

不同柑橘品种果汁中抗氧化成分比较

季露^{1,2}, 郎娅^{1,2}, 裘迪红³, 叶兴乾⁴, 毛培成⁵, 孙志栋^{1,2*}

(1. 宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波市农科院, 浙江 宁波 315040; 3. 杭州医学院 公共卫生系, 浙江 杭州 310053; 4. 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058; 5. 宁波海通食品科技有限公司, 浙江 宁波 315300)

摘要: 以 11 种柑橘品种为材料, 研究不同柑橘品种果汁中的总酚、总黄酮、Vc 含量及其抗氧化活性的差异性, 探讨抗氧化主导作用成分。研究结果表明: 血橙的总酚、Vc 含量最高, 分别为 $0.76 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $65.48 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 对 DPPH 自由基清除率与羟基自由基清除率效果最好, 分别为 45.87% 和 89.51%。相关分析和通径分析发现, 柑橘果汁中总酚、总黄酮、Vc 含量均与 DPPH 自由基清除率、羟基自由基清除率呈正相关, 其中 Vc 含量与 DPPH 自由基清除率、羟基自由基清除率呈显著正相关。柑橘果汁的抗氧化作用主要通过 Vc 直接正效应表现, 而总酚、总黄酮均通过 Vc 的间接效应表现。

关键词: 柑橘品种; 果汁; 抗氧化成分; 活性

中图分类号: TS20

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 04-0020-06

柑橘(*Citrus L.*)是热带、亚热带常绿果树, 我国主要水果之一, 包括甜橙、蜜桔、柠檬、柚、柑、葡萄柚等^[1]。柑橘中含有糖类、有机酸、氨基酸、蛋白质、维生素、膳食纤维等多种营养成分和酚、黄酮等活性物质。流行病学实验和动物试验表明, 柑橘类水果具有抗氧化、抗癌、预防循环系统疾患、抗炎症、抗过敏以及抗菌等作用^[2-3]。柑橘总酚、黄酮、Vc 不仅是柑橘的重要营养成分, 而且对人体健康有重要作用。

目前生物活性物质的体外抗氧化性的评价方法很多, 常用的有测定 DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、ABTS(2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐)、FRAP(铁离子还原/抗氧化力法)、羟基自由基、氧自由基清除率等方法。但这些方法均存在一定的缺陷, 单独使用会导致评价结果的不准确, 故通常选择两种不同的方法来评价柑橘果汁中生物活性成分的抗氧化活性^[4]。

目前, 有关柑橘果汁中抗氧化物质的含量以及抗氧化性已有报道^[5], 但以总酚、黄酮、Vc 为抗氧化成分指标, 系统地分析柑橘各品种间抗氧化

物质含量、抗氧化活性的差异性以及抗氧化活性物质与抗氧化性之间相关性的报道并不多见。

本文选用特早、黄岩本地早、沙糖桔、宫川、尾张、新津 6 种柑, 南丰蜜桔、碰柑、朱红 3 种橘, 伊予柑 1 种杂交的橘橙以及血橙共 11 个品种作为研究材料, 将总酚、黄酮和 Vc 作为主要的抗氧化成分, 选用测定 DPPH、羟基自由基清除率的方法作为柑橘果汁中体外抗氧化活性指标, 系统地对比了 11 种柑橘果汁的抗氧化成分的差异性以及各种成分与抗氧化活性效果的相关性, 旨在为丰富柑橘的抗氧化研究以及对柑橘鲜食选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与主要试剂

材料为 11 种柑橘。为方便描述, 对其进行了编号: 1 为尾张、2 为宫川、3 为新津、4 为特早市文、5 为碰柑、6 为黄岩本地早、7 为伊予柑、8 为朱红、9 为南丰蜜桔、10 为沙糖桔、11 为血橙。这些柑橘均采自浙江, 且成熟度相近。

试剂主要有: 过氧化氢、甲醇、乙醇、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、

收稿日期: 2016-03-14.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD16B03); 宁波市农业科技攻关重大项目(2013C0013)。

第一作者: 季露(1988-), 女, 重庆人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 农产品加工。E-mail: 1016175260@qq.com

