

4 种主要柑橘类香气成分比较

张 涵, 鲁周民*, 王锦涛, 郭 旭
(西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为探明不同柑橘品种果实的香气成分, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用法分别对芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑4个具有典型气味的柑橘品种果皮中的香气成分进行分析, 分别从这4个品种果皮样品中检测出挥发性成分39、37、43种和41种, 在芦柑和砂糖橘香气中缺少酯类物质, 在脐橙香气中缺少酮类物质, 狮头柑香气中包括了烃类、醛类、酮类、醇类、酯类、芳香族化合物和一些其他成分, 初步从香气成分种类差异、共有香气成分相对含量差异以及各自特有成分上解释了4种果品的香气区别, 从化学角度说明了4个柑橘品种果实香气类型的差异。

关键词: 气相色谱-质谱法; 固相微萃取; 柑橘; 香气成分

Comparative Aroma Components of Fruits of Four Main Citrus Varieties

ZHANG Han, LU Zhoumin*, WANG Jintao, GUO Xu
(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: This study aimed to determine the volatile aroma components of fruit peels of four varieties of citrus with different aroma characteristics by solid-phase microextraction (SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrophotometry (GC-MS). Results showed that a total of 39, 37, 43 and 41 volatile components were identified in the peels of ponkan, naval orange, Shatang mandarine and *Citrus reticulata* Blanco cv. Manau Gan. Esters were not detected in ponkan or Shatang mandarine and ketones were not detected in naval orange. The aroma component identified in *Citrus reticulata* Blanco cv. Manau Gan included alkanes, aldehydes, ketones, alcohols, esters, aromatic compounds and other miscellaneous compounds. The differences in the aroma profiles of these citrus varieties were explained in terms of aroma composition, the relative contents of common aroma components and unique aroma compounds, and the differences in the aroma types of citrus were chemically demonstrated.

Key words: gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); solid-phase microextraction (SPME); citrus; aroma compounds

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201704031

中图分类号: S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)04-0192-05

引文格式:

张涵, 鲁周民, 王锦涛, 等. 4种主要柑橘类香气成分比较[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 192-196. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201704031. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Han, LU Zhoumin, WANG Jintao, et al. Comparative aroma components of fruits of four main citrus varieties[J]. Food Science, 2017, 38(4): 192-196. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201704031. <http://www.spkx.net.cn>

柑橘分布广、产量高, 果实酸甜可口、营养丰富, 是我国主要的消费水果之一。果皮具有独特的香味, 不仅作为香料可在烹饪、糕点中广泛使用, 也是传统的中药。不同品种的柑橘果实香味差异较大, 研究表明, 果实的香味可以客观反映其成熟程度和风味特点^[1], 是评价果实风味品质的重要指标^[2]。果实散发出的香味是由其中含有的各种具有芳香气味的化学物质共同作用的结果,

它们对果实香味的贡献与其香气值(浓度/香气阈值)成正比^[3]。

目前对柑橘果汁^[4-5]、果酒^[6]、果皮精油^[7-8]的香气成分的研究报道较多, 而对鲜果皮香气成分的研究鲜见报道。Miyazawa等^[9]对2种蜜橘橘干皮精油和果汁提取物的香气成分进行了分析, 认为顺-3-己烯醛、癸醛、芳樟醇、(6Z,8E)-十一碳-6,8,10-三烯-4-醇和(2E)-反-4,5-

收稿日期: 2016-08-05

基金项目: 财政部“以大学为依托的农业科技推广模式建设”项目(XTG2015-14)

作者简介: 张涵(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物资源利用。E-mail: 1165837262@qq.com

*通信作者: 鲁周民(1966—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为经济林果品加工。E-mail: lzm@nwsuaf.edu.cn

