

不同产地尤力克柠檬果皮精油成分对比分析

Comparative analysis of essential oil components in Eureka Lemon peel from different producing areas by GC—MS

涂勋良¹ 吕秀兰¹ 李亚波² 阳舒婷¹ 张利²

TU Xun-liang¹ LV Xiu-lan¹ LI Ya-bo² YANG Shu-ting¹ ZHANG Li²

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

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

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

摘要:对四川(C_EUR)、云南(D_EUR)、广东(Y_EUR)3个柠檬主要产地的新鲜尤力克果皮精油进行比较研究,采用水蒸气蒸馏法提取精油,结合 GC—MS 进行测定分析。结果表明:C_EUR、D_EUR 和 Y_EUR 柠檬果皮精油分别检测出 47, 41, 39 种成分, 占各自总峰面积的 98.47%, 98.74%, 97.64%。3 类柠檬样品均以萜烯类、醇类和醛类为主, 但醇类和醛类存在明显差异; 共有成分 20 种, 其中相对含量较高的有 D-柠檬烯、 γ -松油烯、 α -松油醇、松油烯-4-醇、柠檬醛; C_EUR、D_EUR 和 Y_EUR 分别含有特征成分 17, 9, 12 种。比较发现 3 类柠檬样品间所含成分种类和含量存在显著差异, 可作为彼此间相互区分的重要特征, 为 3 个产地柠檬的综合利用及产地溯源提供科学依据。

关键词:柠檬; 精油; 水蒸气蒸馏法; 气质联用

Abstract: The essential oil components in the fresh peels of Eureka Lemon from three main producing regions (Sichuan, Yunnan and Guangdong) were extracted by steam distillation extraction and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC—MS). The results indicated that 47, 41 and 39 kinds of compounds were identified in the peels of C_EUR, D_EUR, Y_EUR, and occupied 98.47%, 98.74% and 97.64% of total peak areas, respectively. Three tested samples gave priority to with terpenes, alcohols and aldehydes compounds, but alcohols and aldehydes existed obvious difference. Among the contents of 20 common components was relatively higher, including D-Limonene, γ -Terpinene, α -Terpineol, Terpinen-4-ol and Citral. There were 17, 9, 12 kinds of diagnostic components in C_EUR, D_EUR and Y_EUR, respectively. In comparison, there were significant differences in components types and content among the three Lemon samples, which can be used as the important

characteristics for each other and provided scientific basis for integrated utilization and geographical origin of lemon in three producing areas.

Keywords: lemon; essential oil; steam distillation extraction; gas chromatography-mass spectrometry

柠檬(*Citrus limon*)的枝、叶、花、果均含有特殊芳香物质——精油^[1]。果皮精油含量占其鲜重的 0.5%~2.0%, 主要由单萜与倍半萜烯类化合物及其含氧衍生物如醇类、醛类、酯类、酮类和酸类等物质组成, 其中柠檬烯是精油成分的主要成分, 占总量的 50% 左右; 醇类、醛类与酯类等含氧化合物的含量较少, 却是柑橘果皮香气的主要来源^[2-3]。柠檬精油是调配食用香精和日用香精的优质原料, 有预防阿兹海默病^[4]、抑郁、焦虑^[5-6]、神经失调^[7]、静脉曲张、调节神经元^[8-9]等功效。

