

不同品种中国柚果皮中挥发性物质的组成及质量分数比较

臧燕燕¹ 张明霞² 刘国杰^{1*} 段长青³

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193; 2. 河南科技学院 生命科技学院,河南 新乡 453003;
3. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术对沙田柚、琯溪蜜柚、玉环柚、脆香甜柚及胡柚5种中国柚的外果皮中挥发性物质的组成和含量进行定性定量分析。结果表明:柚子外果皮中共检测到75种挥发性物质,其中种类最多的是萜类,为55种;其他种类较多的依次为醛类7种、酯类4种、醇类3种。萜类物质质量分数为总挥发性物质的75%~90%,主要的是 β -月桂烯、柠檬烯、萜品烯、 α -蒎烯、罗勒烯。不同品种的柚子外果皮挥发性物质从种类、数量和含量上都有显著差异。胡柚含有独特挥发性物质达10种,沙田柚和玉环柚均为4种,脆香甜柚3种,琯溪蜜柚最少只有1种。

关键词 柚; 果皮; 挥发性物质; 气质联用

中图分类号 S 666.3

文章编号 1007-4333(2011)06-0052-06

文献标志码 A

Comparison of volatile compounds in flavedos of Chinese pummelos

ZANG Yan-yan¹, ZHANG Ming-xia², LIU Guo-jie^{1*}, DUAN Chang-qing³

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. School of Life Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

3. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In the present study, headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) was employed to analyze the volatile compounds in flavedos of ‘Shatianyu’, ‘Guanximiyu’, ‘Yuhuanyu’, ‘Cuixiangtianyu’ and ‘huyu’. The results showed that there are 75 volatile components in flavedos, and 55 kinds of alkenes take the largest part in these components, followed by 7 kinds of aldehydes, 4 kinds of esters and 3 kinds of alcohols, respectively. The major volatile components are terpenes accounting for 75% – 90%, and among these terpenes, β -myrcene, limonene, terpinene, α -pinene, ocimene are the major aromas. Significant differences were found in quantities, contents and categories among different kinds of volatile compounds in flavedos of “Youzi”. ‘Huyu’ has 10 kinds of unique components, and ‘Shatianyu’, ‘Yuhuanyu’, ‘Cuixiangtianyu’, ‘Guanximiyu’ has 4, 4, 3 and 1 unique components, respectively.

Key words pummelo; flavedo; volatile compounds; GC-MS

柚子(*Citrus grandis* L. Osbeck)属于芸香科柑橘属植物,是3个古老的柑橘属植物之一。我国柚树栽培历史悠久,柚子品种资源丰富。由于柚子果皮具有独特的芳香,使人产生一种新鲜、清爽感,可以起到植物芳香疗法的作用,已广泛用于食品及

化妆品工业中。研究柚子果皮的挥发性成分,对于柚皮加工和利用具有重要的指导作用。目前,国内外对芸香科植物果实中挥发性成分的研究报道较多:杨荣华对香橙果皮油挥发性成分进行了分析^[1];杨菜冬等采用固相微萃取(SPME)技术分析了不同

收稿日期: 2011-04-01

基金项目: 地理标志产品检测体系与技术研究及示范(10-85)

第一作者: 臧燕燕, 硕士研究生, E-mail: aspringswallow@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘国杰, 教授, 主要从事果树生理研究, E-mail: lgj@cau.edu.cn

品种甜橙的香气物质^[2];Buiarelli等使用正反相HPLC-MS和GC-MS分析比较了从柚子、苦橙和甜橙中提取精油的成分差异^[3]。橘皮中的精油和柑橘汁中的香气成分已发现的有几十种到上百种不等,其中绝大部分是萜烯类化合物,然而对香气具有重要贡献的是含量较低的萜烯类氧化衍生物,如醇类、醛类、酯类和酮类等^[4-5]。邹建凯等利用GC-MS分析常山胡柚果皮油挥发性成分,鉴定出55种成分,分析结果表明,常山胡柚果皮精油香气成分具有明显的柑桔类水果果皮精油香气成分特征^[6]。Song, H. S^[7]指出,苧醇、*n*-辛醇、反-十一-2-烯、丁子香酚、香芹酚等对yuzu皮油的典型香气贡献重大,而占到96.55%的萜烯类对香气贡献不甚明显。

