

# HS-SPME-GC/MS 分析油桃果实 C<sub>6</sub> 醇醛挥发性成分变化

秦玲<sup>1</sup>, 康文怀<sup>2</sup>, 张志雯<sup>1</sup>, 郭艾英<sup>1</sup>

(1. 河北科技师范学院生命科技学院, 河北秦皇岛 066004) (2. 河北科技大学生工学院, 河北石家庄 050018)

**摘要:** 本文比较了3种油桃在着色期和商熟期 C<sub>6</sub> 醇、醇类物质的变化。以“春光”、“艳光”、“千年红”3种早熟油桃果实为试材, 采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 和气相色谱质谱联用仪 (GCMS), 测定了油桃果实中 C<sub>6</sub> 醇、醇类化合物。研究表明: 早熟油桃果中主要 C<sub>6</sub> 化合物为己醛、反-2-己烯醛、己醇、反-2-己烯醇、顺-3-己烯醇。在不同成熟阶段, 油桃果实各 C<sub>6</sub> 醇醛类挥发性物质含量明显不同, 反-2-己烯醛含量最高, 着色和商熟期平均含量为 331.0 μg/L 和 231.6 μg/L, 顺-3-己烯醇含量最低, 着色和商熟期只有 11.1 μg/L 和 5.5 μg/L, 商熟期 C<sub>6</sub> 醇醛类含量降低明显。不同品种、不同果实发育期 C<sub>6</sub> 醇醛化合物含量不同, “千年红”油桃果实具有较多反-2-己烯醛、己醛和己醇, 明显高于“艳光”、“春光”。C<sub>6</sub> 醇类物质在两个时期均具有较高的香气值, 对早熟油桃香气贡献大; 而 C<sub>6</sub> 醇类物质香气值低, 对早熟油桃香气贡献小。

**关键词:** 油桃; 香气成分; HS-SPME; GCMS

文章编号: 1673-9078(2015)8-301-307

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.8.047

## Changes in C<sub>6</sub> Volatile Aldehyde and Alcohol Components of Nectarine

### Fruits Analyzed by Headspace Solid-Phase Microextraction-gas

### Chromatography/Mass Spectrometry

QIN Ling<sup>1</sup>, KANG Wen-huai<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-wen<sup>1</sup>, GUO Ai-ying<sup>1</sup>

(1. Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066004, China)

(2. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

**Abstract:** The fruits of three precocious peach cultivars, ‘Chunguang’, ‘Yanguang’, and ‘Qiannianhong’ were used to study changes in the content of C<sub>6</sub> alcohols and aldehydes during coloring and maturity periods. Headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography/mass spectrometry (GCMS) were used to determine the content of C<sub>6</sub> alcohols and aldehydes in the nectarine fruits. The results showed that the main C<sub>6</sub> volatile compounds included hexanal, *trans*-2-hexenal, hexanol, *trans*-2-hexen-1-ol, and *cis*-3-hexen-1-ol. Additionally, the content of C<sub>6</sub> volatile compounds in nectarine fruits were significantly different during different stages of maturity. The content of *trans*-2-hexenal was the highest, averaging 331.0 and 231.6 μg/L during the coloring and maturity periods, respectively. On the other hand, the content of *cis*-3-hexen-1-ol was the lowest, averaging 11.1 and 5.5 μg/L during the coloring and maturity periods, respectively. ‘Qiannianhong’ contained relatively high levels of hexanal, *trans*-2-hexenal, and hexanol, which were significantly higher than those in ‘Chunguang’ and ‘Yanguang’. The C<sub>6</sub> aldehydes showed relatively high odor activity values (OVAs) during the two periods, contributing greatly to the aroma of nectarine fruits. On the other hand, the OVAs of C<sub>6</sub> alcohols were relatively low, showing less contribution to the aroma. Thus, the content of C<sub>6</sub> volatile compounds in nectarine fruits significantly decreased during the maturity period and also differed between different cultivars and different stages of development.

**Key words:** nectarine; aromatic components; head space-solid-phase microextraction; gas chromatography/mass spectrometry

油桃 (*Prunus persica* L. Nectarine) 是普通毛桃变,

收稿日期: 2014-10-22

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (G2014407013); 河北省高等学校科学技术研究重点项目 (ZH2011225)

作者简介: 秦玲 (1974-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果品风味化学研究

通讯作者: 康文怀 (1971-), 男, 博士, 研究方向: 风味化学研究

种, 原产于我国。我国早期油桃品种多引自欧美, 味道较酸, 风味偏淡, 不太符合东方人的消费习惯<sup>[1]</sup>。桃育种学家以早熟、优质和低裂果率为主要育种目标选育出一批适应性较好、风味以甜主的新品种, 使我国油桃生产得到了发展。早熟油桃品种以果实光滑鲜艳, 风味浓郁, 食用方便而深受人们的喜爱。风味中香气成分是桃品质重要组成部分, 也体现种、品种差

