后的 $50/30\text{ }\mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分，于 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 吸附 40 min，吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口，于 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 解吸 3 min，同时启动仪器采集数据。

GC-MS 分析条件：采用 Shimadzu GC/MS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪进行测定分析。色谱条件：色谱柱 Rtx-5MS 型弹性石英毛细管柱 $30\text{ m} \times 0.32\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ ，程序性升温，进样口温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ，起始温度 $40\text{ }^\circ\text{C}$ ，保留 2 min，以 $6\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 $120\text{ }^\circ\text{C}$ ，以 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 $180\text{ }^\circ\text{C}$ ，保留 5 min。载气为高纯氦气，不分流，恒流 $2.71\text{ mL}/\text{min}$ ，检测器温度 $230\text{ }^\circ\text{C}$ 。

质谱条件：GC-MS 接口温度 $230\text{ }^\circ\text{C}$ ，电离方式 EI+，电子能量 70 eV，电流 $200\text{ }\mu\text{A}$ ，检测电压 350 V，离子源温度 $200\text{ }^\circ\text{C}$ ，质量范围 45~400 amu。

定性方法：得到 GC/MS 分析总离子流图(TIC)后，经计算机检索同时与 NIST05 质谱库相匹配，并结合人工图谱解及资料分析，确认香味物质的各种化学成分。

3. 结果与分析

3.1. 香气成分

根据不同处理果实的总离子流色谱图(图 1, 图 2)，经计算机谱库检索及资料分析，检出的香气成分及其含量见表 1。

由表 1 可以看出，不同栽培条件下的桃果实中共检测到 8 类 39 种芳香化合物，其中酯类 23 种，醇类 5 种，烃类 4 种、醛类、萜烯类各 2 种，酮类、酸类、内酯类各 1 种。露天条件下检测到 8 类 26 种化合物，其中酯类 14 种，醇类 4 种，烃类 2 种，醛类各 2 种，酮类、酸类、内酯、萜烯类各 1 种。设施条

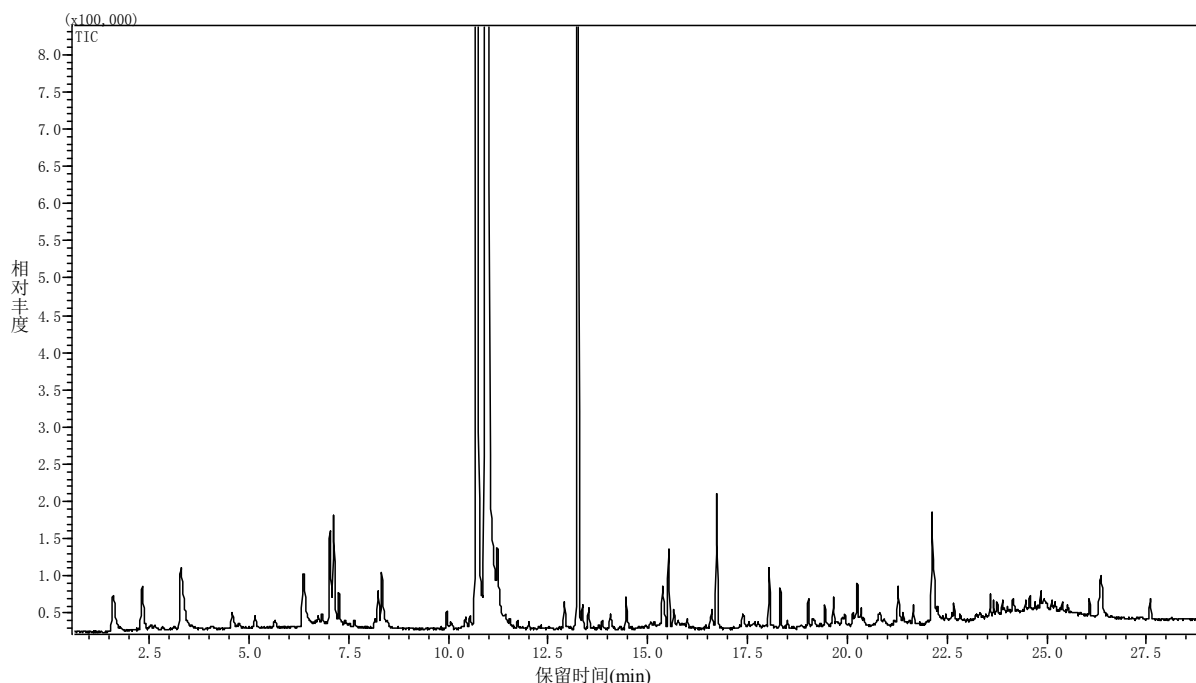


Figure 1. GC-MS total ion current chromatograms of aroma components in 'Lumi 1' peach fruit in greenhouse (TIC)
图 1. 设施条件下 '鲁蜜 1 号' 桃果实香气成分 GC-MS 总离子流色谱图(TIC)