环氧癸-2-烯醛这5种挥发性成分是蜜橘主要香气挥发性成分; Chung等^[10]对沙田柚果皮和果肉的香气成分进行测定,认为柠檬烯和月桂烯是沙田柚各个部位主要成分,对果肉和果皮的香气成分进行香气提取稀释分析,具有菠萝香味的香叶醛表现出最高的风味稀释因子,其次是具有青草香的香茅醛和具有松香的 α -蒎烯,沙田柚果实中主要香气活性成分为具有松香的 α -蒎烯和具有花香的月桂烯。狮头柑为芸香科柑橘属亚热带常绿果树^[11],是安康特有柑橘品种,其果肉晶莹剔透、汁多渣少、酸甜适度、后味微苦,具有降火明目、清热解毒、生津止咳等多重保健功效。砂糖橘、芦柑和脐橙是最常见的柑橘类果实。

固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)技术能快速对各种实验材料中挥发性成分进行高效提取且操作简单,易与其他分析仪器联用,是一种绿色、高效的样品前处理技术^[12],已经广泛应用于苹果^[13]、柠檬^[14]、脐橙^[15]、桃^[16]、兰花^[17]、茶叶^[18-19]等不同植物样品中香气成分的采集。柑橘类果实香气浓烈,不同果实品种香气类型差异较大。为了探索芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑等几种具有独特气味柑橘的香气成分,希望从化学角度解释其香气成分差异,本研究使用顶空固相微萃取(headspace SPME, HS-SPME)结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用法对芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑果皮的香气成分进行提取分析和鉴定,旨在通过比较分辨它们的主要香气活性物质,找出柑橘不同品种中特征香气成分,为其果实品质评价以及香料加工的应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂与amp;仪器

狮头柑于2015年12月16日采摘自陕西省安康市旬阳县吕河镇冬青树村,芦柑产自福建省永春县、脐橙产自重庆市奉节县、砂糖橘产自江西省南丰县,实验所用的芦柑、脐橙和砂糖橘样品均购买于市场。将样品运送至西北农林科技大学林学院实验室,洗净晾干后,将果皮和果肉分开,分别将每个品种的果皮切成约3 cm×0.2 cm的细条,充分混匀后取200 g用塑封袋分装标明品种、果实部位和日期,置于-26℃冰箱备用。

氯化钠(分析纯) 广东省化学试剂工程技术研究开发中心;超纯水器 成都越纯科技有限公司;1310 GC-MS联用仪(四极杆质量分析器,电子电离源和化学电离源) 美国赛默飞世尔科技有限公司;HS-SPME进样器、SAAB-57328U 50/30 μ m二甲基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/

polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取头 上海安谱科学仪器有限公司;R200D分析天平 德国Sartorius公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理及香气萃取

分别取芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑的果皮样品10 g置于研钵中加液氮磨碎后置于锡箔纸上静置2 h,分别称取不同品种果皮样品0.5 g于20 mL顶空进样瓶中,用移液枪移入5 mL超纯水,再加入0.1 g氯化钠^[14],加盖密封,摇匀后对其进行编号,将样品按顺序依次置于样品架上SPME操作。萃取头在250℃老化1 h后开始提取样品,提取时间为40 min,解吸时间为5 min。每个样品3次重复。

1.2.2 GC条件

色谱柱: TG-5MS石英毛细柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μ m);高纯氦气(99.999%)载气,载气(He)流量1 mL/min;炉内最低温度50℃,最高温度350℃;升温程序:初始温度35℃保持1 min,以3℃/min升至150℃,保持1 min;以4℃/min升至240℃,保持2 min;进样口温度250℃;分流比40:1。