异性, 香气物质研究对提高油桃栽培、育种及深加工具有重要意义<sup>[2]</sup>。

不同年份、地域、品种和采收时期的桃、油桃香气成分差异明显<sup>[3-6]</sup>。Visai等<sup>[4]</sup>认为与普通桃相比, 油桃风味物质种类较少, 具有相对较多的酯类和醇类, 呈现出更多的花香和果香气味; Lavilla等<sup>[7]</sup>利用油桃特征风味物质的出现, 来判断果实最佳采收期; Engel等<sup>[6]</sup>利用液液萃取结合GC/GM, 检测油桃中主要香味物质为C<sub>6</sub>醛醇和C<sub>6-12</sub>内酯化合物。近年来发展起来的顶空固相微萃取(HS-SPME)技术为快速、准确分析桃及油桃香气成分提供了便利, Wang等<sup>[5]</sup>利用HS-SPME结合GC/MS方法, 报道我国50种桃、油桃中的84种挥发性物质, 在没有考虑C<sub>6</sub>化合物基础上, 将油桃和桃分为富含内酯类、萜类、芳樟醇类和不含有特征挥发物四类。桃和油桃果实中C<sub>6</sub>化合物含量较高, 主要有己醛、2-或3-己烯醇、2-或3-己烯醛的顺式或反式异构体等<sup>[5,7]</sup>。目前, 关于桃和油桃果中C<sub>6</sub>化合物的定量分析未见报道。

每种果树果实均具有有别于其它果树的特征香气。特征香气由香气阈值较低、相对含量较高的芳香物质构成<sup>[5-7]</sup>。果实不同发育期香气成分的定性和定量检测, 是确定其果实特征香气和判断果实成熟的主要途径<sup>[7-13]</sup>。目前, 研究我国早熟甜油桃品种间香气成分变化报道较少, 油桃果中C<sub>6</sub>醛醇类物质含量较高, 关于油桃果实C<sub>6</sub>醛醇类化合物定量测定的研究尚属空白, 研究我国早熟甜油桃的风味特征香气, 并建立C<sub>6</sub>醛醇类化合物的定量分析检测技术极为重要。本研究选取早熟油桃品种“春光”、“艳光”、“千年红”为材料, 利用顶空固相微萃取技术(HS-SPME)结合气相色谱质谱联用仪(GC/MS)技术, 定性定量测定了三种早熟甜油桃果不同采收时间主要C<sub>6</sub>风味化合物变化, 及对果实香气的贡献, 以期为监控油桃果实生产, 评价油桃品质, 构建油桃品种栽培和选育标准提供技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材

试验于2012年04月-2013年04月在河北科技师范学院生命科技学院和江南大学国家教育部生物技术研究中心进行。

试材取自河北科技师范学院园艺实验站。油桃品种类型为“春光”、“艳光”、“千年红”, 树龄9~12年生, 砧木为野生毛桃, 株行距为4 m×5 m, 树冠开心形, 土壤为棕壤土, 果园管理水平良好。分别在盛花后

75~77 d(果实着色期)和90~92 d(果实高熟期)采样, 每次每处理在树冠外围东南向高约1.5~2 m, 随机采果20个, 取样时间为上午9:00~10:00。

### 1.2 主要仪器和试剂

Agilent GC-6890-5975 mass selective detector, 美国Agilent公司; 自动固相微萃取, 德国Gerstel公司; Beckman AVANTI J-E离心机, 美国Beckman公司; 萃取头CAR/DVB/PDMS, 美国Supelco公司; 超声波萃取仪等。

己醛, 分析纯, sigma公司; 反(E)-2-己烯醛, 上海晶纯试剂有限公司; 己醇, sigma公司; 反(E)-2-己烯醇, sigma公司; 顺(Z)-3-己烯醇, sigma公司; 2-辛醇, sigma公司; 无水乙醇, 上海国药集团。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品预处理

桃汁制备: 油桃果实洗净, 去核, 准确称取1 kg油桃样品, 加入10 g CaCl<sub>2</sub>和100 g NaCl, 于超声波萃取仪中浸取15 min。10000 r/min离心5 min, 取上清液, 置-80℃冰箱备用。

标准溶液配制: 准确称取一定量相应标样, 用无水乙醇中配成一定浓度的标准样品母液, 用煮沸的去离子水, 酒石酸5 g/L, 配成一系列浓度(1~1000 μg/L)的标准混合溶液, 内标为2-辛醇。

