

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.40630

涂勋良, 阳姝婷, 李亚波, 张利, 吕秀兰. 8个不同柠檬品种果皮香气成分的GC-MS分析[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 630~636
Tu XL, Yang ST, Li YB, Zhang L, Lü XL. Analysis of aromatic components from the peels of eight lemon varieties by GC-MS[J]. Plant Science Journal, 2016, 34(4): 630~636

8个不同柠檬品种果皮香气成分的GC-MS分析

涂勋良¹, 阳姝婷¹, 李亚波², 张利^{2*}, 吕秀兰^{1*}

(1. 四川农业大学园艺学院, 成都 611130; 2. 四川农业大学理学院, 四川雅安 625014)

摘要: 采用水蒸气蒸馏提取法并结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对柠檬8个品种果皮香气成分进行了检测和分析。结果显示, 从‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’、‘维拉弗兰卡’8个品种果皮中分别鉴定出31、31、33、34、32、33、32和32种主要成分, 分别占总峰面积的90.94%、93.42%、91.61%、91.02%、89.58%、88.11%、92.57%和92.09%; 柠檬8个品种中共有成分24种, 其中含量较高的有D-柠檬烯、 α -松油醇、 γ -松油烯、 β -蒎烯、松油烯-4-醇等; 柠檬8个品种所含成分种类、相对含量间存在差异, 可作为区分这8个品种的重要特征。本研究结果可为柠檬果皮的综合利用及品种选育提供理论依据。

关键词: 柠檬; 香气成分; 气相色谱-质谱联用; 保留指数

中图分类号: Q946.85

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2016)04-0630-07

Analysis of Aromatic Components from the Peels of Eight Lemon Varieties by GC-MS

TU Xun-Liang¹, YANG Shu-Ting¹, LI Ya-Bo², ZHANG Li², LÜ Xiu-Lan^{1*}

(1. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. College of Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: We detected and analyzed the aromatic components of the peels from eight lemon varieties using steam distillation extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Results showed that 31, 31, 33, 34, 32, 33, 32, and 32 main compounds were identified in the peels of ‘Allen’, ‘Eureka’, ‘Feminello’, ‘Fino’, ‘Kwtdichen’, ‘Monachella’, ‘Verna’, and ‘Villafranca’ lemons, amounting to 90.94%, 93.42%, 91.61%, 91.02%, 89.58%, 88.11%, 92.57% and 92.09% of total peak areas, respectively. Eight lemons contained twenty-four common components, including D-limonene, α -terpineol, γ -terpinene, β -pinene, and terpinen-4-ol. There were some differences in component types and percentage contents of the eight lemons, which could be used as important features to distinguish varieties. This study provides a theoretical basis for the integrated utilization of lemon peels and selection of lemon varieties.

Key words: Lemon; Aromatic compounds; Gas chromatography-mass spectrometry; Retention index

收稿日期: 2016-03-11, 退修日期: 2016-05-07。

基金项目: 四川省科技支撑计划项目(2013FZ0036); 国家现代农业产业技术体系四川创新团队专项资金。

This work was supported by grants from the Key Technology Research and Development Program of the Science & Technology Department of Sichuan Province (2013FZ0036) and Special Fund of the National Modern Agricultural Industry Technology System of Sichuan Innovation Team.

作者简介: 涂勋良(1987-), 男, 博士研究生, 从事果树栽培理论与技术研究(E-mail: txl0103@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence): 吕秀兰(1964-), 女, 教授, 从事果树学研究(E-mail: xlvjj@163.com)。

柠檬(*Citrus limon* (L.) Burm. f.)系芸香科(Rutaceae)柑橘属(*Citrus* L.)常绿果树,兼具食用、药理、经济价值^[1-3]。柠檬的枝、叶、花、果均含有香气物质^[4]。香气物质是构成柠檬果品鲜食、加工品质的主要因素和评价柠檬果实风味品质的重要指标^[5]。柠檬果实香气主要是某些挥发性成分混合后的体现,包括萜烯类(单萜、倍半萜)和含氧化合物^[6],占其鲜重的0.5%~0.8%,其中柠檬烯含量约占香气总量的50%左右^[7]。含氧化合物的含量相对较少,但它却是柠檬果实香气的主要来源。

