

## 云南省特色水果中多酚化合物含量和抗氧化性的比较

罗恒国<sup>1</sup>, 杨士花<sup>2</sup>, 李晴<sup>1</sup>, 罗瑜<sup>1</sup>, 黄勇桦<sup>1</sup>, 初雅洁<sup>3</sup>, 李淳<sup>4</sup>, 李永强<sup>1\*</sup>

1(云南农业大学 食品科学技术学院, 云南 昆明, 650201) 2(云南农业大学 外语学院, 云南 昆明, 650201)

3(大理农林职业技术学院, 云南 大理白族自治州, 671003) 4(永平县食品药品检验检测局, 云南 永平, 672660)

**摘 要** 选用6种云南特色水果, 利用Folin-Ciocalteu法测定可溶性和键合多酚含量, 通过DPPH自由基清除能力、过氧化氢清除能力、总抗氧化能力、铁离子还原/抗氧化能力和还原能力测定其体外抗氧化活性, 并对多酚含量和抗氧化活性进行比较。结果表明, 香椿果中总多酚和键合多酚含量最高, 分别达到 $(91.85 \pm 7.48)$ 和 $(35.69 \pm 1.29)$   $\mu\text{mol FAE/g}$ , 与其他5种水果呈差异显著( $p < 0.05$ ), 鸡嗉子果中可溶性多酚含量最高, 达 $(60.28 \pm 7.98)$   $\mu\text{mol FAE/g}$ , 与其他水果呈差异显著( $p < 0.05$ )。香椿果中键合多酚的还原能力、总抗氧化能力和过氧化氢清除能力最高, 多依果中可溶性多酚的总抗氧化能力和DPPH自由基清除能力最强, 说明多酚化合物的抗氧化能力与水果品种、多酚含量和多酚种类存在一定关系。

**关键词** 云南省; 特色水果; 多酚; 含量; 抗氧化活性

云南植物资源丰富, 具有植物王国的美称<sup>[1-2]</sup>。由于其特殊的地理环境和气候条件, 野生水果种类繁多, 产量较高。鸡嗉子果(*Dendrobenthamia capitata*)、青刺果(*Prinsepia utilis* Royle)、蛇皮果(*Salacca zalacca*)、粗梗稠李(*Padus napaulensis*)、香椿(*Toona sinensis*)、多依果(*Docynia delavayi*)是云南省常见的野生特色水果<sup>[3-7]</sup>, 不但含有碳水化合物、微量元素、维生素、有机酸等营养物质, 而且富含膳食纤维、黄酮和多酚等功能成分, 具有抗氧化、抗衰老、预防心血管疾病、糖尿病、增强机体免疫力等功能<sup>[8]</sup>。

植物多酚(plant polyphenols)是广泛存在于植物体内的一类次生代谢物, 具有较强的抗氧化以及清除自由基的能力<sup>[9-11]</sup>。多酚与纤维素、细胞壁多糖结合在一起形成键合多酚<sup>[12-15]</sup>。国内外大多数研究者主要研究了可溶性多酚, 忽略了对键合多酚的研究。本研究通过提取分离可溶性和键合多酚, 通过测定多酚含量和抗氧化能力, 对青刺果、多依果、蛇皮果、粗梗稠李、鸡嗉子果和香椿果进行较为系统的研究。

第一作者: 硕士研究生(李永强副教授为通讯作者, E-mail: liyongqiang7512@163.com)。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31360378; 31560428); 云南省自然科学基金项目(2013FB042); 云南省高校食品加工与安全控制重点实验室项目(201401); 云南省教育厅大学生创新创业训练计划项目(2016106760032; 2016106760033)

收稿日期: 2017-02-13, 改回日期: 2017-03-14

## 1 材料与方法

## 1.1 实验原料

云南省的特色水果: 多依果购自云南省澜沧本地农贸市场, 粗梗稠李购买于云南临沧本地农贸市场, 鸡嗉子果购买于云南省富源县, 青刺果购买于云南省曲靖市, 蛇皮果、香椿果购买于玉溪市。