尤力克柠檬原产美国, 是世界上栽培面积最广、产量最多的品种, 中国四川、云南、广东等地均有种植。四川安岳是尤力克柠檬最主要产区, 被誉为“中国柠檬之乡”。到 2015 年, 安岳柠檬年产量 60 万 t, 年鲜果加工 20 万 t, 年产值达 70 亿元, 其产量和市场占有率均占全国 80% 以上^[10]。柠檬果实主要用于鲜销, 中国少有对不同产地的柠檬进行高端产品开发和利用的。赵文红等^[11]比较了水蒸气蒸馏法和有机溶剂萃取法提取干、鲜柠檬果皮精油, GC—MS 测定结果表明有机溶剂乙醚萃取法更有利于果皮精油的提取, 其主要成分为柠檬烯, 含量超过 50%, 含氧化合物以香茅醛、橙花醛为主。何朝飞等^[12]采用顶空固相微萃取结合 GC—MS 对不同品种柠檬进行研究, 结果表明 3 个不同品种柠檬均含有萜烯类、醇类、醛类、酯类和酮类等物质; 此外, 柠檬品质差异除了受环境影响外, 基因型起决定性作用。本试验拟选取四川、云南、广东 3 个柠檬主产地的尤力克新鲜果实为材料, 采用水蒸气蒸馏法提取果皮精油, 并结合 GC—MS 进行比较分析, 旨在为 3 个产地柠檬资源的综合利用、柠檬精油开发、兼用型、专用型柠檬资源选育及产地溯源提供参考。

基金项目:四川省科技支撑计划项目(编号:2013FZ0036)

作者简介:涂勋良, 男, 四川农业大学在读博士研究生。

通讯作者:吕秀兰(1964—), 女, 四川农业大学教授, 博士生导师。

E-mail: xllvjj@163.com

收稿日期:2015-11-22

和依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

柠檬:2014 年 8 月至 10 月,根据四川安岳、云南瑞丽、广东河源 3 个产地的新鲜尤力克柠檬成熟情况,适时采摘适量的成熟果实样品(分别以 C_EUR、D_EUR、Y_EUR 表示),带回实验室-20 ℃保鲜贮藏;

正己烷:色谱纯,成都市科龙化工试剂厂;

氯化钠、无水硫酸钠:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

超纯水:自制。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:BT124S 型,北京赛多利斯仪器系统有限公司;

气相—质谱联用仪:7890A/5975C—GC/MSD 型,美国安捷伦科技公司。

1.2 试验方法

1.2.1 精油提取 各自选取大小均匀、成熟度一致的 3 类新鲜尤力克柠檬样品 10 个,4 分法将其果肉与果皮分离,准确称取混合果皮样品 100 g,切成大小均匀的小块(0.5 cm×0.5 cm),用水蒸气蒸馏法提取柠檬果皮精油。置于 1 000 mL 圆底烧瓶中,加入 3 g 氯化钠,加水 500 mL,摇匀,连接挥发油提取器与冷凝管,经电热套加热 3 h 后,停止加热,缓慢放出提取器中的水,搜集精油,并用适量的正己烷溶解,经无水硫酸钠干燥,过 0.22 μm 的有机滤膜,待上机检测。每类样品重复试验 3 次。

1.2.2 GC—MS 分析

(1) 气相色谱条件:HP-5 MS 毛细管柱(30 m×0.32 mm,0.25 μm);升温程序:初始温度 50 ℃保持 5 min,以 3 ℃/min 升至 230 ℃保持 5 min;载气为高纯氮气,流速 1.0 mL/min;进样量 1 μL;分流比 25:1。

(2) 质谱条件:离子源为 EI,离子源温度 230 ℃;电子能量 70 eV;MS 四极杆温度 150 ℃;接口温度 280 ℃;扫描质量范围 35~500(*m/z*);溶剂延迟 3 min。

1.2.3 定性与定量方法

(1) 定性分析:运用图谱库 NIST 11 的标准质谱图库上检索匹配,并结合各成分的相对保留时间和相关文献^[11-12]进行定性。

(2) 定量分析:采用峰面积归一法进行定量,得到各成分的相对含量。

1.2.4 数据分析 采用 Excel 2013、SPSS 20.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同柠檬果皮精油主要成分分析

四川、云南、广东 3 个产地尤力克柠檬的 GC—MS 总离子流图(total icon chromatography, TIC)见图 1。各成分定性和定量结果见表 1。

