

磨皮取油后橙皮的二次利用对精油品质的影响

Effect of peel reutilization on quality of essential oil from orange (*Citrus sinensis* var. Valencia) peel after rubbing peel

梁曾恩妮 付复华 尚雪波 何双 单杨

LIANG Zeng-en-ni FU Fu-hua SHANG Xue-bo HE Shuang SHAN Yang

(湖南省农产品加工研究所, 湖南 长沙 410128)

(Hunan Agricultural Product Processing Institute, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:为了开发利用工业化生产中磨皮取油后的剩余橙皮,提高橙皮精油得率,以伏令夏橙为研究对象,采用水蒸气蒸馏法分别提取机器磨皮所得油水混合物及磨皮后剩余橙皮的精油,计算两者精油得率并比较成分差异,从橘红和橘白中提取的挥发油作为对照。结果显示,剩余的橙皮回收利用可使橙皮精油得率提高 11.55%。GC—MS 分析发现油水混合物和剩余橙皮提取的精油成分有较大不同。与油水混合物提取的精油相比,剩余皮精油中的酮类化合物、酯类化合物、醇类化合物和脂肪酸相对含量较高,而烃及其衍生物的相对含量较低。试验表明回收利用磨皮后的剩余橙皮可以提高橙皮精油产量,并具有浓郁的香气。

关键词:夏橙;精油;得率;GC—MS;香气

Abstract: To study on utilization of residual orange peel in industrial production and increase of essential oil yield from orange peel, essential oil from yellow juice and residual orange peel were extracted in *Citrus sinensis* var. Valencia using steam distillation after grinding peel. Then the yield of essential oil extracted from yellow juice and residual orange peel was measured and their compounds were compared, and essential oil extracted from tangerine peel and tangerine endocarp were used as control. The results shows that the essential oil yield from orange peel can be increased (11.55%) by recycling residual orange peel, and the compounds of essential oil were different from yellow juice and residual orange peel. Compared with essential oil extracted from oil-water mixture, relative content of ketone compound, esters compound, alcohol compound and aliphatic acid in essential oil extracted from residual orange peel are higher, and relative content of hydrocarbons and their derivatives are lower. The research shows that by recycling residual orange peel can improve the yield of essential oil, and the odor of essential oil is pleasant.

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD31B02);公益性行业(农业)科研专项(编号:201303076);湖南省产学研结合专项(编号:2009XK6001)

作者简介:梁曾恩妮(1983—),女,湖南省农产品加工研究所助理研究员。E-mail:335210903@qq.com

通讯作者:单杨

收稿日期:2015-10-19

Keywords: summer orange; essential oil; yield; GC—MS; odor

伏令夏橙是甜橙类柑橘中的一个特殊品种,又名佛灵夏橙,晚生橙,华兰西晚橙,主产美国、西班牙等国。伏令夏橙的果实成熟于 4~5 月,果实甜酸适中,富含 V_C,是重要的淡季水果和橙汁加工原料。橙皮中含有多种可利用的化合物,主要有果胶^[1]、橙皮苷^[2]、精油^[3-4]和天然色素^[3,5]等,综合利用价值较高。其中,橙皮精油作为一种天然香料和食品添加剂添加在食品和日用品中^[6]。近年研究发现,橙皮精油具有抑菌^[7-8]、消炎^[9]、抗氧化^[10-11]等作用,可以作为保健品和药品原料。

橙类精油主要存在于外果皮的油胞中^[12]。在橙类的精油工业化生产中,多采用针刺磨皮机,通过磨皮区内相对转动的不锈钢针刺网,刺破橙皮油胞使精油流出,并在高压水的作用下迅速脱离橙皮,油水混合于接料斗,待下一步加工。

磨皮后的橙类用来制作果汁和果粒等产品,剩下的表皮则被丢弃。回收利用此类皮渣,不仅可以开发高附加值的产品,创造更多的经济效益,也可避免大量皮渣随意丢弃引起的环境问题。本研究拟采用水蒸气蒸馏法从磨皮机收集的油水混合物及皮渣中提取橙皮精油,优化提取工艺,并利用气质联用仪(GC—MS)对所得精油的成分和含量进行比较分析,为拓宽工业生产中剩余柑橘皮的利用途径提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜夏橙:伏令夏橙,一级,产地四川江安;

