

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022017

引用格式:金润楠,李子函,赵开丽,等. 基于气质联用的不同产地温州蜜柑香气成分比较分析[J]. 食品与发酵工业,2020,46(2):252-260. JIN Runnan, LI Zihan, ZHAO Kaili, et al. A comparative analysis of aroma components of Satsuma mandarin from different producing areas based on HS-SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2):252-260.

基于气质联用的不同产地温州蜜柑香气成分比较分析

金润楠, 李子函, 赵开丽, 犹共宇, 王晓, 潘思轶, 徐晓云, 刘凤霞*

(华中农业大学 食品科技学院, 环境食品学教育部重点实验室, 湖北 武汉, 430070)

摘 要 该文采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)测定,并结合气味活度值(OAV)和主成分分析(PCA, principal component analysis)方法,对我国3个产地(浙江、湖北、湖南)、2个品种(官川、尾张)的温州蜜柑香气差异进行比较分析。结果表明,产地和品种对温州蜜柑香气成分均有显著影响。其中,4-松油醇、硝基甲烷、醋酸乙酯、正壬醇、2-甲基呋喃、2-辛烯醛、(2S)-2-甲基-1-十二醇、5-甲基-3-庚炔、乙醛和异丁酸异丁酯为产地特异性成分; β -萜品烯、甲苯、3-己烯-1-醇和硅烷二醇二甲酯为品种特异性成分;样本在酯类、醚类和芳香族类物质相对含量上存在产地和种类的规律性差异;选取以上特征成分做主成分分析,结果显示其能够很好地将样品区分开。

关键词 温州蜜柑;香气成分;产地;品种;OAV值

A comparative analysis of aroma components of Satsuma mandarin from different producing areas based on HS-SPME-GC-MS

JIN Runnan, LI Zihan, ZHAO Kaili, YOU Gongyu, WANG Xiao,
PAN Siyi, XU Xiaoyun, LIU Fengxia*

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT Headspace-solid phase micro extraction-gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) along with odor activity value (OAV) calculation and principal component analysis (PCA) were used to distinguish the difference of aroma components of two kinds of mandarin (Miyagawa Wase, Owari satsuma) harvested from three producing areas (Zhejiang, Hubei, Hunan). The results showed that both the producing regions and varieties influenced the aroma components significantly. HS-SPME-GC-MS analysis showed that 4-terpineol, nitromethane, ethyl acetate, 1-nonanol, 2-methylfuran, 2-octenal, (2S)-2-methyl-1-dodecanol, 5-methylhept-3-yne, acetaldehyde and isobutyl isobutyrate were the specific composition of producing areas. In addition, β -terpinene, toluene, trans-3-hexen-1-ol and dimethylsilanediol were the specific compositions of varieties. Apart from that, various differences between samples with different producing areas and varieties in the relative contents of esters, ethers and aromatic substances were found. PCA showed that those characteristic constituents could be used to distinguish the samples thoroughly.

Key words Satsuma mandarin; aroma component; producing areas; variety; OAV

第一作者:本科生(刘凤霞副教授为通讯作者, E-mail: liufxia@mail.hzau.edu.cn)

基金项目:国家重点研发计划子课题(2017YFD0400701-2);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662017JC016)

收稿日期:2019-08-18, 改回日期:2019-09-18

柑橘(citrus)是全球最重要的水果品种之一^[1]。柑橘果实酸甜可口,香气怡人,营养丰富、均衡,富含维生素、矿质元素、氨基酸和类黄酮等,对人体的健康、美容和疾病预防等方面有积极作用^[2],深受消费者青睐。宽皮柑橘是第二大柑橘品种,仅次于橙,由于其营养丰富、易于剥皮的特点,销量不断提高^[3]。我国是柑橘生产大国^[4],2018年,我国柑橘栽培面积达4000余万亩,产量达3900多万t,其中,宽皮柑橘(mandarin)是我国主要种植品种,产量占比达70%以上^[5]。温州蜜柑(Satsuma mandarin)是我国宽皮柑橘的主栽品种^[6],产区主要分布于湖南、湖北、浙江、四川、广西等地^[7-9],主要种植品种包括宫川、尾张、山田、兴津等^[7],然而,与产量不成正比的是,目前温州蜜柑主要以鲜食销售,加工利用率低,与其相关的品质研究也较少。

香气是衡量果实品质优劣的重要因素之一^[10],且受不同因素的影响。ASIKIN等对4个主要栽培系的台湾香檬汁进行分析,认为果品挥发性香气成分的组成受栽培品系的影响^[11]。ZHANG等研究了芦柑、脐橙、砂糖橘和狮头柑这几个具有代表性柑橘品种的香气成分,发现不同品种香气成分的差异是香气类型的差异、特殊香气差异和共有香气含量差异的综合结果^[12]。LEE等对韩国不同产区的佛手柑进行比较分析,发现佛手柑汁的理化性质和挥发性成分均存在产地差异^[13]。ZHANG等研究比较了2种产地关西柚和沙田柚挥发性成分的差异,结果表明品种是决定样品挥发性谱的主要因素之一,栽培区域可能导致各品种挥发物成分的分化^[14]。然而目前对温州蜜柑的香气成分与产地与品种的关系研究得较少。

本研究利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用,对我国3个温州蜜柑主要产地(浙江、湖北、湖南)2个主要品种(宫川、尾张)共6种温州蜜柑的香气成分进行提取和比较分析,探讨产地和品种因素对温州蜜柑香气成分的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

浙江台州(A)、湖北丹江口(B)、湖南邵阳(C)3个地区的柑橘实验站取样,每个地区2个品种(宫川1和尾张2),共计6组温州蜜柑样品。各组样品按下述编号:浙江宫川-A1;浙江尾张-A2;湖北宫川-B1;湖北尾张-B2;湖南宫川-C1;湖南尾张-C2。

2-甲基-3-庚酮(色谱纯),美国Sigma公司;NaCl

(分析纯),国药集团。

1.2 仪器与设备

HU-910IV-M HUROM 多功能榨汁机,韩国 HU-ROM 公司;BC/BDD-319HB 冰箱,海尔公司;DF-101S 郑州长城科工贸有限公司;固相微萃取装置,美国 Agilent 公司;Agilent6890N-5975B 气相色谱-质谱仪,美国 Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