1.2.3 MS条件

电子电离源;电子能量70 eV;传输线温度250℃;离子源温度280℃;激活电压1.5 V;质量扫描范围35~400 u。

1.3 数据处理

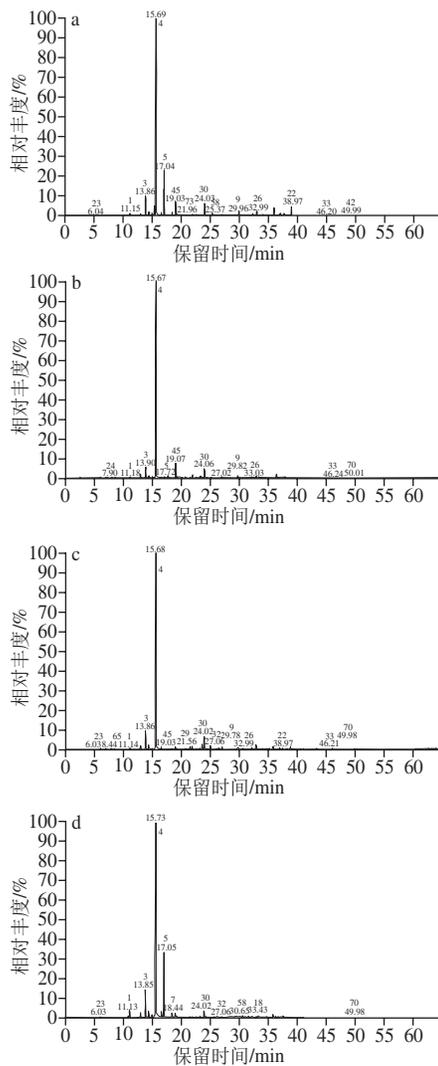
利用Xcalibur系统NIST 2014谱库(美国国家标准与技术研究院2014谱库)对质谱数据进行自动检索对照,根据各个物质的分子式、GAS号以及分子结构确定每个化学成分,利用面积归一化法计算各组相对含量。

用IBM SPSS Statistics 20对数据进行单因素方差分析和多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 4个品种的果皮挥发性香气成分分析

通过对芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑4个品种的果皮挥发性香气成分分析,其GC-MS总离子图谱见图1。从4个品种中各鉴定出香气成分39、37、43种和41种,分别占各自总峰面积的96.67%、95.23%、96.19%、98.93%,见表1。其中在狮头柑果皮的香气物质中,包含有烃类、醛类、酮类、醇类、酯类、芳香族化合物和一些其他种类的化学成分(其中包括杂环化合物和一些胺类),而在芦柑和砂糖橘果皮香气中未检测到酯类物质,在脐橙果皮香气中未检测到酮类物质。



a~d分别代表芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑果皮。

图1 4种柑橘果皮香气成分的GC-MS总离子图谱

Fig. 1 Total ion chromatogram of aroma components in peels of four citrus species analyzed by GC-MS

表1 4种不同柑橘果皮主要香气成分

Table 1 Main aroma components identified in peels of four citrus species

类别	序号	挥发成分	相对含量/%				显著性 (P值)
			芦柑	脐橙	砂糖橘	狮头柑	
烃类	1	α -蒎烯	—	—	0.29±0.085 ^c	0.960±0.198 ^d	0.048
	2	桉烯	0.245±0.064 ^a	0.765±0.007 ^b	0.765±0.191 ^b	0.165±0.007 ^a	0.007
	3	β -蒎烯	3.255±0.078 ^a	3.165±0.813 ^a	3.665±0.516 ^a	4.335±0.191 ^a	0.214
	4	D-柠檬烯	73.465±3.755 ^a	82.72±2.234 ^{bc}	83.695±1.011 ^c	76.50±1.796 ^b	0.034
	5	γ -蒎烯	6.295±0.969 ^b	0.175±0.106 ^a	—	8.87±0.707 ^c	0.002
	6	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯	0.125±0.035 ^a	—	—	0.21±0.042 ^a	0.161
	7	蒎品油烯	0.885±0.007 ^a	—	—	0.965±0.021 ^b	0.037
	8	α -罗勒烯	0.705±0.262 ^a	—	—	0.885±0.078 ^a	0.449
	9	δ -檀香烯	0.7±0.198 ^b	0.07±0.057 ^a	0.305±0.007 ^a	—	0.029
	10	α -可巴烯	0.11±0.042 ^a	0.045±0.049 ^a	0.05±0 ^a	0.105±0.007 ^a	0.225
	11	β -檀香烯	0.405±0.318 ^a	—	—	0.135±0.035 ^a	0.355
	12	γ -檀香烯	0.195±0.049 ^a	—	0.075±0.007 ^a	—	0.077
	13	律草烯	0.105±0.049 ^b	0.02±0 ^a	0.075±0.007 ^b	0.045±0.007 ^b	0.098
	14	金合欢烯	0.15±0.057 ^b	0.01±0.014 ^a	0.005±0.007 ^a	—	0.038

