

4个地区水蜜桃挥发性物质鉴定与比较分析

郝明悦, 方伟超, 陈昌文, 王力荣, 曹珂*

(中国农业科学院郑州果树研究所·神农种业实验室, 郑州 450009)

摘要:【目的】分析江浙地区水蜜桃的香气组分和含量。【方法】选择江苏无锡、浙江杭州和浙江宁波的12份样品为材料,以河南郑州管城区的16份白肉水蜜桃为对照,采用顶空固相微萃取结合气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)检测供试样品的挥发性物质组分和含量。【结果】在28份样品中,共检出71种挥发性物质,主要为醛类物质,其次是内酯类和酯类。在江苏无锡、浙江杭州、浙江宁波和河南郑州的样品中分别检测到52、41、41和62种挥发性物质,4个地区共有的挥发性物质共34种,特异性物质分别为5、0、1和14种。比较挥发性物质的总量,江浙水蜜桃挥发性物质总量明显高于河南郑州地区,然而后者却含有较高的醛类物质如2-己烯醛、乙醛和壬醛等,占比达到42.99%。河南郑州地区桃种质的萜烯类物质如芳樟醇含量却显著低于其他3个地区。【结论】比较不同地区的相同桃品种的香气组分与含量,发现江苏无锡的两种果香味的内酯类物质 γ -癸内酯和 δ -癸内酯含量均高于浙江杭州和河南郑州的桃样品。本研究结果为江浙水蜜桃果品提质增效提供品种选择和栽培技术支撑,为适地适栽奠定理论依据。

关键词:桃;挥发性物质;重要香气成分;果实品质;溶质

中图分类号:S662.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2025)10-2308-13

Identification and comparative analysis of volatile components in peaches from four regions

HAO Mingyue, FANG Weichao, CHEN Changwen, WANG Lirong, CAO Ke*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/The Shennong Laboratory, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract: 【Objective】 Peach is an important widely cultivated fresh fruit variety in China and can be classified into melting, non-melting, and stony-hard groups based on its flesh characters. Yangshan Shui Mi and Fenghua Shui Mi are two representatives of white fleshed and soft-melting peaches in the Jiangsu and Zhejiang province of China. They have a beautiful appearance, rich juice, and sweet and fragrant flavor. This study was carried out to identify the aroma components and content in these peaches from Jiangsu and Zhejiang provinces. 【Methods】 12 samples from Wuxi, Jiangsu, Hangzhou, Zhejiang and Ningbo, Zhejiang province were collected with additional 16 white-flesh peaches from Zhengzhou, Henan province used as controls to detect their volatile compounds and content by using a headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). 【Results】 A total of 71 volatile components was detected under 7 categories: 8 alcohols, 10 aldehydes, 9 terpenes, 13 esters, 6 lactones, 9 ketones, and 16 other components. Among these samples, 1, 6, and 18 had the most types of volatile substances, with 43, 40, and 40 compounds detected, respectively. And samples 27, 11, and 3 had the fewest, with 25, 30, and 30 volatile compounds detected, respectively. However, in terms of absolute content of volatile substances, the three samples with lowest volatile substance content were 19, 21, and 17, all from Zhengzhou, Henan province, with contents of 23 112.24 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 25 887.26 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and 26 021.88 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. And the three samples with

收稿日期:2025-04-15 接受日期:2025-06-04

基金项目:神农种业实验室协同创新项目(SN02-2024-01)

作者简介:郝明悦,女,硕士,主要从事桃种质资源与遗传育种工作。E-mail:1936423951@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:caoke@caas.cn

high volatile substance content were 3, 11, and 2, Wuxi, Jiangsu and Ningbo, Zhejiang province, with contents of $62\,102.04\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $64\,926.44\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $71\,891.48\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. Among the seven major categories of volatile components, aldehydes accounted for the largest proportion, ranging from 13.72% to 63.84%. The main components were *trans*-2-hexenal, hexanal, benzaldehyde, and nonanal. The second group was lactones, accounting for 6.62%–48.34%, with the main components being γ -decanolactone and δ -decanolactone. And the following group were esters, accounting for 0.39% to 14.44%, with the main components being ethyl acetate, octanoic acid ester, and hexyl acetate. To compare the effects of climate environment and cultivation conditions on volatile compounds in peaches, this study compared and analyzed the components and contents of volatile compounds in samples from four regions. It was found that 52, 41, 41, and 62 volatile compounds were detected in Wuxi, Jiangsu, Hangzhou, Zhejiang, and Fenghua in Zhejiang province, and Zhengzhou in Henan province, respectively. The total volatile content of the sampled peach varieties was in the range of $23\,112.24$ – $71\,891.48\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, with an average of $43\,062.56\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. The average values in Wuxi, Jiangsu province, and Hangzhou, and Fenghua, Zhejiang province were $47\,787.19\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $46\,785.23\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $59\,569.19\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, which were significantly higher than that in Zhengzhou, Henan province ($36\,761.48\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). The study found that the aldehydes in peach fruit samples from Zhengzhou, Henan province were significantly higher than those from the other three regions, reaching 42.99%. The major aldehydes identified included 2-hexenal, acetaldehyde, and nonanal. However, terpenes in samples from Zhengzhou, Henan province were significantly lower than from the other three regions, accounting for only 12.52%. Due to impact of different environments on volatile components in different regions, a common variety (Hu Jing Mi Lu) from different regions were chosen for comparative analysis. The results showed that linalool was the main volatile component in the peach, accounting for 24.22%. Next were γ -decanolactone, 2-hexenal, hexanal, 2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-, and δ -decanolactone, accounting for 17.12%, 12.81%, 6.09%, 6.06%, and 5.36%, respectively. The remaining volatile components were all less than 5%. Linalool was lower in Hu Jing Mi Lu in Hangzhou, Zhejiang province compared to that in Wuxi, Jiangsu province and Zhengzhou, Henan province. And two lactones, γ -decanolactone and δ -decanolactone, were higher in Wuxi, Jiangsu than that in Hangzhou, Zhejiang and Zhengzhou, Henan regions. For different volatile components, this study also calculated the Odor Activity Values (OAVs) of each components according to the previous reported literature, and ultimately identified 25 aroma components, of which 20 had a higher OAV greater than 1. The largest contributor to aroma was linalool, followed by 2-butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-, *trans*- β -Ionone, hexanal, nonanal, γ -decalactone, and γ -dodecalactone, with an average OAV of over 100. And the others were octanal, ethyl caprylate, benzaldehyde, ethyl acetate, γ -octanolactone and δ -decalactone, and so on. 【Conclusion】The results showed that the total amount of volatile compounds in peaches in Jiangsu and Zhejiang regions was relatively higher, as in samples 2, 3, and 11. In terms of different aroma types, peaches from these regions, such as samples 9, 12, and 3, contained higher levels of esters and lactones, while samples 3, 6, and 10 contained more terpenes. These lactones, which present fruity and floral aromas, might be the reason for the rich flavor in peaches from Jiangsu and Zhejiang provinces. The study provide reference for selecting elite varieties for crossing breeding targeting improved quality of peaches in Jiangsu and Zhejiang provinces.