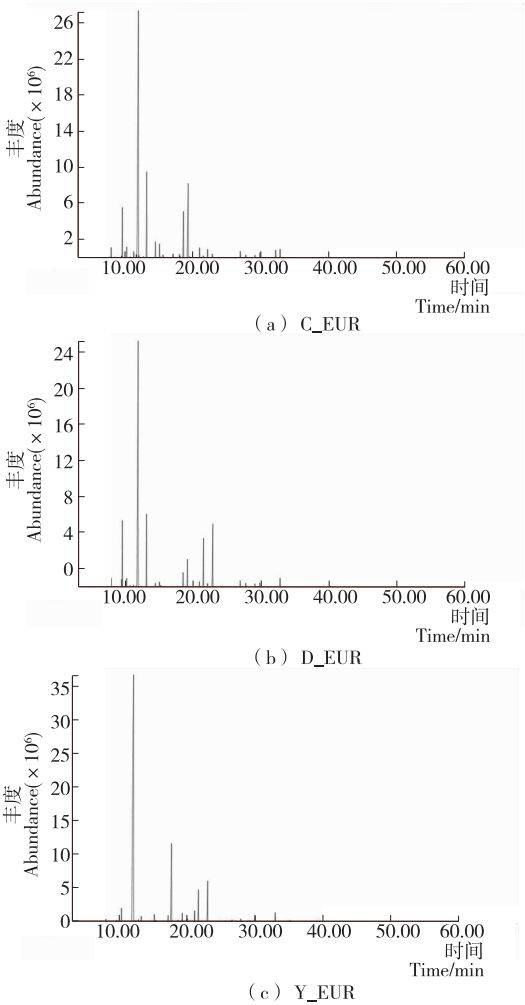


图 1 3 类柠檬果皮精油的总离子流图
Figure 1 Total ion chromatogram of peels essential oil in three types of Lemon

由表 1 可知,在 3 类尤力克柠檬果皮精油中共鉴定出 73 种成分,包括萜烯类、醇类、醛类、酮类、酯类等化合物。C_EUR 检测出 47 种成分,占总峰面积 98.47%,其中含量较高的有 *D*-柠檬烯(51.86%)、 α -松油醇(12.27%)、 γ -松油烯(9.01%)、松油烯-4-醇(5.63%)、 β -蒎烯(4.31%)、异松油烯(1.53%)、芳樟醇(1.26%)等。

D_EUR 检测出 41 种成分,占总峰面积 98.74%,其中含量较高的有 *D*-柠檬烯(50.03%)、柠檬醛(10.25%)、 γ -松油烯(8.06%)、顺-柠檬醛(6.87%)、(-)- α -蒎烯(7.31%)、 α -松油醇(3.41%)、松油烯-4-醇(1.73%)、 β -没药烯(1.14%)等。

Y_EUR 检测出 39 种成分,占总峰面积 97.64%,其中含量较高的有 *D*-柠檬烯(65.29%)、香茅醛(11.97%)、柠檬醛(5.57%)、顺-柠檬醛(3.91%)、香茅醇(1.37%)、 β -蒎烯(1.19%)等。3 类柠檬精油中的主要成分种类不一,相对含量也存在明显差异。

2.2 不同柠檬果皮精油特征成分分析

3 类柠檬果皮精油特征成分见表 2,共有成分见图 2(在图中未列入 *D*-柠檬烯)。

由表 2 可知,C_EUR、D_EUR、Y_EUR 分别含有特征成分 17,9,12 种。*D*-柠檬烯是 3 类柠檬果实中相对含量(50.03%~65.29%)最高的共有成分,但它对柠檬精油的整体香气影响较小^[3,13]。由图 2 可知,3 类柠檬果皮精油中的共有成分 19 种为: α -松油醇、 γ -松油烯、松油烯-4-醇、 β -蒎烯、柠檬醛、顺-柠檬醛、芳樟醇、橙花醇、香叶醇、 α -蒎烯、 β -没药烯、乙酸橙花酯、 α -香柑油烯、石竹烯、顺- β 罗勒烯、壬醛、葵醛、顺- α -没药烯、十一醛。3 类柠檬精油中除顺- α -没药烯的相对含量没有差异外,其余 18 种共有成分的相对含量均存在明显差异。特征成分导致不同柠檬精油品质不一,共有成分的存在说明不同柠檬精油具有某种程度的相似性。

