

枇杷不同部位主要有效成分含量及抗氧化活性比较

吴媛琳¹, 赵 听¹, 张凯煜¹, 张社奇^{1*}, 刘建军², 康永祥²

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:以枇杷不同部位(花蕾、花、老叶、新叶、枝条、花梗)为试验材料,采用分光光度法测定枇杷不同部位总黄酮、总酚酸、总三萜酸含量,并以 Vc 为标准,选用 DPPH· 和 FRAP 法对不同部位醇提取物进行抗氧化活性评价,研究枇杷不同部位总黄酮、总酚酸、总三萜酸的分布情况以及抗氧化活性。结果表明,枇杷各部位 3 种主要有效成分均存在显著差异,花蕾总黄酮、总酚酸、总三萜酸含量显著高于其他部位,分别为 196.01、68.32、96.28 mg·g⁻¹,约是含量最低的新叶的 3.16 倍、1.96 倍、2.12 倍;在抗氧化活性方面,枇杷花蕾的醇提取物的抗氧化活性最强,是新叶的 2.5 倍以上,经相关性分析发现,抗氧化活性与总黄酮和总酚酸含量均具有较高相关性,其中与总黄酮的相关性最大。枇杷各部位中,花蕾的抗氧化活性最强,各主要有效成分含量也最高,枇杷花蕾有望被开发为新的抗氧化原料。

关键词:枇杷;总黄酮;总酚酸;总三萜酸;抗氧化活性

中图分类号:S713 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2015)01-0196-06

Main Active Ingredient Contents and the Antioxidant Activity of Different Parts of *Eriobotrya japonica*

WU Yuan-lin¹, ZHAO Ting¹, ZHANG Kai-yu¹, ZHANG She-qi^{1*}, LIU Jian-jun², KANG Yong-xiang²

(1. College of Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shanxi 712100, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shanxi 712100, China)

Abstract: Plant tissues from different parts of *Eriobotrya japonica* (bud, flower, old leaf, new leaf, branch, and flower peduncle) were collected to measure the contents of flavonoids, phenolic acid, and triterpenoid acid. Antioxidant activities of the alcoholic extracts from different parts were measured. Significant differences were found in the contents of three ingredients among different parts of *E. japonica*. Higher contents of three ingredients were observed in bud, 68.32 mg·g⁻¹, 196.01 mg·g⁻¹, 96.28 mg·g⁻¹ for flavonoids, total phenolic acid and total triterpenoid acid, respectively, 3.16, 1.96, and 2.12 times higher than those found in new leaves in which the contents of the three ingredient were the lowest. In term of antioxidant activity, the alcohol extract of the buds was the strongest that was 2.5 times more than the new leaves. High correlationship was observed between the antioxidant activity and the content of total flavonoids and total phenolic acids. It was concluded that the bud of *E. japonica* exhibited the highest antioxidant activity, and the highest contents of ingredient, which is expected to be developed into a new antioxidant material.

Key words: *Eriobotrya japonica*; total flavonoid; total phenolic acid; triterpenoidic acid; antioxidant activity

枇杷(*Eriobotrya japonica*)为蔷薇科枇杷属植 物,同时具有极高的医疗价值,并且枇杷的果实、种

收稿日期:2014-03-23 修回日期:2014-05-21

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD38B0603);林业公益性行业科研专项(200904004)。