无水 Na₂SO₄:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

磨皮机:湖南省农产品加工研究所自制;

精油提取器:2 L,上海满贤经贸有限公司;

气质联用仪:7890A-5975C 型,美国 Agilent 公司;

电热套:DZTW 型,北京市永光明医疗仪器厂;

电子天平:YP-B20001 型,上海光正医疗仪器有限公司;

万能高速粉碎机:DE-500g 型,浙江红景天工贸有限公司。

1.3 方法

1.3.1 精油提取 鲜橙除去包装和叶片,称总重量。机器磨皮后,收集黄色油水混合物,混匀,剥下剩余的橙皮,称重并磨碎,取一定量的油水混合物和剩下橙皮,加入 4 倍体积水,在提取电压 110 V,提取时间 2 h 的条件下,用水蒸气蒸馏至精油提取器中的油量不再增加,收集精油,按式(1)计算精油得率(mL/g)。设橘红和橘白作为试验对照,橘红、橘白用刀分离后,磨碎,在相同的试验条件下采用水蒸气蒸馏分别提取精油。

$$\text{精油得率} = \frac{\text{提取的精油量}}{\text{原料重量}}$$

(1)

1.3.2 试验方法

(1) 加水量对提取效果的影响:准确称取 100 g 橙皮,分别加 2,4,8,12 倍体积的水,提取电压 100 V,提取时间 2 h,分别测定所得精油的总峰面积。

(2) 提取电压对提取效果的影响:准确称取 100 g 橙皮,加入 8 倍体积的水,在提取时间 2 h 的条件下,比较了不同电压(50,100,150,200 V)对精油提取效果的影响。

(3) 提取时间对提取效果的影响:准确称取 100 g 橙皮,加入 8 倍体积的水,在提取电压 150 V 的条件下,比较了不同提取时间(0.5,1.0,2.0,4.0,6.0 h)对提取效果的影响。

1.3.3 精油成分分析 采用气质联用仪(GC—MS)测定从油水混合物和剩余的橙皮中提取的精油,以橘红和橘白提取的精油作为对照。

(1) GC 分析条件:HP-5MS 石英毛细管柱(30 m×250 μm,0.25 μm);进样口温度 220 ℃,辅助区 280 ℃;程序升温,初始温度 40 ℃,保持 1 min,以 3 ℃/min 升温到 220 ℃;载气为氦气;柱中载气流量为 1 mL/min。

(2) MS 分析条件:质谱检测器为 EI 电离源,电子倍增管电压为 1 812 V,轰击电压为 70 eV,总离子强度 100 μA,进样量为 1 μL,分流比 30:1。

2 结果与分析

2.1 精油提取条件优化

2.1.1 加水量对提取效果的影响 由图 1 可知,水量从 2 倍体积上升到 8 倍时,精油的总峰面积呈增加的趋势,而后则随着水量的上升而下降,这主要因为水分的增加,有利于促进橘皮的酶分解,提高精油的产量^[13],但加水量过多,少量精油仍溶于水,使提取量相对减少,且浪费水资源^[14]。因此,以 8 倍量的水为最佳提取水量。

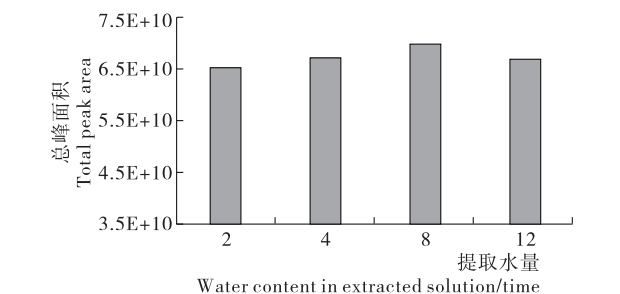


图 1 加水量对精油提取效果的影响
Figure 1 Effect of water content in extracted solution on extraction efficiency of volatile oil