Key words: Peach; Volatile compound; Important aroma components; Fruit quality; Soft melting

桃(*Prunus persica*)起源于我国,种质资源丰富,已经有5000多年的栽培历史,根据地理分布及品种特征形成了华南低需冷量硬肉桃品种群、长江中下游水蜜桃和硬肉桃品种群、华北硬肉桃和蜜桃品种群、东北抗寒品种群和西北黄桃品种群等。根据世界粮农组织2021年的统计结果,全世界桃栽培面积150.46万hm²,总产量2499万t,我国桃的栽培面积和产量居首位,分别占世界总产量和总面积的64.1%和54.8%。

桃汁多、味美,受到全世界消费者的喜爱。其中,我国的桃种质资源对世界桃产业做出了巨大的贡献。19世纪中期美国从中国引入上海水蜜(Chinese Cling)桃,以该品种为基础,在美国和欧洲衍生了上千个桃品种。日本在19世纪末从上海引进上海水蜜和天津水蜜(Tian Jin Shui Mi),随之产生了日本桃品种群。因此,上海水蜜也成为了世界桃育种的核心种质资源。1949年以来,我国育种单位共培育了600多个桃品种,标志性品种如普通桃春蕾、雨花露、京玉、锦绣等,油桃如曙光、中油4号、中农金辉等,蟠桃如早露蟠桃、中蟠桃11号等,油蟠桃如中油蟠7号、9号等,观赏桃如满天红等,这些育成品种的推广使桃成为我国果树产业中国产化程度最高的树种之一^[1]。然而,研究者通过对256份桃种质资源进行挥发性物质评价^[2],发现与野生种群相比,5种主要香气物质的含量在育成品种群中降低了18.3%~90.7%,使得育成品种香气显著下降。因此对桃果实挥发性物质进行评价,对通过创新种质恢复育成品种的香气成分至关重要。对于果实的挥发性物质,前人报道较多,对其合成和调控通路的分子机制也有一定的研究。水果的挥发性物质可以分为酯类、内酯类、醛类、醇类、萜烯类、酮类、酚类、醚类和一些含硫化合物,总量2000种以上。根据对这些挥发性物质的感官效果评价,又可分为果香型、青香型、辛香型、木香型、醛香型等^[3]。在桃果实中挥发性物质超过200种^[4-5]。在未成熟时以青香型的醛类和醇类为主,成熟时果香型的内酯和花香型的芳樟醇含量明显增加^[6]。

阳山水蜜和奉化水蜜是我国江浙一带白肉溶质桃的代表,桃外观白里透红、皮薄易撕,肉厚多汁、风味香甜,在受到消费者喜爱的同时推高了市场售价,产生巨大的经济效益。研究表明上述地区独特的土壤条件和气候因子是其桃果实品质较高的原因,为

进一步探究其挥发性物质组分和其中的重要香气成分,笔者在本研究中在江浙一带的3个著名的桃产区采收成熟的水蜜桃,以国家桃种质资源圃(郑州)保存的桃为对照,共进行28份样品的挥发性物质评价,研究结果将为研究不同地域环境下挥发性物质形成的关系、助力江浙水蜜桃产业良性发展提供科技支撑。

1 材料和方法

1.1 供试材料

2023年7月中下旬,在江苏无锡惠山区、浙江杭州余杭区和浙江宁波奉化区随机选择果实成熟的果园,在树冠外围中部采集大小一致的果实,立即冷链运输至中国农业科学院郑州果树研究所,并采集国家桃种质资源圃(郑州)内的成熟期相对一致的不同品种的成熟水蜜桃果实,取中果皮切成小块,液氮冷冻后贮藏于-80℃冰箱备用。样品的品种名称和基本农艺性状如表1所示。

1.2 样品制备及前处理

称取5g桃果实样品,用液氮研磨后,转移至样品瓶中,加入3mL 20% CaCl₂溶液、3mL 200mmol·L⁻¹ EDTA溶液,30μL内标(3-壬酮),涡旋混匀。加入磁转子,转速500~600r·min⁻¹,40℃平衡30min,用65μm Carboxen/聚二甲基硅氧烷(PDMS)固相微萃取头,顶空萃取30min后进样,解吸附时间为5min。内标3-壬酮先用20%乙醇溶解,最终配制质量浓度为796μg·mL⁻¹。

1.3 仪器测定条件

本研究中检测挥发性物质成分及相对含量所用的GC-MS联用仪为美国Agilent公司生产的7890-5975C型。MS离子源温度230℃,离子化方式为电子轰击电离,电子能量70eV,四级杆温度为150℃,传输线温度为250℃;进样口:加热器250℃,压力48.95kPa,隔垫吹扫流量3mL·min⁻¹,进样模式为不分流;色谱柱:30m DB-WAX(安捷伦),流量1mL·min⁻¹,压力48.95kPa,恒定流量,后运行1mL·min⁻¹;柱箱:柱箱温度开启40℃,初始值40℃保持2min;以3℃·min⁻¹升至100℃,再以5℃·min⁻¹升至245℃;辅助加热器:开启,250℃;时间3min,扫描起点50,扫描终点550,阈值150,扫描速度1562u·s⁻¹,溶剂延迟3min。

1.4 数据处理

质谱图集采集结束后,在GC-MS系统打开

表 1 供试样品采样地及果实基本性状描述

Table 1 Description of sampling sites and basic fruit traits of the test samples

编号 No.	采样地 Sampling regions	品种名 Variety name	果实类型 Fruit type	果肉颜色 Flesh color	肉质类型 Flesh texture	核黏离性 Flesh adherence	风味 Flavor
1~5	江苏无锡惠山区 Huishan District, Wuxi, Jiangsu	湖景蜜露 Hu Jing Mi Lu	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	甜 Sweet
6	浙江杭州余杭区 Yuhang District, Hangzhou, Zhejiang	大珍宝赤月 Reddomun	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
7	浙江杭州余杭区 Yuhang District, Hangzhou, Zhejiang	新川中岛 Xin Chuan Zhong Dao	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	甜 Sweet
8	浙江杭州余杭区 Yuhang District, Hangzhou, Zhejiang	湖景蜜露 Hu Jing Mi Lu	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	甜 Sweet
9~12	浙江宁波奉化区 Fenghua District, Ningbo, Zhejiang	奉化玉露 Fenghua Yu Lu	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
13	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	大珍宝赤月 Reddomun	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
14	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	湖景蜜露 Hu Jing Mi Lu	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	甜 Sweet
15	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	西野 Nishino Hakuto	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
16	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	凤露 Feng Lu	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
17	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	日 89 号 Ri 89#	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
18	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	长岭早玉露 Chang Ling Zao Yu Lu	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	离 Free	甜 Sweet
19	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	筑波 89 Tsukuba 89#	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	酸甜 Sour-sweet
20	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	豫红 Yu Hong	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	甜 Sweet
21	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	土用 Doyo	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
22	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	西农 19-1 Xi Nong 19-1#	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	甜 Sweet
23	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	山根 Aichi Hakuto	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
24	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	冈山 500 号 Okayama 500#	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	浓甜 Rich sweet
25	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	郑 96-5-38 Zheng 96-5-38#	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	离 Free	甜 Sweet
26	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	吉林 8801 Jilin 8801#	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	半离 Semi-free	酸 Sour
27	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	北京 15 号 Beijing 15#	普通桃 Peach	白 White	硬溶 Hard melting	黏 Cling	甜 Sweet
28	河南郑州管城区 Guancheng District, Zhengzhou, Henan	东溪小仙桃 Dongxi Xiao Xian Tao	普通桃 Peach	白 White	软溶 Soft melting	黏 Cling	甜 Sweet

NIST14.L 质谱库,在网站主界面信息检索栏查找相关试验测试数据,以质谱图中的数据作为对比,根据测试数据的匹配度对挥发性物质进行定性分析。

挥发性物质相对含量计算方法为:组分含量(w ,后同)($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)=各组分的峰面积/内标的峰面积 $\times$ 内标浓度(ρ ,后同)($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) $\times 1000$ /样品量(g)^[7]。

香气活力值(OAV)=该香气物质的相对浓度/该香气风味阈值,当 OAV 值大于 1 表示对其整体风味

有贡献,且 OAV 值越大贡献越大^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同桃种果实挥发性物质组分及含量分析