## 1.2 实验试剂

1,1-二苯基-2-苦基肼基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、Folin-Ciocalteu试剂、Trolox, sigam公司; 三吡啶基三嗪(2,4,6-tris(2-pyridyl)-S-triazine, TPTZ)、2,2-联氨-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonate, ABTS)、三氯乙酸(TCA)、FeCl<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、FeSO<sub>4</sub>、抗坏血酸, 上海晶纯生化科技股份有限公司; 阿魏酸、儿茶素, 北京北纳创联生物技术研究院; 其他试剂均为分析纯。

## 1.3 实验器材

UV-1800CP紫外分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司; RE-52AA旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; FA2004电子分析天平, 沈阳龙腾电子有限公司; TDL-5-A离心机, 上海安亭科学仪器厂; PHS-3E数字型pH计, 上海精密科学仪器有限公司。

## 2 实验方法

## 2.1 原料的预处理

新鲜鸡嗉子果、多依果、香椿果、粗梗稠李、青刺

果和蛇皮果洗净,保鲜袋密封,放入  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷藏备用。

## 2.2 可溶性多酚和键合多酚的提取分离<sup>[16-18]</sup>

分别将上述 6 种水果研磨后,准确称取  $1.0\text{ g}$ ,用体积分数 70% 丙酮提取,离心得上清,为可溶性多酚化合物,残渣加入  $4\text{ mol/L}$  NaOH 溶液水解,用浓 HCl 调节 pH 值为 2,离心后取上清液,用  $V(\text{上清液}):V(\text{乙酸乙酯}):V(\text{乙醚})=1:1:1$  萃取 3 次,合并有机相,真空旋转蒸干,甲醇定容得到键合多酚化合物粗提液。

## 2.3 多酚含量测定<sup>[16-18]</sup>

多酚含量采用 Folin-Ciocalteu 法测定,具体方法如下:吸取多酚化合物粗提液  $0.5\text{ mL}$ ,加入  $0.5\text{ mL}$  Folin - Ciocalteu 试剂,充分振荡,加入饱和  $\text{NaCO}_3$  溶液,补加蒸馏水至总体积至  $10\text{ mL}$ ,充分混匀,室温下避光反应  $35\text{ min}$ ,于  $4\text{ }000\text{ g}$  离心  $10\text{ min}$ ,取蓝色上清液于  $725\text{ nm}$  下测定吸光度,用甲醇代替多酚粗提液作为空白。以阿魏酸为标准品建立回归方程为:

$$y = 1.289x - 0.003 (R^2 = 0.9988) \quad (1)$$

式中: $y$  为吸光度, $x$  为阿魏酸浓度 ( $\mu\text{mol/L}$ ),多酚含量以阿魏酸计,即每  $\text{g}$  样品所含总多酚相当于阿魏酸的当量 ( $\mu\text{mol ferulic acid equivalents (FAE)}/\text{g}$ )。

## 2.4 抗氧化活性的研究

### 2.4.1 DPPH 自由基清除能力测定<sup>[19-21]</sup>

分别取  $1\text{ mL}$  待测样品,添加  $4\text{ mL}$  DPPH 甲醇溶液,充分振摇后,在暗处反应  $10\text{ min}$ ,然后在  $517\text{ nm}$  下进行比色测定,并根据标准曲线计算 DPPH 自由基的清除能力。利用阿魏酸绘制标准曲线,标准方程为:

$$y = 451.75x + 32.31 (R^2 = 0.9987) \quad (2)$$

式中: $y$  为 DPPH 自由基清除能力, $x$  为阿魏酸浓度 ( $\mu\text{mol}$ ),自由基清除能力表示为  $1\text{ g}$  样品中阿魏酸的当量 ( $\mu\text{mol ferulic acid equivalents (FAE)}/\text{g}$ )。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{[(c - c_b) - (s - s_b)]}{(c - c_b)} \quad (3)$$