目前柑橘类果实中挥发性成分研究主要集中在宽皮柑橘及甜橙类,对柚的研究较少,特别是对柚子不同品种间挥发性成分比较的研究更少。本研究拟对沙田柚等5个柚子品种果皮中挥发性物质的组成进行分析和比较,以期对柚子品种评价及种质利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及取样方法

试验材料为完全成熟的琯溪蜜柚(福建平和县)、沙田柚(广西桂林平乐县)、玉环柚(浙江台州玉环县)、常山胡柚(浙江衢州常山县)、脆香甜柚果实(四川南充南部县)。取样采用单株小区,随机区组设计,重复3次。于2009年10—11月各品种成熟时分别选15年生左右、生长正常、结果量基本相同的柚树3株,每株树选树冠中部外围不同方位、大小适中的果实3个(常山胡柚采5个)。从每个果实最大横径处切取中部宽约2 cm的果片,取果皮并除去海绵层,液氮冷冻后快速破碎,制取果皮粉备用。

1.2 试剂及标样

乙醇、己醇、Z-3-己烯醇、(E)-3-己烯醇、辛醇、癸醇、苯甲醛、癸醛、乙酸庚酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯、 α -松油醇、芳樟醇、香叶醇、香茅醇、橙花醇、橙花叔醇、月桂醇、3-甲硫基丙醇、香叶醛、香叶基丙酮、紫罗酮、月桂烯、柠檬烯、萜品烯、(Z)-芳樟醇氧化物、异丙基甲苯、糠醛和5-甲基呋喃醛均购自Aldrich(Milwaukee, WI)和Fluka(Buchs, Switzerland),纯度均99%以上。

1.3 顶空固相微萃取(HP-SPME)条件

取1 g果皮粉于15 mL样品瓶中,加入1 g NaCl和5 mL水,迅速用带有聚四氟乙烯隔垫瓶盖拧紧后置于磁力搅拌加热台上,40 °C加热搅拌30 min后,用已活化的PDMS/CAR/DVB萃取头吸附30 min。每个样品做2次重复。

1.4 GC-MS分析条件

Agilent 6890GC和Agilent 5975B MS(Agilent,美国)联用分析样品中的挥发性物质;所采用的毛细管柱为HP-INNOWAX 60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m(J & W scientific,美国)。载气为高纯氦气,流速1 mL/min;固相微萃取手动进样,采用不分流模式,插入气相色谱的进样口,进样口温度为250 °C,热解析5 min。柱温箱的升温程序为:40 °C保持5 min,然后以3 °C/min的速度升温至200 °C,保持2 min。质谱接口温度为280 °C,离子源温度为230 °C,电离方式EI,离子能量70 eV,质量扫描范围为20~350 u。

1.5 定性及定量方法

定性:依据已有标样的色谱保留时间和质谱信息、NIST05标准谱库比对结果以及相关文献参考定性。

定量:混标法制备标准曲线(质谱选择离子扫描的峰面积/化合物的浓度)定量分析;没有标样的挥发性物质根据化学结构相似、碳原子数相近的原则进行近似定量。

1.6 数据处理及统计分析

利用SPSS 16.0软件进行差异显著性分析(Duncan's),最低显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同柚品种间挥发性物质种类比较

在5个品种果皮中共检测到75种挥发性物质,其中萜烯类物质种类最多,达55种,占全部数量的75.34%;其次为醛类7种,占8.22%;酯类4种;醇类3种;此外还含有酮类、苯衍生物和萘化合物(表1)。

