

# 徐香猕猴桃多酚抗氧化特性研究

卜凡琼 代雨婷 冯武 彭帮柱

华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070

**摘要** 以徐香猕猴桃(*Actinidia chinensis*)为试验材料,测定其总酸度、总糖和维生素C的含量;采用超声提取法提取猕猴桃多酚,测定猕猴桃多酚的总还原能力及对羟基自由基、超氧自由基、DPPH自由基、ABTS自由基等4种自由基的清除能力,并以Vc为对照,评价徐香猕猴桃多酚的抗氧化特性。结果显示,徐香猕猴桃总酸、总糖及Vc含量分别为 $1.13\% \pm 0.16\%$ 、 $10.03\% \pm 0.78\%$ 及 $(78.71 \pm 7.60)$  mg/100 g,猕猴桃提取液的多酚质量浓度为0.123 mg/mL。猕猴桃多酚的总还原能力高于Vc,猕猴桃多酚对4种自由基清除率的 $IC_{50}$ 值均比Vc的 $IC_{50}$ 值低,表明猕猴桃多酚具有很高的抗氧化活性。猕猴桃多酚中含有没食子酸、香豆酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸等6种多酚类物质,其中咖啡酸含量最高,其次为绿原酸、香豆酸、儿茶素,阿魏酸和没食子酸含量较少。

**关键词** 猕猴桃; 多酚; 抗氧化; 自由基; 总还原能力

**中图分类号** TS 255.44; TS 201.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)01-0112-07

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch)分布范围广泛,在许多国家都有种植,我国猕猴桃种植区域主要集中在陕西、四川、贵州、河南等地区及长江流域以北各地区<sup>[1]</sup>。猕猴桃富含糖、酸、维生素、蛋白质、矿物质、酚类等物质<sup>[2]</sup>,既可鲜食,又可加工成果汁、果脯、果酱、果酒等产品,具有很高的经济价值。酚类物质是猕猴桃中重要的活性成分,具有很强的抗氧化能力。研究表明,多酚类物质具有预防癌症、抑郁症、心血管疾病以及减肥健美、增强免疫功能等功效<sup>[3]</sup>。猕猴桃多酚具有较强的抗氧化能力以及清除自由基的能力,这主要是它通过提供氢原子或者螯合剂来抑制氧化作用的发生<sup>[4]</sup>。目前,有关猕猴桃多酚抗氧化的研究主要包括体内抗氧化和体外抗氧化两个方面。体内抗氧化研究主要是通过灌胃法研究多酚提取物对小白鼠的血液、肝脏和脑组织中抗氧化指标的影响,以此评价其体内抗氧化活性<sup>[5-6]</sup>。体外抗氧化研究方法包括抗氧化能力指数法、DPPH自由基清除法、超氧自由基清除法、ABTS自由基清除法<sup>[7-8]</sup>等。通过显色反应可测定抗氧化能力,从而进行简单、有效的体外抗氧化评价。多酚类化合物在预防人体对抗自由基的损伤中

扮演着重要的角色。徐香猕猴桃口感酸甜、品质佳,在我国猕猴桃产区广泛种植。本研究以徐香猕猴桃为试验材料,测定猕猴桃多酚的总还原能力及对自由基的清除能力,旨在为进一步开发天然抗氧化剂及功能性食品提供理论依据,促进徐香猕猴桃种植和深加工的进一步发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

徐香猕猴桃,购买于陕西省眉县果园,单果质量40~60 g。酚酞、邻苯二甲酸氢钾、氢氧化钠、乙酸锌、亚铁氰化钾、浓盐酸(36%)、 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 、亚甲基蓝、酒石酸钾钠、冰乙酸、葡萄糖、抗坏血酸、草酸、2,6-二氯酚靛酚钠盐、福林酚试剂、无水碳酸钠、 $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ 、 $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 、铁氰化钾、三氯乙酸、 $FeCl_3$ 、 $FeSO_4 \cdot H_2O$  (30%)、水杨酸、Tris、邻苯三酚、DPPH、ABTS、过硫酸钾、磷酸等所用的试剂均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。甲醇(色谱纯)、没食子酸、儿茶素、香豆酸、咖啡酸、绿原酸、阿魏酸、槲皮素(酚类标准品纯度 $\geq 99\%$ )等试剂购于武汉鼎国生物技术有限公司。

收稿日期: 2018-01-14

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2662016PY100)