表 1 尤力克柠檬果皮精油成分及相对含量[†]
Table 1 The chemical composition and relative contents of
peels essential oil of Eureka Lemon

种类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%		
			C_EUR	D_EUR	Y_EUR
萜烯类	7.869	α -侧柏烯	0.13 ^a	0.18 ^a	—
	8.095	α -蒎烯	0.79 ^b	0.86 ^a	0.24 ^c
	8.642	茨烯	0.11	—	—
	9.639	β -松油烯	0.12	—	—
	9.742	(-)- β -蒎烯	—	7.31 ^a	0.23 ^b
	9.781	β -蒎烯	4.31 ^a	0.89 ^c	1.19 ^b
	10.386	β -水芹烯	0.93 ^a	0.76 ^a	—
	10.895	α -水芹烯	0.13	—	—
	11.429	α -异松油烯	0.62 ^a	0.34 ^b	—
	12.111	<i>D</i> -柠檬烯	51.86 ^b	50.03 ^b	65.29 ^a
	12.427	反- β 罗勒烯	0.06 ^b	—	0.14 ^a
	12.871	顺- β 罗勒烯	0.13 ^b	0.06 ^c	0.23 ^a
	13.334	γ -松油烯	9.01 ^a	8.06 ^b	0.52 ^c
	14.609	异松油烯	1.53	—	—
	14.596	(+)-4-萜烯	—	0.53 ^a	0.08 ^b
	16.166	葑烯	0.07	—	—
	16.771	2-萜烯	0.06	—	—
	21.322	薰衣草三烯	0.08	—	—
	29.271	石竹烯	0.30 ^b	0.55 ^a	0.24 ^c
	29.999	α -香柑油烯	0.55 ^b	0.06 ^c	0.67 ^a
	30.913	(E)- β -金合欢烯	0.06 ^a	0.06 ^a	—
	31.807	异喇叭烯	—	—	0.05
	31.987	异丁子香烯	0.10	—	—
	32.316	巴伦西亚橘烯	0.95	—	—
	32.444	γ -榄香烯	—	0.08 ^a	0.07 ^a
	32.747	顺- α -没药烯	0.08 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a
	32.979	β -没药烯	0.73 ^c	1.14 ^a	0.98 ^b
	33.268	(-)- α -人参烯	0.08	—	—
	38.649	γ -芹子烯	0.08 ^a	—	0.13 ^a
	39.699	α -没药烯	—	0.11	—
	39.705	α -雪松烯	0.11	—	—