5个柚子品种果皮中所含相同的挥发性成分有14种,主要为 β -月桂烯、柠檬烯、萜品烯、 α -蒎烯、罗勒烯,其次为香叶醛、己醛、石竹烯、松油醇、乙酸香叶酯等。

表1 不同品种柚子果皮中挥发性物质的质量分数

Table 1 Mass fraction of volatile compounds in flavedos of various pummelos

种类	物质	脆香甜柚	琯溪蜜柚	沙田柚	胡柚	玉环柚
1) 萜类	大牻牛儿烯 B	20.48	—	—	tr	—
	4(14),11-桉叶二烯	—	—	—	0.51	—
	4-萜烯	—	—	—	—	20.42
	大牻牛儿烯 D	—	13.23 b	6.25 c	163.22 a	16.2 b
	Z,Z,Z-1,5,9,9-四甲基-1,4,7,-环十一碳三烯	—	—	9.86	—	—
	α -葎烯	—	22.78 b	tr	42.85 a	tr
	α -法呢烯	31.80 a	4.69 c	5.49 c	—	8.84 b
	α -蒎烯	475.86 a	301.21 c	213.97 c	255.75 b	226.21 c
	E-对薄荷烷-2-烯-1-醇	—	—	—	—	0.03
	Z-对薄荷烷-2-烯-1-醇	1.20 a	0.07 b	—	—	—
	α -去二氢菖蒲烯	—	0.26 a	tr	0.80 a	tr
	α -人参烯	8.61 a	2.37 b	3.99 b	—	—
	α -石竹烯	—	—	—	—	8.20
	α -衣兰油烯	—	—	—	—	4.76
	β -蒎烯	—	tr	95.69 a	86.09 a	43.90 b
	β -人参烯	—	—	—	3.58	—
	β -水芹烯	517.99	—	tr	—	tr
	β -月桂烯	6 024.49 a	6 108.93 a	685.63 c	159.59 d	3162.34 b
	γ -榄香烯	—	—	16.74b	117.805 a	—
	桉烯	—	308.08 a	—	17.01 b	tr
	玟烯	63.33 a	23.43 b	—	—	tr
	榄香烯	11.34 b	15.37 b	10.92 b	58.41 a	—
	罗勒烯	402.89 a	175.56 b	125.61 b	11.57 c	217.49 b
	柠檬烯	57.70 d	1 553.46 b	1 316.60 c	2 369.93 a	1 085.61 c
	柠檬烯环氧化物	—	—	0.03	—	—
	石竹烯	20.24 b	21.39 b	36.13 a	28.17 b	25.72 b
	古巴烯	16.7	—	—	—	—
	萜品烯	201.88 c	364.18 b	371.83 b	1 462.62 a	261.93 c
	香橙烯	—	tr	—	7.44 a	5.45 a
	氧化石竹烯	—	—	—	0.02	—
	异松油烯	23.20 a	—	—	18.11 a	6.43 b
	别罗勒烯	8.76 a	5.13 a	tr	tr	1.01 b
Z- β -法呢烯	—	—	—	27.87	—	
双环大香叶烯	—	—	—	14.49	—	
2,6-二甲基-2,6-辛二烯	tr	—	1.25 b	4.95 a	—	
β -蒎烯	—	—	—	102.26	—	
β -侧柏烯	23.08 b	—	107.76 a	17.01 b	—	
δ -榄香烯	—	61.37 b	36.45 c	139.76 a	tr	

