

重庆地方名柚果肉酚类物质含量及其抗氧化活性分析

于杰^{1,2}, 侯诗夏³, 吴洪梅¹, 张昭¹, 吕泽芳¹, 周志钦^{1,2}

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; 2. 南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715;

3. 四川大学轻纺与食品学院, 四川 成都 610065)

摘要: 通过紫外分光光度计法和高效液相色谱法分别测定10种重庆地方名柚成熟果实囊衣、汁胞2个部位的总酚、总黄酮含量及类黄酮、酚酸组分和含量, 并采用1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)测定、2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS)3种方法对其抗氧化活性进行评价。结果表明: 囊衣的总黄酮含量和类黄酮含量较高, '琯溪蜜柚'总黄酮含量最高达10.97 mg/g, 类黄酮中地奥司明含量最高, 均值为1 000.72 $\mu\text{g/g}$, 其含量最高为'五布柚', 达到2 366.77 $\mu\text{g/g}$; 汁胞的总酚含量和酚酸含量较高, '真龙柚3号'总酚含量最高达8.84 mg/g, 酚酸中没食子酸含量最高, 均值为1 040.16 $\mu\text{g/g}$, 其含量最高为'长寿沙田柚', 达到1 325.89 $\mu\text{g/g}$ 。利用DPPH法和FRAP法测定2个部位抗氧化活性, 汁胞高于囊衣, ABTS法则囊衣高于汁胞。综合抗氧化能力指数表明, '琯溪蜜柚'囊衣、'梁平柚78-8'汁胞的抗氧化活性最强。通过本研究, 不仅能够了解重庆地方名柚果实囊衣、汁胞部位酚类物质组分和含量, 同时为柑橘酚类物质的应用选择提供了一定的理论依据, 促进了柑橘果品营养学的发展。

关键词: 柚子; 类黄酮; 总酚; 总黄酮; 抗氧化

Phenolic Compositions and Antioxidant Capacity of the Fruit Pulp of Popular Pomelo Cultivars in Chongqing

YU Jie^{1,2}, HOU Shixia³, WU Hongmei¹, ZHANG Zhao¹, LÜ Zefang¹, ZHOU Zhiqin^{1,2}

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Key Laboratory of Horticulture for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400715, China;

3. College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In this study, ultraviolet spectrophotometry and high performance liquid chromatography (HPLC) were used to determine the contents of phenols and flavonoids in the segment membrane (SM) and juice sac (JS) of 10 popular cultivars of pomelo (*Citrus grandis*) in Chongqing. In addition, the antioxidant capacities of these two parts were evaluated by 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate) (ABTS) methods. Results showed that total flavonoids and the individual contents of 10 measured flavonoid compounds were higher in the SM. The total flavonoid content of 'Guanxi' pomelo was the highest (10.97 mg/g). Among the flavonoids, diosmin was the most abundant with an average of 1 000.72 $\mu\text{g/g}$. Among 10 cultivars, 'Wubu' had the highest diosmin content (2 366.77 $\mu\text{g/g}$). However, the contents of total phenolic compounds and phenolic acid were higher in the JS. The highest total phenolic content of 8.84 mg/g was found in 'Zhenlongyou No. 3'. Gallic acid was the most predominant phenolic acid with an average of 1 040.16 $\mu\text{g/g}$ and its highest level of 1 325.89 $\mu\text{g/g}$ was noted in 'Changshou Shatian'. The JS was found to have stronger DPPH radical scavenging and FRAP capacity, but exhibit weaker ABTS radical scavenging capacity than the SM. Overall, the segment membrane of 'Guanxi' and the juice sac of 'Liangpingyou 78-8' possessed the highest antioxidant activity. This study not only reveals the phenolic composition of the SM and JS of the popular pomelo cultivars in Chongqing, but also offers a theoretical basis for utilizing the phenolics in citrus and promoting the development of nutritional studies on citrus fruits.

Key words: pomelo; individual flavonoids; total phenolics; total flavonoids; antioxidant capacity

收稿日期: 2015-08-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31171930); 重庆市自然科学基金项目(CSTC2013JCYJA8002);

中央高校基本科研业务费专项(XDJK2014C091); 西南大学博士基金项目(SWU112016)

作者简介: 于杰(1977—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果品营养学。E-mail: yujie1978@126.com

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612014

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 12-0083-06

引文格式:

于杰, 侯诗夏, 吴洪梅, 等. 重庆地方名柚果肉酚类物质含量及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 83-88.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612014. <http://www.spkx.net.cn>YU Jie, HOU Shixia, WU Hongmei, et al. Phenolic compositions and antioxidant capacity of the fruit pulp of popular pomelo cultivars in Chongqing[J]. Food Science, 2016, 37(12): 83-88. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201612014. <http://www.spkx.net.cn>

