

# 9个菠萝蜜品系香气成分及特征香气分析

王俊宁,任雪岩,余树明,何启朋,丰 锋,刘光财,叶春海

(广东海洋大学农学院,广东湛江 524088)

**摘要:**【目的】分析不同品系菠萝蜜果实的香气成分和特征香气。【方法】以9个菠萝蜜品系为试材,采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术分析菠萝蜜果实的香气成分。【结果】9个菠萝蜜品系共检测出挥发性成分130种,其中含有71种酯、16种醇、19种醛、8种酮、3种酸、6种烃类和7种其他物质。9个品系都是以酯类物质为主,醇类物质次之,酸类物质最少;采用聚类分析将‘海大2号’‘20号’‘四季’‘28号’‘45号’‘红肉327’‘305’和‘湿苞’8个品系聚为一类,‘92号’单独为一类;9个菠萝蜜品系的特征香气成分存在一定差异。【结论】菠萝蜜果实的香气成分以酯类为主,醛类次之;不同品系的香气成分不同,各品系间的亲缘关系也不相同;特征香气存在差异,经过OAV值法分析,异戊醇是9个品系都含有的特征香气物质。

**关键词:** 菠萝蜜;香气成分;特征香气;主成分分析;气相色谱

中图分类号: S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)05-0574-12

## Analysis of aroma compounds in 9 jackfruit varieties

WANG Junning\*, REN Xueyan, YU Shuming, HE Qipeng, FENG Feng, LIU Guangcai, YE Chunhai

(Agricultural College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study analyzed the aroma components in nine jackfruit varieties and classified the varieties based on aroma components using principal component analysis and cluster analysis. The characteristic aromatic components detected in jackfruits were quantified using the odour activity value (OAV), ratio of concentration of the volatile compound to its odour threshold. Aroma components with the aroma value greater than or equal to 1 were regarded as characteristic aroma. 【Methods】 The aroma components in the nine jackfruit varieties were analyzed by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The flesh tissue was homogenized with beater in liquid nitrogen. Flesh (0.2 g) was weighed in 20 mL jars and added with 5 mL of saturated sodium chloride solution to extract aroma ingredients for 40 min. Aroma ingredients were detected by SHIMADZU QP2010-Plus gas chromatography-mass spectrometer with an automatic injection. A 65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB solid phase microextraction extraction head was aged at 250  $^{\circ}\text{C}$  for 1 hour in the gas chromatographic inlet before injection. The chromatography was equipped with a DB-5 capillary column (30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ ) and the column temperature was raised following the procedure: initial 40  $^{\circ}\text{C}$  for 1 min, an increase to 100  $^{\circ}\text{C}$  at 3.5  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , and to 180  $^{\circ}\text{C}$ , and a further increase at 5  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  to 250  $^{\circ}\text{C}$ , which was maintained for 3 min. The inlet temperature was kept at 250  $^{\circ}\text{C}$ . There was no shunt. The carrier gas was helium at a flow rate of 1.0 mL  $\cdot \text{min}^{-1}$ . Desorption of the extractor at the inlet was allowed for 2 min. The mass spectrometry conditions included an electron impact ion source (EI), an ion source temperature of 230  $^{\circ}\text{C}$ , an interface temperature of 280  $^{\circ}\text{C}$ , a detector voltage 350 V, an electron energy 70 eV and a scanning quality range of 35-335 amu. The external standards were methyl

收稿日期:2017-11-09 接受日期:2018-03-07

基金项目: 国家青年科学基金(31401928); 广东省自然科学基金博士启动项目(S2013040011544); 广东海洋大学大学生创新项目(CXXL2014068); 广东海洋大学引进人才科研启动项目(1312130)

作者简介: 王俊宁, 博士, 副教授, 主要从事园艺产品采后生理与分子生物学的研究。Tel: 0759-2383252, E-mail: wangjunningb@126.com

isovalerate, butyl isovalerate, ethyl isovalerate, butyl acetate, isoamyl acetate, n-propyl acetate, butyl butyrate, benzaldehyde, n-hexanal, isovaleraldehyde, active amyl alcohol, 1-pentanol, isoamyl alcohol, n-butanol, isobutyl isovalerate and isoamyl isovalerate, which were of HPLC purity grade and purchased from Sigma. Sodium chloride (AR) was provided by Sinopharm Chemical Reagent. 【Results】There were 130 volatile components in the nine jackfruit varieties, including 71 esters, 16 alcohols, 19 aldehydes, 8 ketones, 3 acids, 6 hydrocarbons and 7 other substances. The nine varieties were dominated by ester-based substances, followed by alcohol substances, acid substances and so on. The major aroma components in the nine varieties included 12 components, namely isoamyl isovalerate, isopentyl isooctanoate, propyl isovalerate, amyl valerate, butyl isovalerate, amyl valerate, esters, isobutyl isovalerate, phenylpropionaldehyde, isoamyl alcohol, ethyl isovalerate and isoamyl acetate. The characteristic aroma was different among the nine varieties. The principal component analysis and cluster analysis (inter-group connection) were used to classify the nine cultivars. The case system cluster analysis was carried out based on the Euclidean distance. When the distance was 9, 6 varieties including the 'Haida 2' 'No. 20' 'Siji' 'No. 28' 'No. 45' and 'Red flesh 327' were grouped together in a class, which displayed obvious difference with the other three varieties. When the distance was 11, the 9 varieties could be divided into two categories, 'No. 92' alone as a class, and the other eight as the other class. And the distance between 'No. 92' and the other eight varieties was the greatest (25). The main aroma components in 'Haida 2' 'No. 20' 'Siji' 'No. 28' 'No. 45' 'Red flesh 327' '305' and 'Soft type' were isoamyl isovalerate, amyl isovalerate, butyl isovalerate, ethyl isovalerate, propyl isovalerate and heptanoic acid heptyl ester, without isoamyl octanoate. The main aroma components in 'No. 92' were isovalerate butyl ester and isoamyl octanoate, which was unique in 'No. 92'. The comprehensive scores of the aroma components in the nine jackfruit varieties were in order of 'No. 92' > 'No. 45' > '305' > 'Soft type' > 'No. 20' > 'Haida 2' > 'No. 28' > 'Red flesh 327' > 'Siji'. There were more than 40 esters in '305' 'Soft type' 'No. 28' 'No. 45' and 'Siji'. However, in 'Red flesh 327' there were only 30 esters, but alcohol substances, aldehydes, hydrocarbons and other substances were most abundant among the nine varieties. There were isovaleraldehyde, isovalerate, isoamyl alcohol, isovaleric acid and phenylethyl alcohol in 'Haida 2'; ethyl 2-methyl butyrate, ethyl isovalerate, isopentyl alcohol and isovaleric acid in '305'; ethyl 2-methyl butyrate, isoamyl acetate, ethyl isovalerate, isoamyl alcohol and isovaleric acid in 'Soft type'; ethyl isovalerate and isoamyl alcohol in 'No. 28'; isoamyl acetate, ethyl isovalerate and isoamyl alcohol in 'No. 45'; isovaleraldehyde, alcohols and isovaleric acid in 'No. 20'; isovaleraldehyde, isoamyl acetate, isovalerate, isoamyl alcohol and phenylethyl alcohol in 'Red flesh 327'; isoamyl alcohol in 'Siji'; and isovaleraldehyde, (Z)-2-decenal, isoamyl alcohol, phenylethyl alcohol and isovaleric acid in 'No. 92'. 【Conclusion】Although the aroma components of the nine varieties of jackfruit were different, the important aroma components of the nine cultivars were esters, which accounted for more than half of the total aroma and formed the major flavor substances in jackfruit. Isoamyl alcohol was the characteristic aroma substance in the nine cultivars according to the results of OAV value analysis. Isooctanoate was a unique aroma ingredient of 'No. 92', which was quite different from the other eight varieties. 'Red flesh 327' had the least amount of esters, but it contained the largest variety of substances including the specific component of 1-chloropentane, which provides a special aroma of this cultivar.