2.1.2 提取电压对提取效果的影响 由图 2 可知,采用 150 V 和 200 V 提取,精油的总峰面积大于 50 V 和 100 V,这是由于电压越高,加热量越大,产生的蒸汽越多,有利精油的提取;150 V 与 200 V 提取所得精油的总峰面积没有明显差异。考虑能源因素,本试验使用 150 V 为最佳提取电压。

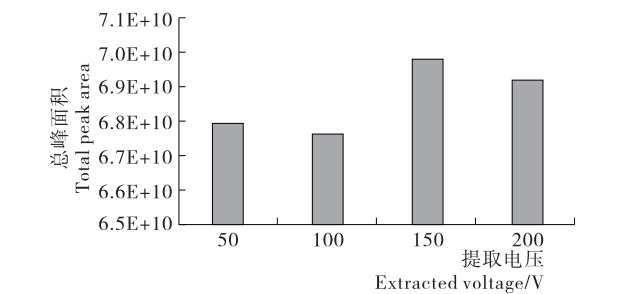


图 2 提取电压对精油提取效果的影响
Figure 2 Effect of extraction voltage on extraction efficiency of volatile oil

2.1.3 提取时间对提取效果的影响 当提取时间为 0.5 h 时,挥发性组分的总峰面积最高,其他提取时间的挥发性物质总峰面积明显减少(见图 3)。如果提取时间过短,精油提取不充分,如橙皮提取 10,20 min 后,精油中挥发性物质的总峰面积分别为提取 0.5 h 的精油中挥发性物质总峰面积的 30.9% 和 75.6%;提取时间过长,挥发性物质的总峰面积没有明显增加,且能源消耗较大。故以 0.5 h 为最佳提取时间。

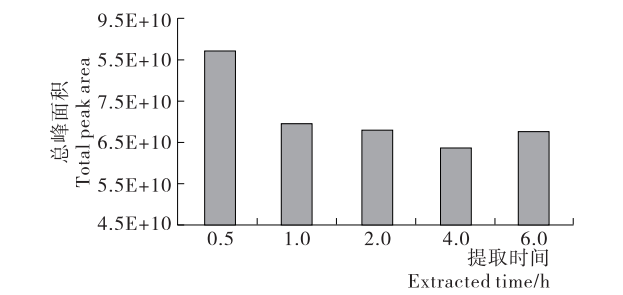


图 3 提取时间对精油提取效果的影响
Figure 3 Effect of extraction time on extraction efficiency of volatile oil

2.1.4 最优条件的验证实验 按提取水量为 8 倍,提取电压 150 V、提取时间 0.5 h 的优化条件进行验证实验,重复 3 次,结果表明,在此优化的工艺条件下,所得挥发油的总峰面积为(9.5E+10)±(5.2E+9),比以上试验中条件优化组合的结果有所增加,验证了实验的准确性与可重复性。

2.2 精油得率

从油水混合物中提取的精油得率为 0.187 mL/g;从剩余的橙皮中提取的精油得率为 0.021 mL/g。磨皮剩下的橙皮再次回收利用,可使橙皮精油得率提高 11.55%。

2.3 精油成分分析

从油水混合物和剩余的橙皮中提取的精油经 GC—MS 分析,得总离子图(见图 4)。通过 NIST 标准质谱图库进行检索,并结合文献[15]进行人工谱图解析,鉴定出 82 种化学成分,主要分为 6 大类:酮类 6 种、脂类 7 种、醛类 6 种、醇类 14 种、脂肪酸 7 种、烃及其衍生物 28 种(见表 1)。