#### 1.3.2 HS-SPME 萃取条件

吸取桃汁8 mL于20 mL含300 g/L NaCl的顶空瓶, 加盖密封。将固相萃取头插入样品瓶顶空部分, 于45℃下萃取30 min。吸附饱和后的萃取头插入气相色谱进样口, 于250℃解析3 min, 进行GC/MS检测分析。

#### 1.3.3 GC/MS 条件

GC条件: 色谱柱为CP-Wax(60 m×0.25 mm×0.25 μm, Agilent)。进样口温度250℃, 载气He, 流速2 mL/min, 检测器温度250℃。程序升温: 初始温度50℃保持1 min, 以每分钟4℃的速度升温至230℃, 保持15 min。

MS条件: EI 电离源, 电子能量70 eV, 离子源温度230℃, 扫描范围33.00~500.00 u。

样品测试重复三次。

#### 1.3.4 定量分析

(1) 相对百分含量测定<sup>[8]</sup>: 为比较C<sub>6</sub>醇醛类物质在所有香气物质中所占百分比, 采用峰面积归一化法进行计算, 统计待测样品中各香气成分的总峰面积, 进而确定样品各C<sub>6</sub>醇醛物质所占百分比, 用%表示。

(2) 全定量测定: 为比较C<sub>6</sub>醇醛类物质在所有

香气物质中实际含量,采用离子积分法(SIM),通过分析不同浓度下目标物质与内标物质离子峰面积,建立标准曲线,进而确定待测样品中 C<sub>6</sub>醇醛物质的实际含量,用 μg/L 表示。

## 2 结果与分析

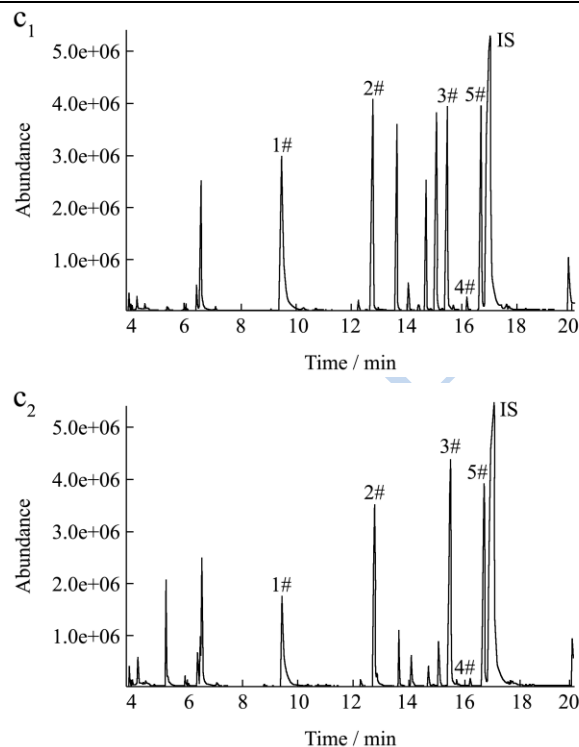
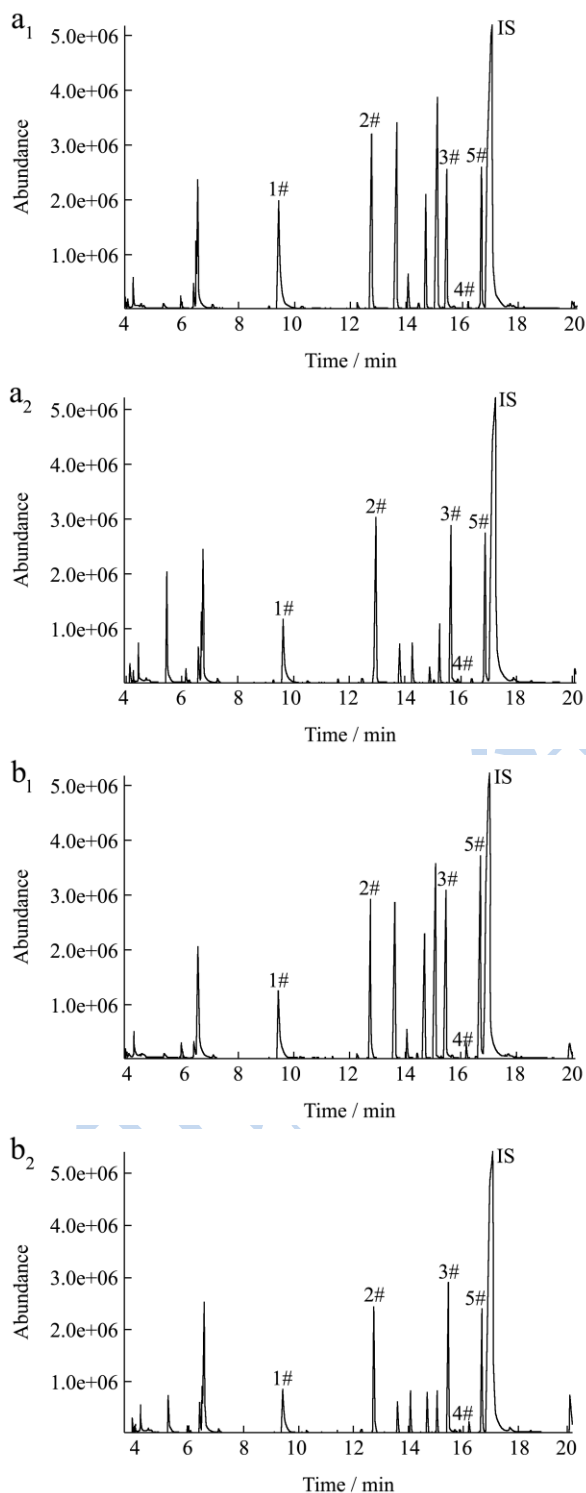