作者简介:吴媛琳,女,硕士研究生,研究方向:植物生理与植物资源利用。E-mail: wyl281305571@163.com

* 通信作者:张社奇,男,教授,研究方向:环境生物物理与土壤生态。E-mail: zhangsheqi@nwsuaf.edu.cn

子、花、叶子均可入药。现代药理研究表明枇杷叶具有抗炎、止咳作用,临床常用于治疗急慢性呼吸道等疾病^[1-2];近年研究还发现,枇杷叶有抗肿瘤、抗病毒、降血糖、护肝利胆、抗氧化、增强机体免疫功能等作用^[3];枇杷花淡黄色,气味香醇独特,沁人心脾,具有止咳、润肺、清咽的功效;还有研究表明,枇杷花提取物对细菌、真菌均有抑制作用^[4-5]。据报道枇杷中含有三萜类、黄酮类、酚酸类、皂苷类、挥发油、倍半萜类等活性成分^[3],其中三萜类、黄酮类、酚酸类是其主要有效活性成分。研究表明,许多植物的药用活性与其抗氧化活性密切相关^[6],黄酮类、酚酸类物质是自然界存在的天然抗氧化成分,许多植物的抗氧化活性与黄酮类、酚酸类物质的含量有关^[7-9],而枇杷的重要有效成分是否与抗氧化活性相关鲜有报道。此外,近年来国内外对枇杷的研究和利用多集中在叶上,而关于花蕾与花的研究、以及资源化利用较少。然而,在生产中为了提高果实质量大量的花和花蕾被疏掉,丢弃地头,造成了极大的资源浪费^[10]。本研究对同一时期采收的枇杷地上各部分(枝条、成熟叶、新叶、花、花蕾、花梗)的有效成分含量做了较为系统的比较分析,并对其抗氧化活性进行研究,分析各有效成分含量与抗氧化活性的相关性,以期枇杷进一步综合应用于医药以及开发新型保健品提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料 2012 年 11 月(枇杷花期为 10 月至次年 2 月)采自西北农林科技大学校园枇杷园,主要包括枇杷成熟叶、幼叶、花、花蕾、花梗、枝条。将各试材统一室温阴干,粉碎,过 60 目筛得各试材干粉,置干燥器中备用。

1.2 药品与试剂

标准品(芦丁、绿原酸、熊果酸)(购自阿拉丁试剂公司)、乙醇、蒸馏水、亚硝酸钠、氢氧化钠、硝酸铝、Folin-Ciocalteu 试剂、碳酸钠、冰醋酸、香草醛、抗坏血酸、DPPH· 自由基(购自阿拉丁试剂公司)、TPTZ(购自阿拉丁试剂公司)。

1.3 方法

1.3.1 提取液的制备 准确称取各部位样品粉末 0.5 g 置于干燥的圆底烧瓶中,加入 30 mL 70% 的乙醇,摇匀,密封后 60℃ 加热回流 3 h,补足重量,过滤得待测样品提取液。各部位做 6 个重复。

1.3.2 枇杷各部位主要有效成分含量的测定

1.3.2.1 总黄酮含量的测定 总黄酮含量的测定

采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法测定,参照罗峰^[11]等、吴媛琳^[12]等方法在提取液用量、显色体积以及标准曲线测定上略加改动。提取液用量为 0.5 mL,显色定容体积为 25 mL,以提取液(70% 的乙醇)空白为对照,在 510 nm 处测定其吸光度值(A_{510})。各部位样品按照上述方法做 3 个重复。

芦丁标准曲线的绘制:分别取 0、0.5、1、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 mL 浓度为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的芦丁标准液,参照上述方法测定吸光值。以芦丁标准品的含量为横坐标,相应吸光值为纵坐标,绘制标准曲线。得到线性回归方程为: $A = 0.561C + 0.002$, $R^2 = 0.999$ 。标准品芦丁含量在 0.2~1.6 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内与吸光值线性关系良好。

1.3.2.2 总酚酸含量的测定 总酚含量的测定采用 Folin-Ciocalteu 法^[13]测定。取 0.1 mL 待测样品提取液,置于 25 mL 具塞试管中,加 70% 乙醇稀释至 1 mL,加 0.3 mL 的 Folin-Ciocalteu 试剂,摇匀后加 1.5 mL 的饱和碳酸钠,摇匀,蒸馏水定容至 15 mL,静置 1 h 后于 760 nm 测吸光值(A_{760})。各部位样品按照上述方法做 3 个重复。

绿原酸标准曲线的绘制:分别取 0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mL 浓度为 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的熊果酸标准液,参照上述方法测定吸光值,然后以熊果酸标准品的含量为横坐标,相应吸光值为纵坐标,绘制标准曲线。得到线性回归方程为: $A = 3.584C + 0.009$, $R^2 = 0.998$ 。对照品绿原酸含量在 12.58~113.22 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内与吸光值线性关系良好。