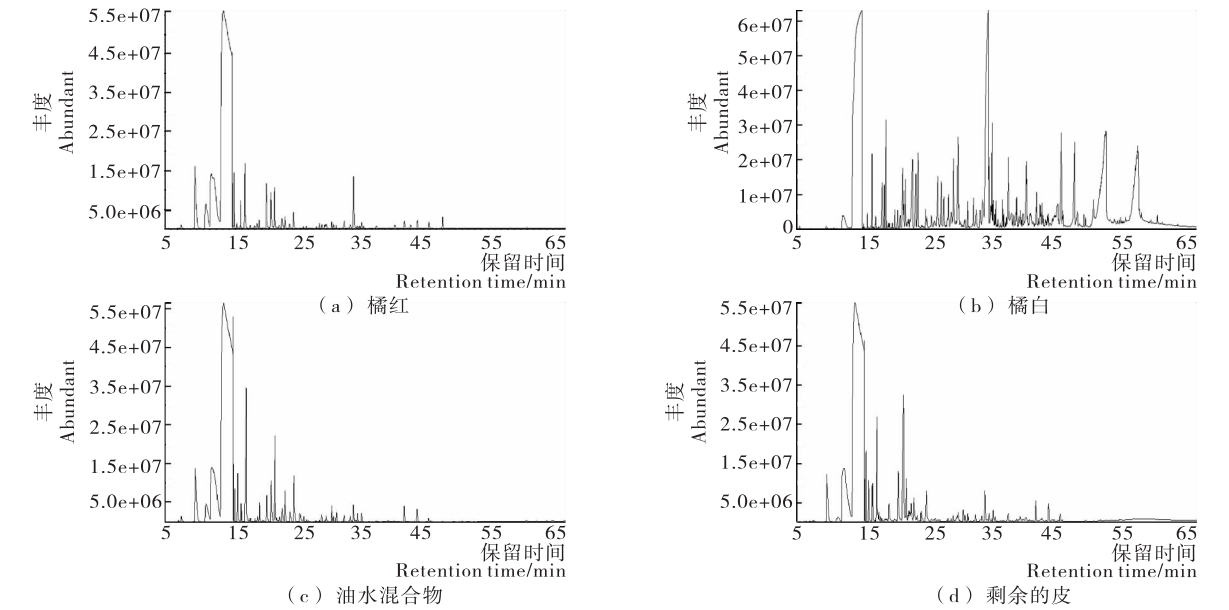


图 4 GC—MS 分析夏橙皮精油成分的总离子流图

Figure 4 Total ion current chromatograms of gas chromatography mass spectrometry (GC—MS)for components of essential oil in summer orange peel

表 1 4 种夏橙皮精油的挥发性成分相对含量⁺

Table 1 Relative contents of essential oil in four summer orange peel

化合物名称		保留时间/min	相对含量/%			
			油水混合物	橘红	剩余的皮	橘白
酮类	L-香芹酮	22.712	0.10	—	0.15	1.25
	3-甲基-6-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-酮	24.035	—	—	—	0.18
	(+)-二氢青芹酮	27.581	—	—	—	0.50
	香叶基丙酮	31.878	—	—	—	0.36
	β-紫罗兰酮	38.052	—	—	—	0.19
	(+)-香柏酮	44.849	0.10	0.18	0.25	1.87
酯类	丁酸己酯	20.471	—	—	—	0.59
	辛酸乙酯	20.668	—	—	—	0.32
	3-己烯己酸酯	28.765	—	—	0.02	0.11
	己酸己酯	28.892	—	—	0.12	—
	丁酸辛酯	29.025	—	—	0.24	—
	乙酸金合欢酯	42.683	—	—	—	0.14
	(Z)-3,7-二甲基-2,6-亚辛基-1-醇丙酸酯	43.064	—	—	—	0.13
醛类	香茅醛	18.560	0.33	0.19	—	—
	癸醛	21.020	0.93	1.85	0.84	0.08
	(E)-柠檬醛	23.983	1.17	1.64	0.07	—
	十三醛	25.490	0.10	0.05	0.32	—
	月桂醛	29.850	0.38	0.18	—	—
	α-甜橙醛	41.066	0.33	0.24	1.18	0.18
醇类	1-辛醇	15.054	0.86	0.12	0.70	—
	芳樟醇	16.365	4.48	1.43	2.58	0.11
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇	17.307	0.65	0.08	1.39	1.70
	β-松油醇	18.317	0.13	0.17	0.59	0.06
	4-萜烯醇	19.772	0.70	1.21	1.44	—
	α-松油醇	20.581	1.32	1.26	4.63	0.35
	顺式-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇	21.753	0.15	0.15	0.71	2.49
	(+)-香茅醇	22.117	0.51	1.53	0.97	0.25
	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	23.330	0.43	0.74	0.26	0.25
	紫苏醇	24.913	0.35	0.05	0.09	—
	(Z,E)-9,12-十四碳二烯-1-醇	34.760	—	—	0.12	0.08
	(2R-顺式)-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢-α,α,4a,8-四甲基-2-萘甲醇	38.663	0.04	0.02	0.18	0.18
	白檀油烯醇	41.800	—	—	0.10	0.10
	3,7,11-三甲基-2,6,10-十二烷三烯-1-醇	42.013	0.06	0.17	0.06	0.35