图 1 油桃果实香味成分的离子流图

Fig.1 Total ionic chromatogram of aroma components in nectarine fruits

注: a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>、c<sub>1</sub> 为“春光”、“艳光”、“千年红”着色期质谱图峰, a<sub>2</sub>、b<sub>2</sub>、c<sub>2</sub> 为商熟期质谱图峰, 图中 1-6 # 分别标示己醛、反-2-己烯醛、己醇、顺-3-己烯醇、反-2-己烯醇质谱图峰, IS 表示标样质谱图峰。

### 2.1 油桃果实 C<sub>6</sub> 醛醇挥发性物质定性分析

表 1 CP-Wax 柱上检测到的油桃主要 C<sub>6</sub> 风味物质

Table 1 Characterization and identification of aroma compounds in nectarine fruits on the CP-Wax column

编号	保留时间	化合物名称	香气描述	匹配度/%	确定方式
1	9.444±0.021	己醛	青草气味	90	RI, MS
2	12.745±0.020	反-2-己烯醛	青草气味	93	RI, MS
3	15.452±0.050	1-己醇	花香, 果香	90	RI, MS
4	16.201±0.005	顺-3-己烯醇	青草气味	94	RI, MS
5	16.706±0.015	反-2-己烯醇	树叶气味	88	RI, MS

注: RI 表示保留指数; MS 表示质谱仪法。

气相色谱-质谱-计算机联用技术检测“春光”、“艳光”、“千年红”油桃果实在着色期、商熟期的 GC-MS 总离子流及色谱峰(见图1)。在果实成熟过程中,不同品种间香气物质差异较大,同一品种着色期与商熟期

香气物质种类和含量存在较大差异。各组分质谱经 NIST 库检索及资料分析,共检测出早熟油桃 42 种香气成分,主要为醇类、醛类、酮类、酯类和内酯类。其中,“春光”共检测出 31 种物质,“艳光”28 种物质,“千年红”22 种物质,3 种油桃着色和检测的共有挥发性成分有 17 种。其中 C<sub>6</sub> 醛类化合物 2 种,(E)-2-己烯醛和己醛; C<sub>6</sub> 醇类 3 种,即(E)-2-己烯醇、己醇和(Z)-3-己烯醇。

C<sub>6</sub> 醛醇种类众多,相互之间存在干扰。为准确定性上述物质,本文采用 NIST 库检索、RI 保留指数、标准样品比对等方法对物质进行定性分析(见表 1)。确

表 2 油桃果实不同时期 C<sub>6</sub> 醛醇化合物相对百分含量/%

Table 2 Relative percent content of C<sub>6</sub> aromatic compounds in the fruits of different nectarine cultivars during different periods /%

物质名称	春光		艳光		千年红	
	着色期	商熟期	着色期	商熟期	着色期	商熟期
己醛	8.13±0.06	8.25±0.04	13.58±0.23	10.55±0.17	19.16±0.62	13.15±0.48
(E)-2-己烯醛	12.11±0.40	13.78±0.15	14.19±0.43	18.99±0.39	16.49±0.32	19.98±0.75
己醇	11.99±0.45	16.99±0.19	8.41±0.51	15.37±0.41	12.56±0.87	19.33±1.15
(E)-2-己烯醇	11.12±0.39	11.94±0.78	10.02±0.25	13.20±0.67	11.62±0.51	17.43±0.24
(E)-3-己烯醇	0.77±0.19	0.88±0.28	0.54±0.09	0.33±0.11	0.43±0.18	0.21±0.08