式中: $s$  为  $0.5\text{ mL}$  样品粗提液加  $2\text{ mL}$  DPPH 甲醇溶液; $s_b$  为  $0.5\text{ mL}$  样品粗提液加  $2\text{ mL}$  甲醇溶液; $c$  为  $2.5\text{ mL}$  DPPH 甲醇溶液; $c_b$  为  $2.5\text{ mL}$  甲醇溶液。

### 2.4.2 铁离子还原/抗氧化能力测定 (FRAP)<sup>[19-21]</sup>

FRAP 溶液制备:准确吸取  $10\text{ mL}$  乙酸溶液 ( $300\text{ mmol/L}$ , pH 3.6)、 $1\text{ mL}$   $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{ H}_2\text{O}$  ( $20\text{ mmol/L}$ ) 和  $1\text{ mL}$  TPTZ 溶液 ( $10\text{ mmol/L}$ ),充分混匀,制备成

FRAP 溶液。

分别将样品加入  $3\text{ mL}$  FRAP 溶液充分混合,混匀后于  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  下放置  $4\text{ min}$  后在  $593\text{ nm}$  测定吸光度。并根据标准曲线计算 FRAP 还原氧化能力。利用硫酸亚铁绘制标准曲线,标准方程为:

$$y = 6\,240x + 0.0005 (R^2 = 0.9984) \quad (4)$$

式中: $y$  为吸光度, $x$  为  $\text{FeSO}_4$  的浓度 ( $\text{mmol/L}$ ),还原力为每  $\text{g}$  样品中  $\text{Fe}^{2+}$  浓度当量 ( $\text{mmol Fe}^{2+} \text{ equivalents (FE)}/\text{g}$ )。

### 2.4.3 总抗氧化能力测定 (TEAC)<sup>[19-21]</sup>

ABTS<sup>+</sup> · 工作液制备:将 ABTS ( $17\text{ mmol/L}$ ) 与过硫酸钾 ( $2.45\text{ mmol/L}$ ) 2 种溶液等体积混合,得到 ABTS<sup>+</sup> · 工作液。

分别取  $100\text{ }\mu\text{L}$  多酚粗提液加入  $3.8\text{ mL}$  ABTS<sup>+</sup> · 工作液,室温下放置  $6\text{ min}$  后于  $734\text{ nm}$  测定吸光度,并根据标准曲线计算 ABTS<sup>+</sup> · 清除能力。利用 Trolox 绘制标注曲线,标准方程为:

$$y = 103.95x + 1.5663 (R^2 = 0.9984) \quad (5)$$

式中: $y$  为 ABTS<sup>+</sup> · 清除率, $x$  为 Trolox 的浓度 ( $\text{mmol/L}$ ),自由基清除能力表示  $1\text{ g}$  样品中 Trolox 的当量 ( $\mu\text{mol Trolox equivalents (TE)}/\text{g}$ )。

$$\text{ABTS}^+ \cdot \text{清除率}/\% = \left(1 - \frac{s - s_b}{c - c_b}\right) \times 100 \quad (6)$$

式中: $s$  为  $100\text{ }\mu\text{L}$  Trolox 溶液 + 稀释后的  $3.8\text{ mL}$  ABTS<sup>+</sup> · 工作液; $s_b$  为  $100\text{ }\mu\text{L}$  Trolox 溶液加  $3.8\text{ mL}$  乙醇; $c$  为稀释后的  $3.8\text{ mL}$  ABTS<sup>+</sup> · 工作液; $c_b$  为  $3.8\text{ mL}$  乙醇。