续表 1						
化合名称		保留时 间/min	相对含量/%			
			油水混合物	橘红	剩余的皮	橘白
脂 肪 酸	正葵酸	29.544	—	—	—	0.12
	月桂酸	37.018	—	—	—	0.50
	3-羟基癸酸	41.990	—	—	0.15	—
	肉豆蔻酸	44.399	—	—	—	0.88
	十五烷酸	47.563	—	—	—	0.32
	软脂酸	51.185	—	—	—	9.26
	(Z,Z)-十八碳二烯酸	56.353	—	—	0.01	6.10
	1R- α -蒎烯	8.661	2.84	3.28	2.21	0.06
	桉烯	10.370	1.65	2.36	0.40	—
	β -月桂烯	11.450	10.61	10.85	9.04	1.01
烃 及 其 衍 生 物	γ -松油烯	12.461	0.25	0.48	0.55	—
	柠檬烯	13.056	66.52	69.24	63.69	34.38
	罗勒烯	14.477	0.25	0.24	0.27	—
	(+)-4-萹烯	15.614	0.24	0.41	0.42	—
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯	15.816	—	—	0.21	0.55
	1,3,8-对-薄荷三烯	16.735	—	—	0.19	0.02
	檀烯	21.511	0.03	—	0.17	—
	3,7-二甲基-2,6-辛二烯	22.631	0.57	0.76	0.13	0.25
	辛基-环丙烷	24.110	0.15	—	0.99	—
	2,6-二甲基-2,6-辛二烯	27.488	0.03	0.01	0.07	0.11
	古巴烯	28.297	0.15	0.10	0.13	1.20
	2-己烯基己酸	29.204	—	—	—	0.22
	石竹烯	30.122	0.12	0.12	0.19	0.09
	3aS-3a α ,3b β ,4 β ,7 α ,7aS*-八氢-7-甲基-3-亚甲基-4-(1-甲基乙基)-1H-环戊二烯并[1,3]环丙烯并[1,2]苯	30.538	0.05	0.09	0.20	0.21
	[s-(E,E)]-1-甲基-5-亚甲基-8-(1-甲基乙基)-1,6-环癸二烯	30.584	0.16	—	0.22	0.21
	[1aR-(1a α ,3a,7b α)]-1a,2,3,3a,4,5,6,7b-八氢-1,1,3a,7-四甲基-1H-环丙烷[a]萘	32.455	—	—	—	0.39
	(4aR-反式)-十氢-4a-甲基-1-亚甲基-7-(1-甲基二乙烯基)-萘	32.767	—	—	—	0.36
	2-异丙烯基-4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘	32.854	—	—	—	0.79
	巴伦西亚橘烯	33.235	0.48	1.47	0.76	12.02
	(+)-香橙烯	33.639	0.03	1.14	0.26	0.30
	α -法呢烯	33.876	0.33	0.09	0.72	1.62
	(1S-顺式)-1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘	34.442	0.22	0.19	0.32	0.29
	反式-Z- α -环氧化红没药烯	37.745	—	—	—	0.20
	7-乙烯基-二环[4,2,0]-1-辛烯	38.155	—	—	—	0.34
	2,5,6-三甲基-1,3,6-庚三烯	41.782	—	—	—	0.28
	酮类			0.18	0.40	4.35
	酯类		—	0.09	0.40	1.51
	醛类		3.24	4.15	2.41	0.26
	醇类		9.68	6.93	13.82	5.92
	脂肪酸		—	—	0.16	17.18
	总计		84.68	90.83	81.14	54.90

† — 未检出。

2.3.1 共有精油成分

由表 1 可知,橘红和橘白共有的精油成分有 25 种,其中包括酮类 1 种,即(+)-香柏酮;醛类 2 种,即癸醛、 α -甜橙醛;醇类 9 种,包括沉香醇、松油醇、(+)-香茅醇、紫苏醇、顺式-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-2-环己

