

不同产地与种植方式下鹰嘴蜜桃挥发性特征风味比较

朱凯祺¹, 丘苑新^{1*}, 李存港¹, 袁海儒¹, 张泽雄¹, 柳建良²

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510220)

(2. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东广州 510110)

摘要: 南方鹰嘴蜜桃具有爽脆可口的特点, 被誉为十大岭南佳果之一, 但其独特的风味鲜少有报道。该研究以 11 种南方鹰嘴蜜桃为研究材料, 使用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用的方法比较分析其关键挥发性香气成分, 探究不同种植方式以及不同产地对鹰嘴蜜桃风味的影响, 为鹰嘴蜜桃的种植及品种培育提供理论依据。结果表明: 11 种鹰嘴蜜桃共检测出 76 种挥发性香气成分, 包含 6 种醛类、27 种酯类、6 种内酯、16 种醇类、7 种烯炔类、9 种烷炔类、5 种酮类、1 种萜类物质。11 种鹰嘴蜜桃各自的关键香气物质通过气味活度值计算确定, 主要是以呈青草香和果香的酯类和醇类物质为主。通过香气成分比较分析, 连平低海拔地区采用 4.0 种植技术的鹰嘴蜜桃风味最佳。该研究阐明了鹰嘴蜜桃的特征香气成分与产地以及种植方式显著相关 ($P<0.05$), 4.0 种植技术对鹰嘴蜜桃风味提升效果显著, 为鹰嘴蜜桃品种培育以及提升风味提供相关参考。

关键词: 鹰嘴蜜桃; 特征性风味; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪 (HS-SPME/GC-MS); 鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术

文章编号: 1673-9078(2023)08-247-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0787

Comparison of Volatile Characteristics and Flavor of Yingzui Honey Peaches Grown by Different Production Areas and Planting Methods

ZHU Kaiqi¹, QIU Yuanxin^{1*}, LI Cungang¹, YUAN Hairu¹, ZHANG Zexiong¹, LIU Jianliang²

(1. Department of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510220, China) (2. Guangdong Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Guangzhou 510110, China)

Abstract: Southern Yingzui honey peach is crisp and delicious thus is recognized as one of the top ten Lingnan fruits, however, its unique flavor was rarely reported. In this study, 11 kinds of Southern Yingzui honey peaches were used as the research materials, and the key volatile aroma components were compared and analyzed by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry. The effects of different planting methods and different production areas on the flavor of Yingzui honey peaches were explored, so as to provide a theoretical basis for the planting and variety cultivation of Yingzui honey peach. The results showed that a total of 76 volatile aroma components were detected in 11 kinds of Yingzui honey peaches, including 6 aldehydes, 27 esters, 6 lactones, 16 alcohols, 7 alkanes, 9 alkanes, 5 ketones and 1 terpene. The key aroma substances of the 11 kinds of Yingzui honey peaches were determined by the calculation of the odor activity value, which were mainly esters and alcohols with green grass and fruit aromas. Through the comparative analysis of aroma components, the garland honey peach with the 4.0 planting technology in Lianping's low altitude area had the best flavor. This study showed that the characteristic aroma components of Yingzui honey peaches were significantly correlated with the growing areas and planting methods ($P<0.05$). The 4.0 planting technology could significantly improve the flavor of Yingzui honey peach, which provides relevant references for the cultivation of Yingzui honey peach varieties and improvement of their flavor.

引文格式:

朱凯祺, 丘苑新, 李存港, 等. 不同产地与种植方式下鹰嘴蜜桃挥发性特征风味比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 247-256

ZHU Kaiqi, QIU Yuanxin, LI Cungang, et al. Comparison of volatile characteristics and flavor of Yingzui honey peaches grown by different production areas and planting methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 247-256

收稿日期: 2022-06-21

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2019B020212002)

作者简介: 朱凯祺 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 鹰嘴蜜桃栽培生理与果实品质, E-mail: 840105434@qq.com

通讯作者: 丘苑新 (1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果实品质提升管理, E-mail: foodqiu@163.com

Key words: Yingzui honey peach; main aroma components; head space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; Yingzui honey peach 4.0 planting technology

鹰嘴蜜桃是广东省河源市连平县的特色水果,味甜如蜜,果肉爽脆,肉质硬^[1],广泛种植在中国的南方地区,如广东、湖南、江西和云南等地。因其尾部形似鹰嘴,故起此名。鹰嘴蜜桃表皮色泽鲜亮且呈翠绿色,向阳面呈粉红色。内部果肉呈淡青色,近核处果肉呈粉红色,为粘核品种。顶空固相微萃取(HS-SPME)有着无需有机溶剂,萃取香气成分与浓缩一体化等优势,通过与气相色谱或者液相色谱联用可快速检测分析出风味物质而被广泛使用,对于水果的香气成分分析大多数都采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(HS-SPME/GC-MS)^[2]。桃子的香气是其风味品质的重要指标之一,而其香气则会受种植地区、肥料、温度等因素影响^[3],鹰嘴蜜桃的香气可以客观的反映果实的风味特点^[4]。

鹰嘴蜜桃 4.0 技术是使用鱼下脚料、豆粕等高蛋白生物有机质通过农用益生 EM 菌发酵产生有机发酵肥料,使用该肥料定期追肥,并采用套袋方法进行栽培;而普通种植技术不使用追肥及套袋操作。对于不同地区种植的鹰嘴蜜桃香气成分和含量都会有所区别,施用有机肥料、套袋、种植地的不同会影响作物的香气,张红梅等^[5]与赵国鹏等^[6]均发现施用有机肥料增加桃子的香气物质种类和含量。郭东花等^[7]通过对“阿布白”品种的果实进行套袋实验结果发现套袋会使香气成分含量下降,但是会使醇类、酸类含量增加,醛类和酯类含量下降。目前对于鹰嘴蜜桃的研究主要偏向于种植培育研究,但是对于种植方式和种植地对鹰嘴蜜桃香气的影响的还未见报道。