卜凡琼,硕士研究生,研究方向:天然产物提取与鉴定, E-mail: 15207140619@163.com

通信作者: 彭帮柱,博士,副教授,研究方向:果蔬发酵工程与安全控制, E-mail: pengbangzhu@163.com

## 1.2 仪器与设备

超声波萃取仪,宁波新艺生物科技有限责任公司;HH-2 数显恒温水浴锅,常州澳华仪器有限公司;紫外-可见分光光度计,美国惠普公司;e2695 高效液相色谱仪,美国 Waters 公司;210WHZX-84116SH 液相色谱质谱联用仪,安捷伦科技有限公司;SQP 电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;SHB-IIIS 循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司。

## 1.3 试验方法

1) 猕猴桃总酸的测定。参考 GB/T 12456—2008 食品中总酸的测定方法。猕猴桃榨汁后取 20.00 g,转入 250 mL 容量瓶中,加蒸馏水至刻度,摇匀,用滤纸过滤,滤液待测。准确吸取滤液 10 mL 放入 100 mL 锥形瓶中,加入 1% 酚酞 2~3 滴,用 0.01 mol/L 的氢氧化钠标准溶液(以 0.01 mol/L 的邻苯二甲酸氢钾标定)进行滴定,计算猕猴桃的总酸度。

2) 猕猴桃总糖含量的测定。参考 GB 5009.7—2016 食品中还原糖的测定方法,用直接滴定法进行测定。

3) 猕猴桃维生素 C 含量的测定。参考 GB 5009.8—2016 食品中抗坏血酸的测定,采用 2,6-二氯酚溶液滴定法测定维生素 C 含量。

4) 猕猴桃多酚的提取和测定。提取方法参考李颖畅等<sup>[9]</sup>方法略作修改。猕猴桃去皮,用榨汁机榨成泥浆状,准确称取猕猴桃浆 200.00 g,加入 1 L 体积分数为 60% 的乙醇,混合均匀后进行超声提取,超声条件设置为 45 °C、120 W、30 min,超声提取后混合液使用超速冷冻离心机 4 °C 以 4 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,45 °C 条件下旋转蒸发仪真空浓缩,液体体积浓缩至约 200 mL,储存备用。采用没食子酸标准品作为参照,以福林酚试剂法测定吸光度,得到没食子酸标准曲线:  $y = 6.5514x + 0.0582 (R^2 = 0.992)$ 。以同样的方法测定猕猴桃多酚吸光度,根据没食子酸标准曲线推算出猕猴桃多酚含量(以没食子酸当量表示)。

5) 猕猴桃抗氧化能力的测定。取 0.5 mg/mL 抗坏血酸储备液进行梯度稀释,稀释后梯度质量浓度分别为:0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.15 mg/mL。取 0.476 mg/mL 多酚浓缩提取液进行梯度稀释,分别稀释 5、8、10、20、50、100 倍。采用铁氰化钾还原法<sup>[10]</sup>测定多酚的总还原能力,向 10

mL 离心管中加入稀释至不同浓度的样品各 1 mL,之后加入 2.5 mL 磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L, pH=6.6)和 2.5 mL 的 1% 铁氰化钾溶液,随后放置在 50 °C 恒温水浴锅中反应 20 min,流水冷却至室温。再向其中加入 2.5 mL 体积分数为 10% 三氯乙酸,室温放置 10 min,取 2.5 mL 的反应液,向其中加入 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.1% FeCl<sub>3</sub> 溶液,混合均匀,反应 5 min 后使用分光光度计在 700 nm 的波长下测定吸光度。以蒸馏水代替铁氰化钾溶液作为空白对照,以不同浓度抗坏血酸作为阳性对照,同样的方法测定抗氧化能力。

6) 猕猴桃多酚清除羟基自由基能力的测定。取抗坏血酸储备液(0.5 mg/mL)进行梯度稀释,稀释后梯度质量浓度分别为 0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.14 mg/mL。取 0.476 mg/mL 多酚浓缩提取液进行梯度稀释,分别稀释 5、8、10、20、50、100 倍。采用水杨酸法<sup>[11]</sup>测定,向 10 mL 离心管中加入 1 mL 稀释至不同浓度的样品液,随后加入 9 mmol/L FeSO<sub>4</sub> 溶液 1 mL,9 mmol/L 水杨酸溶液 1 mL,最后加入 2.6 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1 mL 启动反应,放入 37 °C 恒温水浴锅中温育 1 h,于 510 nm 波长处测吸光度。以不同浓度抗坏血酸作为阳性对照,同样方法进行测定。记录吸光度值,平行测定 3 次,按照公式计算样品多酚和抗坏血酸的羟基自由基清除率。

$$\text{羟基自由基清除率} = \frac{A - A_i + A_{i0}}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, A 为反应体系中以蒸馏水代替样品测得吸光度; A<sub>i</sub> 为反应体系中样品某浓度下测得吸光度; A<sub>i0</sub> 为反应体系中以蒸馏水代替水杨酸测得吸光度。