烯-1-醇、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇、3,7,11-三甲基-2,6,10-十二烷三烯-1-醇等;烃及其衍生物 12 种,包括 β -月桂烯、柠檬烯、古巴烯、 α -法呢烯、巴伦西亚橘烯、(+)-香橙烯、(1S-顺式)-1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萜等。

2.3.2 特有精油成分 由表 1 可知,橘红和橘白精油成分的数量和相对含量存在较大差异。检出的橘红精油成分共 36 种,其中酮类 1 种(0.18%),酯类 1 种(0.09%),醛类 6 种(4.15%),醇类 12 种(6.93%),烃及其衍生物 16 种(90.83%)。与橘白相比,橘红特有的精油成分 9 种,即桉烯、4-萜烯醇、 γ -松油烯、(+)-4-萜烯、罗勒烯、香茅醛、月桂醛、1-辛醇和紫苏醇。橘白精油成分共 48 种,与橘红精油相比,酮类和酯类相对含量分别提高 23,18 倍,醛类、烃及其衍生物、醇类相对含量分别减少 91.57%,39.56%,17.06%,并且出现了较多的脂肪酸(17.18%);特有的精油成分有 27 种,其中含量较高的有软脂酸、(Z,Z)-十八碳二烯酸、1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇和 L-香芹酮等。

从油水混合物中检出的精油成分共有 39 种,其中酮类 2 种(0.20%)、醛类 6 种(3.24%)、醇类 12 种(9.68%)、烃及其衍生物 19 种(84.68%),在油水混合物提取精油中未检测到脂肪酸。剩余皮提取的精油共含成分 47 种,与油水混合物提取的精油相比,酮类相对含量高 2 倍,醇类相对含量高 42.77%,并有酯类(0.4%)和脂肪酸(0.16%)化合物检出,而醛类和烃类化合物相对含量略有下降;特有的挥发成分有 9 种,包括 3-己烯己酸酯、己酸己酯、丁酸辛酯、(Z,E)-9,12-十四碳二烯-1-醇、白檀油烯醇、3-羟基癸酸、(Z,Z)-十八碳二烯酸、1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯和 1,3,8-对-薄荷三烯等。

2.3.3 香气成分分析与比较 不同的香气化合物由于阈值及在样品基质中浓度的不同,对香气的贡献也不同。在所有的芳香成分中,各芳香物质对香气的贡献是依据其香气值(相对含量/香气阈值)来划分的^[16]。本研究结果表明,用磨皮后得到的油水混合物和剩余皮分别提取精油,精油成分种类和相对含量差异较大。剩余皮提取的精油中脂肪酸和对香气贡献较大的酮类、酯类、醇类相对含量较高,而醛类和烃及其衍生物相对含量较低。酯类挥发性成分一般在精油中含量较低,但大多具有果香或花香气味,它们是构成橙头香气味的主要物质。油水混合物几乎没有酯类化合物检出,而在剩余皮精油中检出 3 种酯类化合物,其中相对含量较高的有己酸己酯和丁酸辛酯。一般认为丁酸、己酸形成的甲酯阈值都较低^[17],己酸己酯、丁酸辛酯含量的增加有助于剩余皮精油的香气。醛类物质对于橙汁的香气具有重要贡献。甜橙醛呈现浓郁的橙香气,它对橙味的形成起积极作用^[18]。本试验发现,剩余皮提取的精油中 α -甜橙醛的相对含量高于油水混合物提取的精油。

醇类化合物也是主要的香气活性物质,尤其是萜烯醇类化合物是柑橘的特征香气成分,它们大多具有水果香、花香和醇香。与油水混合物精油相比,大部分的醇类化合物在剩余皮精油中相对含量较高,如 4-萜烯醇、 α -松油醇、 β -松油醇和香茅醇等。4-萜烯醇具有清新的花香味,阈值低^[19],对精

油香气贡献大; α -松油醇、 β -松油醇和香茅醇均具有丁香香气,阈值较低,对精油香气有一定帮助^[20-22]。本试验发现,油水混合物和剩余皮提取的精油中醇类化合物的相对含量远远高于橘红和橘白精油,可能是由于橙皮中的氨基酸和脂类物质遇水分解产生醇类物质^[23]。