‘尤力克’是世界上栽培面积最广、产量最高的柠檬品种,在我国四川、云南、广东等地的种植规模较大。2015年,四川安岳年产‘尤力克’ 6×10^8 kg,年产值70亿元,年产量占全国80%以上,是国内最主要的柠檬主产区,被誉为“中国柠檬之乡”。其他柠檬品种(如‘阿伦’、‘费米耐劳’、‘菲诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’、‘维拉弗兰卡’、‘里斯本’、‘北京’柠檬)在安岳柠檬种质资源圃有零星栽培,但并没有主要推广种植。

气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术被广泛应用于分析检测各种挥发性化合物^[8]、农药残留^[9,10]、代谢产物^[11,12]、芳香族化合物^[13]等。何朝飞等^[14]采用固相微萃取(HS-SPME)并结合GC-MS对‘尤力克’、粗柠檬和‘北京’柠檬进行分析,发现柠檬品种间的品质存在一定差异,认为品质差异除了受环境影响外,基因型起决定性作用。赵文红等^[15]采用不同提取方法并结合GC-MS对干、鲜柠檬果皮进行了比较分析,发现有机溶剂乙醚萃取法优于水蒸气蒸馏法,前者鉴定出的酯和醛含量高于后者。目前,比较研究不同柠檬品种果实香气物质成分的研究甚少,采用GC-MS技术对不同柠檬品种果实香气成分进行测定,对完善和提高柠檬果品质评价及种质改良具有重要意义。本实验在前人研究的基础上,以柠檬8个不同品种为研究对象,采用水蒸气蒸馏法提取并结合GC-MS技术对其果皮香气成分进行分离鉴定,以期明确不同品种果皮香气的特征成分及差异,为柠檬副产物综合利用、产品深度开发和品种选育提供参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以四川安岳县柠檬资源圃内的‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’和‘维拉弗兰卡’(分别简称ALL、EUR、FEM、FIN、KWT、MON、VER和VIL,下同)8个柠檬品种为材料,每个品种选取5株长势、树形基本一致的成年结果植株,从每株树冠东、南、西、北、中5个方向采摘5个处于同一成熟度的成熟果实,按各品种进行混合,带回实验室,置于-20℃冰箱冷藏。采摘时间为2014年10月。

1.2 主要仪器及试剂

气相-质谱联用仪(美国Agilent 7890A/5975C-GC/MSD)、电子天平(Sartorius, BT124S)。正己烷(成都市科龙化工试剂厂,色谱纯)、氯化钠、无水硫酸钠(成都市科龙化工试剂厂,分析纯)、超纯水(自制)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

水蒸气蒸馏提取法:4分法将成熟期柠檬新鲜果实的果肉与果皮分离,准确称取果皮样品100 g,切成0.5 cm×0.5 cm的小块,捣碎后置于1000 mL圆底烧瓶中,加入3 g氯化钠,加水500 mL,摇匀,连接提取器与冷凝管,经电热套加热3 h后,结束蒸馏,搜集香精油,经无水硫酸钠干燥后,用适量正己烷溶解,过0.22 μm有机滤膜,上机检测。

1.3.2 气相色谱-质谱(GC-MS)条件

GC条件:HP-5 MS毛细管柱(30 m×0.32 mm,0.25 μm)、载气为He气(99.999%)、流速1.0 mL/min、进样体积1 μL、分流比25:1、升温程序:初始温度50℃保持5 min,以3℃/min升至230℃保持5 min。

MS条件:EI源(电子离子源)温度230℃、电子能量70 eV、MS四极杆温度150℃、接口温度280℃、扫描范围35~500 m/z、溶剂延迟3 min。

1.3.3 数据分析

保留指数计算:取正构烷烃混合标准品按1.2.2实验条件进样,记录各正构烷烃标准品的保留时间,计算各香气成分的保留指数(RI)。保留指数的线性升温公式为:

$$RI = 100 \times n + 100 \times \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} \circ$$

式中, t_x 、 t_n 和 t_{n+1} 分别为被分析成分和碳原子数处于 n 和 $n+1$ 之间的正构烷烃($t_n < t_x < t_{n+1}$)流出峰的保留时间(min)^[16]。