柚 (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) 为芸香科柑橘属植物, 自然杂种及选育品种众多, 原产于我国^[1-3]。柚子不仅味道鲜美, 含有丰富的活性物质, 而且对人体抗氧化、抗炎、抗癌、抗菌、预防心血管疾病、糖尿病等具有一定的功效^[4-7]。酚类物质是植物的次级代谢产物, 参与防御紫外线辐射、保护植物组织免受病虫害侵害, 且能赋予植物特有的色泽^[8-11]。柑橘果实中的酚类物质主要包括类黄酮和酚酸^[12-14]。近年来, 关于柑橘酚类物质及其抗氧化性相关研究已有较多报道^[15-18], 但对于国内柚子地方品种果肉不同部位活性物质的检测及抗氧化活性的系统性研究较少。本研究以10种重庆地方名柚果肉为研究对象, 检测了囊衣、汁胞2个部位的总酚、总黄酮、类黄酮、酚酸含量, 并评价了抗氧化活性, 为柚类活性物质的开发利用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘五布柚’ (WB)、‘长寿沙田柚’ (CS)、‘垫江白柚’ (DJ)、‘红心柚’ (HX)、‘夔柚’ (KY)、‘琯溪蜜柚’ (GX)、‘虎蜜柚1号’ (HM)、‘梁平柚78-8’ (LP)、‘渝北沙田柚’ (YB)、‘真龙柚3号’ (ZL)。采自重庆市各区县柚的主产区, 在果实成熟季节, 选择生长发育良好的植株, 在植株各个方向选取无病虫害、果形正常、大小均匀的成熟果实。

圣草次苷、橙皮苷、芦丁、地奥司明、橙皮素、甜橙黄酮、川陈皮素、橘皮素、没食子酸、绿原酸、阿魏酸 百灵威公司 (中国北京); 圣草酚、柚皮素、咖啡酸、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪、2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸) 二铵盐 (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS)、水溶性VE 美国Sigma公司; 其他试剂 (均为分析纯) 成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

e2695高效液相色谱仪、2998型光电二极管阵列检测器 美国Waters公司; Milli-Q Advantage A10超纯水系统 美国Millipore公司; Lambda 25紫外-可见分光光

度计 美国珀金埃尔默公司; TDL-5A型台式低速大容量离心机 上海菲恰尔分析仪器有限公司; KQ5200DE型超声清洗器 昆山市超声仪器有限公司; DHG-9240A型电热恒温鼓风干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司; ZN-04A型小型粉碎机 北京兴时利和科技发展有限公司; DG-800型旋涡混合器 北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司; JT3101N型电子天平 (感量0.1 g, Max 3 100 g) 上海精天电子仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 酚类物质的提取

果实采摘后将其分成囊衣、汁胞2个部位, 40℃烘干, 粉碎后过60目筛。称取0.4 g粉末, 加入8 mL甲醇溶液, 摇匀后于50℃超声提取30 min, 5 000 r/min离心15 min, 取上清液, 残渣重复提取2次, 合并上清液后定容至25 mL, 贮存备用^[19]。

1.3.2 总酚、总黄酮含量的测定

总酚含量的测定参考Orthofer等^[20]的方法, 用福林-酚法测定, 总酚含量用没食子酸当量 (gallic acid equivalent, GAE) 表示。总黄酮含量的测定参考Kim等^[21]的方法, 含量用芦丁当量 (rutin equivalent, RE) 表示。结果均以干质量计。

1.3.3 高效液相色谱测定

准确称取14种酚类物质标准品各10.00 mg, 用甲醇溶液溶解并定容至10.00 mL, 配制成1.00 mg/mL酚类物质标准品贮备液, 保存于-20℃备用。

色谱条件参考张元梅等^[22]的方法略加修改。Sunfire-C₁₈色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 柱温25℃; 流速0.7 mL/min; 检测波长: 260 (酚酸)、283 (黄烷酮)、320 (酚酸)、330 (黄酮)、367 nm (黄酮醇); 进样体积10 μL; 流动相: A甲醇、B 0.1%甲酸溶液; 采用梯度洗脱程序, 0~20 min, 37%~50% A, 20~35 min, 50%~80% A, 35~40 min, 80%~100% A, 40~50 min, 100%~100% A, 50~60 min, 100%~37% A。