在烃及其衍生物中,除了柠檬烯、桉烯、 β -月桂烯、 α -蒎烯这些相对含量较高的物质外,还有一些痕量的烯烃化合物也具有不同程度的香气,对橙皮精油香气起到了重要作用。与油水混合物提取的精油相比,剩余皮提取的精油中相对含量较高有 α -法呢烯、石竹烯、罗勒烯、巴伦西亚橘烯、萜烯和 γ -松油烯等。 α -法呢烯具有青香和木香香韵,阈值很低,对香气的影响大^[24];罗勒烯、石竹烯、巴伦西亚橘烯、萜烯和 γ -松油烯阈值较低,这些化合物对剩余皮提取的精油香气的贡献较大^[25-26]。辛基环丙烷、檀烯、1,3,8-对-薄荷三烯、1-(1,5-二甲基-4-乙烯)-4-甲基苯、3aS-3a α ,3b β ,4 β ,7 α ,7aS*-八氢-7-甲基-3-亚甲基-4-(1-甲基乙基)-1H-环戊二烯并[1,3]环丙烯并[1,2]苯等香气成分的阈值未见报道。较之油水混合物精油,剩余皮提取的精油中酮类化合物中(+)-香柏酮和 L-香芹酮的相对含量较高,阈值较小,对香气有一定贡献^[27-28];剩余皮提取的精油中 3-羟基癸酸和(Z,Z)-十八碳二烯酸 2 种脂肪酸化合物相对含量略高,但香味阈值大,对精油香气贡献不大。

3 结论

本试验研究了磨皮后二次利用橙皮对其精油得率及成分的影响。结果发现,机器磨皮后,剩下的橙皮中还含有较多的精油,回收利用这部分橙皮,精油得率可以提高 10%以上,增加经济效益。油水混合物和剩余橙皮提取的精油成分种类及相对含量差异较大,这与橙皮的橘红和橘白部分的化学组成差异有关。

柠檬烯具有令人愉快的柠檬、柑橘香气。本研究发现,柠檬烯在 4 种精油成分中的相对含量最高,这与相关学者^[29]对其他柑橘类精油的研究相一致,但不能说它对精油的香气贡献最大^[30]。有学者^[31]认为柑橘精油香气的主要来源于醇、醛和酯等含氧化合物。本研究结果表明:与油水混合物精油相比,剩余橙皮提取的精油中酯类和醇类相对含量比油水混合物提取的精油高,表明磨皮后剩余橙皮的回收利用有利于增强精油的香气。综上所述,磨皮后剩余橙皮作为可再生资源回收利用,可较大幅度地提高精油的产量,精油香气较强。

参考文献

- 1 Maran JP, Sivakumar V, Thirugnanasambandhama K, et al. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 703~709.
- 2 Chen Shih-ying, Chyau Charng-cherng, Chu Chin-chen, et al. Hepatoprotection using sweet orange peel and its bioactive compound, hesperidin, for CCl₄-induced liver injury *in vivo* [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1 591~1 600.
- 3 谢志刚, 刘成伦. 柑桔皮的综合利用新进展[J]. 食品与机械,

2005, 21(5): 77~80.

4 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.

5 Ma Ying-ying, Zhong Yun-ting, Yang Jian-gang, et al. A comparative study between solvent and micro-wave assisted extraction technology of pigment from orange peel[J]. Journal of Chemical & Pharmaceutical Research, 2014, 6(8): 338~346.

6 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997: 46.

7 Sharma N, Tripathi A. Fungitoxicity of the essential oil of Citrus sinensis on post-harvest pathogens[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2006, 22(6): 587~593.

8 Jameel Jhalegar MD, Sharma RR, Singh D. In vitro and in vivo activity of essential oils against major postharvest pathogens of Kinnow (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*) mandarin[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 2 229~2 237.

9 刘义武, 王碧. 柠檬营养成分与综合利用研究进展[J]. 内江师范学院学报, 2014, 27(8): 46~51.

10 付复华, 李忠海, 单杨, 等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178~184.