种类	保留时间/min	化合物名称	相对含量/%		
			C_EUR	D_EUR	Y_EUR
醇类	12.175	桉树醇	0.14 ^a	0.07 ^a	—
	15.220	芳樟醇	1.26 ^a	0.62 ^c	0.71 ^b
	15.741	葑醇	0.29	—	—
	17.209	β -松油醇	0.49	—	—
	17.936	异蒲勒醇	—	—	0.70
	17.634	香茅醇	—	0.12	—
	18.129	(+)-茨醇	—	0.08	—
	18.142	endo-茨醇	—	0.23	—
	18.149	异茨醇	0.63	—	—
	18.316	(-)-异茨醇	-	—	0.06
	18.741	松油烯-4-醇	5.63 ^a	1.73 ^b	0.24 ^c
	19.159	$\alpha,\alpha,4$ -三甲基- 苺醇	0.05	—	—
	19.436	α -松油醇	12.27 ^a	3.41 ^b	0.94 ^c
	19.668	γ -松油醇	0.21	—	—
	20.607	反-香芹醇	—	—	0.11
	21.103	橙花醇	0.97 ^a	0.82 ^b	0.33 ^c
	21.129	香茅醇	—	—	1.37
	22.294	香叶醇	0.88 ^a	0.62 ^b	0.09 ^c
	25.692	8-羟基新薄荷醇	—	—	0.14
	35.148	橙花叔醇	—	—	0.21
醛类	39.081	(-)-异长叶醇	—	0.08	—
	13.926	辛醛	—	0.28 ^a	0.13 ^b
	15.413	壬醛	0.11 ^c	0.31 ^a	0.21 ^b
	17.73	香茅醛	—	—	11.97
	20.06	癸醛	0.12 ^b	0.15 ^b	0.38 ^a
	21.663	顺-柠檬醛	0.26 ^c	6.87 ^a	3.91 ^b
	22.995	柠檬醛	0.56 ^c	10.25 ^a	5.57 ^b
	24.579	十一醛	0.07 ^b	0.05 ^c	0.10 ^a
	29.917	月桂醛	—	—	0.12
	36.982	十五醛	—	—	0.06
酮类	17.164	茨酮	—	0.13	—
	17.389	土曲霉酮	—	—	0.06
	19.011	长叶薄荷酮	—	0.17 ^a	0.10 ^a
	37.446	苯甲酮	—	0.06	—
	26.619	丁酸香茅酯	—	—	0.28
	27.115	乙酸橙花酯	0.63 ^b	0.81 ^a	0.13 ^c
酯类	27.932	乙酸香叶酯	0.29 ^b	0.54 ^a	—
	11.789	对伞花烃	0.49 ^a	0.28 ^b	—
	18.561	环庚烷	0.08	—	—
	23.678	香芹酚	—	0.05	—
其他	24.334	百里酚	—	0.20	—
	26.632	萘烷	0.06	—	—
合计			98.47	98.74	97.64

[†] “—”表示含量<0.05%或未检出;小写字母表示 0.05 水平差异显著。

表 2 3 类柠檬精油特征成分比较

Table 2 The comparison of the diagnostic components in three types of Lemon essential oil

精油	特征成分
C_EUR	巴伦西亚橘烯、异茨醇、葑醇、 α -水芹烯、 β -松油醇、异松油烯、 γ -松油醇、 α -雪松烯、苾烯、 β -松油烯、异丁子香烯、葑烯、薰衣草三烯、2-萜烯、 $\alpha,\alpha,4$ -三甲基-苾醇、环庚烷、萘烷
D_EUR	α -没药烯、香茅醇、(+)-茨醇、endo-茨醇、(-)-异长叶醇、百里酚、香芹酚、苾酮、苯甲酮
Y_EUR	香茅醛、香茅醇、异蒲勒醇、橙花叔醇、8-羟基新薄荷醇、月桂醛、反-香芹醇、(-)-异茨醇、异喇叭烯、土曲霉酮、十五醛、丁酸香茅酯

