

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.05.009

重庆市 10 大名柚果实酚类物质 质量分数及抗氧化活性研究^①

张 昭¹, 吕泽芳¹, 吴洪梅¹, 周志钦^{1,2}, 于 杰^{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

摘要: 该研究测定了重庆市 10 大名柚成熟果实囊衣、汁胞、种子 3 个部位的总酚、总黄酮质量分数, 同时采用 1,1-二苯基-2-2-三硝基苯肼(DPPH)、铁离子还原能力测定(FRAP)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-硫酸)二铵盐(ABTS)共 3 种方法对其抗氧化活性进行了评价, 并进一步分析了不同部位的酚类物质质量分数与其抗氧化活性的相关性。结果表明: 总酚、总黄酮质量分数最高的部位分别是汁胞和种子。囊衣、汁胞、种子 3 个部位总酚质量分数最高的分别是琯溪蜜柚、真龙柚 3 号和真龙柚 3 号; 总黄酮质量分数最高的分别是琯溪蜜柚、梁平柚 78-8 和渝北沙田柚。其次, 该研究还发现, 抗氧化活性与检测方法有关, 用 DPPH, FRAP, ABTS 共 3 种方法测得的抗氧化活性最强的部位分别是汁胞、汁胞和囊衣。综合抗氧化能力指数表明, 琯溪蜜柚囊衣、梁平柚 78-8 汁胞、渝北沙田柚种子的抗氧化活性最强。抗氧化活性与总酚、总黄酮质量分数的相关性分析结果表明, 囊衣总酚、总黄酮质量分数与 ABTS 的相关性极具有统计学意义($p < 0.01$); 汁胞总酚、总黄酮质量分数与 DPPH, FRAP, ABTS 的相关性具有统计学意义($p < 0.05$); 种子总酚质量分数与 DPPH, FRAP, ABTS, 总黄酮质量分数与 FRAP 的相关性具有统计学意义($p < 0.05$)。

关键词: 柚子; 总酚; 总黄酮; 抗氧化活性; 相关性

中图分类号: Q949.752.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)05-0058-08

柚 *Citrus grandis* (L.) Osbeck 为芸香科柑橘属植物, 原产我国及东南亚地区, 具有很高的营养价值。柚子不仅风味可口, 而且有益于健康^[1]。酚类物质是植物在正常生长期及应激一些胁迫条件时所产生的次级代谢产物^[2], 广泛存在于植物中^[3-5], 在植物抗逆性、抗病虫害等方面有重要作用^[6]。柚子富含酚类物质, 如类黄酮、酚酸等, 具有抗氧化、抗炎、抗癌、预防心血管疾病、糖尿病等功效^[7-10]。因此, 关于柑橘酚类物质及抗氧化活性的研究已成为科研领域的热门话题, 围绕柑橘不同品种果皮或果肉中酚类物质成分质量分数及其抗氧化活性评价^[11-12]、果实成熟过程中活性物质成分和抗氧化性变化的报道已有很多^[13-15]。重庆市是柚子的主产区之一, 栽培历史悠久, 拥有很多有特色的地方品种。国内对柚子地方品种成熟果实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, 本研究以重庆市 10 大名柚成熟果实为对象^[16], 检测了囊衣、汁胞、种子 3 个部位的总酚、总黄酮质量分数并对其抗氧化活性进行了评价。

1 材料与方法

1.1 材 料

巴南五布柚、长寿沙田柚、垫江白柚、丰都红心柚、奉节夔柚、合川琯溪蜜柚、梁平虎蜜柚 1 号、梁平

① 收稿日期: 2013-11-21

基金项目: 国家自然科学基金(31171930); 重庆市自然科学基金(CSTC2013JCYJA8002); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2014C091); 西南大学博士基金(SWU112016)。

作者简介: 张 昭(1989-), 男, 河南辉县人, 硕士研究生, 主要从事果品营养与质量安全研究。

通信作者: 于 杰, 副教授。

梁平柚 78-8、渝北沙田柚、忠县真龙柚 3 号。

试材来源于重庆市相应区、县主产区。在各个品种成熟季节,选取长势基本一致、生长发育良好的植株,在树体各个方向取大小均匀、果形正常、无病虫害的成熟果实。

1.2 试 剂

DPPH(纯度 99%), TPTZ(纯度 99%), ABTS(纯度 99%), Gallic Acid(纯度 99%), Rutin(纯度 99%), Trolox(纯度 97%)均购自 Sigma 公司(St Louis, MO, USA);其他试剂均为分析纯试剂,购自中国四川省成都市科龙化工试剂厂。