本研究通过对 11 种来自不同种植地和种植方式的鹰嘴蜜桃进行香气成分定性定量分析,探究 11 种相同成熟期鹰嘴蜜桃的关键香气物质及样品间的香气差异,并对比了水蜜桃、蟠桃、黄桃 3 种桃子与鹰嘴蜜桃之间的香气差异,为鹰嘴蜜桃果实特征风味的分析提供了参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

实验样品采集了 11 个在 2021 年 6~7 月相同成熟期的鹰嘴蜜桃样本和 3 个其他品种的桃子,如表 1。鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术定果时间为三月下旬,套袋时间四月上旬。使用鱼下脚料,花生麸、豆粕为发酵原

料;以 EM 菌为发酵菌,发酵时间为三个月至无渣,使用时发酵液需用水稀释再使用。从 3 月下旬开始对鹰嘴蜜桃树施用 EM 菌发酵肥一个月施用 1 次,连续 4 个月。3 个非鹰嘴蜜桃样品采用的是其他特色、肉质有差异的桃品种,包括黄桃、水蜜桃、蟠桃。样品采样方法为在桃树的两个方位进行取样,包含向阳和背光方向,每个方向取 5 个果实,共 10 个果实。3-辛醇(纯度>98.0%,GC)购于阿拉丁网。GC-MS-QP2010 Ultra 岛津气相色谱质谱联用仪:日本岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 鹰嘴蜜桃与非鹰嘴蜜桃挥发性成分的萃取和气质联用的分析条件

将去核的鹰嘴蜜桃果肉放入榨汁机里压榨,混匀后,准确称取果肉泥 5.0 g,放入 20 mL 的顶空瓶中,将老化好的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头插入顶空瓶中于 40 $^{\circ}\text{C}$ 萃取 30 min。迅速将萃取头插入气相色谱仪进样口,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 5 min^[8]。

色谱条件:具体方法参考罗静等^[9-11],色谱柱:HP-5MS 石英毛细管柱(30 m $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm);初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 4 min,先以 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 60 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,然后以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 120 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,最后以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 240 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min;载气为氦气(纯度 99.999%),流量为 1.0 mL/min;采用不分流模式进样^[12]。

MS 条件:电子轰击(EI)电离源,电子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$;辅助加热温度为 250 $^{\circ}\text{C}$ ^[13]。进行三次平行试验,取均值。

1.2.2 鹰嘴蜜桃挥发性成分的数据分析

定性:将样品色谱图中的每个峰与 Willey 和 NIST 谱库中进行比对,仅选取相似度指数(SI)>800 物质。定量:以 3-辛醇为内标物将标准品用乙醇稀释 10⁴ 倍,吸取 10 μL 于相同条件下进行 GC-MS 测定。使用内标法来进行定量分析,计算公式为:

$$A=(b_1\times c_2)/(b_2\times c_1) \quad (1)$$

式中:

A——挥发性香气成分含量, $\mu\text{g}/\text{g}$;

b_1 ——挥发性成分峰面积;

c_1 ——样品质量, g;

b_2 ——内标物峰面积;

c_2 ——内标物质量, μg 。

表 1 桃果实样品信息

Table 1 Peach fruit sample information

品种	采集地	海拔高度/m	是否使用鹰嘴蜜桃 4.0 技术	简称	经纬度	气候类型
鹰嘴蜜桃 (硬肉桃)	广东省河源市连平县 三角湖果园 (高海拔)	693	是	H4	N 24° 42' 36.68" E 114° 46' 51.10"	亚热带季风气候
	广东省河源市连平县 三角湖果园 (高海拔)	693	否	HI	N 24° 42' 36.68" E 114° 46' 51.10"	亚热带季风气候
	广东省河源市连平县 星星红果园 (低海拔)	385	是	L4	N 24° 29' 0.49" E 114° 35' 49.24"	亚热带季风气候
	广东省河源市连平县 星星红果园 (低海拔)	385	否	LO	N 24° 29' 0.49" E 114° 35' 49.24"	亚热带季风气候
	广东省韶关市翁源县果园	313	否	SG	N 24° 21' 0.00" E 114° 7' 48.00"	亚热带季风气候
	广东省梅州市蕉岭县果园	419	否	MZ	N 24° 40' 12.00" E 116° 10' 12.00"	亚热带季风气候
	广东省清远市阳山县果园	187	否	QY	N 24° 27' 55.29" E 112° 38' 28.91"	亚热带季风气候
	江西省赣州市上犹县果园	646	否	JX	N 25° 48' 0.00" E 114° 31' 48.00"	亚热带季风气候
	云南省红河州红河县果园	1494	否	YN	N 23° 22' 12.00" E 102° 25' 12.00"	亚热带季风气候
	广西省白色市德保县果园	642	否	GX	N 23° 19' 48.00" E 106° 37' 12.00"	亚热带季风气候
锦春黄桃 (不溶质桃)	湖南省郴州市资兴县果园	248	否	HN	N 25° 58' 34.47" E 113° 14' 10.13"	亚热带季风气候
	山东省临沂市蒙阴县果园	212	否	HT	N 35° 43' 11.99" E 117° 55' 48.00"	暖温带季风大陆性气候
	江苏省无锡市阳山镇果园	187	否	SMT	N 31° 34' 28.68" E 120° 5' 15.40"	亚热带过渡的季风气候
早露蟠桃 (软溶质桃)	新疆省石河子市 一四三团果园	451	否	PT	N 44° 18' 0.00" E 86° 1' 47.99"	温带大陆性干旱气候

1.2.3 鹰嘴蜜桃挥发性成分的香气评价数据分析

关键香气成分通过气味活度值 (Odor Activity Value, OAV) 计算得出, OAV>1 表示该香气物质对样品香气贡献和影响较大, OAV 值越大贡献值越大^[14]; 若 OAV>10 则表明贡献很大, 当 OAV 值<1 时, 则说明该香气物质对样品无香气贡献。OAV 计算公式为^[15]:

$$OAV=d_1/d_2$$
 (2)

式中:

OAV——气味活度值;

d₁——香气物质含量, μg/g;

d₂——香气阈值, μg/g。

1.2.4 数据分析

所有实验做 3 次平行试验, 取平均值。使用 SPSS

25 邓肯多重比较检验进行差异显著性处理, P<0.05 表示数据之间有显著性差异。使用 Origin 2018 对数据进行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 与载荷分析。