各色谱峰对应质谱图经人工解析,运用NIST 11谱库检索并结合保留指数(RI)及相关文献^[14,15]进行定性分析,采用峰面积归一法计算各成分的相对

含量。

相似度评价:通过SPSS 23.0软件对柠檬8个品种果皮香气成分的相对含量进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 柠檬香气成分的组成及含量分析

柠檬8个品种果皮香气成分总离子流图如图1所示,相对含量结果见表1。

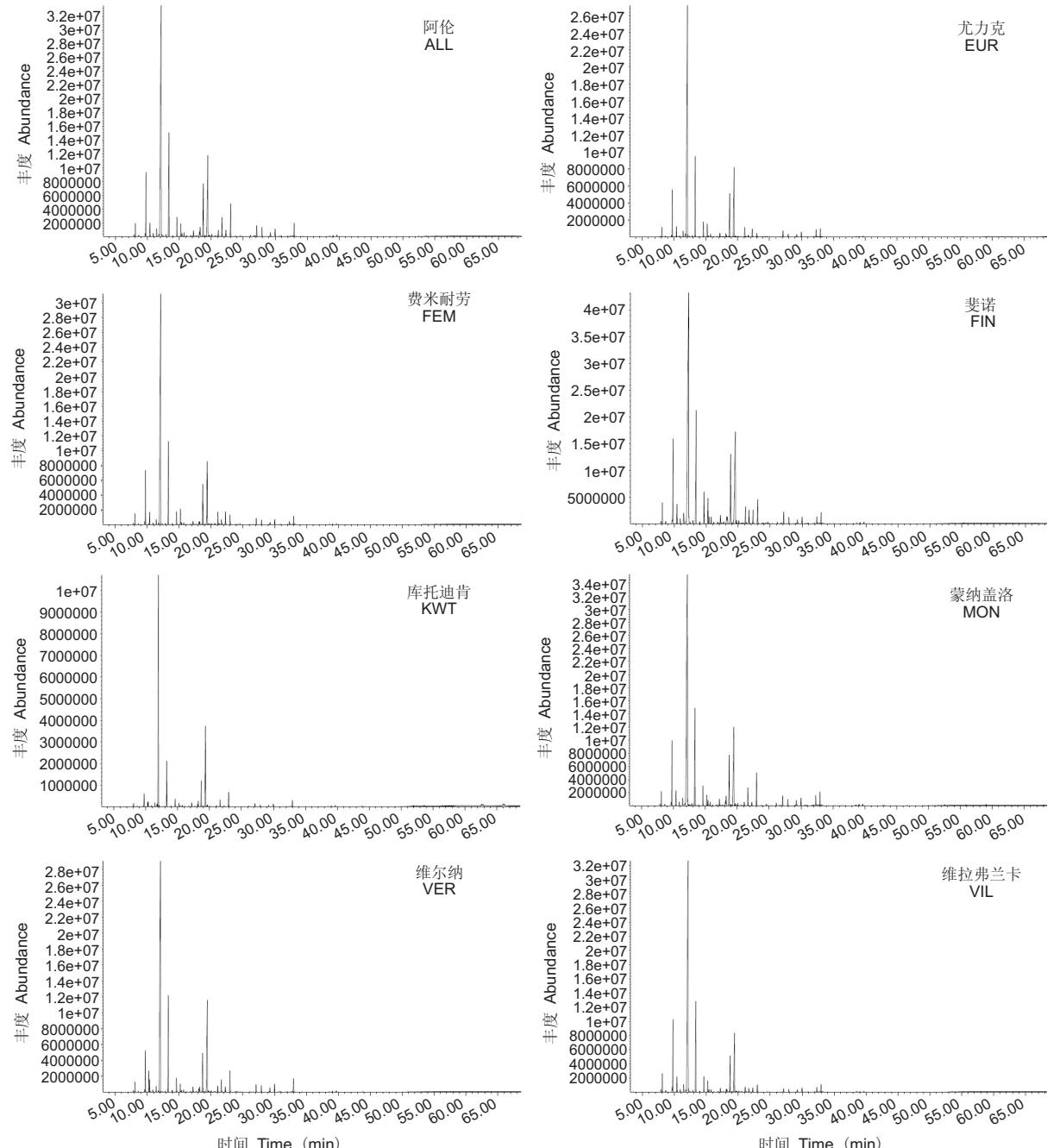


图1 柠檬8个品种果皮香气成分的总离子流色谱图

Fig. 1 Total ions chromatogram of aromatic components in the peels of eight lemon varieties