1.3 仪器与设备

密理博 Milli-Q Advantage A10 超纯水系统:美国密理博(Millipore)公司;电子天平(感量 0.1 mg, Sartorius BSA 224S Max 220 g);德国赛多利斯集团;KQ5200DE 型数控超声清洗器:昆山市超声仪器有限公司;紫外可见分光光度计(Perkin Elmer Lambda 25 型):美国珀金埃尔默公司;小型粉碎机(ZN-04A):中国北京兴时利和科技发展有限公司;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9240A):中国上海齐欣科学仪器有限公司。

1.4 方 法

1.4.1 酚类物质提取

柚子果实采摘后立即将其分成囊衣、汁胞、种子 3 个部位,将其切成小块,放入烘箱,40 °C 烘干至含水量小于 5%,烘干样品经粉碎过 60 目筛后密封,储存于干燥器备用。称取制备好的柚子样品 0.4 g 于三角瓶中,加入 8 mL 甲醇提取剂,摇匀,50 °C 超声提取 30 min,5 000 r/min 离心 15 min,取上清液,残渣再加 8 mL 相同的提取剂重复提取 2 次,用少量甲醇洗涤残渣,合并上清液,并定容至 25 mL,储存在 -20 °C 备用^[17]。

1.4.2 总酚质量分数测定

参考 Singleton 等^[18]的方法略加修改。分别取 250 μ L 各部位提取液,于 10 mL 离心管中,加入纯水 750 μ L,摇匀,再加 1.0 mL 福林酚试剂,漩涡震荡,暗处放置 5 min,加入 1.0 mL 5% Na_2CO_3 溶液,充分混合后,室温放置 60 min,于 765 nm 处测吸光值。以没食子酸做标样制作标准曲线,总酚质量分数用没食子酸当量 GAE(Gallic Acid Equivalent)表示。

1.4.3 总黄酮质量分数测定

参考 Kim 等^[19]的方法略加修改。分别取 0.5 mL 各部位提取液,于 10 mL 离心管中,加入纯水 0.7 mL,混匀后加 0.2 mL 5% NaNO_2 ,混匀后静置 5 min,加入 0.2 mL 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 摇匀后静置 6 min,加入 2 mL 1 mol/L NaOH,再加 1.4 mL 纯水定容至 5 mL,摇匀后静置 15 min,于 500 nm 处测吸光值。以芦丁做标样制作标准曲线,总黄酮质量分数用芦丁当量 RE(Rutin Equivalent)表示。

1.4.4 DPPH 自由基清除实验

参考 Gorinstein 等^[20]的方法略加修改。配置 75 μ mol/L 的 DPPH 溶液,分别取 0.5 mL 各部位提取液,加到 3.5 mL DPPH 溶液中,避光反应 30 min 后在 517 nm 处测定吸光值,以溶于 80% 甲醇的 Trolox 为标样做标准曲线,抗氧化能力用 Trolox 当量 TE(Trolox Equivalent)表示。

1.4.5 FRAP 铁离子还原实验

参考 Benzie 等^[21]的方法略加修改。FRAP 试剂:0.3 mol/L 醋酸缓冲液(pH = 3.6):10 mmol/L TPTZ(溶于 40 mmol/L 盐酸):20 mmol/L $\text{FeCl}_3 = 10:1:1$ 。分别取 0.1 mL 各部位提取液,加入 1.9 mL FRAP 试剂反应 15 min,于 593 nm 处测定吸光值。以溶于 80% 甲醇的 Trolox 为标样做标准曲线,抗氧化能力用 Trolox 当量 TE(Trolox Equivalent)表示。

1.4.6 ABTS 自由基抗氧化实验

参考 Almeida 等^[22]的方法略加修改。取 176 μ L 140 mmol/L 过硫酸钾溶液与 10 mL 7 mmol/L ABTS^+ 溶液混合避光反应 12~16 h,然后用 95% 乙醇稀释 ABTS 溶液至吸光值为 (0.7 ± 0.002) ,得到 ABTS 溶液。分别取 0.2 mL 各部位提取液,加入 3.8 mL ABTS 反应 10 min 后于 734 nm 处测定吸光值。以溶于 80% 甲醇的 Trolox 为标样做标准曲线,抗氧化能力用 Trolox 当量 TE(Trolox Equivalent)表示。

1.4.7 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计. 所有样品均为三次平行, 测定结果以平均值±标准差(mean±SD)表示, 实验数据采用 ANOVA 进行邓肯氏(Dunken)差异分析, 以 $p<0.05$ 为具有统计学意义(*), $p<0.01$ 为极具有统计学意义(* *).