**Key words:** *Artocarpus heterophyllus* Lam; Gas chromatography; Characteristic aroma; Principal component analysis; Gas chromatography

菠萝蜜(*Artocarpus heterophyllus* Lam.)属桑科波罗蜜属常绿乔木,又称木菠萝、树菠萝,是世界上质量最大的水果,一般质量为5~20 kg,最大的超过50 kg,果肉肥厚、柔软,清甜可口,香味浓郁,因此被誉为“热带水果皇后”。菠萝蜜是世界著名热带果树,原产印度,中国引入菠萝蜜栽培已有一千多年历史,在广东、广西、海南、云南、福建和四川南部以及中国台湾等地均有栽培,其中以海南种植最多,其他地区多为分散性栽培<sup>[1]</sup>。果实的风味主要包括口感和嗅觉,Adela<sup>[2]</sup>研究发现,可以通过保持最优的风味和营养品质来使食用品质达到最优,风味品质是否突出是消费者接受与否的关键因素。

果品风味由糖酸和各种香气物质组成,而香气又是菠萝蜜果实风味的重要组成部分<sup>[3]</sup>,是菠萝蜜果实品质分析、贮藏保鲜方面重要的评判指标。Swords等<sup>[4]</sup>在菠萝蜜果实蒸馏液中检测出了20种化合物。Rasmussen<sup>[5]</sup>在菠萝蜜中检测到21种化合物。Wong等<sup>[6]</sup>分析马来西亚菠萝蜜果实的蒸馏提取物,分析出45种挥发性成分,其中酯类物质所占比例很高(31.9%),为菠萝蜜果实的主要香气成分。Maia等<sup>[7]</sup>使用水-戊烷体系对菠萝蜜果肉进行同时蒸馏-萃取,鉴定出39种挥发性成分,以酯类为主。Ong等<sup>[8]</sup>使用二氯甲烷抽提法,从‘J3’菠萝蜜果实中鉴定出23种香味物质。

郭飞燕等<sup>[9]</sup>以海南菠萝蜜果肉为材料,分别采用乙醚浸提法、水蒸气蒸馏法、吸附法对其挥发油进行提取,并用GC-MS技术对3种方法所提取的挥发油成分进行分析,分别分离出38、22、14种组分。纳智<sup>[10]</sup>使用乙醚抽提法从菠萝蜜果实中鉴定出82种成分,以脂肪酸类、醇类、醛类、烷氧基烷烃类和酯类物质为主。李洪波等<sup>[11]</sup>运用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法对菠萝蜜果实中的香气成分进行鉴定,共鉴定出66种香气物质,其中醇类3种、醛类6种、烯类2种、萜类1种、烷类1种、酯类53种。贺书珍等<sup>[12]</sup>运用同样方法测定不同成熟阶段菠萝蜜果实中的香气成分,鉴定出51种香气物质,其中酯类21种。可见,菠萝蜜果实香气属于酯香型,其中酯类物质是菠萝蜜香气物质的主要组成部分。那么在构成菠萝蜜香气的众多酯类物质中,哪些成分对其香气形成起主要贡献作用呢?即哪些成分是菠萝蜜果实的特征香气呢?目前还未有相应的报道。此外,生产上菠萝蜜品系较多,不同品系间的香味浓郁程度

在感官上相差较大,而且当前有关不同品系菠萝蜜间香气成分差异的比较研究较少,故为选育优质、香味浓郁的菠萝蜜栽培品种,有必要对不同品系菠萝蜜的香气成分进行测定。笔者拟通过对9个菠萝蜜品系的香气成分进行测定,鉴定出菠萝蜜的特征香气成分,并根据香气成分含量对9个品系菠萝蜜进行分类,了解它们之间的亲缘关系,为进一步评价菠萝蜜品系品质特性、挖掘并利用菠萝蜜种质资源及选育新品系等提供基础数据和理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试材料 供试的菠萝蜜品系为‘海大2号’‘305’‘湿苞’‘28号’‘45号’‘20号’‘红肉327’‘四季’‘92号’9份菠萝蜜种质,均采自广东省湛江市廉江石岭镇一农户菠萝蜜种植园,树龄为7~8 a(年),前一年12月份开花,翌年6月中旬采收,果实采收后立即运回实验室,挑选大小及成熟度一致且无病、虫、伤的果实,将果肉从菠萝蜜果实中剥离出来,果肉样品经液氮速冻后,置于-80℃超低温冰箱保存。

1.1.2 主要试剂 异戊酸甲酯、异戊酸丁酯、异戊酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸异戊酯、乙酸正丙酯、丁酸丁酯、苯甲醛、正己醛、异戊醛、活性戊醇、1-戊醇、异戊醇、正丁醇、异戊酸异丁酯、异戊酸异戊酯均为色谱纯;氯化钠(分析纯,国药集团生产)。

1.1.3 仪器 GCMS-QP2010 Plus气相色谱质谱联用仪,SHIMADZU QP2010-Plus气相色谱-质谱联用仪(日本岛津公司);AOC-5000自动进样器(日本岛津公司);65 μm PDMS/DVB固相微萃取萃取头装置(上海安谱科学仪器有限公司);FA2004N电子分析天平(上海精密科学仪器有限公司);FW80高速万能粉碎机(天津泰斯特仪器公司)。

### 1.2 方法

1.2.1 顶空固相微萃取方法 进样前先将萃取头在气相色谱进样口老化1 h,老化温度为250℃。用打浆机将菠萝蜜果肉打成匀浆,取0.2 g迅速装入20 mL的钳口样品瓶中,再加入5 mL的饱和氯化钠溶液,样品量应为钳口瓶体积的三分之一,盖好瓶盖。将老化好的萃取头插入样品瓶中顶空部位,在40℃下恒温搅拌,平衡10 min后,顶空吸附30 min,在250℃热解析2 min。进行GC-MS检测分析。

标样的配制:将纯的外标物稀释10<sup>6</sup>倍后,加到

5 mL的饱和氯化钠溶液中。

**1.2.2 色谱条件** 采用DB-5毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),柱温用程序升温,初始温度为40℃保持1 min,然后以3.5℃·min<sup>-1</sup>升温至100℃,再以4℃·min<sup>-1</sup>升至180℃,再以5℃·min<sup>-1</sup>升至250℃保持3 min,进样口温度250℃,不分流,载气为He,流量1.0 mL·min<sup>-1</sup>,萃取头在进样口脱附2 min。

**1.2.3 质谱条件** 电子轰击离子源(EI),离子源温度230℃,接口温度280℃,检测器电压350 V,电子能量70 eV,扫描质量范围35~335 amu。每个样品2次重复。

**1.2.4 数据分析** 分析获得各样品的质谱相对丰度图及总离子流图(TIC)。各组分经Wiley9.lib谱库检索并结合人工谱图解析和资料分析。采用Office 2016和SPSS 22.0进行数据处理和统计分析。香气值(OAV)是指香气成分浓度与该香气成分阈值的比值,香气阈值是人们把开始闻到香气时香料物质的最小浓度作为表示香气强度的单位(g·m<sup>-3</sup>)。

测定的环境条件:室温26℃,相对湿度59%。

## 2 结果与分析

### 2.1 9个菠萝蜜品系香气成分

由表1可知,9个菠萝蜜品系共检测出挥发性成分130种,其中‘海大2号’共检测出67种挥发性香气成分,香气成分总含量( $\omega$ ,后同)为62.98 μg·kg<sup>-1</sup>;‘305’检测出84种挥发性香气成分,香气成分总含量为67.35 μg·kg<sup>-1</sup>;‘湿苞’检测出76种挥发性香气成分,其香气成分总含量为62.18 μg·kg<sup>-1</sup>;‘28号’检测出74种挥发性香气成分,其香气成分总含量为65.75 μg·kg<sup>-1</sup>;‘45号’检测出79种挥发性香气成分,香气成分总含量为60.67 μg·kg<sup>-1</sup>;‘20号’检测出70种挥发性香气成分,香气成分总含量为55.07 μg·kg<sup>-1</sup>;‘红肉327’检测出73种挥发性香气成分,香气成分总含量为57.27 μg·kg<sup>-1</sup>;‘四季’检测出70种挥发性成分,香气成分总含量为66.16 μg·kg<sup>-1</sup>;‘92号’检测出72种挥发性成分,香气成分总含量为84.51 μg·kg<sup>-1</sup>。