*通信作者: 孙志栋(1962-), 男, 浙江宁波人, 教授级高工, 主要研究方向: 农产品加工与贮藏。E-mail: zdsun.cn@163.com

Na₂CO₃、NaOH 均为分析纯;芦丁标准品、2,6-二氯酚靛酚、没食子酸(GAE)、福林酚(FC)、1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH)、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na),均购自国药集团化学试剂有限公司(上海)。

1.2 仪器与设备

MS105DU 电子天平(上海梅特勒—托利多仪器有限公司)、Centrifuge5810R 离心机(艾本德中国有限公司)、722S 分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)、DK-S24 恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司)。其他均为常规仪器设备。

1.3 试验方法

1.3.1 总酚含量的测定^[6-7]

标准曲线的绘制:称取 0.005 g 没食子酸标准样品,用蒸馏水溶解定容至 50 mL,得到标准品溶液的质量浓度为 0.1 mg·mL⁻¹。用移液枪移取上述标准液 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL,于 10 mL 容量瓶中,加入 0.5 mL 的 FC 试剂,充分混匀后静止 1 min,加入 1.5 mol·L⁻¹ Na₂CO₃ 溶液,定容至 10 mL,置于室温避光处 2 h 后,于 760 nm 处测定其吸光度。以吸光度为横坐标,没食子酸含量为纵坐标绘制标准曲线,并计算回归方程。

样品处理与测定:柑橘榨汁后 10 000 r·min⁻¹ 4℃ 离心 15 min 后备用。取 0.1 mL 样品,加入 0.5 mL FC 试剂,混匀,1 min 后加 1.5 mL 1 mol·L⁻¹ 的 Na₂CO₃ 溶液,然后用蒸馏水定容至 10 mL,混匀,室温避光放置 2 h 后测 760 nm 处吸光度。

1.3.2 黄酮含量的测定^[8-10]

标准曲线的绘制:称取 0.0572 g 芦丁标准样品,用 30%的乙醇定容至 50 mL,得到标准溶液的质量浓度为 1.144 g·L⁻¹。取 7 支干净的试管编号,分别加入 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL 上述配制的芦丁标准液,加入 30%乙醇至 25 mL,混匀,再加入 1.4 mL 5%的 NaNO₂,5 min 后加入 1.4 mL 的 10%的 Al(NO₃)₃,6 min 后加入 10 mL 1 mol·L⁻¹ 的 NaOH,再用 30%的乙醇定容混匀,10 min 后在 510 nm 波长处测定其吸光度。以吸光值为横坐标,芦丁含量为纵坐标绘制标准曲线,并计算回归方程。

样品处理与测定:柑橘榨汁后于 4℃ 10 000 r·min⁻¹ 离心 15 min 备用。取 4 mL 于 50 mL 容量瓶中,加入 30%乙醇约 25 mL、1.4 mL 5%的 NaNO₂,5 min 后加入 1.4 mL 10%的 Al(NO₃)₃;6 min 后加入

10 mL 1 mol·L⁻¹ 的 NaOH;再用 30%乙醇定容,10 min 后测其在 510 nm 处的吸光度。

1.3.3 Vc 含量的测定

Vc 含量测定采用 GB8210-1987,即 2,6-二氯酚靛酚法^[11]。

1.3.4 DPPH 自由基清除率的测定

柑橘榨汁去渣后,移取 1 mL 果汁,加入含有 6 mL 80%甲醇溶液的离心管中,于 10 000 r·min⁻¹ 4℃ 冷冻离心 15 min,弃残渣,将提取液转移至 10 mL 容量瓶中,用 80%的甲醇溶液定容,取 0.2 mL 提取液加入 2.8 mL 0.1 mmol LDPPH 的无水乙醇溶液中,置于 30℃ 水浴中避光反应 30 min,在 517 nm 处测其吸光度。以 0.2 mL 80%甲醇溶液代替样品加入到 2.8 mL DPPH 中作为空白对照。DPPH 自由基清除率(%)=(A1-A2)/A2×100,其中 A1 和 A2 分别为空白和样品在 517 nm 处的吸光值^[11-12]。