利用顶空固相微萃取-气质谱联用技术对 28 份桃样品(表 1)进行挥发性物质测定,供试样品可以检出 71 种挥发性物质(表 2)。这些物质可以分为 7 类:醇类 8 种,醛类 10 种,萜烯类 9 种,酯类 13 种,内

表 2 桃 28 个品种的果实主要挥发性物质含量分析

Table 2 Analysis of the contents of major volatile substances in 28 peach fruit samples

种类 Type	挥发性物质 Volatile substance	平均值 Average/ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最大值 Max./ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最小值 Min./ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation, CV/%
醇类 Alcohols	1-戊醇 1-Pentanol	1.44	40.29	0.00	7.61	5.29
	2-己烯醇 2-Hexenol	34.64	325.13	0.00	82.92	2.39
	5-甲基-2-庚醇 5-Methyl-2-heptanol	2.50	69.87	0.00	13.20	5.29
	2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	621.62	1 957.56	0.00	435.82	0.70
	3-壬醇 3-Nonanol	318.05	712.33	0.00	171.84	0.54
	1-辛醇 1-Octanol	48.22	341.86	0.00	81.28	1.69
	正壬醇 n-Nonanol	127.87	638.44	0.00	174.74	1.37
	正癸醇 n-Decanol	2.31	64.73	0.00	12.23	5.29
醛类 Aldehydes	己醛 Hexanal	4 050.29	11 231.79	724.42	3 074.31	0.76
	2-己烯醛 2-Hexenal	6 679.81	18 663.07	0.00	4 744.62	0.71
	壬二烯醛 Nonadienal	35.86	122.27	0.00	43.25	1.21
	辛醛 Octanal	65.34	227.58	0.00	72.44	1.11
	壬醛 Nonanal	1 094.78	2 847.66	163.17	681.44	0.62
	癸醛 Decanal	13.44	376.24	0.00	71.10	5.29
	苯甲醛 Benzaldehyde	2 557.17	13 737.41	790.09	2 654.21	1.04
	十一醛 Undecanal	1.69	47.32	0.00	8.94	5.29
	2,4-癸二烯醛 2,4-Decadienal	12.56	230.78	0.00	48.48	3.86
	十八醛 Octadecanal	1.63	45.60	0.00	8.62	5.29
萜烯类 Terpenes	茶螺烷 Tea Spirox	814.36	1 891.48	0.00	584.38	0.72
	芳樟醇 Linalool	5 931.70	27 838.72	0.00	8 418.98	1.42
	α -异松油烯 α -Isopinene	3.86	108.15	0.00	20.44	5.29
	α -萜品醇 α -Terpineol	48.51	262.26	0.00	92.11	1.90
	二氢- β -紫罗兰酮 Dihydro- β -violetone	2 502.85	5 315.41	412.69	1 119.54	0.45
	香叶基丙酮 Geranylacetone	428.75	1 632.27	0.00	332.44	0.78
	β -紫罗兰酮 β -Volanone	163.49	1 203.00	0.00	240.20	1.47
	二氢- β -紫罗兰醇 Dihydro- β -violet alcohol	259.24	911.18	0.00	219.79	0.85
	长叶烯 Longifoliaceae	6.05	169.43	0.00	32.02	5.29
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	21.58	388.75	0.00	77.31	3.58
酯类 Esters	乙酸己酯 Hexyl acetate	182.11	983.45	0.00	236.35	1.30
	乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	937.10	2 166.75	0.00	508.15	0.54
	2-己烯-1-醇乙酸酯 2-Hexen-1-ol acetate	76.22	271.20	0.00	96.69	1.27
	辛酸乙酯 Ethyl caprylate	220.18	3 131.61	0.00	591.14	2.68
	乙酸辛酯 Octyl acetate	2.33	65.28	0.00	12.34	5.29
	甲酸辛酯 Octyl formate	20.92	252.14	0.00	63.50	3.03
	4-癸烯酸甲基酯 Methyl 4-decenoate	12.16	165.90	0.00	38.22	3.14
	苯甲酸乙酯 Ethyl benzoate	68.65	1 365.37	0.00	258.30	3.76
	顺式-3-己烯基辛酸酯 cis-3-Hexenyl Octanoate	11.99	142.77	0.00	36.63	3.06
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	26.28	445.44	0.00	88.24	3.36
	2,2,4-三甲基戊酸-3-羧基异丙基异丁酯 2,2,4-Trimethylpentanoic acid 3-carboxyisopropyl isobutyl ester	10.52	195.20	0.00	38.61	3.67
	苯甲酸顺式-3-己烯酯 cis-3-Hexenyl Benzoate	12.54	104.33	0.00	31.93	2.55
	γ -己内酯 γ -caprolactone	176.71	400.08	0.00	119.14	0.67
	γ -辛内酯 γ -octanolactone	117.62	261.50	0.00	75.74	0.64
	γ -癸内酯 γ -Decalactone	7 905.45	17 164.90	2 004.63	3 874.96	0.49
内酯 Lactones	δ -癸内酯 δ -Decalactone	2 071.14	7 907.49	430.73	1 472.00	0.71

表 2 （续） Table 2 （Continued）						
种类 Type	挥发性物质 Volatile substance	平均值 Average/ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最大值 Max./ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最小值 Min./ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation, CV/%
酮类 Ketones	γ -十二内酯 γ -Dodecalactone	825.25	5 176.45	0.00	1 242.06	1.51
	顺式-4-羟基-6-十二烯酸内酯 <i>cis</i> -4-Hydroxy-6-dodecenoic acid lactone	9.24	153.85	0.00	34.57	3.74
	仲辛酮 <i>sec</i> -Octanone	109.85	264.50	63.56	47.51	0.43
	3-甲基-5-庚烯-2-酮 3-Methyl-5-hepten-2-one	5.56	85.97	0.00	20.54	3.69
	5-乙基-4-甲基-5-庚烯-3-酮 5-Ethyl-4-methyl-5-hepten-3-one	1.34	37.48	0.00	7.08	5.29
	4-癸酮 4-Decanone	3.75	61.84	0.00	13.99	3.73
	苯乙酮 acetophenone	4.16	42.23	0.00	12.25	2.95
	3-亚甲基-1-氧杂螺[4.5]癸-2-酮 3-methylene-1-oxaspiro[4.5]decan-2-one	12.68	355.16	0.00	67.12	5.29
	6-戊基-2-吡喃酮 6-Pentyl-2-pyrone	745.94	2 551.22	0.00	581.63	0.78
	对乙基苯乙酮 <i>p</i> -Ethylacetophenone	1.79	50.19	0.00	9.49	5.29
	二苯甲酮 Benzophenone	81.81	296.45	0.00	66.23	0.81
	间二甲苯 <i>m</i> -Xylene	268.51	6 032.73	0.00	1 164.00	4.33
其他 Others	1,2,3,5-四甲基苯 1,2,3,5-tetramethylbenzene	11.30	316.51	0.00	59.82	5.29
	6-氢-4-甲基-苯并吡喃 6-Hydro-4-methyl-chroman	7.61	122.19	0.00	28.26	3.71
	樟脑 Camphor	151.17	1 166.87	0.00	349.16	2.31
	萘 Naphthalene	818.00	2 244.71	282.04	390.13	0.48
	苯并噻唑 Benzothiazole	27.20	101.05	0.00	37.43	1.38
	2-甲基萘 2-methylnaphthalene	239.05	821.86	0.00	170.42	0.71
	2-乙基萘 2-Ethyl-naphthalene	110.69	340.79	0.00	78.91	0.71
	1,6-二甲基萘 1,6-Dimethylnaphthalene	147.39	1 187.52	0.00	260.92	1.77
	丁基羟基甲苯 Butylhydroxytoluene	468.62	1 607.21	0.00	443.81	0.95
	2,2'-二甲基联苯 2,2'-Dimethylbiphenyl	1.57	43.86	0.00	8.29	5.29
	3,5-二羟基戊苯 3,5-Dihydroxypentylbenzene	94.23	1 104.32	0.00	242.42	2.57
	二苯并呋喃 Dibenzofuran	429.75	1 172.40	168.09	245.06	0.57
	芴 Fluorene	162.43	614.41	0.00	117.75	0.72
	2,4-二特丁基苯酚 2,4-Di-tert-butylphenol	358.71	1 009.72	90.85	204.13	0.57
	蒽 Anthracene	263.43	609.92	0.00	145.69	0.55