2 结果与分析

2.1 酚类物质质量分数差异

2.1.1 各个品种柚子不同部位总酚质量分数差异

由表 1 可知, 重庆市 10 大名柚囊衣总酚质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(4.15±0.23)~(9.20±0.84) mg/g GAE DW(干质量, Dry Weight), 琯溪蜜柚的质量分数最高, 垫江白柚的质量分数最低; 汁胞总酚质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(4.99±0.28)~(8.84±0.27) mg/g GAE DW, 真龙柚 3 号的质量分数最高, 虎蜜柚 1 号的质量分数最低; 种子总酚质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(3.00±0.08)~(4.68±0.49) mg/g GAE DW, 真龙柚 3 号的质量分数最高, 垫江白柚的质量分数最低. 不同部位总酚质量分数均值比较, 从大到小依次为汁胞(7.07 mg/g GAE DW)、囊衣(6.77 mg/g GAE DW)、种子(3.72 mg/g GAE DW).

表 1 柚子不同部位酚类物质质量分数

品 种	囊 衣		汁 胞		种 子	
	总酚质量分数/ (GAE, mg·g ⁻¹)	总黄酮质量分数/ (RE, mg·g ⁻¹)	总酚质量分数/ (GAE, mg·g ⁻¹)	总黄酮质量分数/ (RE, mg·g ⁻¹)	总酚质量分数/ (GAE, mg·g ⁻¹)	总黄酮质量分数/ (RE, mg·g ⁻¹)
五布柚	8.95±0.22 ^{ab}	8.93±0.41 ^b	8.74±0.19 ^a	6.17±0.17 ^c	3.43±0.21 ^{bc}	26.51±0.44 ^d
长寿沙田柚	7.76±0.65 ^b	10.46±0.46 ^a	6.83±0.32 ^c	7.08±0.57 ^{bc}	4.36±0.56 ^{ab}	34.39±2.88 ^{ab}
垫江白柚	4.15±0.23 ^d	6.49±0.33 ^d	6.17±0.51 ^{cd}	6.88±0.09 ^{bc}	3.00±0.08 ^c	29.16±1.16 ^{bcd}
红心柚	9.08±0.54 ^a	9.67±0.31 ^{ab}	7.96±0.44 ^b	6.20±0.20 ^c	3.75±0.60 ^{abc}	27.65±4.90 ^{cd}
夔柚	4.86±0.83 ^{cd}	6.92±0.86 ^{cd}	5.50±0.13 ^{de}	7.32±0.44 ^{bc}	3.18±0.02 ^c	34.88±1.48 ^{ab}
琯溪蜜柚	9.20±0.84 ^a	10.97±0.93 ^a	6.69±0.24 ^c	4.86±0.21 ^d	3.62±0.38 ^{bc}	34.31±2.99 ^{ab}
虎蜜柚 1 号	6.11±0.07 ^c	8.33±1.20 ^{bc}	4.99±0.28 ^e	6.59±0.49 ^c	3.21±0.52 ^c	29.49±3.60 ^{bcd}
梁平柚 78-8	5.95±0.93 ^c	7.15±0.27 ^{cd}	8.31±0.29 ^{ab}	8.69±1.19 ^a	3.57±0.10 ^{bc}	35.61±2.58 ^{ab}
渝北沙田柚	5.81±0.17 ^c	7.44±0.12 ^{cd}	6.64±0.43 ^c	6.75±0.51 ^c	4.39±0.80 ^{ab}	38.55±3.06 ^a
真龙柚 3 号	5.83±0.43 ^c	7.51±0.32 ^{cd}	8.84±0.27 ^a	7.99±0.56 ^{ab}	4.68±0.49 ^a	33.44±2.37 ^{abc}

注: 不同小写字母代表差异具有统计学意义($p<0.05$).