对峰面积进行百分比统计(表 2),着色期“春光”、“艳光”、“千年红”油桃果实 C<sub>6</sub> 醛醇化合物所占相对百分比分别为 49.3%、46.5%、60.3%,商熟期为 51.9%、58.4%、70.1%。两时期油桃 C<sub>6</sub> 挥发性物质含量平均达到了 56.07% 以上。可见, C<sub>6</sub> 醛醇化合物是早熟油桃果实中极为重要的风味物质,不同品种在果实不同发育期相对百分含量不同,商熟期“千年红”最高,占总峰面积的 70.1%;商熟期 C<sub>6</sub> 醛醇化合物的相对含量高于着色期。

油桃果实中 5 种主要 C<sub>6</sub> 醛醇化合物相对百分含量,(E)-2-己烯醛平均含量最高,占总峰百分比 15.92%,其次为己醇 14.11%,(E)-2-己烯醇 13.41%、己醛 12.14%,(Z)-3-己烯醇含量极低,平均含量不到 0.5%。

## 2.3 油桃果实中 C<sub>6</sub> 醛醇类挥发性物质定量分析

### 2.3.1 C<sub>6</sub> 醛醇化合物定量分析方法的建立

利用离子积分法,对油桃果实中的 C<sub>6</sub> 醛醇物质进行定量测定。该法具有灵敏度高,重复性好等特点,选择己醛的特征离子为 56,己醇 56,(E)-2-己烯醛 55,(E)-2-己烯醇 57,(Z)-3-己烯-1-醇 67。用标样浓度(X)对相应特征离子峰面积(Y)进行线性回归,研究线性范围、最低检测限(见表 3)。

上述五种 C<sub>6</sub> 物质在 1~1000 μg/L 范围内,标准曲线的相关系数均达到了 0.99 以上,说明该方法线性关系良好。最低检测限即色谱图上可以清楚确认目的物

定的油桃中主要 C<sub>6</sub> 醇醛类物质主要包括己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、(E)-2-己烯醇、(Z)-3-己烯-1-醇等五种。由表 1 可知,样品中各物质与标准品的保留时间高度一致,NIST 检索表明物质匹配度高,香气特征与文献报道一致,说明对己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、(E)-2-己烯醇、(Z)-3-己烯-1-醇定性准确。

## 2.2 油桃果实中 C<sub>6</sub> 醛醇挥发性物质相对百分含量分析

色谱峰的下限,通常为噪音的 3 倍(SIG/N=3)。C<sub>6</sub> 醛醇类化合物的检测下限均小于 5 μg/L(见表 3),说明该方法灵敏。

选成熟“千年红”桃汁,分别添加 300 μg/L 己醛、300 μg/L (E)-2-己烯醛、300 μg/L 己醇、50 μg/L 顺-3-己烯-1-醇及 100 μg/L (E)-2-己烯醇,利用 HS-SPME 和 GC-MS,依照上述方法测定其回收率(%)。从表 2 可知,己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、(Z)-3-己烯醇、(E)-2-己烯醇的回收率均在 85~105% 范围,相对标准偏差为 3~7%,说明利用上述定量分析方法准确,可用于对相应样品进行定量测定。

### 2.3.2 油桃果实 C<sub>6</sub> 醛醇挥发性物质含量变化

不同品种油桃 C<sub>6</sub> 醛类挥发性物质含量变化见图 2 a、b, C<sub>6</sub> 醇类见图 2 c、d、e。

由图 2 中 a、b 可知,(E)-2-己烯醛含量在 C<sub>6</sub> 醇醛类中最高,着色期油桃果实(E)-2-己烯醛平均含量为 330.5 μg/L,商熟期(E)-2-己烯醛含量下降。“春光”、“艳光”、“千年红”分别下降 40.8%, 14.9% 和 33.1%。“春光”、“千年红”下降明显。品种间比较发现,“千年红”在着色和商熟两时期,(E)-2-己烯醛含量都明显高于“春光”、“艳光”。3 种油桃果实的己醛平均含量着色期为 327.0 μg/L,在商熟时期明显下降,只有 141.7 μg/L,特别是“千年红”,与着色期相比己醛含量下降达到 62.5%。

三种早熟油桃己醇平均含量,在着色和商熟期分别为 261.0 μg/L 和 216.8 μg/L,图 2 中 c、d、e 可知,

商熟期三种油桃的己醇含量不同程度降低,“春光”、“艳光”、“千年红”分别下降 26.3%、8.7%、15.1%，“春

光”下降最为明显。“千年红”己醇含量在着色、商熟两时期都明显高于“春光”、“艳光”。

表 2 C<sub>6</sub>风味物标准曲线、线性范围及其最低检测限

**Table 2 Standard curves, linear range, and the limit of detection of C<sub>6</sub> aromatic compounds**

物质名称	标准曲线	R <sup>2</sup>	线性范围/(μg/L)	回收率/%
己醛	Y = 6.289 * 10 <sup>-5</sup> * X - 5.980	R <sup>2</sup> =0.993	1~1000	89.2±3.3
(E)-2-己烯醛	Y = 5.361 * 10 <sup>-5</sup> * X + 5.688	R <sup>2</sup> =0.997	2~1000	98.6±3.9
己醇	Y = 7.138 * 10 <sup>-5</sup> * X - 3.375	R <sup>2</sup> =0.998	2~1000	101.5±4.1
顺-3-己烯醇	Y = 1.250 * 10 <sup>-5</sup> * X - 1.360	R <sup>2</sup> =0.994	4~1000	86.5±5.5
(E)-2-己烯醇	Y = 9.152 * 10 <sup>-5</sup> * X - 4.514	R <sup>2</sup> =0.992	2~1000	103.3±6.8