2 结果与讨论

2.1 14 种桃子 GC-MS 香气成分分析

通过 HS-SPME/GC-MS 分析结果得出, 14 种桃子总共检测出 76 种挥发性香气成分, 包含 6 种醛类、27 种酯类、6 种内酯、16 种醇类、7 种烯炔类、9 种烷烃类、5 种酮类、1 种萜类物质。根据 14 种桃子挥发性物质定性定量数据绘制热图 (图 1)。结果显示, 11

种鹰嘴蜜桃中含量较高的香气物质（在一个或多个样品中含量 $\geq 1\ 000\ \text{mg/kg}$ ^[14]）有(E)-2-己烯醛、乙酸己酯、(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯、(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯，主要都是呈果香和青草香，而(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯在鹰嘴蜜桃中检测出且是没有报道过的桃子香气成分^[16]。在醛类化合物中，含量较高的有(E)-2-己烯醛（最高含有 $1\ 152.89\ \text{mg/kg}$ ）、己醛（最高含有 $488.98\ \text{mg/kg}$ ）。酯类物质是桃子香气的主要贡献物质^[17]，鹰嘴蜜桃也是酯类含量较高，其中包含乙酸己酯（最高含有 $3\ 720.23\ \text{mg/kg}$ ）、(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯（最高含有 $2\ 024.01\ \text{mg/kg}$ ）和(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯（最高含有 $2\ 211.67\ \text{mg/kg}$ ）。在萜类化合物中，芳樟醇是对桃子风味影响较大的香气成分，在鹰嘴蜜桃中检测到芳樟醇含量为 $246.04\ \text{mg/kg}$ 。

内酯和酯类物质是人类感知水果芬芳味的主要物

质，且在桃子中普遍存在，如 γ -癸内酯。从图1中看出非鹰嘴蜜桃与鹰嘴蜜桃挥发性香气成分区别在于：内酯和酯类物质的含量与种类。在14个样品中，蟠桃的内酯含量是最高的，其次是水蜜桃，在鹰嘴蜜桃中的内酯种类和含量虽整体上比非鹰嘴蜜桃少，但‘YN’和‘GX’这两个样品的内酯种类和水蜜桃一样，含量次之。在14个样品内酯含量中 γ -癸内酯占比最大，而蟠桃的 γ -癸内酯含量最高，在鹰嘴蜜桃中‘MZ’、‘YN’和‘GX’含量较高。检测结果发现4-己内酯为鹰嘴蜜桃特有的内酯成分，仅在鹰嘴蜜桃中检测出。(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯、乙酸己酯和(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯在鹰嘴蜜桃中含量最高，乙酸酯类在3种非鹰嘴蜜桃中种类和含量均比鹰嘴蜜桃多，如乙酸甲酯、乙酸乙酯，而酯类物质在鹰嘴蜜桃间也有差异，这些香味成分的区别可能造成桃子之间感官上的差异，这与Zhu等^[18]和Horvat等^[19]的研究相似。