7) 猕猴桃多酚清除超氧自由基能力的测定。取 5 mg/mL 抗坏血酸储备液进行梯度稀释,稀释后梯度质量浓度分别为 0.25、0.50、0.75、1.00、2.00、3.00、4.00 mg/mL。取 0.476 mg/mL 多酚浓缩提取液旋转蒸发进一步浓缩,得到 3.672 mg/mL 新的浓缩液。用新的浓缩液进行梯度稀释,分别稀释 2、4、6、8、16、24、32、40、64 倍。向 10 mL 离心管中加入 0.2 mL 稀释至不同质量浓度的样液,之后加入 5.7 mL Tris-HCl 溶液(50 mmol/L, pH=8.2),最后加入 6 mmol/L 邻苯三酚溶液 0.1 mL 启动反应,混合均匀,加入邻苯三酚瞬间立刻计时,在 320 nm 波长下对反应液进行吸光度的测定,每隔 30 s 记录

1 次吸光度值,反应进行 5 min 后,停止吸光度的测定<sup>[12]</sup>。以不同浓度的抗坏血酸溶液作为阳性对照,同样的方法进行测定。以超氧阴离子的抑制率来评价样品和多酚的抗氧化能力,超氧阴离子的抑制率计算公式(2)如下:

$$\text{超氧阴离子抑制率} = \frac{\Delta S_1/\Delta t - \Delta S_2/\Delta t}{\Delta S_1/\Delta t} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中,  $\Delta S_1/\Delta t$  为邻苯三酚自氧化反应速率;  $\Delta S_2/\Delta t$  为加入不同浓度样品稀释液后邻苯三酚氧化反应速率。

8) 猕猴桃多酚清除 DPPH 自由基能力的测定。取乙醇配制的 0.01 mg/mL 抗坏血酸储备液进行梯度稀释,用乙醇稀释,稀释后梯度质量浓度分别为 0.001、0.002、0.004、0.006、0.008、0.010 mg/mL。取 0.476 mg/mL 多酚浓缩提取液进行梯度稀释,分别稀释 20、50、80、100、200、400 倍。向 10 mL 离心管中加入 2 mL 稀释至不同浓度的样液,向其中加入 2 mL 0.2 mmol/L DPPH 溶液(乙醇配制,4 °C 冰箱避光保存),25 °C 恒温水浴锅温浴 30 min,在 517 nm 波长下测定反应液吸光度,平行测定 3 次<sup>[13]</sup>。以不同浓度抗坏血酸溶液作为阳性对照,DPPH 自由基清除率的公式(3)如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \frac{S - S_i + S_{i_0}}{S} \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中,  $S$  为反应体系中以乙醇代替样品测得的吸光度;  $S_i$  为反应体系中样品某浓度下测得的吸光度;  $S_{i_0}$  为反应体系中以乙醇代替 DPPH 溶液测得的吸光度。

9) 猕猴桃多酚清除 ABTS 自由基能力的测定。取 0.1 mg/mL 抗坏血酸储备液用乙醇进行梯度稀释,稀释后梯度质量浓度分别为 0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.09、0.10 mg/mL。取 0.476 mg/mL 多酚浓缩提取液进行梯度稀释,分别稀释 4、5、6、8、10、20、40 倍。将 7 mmol/L ABTS 溶液和 4.95 mmol/L 过硫酸钾溶液等体积混合,室温避光条件下静置 12 h,用水稀释生成的 ABTS 溶液,在 734 nm 波长下测其吸光值,调节其为  $0.70 \pm 0.02$ ,即为 ABTS 工作液。向 10 mL 离心管中加入 0.2 mL 稀释至不同浓度的样液以及 3 mL ABTS 工作液,以蒸馏水代替样品作为空白,以蒸馏水代替 ABTS 工作液作为对照,室温条件下避光放置 1 h,于 734 nm 波长下测定反应溶液的吸光度,平行测定 3 次<sup>[14]</sup>。以不同浓度抗坏血酸溶液做阳性对照,ABTS 自由基清除率的计算公式(4)如下:

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \frac{S - S_i + S_{i_0}}{S} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中,  $S$  为反应体系中以蒸馏水代替样品的吸光度;  $S_i$  为反应体系中样品某浓度下测得的吸光度;  $S_{i_0}$  为反应体系中以蒸馏水代替 ABTS 工作液测得的吸光度。