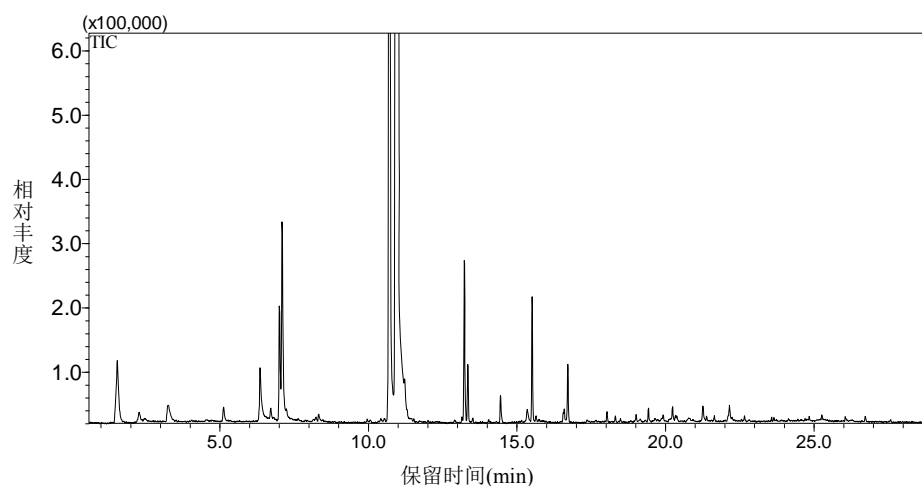


Figure 2. GC-MS total ion current chromatograms of aroma components in 'Lumi 1' peach fruit out of greenhouse (TIC)
图 2. 露天条件下 '鲁蜜 1 号' 桃果实香气成分 GC-MS 总离子流色谱图(TIC)

件下香气种类及数量略少, 检测到 5 类 25 种化合物, 其中酯类 16 种, 醇类、烃类各 3 种, 萜烯类 2 种, 内酯类 1 种, 没有检测到醛类、酮类、酸类化合物。

据统计, 露天和设施栽培条件下挥发性香气总含量分别为 98.45%、99.02%。其中酯类均为香气主要成分, 分别占挥发性香气含量的 91.23% (89.82%/98.45%)、84.89% (84.06%/99.02%)。共有 7 种酯类为露天和设施栽培下所共有, 如表 1 所示。乙酸己酯含量最高, 分别占 72.4%和 58.98%。其次为顺-3-乙酸己酯, 分别占 15.3%和 19.12%。顺-3-己烯基丁酯等 7 种酯类为露天栽培下特有, 最高含量为 1.09%。酞酸二乙酯等 9 种酯类为设施栽培下特有, 最高含量为 1.65%。

Table 1. GC-MS analysis results of volatile compounds of different peach fruits in different cultivation environment
表 1. 不同栽培环境下桃果实挥发性物质成分的 GC-MS 分析结果