表1还显示,邻苯二甲酸二乙酯、1,2-双(γ-三甲硅丙氧基)乙烷、1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、2-甲基丁基乙酸酯、异戊醇、2-甲基丙醇、2-甲基-2-丁烯醛、3-甲基戊烷-3-丙基碳酸酯、乙酸丁酯、苯甲醛、异戊醛、异戊酸-2-苯基乙酯、异戊酸异戊酯、异戊酸-3-苯

基丙酯、异戊酸甲酯、异戊酸乙酯、异戊酸丙酯、异戊酸丁酯、1-(3,4-二甲基苯基)乙酮、己醛、己酸丁酯、甲氧基苯基肟、异戊酸戊酯、二甲基硅烷二醇在9个品系中都检测到,其中以酯类最多,醇类次之。

### 2.2 9个菠萝蜜品系果实香气成分比较分析

由图1可知,9个菠萝蜜品系中酯类物质含量均最高,并且所含物质中最多的几种物质也都是酯类,由此可推断出,酯类物质应该是决定菠萝蜜香气的主要物质。在9个品系中,‘305’‘湿苞’‘28号’‘45号’‘四季’5个品系的酯类物质都超过了40种。酯类物质最少的为‘红肉327’,只有30种,但是该品系的醇类物质、醛类物质、烃类物质和其他类物质在9个品系中最多。由以上可知,异戊酸异戊酯、辛酸异戊酯、异戊酸丙酯、异戊酸戊酯、异戊酸丁酯、异戊酸甲酯、乙酸丁酯、异戊酸异丁酯、苯丙醛、异戊醇、异戊酸乙酯、乙酸异戊酯等物质在9个品系中含量较高,因此这12种物质是构成菠萝蜜的香气的主要成分,其中辛酸异戊酯是‘92号’品系特有的香气成分。

### 2.3 9个品系菠萝蜜香气成分的聚类分析

菠萝蜜果实香气成分丰富,数量较多,不同品系间香气成分数量和种类差异较大,具有丰富多样性。用SPSS 22.0软件对9个品系菠萝蜜果实的香气成分进行聚类分析,聚类方法为组间联接,度量标准为平方欧氏距离,进行个案系统聚类分析。由图2可知,当距离为9时,‘海大2号’‘20号’‘四季’‘28号’‘45号’和‘红肉327’6个品系聚为一类,与另外3个品系差异较大;当类间距离为11时,可分为2类,‘92号’单独为一类,其他8个品系聚为一类,且‘92号’与其他8个品系的距离最远,距离为25。

‘海大2号’‘20号’‘四季’‘28号’‘45号’‘红肉327’‘305’和‘湿苞’这8个品系的香气以异戊酸异戊酯、异戊酸戊酯、异戊酸丁酯、异戊酸乙酯、异戊酸丙酯、戊酸庚酯含量较高,且都不含辛酸异戊酯。‘92’号香气含量较高的是异戊酸丁酯和辛酸异戊酯,辛酸异戊酯为‘92’特有的香气成分,与其他8个品系不同。

### 2.4 9个品系菠萝蜜香气成分的主成分分析

对9个品系的130种香气成分进行主成分分析,通过主成分特征值及贡献率表(表2)可知,第1、第2、第3、第4、第5及第6主成分的方差累计贡献率超过85%,基本可以解释原有变量的绝大部分信息。

表 1 菠萝蜜香气成分  
Table 1 Aroma components of jackfruit

香气成分 Aromatic components	海大 2 号 Haida 2		湿苞 Soft type	28 号 No. 28	45 号 No. 45	20 号 No. 20	红肉 327 Red flesh 327	四季 Siji	92 号 No. 92	
	305	305								
酯类 Esters	种类 Categories	34	52	45	43	48	33	30	41	39
	含量 Content	52.878	57.738	54.936	57.109	54.265	46.169	33.201	53.106	69.596
(E)-丁-2-烯-1-基-2-甲基丁酸酯 (E)-But-2-en-1-yl 2-methylbutanoate		-	-	-	-	-	-	-	0.591	-
2-己烯酸乙基酯 2-Hexenoic acid, ethyl ester		-	0.523	-	0.018	-	-	-	-	-
2-甲基丁酸异戊酯 Isopentyl 2-methylbutanoate		0.046	0.262	0.163	-	0.204	-	-	0.083	0.222
2,4-己二烯酸乙酯 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester		-	0.320	0.197	-	-	-	-	-	-
2-丁基正戊酸酯 2-butyl-n-valerate		0.015	-	-	-	0.319	-	0.036	-	-
2-丁烯酸乙酯 2-Butenoic acid, ethyl ester		-	0.053	0.046	0.142	-	-	-	-	-
2-甲基-2-丁烯酸乙酯 2-Butenoic acid, 2-methyl-, ethyl ester		-	0.358	0.247	0.202	-	-	-	-	-
2-甲基-丙酸异戊酯 Propanoic acid, 2-methyl-, 3-methylbutyl ester		0.599	0.787	1.833	-	0.998	-	0.250	-	0.070
2-甲基丁酸丁酯 Butyl 2-methylbutanoate		-	0.067	0.020	-	0.119	0.030	-	-	0.434
2-甲基-丁酸乙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester		-	0.255	0.290	-	-	-	-	-	-
2-甲基丁酸酯 2-Methyl-butyl butyrate		0.209	0.288	0.117	-	0.450	0.371	-	0.106	0.985
2-羟基异戊酸乙酯 Butanoic acid, 2-hydroxy-3-methyl-, ethyl ester		0.016	0.028	0.022	0.018	-	0.030	-	0.013	0.029
2-乙氧基乙基异戊酸酯 2-Ethoxyethyl 3-methylbutanoate		-	-	-	0.155	-	-	-	-	-
3-苯基丙酸异戊酯 3-Phenylpropionic acid, 3-methylbutyl ester		-	0.034	-	-	0.307	-	-	0.036	-
3-甲基丁烯酸异戊酯 2-Butenoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester		-	0.025	0.022	-	0.032	-	-	-	-
3-甲基戊酸丁-2-烯基酯 Valeric acid, 3-methylbut-2-enyl ester		-	0.593	0.318	0.275	0.036	-	0.490	1.042	-
3-甲基戊烷-3-丙基碳酸酯 3-Methylpentan-3-yl propyl carbonate		0.061	0.127	0.060	0.097	0.147	0.114	0.068	0.067	0.073
3-羟基-3-甲基丁酸乙酯 Ethyl 3-hydroxy-3-methylbutanoate		0.027	0.499	0.414	0.095	-	-	0.047	-	-
4-氯丁酸乙酯 Butanoic acid, 4-chloro-, ethyl ester		-	-	0.226	-	-	-	-	-	-
苯丙酸-2-甲基丙酯 Benzenepropanoic acid, 2-methylpropyl ester		-	-	-	-	0.144	-	-	-	-
苯甲酸-2-甲基丙基酯 Benzoic acid, 2-methylpropyl ester		-	-	-	0.026	0.048	0.145	-	0.025	0.072
苯甲酸丁酯 Benzoic acid, butyl ester		0.062	0.038	-	0.113	0.223	0.721	-	0.189	0.138
苯甲酸乙酯 Benzoic acid, ethyl ester		-	0.169	-	0.282	-	-	-	-	-
苯甲酸异戊酯 1-Butanol, 3-methyl-, benzoate		0.192	0.113	-	0.319	0.605	1.493	0.027	0.388	0.229
苯乙酸丙酯 Phenylacetic acid propyl ester		-	-	0.037	0.099	0.087	-	-	0.048	0.074
苯乙酸丁酯 Benzeneacetic acid, butyl ester		0.032	-	-	0.056	0.034	0.022	-	-	0.173
苯乙酸乙酯 Benzeneacetic acid, ethyl ester		0.030	0.137	0.106	0.313	0.035	-	-	-	-
丙酸-2-甲基丁基酯 Propanoic acid, 2-methyl-, butyl ester		-	-	-	-	-	-	-	0.188	-
丙酸戊酯 Amylpropionate		0.011	-	0.017	0.026	-	-	-	-	0.083
丁酸丙酯 Butanoic acid, propyl ester		0.012	0.059	0.013	0.024	0.099	0.103	-	0.118	0.154
丁酸丁酯 Butanoic acid, butyl ester		0.126	-	-	0.163	-	-	0.117	-	-
丁酸乙酯 Butanoic acid, ethyl ester		0.045	0.545	0.346	0.208	0.132	-	0.027	0.036	0.103
丁酸异丁酯 Butanoic acid, 2-methylpropyl ester		0.024	0.026	-	-	0.051	0.070	-	0.023	0.359