2.1.2 各个品种柚子不同部位总黄酮质量分数差异

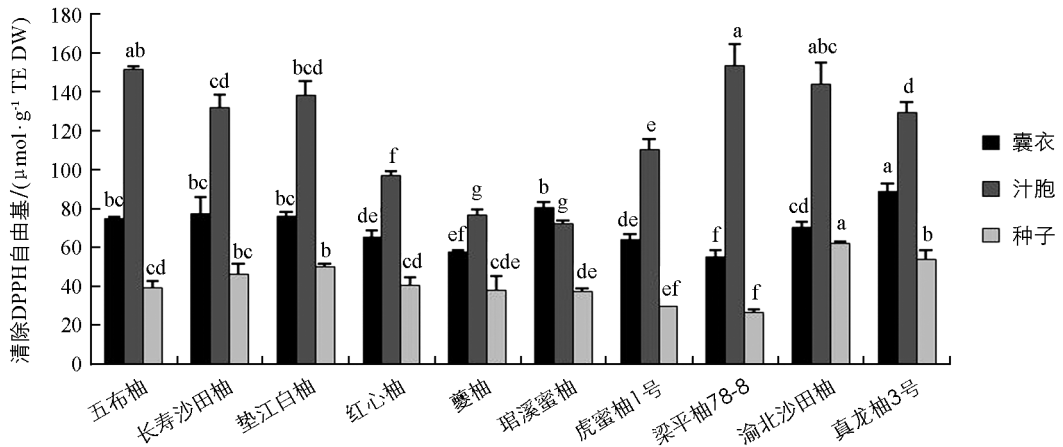
由表 1 可知, 重庆市 10 大名柚囊衣总黄酮质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(6.49±0.33)~(10.97±0.93) mg/g RE DW, 琯溪蜜柚的质量分数最高, 垫江白柚的质量分数最低; 汁胞总黄酮质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(4.86±0.21)~(8.69±1.19) mg/g RE DW, 梁平柚 78-8 的质量分数最高, 琯溪蜜柚的质量分数最低; 种子总黄酮质量分数差异具有统计学意义($p<0.05$), 变幅为(26.51±0.44)~(38.55±3.06) mg/g RE DW, 渝北沙田柚质量分数最高, 五布柚的质量分数最低. 不同部位总黄酮质量分数均值比较, 从大到小依次为种子(32.4 mg/g RE DW)、囊衣(8.39 mg/g RE DW)、汁胞(6.85 mg/g RE DW).

2.2 抗氧化活性强弱差异

2.2.1 DPPH 自由基清除能力

重庆市 10 大名柚 DPPH 自由基清除能力如图 1 所示: 囊衣 DPPH 值差异具有统计学意义($p<0.05$), 变化范围为(55.05±3.37)~(88.83±3.75) $\mu\text{mol/g TE DW}$, 真龙柚 3 号 DPPH 自由基清除能力最强, 梁平柚 78-8 最弱; 汁胞 DPPH 值差异具有统计学意义($p<0.05$), 变化范围为(72.54±1.50)~(153.28±11.07) $\mu\text{mol/g TE DW}$, 梁平柚 78-8 DPPH 自由基清除能力最强, 琯溪蜜柚最弱; 种子 DPPH 值差异具有

统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(26.62 \pm 1.64) \sim (61.99 \pm 1.38) \mu\text{mol/g TE DW}$, 渝北沙田柚 DPPH 自由基清除能力最强, 梁平柚 78-8 最弱. 不同部位 DPPH 均值比较, 从大到小依次为汁胞($120.52 \mu\text{mol/g TE DW}$)、囊衣($70.92 \mu\text{mol/g TE DW}$)、种子($42.42 \mu\text{mol/g TE DW}$).