表1 柠檬8个品种果皮香气成分及相对含量
Table 1 Relative content of aromatic components in the peels of eight lemon varieties

编号 No.	化合物 Compounds	相对含量(%)		Relative content					
		ALL	EUR	FEM	FIN	KWT	MON	VER	VIL
萜烯类 Terpenes									
1	α-侧柏烯 α-Thujene	0.05	—	0.05	0.05	—	—	0.05	0.12
2	α-蒎烯 α-Pinene	0.72	0.67	0.69	0.78	0.69	0.36	0.61	1.24
3	桧烯 Sabinene	0.12	0.12	0.17	0.13	0.15	0.05	0.11	0.32
4	β-蒎烯 β-Pinene	4.45	4.08	4.42	4.80	4.18	1.80	3.10	6.20
5	β-月桂烯 β-Myrcene	0.79	0.76	0.86	0.84	0.83	0.63	0.83	1.09
6	α-水芹烯 α-Phellandrene	0.15	0.06	0.07	0.17	0.18	0.13	0.11	0.15
7	α-松油烯 α-Terpinene	0.52	0.48	0.39	0.65	0.50	0.47	0.41	0.62
8	D-柠檬烯 D-Limonene	45.01	52.32	53.28	44.78	46.79	45.55	46.29	53.81
9	异松油烯 Terpinolene	1.36	1.35	1.03	1.62	1.29	1.27	1.11	1.30
10	β-罗勒烯 β-Ocimene	0.06	0.04	—	0.07	0.07	—	—	0.06
11	γ-松油烯 γ-Terpinene	9.86	8.80	8.62	9.00	8.55	7.34	9.76	9.69
12	反-别罗勒烯 trans-Alloocimene	—	—	—	0.11	—	—	—	—
13	石竹烯 Caryophyllene	0.50	0.40	0.38	0.25	0.47	0.36	0.62	0.29
14	α-香柑油烯 α-Bergamotene	—	0.71	0.23	0.32	0.71	—	—	0.38
15	巴伦西亚橘烯 Valencene	0.91	0.73	0.68	0.49	0.88	0.94	1.11	0.59
16	β-没药烯 β-Bisabolene	—	0.03	0.03	0.03	—	0.11	0.06	0.03
17	雪松烯 Cedrene	0.23	0.18	0.12	—	0.29	—	0.29	—
醇类 Alcohols									
18	桉树醇 Eucalyptol	0.09	0.14	0.06	0.12	0.20	0.11	0.03	0.17
19	辛醇 1-Octanol	—	—	—	0.07	—	—	—	0.06
20	芳樟醇 Linalool	0.78	1.10	1.21	1.29	0.58	0.46	0.55	0.84
21	葑醇 Fenchol	0.19	0.18	0.11	0.24	0.16	0.16	0.12	0.14
22	β-松油醇 β-Terpineol	0.38	0.30	0.22	0.42	0.40	0.57	0.38	0.28
23	内-莰醇 endo-Borneol	0.33	0.30	0.20	0.39	0.29	0.30	0.26	0.22
24	松油烯-4-醇 Terpinen-4-ol	5.14	5.38	4.41	6.43	4.76	4.54	3.88	3.77
25	α-松油醇 α-Terpineol	12.40	11.93	9.62	13.03	11.56	16.51	16.24	8.32
26	橙花醇 Nerol	0.44	—	1.18	—	—	0.08	0.46	—
27	香茅醇 Citronellol	—	0.97	—	0.90	0.18	—	—	0.40
28	香叶醇 Geraniol	0.41	0.69	1.12	0.68	0.17	—	0.35	—
29	紫苏醇 Perillol	—	—	—	—	—	0.08	—	—
醛类 Aldehydes									
30	壬醛 Nonanal	0.18	0.07	0.14	0.28	0.32	0.09	0.10	0.18
31	癸醛 Decanal	—	0.04	0.05	—	—	—	0.06	0.05
32	橙花醛 Neral	1.44	0.11	0.37	0.63	1.24	1.21	0.99	0.25
33	柠檬醛 Citral	2.88	0.37	0.87	1.40	2.79	2.86	2.01	0.62
34	十一醛 Undecanal	—	—	—	—	0.06	—	—	—
35	月桂醛 Dodecanal	0.02	—	0.04	0.05	—	—	—	—
酮类 Ketones									
36	甲基庚烯酮 Methylheptenone	—	—	0.06	—	—	0.57	1.54	—
37	邻羟基苯乙酮 o-Acetylphenol	—	—	—	—	—	0.24	0.04	—
38	双环丙基酮 dicyclopropyl-Methanone	—	—	—	—	—	0.10	—	0.29
39	对甲基苯乙酮 Melilotal	0.02	—	—	0.05	0.15	0.07	—	—
40	诺卡酮 Nootkatone	—	—	—	—	—	0.06	—	—
酯类 Esters									
41	乙酸橙花酯 Neryl acetate	0.72	0.47	0.46	0.49	0.58	0.46	0.54	0.19
42	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	0.57	0.16	0.30	0.22	0.31	0.18	0.44	0.14
其他 Others									
43	对伞花烃 p-Cymene	0.22	0.48	0.17	0.24	0.20	0.37	0.12	0.28
44	对乙基枯烯 p-ethyl-Cumene	—	—	—	—	0.05	0.08	—	—
	总计 Total	90.94	93.42	91.61	91.02	89.58	88.11	92.57	92.09