将样品的高效液相色谱图与标准品高效液相色谱图对照, 并结合标准曲线对各个品种不同部位的酚类物质进行定性和定量分析。结果均以干质量计。

1.3.4 抗氧化活性测定

采用DPPH自由基清除率、铁离子还原能力 (ferric

reducing antioxidant power, FRAP)、ABTS⁺·清除能力3种方法测定抗氧化活性,分别参考Gorinstein^[23]、Benzie^[24]、Almeida^[25]和Seeram^[26]的方法略加修改。抗氧化能力用水溶性VE当量(trolox equivalent, TE)表示。结果均以干质量计。抗氧化活性综合(antioxidant potency composite, APC)指数计算如下式所示:

$$\text{APC指数}/\% = \frac{\text{每种方法的测定值}}{\text{每种方法测定的最大值} \times \text{使用的方法总数}} \times 100$$

1.4 数据分析

用SPSS 19.0软件统计分析数据,用Origin Pro 8.0软件进行作图。所有数据均为3次重复,测定结果用 $\bar{x} \pm s$ 来表示。实验数据进行单因素差异分析(one-way analysis of variance, ANOVA),皮尔森相关性分析(Pearson's correlation analysis),以 $P < 0.05$ 为显著(*), $P < 0.01$ 为极显著(**)。

2 结果与分析

2.1 酚类物质标准品高效液相色谱分析结果

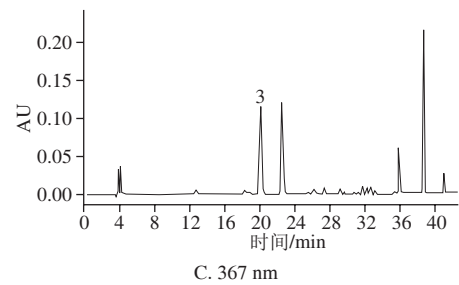
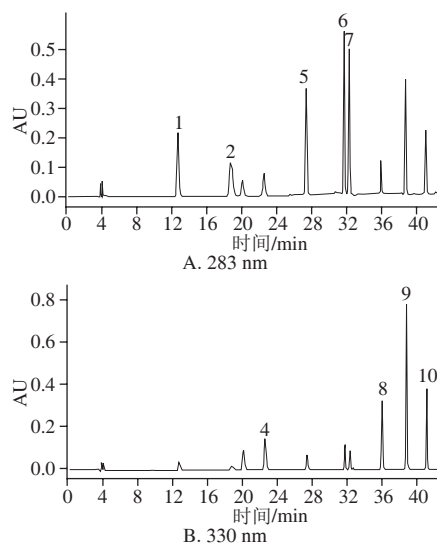


图1 10种黄酮标准品的高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of 10 flavonoid standards

由图1可知,10种黄酮标准品在42 min内能够完全分离,峰形尖锐,对称性好,可以满足多种类黄酮的同时分离。

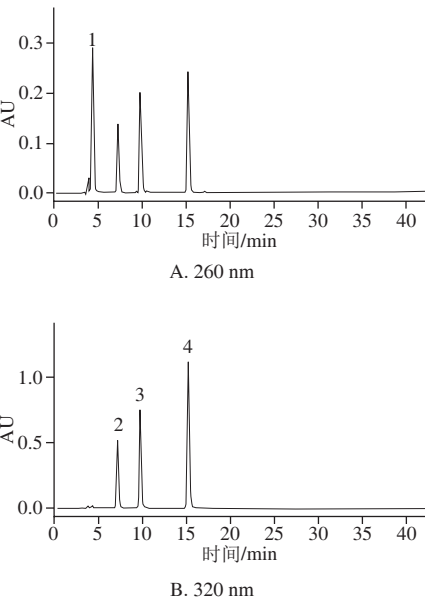


图2 4种酚酸标准品的高效液相色谱图

Fig. 2 HPLC chromatograms of 4 phenolic acid standards

表1 各品种柚子囊衣酚类物质含量
Table 1 Phenolic compositions in the segment membrane of the 10 pomelo cultivars