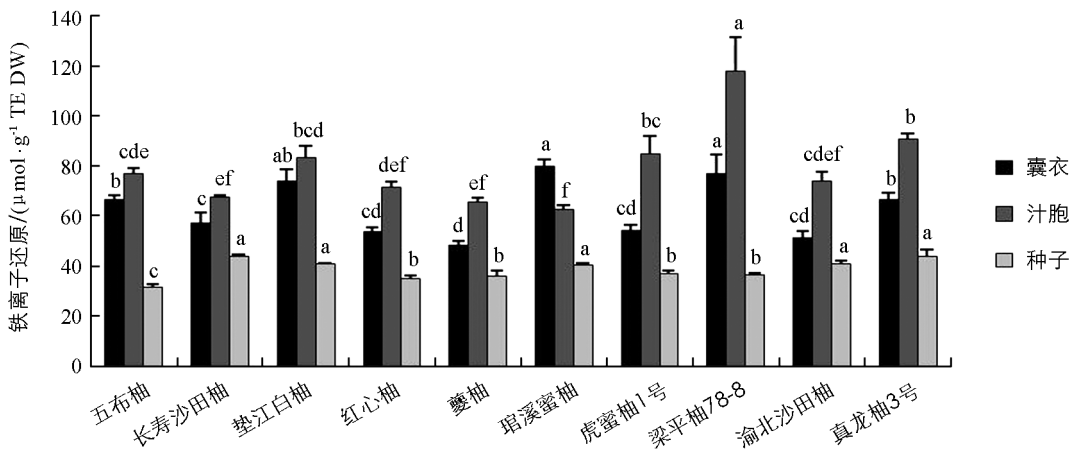


不同小写字母代表差异具有统计学意义($p < 0.05$).

图 1 柚子不同部位 DPPH 自由基清除能力

2.2.2 FRAP 铁离子还原能力

重庆市 10 大名柚 FRAP 铁离子还原能力如图 2 所示: 囊衣 FRAP 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(48.47 \pm 1.73) \sim (80.05 \pm 2.66) \mu\text{mol/g TE DW}$, 琯溪蜜柚铁离子还原能力最强, 夔柚最弱; 汁胞 FRAP 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(62.62 \pm 1.74) \sim (117.82 \pm 13.23) \mu\text{mol/g TE DW}$, 梁平柚 78-8 铁离子还原能力最强, 琯溪蜜柚最弱; 种子 FRAP 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(31.61 \pm 1.07) \sim (43.68 \pm 1.24) \mu\text{mol/g TE DW}$, 长寿沙田柚铁离子还原能力最强, 五布柚最弱. 不同部位 FRAP 均值比较, 从大到小依次为汁胞($79.39 \mu\text{mol/g TE DW}$)、囊衣($62.89 \mu\text{mol/g TE DW}$)、种子($38.55 \mu\text{mol/g TE DW}$).



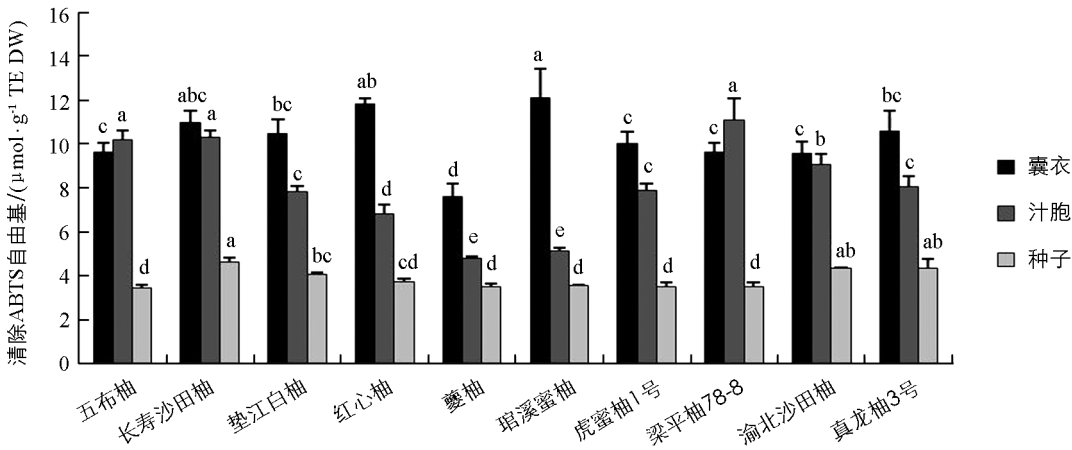
不同小写字母代表差异具有统计学意义($p < 0.05$).

图 2 柚子不同部位铁离子还原能力

2.2.3 ABTS 自由基清除能力

重庆市 10 大名柚 ABTS 自由基能力如图 3 所示: 囊衣 ABTS 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(7.62 \pm 0.55) \sim (12.10 \pm 1.32) \mu\text{mol/g TE DW}$, 琯溪蜜柚 ABTS 清除自由基能力最强, 夔柚最弱; 汁胞 ABTS 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(4.80 \pm 0.06) \sim (11.08 \pm 0.98) \mu\text{mol/g TE DW}$, 梁平柚 78-8 ABTS 清除自由基能力最强, 夔柚最弱; 种子 ABTS 值差异具有统计学意义($p < 0.05$), 变化范围为 $(3.42 \pm 0.17) \sim (4.61 \pm 0.24) \mu\text{mol/g TE DW}$, 长寿沙田柚 ABTS 清除自由基能力最强, 五布柚最弱. 不同部位 ABTS 均值比较, 从大到小依次为囊衣($10.25 \mu\text{mol/g TE DW}$)、汁胞

(8.12 $\mu\text{mol/g TE DW}$)、种子(3.85 $\mu\text{mol/g TE DW}$).