10) 猕猴桃多酚的 HPLC 测定。称取没食子酸、儿茶素、香豆酸、咖啡酸、绿原酸、阿魏酸、槲皮素等 7 种对照品各 1 mg,分别用甲醇定容至 10 mL,质量浓度为 0.1 mg/mL。取 7 种标准品溶液各 200  $\mu$ L,混合均匀后经 0.25  $\mu$ m 滤膜过滤后注入样品瓶中,即为混合标样。猕猴桃多酚样品 HPLC 测定参照杜丽娟等<sup>[15]</sup>方法稍作修改,采用大孔树脂 AB-8 预处理后,经过乙醇洗脱后备用。HPLC 检测条件: C18 色谱柱(250 mm  $\times$  4.6 mm),流动相: A 相 0.1% 磷酸水和 B 相甲醇,采用梯度洗脱的方法,流速 0.8 mL/min,柱温 35 °C,进样量 10  $\mu$ L,检测波长 280 nm,测定时间 45 min。

## 2 结果与分析

### 2.1 徐香猕猴桃的理化指标分析

徐香猕猴桃的总酸度、总糖和维生素 C 的含量分别为  $1.13\% \pm 0.16\%$ 、 $10.03\% \pm 0.78\%$  和  $(78.71 \pm 7.60)$  mg/100 g。本试验中猕猴桃多酚浓缩提取液 0.476 mg/mL,经换算为鲜果总酚含量为 62.35 mg/100 g。

### 2.2 徐香猕猴桃多酚的抗氧化能力

1) 猕猴桃多酚的总还原能力。从图 1 可知,随着抗坏血酸以及猕猴桃多酚质量浓度的增加,吸光度逐渐增加,表明还原能力逐渐增强,表现出良好的剂量效应关系。在研究范围内(抗坏血酸质量浓度在 0.01~0.15 mg/mL,猕猴桃多酚质量浓度在 0.004 8~0.095 2 mg/mL),其总还原能力可以用半最大效应浓度(concentration for 50% of maximal effect,  $EC_{50}$ )表示,  $EC_{50}$  越小,表明其总还原能力越强。抗坏血酸的  $EC_{50}$  约为 0.083 0 mg/mL,徐香猕猴桃的  $EC_{50}$  约为 0.042 5 mg/mL,表明徐香猕猴桃多酚的总还原能力高于抗坏血酸的还原能力。

2) 猕猴桃多酚清除自由基能力。由图 2A 所示,随着抗坏血酸以及猕猴桃多酚质量浓度的增加,羟基自由基清除率也随之增加。当抗坏血酸质量浓度达到 0.2 mg/mL 时,清除率为 98.69%,而猕猴桃多酚质量浓度达到 0.095 2 mg/mL 时,清除率也达

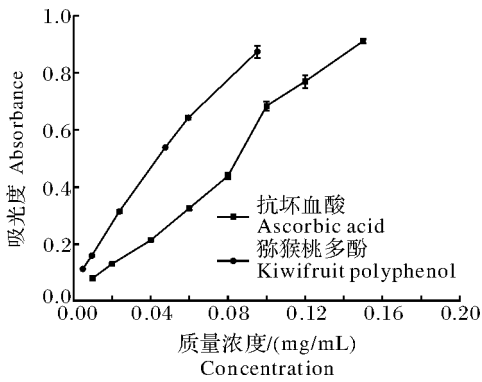


图 1 猕猴桃多酚的总还原能力

Fig.1 The reducing ability assay of kiwifruit polyphenol

到了 94.42%。通常用半抑制浓度 (half maximal inhibitory concentration of a substance,  $IC_{50}$ ) 来表示对自由基的清除活性,即清除率为 50% 时的剂量浓度。 $IC_{50}$  越低表明清除自由基能力越强,抗氧化活性越高。实验结果表明,抗坏血酸对羟基自由基清除率的  $IC_{50}$  为 0.047 8 mg/mL,猕猴桃多酚样品的  $IC_{50}$  为 0.013 7 mg/mL,表明徐香猕猴桃多酚清除羟基自由基的能力强于抗坏血酸。

由图 2B 可知,随着抗坏血酸以及猕猴桃多酚

质量浓度的增加,超氧自由基清除率增加。抗坏血酸质量浓度为 0.25~1.00 mg/mL 时,超氧自由基清除率快速上升,质量浓度为 2.0~4.0 mg/mL 时,清除率达到 100%。猕猴桃多酚质量浓度为 0.060~0.598 mg/mL 时,超氧自由基清除率快速上升。抗坏血酸对超氧阴离子抑制率的  $IC_{50}$  为 0.773 1 mg/mL,猕猴桃多酚的  $IC_{50}$  为 0.438 6 mg/mL,表明猕猴桃多酚对超氧自由基的清除能力强于抗坏血酸。