1.3.2.3 总三萜酸含量的测定 总三萜酸含量的测定采用香草醛-冰乙酸法,参照周巧霞^[14]等、张雁冰^[15]等的方法在提取液用量和标准曲线测定上略有改动。测定的提取液用量为 0.1 mL,5% 香草醛-冰乙酸溶液 0.3 mL,高氯酸 1 mL,摇匀,置于 60℃ 水浴中加热 20 min,立即置于冰水浴中冷却,加冰乙酸 10 mL 摇匀,在 545 nm 处测吸光值(A_{545})。各部位样品按照上述方法做 3 个重复。

熊果酸标准曲线的绘制:分别取 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 mL 质量浓度为 0.125 8 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的绿原酸标准液,参照上述方法测定吸光值,然后以熊果酸标准品的含量为横坐标,相应吸光值为纵坐标,绘制标准曲线。得到线性回归方程为: $A = 4.518C - 0.009$, $R^2 = 0.999$ 。标准品熊果酸含量在 0.04~0.24 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内与吸光值线性关系良好。

1.3.3 枇杷各部位提取液的抗氧化能力的测定

1.3.3.1 FRAP 法测总还原力 参照 D. O. Kim^[16] 等的方法在反应时间上略加修改,根据 Fe^{3+} -TPTZ 被还原后于 595 nm 处的吸光值的大小检测样品抗氧化活性的大小。FRAP 反应液包括 $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ TPTZ(以 $40\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl 配制)、 $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ FeCl_3 和 $0.3\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 醋酸盐缓冲液(pH3.6),其体积比为 1:1:10,反应液需现用现配。吸取稀释 10 倍后的样品待测液 0.1 mL,加入 70%乙醇 2.9 mL,加入 3 mL Fe^{3+} -TPTZ 反应液混匀,37℃反应 30 min 后,595 nm 处的吸光(A_{595})。各部位样品按上述方法做 3 个重复,对照标准曲线计算抗氧化活性,结果以每克样品干粉相当于 Vc 的毫克数表示,以 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 为单位。

标准曲线的绘制:按照上述方法测定,以 Vc 含量为横坐标,相应的吸光值为纵坐标绘制标准曲线。得到线性回归方程为: $A=0.032C+0.005$, $R^2=0.999$ 。结果显示,Vc 含量在 0~30.14 mg 范围内与吸光值线性关系良好。

1.3.3.2 DPPH·法测自由基清除能力 样品提取液 DPPH·自由基清除能力的测定,参照林恋竹^[17]等、W. Luo^[18] 等的方法在试剂用量和反应时间上略加修改。吸取稀释 10 倍后的样品待测液 0.2 mL,加入 70%乙醇 2.8 mL,加无水乙醇配制的 $0.2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ DPPH·反应液 2.0 mL,混合均匀避光反应 30 min,以无水乙醇调零,测定 517 nm 波长处的吸光值(A_1)。测定样品待测液与无水乙醇 2.0 mL 混合液在 517 nm 处的吸光值(A_2),再测定 2.0 mL DPPH·溶液与 3.0 mL 70%乙醇在 517 nm 波长处的吸光值(A_0),根据公式计算 DPPH·清除率(SR%)。各部位样品按上述方法做 3 个重复,对照标准曲线计算抗氧化活性,结果以每克样品干粉相当于 Vc 的毫克数表示,以 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 为单位(这里与总还原力统一单位是为了方便比较 2 种方法在测定抗氧化活性上的相关性)。

标准曲线的绘制:按照上述方法测定,以 Vc 含量为横坐标,相应的 DPPH·清除率为纵坐标绘制标准曲线。得到线性回归方程为: $Y=2.601X+0.335$, $R^2=0.998$ 。结果显示,Vc 含量在 0~35.17 mg 范围内与吸光值线性关系良好。DPPH·清除率(SR,%)按以下公式计算:

$$SR=(1-\frac{A_1-A_2}{A_0})\times 100\%$$

数据采用 Microsoft Office Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行统计及分析。