表1(续) Table 1 (continued)

香气成分	海大2号	305	湿苞	28号	45号	20号	红肉327	四季	92号
Aromatic components	Haida 2		Soft type	No. 28	No. 45	No. 20	Red flesh 327	Siji	No. 92
丁酸异戊酯 Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	0.499	0.159	0.072	0.499	0.293	0.667	-	-	0.895
环己基-N-丁酸酯 Cyclohexyl-n-butyrate	-	0.281	-	-	-	-	-	0.495	-
乙酸2-甲-1-丁酯 1-Butanol, 2-methyl-, acetate	0.013	0.040	0.163	0.173	0.183	0.089	0.231	0.061	0.532
己酸-2-甲基丙基酯 Hexanoic acid, 2-methylpropyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	0.147
己酸丁酯 Hexanoic acid, butyl ester	0.026	0.177	0.031	0.027	0.180	0.187	0.020	0.164	0.147
己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	-	0.105	0.075	-	-	-	-	-	-
己酸异戊酯 Iso amyl hexanoate	0.037	0.110	0.062	0.024	0.119	0.099	-	0.041	0.063
邻苯二甲酸二乙酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester	0.122	0.113	0.056	0.064	0.052	0.057	0.059	0.037	0.047
磷酸三丁基酯 Phosphoric acid, tributyl ester	0.109	0.160	-	0.089	0.164	-	-	-	0.147
山梨酸乙酯 Ethyl sorbate	-	-	-	0.270	-	-	-	-	-
顺-3-己烯基异戊酸酯 Cis-3-hexenyl valerate	-	-	-	-	-	-	0.625	0.455	-
惕各酸丁酯 Isobutyl tiglate	-	0.034	-	-	0.052	-	-	0.048	-
惕各酸异戊酯 Iso-amyl tiglate	-	0.116	0.026	-	0.124	-	-	-	0.081
异戊酸己酯 3-Methylbutyl hexanoate	0.024	0.116	0.045	-	0.124	0.104	0.022	-	0.154
辛酸异戊酯 Octanoic acid, 3-methylbutyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	13.571
乙酸-2-乙基己酯 Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	-	-	-	0.031	0.032	-	0.063	-	-
乙酸丙酯 Acetic acid, propyl ester	-	0.050	0.136	0.139	0.259	0.210	0.226	0.163	0.062
乙酸丁酯 Acetic acid, butyl ester	0.090	0.541	1.039	1.286	1.827	2.771	1.320	1.207	1.887
乙酸香茅酯 Citronellyl acetate	-	-	-	-	-	-	0.239	-	-
乙酸乙酯 Acetic acid, ethyl ester	-	0.082	0.224	0.313	0.068	-	0.101	0.038	-
乙酸异丁酯 Acetic acid, 2-methylpropyl ester	-	-	0.014	-	0.037	0.048	0.124	0.019	0.144
乙酸异戊酯 Isopentyl hexanoate	-	0.481	2.060	0.028	2.175	0.738	2.526	0.585	1.121
异丁酸丁酯 Butylisobutyrate	-	-	-	-	-	-	-	-	0.118
异戊酸-3-苯基丙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, 3-phenylpropyl ester	0.086	0.473	0.156	1.184	1.177	0.554	0.105	4.211	0.036
异戊酸-3-甲基-3-丁烯酯 Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methyl-3-butenyl ester	-	0.176	0.206	0.252	0.421	0.030	0.060	0.069	-
异戊酸苯甲酯 Butanoic acid, 3-methyl-, phenylmethyl ester	0.035	0.166	0.093	1.642	0.292	0.337	-	0.548	-
异戊酸丙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, propyl ester	1.484	1.033	3.740	4.709	2.464	3.096	2.028	0.497	5.058
异戊酸丁酯 Butanoic acid, 3-methyl-, butyl ester	11.773	11.530	4.711	12.200	18.06	11.300	8.447	14.101	24.099
异戊酸甲酯 Butanoic acid, 3-methyl-, methyl ester	0.101	1.155	1.362	2.541	1.065	0.006	1.239	0.028	0.645
异戊酸戊酯 Pentyl 3-methylbutanoate	12.986	0.320	7.500	7.647	0.266	10.75	0.018	8.615	9.449
异戊酸乙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	3.132	14.860	13.300	7.696	3.953	0.058	3.727	1.094	1.746
异戊酸异丁酯 Isobutyl isovalerate	2.224	2.237	1.480	2.282	3.672	1.726	-	1.817	-
异戊酸异戊酯 Butanoic acid, 3-methyl, 3-methylbutyl ester	16.195	17.530	13.720	10.620	11.150	9.527	10.402	15.042	5.279
正丁基-β-苯基丙酸酯 N-Butyl-beta-phenylpropionate	-	0.033	-	-	0.319	-	-	0.078	-
异戊酸-2-苯基乙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, 2-phenylethyl ester	2.435	0.242	0.171	0.762	1.586	0.648	0.287	0.393	0.970
异戊酸己酯 Hexyl isovalerate	-	0.112	-	-	0.081	0.068	0.270	0.347	-
酮类 Ketons									
种类 Categories	4	5	5	4	5	8	6	6	6
含量 Content	0.075	0.350	0.220	0.110	0.277	0.222	0.558	0.146	0.914
1-(3,4-二甲基苯基)乙酮 Ethanone, 1-(3,4-dimethylphenyl)-	0.026	0.022	0.025	0.026	0.071	0.016	0.022	0.025	0.026
2,5-二甲基-4-羟基-3-己酮 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3-hexanone	-	0.191	0.105	0.024	-	0.019	-	-	-

表 1(续) Table 1 (continued)