### 2.4.4 还原能力测定 (RP)<sup>[19-21]</sup>

分别吸取  $1\text{ mL}$  多酚粗提液加入  $2.5\text{ mL}$  磷酸盐缓冲溶液 ( $0.2\text{ mol/L}$ , pH 6.6)、 $2.5\text{ mL}$   $\text{K}_3\text{Fe(CN)}_6$  ( $10\text{ g/L}$ ) 溶液,充分混合后于  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  下反应  $20\text{ min}$ ;加入  $10\%$  TCA 溶液,于  $4\text{ }000\text{ g}$  离心  $10\text{ min}$ ;取上清,加入  $2.5\text{ mL}$  去离子水和  $1\text{ g/L}$   $\text{FeCl}_3$  溶液,于  $700\text{ nm}$  测定吸光度,并根据标准曲线计算还原力。利用抗坏血酸绘制标准方程为:

$$y = 0.0801x + 0.1579 (R^2 = 0.9916) \quad (7)$$

式中: $y$  为吸光度, $x$  为抗坏血酸浓度 ( $\mu\text{mol/L}$ )。还原能力表示每  $\text{g}$  样品中抗坏血酸的当量 ( $\mu\text{mol ascorbic acid equivalents (AAE)}/\text{g}$ )。

### 2.4.5 过氧化氢 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 清除能力测定<sup>[19-21]</sup>

分别取待测液  $0.6\text{ mL}$ ,加入  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,然后加入  $45\text{ mmol/L}$  磷酸缓冲溶液 (pH 7.4),然后置于暗处在  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  下反应  $40\text{ min}$ ,于  $230\text{ nm}$  测定吸光度,并根据标准曲

线计算过氧化氢清除能力。利用阿魏酸绘制标准曲线,标准方程:

y = 47.338x + 32.772 (R^2 = 0.998 4) (8)

式中:y 为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 清除能力,x 为阿魏酸浓度 (μmol/L), 自由基清除能力表示为 1 g 样品中阿魏酸当量 (μmol ferulic acid equivalents (FAE)/g)。

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 清除率/% = (1 - (s - s<sub>b</sub>) / (c - c<sub>b</sub>)) × 100 (9)

式中:s 为样品中加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的磷酸缓冲溶液吸光度; s<sub>b</sub> 为阿魏酸溶液中加入磷酸缓冲溶液的吸光度;c 为含有 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的磷酸缓冲溶液的吸光度;c<sub>b</sub> 为磷酸缓冲溶液的吸光度(调零)。

2.5 统计分析

所有数据重复 3 次,采用 SPSS 22.0 软件通过 Tukey 方法进行 ANOVA 统计分析。测量数据均以 (平均值 ± 标准偏差)表示。

3 结果与分析

3.1 多酚含量的测定

由表 1 可以看出,6 种水果中,总多酚含量最高的是香椿果,达到 (91.85 ± 7.48) μmol FAE/g,总多酚含量最低的是粗梗稠李,达到 (0.49 ± 0.016) μmol FAE/g。鸡嗉子果中可溶性多酚含量达 (60.28 ± 7.98) μmol FAE/g,与青刺果、多依果、蛇皮果和粗梗稠李均存在差异显著 (p < 0.05);香椿果中键合多酚含量达 (35.69 ± 1.29) μmol FAE/g,与其他 5 种水果均存在差异显著 (p < 0.05)。

除多依果外,其他 5 种水果中可溶性多酚和键合多酚均呈现差异显著 (p < 0.05),其中青刺果、鸡嗉子果和香椿果中可溶性多酚含量大于键合多酚,蛇皮果和粗梗稠李中可溶性多酚含量小于键合多酚。