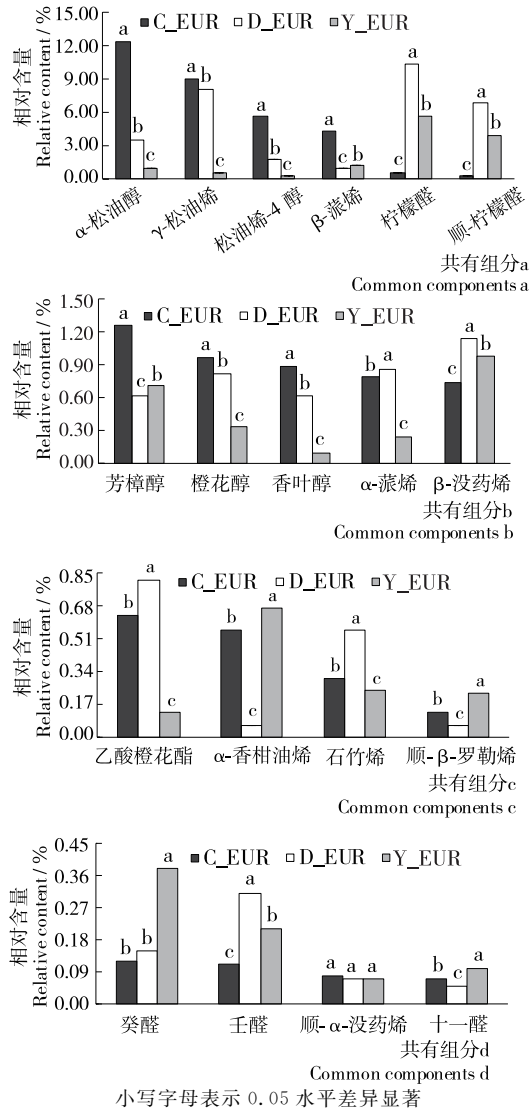


图 2 3 类柠檬精油共有成分比较[†]

Figure 2 The comparison of common components in three types of Lemon essential oil

2.3 不同柠檬果皮精油成分分类分析

由表 3 可知,C_EUR、D_EUR、Y_EUR 主要以萜烯类、醛类、酮类为主,但醇类和醛类含量存在明显差异。萜烯类

含量为 70.13%~72.98%,在 3 类柠檬中没有显著差异;醇类含量为 4.90%~22.82%,在 3 类柠檬中存在显著差异,且 C_EUR 的含量分别是 D_EUR 和 Y_EUR 的 2.93 和 4.66 倍;醛类含量为 1.12%~22.32%,在 3 类柠檬中存在较大差异,且 D_EUR、Y_EUR 的含量分别是 C_EUR 的 15.74 倍和 19.92 倍;酯类含量为 0.13%~1.35%,远不及萜烯类、醇类和醛类,但在 3 类柠檬中存在显著差异,依次为: C_EUR>D_EUR>Y_EUR;在 D_EUR、Y_EUR 中酮类含量分别为 0.36%,0.16%,C_EUR 未检测出酮类成分;在 C_EUR、D_EUR 中其他含量分别为 0.63%,0.53%,Y_EUR 未检测出其他成分。不同种类之间含量的差异会导致 3 类柠檬果实香气的不同浓郁程度。

表 3 尤力克柠檬果皮精油成分类别及其相对含量[†]

Table 3 The components categories and relative contents of peels essential oil in Eurake Lemon

种类	成分数量			相对含量/%		
	C_EUR	D_EUR	Y_EUR	C_EUR	D_EUR	Y_EUR
萜烯类	26	17	15	72.98 ^a	71.09 ^a	70.13 ^a
醇类	11	10	11	22.82 ^a	7.78 ^b	4.90 ^c
醛类	5	6	9	1.12 ^c	17.63 ^b	22.32 ^a
酮类	—	3	2	—	0.36 ^a	0.16 ^b
酯类	2	2	2	0.92 ^b	1.35 ^a	0.13 ^c
其他	3	3	—	0.63 ^a	0.53 ^b	—

[†] 小写字母表示 0.05 水平差异显著。

3 讨论

不同柑橘种类、品种的精油成分差异主要由萜烯类和含氧化合物综合决定。萜烯类(包括单萜和倍半萜)是尤力克柠檬果实精油的最主要成分,占 70% 以上。大多数萜烯类是中药的有效成分,同时也是重要的天然香料,是食品和日化工业不可缺少的原料。其中 D-柠檬烯含量最高,但不及 Lota 等^[14] 所测结果。它具有抗氧化^[15]、抑菌^[16]、抗癌^[17-18] 等多种生理活性,也常用于食品^[19] 及香料工业,而柠檬是天然 D-柠檬烯的重要来源。 γ -松油烯、 β -蒎烯、 α -蒎烯、 β -没药烯是另外 4 种含量较多的成分,这与何朝飞^[12]、Lota^[14] 等的结果相类似。

含氧类化合物主要有醇类、醛类、酮类和酯类。醇类是柑橘属水果香气的重要成分,C_EUR 中含量较多的是 α -松油醇、松油烯-4-醇、芳樟醇、橙花醇;D_EUR 中含量较多的是 α -松油醇、松油烯-4-醇、橙花醇;Y_EUR 中含量较多的是香茅醇、 α -松油醇、芳樟醇。 α -松油醇是柠檬烯的降解产物,广泛用于医药^[20]、香料工业;松油烯-4-醇、橙花醇、芳樟醇常用于香料工业^[21]。