由图 2C 可知,随着抗坏血酸以及猕猴桃多酚浓度的增加,DPPH 自由基的清除率逐渐增加。抗坏血酸含量在 0.001~0.008 mg/mL 之间时,清除率由 23.80% 增加至 91.44%,几乎呈线性增加。而猕猴桃多酚质量浓度 0.001 2~0.023 8 mg/mL,清除率由 26.47% 增加至 100%,开始清除率增加迅速,随后速度变缓。抗坏血酸对 DPPH 清除率的  $IC_{50}$  为 0.003 9 mg/mL,猕猴桃多酚的  $IC_{50}$  为 0.003 5 mg/mL,表明猕猴桃多酚对超氧自由基的清除能力与抗坏血酸的清除能力大致相当,略强于抗坏血酸。

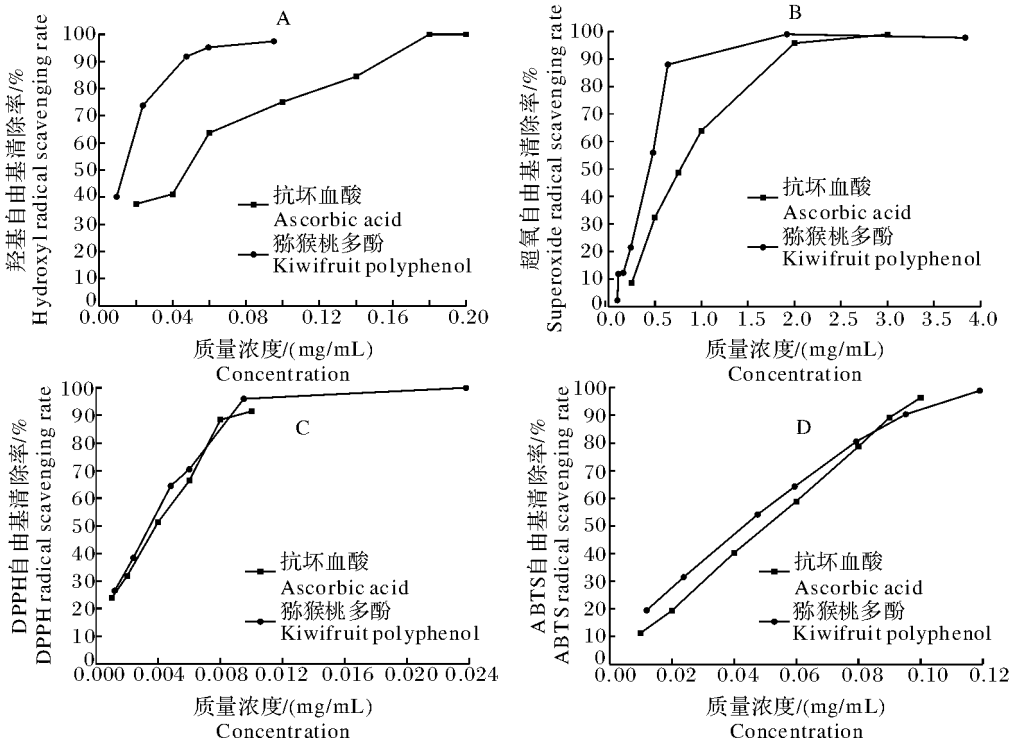


图 2 猕猴桃多酚清除自由基能力

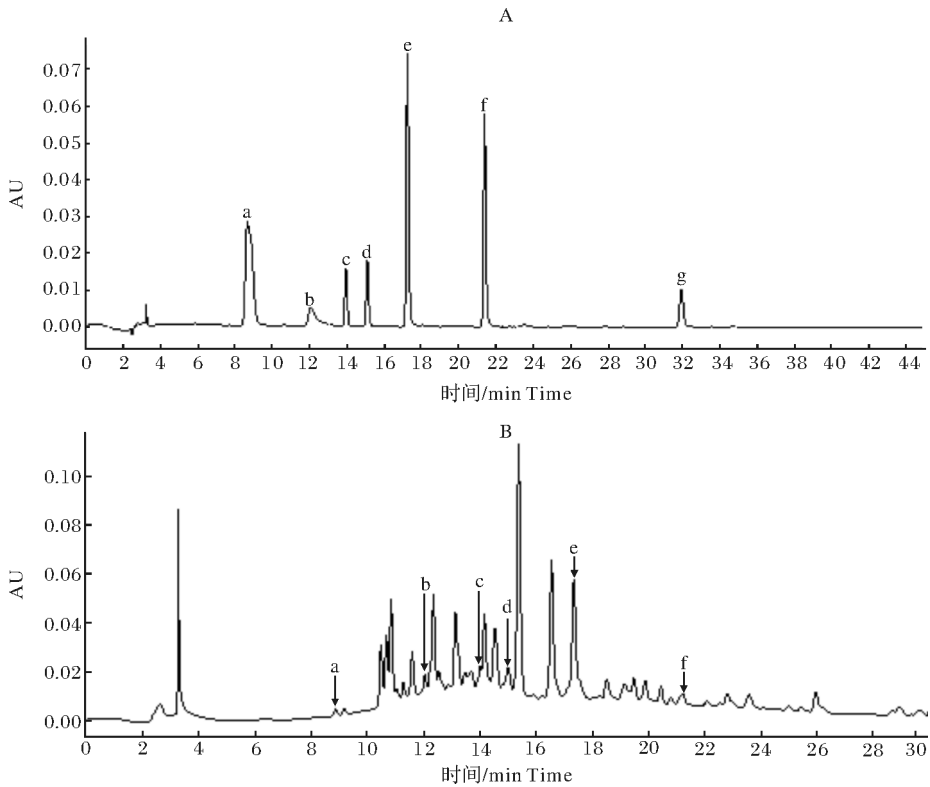
Fig.2 The radical scavenging ability assay of kiwifruit polyphenol