续表1

类别	序号	挥发成分	相对含量/%				显著性 (P值)	
			芦柑	脐橙	砂糖橘	狮头柑		
烃类	15	顺-衣兰油-4 (15), 5-二烯	0.04±0.014 ^b	—	0.005±0.007 ^a	0.01±0 ^a	0.057	
	16	三甲基十二碳-1,3,6,10-四烯	0.32±0.028 ^b	0.095±0.021 ^a	0.265±0.021 ^b	0.055±0.021 ^a	0.001	
	17	对薄荷三烯	0.01±0	—	—	—	—	
	18	异丁香烯	—	—	—	0.24±0.014	—	
	19	1,5-二甲基-8-异丙烯基-环癸-1,5-二烯	—	—	—	0.075±0.021	—	
	20	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯	—	—	0.04±0.014	—	—	
	21	3-萜烯	—	0.06±0.085	—	—	—	
	22	大根香叶烯B	1.405±0.29 ^b	—	0.455±0.021 ^a	—	0.044	
	23	正己醛	0.025±0.021 ^a	0.125±0.064 ^a	0.11±0.014 ^a	0.06±0.028 ^a	0.153	
	24	2-己烯醛	0.01±0 ^a	0.08±0.028 ^b	0.035±0.007 ^b	0.35±0.021 ^{ab}	0.072	
	25	正十一醛	0.125±0.007 ^b	0.05±0.028 ^b	0.045±0.007 ^a	0.025±0.007 ^a	0.011	
	26	月桂醛	0.765±0.134 ^c	0.54±0.028 ^b	0.945±0.064 ^c	0.12±0.028 ^b	0.002	
	27	正辛醛	0.58±0.255 ^a	0.935±0.315 ^a	0.83±0.085 ^a	1.385±0.559 ^a	0.332	
	28	正壬醛	0.285±0.021 ^b	0.17±0.099 ^{ab}	0.07±0.014 ^a	0.14±0.042 ^{ab}	0.072	
	29	香茅醛	0.065±0.007 ^a	—	0.38±0.141 ^a	—	0.088	
	30	癸醛	1.705±0.29 ^b	2.275±0.021 ^b	2.075±0.431 ^b	0.915±0.163 ^a	0.026	
	31	2-癸烯醛	0.06±0.014 ^a	—	0.175±0.021 ^b	—	0.024	
	醛类	32	紫苏醛	0.23±0.042 ^a	—	0.36±0.071 ^b	0.105±0.035 ^a	0.037
		33	三甲基十二碳-2,6,9,11-四烯醛	—	0.015±0.007 ^a	0.02±0 ^a	—	0.423
34		二甲基-6-辛烯醛	—	—	0.38±0.141	0.07±0.014	—	
35		二甲基-2,6-辛二烯醛	—	0.095±0.134 ^a	—	0.07±0.028 ^a	0.821	