酯类 6 种,酮类 9 种,其他 16 种。从单个样品的挥发性物质种类上看,样品 1、6 和 18 的挥发性物质种类最多,分别为 43、40 和 40 种;样品 27、11 和 3 的挥发性物质种类最少,分别为 25、30 和 30 种。

供试桃品种的总挥发性物质含量范围为 23 112.24~71 891.48 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 43 062.56 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;总挥发性物质含量较低的 3 份样品编号为 19、21 和 17,均来自郑州管城区,含量分别为 23 112.24 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、25 887.26 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 26 021.88 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;挥发性物质含量较高的 3 份样品编号为 3、11 和 2,来自江苏无锡惠山区的湖景蜜露和浙江宁波的奉化玉露,含量分别为 62 102.04 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、64 926.44 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 71 891.48 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 1)。

研究同时进行了供试样品不同挥发性物质成分变异分析,结果表明不同香气物质的变异幅度较大,

变异系数为 43.25%~529.15%,其中 5-甲基-2-庚醇、对乙基苯乙酮、1-戊醇、癸醛、 α -异松油烯和乙酸辛酯等 14 种挥发性成分的变异系数最高,其次是间二甲苯、2,4-癸二烯醛、苯甲酸乙酯等。

在七大类挥发性物质中,含量占比最大的是醛类物质(图 1),占比为 13.72%(3 号样品)~63.84%(15 号样品),主要物质为反-2-己烯醛、己醛、苯甲醛和壬醛。其次是内酯类,占比为 6.62%(14 号样品)~48.34%(9 号样品),主要物质为 γ -癸内酯和 δ -癸内酯,分别占到总内酯类物质的 71.19%和 18.65%。再次为萜烯类,占比 4.71%(21 号样品)~56.03%(6 号样品),主要物质为芳樟醇和二氢- β -紫罗兰酮。

呈现果香味的内酯类和酯类物质含量最高的样品为 9 号,含量达到 31 340.68 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,来自浙江宁波;其次为 28 号(24 091.62 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和 12 号(24 036.6 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

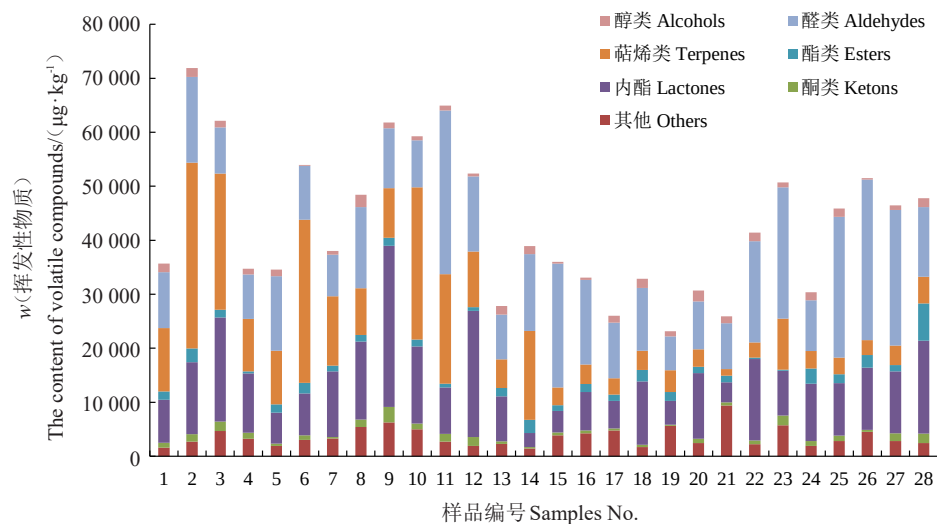


图 1 桃不同种类的挥发性物质含量

Fig. 1 Volatile matter content of different peach species

以及 3 号(20 691.02 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),分别来自河南郑州、浙江宁波和江苏无锡;最低的为 15 号(5 069.64 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、14 号(5051.81 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和 21 号样品(4 951.69 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),均来自河南郑州。呈现花香味的萜类物质含量最高的样品为 2 号,含量达到 34 435.77 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是 6 号(30 217.31 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、10 号(28 160.64 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和 3 号样品(25 244.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),22 号(2 820.82 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、26 号(2 745.84 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和 21 号(1 218.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)样品的含量最低。呈现草香味的醇类和醛类物质含量最高的样品为 11 号、26 号和 25 号,含量分别为 31 209.76 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、30 003.26 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 27 606.72 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;最低的为 4 号、7 号和 19 号(图 1)。

2.2 不同地区桃种质挥发性物质含量的比较分析

为比较气候环境和栽培条件等因素对桃挥发性物质的影响,对来自 4 个地区样品的挥发性物质组分

及含量进行了比较分析(表 3)。在江苏无锡、浙江杭州、浙江宁波和河南郑州的样品中分别检测到 52、41、41 和 62 种挥发性物质。比较挥发性物质的总量,浙江宁波、江苏无锡和浙江杭州的样品挥发性物质总量平均值分别为 59 569.19 $\pm$ 5 350.83 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、47 787.19 $\pm$ 17 879.35 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 46 785.23 $\pm$ 8 074.47 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,高于河南郑州样品的平均值(36 761.48 $\pm$ 9 456.78) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,前三者与河南郑州的差异显著性 P 值分别为 2.31E-04、8.26E-02 和 1.05E-01。分析河南郑州地区的 16 份样品,挥发性物质含量最高的为吉林 8801、其次为山根和东溪小仙桃,日 89 号、土用和筑波 89 的挥发性物质含量较低。

研究发现,河南郑州地区桃样品果实的醛类相对含量(41.32%)显著高于江苏无锡、浙江杭州和浙江宁波,差异显著性 P 值分别达到 1.71E-02、2.45E-02

表 3 不同地区桃样品果实挥发性物质的相对含量占比及种类数

品种来源 Sampling region	醇类 Alcohols	醛类 Aldehydes	萜烯类 Terpenes	酯类 Esters	内酯类 Lactones	酮类 Ketones	其他类 Others
江苏无锡地区 Wuxi, Jiangsu($n=5$)	2.81%(5)	23.76%(7)	38.12%(8)	3.10%(9)	23.96%(5)	2.33%(5)	5.91%(13)
浙江杭州地区 Hangzhou, Zhejiang($n=3$)	2.25%(4)	23.27%(6)	36.88%(7)	2.98%(5)	24.52%(5)	1.73%(3)	8.36%(11)
浙江奉化地区 Fenghua, Zhejiang($n=4$)	1.34%(4)	26.88%(6)	28.52%(7)	1.72%(3)	31.96%(6)	2.92%(4)	6.65%(11)
河南郑州地区 Zhengzhou, Henan($n=16$)	3.28%(8)	42.99%(9)	12.52%(7)	4.96%(11)	24.33%(5)	2.06%(8)	9.85%(14)

注:第一列的括号内数字表示该地区桃样本的数量。每行的后 7 列中的括号内数字表示该地区该类别挥发性物质的数量。

Note: The numbers in brackets in the first column indicate the number of peach samples in this region. The numbers in brackets in the last 7 columns of each row indicate the quantity of volatile substances of this category in this region.