1.3.5 羟基自由基清除率的测定

柑橘羟基自由基的测定方法参考文献[13]中方法,略有改动。选取成熟度相似的新鲜柑橘样品,研磨后于 10 000 r·min⁻¹ 4℃ 下冷冻离心 15 min 后,取 1 mL 上清液用蒸馏水定容至 10 mL 备用。取 3 支干净的试管,分别作为空白、对照和样品管,均加入 0.15 mol·L⁻¹ pH 7.4 磷酸缓冲液 1.5 mL;然后在对照管与样品管中加入 0.2 mL 260 μg·mL⁻¹ 番红花红溶液,在空白管中加入 0.2 mL 蒸馏水,0.8 mL 3%的过氧化氢溶液,混匀;再在空白管和样品管中加入 0.7 mL 2 mmol·L⁻¹ 的 EDTA-2Na-Fe²⁺和 0.8 mL 的柑橘汁,混合,将空白管与样品管于 37℃ 水浴 30 min 后于 520 nm 处测定其吸光度,对照管加入样品 0.7 mL 2 mmol·L⁻¹ 的 EDTA-2Na-Fe²⁺和 0.8 mL 的柑橘汁后,于 520 nm 处测定其吸光度。羟基自由基清除率公式为: E(%)=(A1-A0)/(A2-A0)×100,其中 A0、A1 和 A2 分别为空白、样品和对照在 520 nm 处的吸光值。

1.4 统计分析

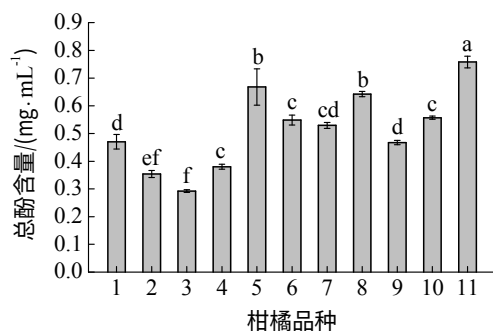
数据方差分析采用 SAS 软件处理,通径分析采用 DPS 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同品种柑橘果汁中总酚含量

利用福林酚法测 11 种柑橘品种果汁的总酚含

量,结果如图1所示(图1中字母表示在 $P<0.05$ 水平的差异性比较,下同)。



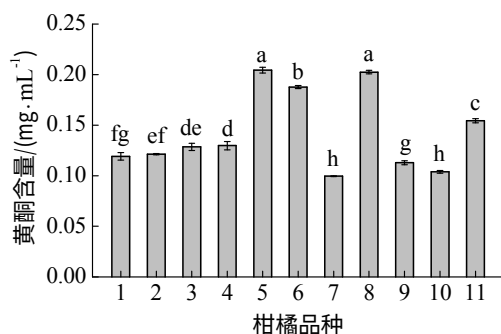
1 为尾张, 2 为宫川, 3 为新津, 4 为市文, 5 为桫柑, 6 为本地早, 7 为伊予柑, 8 为朱红, 9 为南丰蜜桔, 10 为沙糖桔, 11 为血橙

图1 不同品种柑橘果汁中总酚含量比较

利用 Duncan's multiple-range test 分析可知, 11 种柑橘果汁中, 不同品种果汁之间总酚含量差异极显著($P<0.01$), 其中血橙总酚含量最高为 $0.7577 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; 其次是桫柑和朱红, 与血橙的含量差异达显著或极显著水平($P<0.05$); 再次是沙糖桔、本地早和伊予柑, 与血橙、桫柑之间差异极显著($P<0.01$), 与朱红之间差异显著($P<0.05$). 市文、宫川与新津总酚含量较低, 总酚含量最少的是新津, 为 $0.2923 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其余与宫川之间差异不显著($P>0.05$), 与市文差异显著($P<0.05$)外, 与其余品种的差异均极显著($P<0.01$).