	中文名称	英文名称	露天	设施
酯类 Esters	乙酸己酯	Acetic acid, hexyl ester	72.4	58.98
	顺-3-乙酸己酯	(Z)-3-Hexenyl acetate	15.3	19.12
	乙酸庚酯	Acetic acid, heptyl ester	0.29	0.23
	N-己酸(反-2-己烯基)酯	Hexanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	0.1	0.16
	正戊酸叶醇酯	Trans-2-Hexenyl valerate	0.09	1.29
	辛酸乙酯	Octanoic acid, ethyl ester	0.07	0.15
	乙酸异戊酯	1-Butanol, 3-methyl-, acetate	0.02	0.31
	顺-3-己烯基丁酯	Butanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-	1.09	
	N-丁酸(反-2-己烯基)酯	Butanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	0.17	
	乙酸乙酯	Ethyl Acetate	0.11	
	丙酸(反-2-己烯基)酯	2-Hexen-1-ol, propanoate, (E)-	0.06	
	(Z)-丙酸-3-己烯酯	3-Hexen-1-ol, propanoate, (Z)-	0.05	
	棕榈酸甲酯	Hexadecanoic acid, methyl ester	0.04	
	邻苯二甲酸二异丁酯	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	0.03	
	酞酸二乙酯	Diethyl phthalate		1.65
	反-2-丁酸己酯	(E)-2-hexenyl butanoate		1.06
	乙酸戊酯	Amyl acetate		0.39
	反-2-己烯-1-丙酸甲酯	(2E)-2-Hexenyl propionate		0.24
	N-己酸(反-2-己烯基)酯	trans-2-Hexenyl Hexanoate		0.16
	2-戊烯醇乙酸酯	(Z)-pent-2-en-1-yl acetate		0.14
	反-2-辛酸乙酯	Octanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-		0.12
	酞酸二丁酯	Dibutyl phthalate		0.05
	邻酞酸二异丁酯	Diisobutyl phthalate		0.01
含量			89.82	84.06
醇类 Alcohols	正己醇	1-Hexanol	2.73	1.37
	乙醇	Ethanol	1.48	0.72
	反-2-己烯醇	(E)-2-Hexenol,	1.37	
	顺-3-己烯醇	(Z)-3-Hexenol,	0.12	
	顺-2-己烯-1-醇	2-Hexen-1-ol, (Z)-		1.24
含量			5.7	3.33
醛类 Aldehydes	反-2-己烯醛	(E)-2-Hexenal	0.8	
	正己醛	Hexanal	0.18	
含量			0.98	0
酮类 Ketones	羟甲基丙酮	Methylolacetone	0.71	
含量			0.71	0

Continued

酸类 Acids	4-甲基-2-氧代戊酸	4-Methyl-2-oxovaleric acid	0.54	
含量			0.54	0
萜烯类 Terpenoids	芳樟醇	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	0.54	10.06
	月桂烯	Myrcene		0.13
含量			0.54	10.19
内酯类 Lactones	γ -癸内酯	Gamma-decalactone	0.08	0.1
含量			0.08	0.1
	茶香螺烷	2,6,10,10-Tetramethyl-1-oxa-spiro[4.5]dec-6-ene	0.04	0.84
烃类 Hydrocarbones	正十五烷	Pentadecane	0.04	
	十六烷	N-hexzdecane-D34		0.39
	2,6,10-三甲基十二烷	Farnesan		0.11
含量			0.08	1.34
总含量			98.45	99.02

正己醇、乙醇为共有醇类，反-2-己烯醇、顺-3-己烯醇为露天栽培下特有，顺-2-己烯-1-醇为设施栽培下特有。

反-2-己烯醛、正己醛、羟甲基丙酮、4-甲基-2-氧代戊酸为露天栽培下特有。

萜烯类化合物中芳樟醇为露天和设施栽培下所共有，但二者含量差异显著，含量分别为 0.54%和 10.06%。月桂烯为设施栽培下特有。

内酯类化合物中的 γ -癸内酯为两种栽培条件下共有，百分含量也相当，露天与设施栽培条件下分别为 0.08%和 0.1%。

3.2. 特征香气成分及其香气值

在本实验中，共检测出 7 种特征香气，其中露天栽培条件下为 7 种，总含量为 90.61%。设施栽培条件下种类少，仅有 4 种，总含量低于露天栽培，为 88.26%。表 2 为不同栽培环境下桃果实特征香气成分及其香气值。

C6 醛和醇属于“青香型”香气物质，而酯和内酯属“果香型”香气物质 [10]，萜类和酮类是桃果实中最主要的“花香型”香气物质。露天栽培条件下“青香型”：“果香型”：“花香型”为 2.29:87.78:0.54，设施栽培条件下“青香型”：“果香型”：“花香型”为 0:78.2:10.06。