和4.84E-02,主要是2-己烯醛、乙醛和壬醛;而萜烯类物质含量却显著低于其他3个地区,仅为12.52%。在江苏无锡、浙江杭州和浙江宁波3个地区中,江苏无锡地区含有较高的醇类和萜烯类物质,如2-乙基-1-己醇和芳樟醇,浙江宁波地区含有较高的内酯类物质如 γ -癸内酯。

2.3 不同地区桃种质果实特异挥发性物质鉴定

为进一步分析地域对桃果实挥发性物质的影响,再次比较了4个地区桃样品的挥发性物质种类(图2),共有物质达到34种。其中,江苏无锡有5种特异挥发性物质,而浙江杭州和浙江宁波仅0和1

种,河南郑州则达到14种。在江苏无锡的特异物质中,包括1种醛(十一醛)、1种萜烯(长叶烯)、1种酮(对乙基苯乙酮)和2种苯类物质;在河南郑州的特异物质中,包含3种醇(1-戊醇、正癸醇、5-甲基-2-庚醇)、2种醛(癸醛、十八醛)、1种萜烯类(α -异松油烯)、4种酯(4-癸烯酸甲基酯、苯甲酸乙酯、乙酸辛酯、乙酸乙酯)、3种酮(3-亚甲基-1-氧杂螺[4.5]癸-2-酮、4-癸酮、5-乙基-4-甲基-5-庚烯-3-酮)和1种苯类物质(间二甲苯)。

上述特异物质在该地区不同种质中存在的频率并不高,大多是仅在单个品种中存在;只有苯甲酸乙

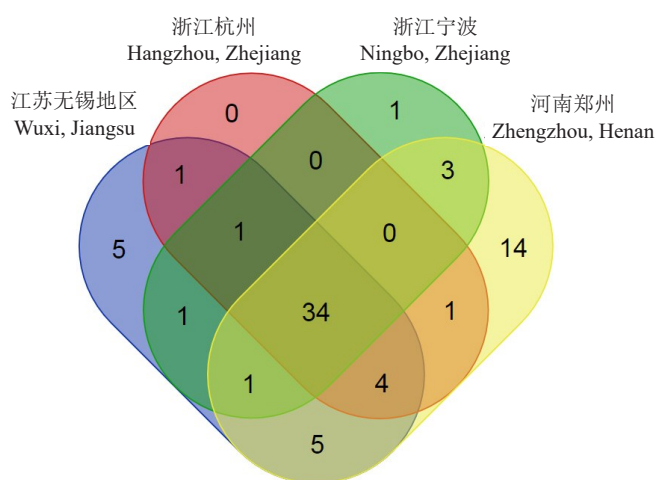


图2 4个地区桃种质果实挥发性物质组分的比较分析

Fig. 2 Comparative analysis of fruit volatile substances in peaches from four regions

酯在河南郑州地区的16份样品中,有7份检测出。

2.4 不同地区同一品种果实挥发性物质组分及含量的比较分析

由于不同地区的桃品种不同,可能也会影响到分析不同环境对挥发性物质影响的准确性,为此,笔者选择品种均为湖景蜜露的样品3、8和14进行比较分析。结果显示,芳樟醇是湖景蜜露的主要挥发性物质,占比达到24.22%;其次是 γ -癸内酯、2-己烯醛、己醛、二氢- β -紫罗兰酮和 δ -癸内酯,占比分别达到17.12%、12.81%、6.09%、6.06%和5.36%,其余挥发性物质占比均小于5%。

比较主要挥发性物质在3个不同地区桃样品中的相对含量(图3),芳樟醇相对含量在浙江杭州($3\,773.3\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)地区的湖景蜜露中低于江苏无锡($16\,643.0\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和河南郑州($15\,766.6\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。两种内酯类物质 γ -癸内酯和 δ -癸内酯相对含量均是

在江苏无锡(分别为 $13\,707.2$ 和 $4\,130.5\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)高于浙江杭州(分别为 $9\,862.4$ 和 $3\,452.1\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),高于河南郑州(分别为 $2\,004.6$ 和 $430.7\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

2.5 不同桃种质果实重要香气成分OAV值分析

在不同挥发性物质中,消费者和育种家最关注的是果实的香气值。为此结合已有文献报道,计算了有香气阈值的挥发性物质的OAV值,最终找到25种香气物质,其中20种香气物质OAV值大于1。对香气贡献最大的为芳樟醇,其次为二氢- β -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、己醛、壬醛、 γ -癸内酯和 γ -十二内酯,平均OAV值均在100以上(表4)。

研究进而以OAV平均值大于1的16种重要香气成分对供试样品进行聚类分析,结果如图4所示,9号样品因为含有较高的 β -紫罗兰酮、 γ -癸内酯、 γ -十二内酯和 δ -癸内酯而与其他样品分成两大类。在其他样品中,22、24和28号样品因为含有较高的苯甲

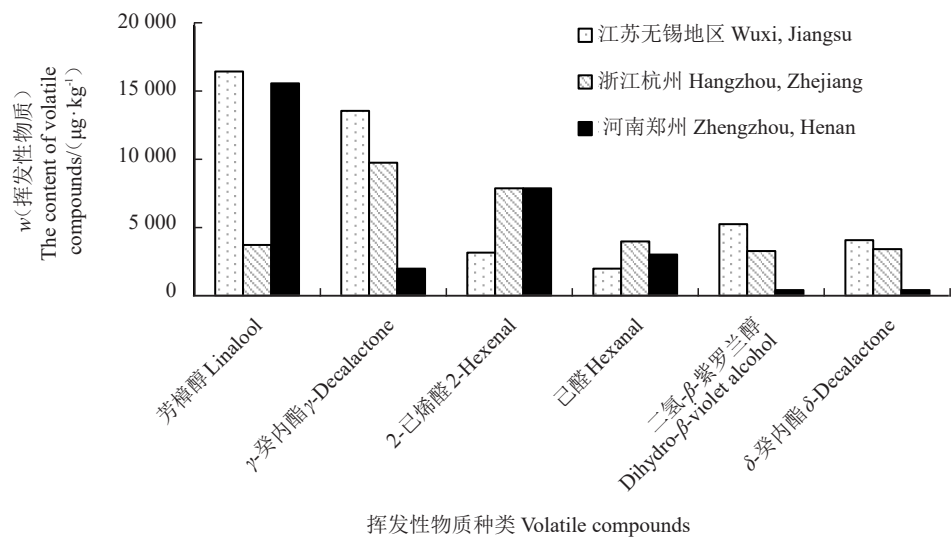


图 3 相同品种的果实挥发性物质在 3 个地区的比较分析

Fig. 3 Comparative analysis of volatiles in fruit of the same variety from three regions