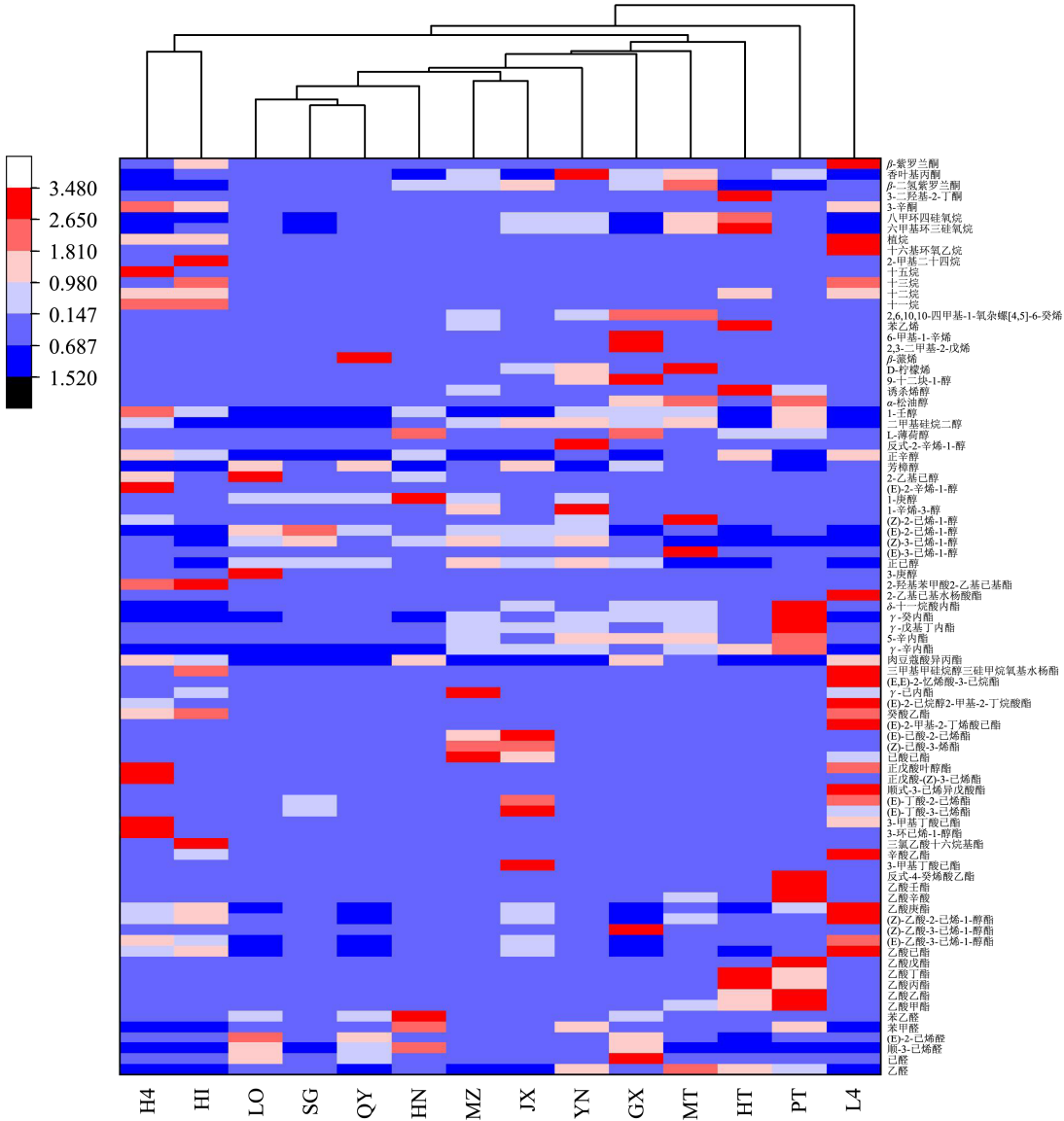


图1 14种桃子GC-MS测定结果热图

Fig.1 Heat map of GC-MS determination results of 14 peach species

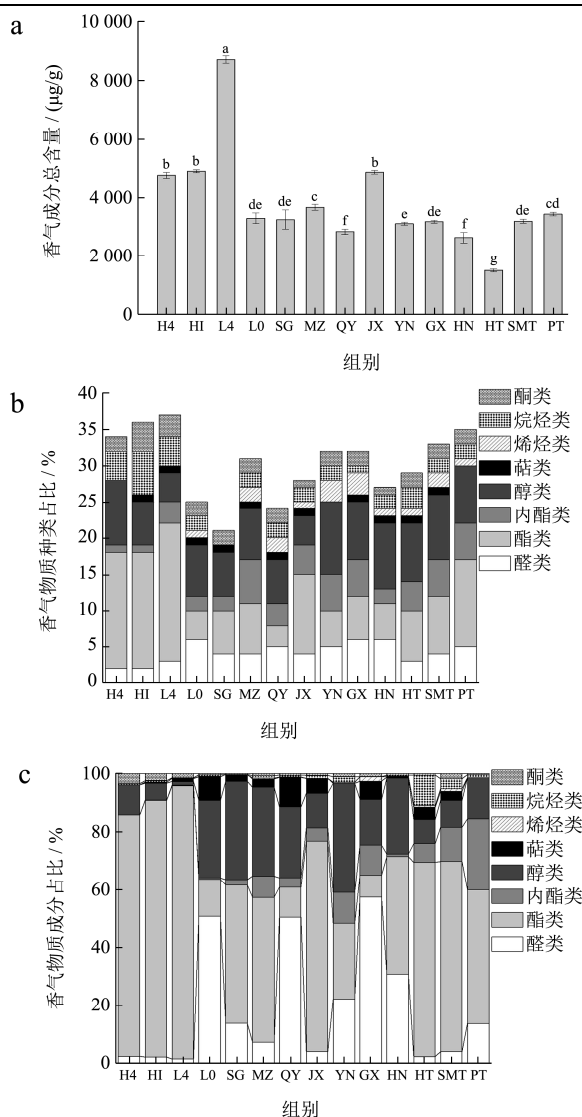


图2 14种桃子香气成分总含量图(a)、香气种类图(b)、香气成分占比图(c)

Fig.2 Total content of aroma components (a), aroma species (b) and proportion of aroma components (c) of 14 peach

由图2a得出14种桃子中连平县低海拔4.0鹰嘴蜜桃的香气总含量最高,为8698.86 μg/g,其次是‘H4’、‘HI’和‘JX’。鹰嘴蜜桃4.0种植技术影响连平县低海拔果实香气总含量,但在高海拔影响不显著($P<0.05$)。硬肉桃总体上的香气总含量比不溶质桃和软溶质桃高,在鹰嘴蜜桃中,连平县的样品整体上比广东省内其他市及广东省外的样品香气成分含量高,这也可能是造成连平县的鹰嘴蜜桃更加突出的原因。图2b中,得出桃子中主要的香气成分种类为醇类、醇类、酯类和内酯类物质。‘L4’香气成分种类最多,有37种;其次是‘HI’和‘PT’,有36种。‘SG’鹰嘴蜜桃香气种类占比最少,有21种。在鹰嘴蜜桃的香气成分种类中,‘H4’、‘HI’和‘L4’这三个品种香气种类最多,连平县种植的鹰嘴蜜桃的香气成分种类相比起其他种

植地会更多,且在连平县低海拔使用鹰嘴蜜桃4.0种植技术可增加果实香气种类。图2c中得出,‘H4’、‘HI’、‘L4’的酯类总占比最高,占比为83.50%~93.70%,而‘LO’占比最低,为12.34%。酯类物质因通常具有果香味,在桃子中是主要的骨架香气物质之一^[10],酯类物质含量高可以带给人一种愉悦的感觉^[20]。连平县低海拔地区鹰嘴蜜桃通过鹰嘴蜜桃4.0技术可以增加酯类物质的种类的含量,但是在高海拔地区提升不明显。醇类物质和醛类物质在连平县的三个样品(‘H4’、‘HI’、‘L4’)中含量比其他样品低,而醇类物质占比最高的(34.98%~40.54%)五个样品为:‘LO’、‘SG’、‘MZ’、‘QY’和‘YN’。