36		2,4-癸二烯醛	—	0.01±0	0.04±0	—	—	
37		(4-甲基-3-环己烯基)丙醛	—	—	0.12±0.014	—	—	
38		顺十二碳-5-烯醛	—	—	0.01±0	—	—	
39		2,6-十二碳二烯醛	—	—	0.04±0	—	—	
40		4-癸烯醛	0.055±0.021	—	—	—	—	
41		2-十二烯醛	—	0.07±0.042 ^a	0.135±0.021 ^a	—	0.192	
醇类		42	5-甲基吗啉-3-氨基-2-吡啶基酮	0.04±0.014	—	—	—	—
	43	左旋香芹酮	—	—	—	0.025±0.020 ⁷	—	
	44	香芹酮	0.03±0.014 ^a	—	0.05±0.014 ^a	—	0.293	
	45	芳樟醇	1.48±0.82 ^a	2.075±2.256 ^a	0.295±0.092 ^a	0.775±0.332 ^a	0.542	
	46	4-萜烯醇	0.15±0.028 ^b	—	0.025±0.007 ^a	0.085±0.035 ^{ab}	0.041	
	47	α -萜品醇	—	—	—	0.14±0.057	—	
	48	萜品醇	0.18±0.028 ^a	0.165±0.163 ^a	0.025±0.007 ^a	—	0.336	
	49	β -香茅醇	0.16±0.085 ^a	—	0.535±0.064 ^b	—	0.038	
	50	3-己烯-1-醇	—	0.02±0	—	—	—	
	51	4-萜品醇	—	0.12±0.042	—	—	—	
	52	叶醇	—	—	0.01±0	—	—	
	53	正己醇	—	0.025±0.021	—	—	—	
	54	二甲基硅烷二醇	—	0.03±0.042 ^a	0.045±0.035 ^a	—	0.738	
	酯类	55	乙酸橙花酯	—	—	—	0.125±0.035	—
56		辛酸辛酯	—	—	—	0.075±0.021	—	
57		甲酸乙酯	—	—	—	0.03±0.042	—	
58		乙酸香茅酯	—	—	—	0.175±0.035	—	
59		辛酸甲酯	—	0.01±0.014	—	—	—	
60		丁酸己酯	—	0.125±0.177	—	—	—	
61		2-己烯丁酸酯	—	0.12±0.014	—	—	—	
62		3-(1-丙基丁基)胍基甲酸乙酯	—	—	—	0.035±0.007	—	
63		丁酸正辛酯	—	0.16±0.014	—	—	—	
64		异胆酸乙酯	—	0.02±0.014	—	—	—	
65		间二甲苯	—	0.01±0.014 ^a	0.01±0 ^a	—	—	
芳香族化合物		66	1-甲基-2-异丙基苯	1.74±0.17 ^b	—	—	0.245±0.106 ^a	0.009
		67	香芹酚	—	—	—	0.11±0.028	—
		68	1-异丙基-2-甲氧基-4-甲基苯	0.42±0	—	—	—	—