香气成分	海大 2 号	305	湿苞	28 号	45 号	20 号	红肉 327	四季	92 号	
Aromatic components	Haida 2		Soft type	No. 28	No. 45	No. 20	Red flesh 327	Siji	No. 92	
2-丁酮 2-Butanone	-	0.066	0.062	-	0.091	0.025	0.036	0.040	-	
2-庚酮 2-Heptanone	-	-	-	-	-	0.006	0.071	-	0.467	
2-壬酮 2-Nonanone	-	-	-	-	0.038	0.079	0.044	-	0.234	
2-戊酮 2-Pentanone	0.016	0.024	0.011	-	0.023	0.012	0.352	0.032	0.127	
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	0.015	-	-	0.022	-	0.031	0.033	0.017	0.034	
苯乙酮 Acetophenone	0.018	-	-	0.038	0.018	0.034	-	0.016	-	
异丁基正丁基-3,3-D2 酮 Isobutyl n-butyl-3,3-D2 ketone	-	0.047	0.017	-	0.036	-	-	0.016	0.026	
烃类 Hydrocarbons	种类 Categories	1	1	1	2	1	2	4	1	2
	含量 Content	0.111	0.091	0.060	0.757	0.046	0.271	5.98	0.105	0.205
1,1-二丙氧基丙烷 Propane, 1,1-dipropoxy-		-	-	-	-	-	0.216	-	-	-
1,2-双(γ-三甲基硅丙氧基)乙烷 1,2-Bis(γ-trimethylsilyloxy)ethane		0.111	0.091	0.060	0.038	0.046	0.055	0.044	0.105	0.050
1-氯-戊烷 Pentane, 1-chloro		-	-	-	-	-	5.427	-	-	-
2-乙基-5-甲基-1,3,2-氧硫杂硼烷 1,3,2-Oxathioborolane, 2-ethyl-5-methyl-		-	-	-	0.719	-	-	-	-	-
3-甲基-1-(甲硫基)丁烷 Butane, 3-methyl-1-(methylthio)-		-	-	-	-	-	0.113	-	-	0.155
5-甲基-1-庚烯 1-Heptene, 5-methyl-		-	-	-	-	-	0.396	-	-	-
酸类 Acids	种类 Categories	2	2	2	0	0	2	1	0	2
	含量 Content	0.751	0.451	0.240	0	0	0.405	0.183	0	1.153
3-(甲硫基)丁酸 3-(Methylthio)butanoic acid		-	-	-	-	-	0.183	-	-	-
3-羟基异戊酸 Butanoic acid, 3-hydroxy-3-methyl-		0.381	0.388	0.152	-	-	0.290	-	-	1.112
异戊酸 Butanoic acid, 3-methyl-		0.370	0.063	0.088	-	-	0.115	-	-	0.041
醛类 Aldehydes	种类 Categories	14	12	11	15	13	14	17	10	8
	含量 Content	2.339	3.149	1.987	3.758	2.255	3.246	3.520	6.217	2.638
5-十二烯-1-醛 5-Dodecen-1-al		0.018	0.045	-	0.181	0.126	-	0.018	0.072	-
(E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal		0.427	0.186	-	0.406	0.069	0.574	0.210	0.072	0.118
2,5-二羟基苯甲醛 2,5-Dihydroxybenzaldehyde		0.189	0.108	0.132	0.034	0.074	0.152	0.215	-	-
2-甲基-2-丁烯醛 2-Butenal, 2-methyl-		0.016	0.086	0.051	0.019	0.037	0.023	0.159	0.129	0.056
3,3-二甲基己醛 Hexanal, 3,3-dimethyl-		0.015	0.055	-	-	0.034	0.012	-	-	-
3-苯基-2-丙烯醛 2-Propenal, 3-phenyl-		-	0.256	0.173	0.521	-	0.301	-	-	-
β-环柠檬醛 β-Cyclocitral		-	-	-	-	-	0.506	-	-	-
苯丙醛 Benzenepropanal		0.111	1.660	1.075	1.136	0.949	0.038	0.477	5.002	-
苯甲醛 Benzaldehyde		0.168	0.258	0.138	0.506	0.194	0.689	0.071	0.271	0.054
苯乙醛 Benzeneacetaldehyde		0.133	-	-	-	-	0.025	-	-	-
丁醛 Butanal		0.249	0.072	-	-	0.108	0.295	0.229	0.032	0.922
庚醛 Heptanal		-	-	0.050	0.039	-	0.059	0.036	0.024	-
癸醛 Decanal		-	-	-	0.336	-	0.181	-	-	-
己醛 Hexanal		0.045	0.092	0.106	0.113	0.049	0.106	0.313	0.206	0.053
辛醛 Octanal		-	0.216	0.183	0.241	0.240	-	0.337	0.366	-
十二醛 Dodecanal		0.117	-	-	-	0.158	-	0.120	-	-
(E,E)-2,4-庚二烯醛 2,4-Heptadienal, (E,E)		0.015	0.020	0.021	0.052	-	0.058	0.026	-	0.028
异戊醛 Butanal, 3-methyl-		0.775	0.095	0.039	0.098	0.151	0.721	0.711	0.043	1.301
(Z)-2-癸烯醛 2-Decenal, (Z)		0.061	-	-	0.062	0.066	0.037	0.041	-	0.106
(Z)-2-庚烯醛 2-Heptenal, (Z)		-	-	0.019	0.014	-	-	0.026	-	-
醇类 Alcohols	种类 Categories	8	9	9	7	8	7	10	9	11
	含量 Content	5.191	4.085	3.374	2.497	2.341	3.280	11.361	4.748	8.263

表1(续) Table 1 (continued)

香气成分 Aromatic components	海大2号 Haida 2	305	湿苞 Soft type	28号 No. 28	45号 No. 45	20号 No. 20	红肉327 Red flesh 327	四季 Siji	92号 No. 92
(R)-2-戊醇 (R)-2-Pentanol	-	-	-	-	-	-	0.244	-	0.148
(Z)-1-[2-甲基-3-(甲硫基)-2-丙烯基]环戊醇 (Z)-Cyclopentanol, 1-[2-methyl-3-(methylthio)-2-propenyl]-	-	-	-	-	-	-	-	0.116	-
1-丁醇 1-Butanol	0.275	0.250	0.094	0.127	0.094	0.175	0.892	0.588	0.426
2-甲基-1-丁醇 1-Butanol, 2-methyl-	0.839	0.520	0.334	0.113	0.171	0.447	1.623	0.398	2.597
2-甲基-2,4-戊二醇 2,4-Pentanediol, 2-methyl-	0.197	0.209	0.104	0.238	-	0.207	0.134	-	0.686
2-甲基-3-壬醇 3-Nonanol, 2-methyl-	-	0.102	0.018	-	0.028	-	-	0.028	-
2-甲基丙醇 1-Propanol, 2-methyl-	0.072	0.039	0.026	0.022	0.025	0.068	0.100	0.064	0.403
2-乙基-1-己硫醇 1-Hexanethiol, 2-ethyl-	0.027	-	-	-	-	-	0.153	0.056	-
2,3-二甲基-3-丁烯-2-醇 3-Buten-2-ol, 2,3-dimethyl-	-	0.322	0.346	-	0.267	-	-	-	-
3-甲基-4-丁烯-1-醇 4-Penten-1-ol, 3-methyl-	-	0.099	0.085	-	-	-	-	0.113	-
3-甲基四氢己-1-醇 3-Methylthio-hexan-1-ol	-	-	-	-	-	-	1.552	-	-
7-十三醇 7-Tridecanol	-	-	-	-	-	-	-	-	0.164
苯乙醇 Benzeneethanol	0.142	-	-	-	-	-	0.024	-	0.094
硅烷二醇 Silanediol, dimethyl-	1.298	0.935	0.994	0.999	1.055	1.521	1.827	1.701	1.430
异戊醇 1-Butanol, 3-methyl-	2.341	1.609	1.373	0.998	0.701	0.862	4.812	1.684	2.157
2-庚醇 2-Heptanol	-	-	-	-	-	-	-	-	0.158
其他 Others	种类 Categories 4	3	3	3	4	4	5	3	4
	含量 Content 1.635	1.486	1.362	1.518	1.489	1.475	2.462	1.839	1.745
甲氧基苯基肟 Oxime-, methoxy-phenyl-	1.437	1.402	1.285	1.352	1.288	1.217	1.862	1.682	1.390
顺式-细辛脑 Cis-asarone	0.028	0.040	0.038	-	-	0.029	0.023	-	-
惕各正丁基 N-Butyl tiglate	-	-	-	-	-	-	-	-	0.201
香茅 Citronella	-	-	-	-	-	-	0.372	-	-
1-(二甲氧基甲基)-4-(1-甲氧基-1-甲基乙基)苯 Benzene, 1-(dimethoxymethyl)-4-(1-methoxy-1-methylethyl)	0.126	-	-	0.142	0.121	0.179	0.159	-	0.115
1,2,3-三甲氧基-5-(2-丙烯基)苯 Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl)-	-	-	-	0.024	0.031	-	-	0.110	-
2-氨基-4-硝基苯酚 2-Amino-4-nitrophenol	0.044	0.044	0.039	-	0.049	0.050	0.046	0.047	0.039

注:“-”表示未检测出。

Note:“-” not detected.