品种	μg/g													
	黄酮醇					黄酮				酚酸				
	圣草次苷	橙皮苷	圣草酚	柚皮素	橙皮素	地奥司明	甜橙黄酮	川陈皮素	橘皮素	芦丁	没食子酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸
WB	58.03±2.32 ^{ab}	ND	ND	ND	6.16±0.48 ^b	2366.77±177.64 ^a	ND	ND	27.44±2.92 ^a	214.97±14.97 ^a	424.86±26.70 ^f	63.99±1.90 ^f	ND	ND
CS	31.46±1.13 ^f	ND	ND	ND	ND	1491.07±191.72 ^c	ND	ND	ND	ND	563.33±33.07 ^b	155.92±23.22 ^c	62.05±8.75 ^a	7.61±0.32 ^e
DJ	132.60±10.95 ^b	ND	ND	ND	2664.32±182.25 ^a	650.31±59.85 ^c	ND	ND	5.03±0.58 ^e	68.12±5.77 ^b	375.53±15.76 ^c	332.24±25.24 ^c	ND	23.05±1.94 ^b
HX	61.24±4.46 ^{bc}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	431.18±29.83 ^c	129.65±8.87 ^{ef}	ND	7.05±1.10 ^f
KY	137.07±16.65 ^b	ND	ND	ND	2661.63±186.91 ^a	652.12±61.37 ^c	ND	ND	5.98±0.58 ^e	64.86±4.32 ^b	376.59±18.60 ^c	378.88±37.78 ^{bc}	ND	22.97±2.49 ^b
GX	81.03±6.06 ^d	ND	15.29±0.56 ^b	ND	ND	1836.19±26.33 ^b	ND	ND	ND	191.96±32.22 ^a	694.64±61.16 ^a	469.28±66.02 ^a	53.80±8.54 ^{ab}	7.90±1.00 ^f
HM	43.45±3.39 ^{ef}	ND	ND	ND	ND	1232.50±92.22 ^d	ND	ND	ND	ND	285.48±27.12 ^d	252.79±42.64 ^d	28.81±3.57 ^e	3.58±0.47 ^d
LP	106.89±22.76 ^c	ND	23.05±3.39 ^a	ND	ND	793.39±58.45 ^c	ND	ND	10.07±0.92 ^b	ND	158.93±16.56 ^c	258.06±15.94 ^d	ND	65.28±2.50 ^a
YB	79.68±8.92 ^d	ND	ND	ND	ND	213.86±20.03 ^f	ND	ND	ND	ND	287.41±13.13 ^d	136.25±8.09 ^{ef}	ND	ND
ZL	188.27±13.66 ^c	38.76±2.16 ^a	ND	ND	4.63±0.50 ^b	770.98±32.91 ^c	ND	ND	ND	ND	241.67±60.40 ^d	414.62±49.91 ^{ab}	47.28±5.75 ^b	3.65±0.13 ^d

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);ND:未检测出。下同。

由图2可知, 4种酚酸标准品在42 min内能够完全分离, 峰形尖锐, 对称性好, 可以满足多种酚酸的同时分离。

2.2 酚类物质含量差异

2.2.1 各品种柚子囊衣、汁胞总酚含量

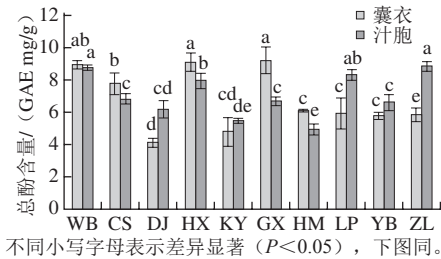


图3 各品种柚子囊衣、汁胞总酚含量
Fig. 3 Total phenolic contents in the segment membrane and juice sac of the 10 pomelo cultivars

由图3可知, 囊衣的总酚含量差异显著 ($P < 0.05$), 最高值是最低值的2.22倍。囊衣GX的含量最高; 其次是HX和WB; YB、KY、DJ的含量排在最后3位。汁胞的总酚含量差异显著 ($P < 0.05$), 最高值是最低值的1.77倍。ZL的总酚含量最高达8.84 mg/g; 其次是WB和LP; DJ、KY、HM的总酚含量排在最后3位。

2.2.2 各品种柚子囊衣、汁胞总黄酮含量

由图4可知, 囊衣的总黄酮含量差异显著 ($P < 0.05$),

最高值是最低值的1.69倍。囊衣GX的含量最高; 其次是CS和HX; LP、KY、DJ的总黄酮含量排在最后3位。汁胞的总黄酮含量差异显著 ($P < 0.05$), 最高值是最低值的1.79倍。LP的总黄酮含量最高; 其次是ZL和KY; HY、WB、GX的总黄酮含量排在最后3位。

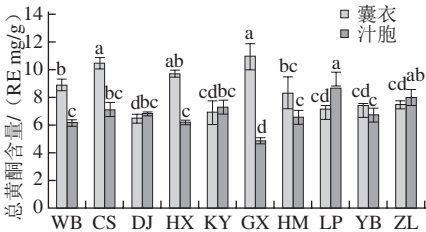


图4 各品种柚子囊衣、汁胞总黄酮含量
Fig. 4 Total flavonoid contents in the segment membrane and juice sac of the 10 pomelo cultivars