表 1 6 种水果中的多酚含量 Table 1 Total polyphenol contents of six species fruits

单位:μmol FAE/g

	青刺果	多依果	蛇皮果	粗梗稠李	鸡嗉子果	香椿果
可溶性多酚	6.15 ± 0.11a <sup>2</sup>	7.21 ± 0.43a <sup>1</sup>	5.98 ± 0.49a <sup>1</sup>	0.19 ± 0.03a <sup>1</sup>	60.28 ± 7.98b <sup>2</sup>	56.16 ± 6.27b <sup>2</sup>
键合多酚	1.54 ± 0.32a <sup>1</sup>	6.28 ± 1.70b <sup>1</sup>	11.02 ± 1.06c <sup>2</sup>	0.30 ± 0.04a <sup>2</sup>	1.29 ± 0.51a <sup>1</sup>	35.69 ± 1.29d <sup>1</sup>
总多酚	7.69 ± 0.41a,b	13.48 ± 0.1.94b	17.00 ± 1.54b,c	0.49 ± 0.016a	61.57 ± 8.27d	91.85 ± 7.48c

注:表 1 中每行不同字母表示差异显著 (p < 0.05),每列不同数字表示差异显著 (p < 0.05)。表 2 同。

3.2 DPPH 自由基清除能力

由表 2 可见,在 6 种水果中,多依果中可溶性多酚对 DPPH 自由基清除能力最强,达到 (39.65 ± 2.49) μmol FAE/g,与其他 5 种水果均存在差异显著 (p < 0.05),蛇皮果中键合多酚对 DPPH 自由基清除能力最强,达到 (31.92 ± 2.44) μmol FAE/g,与其他

水果均存在差异显著 (p < 0.05)。除香椿果外,其他 5 种水果中可溶性多酚和键合多酚对 DPPH 自由基清除能力均呈现差异显著 (p < 0.05),其中多依果、粗梗稠李和鸡嗉子果中可溶性多酚对 DPPH 自由基清除能力大于键合多酚,青刺果和蛇皮果中可溶性多酚对 DPPH 自由基清除能力小于键合多酚。

表 2 6 种水果中多酚抗氧化能力 Table 2 Antioxidant activities of polyphenols of six fruits

抗氧化能力	多酚	青刺果	多依果	蛇皮果	粗梗稠李	鸡嗉子果	香椿果
DPPH 自由基清除能力/ (μmol FAE · g <sup>-1</sup> )	可溶性多酚	0.96 ± 0.18a <sup>1</sup>	39.65 ± 2.49c <sup>2</sup>	8.10 ± 0.34b <sup>1</sup>	5.66 ± 0.10b <sup>2</sup>	0.95 ± 0.07a <sup>2</sup>	2.42 ± 0.79a <sup>1</sup>
	键合多酚	1.70 ± 0.22a <sup>2</sup>	13.80 ± 4.43b <sup>1</sup>	31.92 ± 2.44c <sup>2</sup>	1.88 ± 0.004a <sup>1</sup>	0.20 ± 0.15a <sup>1</sup>	3.65 ± 0.16a <sup>1</sup>
FRAP/ (mmol FE · g <sup>-1</sup> )	可溶性多酚	135.51 ± 16.10d <sup>2</sup>	48.36 ± 7.29c <sup>2</sup>	13.80 ± 0.65a,b <sup>2</sup>	27.55 ± 15.28a,b <sup>1</sup>	56.27 ± 9.78c <sup>2</sup>	1.24 ± 0.086a <sup>1</sup>
	键合多酚	11.27 ± 0.24c <sup>1</sup>	28.09 ± 1.84d <sup>1</sup>	2.96 ± 0.63a,b <sup>1</sup>	4.92 ± 0.45a,b <sup>1</sup>	5.34 ± 1.29b <sup>1</sup>	2.28 ± 0.39a <sup>2</sup>
TEAC/ (μmol TE · g <sup>-1</sup> )	可溶性多酚	181.09 ± 30.36b <sup>2</sup>	1054.64 ± 85.76d <sup>2</sup>	29.35 ± 6.18a <sup>2</sup>	145.70 ± 2.53b <sup>2</sup>	150.57 ± 5.69b <sup>2</sup>	824.21 ± 46.87c <sup>2</sup>
	键合多酚	4.81 ± 2.23a <sup>1</sup>	156.68 ± 22.55c <sup>1</sup>	0.45 ± 0.04a <sup>1</sup>	58.68 ± 0.19b <sup>1</sup>	21.56 ± 0.17a <sup>1</sup>	171.41 ± 6.41c <sup>1</sup>
RP/ (μmol AAE · g <sup>-1</sup> )	可溶性多酚	3.82 ± 3.77a <sup>1</sup>	46.16 ± 6.20b <sup>2</sup>	7.13 ± 0.19a <sup>1</sup>	74.50 ± 7.68c <sup>2</sup>	147.20 ± 9.93d <sup>2</sup>	46.02 ± 0.40b <sup>1</sup>
	键合多酚	0.58 ± 0.10a <sup>1</sup>	24.75 ± 1.81b <sup>1</sup>	16.57 ± 1.37a,b <sup>2</sup>	7.31 ± 3.34a <sup>1</sup>	13.43 ± 11.03a,b <sup>1</sup>	122.50 ± 9.45c <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 清除能力/ (μmol FAE · g <sup>-1</sup> )	可溶性多酚	22.58 ± 0.96b <sup>2</sup>	25.91 ± 1.11b <sup>2</sup>	3.40 ± 1.84a <sup>1</sup>	37.93 ± 0.59d <sup>2</sup>	31.64 ± 4.142.91c <sup>2</sup>	0.98 ± 0.01a <sup>1</sup>
	键合多酚	10.24 ± 0.24b,c <sup>1</sup>	2.13 ± 0.091a <sup>1</sup>	3.49 ± 2.16a,b <sup>1</sup>	15.26 ± 0.04c <sup>1</sup>	2.15 ± 1.41a <sup>1</sup>	15.34 ± 6.24c <sup>2</sup>