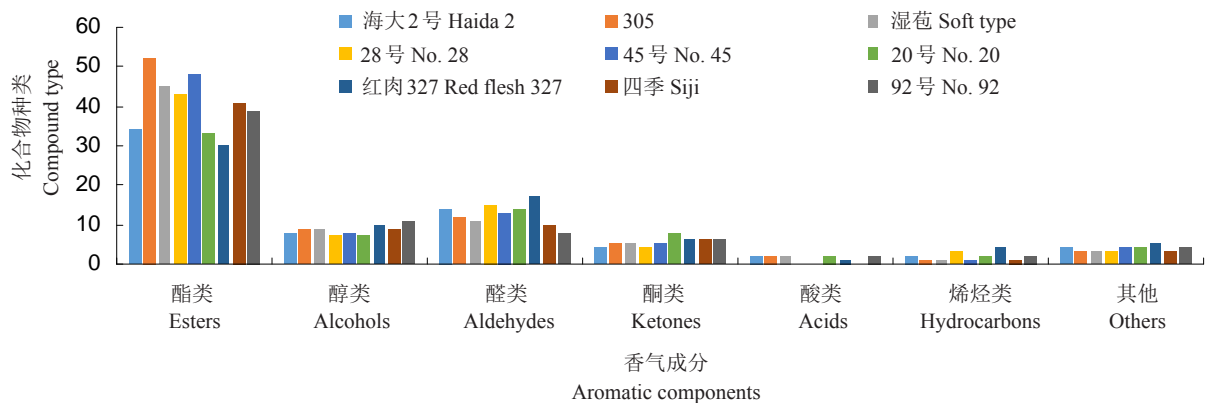


图1 9个品系菠萝蜜香气成分比较

Fig. 1 Comparison of aroma components in 9 varieties of jackfruit



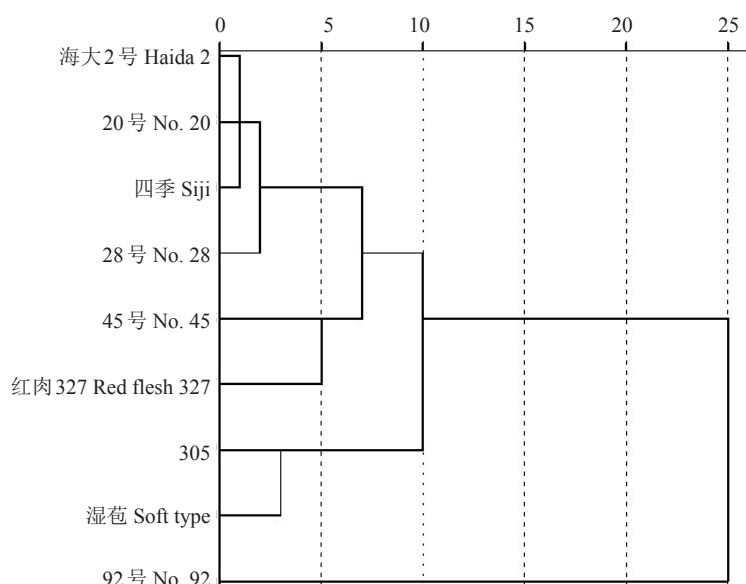


图2 9个品系菠萝蜜香气成分的聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of the 9 varieties of jackfruit based on aroma components

表2 主成分的特征值及贡献率  
Table 2 Eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Percent of variable/%	累计贡献率 Cumulative percent of variable/%
1	32.012	24.437	24.437
2	24.722	18.872	43.309
3	19.658	15.006	58.315
4	14.994	11.446	69.760
5	12.875	9.828	79.588
6	12.069	9.213	88.801
7	9.216	7.035	95.836
8	5.454	4.164	100.000

因此选取前6个主成分的数据作为数据分析的有效成分。

第1主成分的贡献率为24.437%，主要反映了丁醛、2-壬酮、2-甲基丙醇、异戊醛、2-庚酮、丁酸异丁酯、2-庚醇、7-十三醇、丁酸异丁酯、异丁酸丁酯、己酸-2-甲基丙基酯、惕各正丁基、辛酸异戊酯、苯乙酸丁酯、2-甲基-1-丁醇、3-甲基-1-(甲硫基)丁烷、2-甲基-2,4-戊二醇、乙酸异丁酯、(Z)-2-癸烯醛、2-甲基丁酸丁酯、丙酸戊酯、2-甲基丁酸酯、3-羟基异戊酸、丁酸异戊酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮等成分的信息。

第2主成分贡献率为18.872%，主要反映了己酸异戊酯、磷酸三丁基酯、2-甲基丁酸异戊酯、惕各酸异戊酯、戊酸己酯、2-羟基-3-甲基-丁酸乙酯、异丁基-N-丁基-3,3-D2酮、2-甲基丁酸酯、3-甲基戊烷-3-

丙基碳酸酯、丁酸异戊酯、2-乙基-1-己硫醇、异戊酸异丁酯等成分的信息。

第3主成分贡献率为15.006%，主要反映了2-甲基丁酸异戊酯、异丁基-N-丁基-3,3-D2酮、2-氨基-4-硝基苯酚、惕各酸异戊酯、2-丁酮、2-甲基-3-壬醇、3-丁烯-2-醇、3-甲基丁烯酸异戊酯、己酸己酯、2-甲基-2-丁烯醛等成分的信息。

第4主成分贡献率为11.446%，主要反映了3-羟基-3-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、顺式-细辛脑、2-甲基-2-丁烯酸乙酯、2-甲基-丁酸乙酯、己酸乙酯、2,5-二甲基-4-羟基-3-己酮、邻苯二甲酸二乙酯、2,4-己二烯酸乙酯、丁酸乙酯等成分的信息。

第5主成分贡献率为9.828%，主要反映了异戊酸-3-甲基-3-丁烯酯、异戊酸甲酯、2-丁基正戊酸酯、乙酸异戊酯、1-(3,4-二甲基苯基)乙酮、苯丙酸2-甲基丙酯、3-苯基丙酸异戊酯、十二醛、乙酸丙酯等成分的信息。

第6主成分贡献率为9.213%，主要反映了3-甲基戊酸丁-2-烯基酯、苯丙醛、苯乙酸丙酯、辛醛、异戊酸-3-苯基丙酯、1,2,3-三甲氧基-5-(2-丙烯基)-苯、异戊酸苯甲酯等成分的信息。

根据各主成分的贡献率可以得到主成分综合评价指数， $F = F_1 \times 0.244 + F_2 \times 0.189 + F_3 \times 0.150 + F_4 \times 0.114 + F_5 \times 0.098 + F_6 \times 0.092$ 。9个品系的6个主成分得分见表3，综合排名第一为‘92号’，‘四季’排名最

表3 菠萝蜜品系主成分得分表  
Table 3 Jackfruit stock master split table

品系 Variety	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F	排名 Ranking
海大2号 Haida 2	2.811	-3.146	-8.445	8.041	-12.148	-20.017	-3.291	6
305	-35.278	20.490	23.269	14.070	-2.732	2.314	0.304	3
湿苞 Soft type	-26.223	7.185	8.960	14.920	1.638	1.042	-1.739	4
28号 No. 28	-10.630	10.719	-41.482	6.246	9.023	14.381	-3.871	7
45号 No. 45	-8.521	18.448	9.617	-25.590	20.959	-8.480	1.207	2
20号 No. 20	11.563	5.290	-17.960	-8.880	-10.813	-12.225	-2.070	5
红肉327 Red flesh 327	9.306	-56.758	5.296	7.597	13.601	-1.740	-5.624	8
四季 Siji	-17.490	-19.839	7.232	-21.401	-18.570	15.637	-9.753	9
92号 No. 92	74.463	17.611	13.512	4.997	-0.959	9.088	24.836	1

注:F1~F6为6个主成分;F为各个品系综合得分。

Note: F1-F6 are 6 main components; F is the comprehensive score of each category.