1.3.1.1 样本前处理

温州蜜柑果实洗净后,从各批样品中随机抽取10个果实,去皮去络去籽,然后使用 HUROM 榨汁机榨汁。果汁榨好后用两层普通纱布过滤,分装在塑料瓶中,密封贮藏在-20℃的冰箱中备用。

1.3.1.2 顶空-固相微萃取提取香气成分

参考乔宇等^[15]的方法,并稍作修改。样品解冻后摇匀,准确量取8mL果汁于15mL固相微萃取样品瓶中,加入2.4g NaCl及磁力搅拌子后密封,于40℃水浴下平衡10min;将固相微萃取器的聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯/碳分子筛(polydimethylsiloxane/divinylbenzene/carboxen, PDMS/DVB/CAR)萃取头通过瓶盖聚四氟乙烯隔垫插入样品萃取瓶的顶空,推出吸附头使其暴露于萃取瓶顶空蒸汽中萃取30min,吸附结束后拔出萃取头,插入GC-MS进样口中,于250℃条件下解析3.5min,采集数据。

1.3.2 仪器分析条件

参考付复华等^[16]的方法并稍作改进。

1.3.2.1 色谱条件

柱温采用程序升温,初温40℃,保持6min;然后以3℃/min升至160℃,再以5℃/min升至230℃,保持10min;进样口温度250℃,萃取头于进样口处热解析3.5min;采用不分流,载气He,流量1.0mL/min;接口/传输线温度250℃。

1.3.2.2 质谱条件

采用全扫描模式(scan mode)采集信号,电离方式为电子轰击离子源(EI),电子轰击能量为70eV;接口温度280℃,离子源温度为230℃,四级杆温度为150℃,量扫描范围30~450AmU。

1.3.3 香气物质的鉴定

1.3.3.1 保留指数的计算

对C₉~C₂₂的正构烷烃采用相同的升温程序进行色谱扫描,参考HOGNADOTTIR等的方法^[17],按以下公式计算得到各化合物的保留指数RI,并与相关文

献值对照,即可对物质进行有效鉴定,如公式(1):

$$RI=100\times n+\frac{100(t_a-t_n)}{t_{n+1}-t_n}$$

(1)

式中: t_a 是指样品a的保留时间; t_n 是指正构烷烃 C_n 的保留时间(其中样品a的保留时间要落在正构烷烃 C_n 和 C_{n+1} 之间)。

1.3.3.2 定量分析

本研究采用内标法进行定量分析计算。以2-甲基-3-庚酮(浓度为1 212.5 $\mu\text{g/mL}$)为内标物,根据其相应的峰面积之比计算出各个化合物的物质含量。计算公式如下:

香气物质含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})=\frac{\text{香气物质峰面积}}{\text{内标物峰面积}}\times\text{内标物浓度}$

(2)

1.3.3.3 香气活性值(OAV)的计算

$$OAV=\frac{C_i}{OT_i}$$

(3)

式中: C_i 为香气成分的浓度值, OT_i 是经文献查找得到的香气物质的香气阈值。

1.4 数据处理

试验数据分析采用Excel、SPSS statistics 21 分析软件,Origin 8.5 绘图软件进行处理,图表中数据以平均值 \pm 标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 主要香气成分及含量

由表1可知,6种温州蜜柑汁中共检测出125种香气成分,其中萜烯类物质种类数最多为20种,其次为醇类物质19种、酯类物质16种、酮类物质13种、芳香族物质12种、醛类物质12种、醚类物质6种、酸类物质2种。

6个样品均检出的有20种,包括2种酮类(4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4,1,0]庚-1-基]-3-丁烯-

2-酮、 β -紫罗兰酮)、4种醛类(正己醛、正辛醛、壬醛、癸醛)、4种酯类(戊酸异丙酯、异丁酸丁酯、2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛、硅烷二醇二甲酯)、1种醚类(二乙二醇单乙醚)、2种芳香族化合物(甲苯、对异丙基甲苯)、4种烯类(柠檬烯、 γ -松油烯、萜品油烯、巴伦西亚橘烯),以及3种其他未分类成分(硝基甲烷、二氯甲烷、4-硝基邻苯二甲酰胺)。其中,柠檬烯和2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛是含量最高的2种化合物。这与前人的研究结果基本一致^[18-23]。

各样品中检测出的香气成分种类数分别为A1检出48种、A2检出50种、B1检出55种、B2检出52种、C1检出52种、C2检出61种。其中,湖南产地的2个品种(C1,C2)中,除欠缺 β -榄香烯外,醋酸乙酯、二氯甲烷、正己醛、月桂烯、2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛、柠檬烯、 γ -松油烯、对异丙基甲苯、萜品油烯、4-甲基-2,1,3-苯并噁二唑、4-硝基邻苯二甲酰胺、硅烷二醇二甲酯、二乙二醇单乙醚、4-松油醇和(7Z)-6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮含量都显著高于其他产地品种;在浙江产区的2个品种(A1,A2)中硝基甲烷和巴伦西亚橘烯含量较高,正壬醇只在浙江产区的样本中发现,但癸醛含量明显较少,而醋酸乙酯为浙江产区柑橘欠缺的香气物质;在湖北产区的样本(B1,B2)中,2-甲基呋喃、2-辛烯醛、(2S)-2-甲基-1-月桂醇、5-甲基-3-庚炔这4种香气成分为其特有的成分,而乙醛和异丁酸异丁酯为其欠缺的香气成分。这种品种差异在不同产地的蜜柚中也能体现^[14]。

在品种方面,3-己烯-1-醇和硅烷二醇二甲酯为宫川品种含量显著更高的香气物质,甲苯和 β -萜品烯仅在宫川品种中检测到;而2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛为尾张品种含量显著更高的物质。