由图 2D 可知,随着抗坏血酸以及猕猴桃多酚质量浓度的增加,ABTS 自由基的清除率逐渐增加。抗坏血酸含量在 0.02~0.08 mg/mL 时,清除率由 19.26% 增加至 78.72%,呈明显的线性增加。而猕猴桃多酚质量浓度为 0.011 9~0.079 3 mg/mL 时,清除率也呈线性增加。抗坏血酸对 ABTS 自由基清除率的  $IC_{50}$  为 0.050 5 mg/mL,猕猴桃多酚的  $IC_{50}$  为 0.043 3 mg/mL,表明猕猴桃多酚对 ABTS

自由基的清除能力比抗坏血酸强。

### 2.3 猕猴桃多酚高效液相色谱法分析

由图 3 可知:没食子酸、香豆酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸等酚类标准物质的保留时间分别为 8.670、12.058、13.957、15.103、17.252、21.390、31.938 min。通过对比样品与混合标准品的色谱图(图 3A),本研究提取的猕猴桃多酚中含有没食子酸、香豆酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸等物质;



A:混合标准样品 Mixed standard sample; B:猕猴桃多酚样品 Kiwifruit polyphenol sample; a:没食子酸 Gallic acid; b:香豆酸 Coumaric acid; c:儿茶素 Catechin; d:绿原酸 Chlorogenic acid; e:咖啡酸 Caffeic acid; f:阿魏酸 Ferulic acid; g:槲皮素 Quercetin.

图 3 混合标准样品和猕猴桃多酚样品色谱图

Fig.3 Chromatogram of mixed standard samples and kiwifruit polyphenols samples

其中咖啡酸含量最高,其次为绿原酸、香豆酸、儿茶素、阿魏酸,没食子酸含量较少,槲皮素在徐香猕猴桃中没有检测到。由此可见,徐香猕猴桃酚类物质种类较多,其中咖啡酸含量最高。

## 3 讨论

本研究结果显示,徐香猕猴桃总酸度为  $1.13\% \pm 0.16\%$ 、总糖含量为  $10.03\% \pm 0.78\%$ 、维生素 C 含量为  $(78.71 \pm 7.60)$  mg/100 g。刘科鹏等<sup>[16]</sup>研究表明,金奎猕猴桃的总酸度为 1.30%、总糖 10.29%、维生素 C 含量为 114.97 mg/100 g。孙宁宁<sup>[17]</sup>报道,野生软枣猕猴桃和市售中华猕猴桃的总

酸度分别为 1.63%、1.99%,总糖含量分别为 6.56%、5.89%,维生素 C 含量分别为 118.6 mg/100 g、69.58 mg/100 g。与文献相比,徐香猕猴桃的总酸度较一般品种低,总糖含量较一般品种高,有较好的口感,而维生素 C 含量居中。

本研究结果表明,提取的徐香猕猴桃含有没食子酸、香豆酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸等物质,其中咖啡酸含量最高,其次为绿原酸、香豆酸、儿茶素,阿魏酸和没食子酸含量较少。徐香猕猴桃多酚具有很高的抗氧化特性,徐香猕猴桃多酚提取液总酚含量为 0.123 mg/mL。赵金梅等<sup>[18]</sup>测定了 8 种猕猴桃的多酚含量,不同种猕猴桃多酚含量不