续表

种类	物质	脆香甜柚	琯溪蜜柚	沙田柚	胡柚	玉环柚
	4-甲基-1-异丙基-环己烯	—	—	—	—	29.63
	4-亚甲基-1-(甲基乙基)-环己烯	—	—	1.82	—	—
	1,5,5-三甲基-6-亚甲基-环己烯	—	13.94	—	—	—
	香叶醛	170.07 a	102.68 b	65.20 c	6.97 d	74.69 c
	E-香茅醛	—	—	1.56 a	tr	2.27 a
	紫苏醛	tr	tr	1.45	tr	—
	法呢醇	—	—	0.06	—	—
	柠檬烯二醇	—	tr	—	tr	0.02
	τ -杜松醇	—	—	0.07 a	—	0.02 a
	橙花醇	3.23 a	1.73 b	1.01 b	0.02 c	0.92 b
	橙花叔醇	—	1.23 a	0.57 b	—	0.80 b
	香芹醇	—	0.27 a	0.94 a	0.07 b	0.06 b
	芳樟醇	2.68 b	3.64 a	3.93 a	—	2.01 b
	松油醇	0.72 c	7.76 a	1.43 c	0.83 c	3.50 b
	月桂烯醇	0.63 b	1.32 a	1.15 a	—	0.92 b
	紫苏醇	—	—	—	—	0.02
	诺卡酮	—	0.47 a	0.40 a	0.24 a	—
2)醛类	2-己烯醛	5.73	—	—	—	—
	己醛	38.49 a	17.52 c	20.95 b	31.79 a	24.55 b
	辛醛	0.99	—	—	—	tr
	壬醛	—	2.55 b	tr	5.24 a	1.30
	癸醛	15.37 a	5.47 b	11.86 a	11.65 a	tr
	苯甲醛	0.03 a	tr	tr	—	0.05 a
	E,E-2,4-山梨醛	—	—	—	tr	—
3)醇类	Z-3-己烯-1-醇	0.20	—	—	tr	—
	己醇	16.17	—	tr	—	tr
	辛醇	—	—	—	0.12	—
4)酯类	乙酸庚酯	—	—	—	57.21	—
	辛酸己酯	4.01	—	1.47	—	—
	乙酸香叶酯	1.49 b	tr	tr	24.43 a	0.74 c
	乙酸叶醇酯	—	0.89 b	tr	—	58.95 a
5)酮类	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.59	—	tr	—	tr
6)其他	邻异丙基苯	0.88	—	—	—	—
	对伞花烃	0.05 a	0.16 a	tr	0.09 a	tr
	5-甲基-2-异丙基-9-甲烯基-双环[4.4.0]癸-1-烯	13.26 b	8.64 c	—	43.46 a	tr
	百里酚	—	—	—	tr	—
	二丁基羟基甲苯	—	0.01	tr	tr	tr

注:tr,质量分数<0.01 mg/kg;“—”,未检测到。表中数值是2次测定的平均值,标准差均<10%;不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

不同品种中都含有其独特的挥发性成分。其中胡柚所含特有挥发性物质数量最多,达10种;其次为沙田柚和玉环柚,均为4种;脆香甜柚和琯溪蜜柚分别为3种和1种。脆香甜柚中 β -水芹烯的质量分数高达517.99 mg/kg,沙田柚和玉环柚虽含有 β -水芹烯,但质量分数低于0.01 mg/kg,而在琯溪蜜柚和胡柚中均未检出这种物质。琯溪蜜柚中的桉烯在胡柚中也可检出,但在其他3个品种中未检出。紫苏醛、Z,Z,Z-1,5,9,9-四甲基-1,4,7,-环十一碳三烯、 β -侧柏烯、柠檬烯环氧化物等化合物在沙田柚中独特含有。玉环柚中的4-萜烯、 α -石竹烯、E-对薄荷烷-2-烯-1-醇等在其他4个品种中未检出。从表1还可以看出,在柚子中鉴定出多种倍半萜烯化合物,如榄香烯、古巴烯、石竹烯、法呢烯等,而在甜橙、桔子等一些柑桔中,倍半萜烯化合物的种类较少^[2-4]。

不同品种柚果皮中挥发性物质种类和数量不同(表1)。挥发性物质数量最多的是玉环柚和胡柚,共检测到46种;其次为,沙田柚45种,琯溪蜜柚39种,脆香甜柚最少为36种。5个品种中除胡柚外所含数量最多的是萜烯类物质,其次为醛类,所含酮类最少,琯溪蜜柚和胡柚果皮中未检测到酮类物质。5个品种柚果皮中醇类、醛类和酯类的种类数目差别不大,其中醛类是除萜类外主要的呈香物质。

表2 不同品种柚果皮中挥发性成分各类物质质量分数的比较

Table 2 Comparison of mass fraction of different volatile compounds in flavedos of various pummelos mg/kg

柚子品种	萜类	醛类	醇类	酯类	酮类	其他	总量
脆香甜柚	8 086.84 a	60.59 a	16.37 a	5.50 c	0.59	14.18 b	8 184.06 a
琯溪蜜柚	9 114.48 a	25.54 c	—	0.89 d	—	8.80 c	9 149.70 a
沙田柚	3 123.77 c	32.81 c	tr	1.47 d	tr	tr	3 158.04 c
胡柚	5 117.91 b	48.68 b	0.12 b	81.64 a	—	43.54 a	5 291.88 b
玉环柚	5 209.37 b	25.89 c	tr	59.68 b	tr	tr	5 294.94 b