醛类是柠檬果实风味的主要物质,总醛的含量决定柠檬果皮精油的质量。醛类还是有机合成中的重要原料,而有些醛自身就可作药物和香料。D_EUR 的总柠檬醛含量最高达到 17.12%;Y_EUR 香茅醛含量最高达到 11.97%,总柠檬醛含量为 9.48%;D_EUR 和 Y_EUR 的总柠檬醛含量是 C_EUR 的 20.88 倍和 12.00 倍。柠檬醛具有多种生理活性^[22-24],也用于香精^[25] 工业;香茅醛用于配制食用香精与

合成薄荷醇。

酯类和酮类在尤力克柠檬果皮精油中的含量相对较少,但酯类对柠檬果皮精油品质的贡献较大,从某种程度上能反应出果实香气的浓郁。因此,四川、云南、广东 3 个产地可以根据当地柠檬自身特色和市场需求,发展柠檬产业,有目的性的研发高端产品,提高 3 类柠檬果实品质和果品综合利用效率。

4 结论

以四川、云南、广东 3 个产地新鲜尤力克柠檬果实为材料,采用水蒸气蒸馏法提取,并用 GC—MS 法在柠檬果皮中共检测出 73 种精油成分,其中萜烯类 31 种、醇类 22 种、醛类 9 种、酮类 4 种、酯类 3 种、其他 4 种,萜烯类含量依次为 72.98%,71.09%,70.13%,醇类含量依次为 22.82%,7.78%,4.90%,醛类含量依次为 1.12%,17.63%,22.32%。除去 3 类柠檬中含量最高的 *D*-柠檬烯,C_EUR 的 α -松油醇含量为 12.27%,D_EUR 的柠檬醛含量为 10.25%,Y_EUR 的香茅醛含量为 11.97%。3 类柠檬精油检测出共有成分 20 种,主要是 *D*-柠檬烯、 α -松油醇、 γ -松油烯、松油烯-4-醇、 β -蒎烯、柠檬醛、顺-柠檬醛、芳樟醇、橙花醇、香叶醇、 α -蒎烯、 β -没药烯、乙酸橙花酯、 α -香柑油烯、石竹烯、顺- β -罗勒烯、壬醛、葵醛、顺- α -没药烯、十一醛。共有成分总量在 3 类柠檬中所占相对含量分别为 90.52%,87.36%,82.04%。在 3 类柠檬精油中分别检测出 17,9,12 种特有成分。不同产地柠檬精油的成分种类和含量存在明显差异,造成这些差异的原因可能与地理位置、生态气候及栽培条件等有关,具体原因有待进一步研究。

本研究表明 3 类柠檬果实精油成分差异较大,这些差异会引起 3 个产地尤力克柠檬果实品质不一致以及不同需求,而这 3 类柠檬样品都含各自特有的成分,是依靠其特有成分来赋予其独特的香型,还是依靠各成分间协调作用体现出特有香味,该问题还有待于进一步研究。有研究^[26]表明,通过光谱—化学计量学可以区分并归类不同地域的柠檬精油。因此,在现有基础上,收集各地多批次的柠檬样品,通过光谱—多元统计分析方法相结合,为柠檬果品深加工及综合利用创造更好的前景。柠檬精油研究仅能为尤力克柠檬的产地溯源提供部分依据;后续加以其他内含物质研究,结合精油加以综合评价,即可为尤力克柠檬的产地溯源提供更完整的参考依据。

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Jimbo D, Kimura Y, Taniguchi M, et al. Effect of aromatherapy on patients with Alzheimer's disease[J]. Psychogeriatrics, 2009, 9(4): 173-179.