不同小写字母代表差异具有统计学意义($p<0.05$).

图 3 柚子不同部位 ABTS 自由基清除能力

2.2.4 综合抗氧化能力评价指数

重庆市 10 大名柚综合抗氧化能力评价指数 APC(Antioxidant Potency Composite)^[23] 如表 2 所示.

表 2 柚子不同部位的 APC 指数

品种	囊衣/%	汁胞/%	种子/%
五布柚	82.35	85.38	69.85
长寿沙田柚	83.13	78.65	91.60
垫江白柚	88.00	77.23	87.40
红心柚	79.45	61.73	75.41
夔柚	62.72	49.63	73.12
琯溪蜜柚	96.92	48.95	76.48
虎蜜柚 1 号	74.21	71.79	69.52
梁平柚 78-8	79.14	100.00	67.75
渝北沙田柚	74.00	79.42	95.86
真龙柚 3 号	90.28	78.05	93.56

不同品种囊衣的 APC 指数变化范围为 62.72%~96.93%，琯溪蜜柚的最高，夔柚的最低；汁胞的 APC 指数变化范围为 48.95%~100.00%，梁平柚 78-8 的最高，琯溪蜜柚的最低；种子的 APC 指数变化范围为 67.75%~95.86%，渝北沙田柚的最高，梁平柚 78-8 的最低.

2.3 酚类物质与抗氧化能力的相关性

重庆市 10 大名柚不同部位酚类物质质量分数与抗氧化能力的相关性如表 3 所示.

表 3 柚子不同部位酚类物质与抗氧化能力的相关性

	总酚	总黄酮	DPPH	FRAP	ABTS	
囊衣	DPPH	0.257	0.306	1.000		
	FRAP	0.126	0.102	0.347	1.000	
	ABTS	0.611**	0.650**	0.499**	0.391*	1.000
汁胞	DPPH	0.467**	0.507**	1.000		
	FRAP	0.390*	0.738**	0.610**	1.000	
	ABTS	0.447*	0.447*	0.886**	0.570**	1.000
种子	DPPH	0.460*	0.150	1.000		
	FRAP	0.426*	0.400*	0.585**	1.000	
	ABTS	0.568**	0.280	0.698**	0.709**	1.000

注：** 为 $p<0.01$ 水平差异极具有统计学意义(双尾)；* 为 $p<0.05$ 水平差异具有统计学意义(双尾).

囊衣总酚、总黄酮质量分数与 ABTS 值, DPPH 值与 ABTS 值呈极显著正相关关系($p < 0.01$), FRAP 值与 ABTS 值呈显著正相关关系($p < 0.05$); 汁胞总酚、总黄酮质量分数与 DPPH 值, 总黄酮质量分数与 FRAP 值, DPPH 值与 FRAP 值、ABTS 值, FRAP 值与 ABTS 值呈极显著正相关关系($p < 0.01$), 总酚质量分数与 FRAP 值、ABTS 值, 总黄酮质量分数与 ABTS 值呈显著正相关关系($p < 0.05$); 种子总酚质量分数与 ABTS 值, DPPH 值与 FRAP 值、ABTS 值, FRAP 值与 ABTS 值呈极显著正相关关系($p < 0.01$), 总酚质量分数与 DPPH 值、FRAP 值, 总黄酮质量分数与 FRAP 值呈显著正相关关系($p < 0.05$).