2.2 鹰嘴蜜桃特征香气分析

食品香气有香气阈值,人开始闻到物质香气的最小浓度被称为阈值,阈值越低则香气越强,阈值越高则香气越弱。所以香气的强弱不仅与香气成分含量有关,香气阈值也有很大的贡献^[21]。通过参考《Odour thresholds》^[22]及相关文献^[10,18,23,24]确定了27种香气物质在桃子香气中 $OAV>1$,是鹰嘴蜜桃的关键香气物质,香气成分描述主要是青草香和果香为主,如表2。通过公式计算得出各个鹰嘴蜜桃样品的香气物质的 OAV 值,如表3。若 $OAV>1$ 则可认为是该鹰嘴蜜桃的关键香气物质,其中‘H4’含16种,‘HI’含18种,‘L4’含20种,‘LO’含12种,‘SG’含13种,‘MZ’含17种,‘QY’含10种,‘JX’含19种,‘YN’含14种,‘GX’含9种,‘HN’含12种。‘L4’的主要香气成分化合物最多,‘JX’次之,‘GX’最少,说明连平县低海拔4.0种植技术的鹰嘴蜜桃香气更加丰富。其中(E)-2-己烯醛、正己醇、(Z)-2-己烯-1-醇、 β -紫罗兰酮这5种香气成分在11种鹰嘴蜜桃中都包含且 $OAV>1$,主要呈青草香、果香和愉快的香气,且正己醇的 OAV 值最高可达81.98,数值偏高。若 $1<OAV<10$,则可认为是该鹰嘴蜜桃的主要关键香气物质。己醛、(E)-2-己烯醛、乙酸己酯、(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯、(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯、乙酸庚酯、辛酸乙酯、3-甲基丁酸己酯、(E)-丁酸-3-己烯酯、(E)-丁酸-2-己烯酯、 γ -癸内酯、正己醇、(E)-2-己烯-1-醇、芳樟醇、3-辛酮、 β -紫罗兰酮这16种香气物质在鹰嘴蜜桃中 $1<OAV<10$ (在两个或者多个样品中),是鹰嘴蜜桃的主要关键香气物质。

辛酸乙酯、3-甲基丁酸己酯、癸酸乙酯、 γ -己内酯、正辛醇、3-辛酮是连平鹰嘴蜜桃特有的香气成分且 $OAV>1$,主要是呈果香和甜香。产地对香气产生差异有很大影响^[14]。内酯对于桃子香气,起到举足轻重的位置,内酯种类和含量的差异使桃子产生各自独

特的风味特点^[21]。连平鹰嘴蜜桃的特有香气物质 γ -己内酯，使其与其他样品有特殊的区别。从表 3 得出，在连平低海拔地区使用鹰嘴蜜桃 4.0 技术可增加果实的酯类香气物质，主要增加果实甜味和果实香味，且新增了 γ -己内酯和 γ -癸内酯两种内酯，呈甜味和桃子味，使果实的香气更加丰富^[25]；但是醛类和醇类物质含量会减少，减少青草香气。王孝娣等^[26]通过对‘红富

士’苹果施用有机发酵肥，得出结果，有机发酵肥料可以增加主要香气酯类的含量^[27]。在高海拔地区使用鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术香气物质减少两种，但含量无显著性差异($P>0.05$)。樊淼淼等^[28]研究表明，通过对‘瑞雪’苹果进行套袋技术研究，发现果实套袋可减少果实的香气物质种类，这可能是连平县高海拔地区使用 4.0 种植技术使香气物质减少的原因之一。

表 2 鹰嘴蜜桃特征香气成分阈值及嗅觉描述

Table 2 Threshold value and olfactory description of characteristic aroma components of Yingzui honey peach

编号	化合物名称	化合物化学式	阈值/(mg/kg) ^[32]	香气描述 ^[32]
1	己醛	C ₆ H ₁₂ O	22.50	青草香
2	顺-3-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	1.60	青草香
3	(E)-2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	82.00	绿苹果香
4	乙酸己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	115.00	果香
5	(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	87.00	青草香
6	(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	48.00	青草香
7	乙酸庚酯	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.32	甜杏仁味
8	丁酸己酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	2.50	青草香、果香
9	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.48	果香，白兰地酒香
10	3-甲基丁酸己酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.19	生水果香
11	(E)-丁酸-3-己烯酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.32	果香
12	(E)-丁酸-2-己烯酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.50	果香
13	己酸己酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	6.40	生水果香
14	(Z)-己酸-3-己烯酯	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	5.87	薄荷油香
15	(E)-己酸-2-己烯酯	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	3.13	薄荷油香
16	癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	1.50	果香，酒香
17	γ -己内酯	C ₆ H ₁₀ O ₂	1.60	甜味
18	γ -辛内酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	6.50	果香
19	γ -癸内酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	11.00	愉快的桃子香气
20	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	8.87	青草香
21	(Z)-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	70.00	青草香
22	(E)-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	12.70	愉快气味
23	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	10.80	铃兰香气
24	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	1.00	柑橘味，甜味，油脂味
25	1-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	1.00	玫瑰花香，果香
26	3-辛酮	C ₈ H ₁₆ O	5.02	果香
27	β -紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	1.00	木香、花香、果香

鹰嘴蜜桃之间的香气区别主要集中在酯类、内酯和醇类物质。采用 4.0 种植技术与其他样品对比乙酸己酯在香味上贡献最大，更加突出果实的果香味。‘SG’香气物质种类和‘LO’相似，但其呈愉快气味的(E)-2-己烯-1-醇 OAV 值最大。‘MZ’对比连平县样品新增了(Z)-己酸-3-己烯酯、(E)-己酸-2-己烯酯和 γ -辛内酯，呈薄荷油味和果香味，但缺失呈果香味的酯类物质；其正己醇 OAV 值最高，青草香更强。‘QY’相比连平县

样品，缺乏更多的酯类物质。在广东省内的 6 个样品中，三个非连平县样品（‘SG’、‘MZ’、‘QY’）的 γ -癸内酯、正己醇这两个香气物质比连平县的样品含量多(OAV>1)。广东省外的‘JX’这个样品香气成分更加丰富，比其他样品含有更多呈果香味的酯类物质。‘YN’和‘HN’香气物质成分相似，且醇类物质 OAV 值高。

不同种类的桃子特征挥发性香气物质会有差异，研究表明^[3,29]，桃果实的香气成分主要是以呈清香型

的醛类和醇类物质,呈果香味的酯类和内酯类物质为主。本实验中的鹰嘴蜜桃是属于硬肉桃,其主要的香气成分为酯类物质和醇类物质,测定结果与 Lavilla 等^[30]、李杰等^[11]结果一致。辛酸乙酯、3-甲基丁酸己酯、癸酸乙酯、 γ -己内酯、正辛醇、3-辛酮,这 6 种物质是连平县地区鹰嘴蜜桃中检测得出的特有香气成分,主要为酯类、内酯、醇类和酮类物质,且 OAV>1, 这些物质呈果香味和甜味,这对连平县的鹰嘴蜜桃特有的香气成分及构成有着重要作用。鹰嘴蜜桃中正己醇和(E)-2-己烯-1-醇 OAV 值很高,这两种物质呈青草香和愉快气味。