注: ‘—’表示‘含量 < 0.01%’或‘未检出’。ALL、EUR、FEM、FIN、KWT、MON、VER 和 VIL 分别表示‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’和‘维拉弗兰卡’8个品种, 下同。

Notes: ‘—’ show ‘trace amount < 0.01%’ or ‘not detected’. ALL, EUR, FEM, FIN, KWT, MON, VER, and VIL represent ‘Allen’, ‘Eureka’, ‘Feminello’, ‘Fino’, ‘Kwtdichen’, ‘Monachella’, ‘Verna’, and ‘Villafranca’, respectively. Same below.

由表1可见,从柠檬8个品种中共鉴定出44种化合物,其中萜烯类17种、醇类12种、醛类6种、酮类5种、酯类2种、其他2种。从‘阿伦’中鉴定出31种香气成分,占总峰面积的90.94%;‘尤力克’中鉴定出31种香气成分,占总峰面积的93.42%;‘费米耐劳’中鉴定出33种香气成分,占总峰面积的91.61%;‘斐诺’中鉴定出34种香气成分,占总峰面积的91.02%;‘库托迪肯’中鉴定出32种香气成分,占总峰面积的89.58%;‘蒙纳盖洛’中鉴定出33种香气成分,占总峰面积的88.11%;‘维尔纳’中鉴定出32种香气成分,占总峰面积的92.57%;‘维拉弗兰卡’中鉴定出32种香气成分,占总峰面积的92.09%。由表2可见,柠檬8个品种果皮香气成分中化合物种类及相对含量间存在差异。

2.2 柠檬香气成分的特征成分及含量分析

柠檬8个品种均含有D-柠檬烯、 γ -松油烯、 β -蒎烯、异松油烯、 β -没药烯、 β -月桂烯、 α -香柑油烯、 α -水芹烯、 α -蒎烯、 α -松油烯、桧烯、 α -松油醇、松油烯-4-醇、芳樟醇、内-莰醇、葑醇、 β -松油醇、桉树醇、柠檬醛、橙花醛、壬醛、乙酸橙花酯、乙酸香叶酯和对伞花烃。该24种共有成分

分别占‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’和‘维拉弗兰卡’总峰面积的89.71%、90.76%、88.73%、88.69%、86.72%、87.90%、89.72%和90.70%,彼此间差异为0.43%~5.31%。‘斐诺’的特异性成分是反-别罗勒烯,占总峰面积的0.11%,‘库托迪肯’的特异性成分是十一醛,占总峰面积的0.06%,‘蒙纳盖洛’的特异性成分是紫苏醇和诺卡酮,分别占总峰面积的0.08%和0.06%。其余16种成分为2~7个品种所共有,分别占‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’和‘维拉弗兰卡’总峰面积的1.23%、2.66%、2.88%、2.22%、1.25%、1.62%、2.85%和1.39%,彼此间差异为0.02%~1.62%。共有成分种类表明8个不同品种柠檬香气具有一定的相似性,而共有成分含量差异和特异成分表明8个不同品种柠檬香气具有一定差异。