油桃中(E)-2-己烯醇平均含量着色期为 283.1 μg/L, 商熟期也不同程度的降低,“春光”、“艳光”、“千年红”含量分别下降 61.8%、16.3%、17.2%，“春光”下降最为明显。在 C<sub>6</sub> 醇醛类挥发性成分中, (Z)-3-己烯醇平均含量最低, 着色期和商熟期分别只有 11.1 μg/L 和 5.5 μg/L, “千年红”下降最为明显, 含量也最低, 只有 3.4 μg/L。

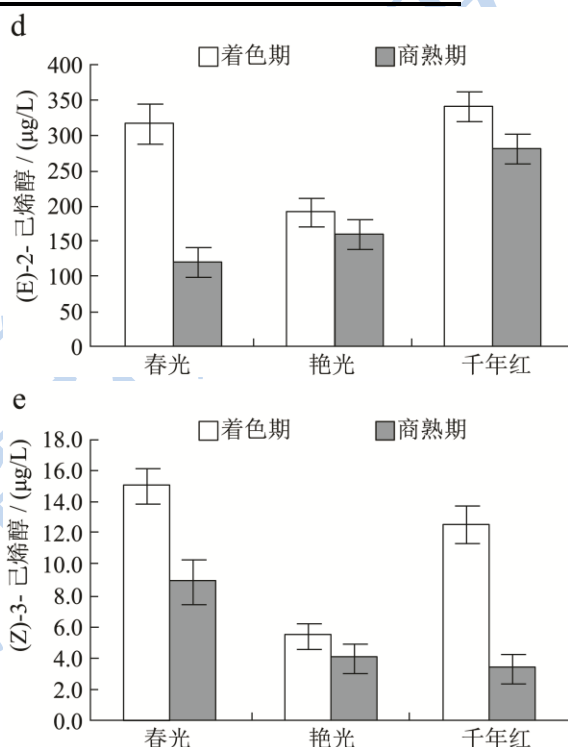
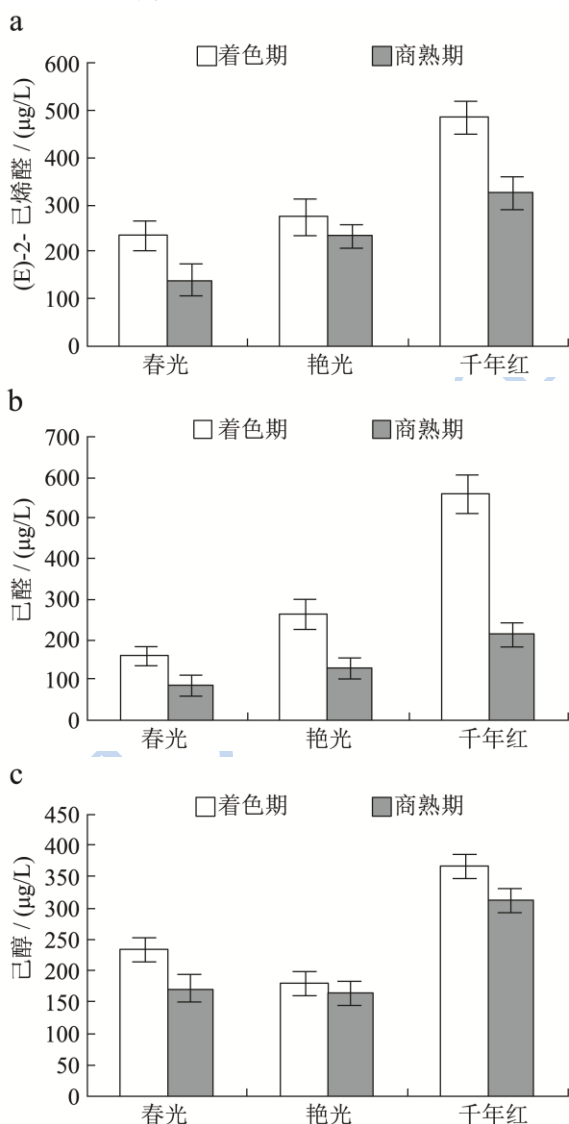