内酯物质是桃果实香味中最为重要的一种物质,其主要呈‘桃味、甜味、果实味’^[29],连平县的样品中的三个样品(‘HI’、‘H4’和‘L4’)有着特有的呈甜味的

γ -己内酯, γ -癸内酯是呈‘桃味’的香气成分,这种物质在连平县以外地区样品中均含有,在连平县低海拔地区使用鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术可以新增这种物质。说明在连平县种植通过普通种植的鹰嘴蜜桃样品会缺乏 γ -癸内酯,但在低海拔地区通过鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术可以弥补此物质的缺乏,增加鹰嘴蜜桃的甜味与果香味。Jia 等^[31]研究表明,施加过量的氮肥和土壤缺乏氮都不利于果实香气的积累,适量地施加氮肥可以增加果实的 γ -己内酯、 γ -辛内酯和 γ -癸内酯这三种物质的含量,鹰嘴蜜桃 4.0 种植技术施加 EM 菌蛋白发酵肥料,该肥料含有氮源,增加了果实的内酯种类及含量。 γ -辛内酯、 γ -癸内酯在水蜜桃中含量较高,但在鹰嘴蜜桃中含量较少,这可能是造成鹰嘴蜜桃和非鹰嘴蜜桃香气产生差异的原因。

表 3 鹰嘴蜜桃特征香气成分的 OAV

Table 3 OAV of characteristic aroma components of Yingzui honey peach

化合物	OAV (气味活度值)										
	H4	HI	L4	LO	SG	MZ	QY	JX	YN	GX	HN
己醛	<1.00	<1.00	1.05	13.70	2.62	1.23	8.21	<1.00	3.42	21.73	1.83
顺-3-己烯醛	-	-	-	5.87	-	2.16	3.85	1.55	1.88	7.16	10.23
(E)-2-己烯醛	1.19	1.01	1.10	14.06	3.28	1.91	12.23	1.22	3.04	13.01	3.55
乙酸己酯	16.17	16.97	32.35	1.12	5.02	6.06	<1.00	12.25	3.05	<1.00	2.53
(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯	16.05	13.89	23.26	2.30	7.19	8.84	1.57	12.06	4.50	<1.00	9.90
(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯	12.77	21.59	46.08	1.22	6.12	5.45	<1.00	14.87	1.32	<1.00	2.63
乙酸庚酯	13.17	15.27	26.88	-	<1.00	2.79	-	7.17	1.56	-	-
丁酸己酯	-	1.28	-	-	-	-	-	19.43	-	-	-
辛酸乙酯	-	12.49	59.87	-	-	-	-	-	-	-	-
3-甲基丁酸己酯	-	-	13.46	-	-	-	-	-	-	-	-
(E)-丁酸-3-己烯酯	9.49	4.41	20.74	-	27.62	-	-	86.82	-	-	-
(E)-丁酸-2-己烯酯	12.02	6.85	57.41	4.83	18.56	-	-	60.27	-	-	-
己酸己酯	-	-	1.02	-	-	2.48	-	1.69	-	-	-
(Z)-己酸-3-己烯酯-	-	-	-	-	-	3.24	-	3.97	-	<1.00	-
(E)-己酸-2-己烯酯-	-	-	-	-	-	6.31	-	13.31	-	-	-
癸酸乙酯	1.72	1.96	1.95	-	-	-	-	-	-	-	-
γ -己内酯	1.40	3.18	4.47	-	-	-	-	-	-	-	-
γ -辛内酯	-	-	-	-	-	1.29	-	1.28	1.42	<1.00	-
γ -癸内酯	-	-	1.17	<1.00	4.43	17.38	5.08	13.60	25.57	21.91	1.71
正己醇	24.49	14.47	7.59	65.47	60.53	81.98	57.68	47.84	76.68	46.85	33.86
(Z)-3-己烯-1-醇	1.18	<1.00	<1.00	1.45	2.43	2.06	1.04	1.24	2.11	<1.00	1.80
(E)-2-己烯-1-醇	17.48	18.65	13.97	49.18	63.21	42.97	44.05	35.40	41.57	19.66	32.99
芳樟醇	-	1.46	8.07	22.78	6.98	9.48	24.01	21.59	-	17.28	<1.00
正辛醇	1.99	1.25	2.03	-	-	-	-	-	<1.00	-	<1.00
1-壬醇	10.62	3.86	-	-	-	-	-	-	5.71	5.12	6.73
3-辛酮	31.98	22.32	23.32	-	-	-	-	-	-	-	-
β -紫罗兰酮	4.63	3.40	7.88	10.34	5.69	16.00	8.74	29.73	9.35	23.16	14.72

2.3 鹰嘴蜜桃香气成分 PCA 分析

主成分分析（PCA）分析是利用降维的思想，把多个指标转化为少数几个综合指标^[32]。进一步从总体上反映不同产地或种植方式的鹰嘴蜜桃香气成分的差异，对 11 个鹰嘴蜜桃样品的 27 个特征香气成分（表 2）进行主成分分析，得到了有 6 个主成分特征值都大于 1 且累计贡献率有 94.704%，表 4 所示。说明这 6 个主成分能解释绝大部分香气成分的信息，因此选择这 6 个主成分。通过对 6 个主成分的各个香气成分进行标准化处理后再进行函数计算，得到 11 个鹰嘴蜜桃的主成分得分^[33]，如表 5。再通过表 4 的特征值计算得到公式： $F=0.448f_1+0.243f_2+0.123f_3+0.079f_4+0.069f_5+0.040f_6$ ，代入到表 5 中计算得到主成分综合评价指数 F，再通过对 11 个鹰嘴蜜桃的 F 值由大到小排名，结果得出‘L4’是排名第一，‘JX’排名第二，‘LO’排名最后。‘H4’、‘HI’、‘L4’这 3 个连平县种植的鹰嘴蜜桃样品综合得分高，说明其香气在 11 个样品中更突出。连平县低海拔地区的‘LO’样品综合得分最低，说明通过 4.0 鹰嘴蜜桃种植技术可以增加其香气含量和关键香气成分。