2.3 柠檬香气成分的相似度评价

以四川安岳县柠檬资源圃主栽品种‘尤力克’作为标准模板,选取其他7个品种与‘尤力克’相同的色谱峰进行色谱峰相似度评价,结果见表3。

表2 柠檬8个品种果实香气成分类别及相对含量
Table 2 Aromatic categories and relative content in the peels of eight lemon varieties

类别 Category	相对含量(%) Relative content							
	ALL	EUR	FEM	FIN	KWT	MON	VER	VIL
萜烯类 Terpenes	64.73	70.73	71.02	64.09	65.58	59.01	64.46	75.89
醇类 Alcohols	20.16	20.99	18.13	23.57	18.30	22.81	22.27	14.20
醛类 Aldehydes	4.52	0.59	1.47	2.36	4.41	4.16	3.16	1.10
酮类 Ketones	0.02	-	0.06	0.05	0.15	1.04	1.58	0.29
酯类 Esters	1.29	0.63	0.76	0.71	0.89	0.64	0.98	0.33
其他 Others	0.22	0.48	0.17	0.24	0.25	0.45	0.12	0.28

表3 柠檬8个品种香气成分相似度评价结果
Table 3 Similarity evaluation results of aromatic components in eight lemon varieties

相关系数 Correlations	EUR	FEM	KWT	FIN	ALL	VIL	VER	MON
EUR	1	0.8739	-0.3440	0.8178	0.0058	0.0700	-0.0122	0.2873
FEM	0.9986	1	0.2782	-0.7065	0.0067	0.2615	-0.1209	-0.1010
KWT	0.9982	0.9969	1	-0.0953	0.9133	0.7383	-0.8565	0.9392
FIN	0.9970	0.9927	0.9974	1	0.4419	0.2341	-0.3492	0.1310
ALL	0.9964	0.9938	0.9990	0.9984	1	-0.7027	0.9154	-0.8683
VIL	0.9958	0.9987	0.9939	0.9890	0.9907	1	0.8224	-0.8739
VER	0.9915	0.9856	0.9941	0.9953	0.9961	0.9799	1	0.9344
MON	0.9891	0.9824	0.9921	0.9928	0.9929	0.9744	0.9980	1

注:左下角为相关,右上角为偏相关。

Note: Bottom left-hand corner shows correlation, upper right-hand corner shows partial correlation.

由色谱峰相似度计算结果可知, 柠檬8个品种的色谱峰相似度均大于0.97, 但不同品种间存在一定差异。与主栽品种‘尤力克’最接近的是‘费米耐劳’, 相似度达到0.9986, 与‘尤力克’相似度最远的是‘蒙纳盖洛’, 相似度为0.9891; 品种‘阿伦’与‘库托迪肯’相似度最高, 达到0.9990, 品种‘蒙纳盖洛’与‘维拉弗兰卡’相似度最低, 仅为0.9744。品种间的亲缘关系——遗传距离可进一步通过分子生物学验证。

3 讨论

萜烯类化合物是柑橘水果香气的最主要成分, 尤其是柠檬烯含量占到香气成分的50%左右^[7]。该类物质主要包括D-柠檬烯、 γ -松油烯、 β -蒎烯、异松油烯等, 其中D-柠檬烯在8个不同品种中含量较高(44.78%~53.81%), 是其重要香气成分, 但比何朝飞等^[14]、Lota等^[17]对柠檬香气成分研究得到的含量高, 这可能与栽培条件、材料选取、提取方法等^[18]有关。 γ -松油烯、 β -蒎烯的含量与品种(基因型)密切相关: γ -松油烯在‘维尔纳’中的相对含量最高, 达到9.76%, 而在‘库托迪肯’中只占7.34%; β -蒎烯在‘库托迪肯’中仅占1.80%, 而在‘维拉弗兰卡’中相对含量则高达6.20%, 为前者的3.44倍。

含氧类化合物主要有醛类、醇类、酯类和酮类。醇类是柑橘水果香气的重要成分, 该类物质主要包括 α -松油醇、松油烯-4-醇、芳樟醇等, 这些物质的含量与品种(基因型)有关: α -松油醇在‘维拉弗兰卡’、‘费米耐劳’中仅为8.32%和9.62%, 而在‘库托迪肯’中高达16.51%, 为前两者的1.98倍和1.72倍, 其他5个品种的含氧类化合物相对含量为11.56%~16.24%。