表1 温州蜜柑汁香气化合物的GC-MS分析

Table 1 Analysis of aroma components in juice of Satsuma mandarins by GC-MS

序号	物质名称	CAS号	RI		含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$					
			DB-WAX	DB-5	A1	A2	B1	B2	C1	C2
1	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮	23267-57-4	-	-	119 \pm 14	184 \pm 74	234 \pm 165	119 \pm 28	124 \pm 9	237 \pm 213
2	丙烷三氯乙酸酯	13313-91-2	-	-	-	5 \pm 4	5 \pm 3	-	-	-
3	乙烯亚胺	151-56-4	-	-	11 \pm 8	-	-	-	-	-
4	亚硫酸二正丁酯	626-85-7	-	-	-	-	-	-	-	8 \pm 5
5	乙醛	75-07-0	-	-	13 \pm 1	17 \pm 1	-	-	21 \pm 2	26 \pm 18
6	二硫化碳	75-15-0	-	-	-	12 \pm 8	-	-	17 \pm 4	24 \pm 17
7	醋酸乙酯	141-78-6	-	-	-	-	59 \pm 3	60 \pm 0	179 \pm 6	136 \pm 12
8	2-甲基呋喃	534-22-5	-	-	-	-	3 \pm 0	2 \pm 2	-	-
9	硝基甲烷	865-40-7	-	-	115 \pm 18	206 \pm 4	412 \pm 3	523 \pm 29	566 \pm 10	463 \pm 7
10	二氯甲烷	75-09-2	-	-	534 \pm 6	642 \pm 51	532 \pm 105	880 \pm 318	1 092 \pm 86	920 \pm 268

续表 1

序号	物质名称	CAS 号	RI		含量/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)						
			DB-WAX	DB-5	A1	A2	B1	B2	C1	C2	
11	苯	71-43-2	922	-	-	-	-	-	-	-	16 ± 11
12	异丙基乙烯基醚	926-65-8	958	-	-	-	-	-	-	-	10 ± 7
13	戊醛	110-62-3	958	-	-	6 ± 4	15 ± 1	8 ± 1	21 ± 15	19 ± 13	
14	2(5H)-呋喃酮	497-23-4	994	-	13 ± 9	-	-	-	-	-	17 ± 2
15	1-戊烯-3-酮	1629-58-9	995	-	-	15 ± 10	60 ± 4	41 ± 4	45 ± 6	-	
16	β -蒎品烯	99-84-3	1017	-	31 ± 25	-	36 ± 26	-	111 ± 122	-	
17	反式- α -罗勒烯	6874-10-8	1018	-	-	-	-	-	-	-	196 ± 139
18	甲苯	108-88-3	1018	-	234 ± 4	170 ± 39	124 ± 21	118 ± 8	317 ± 129	166 ± 117	
19	正己醛	66-25-1	1056	801	264 ± 36	271 ± 16	429 ± 2	296 ± 2	619 ± 11	457 ± 48	
20	异丁酸异丁酯	97-85-8	1066	917	17 ± 12	15 ± 10	-	-	10 ± 7	8 ± 6	
21	三甲基硅烷醇三硅甲烷氧基水杨酯	3789-85-3	1068	-	-	-	25 ± 17	-	-	-	
22	三甲基硅醇	1066-40-6	1072	-	1 276 ± 902	-	-	1206 ± 95	-	1 740 ± 1 230	
23	2-蒎烯	80-56-8	1 085	-	25 ± 1	31 ± 3	17 ± 12	-	-	16 427 ± 11 615	
24	戊酸异丙酯	18362-97-5	1 102	-	20 ± 10	33 ± 0	31 ± 3	28 ± 20	18 ± 3	26 ± 5	
25	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	555-10-2	1104	-	-	-	-	-	-	87 ± 61	
26	桉烯	3387-41-5	1105	975	-	-	-	8 ± 6	56 ± 5	76 ± 54	
27	异丁酸丁酯	97-87-0	1114	917	14 ± 10	13 ± 0	13 ± 2	13 ± 1	9 ± 7	9 ± 6	
28	金合欢醇	4602-84-0	1114	-	-	-	10 ± 7	52 ± 37	-	16 ± 11	
29	月桂烯	123-35-3	1124	992	124 ± 2	-	15 ± 11	-	155 ± 24	638 ± 217	
30	丁酸丙酯	105-66-8	1129	-	-	-	-	-	6 ± 4	-	
31	2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛	3814-41-3	1147	938	6 619 ± 441	6 944 ± 261	6 640 ± 189	6 776 ± 76	7 031 ± 425	7 137 ± 178	
32	N-甲基仲丁胺	7713-69-1	1 154	-	7 ± 5	-	-	-	-	-	
33	2,5-二甲基-3-己酮	1888-57-9	1 161	-	-	-	-	-	720 ± 509	-	
34	乙氧基乙炔	927-80-0	1166	-	-	-	87 ± 62	-	-	-	
35	氯乙酸辛酯	5451-98-9	1166	-	-	-	-	54 ± 38	-	-	
36	5,9,9-三甲酯-2-氧杂螺旋-[3,5] 壬-5-烯	142746-97-2	1176	-	-	-	12 ± 8	-	18 ± 1	-	
37	柠檬烯	138-86-3	1177	-	8 805 ± 1 586	10 722 ± 190	8 638 ± 479	7 437 ± 115	12 142 ± 1 204	15 085 ± 10 666	
38	丙醛	123-38-6	1 192	-	4 ± 2	-	-	-	-	-	
39	2,4-壬二烯醛	6750-03-4	1 195	-	7 ± 5	-	-	-	-	19 ± 14	
40	4-辛酮	589-63-9	1 200	-	21 ± 5	24 ± 3	22 ± 15	20 ± 2	21 ± 15	-	
41	8-boraindane	5731-84-0	1 200	-	-	-	-	-	-	2 240 ± 1 584	
42	2-甲基-4-庚酮	626-33-5	1 207	-	-	-	27 ± 19	-	-	-	
43	反式-1,1-二氟-2-甲基-3-丙基环丙基	131262-46-9	1208	-	-	-	-	-	-	102 ± 72	
44	糠基甲基苯丙胺	13445-60-8	1212	-	-	12 ± 9	-	-	-	-	
45	2-正戊基呋喃	3777-69-3	1212	-	-	18 ± 12	34 ± 1	25 ± 0	-	-	
46	γ -松油烯	99-85-4	1220	-	365 ± 63	584 ± 6	329 ± 3	258 ± 7	552 ± 75	1 651 ± 599	
47	对异丙基甲苯	99-87-6	1 257	-	235 ± 166	352 ± 249	319 ± 226	185 ± 7	534 ± 377	952 ± 673	
48	蒎品油烯	586-62-9	1 260	1 091	14 ± 10	44 ± 31	9 ± 6	7 ± 0	141 ± 2	125 ± 2	
49	正辛醛	124-13-0	1 266	-	25 ± 4	38 ± 1	69 ± 0	38 ± 1	57 ± 3	70 ± 11	
50	α -律草烯	6753-98-6	1 274	1 467	-	15 ± 0	-	-	35 ± 25	45 ± 32	
51	对氯甲苯	106-43-4	1 276	954	-	-	13 ± 9	-	-	-	
52	异蒎品二烯	586-63-0	1 277	-	-	-	34 ± 2	-	-	-	
53	δ -4-萘烯	29050-33-7	1 277	-	-	-	-	-	-	170 ± 120	
54	氯代环庚三烯	55619-05-1	1 286	-	-	15 ± 1	-	14 ± 10	-	-	
55	4-甲基-2,1,3-苯并噻二唑	29091-40-5	1 303	-	-	-	-	-	6 053 ± 470	5 598 ± 3 958	
56	2-氨基-3-甲基苯甲醛	84902-24-9	1 306	-	-	1 516 ± 1 072	-	-	-	-	
57	甲基庚烯酮	110-93-0	1 306	989	35 ± 25	-	-	-	80 ± 7	-	
58	N-乙酰苯胺	103-84-4	1 307	-	-	-	-	790 ± 558	-	-	
59	(1-溴乙基)苯	585-71-7	1 307	-	-	-	-	-	-	5 660 ± 4 002	
60	马尿酸	495-69-2	1 309	-	-	-	-	5 081 ± 3 593	-	-	
61	正己醇	111-27-3	1 312	-	17 ± 12	-	-	-	-	-	
62	二戊基二硫醚	112-51-6	1 313	-	10 ± 7	10 ± 7	13 ± 9	9 ± 7	5 ± 4	-	
63	2-甲基苯乙醇	19819-98-8	1 326	-	-	9 ± 7	7 ± 5	-	-	-	