表 4 不同供试样品的香气活力值比较

Table 4 Comparison of aroma vigor values of different test samples

香气物质 Aromatic substance	香气阈值 Aroma threshold/ ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	编号 No.							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1-戊醇 1-Pentanol	4000 ^[9]	0	0	0	0	0	0	0	0
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	27 000 ^[10]	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0.08
1-辛醇 1-Octanol	110	0	0	0	0	0.50	0	0	1.18
正癸醇 n-Decanol	100 ^[11]	0	0	0	0	0	0	0	0
己醛 Hexanal	5 ^[8]	413.52	710.38	401.92	429.22	952.64	408.58	428.22	806.14
辛醛 Octanal	0.7	260.46	0	108.6	97.30	117.54	294.92	0	325.12
壬醛 Nonanal	1.5 ^[8]	1 520.72	1 174.7	1 053.96	429.68	473.7	1 360.06	165.02	1 162.32
癸醛 Decanal	70 ^[12]	0	0	0	0	0	0	0	0
苯甲醛 Benzaldehyde	350 ^[10]	6.52	12.54	4.70	4.84	2.52	2.80	4.20	2.64
十一醛 Undecanal	5	9.46	0	0	0	0	0	0	0
芳樟醇 Linalool	1.5 ^[8]	5 299.26	18 559.14	11 095.36	3 955.02	3 772.16	16 693.42	6 428.36	2 515.56
二氢-β-紫罗兰酮 Dihydro-β-violeton	1 ^[13]	2 085.6	3 142.16	5 315.4	2 456.24	1 915.98	3 199.96	2 447.96	3 324.48
香叶基丙酮 Geranylacetone	60 ^[13]	2.7	6.94	12.32	4.86	3.32	7.04	2.46	9.28
β-紫罗兰酮 β-Violanone	0.007 ^[8]	597.18	4 292.78	2427.36	0	3 342.62	1 942.68	2 908.62	0
乙酸乙酯 Ethyl acetate	5 ^[10]	0	0	0	0	0	0	0	0
乙酸己酯 Hexyl acetate	50 ^[8]	2.46	4.08	1.76	1.06	2.38	3.96	2.2	3.24
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	13 ^[10]	66.9	166.32	56.22	25.38	79.84	113.04	63.16	46.86
辛酸乙酯 Ethyl caprylate	10 ^[11]	16.04	0	0	0	6.42	3.74	0	0
乙酸辛酯 Octyl acetate	12 ^[12]	0	0	0	0	0	0	0	0
γ-己内酯 γ-caprolactone	1600 ^[8]	0.08	0.1	0.1	0	0.1	0	0.06	0.06
γ-辛内酯 γ-octanolactone	7 ^[8]	14.26	21.26	36.5	16.38	15.84	13.16	15.80	19.90
γ-癸内酯 γ-Decalactone	11 ^[14]	530.88	898.22	1 246.1	748.76	366.72	538.12	789.68	896.58
δ-癸内酯 δ-Decalactone	100 ^[14]	15.32	23.9	41.3	20.48	12.74	15.70	25.92	34.52
γ-十二内酯 γ-Dodecalactone	7 ^[8]	53.94	106.88	140.3	82.14	21.76	29.62	93.18	132.62
苯乙酮 Acetophenone	65	0	0	0	0	0	0	0	0

表4 (续) Table 4 (Continued)

香气物质 Aromatic substance	编号 No.									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1-戊醇 1-Pentanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	0.02	0	0.02	0	0.02	0.04	0	0	0.02	0.04
1-辛醇 1-Octanol	0	0.56	0	0	3.10	0	0.72	1.48	0.90	0
正癸醇 n-Decanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
己醛 Hexanal	634.96	567.20	2 028.98	1 014.84	258.54	612.66	1 181.66	732.18	445.46	603.02
辛醛 Octanal	100.80	121.80	0	0	110.52	0	114.22	277.60	0	89.16
壬醛 Nonanal	248.24	552.40	182.84	108.78	1 898.44	720.28	606.30	1 282.16	605.62	612.02
癸醛 Decanal	0	0	0	0	0	0	0	5.38	0	0
苯甲醛 Benzaldehyde	4.26	2.26	3.16	5	4.60	6	5.32	5.64	7.28	5.28
十一醛 Undecanal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芳樟醇 Linalool	74.06	14 107.70	10 286.66	4 329.84	1 066.88	10 511.08	0	0	891.88	0
二氢- β -紫罗兰酮 Dihydro- β -violetone	4 528.12	3 929.10	3 020.58	2 743.92	2 698.34	412.68	2 031.88	2 595.66	1 169.34	1 595.48
香叶基丙酮 Geranylacetone	13.24	13.62	13.48	5.88	3.58	1.96	5.70	6.54	3.42	4.06
β -紫罗兰酮 β -Violanone	17 185.78	1 100.90	3 355.8	987.64	807.02	0	778.62	1 187.12	0	1 352.22
乙酸乙酯 Ethyl acetate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
乙酸己酯 Hexyl acetate	2.02	2.32	0.80	1.12	2.58	1.64	2.28	1.76	1.10	19.66
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	105.96	89.50	32.58	43.20	78.38	166.68	57.10	80.62	58.42	28.12
辛酸乙酯 Ethyl caprylate	0	0	0	0	17.62	4.50	11.58	27.28	10.12	16.68
乙酸辛酯 Octyl acetate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.44
γ -己内酯 γ -caprolactone	0	0.08	0.26	0.08	0.24	0.04	0.04	0.10	0.12	0.18
γ -辛内酯 γ -octanolactone	0	0	0	19.34	22.66	4.38	4.54	12.32	8.26	30.44
γ -癸内酯 γ -Decalactone	1 560.44	883.86	471.04	1 279.32	577.28	182.24	281.24	455.14	284.08	846.40
δ -癸内酯 δ -Decalactone	79.08	22.08	21.94	37.28	12.92	4.30	7.58	11.42	11.26	9.42
γ -十二内酯 γ -Dodecalactone	662.22	321.10	122.70	739.50	26.32	7.82	5.90	105.90	84.62	145.64
苯乙酮 Acetophenone	0	0	0	0.58	0.64	0	0	0	0	0

香气物质 Aromatic substance	编号 No.									
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1-戊醇 1-Pentanol	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	0	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0	0.02	0.02
1-辛醇 1-Octanol	0	0	0	0	0	0	1.34	1.02	0	1.46
正癸醇 n-Decanol	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
己醛 Hexanal	144.88	577.16	553.26	164.78	1 800.08	281.74	2 246.36	1 956.74	1 955.50	371.00
辛醛 Octanal	217.96	57.68	0	148.46	171.38	0	0	0	0	0
壬醛 Nonanal	1 297.60	806.60	581.54	814.96	724.18	242.34	447.82	558.58	441.20	363.88
癸醛 Decanal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苯甲醛 Benzaldehyde	2.70	3.20	13.56	39.24	4.14	13.82	9.12	3.58	4.68	20.94
十一醛 Undecanal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芳樟醇 Linalool	622.92	0	0	0	418.98	0	0	0	96.84	0
二氢- β -紫罗兰酮 Dihydro- β -violetone	2 077.48	2 592.30	793.50	1 323.06	4 490.48	2 004.02	1 813.86	1 531.62	2 453.46	2 387.22
香叶基丙酮 Geranylacetone	6.30	2.96	0	4.50	27.20	3.10	9.32	13.68	7.94	4.64
β -紫罗兰酮 β -Violanone	0	0	0	7 203.80	4 964.82	1 179.48	3 428.22	4 115.20	1 393.30	844.78
乙酸乙酯 Ethyl acetate	0	0	0	0	0	77.76	0	22.70	0	20.40
乙酸己酯 Hexyl acetate	0	3.16	2.92	0	0	6.72	3.86	18.56	2.22	8.12
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	103.34	59.00	68.94	0	15.24	76.20	99.32	66.92	58.44	112.72
辛酸乙酯 Ethyl caprylate	16.08	27.16	19.98	0	0	75.22	13.12	16.38	21.42	313.16
乙酸辛酯 Octyl acetate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ -己内酯 γ -caprolactone	0.10	0.12	0	0.20	0.22	0.16	0.22	0.10	0.18	0.14
γ -辛内酯 γ -octanolactone	7.54	21.12	0	37.36	23.58	20.16	27.94	28.54	24.06	25.14
γ -癸内酯 γ -Decalactone	277.96	895.40	231.16	1 045.50	492.74	757.92	667.66	888.08	796.32	1 234.08
δ -癸内酯 δ -Decalactone	4.34	18.22	8.02	25.34	23.24	16.20	17.28	13.00	20.42	26.68
γ -十二内酯 γ -Dodecalactone	99.70	15.44	52.08	69.84	0	39.96	14.34	15.58	35.36	76.50
苯乙酮 Acetophenone	0	0	0	0	0	0.56	0	0	0	0