2.2.3 各品种柚子囊衣酚类物质的成分和含量

由表1可知, 重庆地方名柚成熟果实囊衣以地奥司明、橙皮素、圣草次苷为主。地奥司明的含量在10种类黄酮中最高, 均值为1 000.72 $\mu\text{g/g}$, 占10种类黄酮总量的59.11%。地奥司明含量最高的是WB, 含量为2 366.77 $\mu\text{g/g}$, 其次是CS (1 491.07 $\mu\text{g/g}$)、GX (1 836.19 $\mu\text{g/g}$); 橙皮素含量最高的是DJ, 含

表2 各品种柚子汁胞酚类物质含量
Table 2 Phenolic compositions in the juice sac of the 10 pomelo cultivars

品种	黄酮醇					黄酮				黄酮醇		酚酸			
	圣草次苷	橙皮苷	圣草酚	柚皮素	橙皮素	地奥司明	甜橙黄酮	川陈皮素	橘皮素	芦丁	没食子酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸	$\mu\text{g/g}$
WB	21.07 $\pm$ 5.32 ^{ad}	ND	ND	ND	ND	182.32 $\pm$ 21.24 ^c	ND	ND	ND	ND	1 295.77 $\pm$ 32.66 ^a	412.26 $\pm$ 59.40 ^b	ND	36.19 $\pm$ 8.91 ^a	
CS	ND	ND	ND	ND	ND	169.30 $\pm$ 25.78 ^c	ND	ND	ND	ND	1 325.89 $\pm$ 113.04 ^a	42.98 $\pm$ 3.74 ^c	ND	18.86 $\pm$ 0.77 ^c	
DJ	115.74 $\pm$ 3.85 ^b	ND	ND	ND	777.03 $\pm$ 53.62 ^a	589.07 $\pm$ 40.77 ^b	ND	ND	12.25 $\pm$ 1.86 ^c	708.58 $\pm$ 47.84 ^a	812.60 $\pm$ 13.90 ^b	88.18 $\pm$ 6.60 ^{de}	10.68 $\pm$ 0.50 ^d	41.84 $\pm$ 1.49 ^a	
HX	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.53 $\pm$ 0.27 ^{de}	ND	948.25 $\pm$ 177.71 ^b	117.88 $\pm$ 5.89 ^d	ND	6.40 $\pm$ 0.83 ^{de}	
KY	117.36 $\pm$ 1.50 ^b	ND	ND	ND	777.20 $\pm$ 59.39 ^a	592.52 $\pm$ 45.06 ^b	ND	ND	10.44 $\pm$ 0.49 ^{cd}	709.31 $\pm$ 45.00 ^a	818.05 $\pm$ 10.44 ^a	90.50 $\pm$ 2.31 ^{de}	10.89 $\pm$ 0.56 ^{cd}	42.66 $\pm$ 1.75 ^a	
GX	ND	ND	ND	ND	ND	365.63 $\pm$ 48.26 ^c	ND	ND	ND	177.21 $\pm$ 4.69 ^c	851.50 $\pm$ 23.58 ^b	35.13 $\pm$ 2.08 ^e	ND	ND	
HM	23.15 $\pm$ 2.95 ^{cd}	ND	10.63 $\pm$ 1.40 ^b	ND	ND	308.08 $\pm$ 36.25 ^{cd}	ND	ND	ND	ND	857.94 $\pm$ 91.67 ^b	497.02 $\pm$ 59.83 ^a	ND	24.07 $\pm$ 0.82 ^{bc}	
LP	42.96 $\pm$ 2.93 ^c	ND	15.82 $\pm$ 3.34 ^d	ND	ND	930.51 $\pm$ 88.70 ^a	9.78 $\pm$ 0.38 ^a	ND	67.51 $\pm$ 4.94 ^b	ND	1 255.82 $\pm$ 75.17 ^a	54.28 $\pm$ 3.83 ^c	14.76 $\pm$ 0.58 ^b	26.20 $\pm$ 1.46 ^b	
YB	ND	ND	12.90 $\pm$ 1.73 ^b	ND	ND	254.61 $\pm$ 31.66 ^{de}	ND	ND	8.14 $\pm$ 1.44 ^{cd}	ND	917.03 $\pm$ 83.77 ^b	274.03 $\pm$ 5.51 ^c	18.21 $\pm$ 0.74 ^a	24.92 $\pm$ 2.07 ^{bc}	
ZL	232.29 $\pm$ 46.81 ^a	ND	ND	ND	ND	177.96 $\pm$ 15.67 ^c	ND	ND	79.00 $\pm$ 6.79 ^a	583.70 $\pm$ 70.93 ^b	1 318.74 $\pm$ 64.94 ^a	82.08 $\pm$ 8.25 ^{de}	11.79 $\pm$ 0.75 ^c	11.34 $\pm$ 1.78 ^d	