田类柚子香气质量分数最低。

3 讨论

柚果皮挥发油中主要成分是柠檬烯,在总挥发性物质中的质量分数一般在90%以上,而月桂烯含量比较低^[9-10],但谢建春等在浙江玉环柚果皮中检测到的月桂烯含量也较大^[11]。本研究分析的柚果皮中,除柠檬烯外,月桂烯的含量也较大。关于柠檬烯对柑橘汁香气的作用有着不同的观点。Tonder等^[12]指出柠檬烯对橙汁的香气有重要作用,而

2.2 不同柚品种间挥发性物质质量分数的比较

5个品种中,均以萜类为主要的挥发性成分,其中质量分数最高的是 β -月桂烯、柠檬烯、萜品烯、 α -蒎烯、罗勒烯,占整个挥发性物质的75%~90%。这5种挥发性物质的质量分数差异极显著。其次为醛类物质,主要是香叶醛和己醛。

从不同品种挥发性物质质量分数看,琯溪蜜柚和脆香甜柚的挥发性物质质量分数显著高于其他3个品种,沙田柚中挥发性物质质量分数最小。脆香甜果皮中的柠檬烯质量分数最小,而 α -蒎烯、罗勒烯的质量分数在5个品种中最高。胡柚的柠檬烯和萜品烯的质量分数显著高于其他4个品种。琯溪蜜柚的 β -月桂烯质量分数最高,与脆香甜柚无显著差异但远高于其他3个品种。醛类也是果皮中最主要的挥发性物质。脆香甜柚果皮中的醛类质量分数最高,其中香叶醛的贡献最大,香叶醛具有柠檬和薄荷的香味^[8]。玉环柚果皮中的酯类质量分数最高,起主要作用的是乙酸叶醇酯,占玉环柚酯类的98.78%。

表2示出不同品种柚果皮中挥发性成分各类物质的总量。可以看出,脆香甜柚、琯溪蜜柚和玉环柚的香气总质量分数较高,可能与这3种柚子同属于文旦类有关。胡柚是柚子与甜橙的杂交品种,虽然香气种类丰富,但香气质量分数没有文旦类高。沙

Marin等^[13]则认为尽管柠檬烯含量很高,但对橙汁的香气品质没有很大的影响。

甜橙等柑橘类果皮中检测到的挥发性物质高达70多种^[14],比在文旦和沙田类柚果皮中检测到的多,且这些柑橘类果皮中的主要香气物质是柠檬烯。本试验检测到玉环柚和胡柚的挥发性物质种类最多,胡柚中柠檬烯和萜品烯的含量显著高于其他4个柚子品种,这可能与胡柚是杂交柚有关。

5个品种中相同的14种香气物质的质量分数占总挥发性物质的75%以上,柠檬烯、月桂烯是柚

子果皮中含量最多的物质,也是柚子果皮的爽快香气的主要贡献者。各品种独特含有的挥发性物质含量很小,如醇类、醛类、酯类。另外,萘环类、呋喃类、苯环类等挥发性物质对香气的贡献作用有待研究。

目前国内外的研究主要集中在柚子皮油的提取方法及组成分析方面,不同品种柚果实的香气物质之间的比较研究甚少,对不同品种柚子的特征香气化合物未见报道。本研究中,1-己醇、2-己烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、大牻牛儿烯 B、 α -法呢烯、 β -水芹烯和古巴烯在脆香甜柚中独特含有且质量分数较高,其中 β -水芹烯高达 517.99 mg/kg,可认为是脆香甜柚的特征香气物质。琯溪蜜柚的桉烯(308.08 mg/kg)质量分数显著高于胡柚,且在其他 3 个品种中未检出,所以桉烯有可能作为琯溪蜜柚的重要特征香气。紫苏醛、Z,Z,Z-1,5,9,9-四甲基-1,4,7,7-环十一碳三烯、 β -侧柏烯、柠檬烯环氧化物等化合物在沙田柚中独特含有,但质量分数很小,是否可作为沙田柚的特征香气还需进一步研究。玉环柚中所特有的 4-萜烯、 α -石竹烯、E-对薄荷烷-2-烯-1-醇等在张捷莉的玉环柚果皮香气成分分析中也有过报道^[15],可认为是玉环柚的特征香气物质,4-萜烯、 α -石竹烯可以看作是玉环柚的特征香气。对胡柚特有挥发性成分进行分析并与已有研究结果比较表明,E,E-2,4-山梨醛、百里酚、辛醇在一种酸柑桔皮油中存在^[1],而其他柚品种并没有检测到,这可能是因为胡柚是柚子与甜橙自然杂交的后代,其挥发性成分比较复杂,具有柚子和甜橙的混合香气。