续表 1

序号	物质名称	CAS 号	RI				含量/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)			
			DB-WAX	DB-5	A1	A2	B1	B2	C1	C2
64	叶醇	928-96-1	1337	-	-	-	-	-	-	57 ± 12
65	5-氯代-1-己烯	927-54-8	1337	-	-	-	16 ± 12	-	23 ± 16	-
66	3-甲基-4-戊烯-1-醇	54702-04-4	1338	-	5 ± 4	-	-	-	-	-
67	反式-2-己烯-1-醇	928-95-0	1356	-	-	-	-	-	-	10 ± 7
68	壬醛	124-19-6	1369	1106	62 ± 8	109 ± 6	137 ± 2	103 ± 2	101 ± 8	92 ± 13
69	二正辛基二硫	822-27-5	1402	-	-	3 ± 2	-	-	-	-
70	反-2-辛烯醛	2548-87-0	1404	-	38 ± 0	35 ± 2	-	91 ± 65	50 ± 10	27 ± 2
71	2-辛烯醛	2363-89-5	1407	-	-	-	121 ± 4	105 ± 74	-	-
72	2-甲基-1-苯基丙烯	768-49-0	1410	-	15 ± 11	-	-	-	-	-
73	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯	1195-32-0	1417	-	-	-	-	-	-	21 ± 4
74	1-甲基-1-氢-5-醛基-咪唑	39021-62-0	1430	-	-	-	3 ± 2	-	-	-
75	(2S)-2-甲基-1-月桂醇	57289-26-6	1434	-	-	-	6 ± 4	7 ± 5	-	-
76	4-硝基邻苯二甲酰胺	13138-53-9	1436	961	10 ± 13	12 ± 9	12 ± 0	11 ± 1	21 ± 3	15 ± 1
77	5-甲基-3-庚炔	61228-09-9	1461	-	-	-	12 ± 1	10 ± 7	-	-
78	甲基 二氯化苄	767-58-8	1475	-	-	7 ± 5	-	-	-	-
79	癸醛	112-31-2	1475	-	34 ± 24	49 ± 4	64 ± 7	50 ± 14	66 ± 3	64 ± 9
80	3-己烯-1-醇	544-12-7	1479	-	14 ± 10	8 ± 1	16 ± 11	6 ± 0	23 ± 17	-
81	2-环己基甲烷-四氢化咪喃	3208-42-2	1499	-	6 ± 4	-	-	-	-	-
82	芳樟醇	78-70-6	1499	-	-	47 ± 33	-	14 ± 10	-	-
83	正辛醇	111-87-5	1510	-	15 ± 1	-	-	-	20 ± 14	-
84	2-己烯醛	6728-26-3	1513	854	-	-	-	-	18 ± 13	-
85	丙烯酸异辛酯	103-11-7	1513	-	-	17 ± 12	-	-	-	-
86	反式-2-壬醛	18829-56-6	1513	-	-	16 ± 11	30 ± 3	25 ± 2	-	-
87	反式-1,2-二乙基环丁烷	19341-98-1	1513	-	-	-	-	-	-	25 ± 17
88	α -甲基-盐酸赖氨酸	111717-28-3	1514	-	-	-	-	-	-	16 ± 11
89	3-甲基环庚酮	13609-58-0	1529	-	-	-	3 ± 2	-	-	-
90	2-乙基亚胺	617-80-1	1529	-	-	-	-	2 ± 2	-	-
91	硅烷二醇二甲酯	1066-42-8	1549	-	126 ± 89	76 ± 54	80 ± 5	73 ± 0	183 ± 25	93 ± 0
92	二乙二醇单乙醚	111-90-0	1565	-	18 ± 12	19 ± 1	16 ± 1	17 ± 0	26 ± 18	23 ± 0
93	二乙二醇二乙醚	112-36-7	1567	-	14 ± 10	-	-	-	25 ± 17	-
94	4-松油醇	562-74-3	1577	-	-	-	-	-	31 ± 3	28 ± 0
95	γ -丁内酯	96-48-0	1586	-	-	-	-	-	4 ± 3	-
96	N-甲基乙烯亚胺	6898-67-5	1586	-	-	-	3 ± 2	-	-	-
97	乙烯酮	463-51-4	1586	-	-	-	-	-	-	4 ± 3
98	β -榄香烯	515-13-9	1587	1581	15 ± 4	12 ± 9	10 ± 0	8 ± 5	-	-
99	4-乙酰基-1,2,3,4,5,5-五甲基-1-环戊烯-2-酮	50506-59-7	1609	-	8 ± 6	14 ± 10	-	19 ± 13	23 ± 1	16 ± 12
100	正壬醇	143-08-8	1611	-	4 ± 3	7 ± 1	-	-	-	-
101	月桂醇	112-53-8	1623	-	-	-	9 ± 0	-	-	-
102	3-羟基-3-(4-甲氧苯基)-2,2-甲基丁酸	27925-42-4	1655	-	-	-	-	9 ± 7	-	-
103	α -松油醇	98-55-5	1660	1194	-	-	8 ± 6	-	-	37 ± 26
104	甲酸异茨酯	1200-67-5	1660	-	-	-	-	8 ± 5	-	-
105	丙酸芳樟酯	144-39-8	1660	-	-	-	-	-	50 ± 1	-
106	2-乙基-2,3-二氢-1-苯基咪喃	16198-39-3	1682	1219	8 ± 1	6 ± 4	-	-	-	14 ± 6
107	稀醋酸,3-(氟甲基)-7-甲基二十八烷-2,6-二烯-1-醇	76481-05-5	1694	-	-	-	3 ± 0	-	-	-
108	香叶醇	106-24-1	1694	-	-	3 ± 0	-	6 ± 4	4 ± 3	-
109	乙酸橙花酯	141-12-8	1694	-	-	-	-	7 ± 5	-	14 ± 10
110	(-)-二氢乙酸香芹酯	20777-39-3	1723	-	-	-	-	-	-	11 ± 8
111	巴伦西亚橘烯	4630-07-3	1728	1462	225 ± 59	125 ± 7	90 ± 4	41 ± 29	108 ± 1	113 ± 8
112	(+)-香橙烯	489-39-4	1734	-	-	-	-	56 ± 40	-	20 ± 14
113	乙酰基环己烯	932-66-1	1799	-	-	-	-	3 ± 0	-	-
114	(7Z)-6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	3879-26-3	1825	1456	-	-	-	-	166 ± 117	111 ± 18
115	香叶基丙酮	3796-70-1	1825	-	109 ± 18	181 ± 1	199 ± 20	228 ± 35	165 ± 117	-
116	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	6846-50-0	1858	-	-	19 ± 14	-	8 ± 5	14 ± 10	-