续表1

类别	序号	挥发成分	相对含量/%				显著性 (P值)
			芦柑	脐橙	砂糖橘	狮头柑	
	69	1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘	0.27±0.184 ^a	0.13±0.099 ^a	0.15±0 ^a	0.195±0.064 ^a	0.624
	70	4-十八烷基吗啉	—	—	0.02±0	0.02±0	
	71	反式柠檬烯环氧化物	0.01±0 ^a	0.06±0.057 ^a	0.06±0.028 ^a	0.01±0 ^a	0.31
其他	72	(2-吡啶基甲基)胺(2-(氮杂环丙烷-1-基)乙胺)	—	0.125±0.12 ^a	0.065±0.049 ^a	0.035±0.021 ^a	0.553
	73	十甲基环五硅氧烷	0.19±0.014 ^a	0.48±0.085 ^a	0.24±0.17 ^a	0.125±0.049 ^a	0.904

注：— 未检出，下表同；同行不同肩标小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；同行不同肩标大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

由表1可知，4个品种果皮样品中共检测出39、37、43种和41种挥发性成分。在芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑4种样品中相对含量较高的挥发性成分有D-柠檬烯、 β -蒎烯、癸醛、芳樟醇、 γ -萜品烯，除了在砂糖橘果皮样品中未检测到 γ -萜品烯外，其余4种物质为它们的共有成分，相对含量之和分别占到各自检测出香气成分的91.48%、94.18%、92.17%和92.33%。其中D-柠檬烯在脐橙和砂糖橘果皮样品中的相对含量高于在芦柑和狮头柑果皮中的相对含量；癸醛在狮头柑果皮中的相对含量显著低于在芦柑、脐橙和砂糖橘果皮中的相对含量； β -蒎烯和芳樟醇在4个品种中相对含量差异不显著；但 γ -萜品烯在芦柑、脐橙和狮头柑果皮中的相对含量差异极显著，在狮头柑果皮中相对含量最高，其次是芦柑果皮，在脐橙果皮中相对含量最小。

每个品种的果皮样品中都含有若干种特有成分，除了芦柑中1-异丙基-2-甲氧基-4-甲基苯和狮头柑中的异丁香烯外，其余特有成分相对含量均少于0.2%。芦柑果皮中有4种特有成分包括1种烯类、1种醛类、1种酮类和1种芳香族化合物，分别为对薄荷三烯、4-癸烯醛、5-甲基吗啉-3-氨基-2-唑烷基酮、1-异丙基-2-甲氧基-4-甲基苯；脐橙果皮中有9种特有成分，包括1种烯类、3种醇类、5种酯类，分别为3-萜烯、3-己烯-1-醇、4-萜品醇、正己醇、辛酸甲酯、丁酸己酯、2-己烯丁酸酯、丁酸正辛酯、异胆酸乙酯；砂糖橘果皮中有5种特有成分，包括1种烯类、3种醛类、1种醇类，分别为1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯、(4-甲基-3-环己烯基)丙醛、顺十二碳-5-烯醛、2,6-十二碳二烯醛、叶醇；狮头柑果皮中有12种特有成分，包括2种烯类、1种醛类、1种酮类、1种醇类、6种酯类，1种芳香族化合物，分别为异丁香烯、1,5-二甲基-8-异丙烯基-环癸-1,5-二烯、香茅醛、左旋香芹酮、 α -萜品醇、乙酸橙花酯、醋酸辛酯、甲酸乙酯、乙酸香茅酯、3-(1-丙基丁亚基)胍基甲酸乙酯、3-(1-丙基丁亚基)胍基甲酸乙酯、香芹酚。

通过比较分析可知：桉烯、D-柠檬烯、三甲基十二碳-1,3,6,10-四烯、正十一醛、月桂醛、癸醛在4个品种果皮中的相对含量差异显著； α -蒎烯、紫苏醛在砂糖橘和

狮头柑果皮中的相对含量差异显著； γ -萜品烯在芦柑、脐橙和狮头柑果皮中的相对含量差异显著；萜品油烯、1-甲基-2-异丙基苯在芦柑和狮头柑果皮中的相对含量差异显著； δ -榄香烯、金合欢烯在芦柑、脐橙和砂糖橘果皮中的相对含量差异显著；大根香叶烯B、2-癸烯醛、 β -香茅醇在芦柑和砂糖橘果皮中的相对含量差异显著；4-萜烯醇在芦柑和砂糖橘果皮之间相对含量差异显著。

其中，桉烯有胡椒香、木香、药草香、辛香香气^[20]，在脐橙和砂糖橘果皮中的相对含量极显著高于芦柑和狮头柑果皮；金合欢烯具有花香、木香和青草香^[20]，在芦柑果皮中的相对含量显著高于脐橙和砂糖橘果皮；正十一醛具有蜡香、柑橘香、花香^[21]，在芦柑果皮中的相对含量显著高于其他3个品种；月桂醛具有皂香、蜡香、醛香、柑橘香和紫罗兰花香^[21]，在芦柑和砂糖橘果皮的相对含量显著高于其他2个品种；癸醛具有甜香、柑橘香、蜡香、花香，在狮头柑的相对含量显著低于其他3个品种^[21]；2-癸烯醛具有脂肪、芫荽、蘑菇气味^[21]，在砂糖橘果皮中的相对含量显著高于芦柑果皮；紫苏醛具有甜的柑橘气味，并有木香、蜡香、辛香^[21]，在砂糖橘果皮中相对含量较高，在芦柑和狮头柑果皮中相对含量较低。