表 4 11 个鹰嘴蜜桃香气成分特征值和累计贡献率

Table 4 Characteristic value and cumulative contribution rate of aroma components of 11 kinds of Yingzui honey peach			
主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	11.87	42.03	42.03
2	6.43	22.97	65.00
3	3.26	11.65	76.65
4	2.10	7.49	84.14
5	1.83	6.54	91.68
6	1.02	3.65	94.33

通过对前两个主成分进行可视化处理得到图 3。图 3a 中两个主成分累计贡献率为 65.00%，在图上距离越接近的点其香气的相似程度会更高^[34]，且距离座标轴越近受该主成分影响越大。‘LO’、‘QY’、‘GX’这 3 个样品距离接近，说明其香气成分接近。‘HI’与‘H4’的香气成分也是接近，且其距离主成分 1（PC1）越近，说明 PC1 对这两个样品影响大。图 3b 是 27 种香气成分在两个主成分上的载荷图，蓝色箭头在横坐标的投影是对 PC1 的载荷（系数），在纵坐标的投影是对 PC2 的载荷。从图 3b 上可得辛酸乙酯、 γ -己内酯和(E)-2-己烯-1-醇在 PC1（42.03%）上载荷大，所以影响鹰嘴蜜桃香气变化大。

影响果实香气的因素有很多，有研究表明不同种

植地种植的果实香气成分会有明显的差异，窦宏涛等^[35]对 7 个不同海拔高度种植的椒样薄荷提取出的精油进行香气成分鉴定，发现这 7 个样品的香气主成分相同，但是含量却差别较大，造成香气差异较大。本研究中的鹰嘴蜜桃样品采集于 11 个地区（包括不同海拔高度，不同种植地，不同种植方式），这可能是因为种植地及种植方式的差异，造成鹰嘴蜜桃样品间香气成分和含量存在差异。通过主成分得分排序后得到连平县低海拔 4.0 鹰嘴蜜桃的香气品质较优。

表 5 主成分得分图

Table 5 Principal component score chart								
	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	F	排名
L4	7.68	0.86	1.36	-0.85	1.98	-0.09	3.88	1
JX	-0.65	6.65	0.68	0.79	-1.24	1.01	1.43	2
HI	3.9	-1.34	-0.36	0.43	-0.84	-0.02	1.35	3
H4	3.48	-1.73	-1.53	1.25	-1.77	0.04	0.93	4
MZ	-2.1	2.46	-1.50	-0.53	0.81	-2.46	-0.61	5
GX	-2.69	-1.26	2.39	2.59	1.08	-0.06	-0.94	6
HN	-1.05	-1.67	-0.46	0.57	-1.37	-0.89	-1.02	7
SG	-1.4	-0.36	-0.94	-2.74	-0.79	0.75	-1.07	8
QY	-2.29	-1.4	1.74	-1.01	-0.02	0.23	-1.23	9
YN	-2.23	-0.7	-3.43	0.70	2.18	1.33	-1.33	10
LO	-2.65	-1.53	2.04	-1.20	-0.01	0.17	-1.39	11

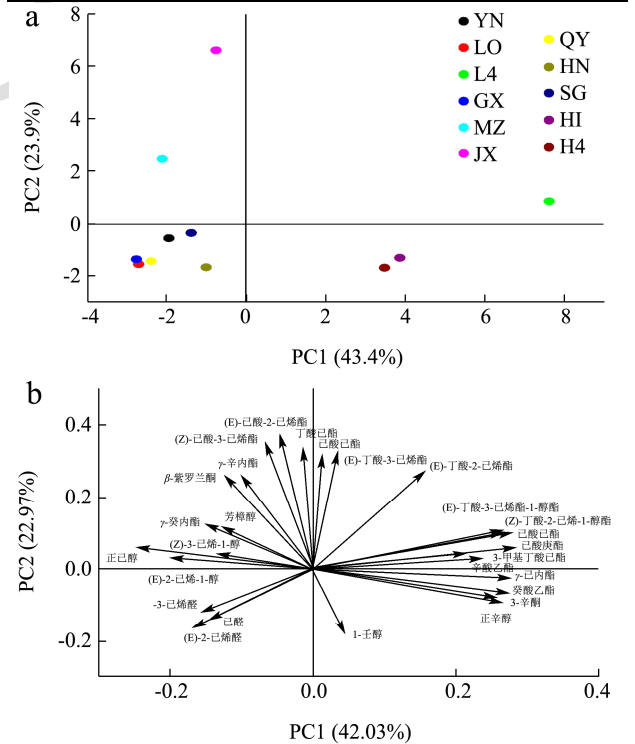


图 3 鹰嘴蜜桃 PCA 图

Fig.3 PCA diagram of Yingzui honey peach

注：a：样品分值图；b：香气成分载荷图。

3 结论

本研究通过 HS-SPME/GC-MS 对 11 个不同地区与种植方式的鹰嘴蜜桃进行香气成分分析,检测到鹰嘴蜜桃香气成分有 76 种,与非鹰嘴蜜桃香气成分有部分区别,通过特征香气分析得出 16 种鹰嘴蜜桃的关键香气物质,分别为己醛、(E)-2-己烯醛、乙酸己酯、(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯、(Z)-乙酸-2-己烯-1-醇酯、乙酸庚酯、辛酸乙酯、3-甲基丁酸己酯、(E)-丁酸-3-己烯酯、(E)-丁酸-2-己烯酯、 γ -癸内酯、正己醇、(E)-2-己烯-1-醇、芳樟醇、3-辛酮、 β -紫罗兰酮,主要是酯类物质提供果香和青草香,且(E)-乙酸-3-己烯-1-醇酯首次在鹰嘴蜜桃关键香气成分中发现。通过 PCA 和综合评价指数得出,在 11 个鹰嘴蜜桃样品中,连平县鹰嘴蜜桃香气更加突出,在其低海拔地区使用 4.0 鹰嘴蜜桃种植技术对于加强鹰嘴蜜桃风味效果显著,本文为新型种植技术对果实影响进行研究,对鹰嘴蜜桃的种植提供指导。