续表 1

序号	物质名称	CAS 号	RI		含量/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)					
			DB-WAX	DB-5	A1	A2	B1	B2	C1	C2
117	2,6,10,15-四甲基十七烷	54833-48-6	1903	-	-	-	-	-	28 ± 20	-
118	β -紫罗兰酮	14901-07-6	1976	1494	7 ± 5	13 ± 0	27 ± 4	19 ± 5	29 ± 3	10 ± 7
119	2,6-二甲基-2,6-辛二烯-1,8-二醇 1-叔丁基二甲基 乙醚	90460-86-9	2313	-	4 ± 2	-	-	-	-	-
120	4-甲基戊-2-烯-1-醇	69143-05-1	2316	-	-	-	5 ± 3	-	-	-
121	环己烯	110-83-8	2326	-	-	-	4 ± 0	-	-	-
122	(Z)-6-壬烯-1-醇	35854-86-5	2326	-	-	12 ± 1	-	-	-	7 ± 5
123	1,6-辛二烯	3710-41-6	2326	-	21 ± 15	-	-	-	-	-
124	2-丙基咪唑	50995-95-4	2326	-	-	-	-	-	-	5 ± 4
125	S-(Z)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	142-50-7	-	-	-	-	-	-	-	9 ± 2

注:“-”表示无。下同。

2.2 不同品种温州蜜柑香气种类的含量比较

不同种类香气成分对整体香气的贡献作用不同。柑橘香气由单萜烯、倍半萜烯、醇类、醛类、酸、酯类、酮类等挥发物混合构成^[24-25]。本研究发现,酯类香气物质、芳香族类香气物质和醚类香气物质受产地和品种的显著影响。

酯类是主要的香气贡献物,大多具有花香或者果香,是柑橘头香的主要构成物质^[26]。由图 1 可知,在产地方面,浙江产柑橘(A)中酯类物质相对含量最高,其次是湖北产区柑橘(B),湖南产地柑橘(C)酯类物质相对含量最低。在品种方面,也呈现稳定的宫川品种(1)酯类相对含量大于尾张(2)品种的结果。ZHANG 等在对我国不同产区 2 种蜜柚挥发性物质的研究中也发现,2 个品种酯类组成不同,并且每个品种的酯类结构也随着不同的栽培区域而变化^[14]。

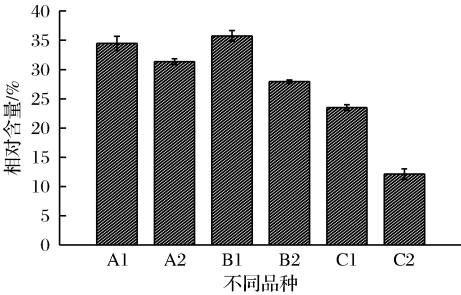


图 1 不同品种温州蜜柑中酯类物质比较

Fig. 1 Comparison of the contents of esters in different Satsuma mandarins

在芳香族香气物质相对含量方面,由图 2 可以看出宫川品种(1)柑橘相对含量显著高于尾张品种(2)的结果,并且可以看出湖南产区(C)柑橘芳香族香气相对含量显著高于其他产地。而在醚类香气物质相对含量上(图 3),同样表现出宫川品种(1)显著高于尾张品种(2)的趋势。可以认为在醛类、芳香族、醚

类香气成分相对含量方面,宫川品种优于尾张品种。

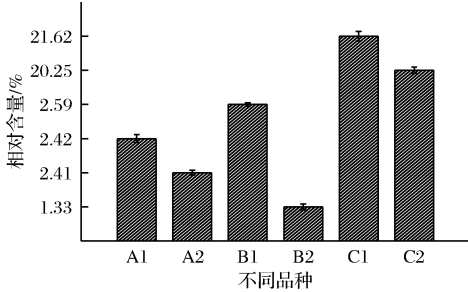


图 2 不同品种温州蜜柑中芳香族物质比较

Fig. 2 Comparison of the contents of aromatic in different Satsuma mandarins

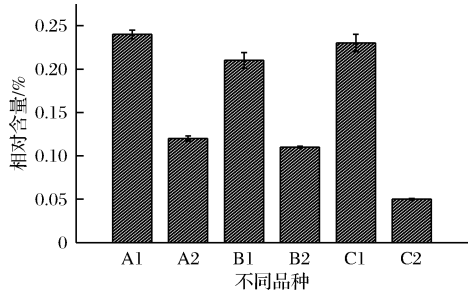


图 3 不同品种温州蜜柑中醚类物质比较

Fig. 3 Comparison of the contents of ethers in different Satsuma mandarins

另外,不同样品在醛类、酮类、醇类等香气物质在总量上虽然差异不大,但个体也具有差别。萜烯类物质在柑橘果汁中含量最高^[27],主要是倍半萜烯和单萜烯及衍生物^[28],而萜烯类物质中最主要的柠檬烯、 β -月桂烯、 β -蒎烯^[29]都在 C2 中含量最高;醛类也是柑橘汁中的重要香气物质,吴曲阳认为壬醛、癸醛是柑橘中重要的脂肪醛类香气物质,这 2 种成分在 A1 中含量都是最低的;醇类物质中芳樟醇对香气贡献较大^[30],在柑橘果实中的单萜烯衍生物以芳樟醇为主^[31],其只在 A2, B2 两个品种中检测到。