表3 各品种柚子囊衣和汁胞的抗氧化活性
Table 3 Antioxidant activities of the segment membrane and juice sac of the 10 pomelo cultivars

品种	DPPH自由基清除能力/ ($\mu\text{mol TE/g}$)		FRAP/ ($\mu\text{mol TE/g}$)		ABTS ⁺ 清除能力/ ($\mu\text{mol TE/g}$)		APC指数/%		排序	
	囊衣	汁胞	囊衣	汁胞	囊衣	汁胞	囊衣	汁胞	囊衣	汁胞
WB	74.78 $\pm$ 0.94 ^{bc}	151.74 $\pm$ 1.47 ^{ab}	66.55 $\pm$ 1.69 ^b	76.67 $\pm$ 2.31 ^{cde}	9.65 $\pm$ 0.42 ^c	10.20 $\pm$ 0.40 ^a	82.35	85.38	5	2
CS	77.16 $\pm$ 8.54 ^{bc}	131.87 $\pm$ 6.21 ^{cd}	57.32 $\pm$ 4.00 ^c	67.30 $\pm$ 1.21 ^{ef}	11.00 $\pm$ 0.53 ^{abc}	10.28 $\pm$ 0.32 ^a	83.13	78.65	4	4
DJ	75.74 $\pm$ 2.58 ^{bc}	138.44 $\pm$ 6.60 ^{bcd}	73.88 $\pm$ 4.54 ^{ab}	83.22 $\pm$ 4.59 ^{bcd}	10.46 $\pm$ 0.66 ^{bc}	7.84 $\pm$ 0.23 ^c	88.00	77.23	3	6
HX	65.47 $\pm$ 3.06 ^{de}	96.83 $\pm$ 2.20 ^f	53.58 $\pm$ 2.13 ^{cd}	71.36 $\pm$ 2.31 ^{def}	11.83 $\pm$ 0.23 ^{ab}	6.81 $\pm$ 0.45 ^d	79.45	61.73	6	8
KY	57.45 $\pm$ 1.49 ^{ef}	76.53 $\pm$ 3.26 ^g	48.47 $\pm$ 1.73 ^d	65.54 $\pm$ 1.58 ^{ef}	7.62 $\pm$ 0.55 ^d	4.80 $\pm$ 0.06 ^e	62.72	49.63	10	9
GX	80.62 $\pm$ 3.01 ^b	72.54 $\pm$ 1.50 ^g	80.05 $\pm$ 2.66 ^a	62.62 $\pm$ 1.74 ^f	12.10 $\pm$ 1.32 ^a	5.14 $\pm$ 0.12 ^c	96.92	48.95	1	10
HM	63.98 $\pm$ 2.64 ^{de}	110.53 $\pm$ 5.10 ^e	54.30 $\pm$ 2.22 ^{cd}	84.96 $\pm$ 7.05 ^{bc}	10.02 $\pm$ 0.52 ^c	7.88 $\pm$ 0.31 ^c	74.21	71.79	8	7
LP	55.05 $\pm$ 3.37 ^f	153.28 $\pm$ 11.07 ^a	76.78 $\pm$ 7.53 ^a	117.82 $\pm$ 13.23 ^a	9.63 $\pm$ 0.43 ^c	11.08 $\pm$ 0.98 ^a	79.14	100.00	7	1
YB	70.11 $\pm$ 2.87 ^{cd}	144.17 $\pm$ 10.79 ^{abc}	51.22 $\pm$ 2.61 ^{cd}	73.72 $\pm$ 3.85 ^{cdef}	9.57 $\pm$ 0.52 ^c	9.05 $\pm$ 0.51 ^b	74.00	79.42	9	3
ZL	88.83 $\pm$ 3.75 ^a	129.23 $\pm$ 5.49 ^d	66.77 $\pm$ 2.69 ^b	90.69 $\pm$ 2.35 ^b	10.58 $\pm$ 0.90 ^{bc}	8.08 $\pm$ 0.44 ^c	90.28	78.05	2	5

量为2 664.32 $\mu\text{g/g}$, 其次是KY (2 661.63 $\mu\text{g/g}$)、WB (6.16 $\mu\text{g/g}$)；圣草次苷含量最高的是ZL, 含量为188.27 $\mu\text{g/g}$, 其次是KY (137.07 $\mu\text{g/g}$)、DJ (132.60 $\mu\text{g/g}$)。