3.3 铁离子还原/抗氧化能力

6 种水果中,青刺果中可溶性多酚对 Fe<sup>3+</sup> 还原能

力最强(表 2),达到 (135.51 ± 16.10) mmol Fe<sup>2+</sup>/g,与其他 5 种水果均存在显著差异 (p < 0.05),多依果

中键合多酚对  $\text{Fe}^{3+}$  还原能力最强, 达到  $(28.09 \pm 1.84) \text{ mmol FE/g}$ , 与其他水果均呈现显著差异 ( $p < 0.05$ )。除粗梗稠李外, 5 种水果中可溶性和键合多酚对  $\text{Fe}^{3+}$  还原能力均呈现显著差异 ( $p < 0.05$ ), 其中青刺果、多依果、蛇皮果和鸡嗉子果中可溶性多酚对  $\text{Fe}^{3+}$  还原能力大于键合多酚, 香椿果可溶性多酚对  $\text{Fe}^{3+}$  还原能力小于键合多酚。

### 3.4 总抗氧化能力

6 种水果中, 多依果中可溶性多酚的总抗氧化能力最强(表 2), 达  $(1054.64 \pm 85.76) \mu\text{mol TE/g}$ , 与其他 5 种水果均存在差异显著 ( $p < 0.05$ ); 香椿果中键合多酚的总抗氧化能力最强, 可达  $(171.41 \pm 6.41) \mu\text{mol TE/g}$ 。6 种水果中可溶性和键合多酚均呈现差异显著, 且可溶性多酚的总抗氧化能力显著大于键合多酚 ( $p < 0.05$ )。

### 3.5 还原能力

6 种水果中, 鸡嗉子果的可溶性多酚的还原能力最强(表 2), 达  $(147.20 \pm 9.93) \mu\text{mol AAE/g}$ , 与其他 5 种水果均存在差异显著 ( $p < 0.05$ ); 香椿果中键合多酚对 RP 还原能力最强, 可达  $(122.50 \pm 9.45) \mu\text{mol AAE/g}$ , 与其他 5 种水果均存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。除青刺果外, 水果中可溶性和键合多酚的 RP 均有显著差异, 其中多依果、粗梗稠李和鸡嗉子果中可溶性多酚的 RP 显著高于键合多酚, 蛇皮果和香椿果的 RP 显著小于键合多酚。