3 讨论与结论

酚类物质是植物体内一种重要的次生代谢产物, 在多种果蔬产品中已有报道. 关于柑橘类水果果皮、果肉酚类物质质量分数亦有研究. 万利秀等^[11]研究了 9 个不同柑橘品种果皮中总黄酮质量分数, 发现南丰橘质量分数最高, 达到 9.68 mg/g RE DW; 王菁等^[12]对四川几个主要柑橘品种进行了功能性成分质量分数测定, 琯溪蜜柚果皮的总黄酮质量分数为(13.16±0.16) mg/g RE DW; 朱晓艳^[13]研究了瓯柑果实发育过程中酚类化合物的变化规律, 发现瓯柑果实总酚、总黄酮质量分数从发育初期到果实成熟总体上呈现下降趋势. 本研究对重庆市 10 大名柚成熟果实囊衣、汁胞、种子 3 个部位的总酚、总黄酮质量分数进行了测定, 不同品种各个部位的总酚、总黄酮质量分数差异具有统计学意义. 琯溪蜜柚囊衣的总酚、总黄酮质量分数最高; 真龙柚 3 号汁胞的总酚质量分数最高, 梁平柚 78-8 汁胞的总黄酮质量分数最高; 真龙柚 3 号种子的总酚质量分数最高, 渝北沙田柚种子的总黄酮质量分数最高.

目前, 针对柑橘类水果抗氧化活性的研究已有不少报道, 但多针对果皮或者果肉部分, 对果实多个部位系统性的研究较少. Ramful 等^[15]应用 TEAC 和 FRAP 法测定了毛里求斯 21 种柑橘白皮层的抗氧化活性, 根据抗氧化活性的高低, 将 21 种柑橘分成抗氧化活性高、中、低 3 类; 陆云梅等^[14]以红肉脐橙果实为材料, 分析了果实稳果后果皮和果肉活性成分质量分数的变化和抗氧化活性的变化, 结果表明随着果实成熟, 果肉的抗氧化活性先上升后下降, 果皮的抗氧化活性在发育初期出现最大值, 发育过程中不断降低. 本研究采用了 DPPH 自由基清除能力、FRAP 铁离子还原能力、ABTS 自由基清除能力 3 种方法, 研究了重庆市 10 大名柚成熟果实囊衣、汁胞、种子 3 个部位的抗氧化活性. 因抗氧化活性测定原理不同, 3 种方法的实验结果存在差异. 琯溪蜜柚囊衣、梁平柚 78-8 汁胞、渝北沙田柚种子的综合抗氧化活性最强.

诸多研究表明, 柑橘类水果提取物中酚类物质与抗氧化活性之间存在相关性. Xu 等^[24]测定了柑橘皮热水提取物的矿质元素质量分数、酚类物质质量分数、抗氧化活性强弱, 结果表明温州蜜柑和椪柑的酚类物质与抗氧化活性呈极具有统计学意义正相关关系($p < 0.01$). 本研究的相关性分析结果表明, 囊衣总酚、总黄酮质量分数与 ABTS 的相关性极具有统计学意义($p < 0.01$); 汁胞总酚、总黄酮质量分数与 DPPH, FRAP, ABTS 的相关性具有统计学意义($p < 0.05$); 种子总酚质量分数与 DPPH, FRAP, ABTS, 总黄酮质量分数与 FRAP 的相关性具有统计学意义($p < 0.05$).

本研究以重庆市 10 大名柚的成熟果实为对象, 分析检测了各个品种囊衣、汁胞、种子 3 个部位的酚类物质质量分数及抗氧化活性. 各个部位的酚类物质质量分数均值从大到小比较如下, 总酚: 汁胞、囊衣、种子; 总黄酮: 种子、囊衣、汁胞. 不同方法测定的各个部位的抗氧化活性强弱均值从大到小比较如下, DPPH: 汁胞、囊衣、种子; FRAP: 汁胞、囊衣、种子; ABTS: 囊衣、汁胞、种子. 囊衣、汁胞、种子 3 个部位酚类物质质量分数最高、综合抗氧化活性最强的品种分别是琯溪蜜柚、梁平柚 78-8、渝北沙田柚.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] NACZK M, SHAHIDI F. Extraction and Analysis of Phenolics in Food [J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1054(1): 95—111.