因各香气成分阈值不同,因而采用 OAV 值进一步评价样本香气构成。

2.3 主要香气成分的香气活性值比较

根据 GUTH 的报道,OAV 值大于 1 的成分被认为对总体香气有贡献^[32],因此,本研究进一步对各类物质的 OAV 值进行了计算,列出了 OAV 值大于 1 的成分,结果如表 2 所示。根据陈光静等的划分^[33],OAV 值大于 500 可以认为对香气影响显著。由表 2 可以看到,OAV 值超过 500 的香气成分有对异丙基甲苯(芳香味)、2-辛烯醛和柠檬烯(果香),其中对异丙基甲苯的 OAV 值超过了 10 000,可认为这些成分对柑橘香气具有显著贡献;OAV 值在 100~500 的香气成分有正辛醛(橘皮味)、壬醛(薰衣草味)、异丁酸异丁酯(甜味)和甲苯(甜香),可认为这些成分对柑橘总体味道起调节作用。

在产地方面,正壬醇只在浙江产区品种(A1,A2)中发现,其具有的尘土味和花香味或为浙江产地温州蜜柑的特有味道。而醋酸乙酯为仅在浙江产区

没有检测到的成分,其具有的菠萝味或为浙江产温州蜜柑所欠缺的;2-辛烯醛只在湖北产区品种(B1,B2)中检测到,并且 OAV 值非常高,其具有的绿叶味可认为是湖北产温州蜜柑的特有味道。而异丁酸异丁酯为仅在湖北产区没有检测到的成分,可认为其甜味是湖北产区温州蜜柑欠缺的味道;4-松油醇为仅在湖南产区检测到的成分,其绿色清新的味道或为湖南产区温州蜜柑的特有味道。此外,月桂烯(青苔味)、柠檬烯(水果味)、 γ -松油烯(草香)和萜品油烯(果香)在湖南产区品种中的含量都显著高于其他产区。CHOI 等对比了柑橘精油的抗氧化活性,发现 γ -松油烯、香叶醇具有显著的自由基清除率^[34],LIU 等通过遗漏实验发现月桂烯和芳樟醇与芳香呈味有关,柠檬烯作为背景香气具有重要作用^[29],可认为湖南产区温州蜜柑的香气相较其他 2 个产地相对丰富。

在品种方面,甲苯只在宫川品种(1)中发现,其甜香或为宫川品种的特殊成分。

表 2 温州蜜柑汁主要香气化合物的香气活性值(OAV)分析
Table 2 OAVs of volatiles detected in different Satsuma mandarins samples

种类	香气描述	香气阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	香气活性值(OAV)					
			A1	A2	B1	B2	C1	C2
醇								
正壬醇	尘土味,油脂味,未成熟花香味 ^[35]	0.045 5 ^[35]	88	154	—	—	—	—
3-己烯-1-醇	蔬菜味,草香	3.7 ^[26]	4	2	4	2	6	—
香叶醇	类玫瑰味,类柑桔味 ^[36]	0.04 ^[37]	—	75	—	150	100	—
芳樟醇	麝香味 ^[38]	0.113 ^[39]	—	416	—	124	—	—
α -松油醇	木香	0.25 ^[40]	—	—	32	—	—	148
4-萜烯醇	陈旧教室味 ^[41]	0.35 ^[41]	—	—	—	—	89	80
醛类								
乙醛	苹果香,水果味 ^[38]	0.151 ^[42]	86	113	—	—	139	12
正辛醛	橘皮味,脂肪味,刺鼻 ^[35]	0.233 ^[39]	107	163	296	163	245	300
壬醛	未熟水果味,脂肪味,薰衣草味 ^[35]	0.312 ^[39]	199	349	439	330	323	295
癸醛	未熟水果味,肥皂味 ^[38]	0.204 ^[39]	34	49	64	50	66	64
2-辛烯醛	绿叶味 ^[43]	0.03 ^[43]	—	—	4033	3500	—	—
酯类								
醋酸乙酯	菠萝味 ^[44]	7.5 ^[44]	—	—	1	8	24	18
异丁酸异丁酯	水果味,甜味 ^[35]	0.031 ^[35]	548	484	—	—	323	258
乙酸橙花酯	橙花和玫瑰样香气 ^[30]	2 ^[30]	—	—	—	4	—	7
烯类								
月桂烯	青苔味 ^[45]	0.773 ^[39]	160	—	19	—	200	825
柠檬烯	水果味	13.7 ^[39]	642	782	631	543	886	1 101
γ -松油烯	草香 ^[46]	3.26	49	179	101	79	169	506
萜品油烯	果香	0.2 ^[37]	70	220	45	35	705	625
2-蒎烯	松木,松脂味 ^[30]	1.65 ^[39]	15	19	10	—	—	9 956
巴伦西亚橘烯	柑橘香,木香 ^[47]	4.756	47	26	19	9	23	24
烃类								
二氯甲烷		5.6	95	115	95	157	195	164
芳香族								
甲苯	轻薄花香,甜香	0.14	221	—	257	—	793	—
对异丙基甲苯	强烈芳香味 ^[35]	0.006 5 ^[35]	56 154	89 846	50 615	39 692	84 923	254 000

2.4 主成分分析

为了进一步反应不同产地温州蜜柑香气物质组成的差异,对主要香气成分进行主成分分析(图4)。

由成分得分图我们可以看到3个产区样本被很好地分开,其中湖北产区(B)的2个品种在左上部几乎完全重合,而浙江产区(A)和湖南产区(C)样本分别分布在左下部和右下部,并且都呈现尾张样本(2)在宫川样本(1)上部的规律。可以认为,产地因素对样本香气成分的构成有显著影响,第1主成分可以将产地分开;并且,除湖北外,样本品种对浙江和湖南产区样本的香气的构成也有明显作用,第2主成分可以基本将品种区分开。