醛类含量远低于萜烯类化合物和醇类化合物含量, 但它却是柑橘水果香气的重要物质, 总醛的含量决定柠檬香气的质量。‘阿伦’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’的柠檬醛相对含量高于2.00%, 而‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘维拉弗兰卡’所含柠檬醛的相对含量未达到1.00%; 橙花醛是柠檬醛的同分异构体, 而‘阿伦’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’所含橙花醛的相对含量高于1.00%, 其他5个品种的相对含量均未达到1.00%。主栽品种‘尤力克’所含柠檬醛、橙花醛的相对含量在8

个品种中最低, 分别为0.37%和0.11%, 这也充分说明‘尤力克’不及其他7个品种的香气浓郁。

酯类也是柑橘水果香气的重要物质, 主要是乙酸橙花酯和乙酸香叶酯, 二者在8个品种中的相对含量为0.33%~1.29%, ‘阿伦’香气浓郁, 说明其含量明显高于‘维拉弗兰卡’。

酮类和其他香气成分种类及含量都不多, 在‘蒙纳盖洛’中酮类有5种, 相对含量为1.04%, 而在‘库托迪肯’中相对含量为1.58%。

萜烯类、醇类和醛类不仅是重要的香料来源, 而且有些成分还具有特殊的药理作用。酯类和酮类在柠檬8个不同品种果实香气中的含量相对较少, 但是酯类对柠檬果实香气质量的贡献较大, 从某种意义上也能反映出果实香气的浓郁程度。

4 结论

本研究采用水蒸气蒸馏法提取并结合GC-MS对柠檬8个品种果实香气成分进行了比较分析, 共鉴定出44种成分, 其中从‘阿伦’、‘尤力克’、‘费米耐劳’、‘斐诺’、‘库托迪肯’、‘蒙纳盖洛’、‘维尔纳’和‘维拉弗兰卡’中分别鉴定出31、31、33、34、32、33、32和32种成分, 占各自香气含量的90.94%、93.42%、91.61%、91.02%、89.58%、88.11%、92.57%和92.09%。主要成分是D-柠檬烯、 α -松油醇、 γ -松油烯、 β -蒎烯、松油烯-4-醇等, 其中共有成分24种, 共有成分含量间的差异和特异成分决定了8个不同品种柠檬香气的差异, 也可作为区分品种的重要特征。本研究结果对柠檬果皮香气物质的开发、利用具有广阔的前景, 今后应进一步加强对柠檬香气成分的研究, 不断筛选出优质香气的柠檬品种。

参考文献:

- [1] Oboh G, Olasehinde TA, Ademosun AO. Essential oil from lemon peels inhibit key enzymes linked to neurodegenerative conditions and pro-oxidant induced lipid peroxidation [J]. *J Oleo Sci*, 2014, 63(4): 373~381.
- [2] Pergola M, D'Amico M, Celano G, Palesea AM, Scuderi A, Vitab GD, Pappalardob G, Inglese P. Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: an energy, economic and environmental analysis [J]. *J Environ Manage*, 2013, 128: 674~682.
- [3] Valgimigli L, Gabbanini S, Berlini E, Lucchi E, Beltramini C, Bertarelli YL. Lemon (*Citrus limon*, Burm. f.) essential oil