- [3] 雷 明. 桂花果实黄酮分离纯化工艺及其抗氧化研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(4): 77—82.
- [4] NACZK M, SHAHIDI F. Phenolics in Cereals, Fruits and Vegetables: Occurrence, Extraction and Analysis [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2006, 41(5): 1523—1542.
- [5] 熊何健, 庞 杰, 林 琳. 荔枝核中活性成分的提取及抗氧化活力研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2010, 32(3): 134—139.
- [6] LATTANZIO V, LATTANZIO V M T, CARDINALI A. Role of Phenolics in the Resistance Mechanisms of Plants Against Fungal Pathogens and Insects [J]. Phytochemistry: Advances in Research, 2006, 661(2): 23—67.
- [7] BRAGA P C, CECI C, MARABINI L, et al. The Antioxidant Activity of Sulphurous Thermal Water Protects Against Oxidative DNA Damage: A Comet Assay Investigation [J]. Drug Research, 2013, 63(4): 198—202.
- [8] 靖 丽, 周志钦. 柑橘果实生物活性物质与糖尿病防治研究进展 [J]. 果树学报, 2011, 28(2): 313—320.
- [9] KUROWSKA E M, MANTHEY J A. Hypolipidemic Effects and Absorption of Citrus Polymethoxylated Flavones in Gamsters with Diet-Induced Hypercholesterolemia [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(10): 2879—2886.
- [10] Huang Y S, Ho S C. Polymethoxy Flavones Are Responsible for the Anti-Inflammatory Activity of Citrus Fruit peel [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 868—873.
- [11] 万利秀, 肖更生, 徐玉娟, 等. 不同品种柑橘皮中黄酮化合物含量及抗氧化性分析 [J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(4): 73—77.
- [12] 王 菁, 蒲 彪, 伍红梅. 柑橘果皮中主要功能性成分含量测定 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 367—369.
- [13] 朱晓艳. 瓯柑果实黄酮类化合物的分离鉴别及相关活性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [14] 陆云梅, 黄仁华, 夏仁学. 红肉脐橙果实中抗氧化物质含量及其抗氧化活性变化 [J]. 果树学报, 2011, 28(1): 134—137.
- [15] RAMFUL D, BAHORUN T, BOURDON E, et al. Bioactive Phenolics and Antioxidant Propensity of Flavedo Extracts of Mauritian Citrus Fruits: Potential Prophylactic Ingredients for Functional Foods Application [J]. Toxicology, 2010, 278(1): 75—87.
- [16] 李 容. 重庆市十大名柚的产生 [J]. 西南园艺, 1998, 26(4): 025.
- [17] 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.
- [18] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299(14): 152—178.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] ALMEIDA M M B, DE SOUSA P H M, ARRIAGA A 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.
- [23] 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.
- [24] XU G H, CHEN J C, LIU D H, et al. Minerals, Phenolic Compounds, and Antioxidant Capacity of Citrus Peel Extract by Hot Water [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(1): C11—C18.

Phenolic Contents of Ten Famous Chongqing Pummelo (*Citrus grandis*) Cultivars and Their Antioxidant Capacities

ZHANG Zhao¹, LV Ze-fang¹, WU Hong-mei¹,
ZHOU Zhi-qin^{1,2}, YU Jie^{1,2}

1. School 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

Abstract: The total phenolic compound and total flavonoid contents in the SM (segment membrane), JS (juice sac) and seeds of ten famous Chongqing mature pummelo (*C. grandis*) cultivars were determined in the present study. In addition, the antioxidant capacities of the three parts were evaluated by DPPH, FRAP and ABTS methods, and the correlations between the contents of phenolics and their antioxidant capacities in each part were analyzed. JS and seeds were shown to have the highest total phenolic compound and total flavonoid contents. *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Guanxi Yu, *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Zhenlong Yu No. 3 and *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Zhenlong Yu No. 3 were found to have the highest total phenolic compound contents in their SM, JS and seeds, respectively. *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Guanxi You, *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Liangpin You 78-8 and *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Shatian You from Yubei contained the highest total flavonoids. In addition, antioxidant capacities varied significantly depending on the test methods. The parts having highest antioxidant capacities were JS, JS and SM evaluated with DPPH, FRAP and ABTS, respectively. the SM of *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Guanxi You, the JS of *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Liangpin You 78-8 and the seeds of *C. maxima* (Burm.) Merr. cv. Shatian You from Yubei exhibited the highest antioxidant capacities. Correlation analysis indicated that the total phenolic compound and the total flavonoid contents of SM were in highly significant positive correlations with the ABTS method ($p < 0.01$), and significant positive correlations were observed between the total phenolic compound and the total flavonoid contents of JS and the DPPH, FRAP, ABTS test methods ($p < 0.05$). Total phenolic compound content of seeds was in significant positive correlations with the DPPH, FRAP, ABTS test methods and total flavonoid content of seeds was in significant positive correlation with the FRAP method ($p < 0.05$).

Key words: Pummelo; total phenolic; total flavonoid; antioxidant capacity; correlation

责任编辑 夏 娟