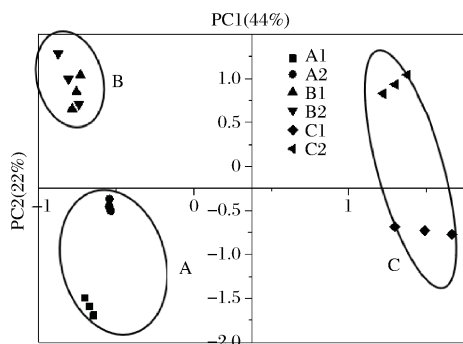


图4 主成分分析得分图

Fig.4 Score chart of principal component analysis

由载荷图(图5)可以看出,4-甲基-2,1,3-苯并噻二唑、4-萜烯醇、萜品油烯、二乙二醇单乙醚、(7Z)-6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮、醋酸乙酯、4-硝基邻苯二甲酰胺、柠檬烯、正己醛、乙醛、二氯甲烷、月桂烯、 γ -松油烯、2-乙酰氧基-3-甲基-2-丁烯醛与PC1正相关, β -榄香烯、芳樟醇与PC1正相关,可以认为这些香气成分体现了产地的差异。5-甲基-3-庚炔、2-辛烯醛、(1S,8aR)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘、(2S)-2-甲基-1-月桂醇、乙酸橙花酯、硝基甲烷、壬醛、正辛醛、癸醛、 α -松油醇、香叶醇与PC2正相关,异丁酸异丁酯、巴伦西亚橘烯、正辛醇、甲苯、硅烷二醇二甲酯、3-己烯-1-醇、 β -萜品醇与PC2负相关,至少就湖南和湖北两地来说,可以认为这些香气成分体现了品种的差异。

3 结论

6个温州蜜柑样本中共检测出125种香气成分,其中萜烯类物质种类数最多,其次为醇类、酯类、酮类、芳香族、醛类、醚类、酸类物质,其中样本在酯类、醚类和芳香族类物质相对含量上存在产地和种类的

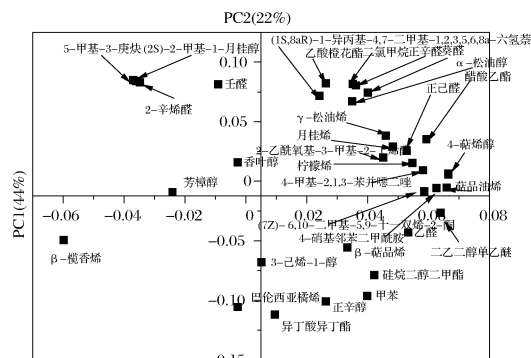


图5 成分载荷图

Fig.5 Score plot and loading plot of principal component analysis of the volatile profile in two mandarin cultivars cultivated from different regions of China.

规律性差异;香气成分中4-松油醇、硝基甲烷、醋酸乙酯、正壬醇、2-甲基呋喃、2-辛烯醛、(2S)-2-甲基-十二醇、5-甲基-3-庚炔、乙醛和异丁酸异丁酯为产地特异性成分。 β -萜品烯、甲苯、3-己烯-1-醇和硅烷二醇二甲酯为品种特异性成分;结合OAV值分析发现,具有的尘土味和花香味或为浙江产地温州蜜柑的特有味道,具有的绿叶味可认为是湖北产温州蜜柑的特有味道,绿色清新的味道或为湖南产区温州蜜柑的特有味道。此外发现甜香或为宫川品种的特殊成分。

然而,后续的研究需结合气相色谱-嗅闻(GC-O, gas chromatography olfactometry)和感官评定来进一步研究分析不同产地和品种温州蜜柑香气成分差异对其香气的影响。

参考文献

- [1] 安亚杰. 我国柑橘主要分布区域[J]. 营销界: 农资与市场, 2016(16): 51-59.
- [2] 丁晓波, 张华, 刘世尧, 等. 柑橘果品营养学研究现状[J]. 园艺学报, 2012, 39(9): 1687-1702.
- [3] YU Y, BAI J H, CHEN C X, et al. Comparative analysis of juice volatiles in selected mandarins, mandarin relatives and other citrus genotypes[J]. J Sci Food Agric, 2018, 98(3): 1124-1131.
- [4] 沈兆敏. 世界柑橘生产的变化及对我国柑橘发展的启示[J]. 果农之友, 2018, 196(9): 1-4.
- [5] 祁春节, 邓秀新. 中美两国柑橘产业的比较[J]. 世界农业, 2000(3): 3-4.
- [6] 刘涛. 柑桔贮藏过程中植物内源激素以及理化性质的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [7] 唐振尧. 世界柑桔业中温州蜜柑的兴起[J]. 世界农业, 1990, (5): 19-21.
- [8] 田勇. 我国柑橘分布情况简介[J]. 保鲜与加工, 2002(2): 32.
- [9] 沈勇根, 朱凤妮, 卢剑青, 等. 宽皮柑橘品质特性及加工适性研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(4): 669-77.
- [10] 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.