同,多酚含量最高为 $(152.46 \pm 2.95)$  mg/100 g,黄金果多酚含量最低为 $(63.71 \pm 2.65)$  mg/100 g。左丽丽等<sup>[19]</sup>测得狗枣猕猴桃鲜果中多酚含量为430.03 mg/100 g,周丽萍等<sup>[20]</sup>测得野生软枣子猕猴桃的多酚含量为 $(183 \pm 0.09)$  mg/100 g。与之相比,徐香猕猴桃总酚含量较低。李琛等<sup>[21]</sup>研究了8个品种猕猴桃多酚的抗氧化性质,发现华优抗氧化能力在8个品种中最强,其次是徐香、金艳在8个品种中抗氧化活性最弱。通过比较分析表明,徐香猕猴桃多酚能够提供大量氢离子,表现出较强的抗氧化活性。

徐香猕猴桃多酚的总还原能力比抗坏血酸强,且徐香猕猴桃多酚对4种自由基清除率的 $IC_{50}$ 值均比抗坏血酸 $IC_{50}$ 值低。陈晨等<sup>[22]</sup>研究表明,香蕉皮多酚清除羟基自由基的 $IC_{50}$ 为 $(0.2439 \pm 0.0092)$  mg/mL,抗坏血酸的 $IC_{50}$ 为 $(0.3062 \pm 0.0101)$  mg/mL,香蕉皮多酚清除羟基自由基能力低于抗坏血酸。乔小瑞<sup>[23]</sup>研究发现,荔枝多酚与抗坏血酸具有良好的羟基清除活性,在0~0.2 mg/mL范围内,荔枝多酚与抗坏血酸的 $IC_{50}$ 分别为0.06520 mg/mL和0.06054 mg/mL。由此可见,徐香猕猴桃多酚清除羟基自由基 $IC_{50}$ 较小,清除羟基自由基能力较强。左丽丽<sup>[24]</sup>研究发现狗枣猕猴桃、软枣猕猴桃、中华猕猴桃对超氧自由基清除活性的 $IC_{50}$ 值分别是 $(22.68 \pm 1.81)$ 、 $(241.64 \pm 4.55)$ 、 $(592.28 \pm 8.35)$  mg/mL。由此可见,徐香猕猴桃与狗枣、中华、软枣猕猴桃多酚相比,其清除超氧自由基能力较强。张亮亮等<sup>[25]</sup>发现橄榄多酚类物质清除DPPH自由基的 $IC_{50}$ 为0.04014 mg/mL,抗坏血酸 $IC_{50}$ 为0.07825 mg/mL。陈纯<sup>[26]</sup>研究发现,经大孔树脂纯化的甘蔗多酚清除DPPH的 $IC_{50}$ 为0.192 mg/mL,抗坏血酸为0.07684 mg/mL。因此,徐香猕猴桃多酚清除DPPH能力较其他种类植物多酚提取物强,这为进一步开发猕猴桃抗氧化产品,提供了有力支持。左丽丽<sup>[24]</sup>研究发现低浓度时,狗枣猕猴桃多酚对ABTS自由基的清除能力呈线性增加的趋势,狗枣猕猴桃、软枣猕猴桃、中华猕猴桃多酚清除ABTS自由基的 $IC_{50}$ 值分别是 $(5.68 \pm 0.20)$ 、 $(9.71 \pm 0.39)$ 、 $(45.60 \pm 0.57)$  mg/mL;多酚清除ABTS自由基的能力主要是受到结构中游离羟基的数量和位置的影响,表明徐香猕猴桃含有的多酚类化合物中酚羟基的数量要多于狗枣、软枣和中华猕猴桃,表现出较强的清除ABTS能力。