2.2 不同品种柑橘果汁中总黄酮含量

图2为11种柑橘果汁的总黄酮含量。从图2可知, 11种柑橘果汁之间总黄酮含量差异极显著($P<0.01$), 其中桫柑和朱红总黄酮含量分别为 $0.2044 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $0.2025 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 同为最高一类, 其次是本地早, 含量为次高一类, 与桫柑、朱红差



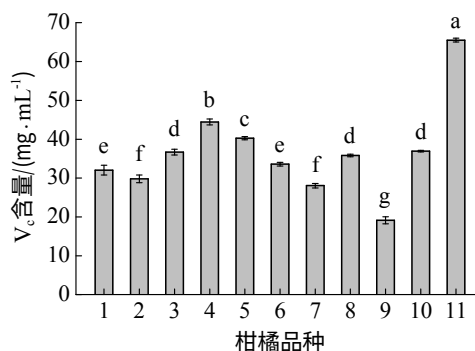
1 为尾张, 2 为宫川, 3 为新津, 4 为市文, 5 为桫柑, 6 为本地早, 7 为伊予柑, 8 为朱红, 9 为南丰蜜桔, 10 为沙糖桔, 11 为血橙

图2 不同品种柑橘果汁中黄酮含量比较

异极显著($P<0.01$); 再次是血橙, 与本地早差异极显著($P<0.01$). 沙糖桔与伊予柑同为总黄酮含量最低一类, 其中伊予柑总黄酮含量最低, 为 $0.0996 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其余与南丰蜜桔差异显著($P<0.05$)外, 与其余品种之间差异均达极显著水平($P<0.01$).

2.3 不同品种柑橘果汁中 Vc 含量

11 种柑橘果汁之间 Vc 含量差异极显著($P<0.01$), 如图3所示. 其中血橙果汁中 Vc 含量最高, 为 $65.48 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 其次是市文, 为 $44.43 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 与血橙差异极显著($P<0.01$); 再次是桫柑, 为 $40.24 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 与市文、血橙差异均极显著($P<0.01$). 宫川、伊予柑和南丰蜜桔的 Vc 含量均在 $30 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 以下, 其中南丰蜜桔 Vc 含量最低, 为 $19.13 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 且与其他所有品种差异均达极显著水平($P<0.01$).

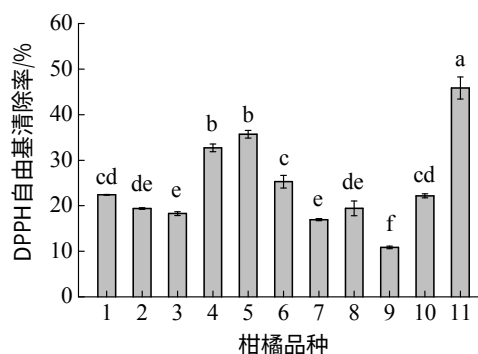


1 为尾张, 2 为宫川, 3 为新津, 4 为市文, 5 为桫柑, 6 为本地早, 7 为伊予柑, 8 为朱红, 9 为南丰蜜桔, 10 为沙糖桔, 11 为血橙

图3 不同品种柑橘果汁中 Vc 含量比较

2.4 不同品种柑橘果汁对 DPPH 自由基清除能力

对不同品种柑橘果汁的 DPPH 清除率进行了测定^[14], 结果如图4所示。



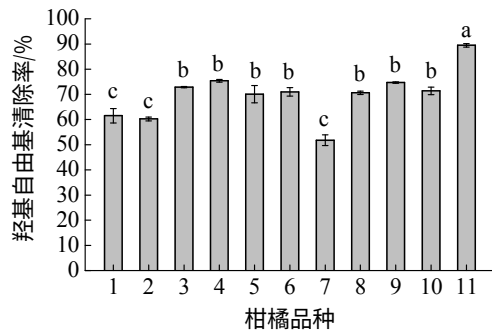
1 为尾张, 2 为宫川, 3 为新津, 4 为市文, 5 为桫柑, 6 为本地早, 7 为伊予柑, 8 为朱红, 9 为南丰蜜桔, 10 为沙糖桔, 11 为血橙

图4 不同品种柑橘果汁对 DPPH 自由基清除率比较

从图 4 可知, 11 个品种柑橘果汁对 DPPH 自由基清除率差异极显著($P<0.01$), 其中血橙果汁对 DPPH 自由基清除率为 45.86%, 效果最佳; 其次是椪柑和市文, 对 DPPH 自由基清除率分别为 35.69%和 32.70%, 与血橙之间差异均极显著($P<0.01$), 椪柑与市文之间差异显著($P<0.05$). 本地早、尾张和沙糖桔对 DPPH 自由基清除率属中等水平(22.18%~25.28%). 其余 5 个品种对 DPPH 自由基清除率均在 20%以下, 其中南丰蜜桔效果最差, 为 10.85%, 且与其余所有品种差异极显著($P<0.01$).