重庆地方名柚成熟果实囊衣以没食子酸、绿原酸为主。没食子酸的含量在4种酚酸中最高, 均值为383.96 $\mu\text{g/g}$, 占4种酚酸总量的56.76%。没食子酸含量最高的是GX, 含量为694.64 $\mu\text{g/g}$, 其次是CS (563.33 $\mu\text{g/g}$)、HX (431.18 $\mu\text{g/g}$)；绿原酸含量最高的是GX, 含量为469.28 $\mu\text{g/g}$, 其次是ZL (414.62 $\mu\text{g/g}$)、KY (378.88 $\mu\text{g/g}$)。

2.2.4 各品种柚子汁胞酚类物质的成分和含量

由表2可知, 重庆地方名柚成熟果实汁胞以地奥司明、芦丁、橙皮素为主。地奥司明的含量在10种类黄酮中最高, 均值为357.00 $\mu\text{g/g}$, 占10种类黄酮总量的44.15%。地奥司明含量最高的是LP, 含量为930.51 $\mu\text{g/g}$, 其次是KY (592.52 $\mu\text{g/g}$)、DJ (589.07 $\mu\text{g/g}$)；芦丁含量最高的是KY, 含量为709.31 $\mu\text{g/g}$, 其次是DJ (708.58 $\mu\text{g/g}$)、ZL (583.70 $\mu\text{g/g}$)；橙皮素含量最高的是KY, 含量为777.20 $\mu\text{g/g}$, 其次是DJ (777.03 $\mu\text{g/g}$)。

重庆地方名柚成熟果实汁胞以没食子酸、绿原酸为主。没食子酸的含量在4种酚酸中最高, 均值为1 040.16 $\mu\text{g/g}$, 占4种酚酸总量的83.92%。没食子酸含量最高的是CS, 含量为1 325.89 $\mu\text{g/g}$, 其次是ZL (1 318.74 $\mu\text{g/g}$)、WB (1 295.77 $\mu\text{g/g}$)；绿原酸含量最高的是HX, 含量为497.02 $\mu\text{g/g}$, 其次是WB (412.26 $\mu\text{g/g}$)、YB (274.03 $\mu\text{g/g}$)。

2.3 各品种柚子囊衣、汁胞抗氧化活性

如表3所示, 由DPPH自由基清除实验可知, 囊衣DPPH自由基清除能力差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的1.61倍。囊衣DPPH自由基清除能力最强的是ZL; 其次是GX和CS; 最弱的是LP。汁胞DPPH自由基清除能力差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的2.11倍。汁胞DPPH自由基清除能力最强的是LP; 其次是WB和YB; 最弱的是GX。

由FRAP实验可知, 囊衣FRAP值差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的1.65倍。囊衣FRAP最强的是GX; 其次是LP和DJ; 最弱的是KY。汁胞FRAP值差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的1.88倍。汁胞FRAP最强的是LP; 其次是ZL和HM; 最弱的是GX。

由ABTS⁺清除实验可知, 囊衣ABTS⁺清除能力差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的1.59倍。囊衣ABTS⁺清除能力最强的是GX; 其次是HX和CS; 最弱的是KY。汁胞ABTS⁺清除能力差异显著 ($P<0.05$), 最高值是最低值的2.31倍。汁胞ABTS⁺清除能力最强的是LP; 其次是CS和WB; 最弱的是KY。

不同品种柚子囊衣的APC指数变幅为62.72%~

96.92%, 汁胞的APC指数变幅为48.95%~100.00%, 柚子囊衣部位GX的APC指数最高, 这表明GX的DPPH自由基清除能力、FRAP、ABTS⁺清除能力的综合抗氧化活性最强; 其次是ZL和DJ; KY的APC指数最低, 这表明KY的DPPH自由基清除能力、FRAP、ABTS⁺清除能力的综合抗氧化活性最弱。柚子汁胞部位LP的APC指数最高, 这表明LP的DPPH自由基清除能力、FRAP、ABTS⁺清除能力的综合抗氧化活性最强; 其次是WB和YB; GX的APC指数最低, 这表明GX的DPPH自由基清除能力、FRAP、ABTS⁺清除能力的综合抗氧化活性最弱。