## 参 考 文 献

- [1] 吴素芳,王国立,黄亚欣,等.打造标准化猕猴桃种植基地的思考——以贵州修文猕猴桃生产为例[J].中国果业信息,2016,33(7):15-16.
- [2] 宋兴兴.猕猴桃白兰地的发酵工艺研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [3] PARK Y S, JUNG S T, KANG S G, et al. *In vitro* studies of polyphenols, antioxidants and other dietary indices in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. International journal of food sciences & nutrition, 2006, 57(1/2): 107-122.
- [4] ENGSTROM B, NORDBERG G F. Polyphenol contents and *in vitro* antioxidant activities of lyophilised aqueous extract of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. Food research international, 2011, 44(5): 1482-1489.
- [5] 王瑞,陈伟波,杨晓萍,等.实物基质对模拟消化茶多酚含量及抗氧化活性的影响[J].华中农业大学学报,2017,36(6):105-112.
- [6] 刘迪,尚华,宋晓.杜仲叶多酚体内和体外抗氧化活性[J].食品研究与开发,2013,34(9):5-8.
- [7] 王晓宇,杜国荣,李华.抗氧化能力的体外测定方法研究进展[J].食品与生物技术学报,2012,31(3):247-252.
- [8] 刘淑媛,赵书清,倪德江,等.青砖茶不同超滤组分抑制淀粉酶和脂肪酶活性研究[J].华中农业大学学报,2017,36(6):99-104.
- [9] 李颖畅,吕艳芳,励建荣. Folin-Ciocalteu 法测定不同品种蓝莓叶中多酚含量[J].中国食品学报,2014,14(1):273-277.
- [10] LIYANA-PATHIRANA C M, SHAHIDI F, ALASALVAR C, et al. Antioxidant activity of cherry laurel fruit and its concentrated juice [J]. Food chemistry, 2006, 99(1): 121-128.
- [11] 王临宾,马倩倩,徐怀德,等.超声波辅助提取苹果叶多酚及其抗氧化性研究[J].西北农业学报,2010,19(8):126-131.
- [12] FIORENTINO A, D'ABROSCA B, PACIFICO S, et al. Identification and assessment of antioxidant capacity of phytochemicals from kiwi fruits [J]. Agricultural and food chemistry, 2009, 57(10): 4148-4155.
- [13] GURPREET K M, SARCVAR A, ZOABI J, et al. Evaluation of antioxidant activity of *Cassia siamea* flowers [J]. Ethnopharmacology, 2006, 108(3): 340-348.
- [14] ALVAREZ-JUBETE L, WIJNGAARD H, ARENDT E K, et al. Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as a by sprouting and baking [J]. Food chemistry, 2010, 119(2): 770-778.
- [15] 杜丽娟,薛洁,王异静.反相高效液相法测定猕猴桃酒中的多酚物质[J].酿酒,2008,35(1):72-74.
- [16] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,等.金魁猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J].果树学报,2012,29(5):867-871.
- [17] 孙宁宁.长白山野生软枣猕猴桃成分分析及保鲜研究[D].长春:吉林农业大学,2007:21-23.
- [18] 赵金梅,高贵田,薛敏,等.不同品种猕猴桃果实的品质及抗氧

- 化活性[J].食品科学,2014,35(9):118-122.
- [19] 左丽丽,王振,富校轶,等.狗枣猕猴桃多酚的纯化工艺研究[J].食品研究与开发,2015,12(24):356-361.
- [20] 周丽萍,王化,李梦莎,等.野生软枣猕猴桃多酚含量及其抗氧化能力研究[J].黑龙江科学,2016,7(12):14-15.
- [21] 李琛,张婷,罗安伟,等.8种猕猴桃抗氧化活性评价及基于HPLC与FT-IR指纹分析的品种区分[J].现代食品科技,2016,32(6):288-297.
- [22] 陈晨,胡文忠,田沛源,等.超声辅助提取香蕉皮多酚工艺优化及其抗氧化性的分析[J].食品科学,2014,35(2):12-17.
- [23] 乔小瑞.荔枝多酚的提取制备及抗氧化活性研究[D].厦门:集美大学,2010.
- [24] 左丽丽.狗枣猕猴桃多酚的抗氧化和抗肿瘤效应研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013:39-42.
- [25] 张亮亮,杨志伟,林益明.橄榄多酚抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2008,29(4):57-59.
- [26] 陈纯.甘蔗皮多酚的提取、分离鉴定及抗氧化活性分析[D].杭州:浙江大学,2013.

## Antioxidant activity of Xuxiang kiwifruit polyphenol

BU Fanqiong DAI Yuting FENG Wu PENG Bangzhu

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000, China*

**Abstract** Xuxiang kiwifruit was used to determine the content of its total acid, total sugar and vitamin C. Polyphenols from Xuxiang kiwifruit were extracted with ultrasonic extraction. Its total reducing capacity and scavenging activities against four free radicals including hydroxyl radical, superoxide radical, DPPH radical and ABTS radical were identified to evaluate the antioxidant activity of kiwifruit polyphenols using vitamin C as a control. The results showed that the content of total acid, total sugar, and vitamin C in Xuxiang kiwifruit was  $1.13\% \pm 0.16\%$ ,  $10.03\% \pm 0.78\%$  and  $(78.71 \pm 7.60)$  mg per 100 g, respectively. The content of polyphenols in kiwifruit extract was 0.123 mg/mL. The total reducing capacity of kiwifruit polyphenols was stronger than that of vitamin C. The  $IC_{50}$  value of the scavenging rate for four free radicals of kiwifruit polyphenols was lower than that of vitamin C. It is indicated that kiwifruit polyphenols had high antioxidant activity. The kiwifruit polyphenols analyzed with HPLC contains 6 kinds of polyphenols: gallic acid, fenugreek acid, catechin, chlorogenic acid, caffeic acid and ferulic acid. Caffeic acid was the highest among them. It will provide a theoretical basis for further studying kiwifruit polyphenols.

**Keywords** kiwifruit; polyphenol; antioxidation; free radical; reducing ability assay

(责任编辑:陆文昌)