2.5 不同品种柑橘果汁对羟基自由基清除率

不同柑橘果汁对羟基自由基清除率有所不同, 利用比色法得到 11 种柑橘果汁对羟基自由基清除率, 如图 5 所示.



1 为尾张, 2 为宫川, 3 为新津, 4 为市文, 5 为椪柑, 6 为本地早, 7 为伊予柑, 8 为朱红, 9 为南丰蜜桔, 10 为沙糖桔, 11 为血橙

图 5 不同品种柑橘果汁对羟基自由基清除率比较

从图 5 可知, 所有柑橘品种的果汁对羟基自由基的清除率均在 50%以上, 且不同品种之间差异极显著($P<0.01$), 其中有 8 个品种(血橙、市文、南丰蜜桔、新津、沙糖桔、本地早、朱红和碰柑)果汁对羟基自由基的清除率均在 70%以上, 尤以血橙最高, 达 89.51%, 且与其他 7 个品种之间差异极显著($P<0.01$). 有 2 个品种(尾张、宫川)对羟基自由基的清除率在 60%~70%. 对羟基自由基清除率最低的是伊予柑, 为 51.77%, 与上述所有品种差异均极显著($P<0.01$).

通过对 11 种柑橘果汁抗氧化成分分析可知, 黄酮含量较高而其他抗氧化成分含量较低的柑橘品种, 其体外抗氧化活性不一定高; 而各抗氧化成分含量均较高的柑橘品种, 其体外抗氧化活性较高. 这与文献[15]研究结果相一致, 即总黄酮含量

较高的柑橘品种, 其体外抗氧化活性不一定高.

2.6 柑橘果汁中抗氧化活性成分与 DPPH 自由基、羟基自由基清除率相关性分析

柑橘果汁中含有多种抗氧化活性成分, 具有一定的清除自由基能力, 其抗氧化活性物质与抗氧化能力大小的相关性见表 1.

表 1 柑橘果汁抗氧化物质与 DPPH 自由基、羟基自由基清除率的相关性

成分	总酚	黄酮	Vc	DPPH 自由基清除率	羟基自由基清除率
总酚	1.0000				
黄酮	0.5388	1.0000			
Vc	0.5048	0.3070	1.0000		
DPPH 自由基	0.5628	0.4199	0.9191**	1.0000	
羟基自由基	0.3650	0.3124	0.6846*	0.5945	1.0000

注: *表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$.

利用 Pearson 对柑橘中总酚、黄酮、Vc 含量与 DPPH 自由基清除率和羟基自由基清除效果的相关性分析可知, 柑橘果汁中总酚、黄酮、Vc 含量均与 DPPH 自由基清除率呈正相关, 其中柑橘果汁中 Vc 含量与 DPPH 自由基清除率呈显著相关($R=0.9191$, $P<0.01$), 总酚含量与 DPPH 自由基清除率也存在相关性($R=0.5628$, $P<0.1$).

柑橘果汁中总酚、黄酮、Vc 含量与羟基自由基清除率均呈正相关, 其中 Vc 含量与羟基自由基清除率显著相关($R=0.6846$, $P<0.05$); 而总酚含量和黄酮含量对羟基自由基清除率相关性则较小.