- [11] ASIKIN Y, FUKUNAGA H, YAMANO Y, et al. Effect of cultivation line and peeling on food composition, taste characteristic, aroma profile, and antioxidant activity of Shiikuwasha (*Citrus depressa Hayata*) juice [J]. J Sci Food Agric, 2014, 94(12): 2 384 – 2 392.
- [12] ZHANG H, LU Z, WANG J, et al. Comparative aroma components of fruits of four main citrus varieties [J]. Food Science, 2017, 38(4): 192 – 196.
- [13] LEE S J, SHIN J H, KANG M J, et al. Physicochemical properties, free sugar and volatile compounds of Korean citrons cultivated in different areas [J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2010, 39(1): 92 – 98.
- [14] ZHANG M X, LI L B, WU Z W, et al. Volatile composition in two pummelo cultivars (*Citrus grandis* L. Osbeck) from different cultivation regions in China [J]. Molecules, 2017, 22(5): 17.
- [15] 乔宇, 谢笔钧, 张弛, 等. 顶空固相微萃取—气质联用技术分析 3 种柑橘果实的香气成分 [J]. 果树学报, 2007(5): 699 – 704.
- [16] 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.
- [17] HÖGNADOTTIR Á, ROUSEFF R L. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2003, 998(1–2): 201 – 211.
- [18] FENG S, SUH J H, GMITTER F G, et al. Differentiation between flavors of sweet orange (*Citrus sinensis*) and mandarin (*Citrus reticulata*) [J]. J Agric Food Chem, 2018, 66(1): 203 – 211.
- [19] GOLDENBERG L, YANIV Y, DORON-FAIGENBOIM A, et al. Diversity among mandarin varieties and natural sub-groups in aroma volatiles compositions [J]. J Sci Food Agric, 2016, 96(1): 57 – 65.
- [20] MIYAZAWA N, FUJITA A, KUBOTA K. Aroma character impact compounds in kinokuni mandarin orange (*Citrus kinokuni*) compared with satsuma mandarin orange (*Citrus unshiu*) [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2010, 74(4): 835 – 842.
- [21] YU Q, XIE B J, ZHANG Y, et al. Study on aroma components in fruit from three different satsuma mandarins varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(5): 1 452 – 1 458.
- [22] TIETEL Z, PLOTTO A, FALLIK E, et al. Taste and aroma of fresh and stored mandarins [J]. J Sci Food Agric, 2011, 91(1): 14 – 23.
- [23] XIAO Z B, WU Q Y, NIU Y W, et al. Characterization of the key aroma compounds in five varieties of mandarins by gas chromatography-olfactometry, odor activity values, aroma recombination, and omission analysis [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(38): 8 392 – 8 401.
- [24] BARBONI T, LURO F, CHIARAMONTI N, et al. Volatile composition of hybrids citrus juices by headspace solid-phase micro extraction/gas chromatography/mass spectrometry [J]. Food Chem, 2009, 116(1): 382 – 390.
- [25] BARRY G H, GMITTER F G, CHEN C X, et al. Investigating the parentage of ‘Orri’ and ‘Fortune’ mandarin hybrids [J]. Acta Hort, 2015, 1064: 449 – 456.
- [26] 范刚, 乔宇, 姚晓琳, 等. 柑橘加工制品中香气物质的研究进展 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4 324 – 4 332.
- [27] 林雯雯, 楼舒婷, 孙玉敬, 等. 柑橘汁中糖苷键合态香气物质的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(17): 395 – 399.
- [28] 冯桂蓉, 谢姣, 邓丽莉, 等. 柑橘果实萜烯类挥发性物质研究进展 [J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 200 – 204.
- [29] LIU C H, CHENG Y J, ZHANG H Y, et al. Volatile constituents of wild citrus mangshanyegan (*Citrus nobilis* Lauriro) Peel Oil [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(10): 2 617 – 2 628.
- [30] 吴曲阳. 不同品种宽皮柑橘果汁特征香气成分研究 [D]. 上海: 应用技术大学, 2017.
- [31] 成传香, 王鹏旭, 马亚琴, 等. 加工条件对橙汁香气物质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(6): 262 – 268.
- [32] GUTH H. Identification of character impact odorants of different white wine varieties [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(8): 3 022 – 3 026.
- [33] 陈光静, 郑炯, 丁涌波, 等. 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合嗅闻法分析异味薏米的异味成分 [J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 230 – 237.
- [34] CHOI H S, SONG H S, UKEDA H, et al. Radical-scavenging activities of citrus essential oils and their components: Detection using 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(9): 4 156 – 4 161.
- [35] GIRI A, OSAKO K, OKAMOTO A, et al. Olfactometric characterization of aroma active compounds in fermented fish paste in comparison with fish sauce, fermented soy paste and sauce products [J]. Food Res Int, 2010, 43(4): 1 027 – 1 040.
- [36] FISCHER A, GRAB W, SCHIEBERLE P. Characterisation of the most odour-active compounds in a peel oil extract from Pontianak oranges (*Citrus nobilis* var. Lour. *microcarpa* Hassk.) [J]. Eur Food Res Technol, 2008, 227(3): 735 – 744.
- [37] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2): 207 – 213.
- [38] KOTSERIDIS Y, BAUMES R. Identification of impact odorants in Bordeaux red grape juice, in the commercial yeast used for its fermentation, and in the produced wine [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(2): 400 – 406.
- [39] PLOTTO A, MARGARIA C A, GOODNER K L, et al. Odour and flavor thresholds for key aroma components in an orange juice matrix: Terpenes and aldehydes [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2004, 19(6): 491 – 498.
- [40] LOPEZ R, AZNAR M, CACHO J, et al. Determination of minor and trace volatile compounds in wine by solid-phase extraction and gas chromatography with mass spectrometric detection [J]. J Chromatogr A, 2002, 966(1–2): 167 – 177.
- [41] BAZEMORE R, GOODNER K, ROUSEFF R. Volatiles from unpasteurized and excessively heated orange juice analyzed with solid phase microextraction and GC-olfactometry [J]. J Food Sci, 1999, 64(5): 800 – 803.
- [42] VAN AARDT M, DUNCAN S E, BOURNE D, et al. Flavor threshold for acetaldehyde in milk, chocolate milk, and spring water using solid phase microextraction gas chromatography for quantification [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(3): 1 377 – 1 381.
- [43] ZHU J C, XIAO Z B. Characterization of the major odor-active compounds in dry jujube cultivars by application of gas chromatography-olfactometry and odor activity value [J]. J Agric Food Chem, 2018, 66(29): 7 722 – 7 734.
- [44] NIU Y W, WANG P P, XIAO Z B, et al. Evaluation of the perceptual interaction among ester aroma compounds in cherry wines by GC-MS, GC-O, odor threshold and sensory analysis: An insight at the molecular level [J]. Food Chem, 2019, 275: 143 – 153.
- [45] BUETTNER A, SCHIEBERLE P. Evaluation of aroma differences between hand-squeezed juices from Valencia Late and navel oranges by quantitation of key odorants and flavor reconstitution experiments [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(5): 2 387 – 2 394.
- [46] CHOI J Y, CHO I H, KIM Y S, et al. Aroma-active compounds of Korean mugwort (*Artemisia princeps orientalis*) [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2014, 57(3): 323 – 329.
- [47] ELSTON A, LIN J M, ROUSEFF R. Determination of the role of valencene in orange oil as a direct contributor to aroma quality [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2005, 20(4): 381 – 386.