### 3.6 过氧化氢清除能力

6 种水果中, 粗梗稠李中可溶性多酚的过氧化氢清除能力最强(表 2), 达  $(37.93 \pm 0.59) \mu\text{mol FAE/g}$ , 与其他 5 种水果均存在差异显著 ( $p < 0.05$ ); 香椿果中键合多酚的过氧化氢清除能力最强, 达到  $(15.34 \pm 6.24) \mu\text{mol FAE/g}$ , 与青刺果、多依果、蛇皮果和鸡嗉子果均存在差异显著 ( $p < 0.05$ )。除蛇皮果外, 其他水果中可溶性和键合多酚的过氧化氢清除能力均呈现差异显著, 其中青刺果、多依果、鸡嗉子果和粗梗稠李中可溶性多酚的过氧化氢清除能力显著大于键合多酚 ( $p < 0.05$ ), 但香椿果中, 键合多酚的过氧化氢清除能力显著大于可溶性多酚 ( $p < 0.05$ )。

## 4 结论

提取分离了多依果、蛇皮果、粗梗稠李、鸡嗉子果和香椿果中可溶性多酚和键合多酚, 得到了可溶性多酚、键合多酚和总多酚的含量。香椿果中总多酚和键合多酚含量最高, 分别达  $(91.85 \pm 7.48)$  和  $(35.69 \pm$

$1.29) \mu\text{mol FAE/g}$ , 与其他 5 种水果均呈现差异显著 ( $p < 0.05$ ); 除多依果外, 其他 5 种水果中可溶性多酚和键合多酚均呈现差异显著 ( $p < 0.05$ )。

利用 5 种体外抗氧化活性测定体系对 6 种水果中多酚化合物进行了抗氧化活性测定, 发现 6 种水果均具有较高的抗氧化活性。香椿果中键合多酚的还原能力、总抗氧化能力和过氧化氢清除能力最高, 多依果中键合多酚的铁离子还原/抗氧化能力最强, 蛇皮果中键合多酚的 DPPH 自由基清除能力最强。多依果中可溶性多酚的总抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力最强, 青刺果中可溶性多酚的铁离子还原/抗氧化能力最强, 鸡嗉子果中可溶性多酚的还原能力最强, 粗梗稠李中可溶性多酚的过氧化氢清除能力最强。说明水果多酚的抗氧化能力与多酚含量、多酚种类和水果品种有一定的关系。

## 参 考 文 献

- [1] 张福平, 张秋燕, 陈蔚辉, 等. 野生水果资源的利用与保护[J]. 中国食物与营养, 2003, 9(5): 27-28.
- [2] 朱薇, 程玉, 张秀英, 等. 云南野生水果的抗氧化性及其他生理生化特性分析(I)[J]. 中国南方果树, 2014(5): 66-69.
- [3] 张晓鹏, 林晓明. 青刺果油调节血脂及对入血小板体外聚集作用的影响[J]. 卫生研究, 2005, 34(1): 79-81.
- [4] 董彩虹, 聂发玉. 香椿资源的研究、开发现状[J]. 生物学杂志, 2002, 19(6): 35-37.
- [5] 字刚, 杨顺利, 何雷, 等. 鸡嗉子叶化学成分研究[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2011(6): 443-446.
- [6] 陈玉丽, 阮志鹏, 林丽珊, 等. 香椿的化学成分及药理作用研究进展[J]. 长治医学院学报, 2008, 22(4): 315-317.
- [7] 李荣生, 尹光天, 曾炳山, 等. 印度尼西亚蛇皮果的开发利用[J]. 林业实用技术, 2008(6): 46-48.
- [8] VISIOLI F, DE C A, ANDRES-LACUEVA C, et al. Polyphenols and human health: a prospectus[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51(6): 524.
- [9] ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(21): 6182-6187.
- [10] GUO W, BETA T. Phenolic acid composition and antioxidant potential of insoluble and soluble dietary fibre extracts derived from select whole-grain cereals[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 518-525.
- [11] CHANDRASEKARA A, SHAHIDI F. Content of insoluble antiproliferative potential and DNA scission inhibitory ac-