参考文献

- [1] 曾文芳,王志强,牛良,等.桃果实肉质研究进展[J].果树学报,2017,34(11):1475-1482.
- [2] 程超,夏兰欣,杜芬妮,等.基于 9 种风味物质的利川红 SPME 优化及 PLS-DA 风味识别[J].食品科学,2021,42(6):215-222.
- [3] 王贵章,王贵禧,梁丽松,等.桃果实芳香挥发物及其生物合成研究进展[J].食品科学,2014,35(17):278-284.
- [4] 范霞,崔心平.基于 HS-SPME/GC-MS 和电子鼻技术研究江苏省不同肉质桃子七月份采收后贮藏期的香气成分[J].食品科学,2021,42(20):222-229.
- [5] 张红梅,李鹃鸽,张楚捷,等.不同肥料配施对红凤凰桃果实品质的影响[J].山西农业科学,2019,47(5):845-848.
- [6] 赵国鹏.不同肥料对肥城桃生长发育和果实品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2011.
- [7] 郭东花,范崇辉,李高潮,等.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.
- [8] Hou J, Lu L, Wang Y. Volatile composition changes in navel orange at different growth stages by HS-SPME-GC-MS [J]. Food Research International, 2020, 136: 109333.
- [9] 罗静,方金豹,谢汉忠,等.超声波辅助萃取桃果实挥发性物质的效果[J].果树学报,2014,31(5):828-835.
- [10] Niu Y, Deng J, Xiao Z, Zhu J. Characterization of the major aroma-active compounds in peach (*Prunus persica* L. Batsch) by gas chromatography-olfactometry, flame photometric detection and molecular sensory science approaches [J]. Food Research International, 2021, 147: 110457.
- [11] 李杰,王雨,刘欢,等.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.
- [12] Xi W, Zheng Q, Lu J, et al. Comparative analysis of three types of peaches: Identification of the key individual characteristic flavor compounds by integrating consumers' acceptability with flavor quality [J]. Horticultural Plant Journal, 2017, 3(1): 1-12.
- [13] 张琴,周丹丹,彭菁,等.油桃采收后结合态香气变化规律及其与可溶性糖的关联性[J].食品科学,2021,42(6):206-214.
- [14] 高夏洁,高海燕,赵镭,等.SPME-GC-MS 结合 OAV 分析不同产区花椒炸花椒油的关键香气物质[J].食品科学,2022,43(4):208-214.
- [15] 曹润洁,李安军,汤有宏,等.基于多元统计分析和 OAV 值分析不同窖龄基酒的风味组分[J].酿酒科技,2017,11:44-50.
- [16] Fan S, Tang K, Xu Y, et al. Characterization of the potent odorants in Tibetan Qingkejiu by sensory analysis, aroma extract dilution analysis, quantitative analysis and odor activity values [J]. Food Research International, 2020, 137: 109349.
- [17] Wang Y, Yang C, Li S, et al. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 356-364.
- [18] Zhu J, Xiao Z. Characterization of the key aroma compounds in peach by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements and sensory analysis [J]. European Food Research and Technology, 2018, 245: 129-141.
- [19] Horvat R J, Chapman G W, Robertson J A, et al. Comparison of the volatile compounds from several commercial peach cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(1): 234-237.
- [20] Sumitani H, Suekane S, Nakatani A, et al. Changes in composition of volatile compounds in high pressure treated peach [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1994, 42(3): 785-790.
- [21] 王贵章.乙烯对采收后低温冷藏桃果实香气合成调控的分子机理研究[D].北京:中国林业科学研究院,2014.
- [22] Gemert L J V. Compilations of Odour Threshold Values in Air, Water and other Media [M]. The Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [23] Eduardo I, Chietera G, Bassi D, et al. Identification of key odor volatile compounds in the essential oil of nine peach accessions [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(7): 1146-1154.
- [24] Bononi M, Bassi D, Tateo F. "Flavor intensity" evaluation of two peach fruit accessions and their four offspring at unripe

- and ripe stages by HS-SPME-GC/MS [J]. Food & Public Health, 2012, 2(6): 301-308.
- [25] 蒋青香.白芽奇兰茶叶关键香气成分的鉴定及其茶粉香气品质的研究[D].福建:集美大学,2020.
- [26] 王孝娣,史大川,宋烨等.有机栽培红富士苹果芳香成分的GC-MS分析[J].园艺学报,2005,6:998-1002.
- [27] Kirshinbaum L M, Daus A, Porat R. Changes in sensory quality and aroma volatile composition during prolonged storage of 'Wonderful' pomegranate fruit [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(8): 1569-1578.
- [28] 樊淼淼,陶茹,张天皓,等.不同果袋对‘瑞雪’苹果果实品质的影响[J].果树学报,2020,37(9):1326-1335.
- [29] 席万鹏,郁松林,周志钦.桃果实香气物质生物合成研究进展[J].园艺学报,2013,40(9):1679-1690.
- [30] Lavilla T, Recasens I, Lopez M L, 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.
- [31] Jia H J, Araki A, Okamoto G. Effects of fertilizer levels on tree growth and fruit quality of ‘Hakuho’ peaches (*Prunus persica*) [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1999, 68(3): 487-493.
- [32] 李玲,吕磊,张薇,等.运用 GC-MS 结合 PCA 技术对川白芷与杭白芷挥发油成分的比较分析[J].药物分析杂志,2011, 31(1):112-118.
- [33] 赵玉华,赵浩均,熊苗,等.9 个燕山板栗品种成熟时果实主要香气物质分析[J].果树学报,2019,36(6):765-773.
- [34] 王鹏,田洪磊,张海轮,等.基于 GC-MS 结合化学计量学方法的蟠桃鲜果指纹图谱的构建及应用[J].现代食品科技, 2016,32(5):258-263.
- [35] 窦宏涛.陕西省椒样薄荷适种区域及其生态因素影响研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,7:77-80.