- oil enhances the trans-epidermal release of lipid-(A, E) and water-(B6, C) soluble vitamins from topical emulsions in reconstructed human epidermis [J]. *Int J Cosmetic Sci*, 2012, 34(4): 347–356.
- [4] 范媛媛, 游元元. 尤力克柠檬果皮与叶中挥发油的GC-MS比较 [J]. 西南农业学报, 2014, 27(2): 729–733.
- Fan YY, You YY. Comparison of peel oil with leaf oil of Eureka lemon by GC-MS [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(2): 729–733.
- [5] 李晓颖, 谭洪花, 房经贵, 韩键, 宋长年. 果树果实的风味物质及其研究 [J]. 植物生理学报, 2011, 47(10): 943–950.
- Li XY, Tan HH, Fang JG, Han J, Song CN. Flavor compounds in fruits and research on them [J]. *Plant Physiology Journal*, 2011, 47(10): 943–950.
- [6] Moufida S, Marzouk B. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange [J]. *Phytochemistry*, 2003, 62(8): 1283–1289.
- [7] Ahmad MM, Iqbal Z, Anjum FM, Sultan JI. Genetic variability to essential oil composition in four citrus fruit species [J]. *Pak J Bot*, 2006, 38(2): 319–324.
- [8] 蔡君龙, 卢金清, 黎强, 郭胜男, 戴艺. 不同产地丁香挥发性成分分析 [J]. 植物科学学报, 2015, 33(2): 251–258.
- Cai JL, Lu JQ, Li Q, Guo SN, Dai Y. Analysis on volatile components of *Caryophylli Flos* from different habitats [J]. *Plant Science Journal*, 2015, 33(2): 251–258.
- [9] Wang Y, Miao X, Wei H, Liu D, Xia G, Yang X. Dispersive liquid-liquid microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry for the determination of multiple pesticides in Celery [J]. *Food Anal Method*, 2016, 9(8): 2133–2141.
- [10] Sugitate K, Saka M, Serino T, Nakamura S, Toriba A, Hayakawa K. Matrix behavior during sample preparation using metabolomics analysis approach for pesticide residue analysis by GC-MS in agricultural products [J]. *J Agr Food Chem*, 2012, 60(41): 10226–10234.
- [11] Cortes N, Alvarez R, Osorio EH, Alzatec F, Berkovd S, Osorio E. Alkaloid metabolite profiles by GC/MS and acetylcholinesterase inhibitory activities with binding-mode predictions of five Amaryllidaceae plants [J]. *J Pharmaceutical Biomed*, 2015, 102: 222–228.
- [12] Sharma RJ, Gupta RC, Bansal AK, Singh IP. Metabolite fingerprinting of *Eugenia jambolana* fruit pulp extracts using NMR, HPLC-PDA-MS, GC-MS, MALDI-TOF-MS and ESI-MS/MS spectrometry [J]. *Nat Prod Commun*, 2015, 10(6): 969–976.
- [13] 常景玲, 邓小莉, 张军霞, 赵旭娜, 杨建磊. 气相色谱质谱联用技术对桔梗籽油亚麻酸和亚油酸含量的分析 [J]. 植物科学学报, 2009, 27(5): 564–568.
- Chang JL, Deng XL, Zhang JX, Zhao XN, Yang JL. GC-MS analysis of linolenic acid and linoleic acid in Chinese *Trichosanthes kirilowii* oil [J]. *Plant Science Journal*, 2009, 27(5): 564–568.
- [14] 何朝飞, 冉玥, 曾林芳, 张雪莲, 张耀海, 王成秋, 焦必宁. 柠檬果皮香气成分的GC-MS分析 [J]. 食品科学, 2013, 34(6): 175–179.
- He CF, Ran Y, Zeng LF, Zhang XL, Zhang YH, Wang CQ, Jiao BN. Analysis of aroma components from peels of different lemon varieties by GC-MS [J]. *Food Science*, 2013, 34(6): 175–179.
- [15] 赵文红, 黄桂颖, 陈悦娇, 白卫东, 马应丹, 黄智均. 柠檬果皮精油挥发性成分的GC-MS分析 [J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 113–115.
- Zhao WH, Huang GY, Chen YJ, Bai WD, Ma YD, Huang ZJ. Analysis of volatile constituents in peel oil of lemon by GC-MS [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(12): 113–115.
- [16] Isidorov VA, Krajewska U, Vinogradova VT, Vetchinnikovab LV, Fuksmanb IL, Bal K. Gas chromatographic analysis of essential oil from buds of different birch species with preliminary partition of components [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2004, 32(1): 1–13.
- [17] Lota ML, Serra DDR, Tomi F, Jacquemond C, Casanova J. Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species [J]. *J Agr Food Chem*, 2002, 50(4): 796–805.
- [18] 陈计峦, 周珊, 闫师杰, 马永昆, 胡小松. 丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析 [J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 301–303.
- Chen JL, Zhou S, Yan SJ, Ma YK, Hu XS. Analysis of aroma components of Fengshui, Dangshan and Nanguo pear by SPME/GC/MS [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(2): 301–303.

(责任编辑: 张平)