- tivity of phenolics from whole millet grains[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(3):159-170.
- [12] VITAGLIONE P. Cereal dietary fibre; a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(9):451-463.
- [13] CHANDRASEKARA A, SHAHIDI F. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(11):6706-6714.
- [14] CHANDRASEKARA A, NACZK M, SHAHIDI F. Effect of processing on the antioxidant activity of millet grains[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1):1-9.
- [15] AK T, GÜLÇİN I. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin[J]. Chemico Biological Interactions, 2008, 174(1):27-37.
- [16] 陆洋, 杨士花, 黄佳琦, 等. 老黑谷米中多酚化合物的提取及体外抗氧化活性研究[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(8):53-57.
- [17] DENG G F, XU X R, GUO Y J, et al. Determination of antioxidant property and their lipophilic and hydrophilic phenolic contents in cereal grains[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(4):906-914.
- [18] AJILA C M, RAO U J S P. Mango peel dietary fibre: Composition and associated bound phenolics[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(1):444-450.
- [19] 黄佳琦, 杨士花, 初雅洁, 等. 老黑谷米色素的提取工艺优化及体外抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2):19-24.
- [20] 张一鸣, 杨士花, 黄佳琦, 等. 鸡嗓子果色素提取工艺优化及体外抗氧化性[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(4):1-6.
- [21] 黄佳琦, 杨士花, 张一鸣, 等. 紫色马铃薯中多酚提取工艺的优化[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(7):54-58.

## Comparative study on the phenolic contents and antioxidant activities of typical fruits in Yunnan province

LUO Heng-guo<sup>1</sup>, YANG Shi-hua<sup>2</sup>, LI Qing<sup>1</sup>, LUO Yu<sup>1</sup>,  
HUANG Yong-hua<sup>1</sup>, CHU Ya-jie<sup>3</sup>, LI Chun<sup>4</sup>, LI Yong-qiang<sup>1\*</sup>

1(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

2(College of Foreign Languages, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

3(Dali Vocational and Technical College of Agriculture and Forestry, Dali 671003, China)

4(Yongping County's Food and Drug Testing Institute, Yongping 672600, China)

**ABSTRACT** The total phenolic contents and antioxidant activities of soluble polyphenol and insoluble bound polyphenol were determined in order to compare the differences among 6 kinds of selected fruits. The total phenolic content was determined by Folin-Ciocalteu method, the antioxidant activities were evaluated by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, ferric reducing antioxidant power (FRAP), trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC), reducing power (RP) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) scavenging activity *in vitro*. Results showed that total polyphenol and insoluble bound polyphenol contents of *toona sinensis* were the highest (respectively 91.85 ± 7.48 and 35.69 ± 1.29 μmol FAE/g); the two fractions were significantly higher than others (*p* < 0.05). Soluble polyphenol contents were the highest in *Dendrobenthamia capitata* (60.28 ± 7.98 μmol FAE/g), and was significantly higher than others (*p* < 0.05). The reducing power (RP), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) scavenging activity and trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) of insoluble bound polyphenols in *Toona sinensis* were the highest, the trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) and DPPH radical scavenging activity of soluble polyphenols of *Docynia delavayi* were higher among 6 fruits. The results showed that the antioxidant capacity of polyphenol may be related to the variety of fruit, polyphenol content and phenolic compounds.

**Key words** Yunnan province; characteristic fruits; polyphenol; contents; antioxidant activity