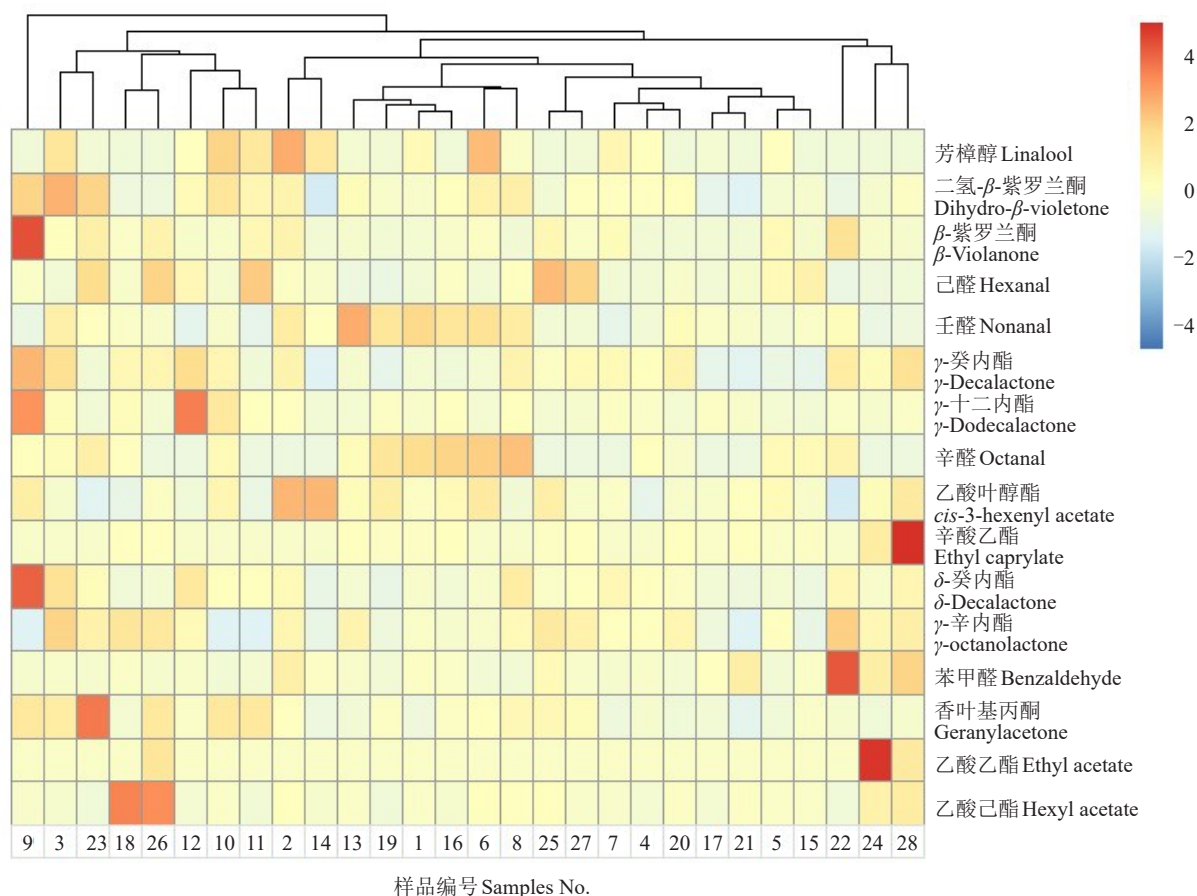


图4 依据重要香气成分对供试样品进行聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of the test samples based on the characteristic aroma substances

醛、乙酸乙酯和辛酸乙酯,而又与其他样品分成不同的亚类。

3 讨 论

关于桃的香气成分,前人有较多的报道。李杰等^[10]评价了7个桃品种,发现己醛、反式-2-己烯醛、里那醇、乙酸乙酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯是桃主体挥发性香气成分。郝艳等^[13]通过评价21世纪与久脆桃的杂交后代,发现乙酸反-3-己烯酯、乙酸己酯、辛酸乙酯、芳樟醇与二氢-β-紫罗兰酮是桃果实香气主要贡献成分。王霞等^[8]以上海地区的主栽桃品种为试材,鉴定出对香气表型贡献较大的11种成分,包括乙酸顺-3-己烯酯、正己醇、己醛、壬醛、苯甲醛、γ-辛内酯、γ-癸内酯、δ-癸内酯、γ-十二内酯、芳樟醇和β-紫罗兰酮。笔者在本研究中鉴定出20种重要香气成分,与前人结果基本一致,但却不包含李杰等^[10]结果中的反式-2-己烯醛和里那醇,郝艳等^[13]结果中的乙酸反-3-己烯酯,王霞等^[8]结果中的乙酸顺-3-己烯酯和正己醇,样品的遗传基础和地理环境可能是

不同研究结果间出现差异的原因。

为探究江浙一带水蜜桃独特的香气成分,以郑州地区的白肉水蜜桃为对照,进一步比较分析江苏无锡、浙江杭州和浙江宁波3个著名桃产区的水蜜桃挥发性物质组分和含量。结果表明,江浙一带的水蜜桃挥发性物质总量较高,如其中的2、3、11号样品。在不同香气种类上,江浙一带的水蜜桃如9号、12号和3号样品含有较高的酯类和内酯类物质,3、6和10号则含有较多的萜烯类物质,这些呈现果香味的内酯类物质和花香味萜烯类物质,可能正是江浙水蜜桃风味浓郁的原因。谢妍纯等^[15]同样分析了江苏无锡的水蜜桃,发现果肉中主要的芳香物质为乙酸乙酯、乙酸己酯、乙酸反-2-己烯酯、乙酸叶醇酯、反式-2-己烯-1-醇、己醇、苯甲醛,其中乙酸乙酯达到22.53%,却发现其他类像烯烃类、酮类、酸类、内酯类等物质的相对含量较少,该结果与本研究存在一定差异。分析其原因,推测可能是江苏无锡的水蜜桃包含了较多的品种,作者可能采用了早于湖景蜜露成熟的白凤和白花等品种,品种的差异造成了其

研究鉴定出较少的萜烯和内酯类物质。

13~28号样品均来自河南郑州地区,栽培管理条件一致,然而挥发性物质含量和组分存在较大差异。含量最高的为吉林8801、其次为山根、东溪小仙桃和北京15号,含量较低的为筑波89、土用、日89号和大珍宝赤月。其中吉林8801为来自吉林的地方品种,果实性状近似普通桃野生类型,单果质量50 g左右;山根则是来自日本的选育品种,硬溶、浓甜。分析上述种质挥发性物质的组分,发现均含有较高的2-己烯醛,该组分使果实呈现绿叶清香,因此相对于果香型物质含量较高的种质,吉林8801和山根可能并不能作为未来培育富含果香型物质新品种的理想亲本。而东溪小仙桃和西农19-1则含有较高的 γ -癸内酯和 δ -癸内酯,对于培育高香型的水蜜桃品种具有较高的利用价值。

由于选择了来自江苏无锡同一个地区的不同桃园的湖景蜜露,然而在进行聚类分析时,发现这些样品并没有聚在一起,呈离散分布。在前人研究中,降雨量^[16]、施肥^[17]、套袋^[18]对挥发性物质均有显著影响,因此本研究结果暗示不同桃园的栽培管理水平可能是影响果实香气成分差异的主要原因。另外,未来为打造江苏无锡阳山水蜜桃这一品牌,在统一的技术指导下,不同果园采用相似的栽培管理措施是非常必要的。