4 结 论

采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联机分析,从脆香甜柚、琯溪蜜柚、玉环柚、沙田柚、胡柚的果皮中共鉴定出 75 种挥发性化学成分,包括萜类、醛类、酯类、醇类、酮类、萘环类、苯衍生物等物质,其中萜类为主要挥发性成分,质量分数占挥发性物质的 75%以上。

胡柚和玉环柚果皮中挥发性物质种类最多达 46 种,脆香甜柚最少只有 36 种;琯溪蜜柚和脆香甜柚的总挥发性物质质量分数显著地高于其他 3 个品种,沙田柚的挥发性物质质量分数最小。各品种所含挥发性物质的种类和质量分数都有显著差异。

质量分数最高的 β -月桂烯、柠檬烯、萜品烯、 α -蒎烯、罗勒烯,5 种特征香气成分在果实中的质量分数各有不同。正是这些香气成分微妙的量比关系,

形成了果实各自独特的香气。

参 考 文 献

- [1] 杨荣华. 柚子果皮油挥发性成分的气相色谱-质谱分析[J]. 分析化学研究简报, 2001, 29(3): 313-316
- [2] 杨菜冬, 张晓鸣. 不同品种甜橙芳香物质的 SPME 分析[J]. 食品研究与开发, 2006(11): 162-166
- [3] Buiarelli F, Cartoni G P, Coccioli F, et al. Analysis of bitter essential oils from orange and grapefruit by high performance liquid chromatography with microbore columns[J]. Journal of Chromatography, 1996, 730(1): 9-16
- [4] 乔宇, 谢笔钧, 张弛, 等. 顶空固相微萃取-气质联用技术分析 3 种柑橘果的挥发性成分[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 699-704
- [5] 李庆, 蒲彪, 刘远鹏. 柑橘果实芳香物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2007, 28(3): 229-232
- [6] 邹建凯, 朱俞华. 常山胡柚香气成分研究[J]. 香料香精化妆品, 1997(2): 12-14
- [7] Song H L. Key odorants of jinhua ham headspace and their formation pathway[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2006, 6(1): 48
- [8] Nisperos-Carriedo M O, Shaw P E. Comparison of volatile flavor components in fresh and processed orange juices[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38: 1048-1052
- [9] Mondello L, Dugo P, Cavazza A, et al. Characterization of essential oil of pummelo (cv. chandler) by GC-MS, HPLC and physicochemical indices[J]. Journal of Essential Oil Research, 1996, 8(3): 311-314
- [10] Minh N T, Thanh L X, Une A, et al. Volatile constituents of Vietnamese pummelo, orange, tangerine and lime peel oils [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2002, 17(3): 169-174
- [11] 谢建春, 孙宝国, 郑雪贞, 等. 浙江“玉环天竺柚”果皮挥发性化学成分分析[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 75-78
- [12] Tonder D, Petersen M A, Poll L, et al. Discrimination between freshly made and stored reconstituted orange juice using GC odor profiling and aroma values [J]. Journal of Food Chemistry, 1998, 61: 223-229
- [13] Marin A B, Acree T E, Hotehkiss J H, et al. Gas chromatography-olfactometry of orange juice to access the effects of Plastic Polymers on aroma character[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40: 650-654
- [14] Aslaug H, Rouseff R L. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography, 2003, 998: 201-211
- [15] 张捷莉, 车奋勇, 李学成, 等. 玉环柚果皮中香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 480-482