11 万利秀, 肖更生, 徐玉娟, 等. 柑橘皮黄酮纯化前后抗氧化性比较研究[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 87~91.

12 关海宁, 刁小琴, 张润光. 柑橘皮功能性成分研究现状及发展前景[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 169~172.

13 张志军, 刘西亮, 李会珍, 等. 植物精油提取方法及应用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(4): 118~121.

14 张志杰, 肖爱琴, 王朝君. 用正交实验法探讨精油提取的工艺[J]. 河南中医药学刊, 2000, 15(5): 42~43.

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, 24(5): 699~704.

16 Larsen M, Poll L. Odour thresholds of some important aroma compounds in strawberries[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1992, 195: 120~123.

17 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.

18 Ruberto G, Renda A, Piattelli M, et al. Essential oil of two new pigmented Citrus Hybrids, *Citrus clementina* × *Citrus sinensis*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45: 467~471.

19 Kelebek M, Selli S. Determination of volatile, phenolic, organic acid and sugar components in a Turkish cv. Dortyol (*Citrus sinensis* L. Osbeck) orange juice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91: 1 855~1 862.

20 Takeoka GR, Flath RA, Mon RM, et al. Volatile constituents of apricot (*Prunus armeniaca*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38: 471~477.

21 Oliveiraa JM, Araújo IM, Pereira ÓM, et al. Characterization and differentiation of five “Vinhos Verdes” grape varieties on the basis of monoterpenic compounds[J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 513(1): 269~275.

22 Pino J A, Mesa J, Munoz Y, et al. Volatile components from mango (*Mangifera indica* L.) cultivars[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 2 213~2 223.

23 Plotto A, Margaria CA, Goodner KL, et al. Odour and flavor thresholds for key aroma components in an orange juice matrix: ester and miscellaneous compounds[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2008, 23(6): 398~406.

24 Tamura H, Padrayuttawat A, Tokunaga T. Seasonal change of volatile compounds of Citrus sudachi during maturation[J]. Food Science Technology Research, 1999, 5(2): 156~160.

25 Zhong Si-qiong, Ren Jing-nan, Chen De-wen, et al. Free and bound volatile compounds in juice and peel of eureka lemon[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(1): 167~174.

26 黄丽. 芒果皮香精提取过程中酶解增香技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012: 61.

27 Schulz S, Girhard M, Gaßmeyer, SK, et al. Selective enzymatic synthesis of the grapefruit flavor (+)-nootkatone[J]. Chemcatchem, 2015, 7(4): 601~604.

28 Petosi P, Viti R. Specific anosmia to l-carvone: the minty primary odour[J]. Chemical Senses, 1978, 3(3): 331~337.

29 陈玲娟, 赵良忠, 林亲录, 等. 超临界 CO₂萃取雪峰蜜橘橘皮精油的中试条件研究[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 120~123.

30 Jia Ming-yu, Zhang QH, Min DB. Optimization of solid-phase microextraction analysis for headspace flavor compounds of orange juice[J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 1998, 46: 2 744~2 747.

31 单杨, 李忠海. 固相微萃取/气相色谱—质谱法分析温州蜜柑精油挥发性成分[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 421~424.

(上接第 69 页)

13 Brennan H G, Butters J R, Cowell N D, et al. Food engineering operations[M]. London: Elsevier Applied Science, 1990.

14 张丽霞, 张勋, 孙佳佳, 等. 红外干燥对芝麻品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 63~70.

15 Doymaz I. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(6): 760~766.

16 Dorota Nowak, Lewicki P P. Infrared drying of apple slices[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004, 5(3): 353~360.

17 肖红伟, 张世湘, 白竣文, 等. 杏子的气体射流冲击干燥特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 318~323.

18 Ibrahim Doymaz. Effect of citric and blanching pre-treatments on drying and rehydration of amasya red apples[J]. Food and Bioproducts Processing, 2010, 88(2): 124~132.

19 Kamil Sacilik, Ahmet Konuralp Elicin. The thin layer drying characteristics of organic apple slices[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 281~289.

20 Zhu Yi, Pan Zhong-li. Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 441~452.

21 陈健凯, 林河通, 林艺芬, 等. 基于品质和能耗的杏鲍菇微波真空干燥工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 277~284.