4. 讨论

一般认为，酯类含量高的桃风味更佳 [11]，在两种栽培环境下香气成分中酯类化合物与其它类化合物比较种类最多，含量最高，分别高达 89.82%、84.06%。露天栽培酯类含量高 5 个百分点。本研究的结果显示，乙酸己酯是桃香气的主要贡献物质。不同栽培环境下乙酸己酯含量均占 50%以上。露天条件下含量可达 72.4%，而设施条件下明显减少，仅占 58.98%。内酯在桃中普遍存在，是对桃果实香味影响最大的特征香气物质，被称为“桃味”化合物，具有果香和甜香味，主要以 C6~C12 偶数碳原子的 γ 和 δ 内酯的形式存在。本实验仅检测到 γ -癸内酯一种内酯类化合物，并且含量很低，仅占 0.08%和 0.1%。脂肪酸途径是大多数植物香气物质形成的主要来源，是桃果实特征香气物质合成的最主要途径。脂肪酸途径有 LOX (脂氧合酶, Lipoxygenase)氧化和 β -氧化两条分支 [12] [13]。LOX 途径以亚油酸和亚麻酸为底物

Table 2. Character impact volatile constituents and odor units in different peach fruits in greenhouse and out of greenhouse
表 2. 不同栽培环境下桃果实特征香气成分及其香气值

香气种类 Aroma compounds	特征香气 Main characteristic aroma	风味描述 Odor description	露天	设施
酯类 Esters	乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	甜味/果实 Sweet/fruit	72.4	58.98
	顺-3-乙酸己酯 (Z)-3-Hexenyl acetate	果香/香蕉 Fruity/banana	15.3	19.12
	反-2-乙酸己酯 (E)-2-Hexenyl acetate	果香/香蕉 Fruity/banana		
醇类 Alcohols	顺-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol,	青香/草 Green/grass	0.12	
	反-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol,	青香/草 Green/grass	1.37	
醛类 Aldehydes	顺-3-己烯醛 (Z)-3-Hexenal	青香/叶 Green/leaf		
	反-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	青香/叶 Green/leaf	0.8	
	苯甲醛 Benzaldehyde	苦味/扁桃 Bitter/almond		
萜烯类 Terpenoids	芳樟醇 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	花香/柑橘 Flowery/citrus	0.54	10.06
	α -萜品烯 α -terpinene	花香/柑橘 Flowery/citrus		
	γ -萜品醇 γ -terpineol	花香/紫丁香 Flowery/lila		
	柠檬烯 D-limonene	甜香/柑橘 Sweet/citrus		
内酯类 Lactone	γ -己内酯 γ -hexalactone	甜香, 果香/桃 Sweet, fruity/peach		
	γ -辛内酯 γ -octalactone	甜香, 果香/桃 Sweet, fruity/peach		
	γ -癸内酯 γ -decalactone	甜香, 果香/桃 Sweet, fruity/peach	0.08	0.1
	δ -癸内酯 δ -decalactone	甜香, 果香/桃 Sweet, fruity/peach		
	γ -十二内酯 γ -dodecalactone	甜香, 果香/桃 Sweet, fruity/peach		
酮类 Ketones	β -紫罗兰酮 β -ionone	花香/紫罗兰 Flowery/violet		
	反- β -大马酮 (E)- β -damascenone	果香/蜂蜜 Fruity/honey		
总含量			90.61	88.26

形成氢过氧化物, 氢过氧化物在 HPL (氢过氧化物裂解酶, Hydroperoxidelyase) 的作用下形成己醛或己烯醛, 醛在 ADH (醇脱氢酶, Alcohol dehydrogenase) 的作用下形成相应的醇, 醇在 AAT (醇酰基转移酶, Alcohol acyltransferases) 的作用下形成相应的酯。 β -氧化以饱和脂肪酸为底物, 首先在 ACX (乙酰辅酶 A 氧化酶, Acyl-CoA oxidase) 的作用下形成反-2-酮酰辅酶 A, 随后在一些酶的作用下形成内酯 [14]。设施条件下酯类物质含量减少, 并且没有检测到醛类化合物, 究其原因可能是脂肪酸 LOX 氧化途径受到抑制。露天及设施条件下内酯类化合物含量差别不显著, 可能是设施条件对内酯的 β -氧化途径影响不大。香气成分受光照条件影响 [15] [11] [16], 设施栽培条件下, 光照强度弱、光照时数少、紫外线缺乏等环境特点导致脂肪酸 LOX 氧化途径受抑制, 进而影响果实风味。

以芳樟醇为主的萜类物质在油桃中比较多, 且阈值较低, 对油桃香味影响较大 [16]。本文对毛桃的研究发现露天条件下芳樟醇的含量极低, 仅为 0.54%, 而设施栽培条件下含量则急剧增加, 高达 10.06%, 高出近 20 倍。设施条件下芳樟醇含量增加, 可以认为合成芳樟醇等萜烯类“花香型”香气的异戊二烯途径增强。