[5] Ceccarelli I, Lariviere W R, Fiorenzani P, et al. Effects of long-term exposure of lemon essential oil odor on behavioral, hormonal and neuronal parameters in male and female rats[J]. Brain

Research, 2004, 1 001(1/2): 78-86.

[6] Pradeep C R, Kuttan G. Effects of the essential oil from citrus lemon in male and female rats exposed to a persistent painful stimulation [J]. Behavioural Brain Research, 2002, 136(2): 127-135.

[7] Kiecolt-glaser J K, Graham J E, Malarkey W B, et al. Olfactory influences on mood and autonomic, endocrine, and immune function[J]. Psychoneuroendocrinology, 2008, 33(3): 328-339.

[8] Komiya M, Takeuchi T, Harada E, et al. Lemon oil vapor causes an anti-stress effect via modulating the 5-HT and DA activities in mice [J]. Behavioural Brain Research, 2006, 172(2): 240-249.

[9] Nijijima A, Nagai K. Effect of olfactory stimulation with flavor of grapefruit oil and lemon oil on the activity of sympathetic branch in the white adipose tissue of the epididymis[J]. Experimental Biology and Medicine, 2003, 228(10): 1 190-1 192.

[10] 彭正海,冯齐友. 四川省安岳县柠檬产业生态发展路径探究 [J]. 商场现代化,2015(30): 102-103.

[11] 赵文红,黄桂颖,陈悦娇,等. 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.

[12] 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.

[13] 杨君,邵海燕,储国海,等. 基于 GC—MS 和 GC—O 联用法分析佛手精油关键香气成分[J]. 食品科学,2015,36(20): 194-197.

[14] Lota M L, Serra D D R, Tomi F, et al. Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(4): 796-805.

[15] 秦轶,侯小桢,章斌,等. 柠檬精油的化学成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械,2014,30(3): 169-173.

[16] 李巧巧,雷激,唐洁,等. 商品柑橘精油的抑菌性及其应用研究[J]. 食品与机械,2011,27(6): 160-162.

[17] Nakaizumi A, Baba M, Uehara H, et al. *d*-Limonene inhibits *N*-nitrosobis (2-oxopropyl) amine induced hamster pancreatic carcinogenesis[J]. Cancer Letters, 1997, 117(1): 99-103.

[18] 王玲,张秀珍. *D*-柠檬烯对人胃癌 MGC803 细胞增殖和凋亡的影响[J]. 生命科学仪器,2009,7(1): 26-28.

[19] 高红亮,王雪梅,孙永红,等. 天然防腐剂柠檬烯在橙汁保鲜中的应用[J]. 食品科学,2010,31(8): 257-259.

[20] Savithiry N, Cheong T K, Oriel P, et al. Production of alpha-terpineol from *Escherichia coli* cells expressing thermostable limonene hydratase [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1997, 63(1): 213-220.

[21] 王坚,罗永明,刘贤旺. 樟科樟属植物樟的化学成分与组织培养研究[J]. 江西中医学院学报,2004,16(2): 69-70.

[22] 戴舒柳,罗曼,李化,等. 柠檬醛胁迫下 K562 细胞生长增殖抑制和凋亡诱导研究[J]. 中国中药杂志,2011,36(10): 1 370-1 373.

[23] 张宽朝,魏练平,沈浩,等. 肉桂醛、柠檬醛抑制黑曲霉生长的比较研究[J]. 中国微生物学杂志,2011,23(2): 141-143.

[24] 罗闵丹,杨芬,施旻,等. 柠檬醛对小鼠侵袭性肺曲霉病的作用[J]. 中草药,2009,40(3): 428-430.

[25] 胡铁,王烨,皮少锋,等. 柠檬醛合成紫罗兰酮的工艺优化 [J]. 食品与机械,2014,30(1): 224-227, 247.

[26] Mehl F, Marti G, Boccard J, et al. Differentiation of lemon essential oil based on volatile and non-volatile fractions with various analytical techniques: a metabolomic approach[J]. Food Chemistry, 2014, 143(2): 325-335.