2.2 4种柑橘果皮香气物质归类

表2 4种不同柑橘果皮中香气成分种类组成

Table 2 Volatile aroma compositions of peels of four citrus species

香气成分种类	相对含量/%			
	芦柑	脐橙	砂糖橘	狮头柑
烃类	86.80	85.13	88.40	94.98
醛类	4.42	4.21	5.93	2.27
酮类	0.07	—	0.06	0.02
醇类	2.49	4.22	1.08	0.70
酯类	—	0.60	—	0.41
芳香族化合物	2.68	0.22	0.16	0.41
其他	0.21	0.85	0.56	0.14

如表2所示，在这4个柑橘品种的果皮中香气成分相对含量最高的是烃类，为85.13%~94.98%，在芦柑和砂糖橘果皮中都没有检测到酯类，脐橙果皮中没有检测到酮类，而狮头柑果皮中含有全部七类物质，这些在香气成分种类的差异上也一定程度上说明了在人们实际感官中芦柑和砂糖橘的香气有一定的相似性，而脐橙、特别是狮头柑的香气类型比较独特。

3 结论与讨论

芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑香味差异较大，这种差异与其果皮中挥发性成分有关，其香气类型差异主要体现在香气成分种类差异、品种特有香气成分及4个品种中香气成分相对含量差异中。通过分别对其果皮中香气

成分进行测定发现,这4种果实香气成分主要是烯类、醛类、酮类、酯类、芳香族化合物和一些其他物质,这些物质呈现出不同类型的嗅觉感官,果实呈现出的香味就是这些物质的香味共同作用的结果。在这4种果实果皮的香气成分中,相对含量最高的物质是D-柠檬烯,在对柑橘精油的相关研究报道中可知,D-柠檬烯对柑橘香精油香味的贡献很小,而醇类、醛类、酮类和酯类相对含量虽然很低,但它们却是果实香味的主要来源^[22-23]。

通过对其成分的比较可得:金合欢烯、正十一醛、紫苏醛、对薄荷三烯、4-癸烯醛、5-甲基吗啉-3-氨基-2-唑烷基酮、1-异丙基-2-甲氧基-4-甲基苯可能是造成芦柑特殊香味的物质;桉烯、月桂醛、3-萜烯、3-己烯-1-醇、4-萜品醇、正己醇、辛酸甲酯、丁酸己酯、2-己烯丁酸酯、丁酸正辛酯、异胆酸乙酯可能是造成脐橙特殊香味的物质;桉烯、2-癸烯醛、1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯、(4-甲基-3-环己烯基)丙醛、顺十二碳-5-烯醛、2,6-十二碳二烯醛、叶醇可能是造成砂糖橘特殊香味的物质;癸醛、紫苏醛、异丁香烯、1,5-二甲基-8-异丙基-环癸-1,5-二烯、香茅醛、左旋香芹酮、 α -萜品醇、乙酸橙花酯、醋酸辛酯、甲酸乙烯酯、乙酸香茅酯、3-(1-丙基丁亚基)胍基甲酸乙酯、3-(1-丙基丁亚基)胍基甲酸乙酯、香芹酚可能是造成狮头柑特殊香味的物质。

4种果实表现出不同的香味类型,是它们所产生的香气成分在种类上的差异、所含特殊成分以及共有成分的相对含量差异共同作用的结果,要探明某种果品香气来源的具体成分,不但要研究不同香气物质在不同含量条件下的混合作用,还要结合人对各种不同香气成分的感觉阈值进行判断,有待进一步深入细致研究。