2.7 柑橘果汁中抗氧化活性成分对 DPPH、羟基自由基清除率的 DPS 统计分析

DPS 统计分析能够找出自变量对应变量影响的直接效应和间接效应, 比简单相关分析能更深入、全面地弄清这些自变量对因变量的实际作用. 用总酚、总黄酮、Vc 这 3 种抗氧化主要成分含量分别对 DPPH、羟基自由基清除率进行 DPS 分析, 结果见表 2. 从表 2 可知, 三者对 DPPH 自由基的清除率均为正效应, 其中 Vc 的正效应最大, 其次为总酚含量. 对羟基自由基的清除率 X_3 (Vc)、 X_2 (总黄酮)表现为正效应, X_1 (总酚)表现为负效应; 同样 X_3 的效应最大, 总酚其次.

从 DPS 通径分析系数看, X_1 对 DPPH 自由基的清除率直接作用系数远小于间接作用系数总和,

表2 柑橘果汁中活性物质对 DPPH 自由基和羟基自由基清除率的 DPS 分析

因子	相关系数	直接作用系数	间接作用系数总和	间接作用系数		
				X_1	X_2	X_3
X_1	0.562 8/0.365 0	0.069 5/-0.041 1	0.493 3/0.406 1		0.066 0/0.070 2	0.427 3/0.335 9
X_2	0.419 9/0.312 4	0.122 6/0.130 2	0.297 3/0.182 2	0.037 4/-0.022 1		0.259 9/0.204 3
X_3	0.919 1/0.684 6	0.846 4/0.665 3	0.072 7/0.019 3	0.035 1/-0.020 7	0.037 6/0.040 0	

主要通过 X_3 的间接作用来表现; X_2 对 DPPH 自由基的清除率直接作用系数也小于间接作用系数总和, 主要通过 X_3 的间接作用来表现. X_3 对 DPPH 自由基的清除率直接作用效应很大, 远大于间接作用系数总和.

X_1 对羟自由基的清除率直接作用为负效应, 主要通过 X_3 的间接作用来表现; X_2 对羟自由基的清除率直接作用为正效应, 还有很大部分主要通过 X_3 的间接作用来表现; X_3 对羟自由基的清除率直接作用为正效应, 且主要通过直接作用来表现, X_2 表现为正效应, X_1 表现为负效应.

3 结论与讨论

对 11 种柑橘果汁中总酚、总黄酮、Vc 含量、DPPH 自由基清除率和羟基自由基清除效果进行比较分析知, 不同柑橘品种果汁中抗氧化成分含量存在显著差异($P<0.05$), 不同柑橘品种果汁中其体外抗氧化效果也存在着极显著差异($P<0.01$), 即使是同一种类, 不同品种之间的柑橘果汁其抗氧化成分也有较大差别.

在对 11 种柑橘果汁抗氧化成分及体外抗氧化能力比较分析可知, 果汁中的抗氧化物质含量决定了果汁的抗氧化活性大小, 但柑橘果汁的抗氧化高低并不是由单一的某种活性物质决定, 而是各种抗氧化成分协同作用的结果. 例如血橙与碰柑, 血橙的抗氧化成分主要为总酚、Vc 含量(均居第一), 其对 DPPH 自由基和羟基自由基的清除率均最高; 椪柑的主要抗氧化成分为总酚(第二)、总黄酮(第一)和 Vc(第三), 其对 DPPH 自由基和羟基自由基的清除率均居第二. 再如 11 种柑橘果汁中, Vc 含量最低的是南丰蜜桔, 为 $19.13 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, 不到椪柑的 $1/2$, 但其对羟基自由基清除率为 74.70% (居第三), 高于椪柑的 70.09% (居第八). 此前, 潘娜^[16]在对竹叶的研究中也证实了黄酮和 Vc

协同作用可增强其抗氧化性. 因此, 柑橘果汁中抗氧化成分合理组合, 可得到较好的抗氧化性能.