后,9个菠萝蜜品系的主成分综合得分从高到低依次为‘92号’>‘45号’>‘305’>‘湿苞’>‘20号’>‘海大2号’>‘28号’>‘红肉327’>‘四季’。

### 2.5 菠萝蜜果实特征香气成分

香气值(OAV)是指香气成分浓度与该香气成分阈值的比值,香气值为1,表示这种成分直接对果实的香气起作用,若小于1则说明嗅觉器官对这种成分的香气无感觉,香气值越大对水果香气的贡献度也越大<sup>[13]</sup>。由表4可知,各品系的特征香气成分和香气值存在一定的差异。‘海大2号’的特征香气成

分为异戊醛、异戊酸乙酯、异戊醇、异戊酸、苯乙醇;‘305’的特征香气成分为2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、异戊醇、异戊酸;‘湿苞’品系的特征香气成分为2-甲基丁酸乙酯、乙酸异戊酯、异戊酸乙酯、异戊醇、异戊酸;‘28号’的特征香气成分为异戊酸乙酯和异戊醇;‘45号’的特征香气成分为乙酸异戊酯、异戊酸乙酯、异戊醇;‘20号’的特征香气成分为异戊醛、异戊醇、异戊酸;‘红肉327’的特征香气成分为异戊醛、乙酸异戊酯、异戊酸乙酯、异戊醇、苯乙醇;‘四季’的特征香气成分为异戊醇;‘92号’的特征香气成分为

表4 菠萝蜜果实特征香气成分 OAV 分析  
Table 4 OAV analysis of characteristic aroma components in jackfruit fruit

香气成分 Aromatic components	香气阈值	香气值 Aroma value								
	Aroma threshold/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	海大2号 Haida 2	305	湿苞 Soft type	28号 No. 28	45号 No. 45	20号 No. 20	红肉327 Red flesh 327	四季 Siji	92号 No. 92
2-甲基丁酸乙酯 Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	0.100 0	-	2.55	2.90	-	-	-	-	-	-
异戊醛 Butanal, 3-methyl-	0.200 0	3.88	0.48	0.20	0.49	0.76	3.61	3.56	0.22	6.51
乙酸异戊酯 Isopentyl hexanoate	2.000 0	-	0.24	1.03	0.01	1.09	0.37	1.26	0.29	0.56
异戊酸乙酯 Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	3.000 0	1.04	4.95	4.43	2.57	1.32	0.02	1.24	0.36	0.58
(Z)-2-癸烯醛 2-Decenal, (Z)	0.070 0	0.87	-	-	0.89	0.94	0.53	0.59	-	1.51
异戊醇 1-Butanol, 3-methyl-	0.000 3	7 803.33	5 363.33	4 576.66	3 326.66	2 336.60	2 873.30	16 040.0	5 613.00	7 190.00
异戊酸 Butanoic acid, 3-methyl-	0.000 3	1 233.33	210.00	293.33	-	-	383.33	-	-	136.60
苯乙醇 Benzeneethanol	0.010 0	14.20	-	-	-	-	-	2.40	-	9.40

注:化合物阈值为文献参考值<sup>[14-17]</sup>。

Note: The compound threshold is a reference value<sup>[14-17]</sup>.

异戊醛、(Z)-2-癸烯醛、异戊醇、苯乙醇、异戊酸。

## 3 讨论

果实的特征香气成分一般是由一种或几种具有较高香气值(相对含量/香气阈值)的关键挥发性化

合物组成,能反映成熟果实的特殊香味,对果实的风味、品质起主要作用。不同种类的果实,其挥发性物质的组成不同,特征香气成分差异很大。在350多种苹果香气成分中,酪酸乙酯、乙酸丁酯和乙酸异戊酯是其特征香气成分。香蕉中含有230多种香气成

分,其中丁子香酚、丁子香酚甲醚、榄香素和黄樟素为其特征香气成分<sup>[18]</sup>。己醛、乙酸己酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯和丁酸乙酯是秋子梨的特征香气成分<sup>[19]</sup>。在本研究中,在9个品系中共检测到3种酯、2种醛、2种醇、1种酸特征香气成分。特征香气成分中,异戊醇是9个品种都有的特征香气成分,而(Z)-2-癸烯醛是‘92号’特有的特征香气成分。异戊酸丁酯、辛酸异戊酯、异戊酸戊酯、异戊酸异戊酯、异戊酸丙酯、2-甲基-1-丁醇、乙酸丁酯、二甲基硅烷二醇、甲氧基苯基肟、异戊酸异丁酯、苯丙醛等成分含量较高,但是这些物质的香气阈值无法获取,无法判断其是否为菠萝蜜的特征香气成分,还有待进一步分析。

初众等<sup>[20]</sup>在菠萝蜜不同部位鉴定出菠萝蜜香气物质主要以酯类为主。9个品系菠萝蜜共检测出挥发性物质130种,其中酯类物质71种,占总成分的54.61%。与前人研究结果相同,酯类构成了菠萝蜜风味的骨架。纳智<sup>[10]</sup>研究发现菠萝蜜中的2-甲基丁酸乙酯、乙酸乙酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯、异戊酸丙酯、丁酸乙酯体现了不同的香气特征。笔者发现酯类化合物的类型非常丰富,但只有几种物质对香气贡献较大,主要为异戊酸异戊酯具有苹果香气<sup>[21]</sup>,异戊酸丙酯是甜果香,具有苹果香味<sup>[10]</sup>,异戊酸戊酯有苹果香味,乙酸丁酯有愉快果香气味<sup>[20]</sup>,异戊酸异丁酯有苹果、草莓香味,异戊酸乙酯具有浓烈的水果和酒香味<sup>[22]</sup>,乙酸异戊酯具有协调的香蕉和梨香味<sup>[23]</sup>,辛酸异戊酯具有油香、水果香、酒香和脂腊香,稀释后呈白兰地酒香<sup>[24]</sup>。因此酯类物质构成了菠萝蜜独特浓烈的香味,这与前人研究结果一致。菠萝蜜中的苯丙醛具有强烈的香脂香气和风信子花香<sup>[25]</sup>,异戊醇具有苦杏仁味,异戊醛具有苹果香,1-氯戊烷具有香味,苯乙醇具有花果香<sup>[26]</sup>。这些成分的香味为菠萝蜜提供了特殊香味。

从香气物质含量方面对菠萝蜜的品系进行分类的报道较少,笔者通过对9个品系菠萝蜜香气物质比较发现,在‘92号’品系中,辛酸异戊酯是其特有的成分,使其与其他品系相区别,在聚类分析中与其他8个品系距离最远。因此可以预测出‘海大2号’‘20号’‘四季’‘28号’‘45号’‘红肉327’‘305’和‘湿苞’这8个品系的亲缘关系较近,与‘92号’的亲缘关系较远。在‘红肉327’品系中检测到的酯类物质最少,只占了总香气成分的57.97%,但该品系的其他类物质相对其他8个品系最多,其醛类物质的

种类是9个品系中最多的,有17种,醇类物质种类也是较多的,烃类物质种类在9个品系中也最多。‘红肉327’的香气成分组成与其他8个品系也有不同,其含量较多的1-氯戊烷(9.48%)是该品系特有的成分,1-氯戊烷具有香味,为‘红肉327’品系提供了特殊的香气成分。

## 4 结 论

9个菠萝蜜品系的香气成分差异较大,但是9个品系的重要香气成分都是以酯类物质为主,酯类占总量的一半以上,因此酯类物质构成了菠萝蜜的风味骨架。通过聚类分析,‘92号’品系与其他8个品系的香气成分差异较大,其他8个品系聚为一类。经过OAV值法分析,品系不同,其特征香气也不同,异戊醇是9个品系都含有的特征香气物质。