3 结论

本研究以重庆地方名柚果肉为对象, 分别检测了各个品种囊衣、汁胞的总酚、总黄酮、类黄酮、酚酸的含量, 并对其抗氧化活性进行了评价。不同品种2个部位的酚类物质含量差异显著, 总酚和酚酸的含量: 汁胞>囊衣; 总黄酮、黄烷酮及黄酮的含量: 囊衣>汁胞。GX囊衣的总酚、总黄酮含量最高; ZL汁胞的总酚含量最高; LP汁胞的总黄酮含量最高。3种抗氧化方法测定2个部位的抗氧化活性强弱均值比较, DPPH自由基清除能力: 汁胞>囊衣; FRAP: 汁胞>囊衣; ABTS⁺清除能力: 囊衣>汁胞, 结果表明GX囊衣、LP汁胞的综合抗氧化活性最强。本研究将为柑橘资源的实践利用提供数据支持, 也为柑橘果品营养、医药和保健价值的开发研究提供了依据, 具有一定的社会价值和经济价值。同时, 为重庆地方名柚的规范化种植以及产品推广、贮藏加工等提供理论参考, 促进重庆市柑橘产业的持续健康发展。

参考文献:

- [1] LIU Y Z, DENG X X. Citrus breeding and genetics in China[J]. Asian-Australia Journal Animal Science, 2007, 1(1): 23-28.
- [2] 叶兴乾. 柑桔综合加工利用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 13-25.
- [3] 周志钦. 柑桔果品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 32-94.
- [4] 张上隆. 果实品质形成与调控的分子生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [5] RAPISARDA P, BIANCO M L, PANNUZZO P, et al. Effect of cold storage on vitamin C, phenolics and antioxidant activity of five orange genotypes [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck][J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 348-354. DOI:10.1016/j.postharvbio.2008.02.002.
- [6] 靖丽, 周志钦. 论果品营养学[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 114-123.
- [7] 沈德绪, 王元裕, 陈力耕. 柑橘遗传育种学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 159-192.

- [8] 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.
- [9] 张元梅, 周志钦, 孙玉敬, 等. 高效液相色谱法同时测定柑橘果实中18种黄酮类物质的含量[J]. 中国农业科学, 2012, 45(17): 3558-3565. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.17.012.
- [10] 陈曾三. 植物多酚功能性及其开发利用[J]. 粮食与油脂, 2000, 3(1): 40-41.
- [11] de MORAES B H R, de CASTRO F T A P, GENOVESE M I. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil[J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 1892-1898. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.03.090.
- [12] 冉玥, 焦必宁, 赵其阳, 等. 超高效液相色谱法同时测定柑橘中11种黄酮类物质[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 168-172.
- [13] 郑洁, 赵其阳, 张耀海, 等. 超高效液相色谱法同时测定柑橘中主要酚酸和黄酮类物质[J]. 中国农业科学, 2014, 47(23): 4706-4717. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2014.23.015.
- [14] 方波, 赵其阳, 席万鹏, 等. 十种柚类及柚杂种果实中类黄酮含量的超高效液相色谱分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1892-1902. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2013.09.017.
- [15] NOGATA Y, SAKAMOTO K, SHIRATSUCHI H, et al. Flavonoid composition of fruit tissues of citrus species[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2006, 70(1): 178-192. DOI:10.1271/bbb.70.178.
- [16] WANG Y C, CHUANG Y C, KU Y H. Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan[J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1163-1171. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.06.057.
- [17] 徐贵华, 胡玉霞, 叶兴乾, 等. 椪柑, 温州蜜桔果皮中酚类物质组成及抗氧化能力研究[J]. 食品科学, 2008, 28(11): 171-175. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2007.11.036.
- [18] 徐贵华. 柑橘酚类物质的提取, 测定与抗氧化活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [19] RAMFUL D, TARNUS E, ARUOMA O I, et al. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 2088-2099. DOI:10.1016/j.foodres.2011.03.056.
- [20] ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Method in Enzymology, 1999, 299(14): 152-178. DOI:10.1016/S0076-6879(99)99017-1.
- [21] KIM D O, JEONG S W, LEE C Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 321-326. DOI:10.1016/S0308-8146(02)00423-5.
- [22] 张元梅, 周志钦, 孙玉敬, 等. 高效液相色谱法同时测定柑橘果实中18种黄酮类物质的含量[J]. 中国农业科学, 2012, 45(17): 3558-3565. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.17.012.
- [23] GORINSTEIN S, HARUENKIT R, PARK Y S, et al. Bioactive compounds and antioxidant potential in fresh and dried Jaffa® sweeties, a new kind of citrus fruit[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(12): 1459-1463. DOI:10.1002/jsfa.1800.
- [24] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76. DOI:10.1006/abio.1996.0292.
- [25] ALMEIDA M M B, de SOUSA P H M, ARRIAGA Â M C, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 2155-2159. DOI:10.1016/j.foodres.2011.03.051.
- [26] SEERAM N P, AVIRAM M, ZHANG Y, et al. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4): 1415-1422. DOI:10.1021/jf073035s.