图 2 不同品种油桃 C<sub>6</sub> 醇醛类风味含量的变化

**Fig.2 Changes in the content of C<sub>6</sub> alcohols and aldehydes in the fruits of different nectarine cultivars**

三种油桃果实(E)-2-己烯醛、己醛含量明显降低, 说明随着果实成熟, 主要 C<sub>6</sub> 醛类挥发性物质含量降低, 油桃果实所具有青草味变淡。成熟“千年红”油桃果实中(E)-2-己烯醇和己醇含量均明显高于“春光”和“艳光”, (E)-2-己烯醇具有青草香, 己醇具有淡青的嫩枝叶气息, 微带花香、果香, 二者为商熟期“千年红”贡献了较好的风味。“春光”中(Z)-3-己烯醇含量明显高于“千年红”和“艳光”, (Z)-3-己烯-1-醇也叫叶醇, 青叶醇, 具有强烈的新鲜叶草香气。

### 2.3.3 不同油桃品种香气值的变化

己醛、(E)-2-己烯醛、(Z)-3-己烯-1-醇均具有青草气味; 己醇具有花香, 果香; (E)-2-己烯醇具有树叶气味。由于其阈值不同, 其在油桃果实中贡献也不相同。

根据香气物质的香气值(OAVs),即香气物质含量与其阈值比值,判断香气物质对香气特征的贡献。

从表3可知,油桃果中己醛具有较高的香气值,对其果实香气贡献较大,(E)-2-己烯醛尽管在油桃中含量较高,但其香气值并不是最高。而己醇、(Z)-3-己烯醇香气值油桃中含量较低,对油桃香气的贡献较小。三种油桃果己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、顺-3-己烯醇

的香气值在着色期明显高于商熟期。不同油桃果 C<sub>6</sub> 醇醛的 OAVs 明显不同,如“千年红”商熟期己醛的 OAVs 值为 9.3~51.9 μg/L,“春光”和“艳光”分别为 6.9~38.6 μg/L 和 5.7~31.4 μg/L,“千年红”的香气值明显高于“春光”、“艳光”。油桃果中己醛相对较高的香气值,可以将其作为判断油桃果采收期的重要参考指标。

表3 油桃果实 C<sub>6</sub> 风味物香气值(OAVs)变化(μg/L)

Table 3 OAVs of different C<sub>6</sub> volatile compounds in nectarine fruits (μg/L)

物质	春光		艳光		千年红		香气阈值 <sup>[9]</sup>	品尝阈值 <sup>[9]</sup>
	着色期	商熟期	着色期	商熟期	着色期	商熟期		
己醛	6.9-38.6	3.7-20.4	11.5-63.7	5.7-31.4	24.6-137.0	9.3-51.9	4.1-22.8	n/a
(E)-2-己烯醛	7.8	4.6	9.1	7.7	16.1	10.8	30	10000
己醇	1.17	0.86	0.81	0.94	1.84	1.56	200-2500	n/a
顺-3-己烯醇	0.22	0.13	0.08	0.06	0.18	0.05	70	30000
(E)-2-己烯醇	-	-	-	-	-	-	-	30000

注: -表示未检测到。

### 3 讨论

C<sub>6</sub> 醛醇风味化合物是果实中一类重要风味化合物,在葡萄、樱桃、桃、苹果等许多果实中含量都很高。Crouzet等<sup>[10]</sup>发现C<sub>6</sub>化合物约占Loureiro或Alvarinho葡萄香气成分含量的70%左右,对葡萄和葡萄酒香气的构成具有重要影响。Girard等<sup>[13]</sup>对“Sweet-heart”、“Salmo”、“Pico Colorado”等欧美甜樱桃主栽品种香气成分进行研究,认为C<sub>6</sub>化合物己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯醇是甜樱桃果实最重要的香气成分。本研究表明,C<sub>6</sub>挥发性化合物是早熟甜油桃果主要成分,这于Wang Y等<sup>[13]</sup>研究结果一致。本研究进一步测定油桃果中C<sub>6</sub>醛醇化合物主要为己醛、(E)-2-己烯醛、己醇、(E)-2-己烯醇、(Z)-3-己烯醇,占果实香气成分的50%以上,在着色期就大量存在,他们对早熟油桃果实香气成分贡献较大。