## 参考文献 References:

- [1] 毛琪,叶春海,李映志,丰锋. 菠萝蜜研究进展[J]. 中国农学通报,2007,23(3):439-443.  
MAO Qi, YE Chunhai, LI Yingzhi, FENG Feng. Research progress of pineapple means [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(3): 439-443.
- [2] ADELA K. Flavor quality of fruits and vegetables[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2008, 88(11): 1863-1868.
- [3] 刘鑫泉. 菠萝蜜果实香味物质形成相关酶活性及基因表达分析[D]. 湛江:广东海洋大学,2016.  
LIU Xinquan. Study on activity and gene expression of fragrance substance in pineapple fruits [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2016.
- [4] SWORDS G, BOBBIO P A, HUNTER G L K. Volatile constituents of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) [J]. Journal of Food Science, 2010, 43(2): 639-640.
- [5] RASMUSSEN P. Identification of volatile components of jackfruit by gas chromatography/mass spectrometry with two different columns[J]. Analytical Chemistry, 1983, 55(8): 1331-1335.
- [6] WONG K C, LIM C L, WONG L L. Volatile flavour constituents of chempedak (*Artocarpus polyphema* Pers.) fruit and jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) from malaysia[J]. Flavour & Fragrance Journal, 1992, 7(6): 307-311.
- [7] MAIA J G S, ANDRADE E H A, ZOGHBI M D G B. Aroma volatiles from two fruit varieties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) [J]. Food Chemistry, 2004, 85(2): 195-197.
- [8] ONG B T, NAZIMAH S A H, OSMAN A, QUEK S Y, VOON Y Y, HASHIM D M, CHEW P M, KONG Y W. Chemical and flavour changes in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivar J3 during ripening[J]. Postharvest Biology & Technology, 2006, 40(3): 279-286.
- [9] 郭飞燕,纪明慧,舒火明,陈静,陈益南. 海南菠萝蜜挥发油的

- 提取及成分鉴定[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 168-170.
- GUO Feiyan, JI Minghui, SHU Huoming, CHEN Jing, CHEN Yinan. Extraction and composition identification of volatile oil from pineapple in hainan [J]. Food Science, 2010, 31(2): 168-170.
- [10] 纳智. 菠萝蜜中香气成分分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(6): 538-540.
- NA Zhi. Analysis of aroma components in jackfruit [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(6): 538-540.
- [11] 李洪波, 刘胜辉, 李映志, 毛琪, 叶春海. 顶空固相微萃取和气相色谱-质谱法测定菠萝蜜果肉中的香气成分[J]. 热带作物学报, 2013, 34(4): 755-763.
- LI Hongbo, LIU Shenghui, LI Yingzhi, MAO Qi, YE Chunhai. Determination of aroma components in pineapple flesh by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(4): 755-763.
- [12] 贺书珍, 张彦军, 徐飞, 朱科学, 谭乐和, 吴刚, 付莉莉. 菠萝蜜果实成熟过程中香气成分组成及变化规律研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(9): 1614-1619.
- HE Shuzhen, ZHANG Yanjun, XU Fei, ZHU Kexue, TAN Lehe, WU Gang, FU Lili. Study on composition and variation of aroma components in fruit ripening process of pineapple fruit [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(9): 1614-1619.
- [13] 魏长宾, 刘胜辉, 陆新华, 吴青松, 孙光明. 6个菠萝品种香气成分及特征香气分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(24): 111-117.
- WEI Changbin, LIU Shenghui, LU Xinhua, WU Qingsong, SUN Guangming. Analysis of aroma components and characteristic aroma of six pineapple cultivars[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(24): 111-117.
- [14] HAYATA Y, SAKAMOTO T, MANEERAT C, LI X, KOZUKA H, SAKAMOTO K. Evaluation of aroma compounds contributing to muskmelon flavor in porapak Q extracts by aroma extract dilution analysis[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(11): 3415-3418.
- [15] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. Flavour & Fragrance Journal, 2006, 21(2): 207-213.
- [16] 孙宝国. 食用调香术第二版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 4.
- SUN Baoguo. Edible flavoring second edition[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 4.
- [17] 丁吉星, 何玉云, 梁艳英, 崔长伟, 王华, 李华. 新型嘉宝果起泡酒香气成分及特征香气分析[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 145-150.
- DING Jixing, HE Yuyun, LIANG Yanying, CUI Changwei, WANG Hua, LI Hua. Analysis of aroma components and characteristic aroma of new Jiabao fruit sparkling wine [J]. Food Science, 2014, 35(24): 145-150.
- [18] DRAWERT F, TRESSL R, HEIMANN W, EMBERGER R, SPECK M. Über die Biogenese von Aromastoffen bei Pflanzen und Früchten. XV. Enzymatisch-oxidative Bildung von C6-Aldehyden und Alkoholen und deren Vorstufen bei Äpfeln und Trauben[M]. Chemie Mikrobiologie Technologie Der Lebensmittel, 1973: 10-22.
- [19] 李国鹏. 中国梨果实挥发性物质鉴定及酯类物质生物合成相关基因表达的研究[D]. 浙江大学, 2012.
- LI Guopeng. Identification of volatile compounds in pear fruit and related genes related to ester biosynthesis in China [D]. Zhejiang University, 2012.
- [20] 初众, 徐飞, 张彦军, 贺书珍, 吴刚, 谭乐和. 基于顶空固相微萃取菠萝蜜风味物质的GC/MS分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(4): 1594-1599.
- CHU Zhong, XU Fei, ZHANG Yanjun, HE Shuzhen, WU Gang, TAN Lehe. Preliminary analysis of GC/MS based on headspace solid phase microextraction of jackfruit flavor [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(4): 1594-1599.
- [21] 宋乐莲. 不同酸性催化剂的制备及其在异戊酸异戊酯合成中的应用[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2015.
- SONG Lelian. Preparation of different acidic catalysts and its application in isoamyl isovalerate synthesis [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2015.
- [22] 刘胜辉, 孙伟生, 陆新华, 吴青松, 魏长宾, 孙光明. 6个菠萝品种成熟果实香气成分分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(6): 1179-1185.
- LIU Shenghui, SUN Weisheng, LU Xinhua, WU Qingsong, WEI Changbin, SUN Guangming. Study on aroma components of six pineapple cultivars in mature fruit [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(6): 1179-1185.
- [23] 韦藤幼, 陀雄信, 童张法. 共沸精馏分水酯化新装置合成乙酸异戊酯[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2003, 28(2): 91-94.
- WEI Tengyou, TUO Xiongxin, TONG Zhangfa. Synthesis of isoamyl acetate based on azeotropic distillation hydrolysis esterification [J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2003, 28(2): 91-94.
- [24] 徐杨斌, 苏勇, 者为, 朱瑞芝, 冒德寿, 王凯. 康酿克油中挥发性成分的气相色谱/飞行时间质谱法分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(9): 1701-1706.
- XU Yangbin, SU Yong, ZHE Wei, ZHU Ruizhi, MAO Deshou, WANG Kai. Analysis of volatile constituents in volatile oil by gas chromatography/time of flight mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(9): 1701-1706.
- [25] 王广宏. 肉桂醛选择性氢化合成苯丙醛工业技术研究[J]. 林产化工通讯, 2005, 39(4): 20-23.
- WANG Guanghong. Study on the technology of selective hydrogenation of cinnamaldehyde to benzophenylaldehyde [J]. Journal of Chemical Industry of Forest Products, 2005, 39(4): 20-23.
- [26] 刘平, 翟刚, 陈功, 黄湛, 李峰, 谢彪. 郫县豆瓣特征香气物质的研究鉴定[J]. 中国酿造, 2015, 34(1): 27-32.
- LIU Ping, ZHAI Gang, CHEN Gong, HUANG Zhan, LI Feng, XIE Biao. Pixian Douban characteristics of aroma material identification [J]. China Brewing, 2015, 34(1): 27-32.