“青香型”香气成分含量的降低对香味的影响大于“果香型”香气成分的增加对香味的影响, 当“青香型”与“果香型”香气成分的比值最低时果实香味最佳 [17]。在本实验中, 设施栽培的“青香型”/“果

香型”为0 (0:78.2)低于露天条件下的“青香型”/“果香型”0.026 (2.29:87.78)。但是我们感觉设施栽培的桃风味偏淡, 口感不如露天栽培。由鉴于此, 仅用“青香型”与“果香型”香气成分的比值来评价果实香味还不够准确, 具体评价体系还需进一步完善。

果实香气成分的形成受多种因素的影响, 不同品种或同一品种在不同地区或生长条件下会产生不同的风味。设施栽培条件下, 因光照强度弱、光照时数少、紫外线缺乏等环境特点所造成脂肪酸 LOX 氧化途径受抑制、异戊二烯途径增强, 进而使果实中“果香型”酯类化合物含量减少, “青香型”醇类化合物种类及含量减少, 并且缺少醛类和酮类化合物, “花香型”萜烯类香气增加, 是造成人们感官上感知的设施栽培水果风味不足的主要原因。

参考文献 (References)

- [1] 张梅 (2007) 设施桃果实香气组分及相关性研究. 硕士学位论文, 山东农业大学, 泰安.
- [2] Horvat, R.J., Chapman, G.W. and Robertson, J.A. (1990) Comparison of the volatile compounds from several commercial peach cultivars. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **38**, 234-237. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00091a051>
- [3] 王贵章, 李杨昕, 王贵禧, 梁丽松, 马庆华 (2014) 外源乙烯对冷藏桃果实香气物质合成的调控. *林业科学*, **3**, 55-62.
- [4] Riu-Aumatell, M., Castellari, M., López-Tamames, E., et al. (2004) Characterization of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS. *Food Chemistry*, **87**, 627-637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.12.033>
- [5] Aubert, C. and Milhet, C. (2007) Distribution of the volatile compounds in the different parts of a white-fleshed peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Food Chemistry*, **102**, 375-384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.030>
- [6] Wang, Y., Yang, C., Li, S., Yang, L., Wang, Y., Zhao, J. and Jiang, Q. (2009) Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, **116**, 356-364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.004>
- [7] Eduardo, I., Chietera, G., Bassi, D., et al. (2010) Identification of key odor volatile compounds in the essential oil of nine peach accessions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **90**, 1146-1154. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3932>
- [8] Montero-Prado, P., Bentayeb, K. and Nerin, C. (2013) Pattern recognition of peach cultivars (*Prunus persica* L.) from their volatile components. *Food Chemistry*, **138**, 724-731. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.145>
- [9] 李明, 王利平, 张阳, 王建新 (2006) 水蜜桃品种间果香成分的固相微萃取-气质联用分析. *园艺学报*, **5**, 1071-1074.
- [10] Zhang, B., Shen, J.Y., Wei, W.W., et al. (2010) Expression of genes associated with aroma formation derived from the fatty acid pathway during peach fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**, 6157-6165. <http://dx.doi.org/10.1021/jf100172e>
- [11] Wang, Y.J., Yang, C.X., Li, S.H., et al. (2009) Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS. *Food Chemistry*, **116**, 356-364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.004>
- [12] Schwab, W., Davidovich-Rikanati, R. and Lewinsohn, E. (2008) Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *The Plant Journal*, **54**, 712-732. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03446.x>
- [13] Sanz, C. and Pérez, A.G. (2010) Handbook of fruit and vegetable flavors. Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [14] Xi, W.P., Zhang, B., Shen, J.Y., et al. (2012) Intermittent warming alleviated the loss of peach fruit aroma-related esters by regulation of AAT during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, **74**, 42-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.07.003>
- [15] Génard, M. and Bruchou, C. (1992) Multivariate analysis of within-tree factors accounting for the variation of peach fruit quality. *Scientia Horticulturae*, **52**, 37-51. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90006-X](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4238(92)90006-X)
- [16] 席万鹏, 郁松林, 周志钦 (2013) 桃果实香气物质生物合成研究进展. *园艺学报*, **9**, 1679-1690.
- [17] 李杨昕, 王贵禧, 梁丽松 (2011) ‘大久保’桃常温贮藏过程中香气成分变化及其与乙烯释放的关系. *园艺学报*, **1**, 35-42.