本研究中存在一定的局限性,针对不同地区选择单个桃品种进行比较分析,样本量少,结果的可靠性会受到影响。此外,针对不同地区的桃园,虽然笔者尽量选择了果园管理措施较为一致的进行采样,但本试验并不是采用相同品种的不同栽培措施或者不同环境下的控制性试验,同样会影响到结果的准确性。

4 结 论

笔者利用顶空固相微萃取结合气质联用技术对28份来自4个不同地区的桃种质进行挥发性物质评价,研究发现江苏无锡、浙江杭州及浙江宁波地区桃种质的挥发性物质总量高于河南郑州的桃种质,分析其挥发性物质的组成发现,江浙地区桃种质含有较高的芳樟醇等萜烯类和内酯类物质,而河南郑州地区桃种质则含有较高的醛类物质。不同地区桃种质挥发性物质含量和组分的差异是香气浓郁出现差异的原因,研究结果将为制定江浙水蜜桃产业发展

策略提供一定的参考价值。

参考文献 References:

- [1] 王力荣,吴金龙.中国果树种质资源研究与新品种选育70年[J].园艺学报,2021,48(4):749-758.
WANG Lirong, WU Jinlong. Review for the research of fruit tree germplasm and breeding of new varieties in the past seven decades in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(4): 749-758.
- [2] CAO K, YANG X W, LI Y, ZHU G R, FANG W C, CHEN C W, WANG X W, WU J L, WANG L R. New high-quality peach (*Prunus persica* L. Batsch) genome assembly to analyze the molecular evolutionary mechanism of volatile compounds in peach fruits[J]. The Plant Journal, 2021, 108(1): 281-295.
- [3] DRAWERT F, HEIMANN W, EMBERGER R, EMBERGER R, TRESSL R. Biogenesis of aroma compounds in plant and fruit. II. Enzymic formation of 2-hexen-1-al, hexanal, and their precursors[J]. Justus Liebig's Annalen der Chemie, 1966, 694(1): 200-208.
- [4] NARAIN N, HSIEH T C Y, JOHNSON C E. Dynamic head-space concentration and gas chromatography of volatile flavor components in peach[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(5): 1303-1307.
- [5] JR CHAPMAN G W, HORVAT R J, JR FORBUS W R. Physical and chemical changes during the maturation of peaches (cv. Majestic)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(5): 867-870.
- [6] VISAI C, VANOLI M. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines[J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70(1): 15-24.
- [7] 乜兰春,孙建设,陈华君,邹祥旺.苹果不同品种果实香气物质研究[J].中国农业科学,2006,39(3):641-646.
NIE Lanchun, SUN Jianshe, CHEN Huajun, ZOU Xiangwang. Study on fruit aroma of different apple cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(3): 641-646.
- [8] 王霞,李雄伟,杨雪莲,苏明申,杜纪红,周慧娟,张明昊,叶正文.上海地区主栽桃品种特征香气比较分析[J].上海农业学报,2023,39(4):55-61.
WANG Xia, LI Xiongwei, YANG Xuelian, SU Mingshen, DU Jihong, ZHOU Huijuan, ZHANG Minghao, YE Zhengwen. Comparative analysis of characteristic aroma of main peach cultivars in Shanghai[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2023, 39(4): 55-61.
- [9] 刘潇然,石金瑞,刘翠华,李瑞,周彬,张玉洁,任小林.陕西不同产区苹果香气物质差异分析[J].西北农业学报,2018,27(8):1173-1183.
LIU Xiaoran, SHI Jinrui, LIU Cuihua, LI Rui, ZHOU Bin, ZHANG Yujie, REN Xiaolin. Analysis on aroma compounds difference of apple from different area of Shaanxi[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2018, 27(8): 1173-1183.

- [10] 李杰,王雨,刘欢,范丽颖,韩继成. 7个桃品种品质测定及挥发性香气成分分析[J]. 江西农业学报, 2021, 33(8): 46-52.
LI Jie, WANG Yu, LIU Huan, FAN Liying, HAN Jicheng. Quality determination and volatile aroma components analysis of seven peach varieties[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2021, 33(8): 46-52.
- [11] 王塔娜,陈小龙,张佳辉,王冬兰,王亚,宋立晓,马凤鸣,余向阳. HS-SPME-GC-MS 鉴定不同采收程度霞晖水蜜桃的风味物质变化[J]. 浙江农业科学, 2024, 65(2): 427-435.
WANG Tana, CHEN Xiaolong, ZHANG Jiahui, WANG Donglan, WANG Ya, SONG Lixiao, MA Fengming, YU Xiangyang. Identification of flavor substance changes in *Prunus persica* cv. Xiahui with different harvest levels by HS-SPME-GC-MS[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2024, 65(2): 427-435.
- [12] 王鑫. 不同梨品种果实香气物质组成及特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
WANG Xin. Analysis of aromatic components and its characteristics of different pear cultivars[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [13] 郝艳,李晓颖,叶茂,刘亚婷,王天宇,王海静,张立彬,肖啸,武军凯. ‘21世纪’桃与‘久脆’桃及其杂交后代果实挥发性成分特征分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(22): 4487-4499.
HAO Yan, LI Xiaoying, YE Mao, LIU Yating, WANG Tianyu, WANG Haijing, ZHANG Libin, XIAO Xiao, WU Junkai. Characteristics of volatile components in peach fruits of 21 Shiji and Jiucui and their hybrid progenies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(22): 4487-4499.
- [14] 郭东花,范崇辉,李高潮,白红,石佩,贺会强,柴琳,连昭远. 不同果袋对‘阿布白’桃果实香气成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 232-237.
GUO Donghua, FAN Chonghui, LI Gaochao, BAI Hong, SHI Pei, HE Huiqiang, CHAI Lin, LIAN Zhaoyuan. Effects of bagging on the aroma components of ‘Abubai’ peaches[J]. Food Science, 2016, 37(2): 232-237.
- [15] 谢妍纯,陈仲娜,刘尊烈. 阳山水蜜桃不同果实部位及汁的香气成分分析[C]//“健康中国 2030·健康食品的安全与创新”学术研讨会暨 2018 年广东省食品学会年会论文集. 广州, 2018: 110-114.
XIE Yanchun, CHEN Zhongna, LIU Zunlie. Analysis of aroma components of different parts and juices of Yangshan peach[C]// Academic Symposium on “Healthy China 2030: Safety and Innovation of Healthy Food” and Proceedings of the 2018 Guangdong Food Society Annual Meeting, 2018: 110-114.
- [16] 吴磊. 避雨栽培对桃果实挥发性物质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
WU Lei. Effects of rain-shelter cultivation on volatile compounds formation of peach fruit[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [17] 李杜,彭映辉,张良波,陈为峰,黄佳. 硬核期施肥对‘金湘玉’黄桃果实品质及香气成分的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-11. (2023-05-25). <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1068.S.20230524.1710.030.html>.
LI Du, PENG Yinghui, ZHANG Liangbo, CHEN Weifeng, HUANG Jia. Effect of hard kernel stage fertilization on the quality and aroma compounds of ‘Jinxiangyu’ yellow peach fruit[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2023: 1-11. (2023-05-25). <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1068.S.20230524.1710.030.html>.
- [18] 郭东花,赵彩萍,张静,贺会强,白红,石佩,刘航空,范崇辉. 不同钾肥用量对‘重阳红’桃果实挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 109-114.
GUO Donghua, ZHAO Caiping, ZHANG Jing, HE Huiqiang, BAI Hong, SHI Pei, LIU Hangkong, FAN Chonghui. Effects of different potassium fertilizer rates on volatiles of ‘Chongyanghong’ peach fruit[J]. Food Science, 2016, 37(2): 109-114.