参考文献:

- [1] 张秀梅,杜丽清,孙光明,等. 3个菠萝品种果实香气成分分析[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 275-279. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.22.064.
- [2] 闫忠心,鲁周民,刘坤,等. 干制条件对红枣香气品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 389-392. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.063.
- [3] 洪鹏,陈峰,杨远帆,等. 三种柚子精油的香味特征及挥发性成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 274-281. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.046.
- [4] LIU C, CHENG Y, ZHANG H, et al. Volatile constituents of wild citrus Mangshanyegan (*Citrus nobilis* Lauriro) peel oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(10): 2617-2628. DOI:10.1021/jf2039197.
- [5] MASTELLO R B, JANZANTTI N S, MONTEIRO M. Volatile and odoriferous compounds changes during frozen concentrated orange juice processing[J]. Food Research International, 2015, 77: 591-598. DOI:10.1016/j.foodres.2015.10.007.
- [6] SELLI S, CANBAS A, VARLET V, et al. Characterization of the most odor-active volatiles of orange wine made from a Turkish cv. Kozan (*Citrus sinensis* L. Osbeck)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 56(1): 227-234. DOI:10.1021/jf072231.
- [7] FISCHER A, SCHIEBERLE P. Characterisation of the key aroma compounds in the peel oil of Pontianak oranges (*Citrus nobilis* Lour. var. *microcarpa* Hassk.) by aroma reconstitution experiments[J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(2): 319-328. DOI:10.1007/s00217-009-1058-4.
- [8] SAWAMURA M, TU N Y, OGAWA E, et al. Characteristic odor components of *Citrus reticulata* Blanco (Ponkan) cold-pressed oil[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2004, 68(8): 1690-1697. DOI:10.1271/bbb.68.1690.
- [9] MIYAZAWA N, FUJITA A, KUBOTA K. Aroma character impact compounds in Kinokuni mandarin orange (*Citrus kinokuni*) compared with Satsuma mandarin orange (*Citrus unshiu*)[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2010, 74(4): 835-842. DOI:10.1271/bbb.90937.
- [10] CHUNG H, CHUNG W Y, YOO E S, et al. Characterization of volatile aroma-active compounds in Dangyooja (*Citrus grandis* Osbeck)[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(1): 133-136. DOI:10.1007/s13765-012-0023-2.
- [11] 赵晨,邹国林. 狮头柑挥发油化学成分分析[J]. 中国调味品, 2007(8): 71-73. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2007.08.019.
- [12] 李盼,吴玲,冯旭,等. 固相微萃取技术研究进展[J]. 亚太传统医药, 2016, 12(1): 52-55. DOI:10.11954/ytctyy.201601020.
- [13] 樊丽,向春燕,任小林. '蜜脆'苹果采收贮藏期间香气成分的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(12): 160-166. DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.12.023.
- [14] 何朝飞,冉玥,曾林芳,等. 柠檬果皮香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 175-179.
- [15] 唐会周,明建. 5种市售脐橙果实香气成分的主成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 175-180.
- [16] 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201417053.
- [17] 魏丹,李祖光,徐心怡,等. HS-SPME-GC-MS联用分析3种兰花鲜花的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 234-237. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201316047.
- [18] 降升平,张小红,张玲玲,等. 4个品种茶叶的香气成分比较[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(15): 66-70. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.15.018.
- [19] 龙立梅,宋沙沙,李奈,等. 3种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 114-119. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201502022.
- [20] 黄致喜,王慧辰. 萜类香料化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 298-312.
- [21] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 126-129.
- [22] 李于善,贺艳,邓静,等. 柑橘精油的提取及提高其香气品质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(11): 51-54. DOI:10.3321/j.issn:0253-990x.2004.11.013.
- [23] 付复华,李忠海,单杨,等. GC-MS法分析三种柑橘皮精油成分[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 30-34. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2010.03.009.