为进一步了解不同品种柑橘果汁的抗氧化成分与体外抗氧化活性的具体作用机制, 我们对 11 种柑橘果汁抗氧化成分与抗氧化活性进行了相关性和 DPS 统计分析, 得到不同的抗氧化成分对抗氧化的贡献大小, 其中 Vc 含量对 DPPH 自由基清除率为正效应($P<0.01$), 对羟基自由基清除率为正效应($P<0.05$), 均最大; 总酚含量对 DPPH、羟基自由基清除率均为正效应; 但总酚、总黄酮含量对 DPPH、羟基自由基清除率的直接作用均不大, 这与文献[15,17]对柑橘研究的成果相吻合. 而本研究对朱红和特早市文研究也验证了这一结论, 朱红的主要抗氧化成分总酚含量居第三、总黄酮含量居第二, 均很高, 但由于 Vc 含量居第六, 其对 DPPH 自由基清除率、羟基自由基清除率均一般. 而特早市文的主要抗氧化成分总酚、总黄酮含量不高, 但 Vc 含量很高(居第二), 其对 DPPH 自由基和羟基自由基的清除率均较高, 分别居第三、第二. 这也进一步说明了 11 种柑橘果汁的抗氧化活性主要取决于 Vc 含量的高低.

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] 张珉, 钟晓红. 柑橘功能性成分研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11):137-140.
- [3] KOCA U, BERHOW M A, FEBRES V J, et al. Decreasing unpalatable flavonoid components in Citrus: The effect of transformation construct[J]. Physiologia Plantarum, 2009, 137(2):101-104.
- [4] 江萍. 柑橘幼果中主要功能性成分分析及抗氧化作用的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [5] 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(1):134-137.

- [6] 曹少谦, 刘亮, 潘思轶. 血橙果汁贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品科学, 2011, 32(2):297-301.
- [7] SIDDHARTHAN S, CAI Y Z, HAROLD C, et al. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3):938-953.
- [8] 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(3):367-369.
- [9] HANDIQUE J G, BORUAH M P, KALITA D. Antioxidant activities and total phenolic and flavonoid contents in three indigenous medicinal vegetables of north-east India[J]. Natural Product Communications, 2012, 7(8):1021-1023.
- [10] ALINE M, CHARLES E L, MARCO R, et al. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity[J]. Food Chemistry, 2005, 91(3):571-577.
- [11] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010:289-291.
- [12] RAO A S, REDDY S G, BABU P, et al. The antioxidant and antiproliferative activities of methanolic extracts from Njavara rice bran[EB/OL]. [2016-01-20]. <http://bmccomplementaltermmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6882-10-4>.
- [13] 王瑜, 高畅, 张娜, 等. 芋头多糖的提取及生物活性的研究[J]. 食品工业科技, 2006(6):73-75.
- [14] SHELA G, RATIPORN H, YONG S P, 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, 84:1459-1463.
- [15] 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.
- [16] 潘娜. 竹叶黄酮的抗氧化性及对油炸薯条中丙烯酰胺抑制作用的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [17] 张华. 柑橘果实快速高效在线抗氧化活性评价方法的建立及其应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.

Comparison of Antioxidant Compounds in Citrus Juice of Different Species

JI Lu^{1,2}, LANG Ya^{1,2}, QIU Di-hong³, YE Xing-qian⁴, MAO Pei-cheng⁵, SUN Zhi-dong^{1,2*}

(1.School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, China;

3.Department of Public Health, Hangzhou Medical College, Hangzhou 310053, China;

4. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

5.Ningbo Haitong Food Group Co. Ltd., Cixi 315300, China)

Abstract: The differences in antioxidant activities from 11 species of citrus juice are investigated in relation to antioxidant compounds, such as phenols, flavonoid, vitamin C and antioxidant capacity. The results indicate that the blood orange contains the most contents of total phenols ($0.76 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) and vitamin C ($65.48 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$), and shows the strongest activities against DPPH and $\cdot\text{OH}$ free radicals (45.87% and 89.51%, respectively). Based on the path analysis of the contents of total phenols, flavonoids, vitamin C and their antioxidant activities, it is found that a positively correlated relationship between the antioxidant activity and antioxidant compound of citrus juice exists, which shows the significant correlations between vitamin C and DPPH ($R=0.9191$, $P<0.01$), and between vitamin C and hydroxyl free radical ($R=0.6846$, $P<0.05$). Furthermore, the vitamin C has a direct effect on antioxidant ability, such as DPPH free radical and hydroxyl free radical scavenging activities, while the total phenols and flavonoid play an indirect role in this process.

Key words: citrus species; juice; antioxidant compound; activity

(责任编辑 史小丽)