C<sub>6</sub> 醛醇挥发性化合物在评价果实品质及育种等方面具有重要价值。Encarna Gómez等<sup>[11]</sup>在研究葡萄香气变化中发现,C<sub>6</sub>化合物含量很高,对葡萄香气成分贡献大,可用来判断葡萄果实最佳成熟度。Oliveira等<sup>[12]</sup>利用C<sub>6</sub>醇类化合物己醇、顺(反)-3-己烯醇以及之间的比值,作为主要指标对葡萄酒原产地进行鉴别。Visai认为<sup>[4]</sup>,与桃果实相比,油桃中含有较多酯类和萜类化合物,具有较多花香和果香风味特征。Wang等<sup>[5]</sup>研究表明,C<sub>6</sub>醛醇化合物是桃和油桃主要挥发性物质,占总挥发性物质的59.9%以上。目前,关于油桃果C<sub>6</sub>醛醇挥发性物质缺乏深入报道,本研究以“艳光”、“春光”、“千年红”3种早熟油桃果实为试材,定量测定C<sub>6</sub>醛醇挥

发性物质表明,早熟油桃果实中(E)-2-己烯醛和己醛含量较高,在着色期平均含量高达330.5和327.0 μg/L,(Z)-3-己烯醇含量较低,平均含量只有11.1 μg/L。有研究报道<sup>[13]</sup>,己醛与(E)-2-己烯醛等C<sub>6</sub>醛类具有青苹果(green apple)和青草样(grasslike)香味,这与早熟油桃果风味的感官鉴定结果是吻合的。不同油桃品种C<sub>6</sub>挥发性化合物含量差异明显,“千年红”中己醛、(E)-2-己烯醛含量在着色期和商熟期明显高于“艳光”、“春光”;己醇含量也明显高于“艳光”、“春光”,“千年红”中己醇含量虽高,但其对油桃果的风味贡献很小。己醛、(E)-2-己烯醛具有较高香气值,对早熟油桃香气风味的构成贡献大。较高的己醛和(E)-2-己烯醛含量,特别是己醛,可能贡献了“千年红”的特殊香气。鉴于早熟油桃果实中C<sub>6</sub>醇醛类香气成分的独特性,将C<sub>6</sub>醇醛挥发性成分作为判断油桃成熟度和育种指标,对改进现有早熟油桃品种的最佳风味品质具有重要意义。

### 4 结论

油桃果中主要 C<sub>6</sub> 化合物为己醛、反-2-己烯醛、己醇、反-2-己烯醇、顺-3-己烯醇,商熟期 C<sub>6</sub> 化合物相对百分含量高于着色期。不同油桃品种 C<sub>6</sub> 醇醛化合物含量不同,“千年红”油桃果实具有较多反-2-己烯醛、己醛和己醇,明显高于“艳光”、“春光”。C<sub>6</sub> 醛类物质在两个时期均具有较高的香气值,特别是己醛,对早熟油桃香气贡献较大;而 C<sub>6</sub> 醇类物质香气值低,对早熟油桃香气贡献小。

### 参考文献

- [1] 马瑞娟,俞明亮,汤秀莲,等.油桃育种进展[J].果树科学,2000, 17(3):214-219  
MA Rui-juan, YU Ming-liang, TANG Xiu-lian, et al. Advances in nectarine breeding [J]. Journal of Fruit Science, 2000, 17(3): 214-219
- [2] Jennings W, M Sevenants. Volatile components of peacha [J]. Journal of Food Science, 1964, 29(6): 796-801
- [3] Engel KH, DW Ramming, RA Flath, et al. Investigation of volatile constituents in nectarines 2 changes in aroma composition during nectarine maturation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36(5): 1003-1006
- [4] Visai C, M Vanoli. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines [J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70(1): 15-24
- [5] Wang Y, C Yang, S Li, et al. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 356-364
- [6] Engel KH, RA Flath, RG Buttery, et al. Investigation of volatile constituents in nectarines 1 analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1988, 36(3): 549-553
- [7] Lavilla T, I Recasens, ML Lopez, et al. Multivariate analysis of maturity stages, including quality and aroma, in 'Royal Glory' peaches and 'Big Top' nectarines [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82(15): 1842-1849
- [8] 杨敏,周围,魏玉梅.桃品种间香气成分的固相微萃取-气质联用分析[J].食品科学,2008,29(5):389-392  
YANG Min, ZHOU Wei, WEI Yu-mei. Solid phase microextraction-GC-MS analysis of fruit aroma components of five peach cultivars [J]. Food Science, 2008, 29(5): 389-392
- [9] Burdock GA. Fenaroli's handbook of flavor ingredients [M]. 2010: CRC press
- [10] Crouzet J. Les enzymes et l'arôme des vins [J]. Rev Fran OEnol, 1986, 102: 42-49
- [11] Gómez E, A Martínez, J Laencina. Changes in volatile compounds during maturation of some grape varieties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1995, 67(2): 229-233
- [12] Oliveira JM, M Faria, F Sa, et al. C<sub>6</sub>-alcohols as varietal markers for assessment of wine origin [J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 563(1-2): 300-309
- [13] Horvat R, G Chapman Jr, J Robertson, et al. Comparison of the volatile compounds from several commercial peach cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(1): 234-237