2 结果与分析

2.1 枇杷不同部位主要有效成分含量

枇杷枝条、老叶、新叶、花、花蕾、花梗各部位均含有黄酮类、酚酸类、三萜酸类等有效成分,其含量存在显著差异($p<0.05$,图 1)。由图 1 可知,枇杷各部位各有效成分含量以总黄酮含量为最高($196.01\sim63.87\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),其次为总三萜酸含量($96.28\sim45.38\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),总酚酸含量较低($68.32\sim34.87\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。各部位总黄酮含量大小顺序为:花蕾>花>老叶>枝条>花梗>新叶,花梗和枝条间无显著差异,其中花蕾总黄酮含量为 $196.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,相当于含量最少的新叶($63.87\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)的 3.06 倍;各部位总酚酸含量大小顺序与总黄酮含量大小顺序一致,各部位间均有显著差异,其中花蕾中的总酚酸含量为 $68.32\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,相当于含量最少的新叶($34.87\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)的 1.96 倍;各部位总三萜酸含量大小顺序为:花蕾>老叶>花>新叶>枝条>花梗,其中花蕾和老叶以及花梗和枝条间无显著差异,花蕾中的总三萜酸含量达 $96.28\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,相当于含量最少的花梗($45.38\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)的 2.12 倍。

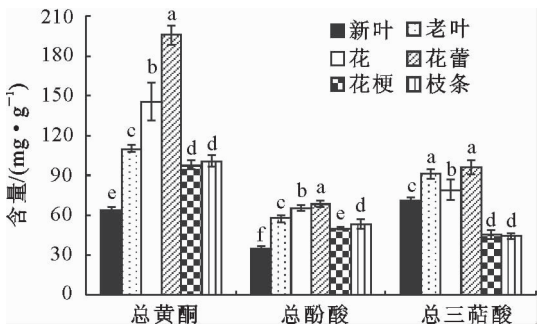


图 1 枇杷各部位主要有效成分含量

Fig. 1 The main active ingredient content in different parts of *E. japonica*

2.2 枇杷各部位抗氧化活性

枇杷各部位醇提取物均具有抗氧化活性,并存在差异(图 2)。其中 DPPH·法测得抗氧化活性最强的是花蕾($97.07\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),其次是花($82.71\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),抗氧化活性最差的是新叶($36.82\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),花蕾的抗氧化活性约是新叶的 2.6 倍,而老叶、枝条、花梗之间抗氧化活性差异不显著;FRAP 法测得抗氧化活性大小顺序为:花蕾>花>枝条>花梗>老叶>新叶,枝条和花梗以及花梗与老叶之间抗氧化活性差异不显著,该方法测得花蕾的抗氧化活性仍是最强($125.17\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$),约是抗氧化活性最差的新叶($43.36\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)的 2.9 倍。因此,

在抗氧化活性上枇杷的花蕾和花较枇杷的叶子的利用价值更高一些。

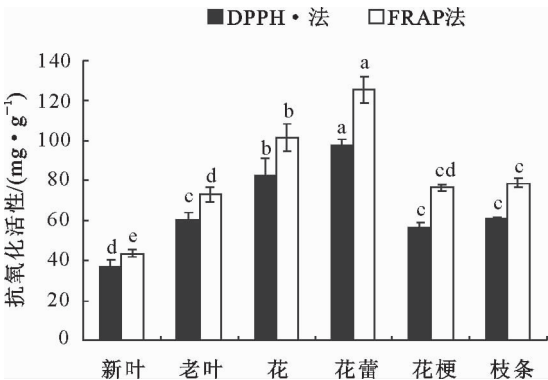


图 2 枇杷各部位抗氧化活性

Fig. 2 The antioxidant activity in different parts of *E. japonica*

2.3 枇杷不同部位主要有效成分含量与抗氧化活性的相关性

许多研究表明,植物提取物中的黄酮、酚类物质含量与抗氧化活性密切相关^[5]。本研究也得到相似的结果(图 3)。DPPH · 法测定的抗氧化活性与总黄酮、总酚酸含量呈现出显著线性相关性,相关系数分别为 0.946 4、0.846 1,与总三萜酸含量之间不存在相关性($R^2=0.269\ 3$);FRAP 法测定的抗氧化活性与总黄酮、总酚酸含量也呈现出显著线性相关性,相关系数分别为 0.914 0、0.843 7,与总三萜酸含量之间同样不存在相关性($R^2=0.168\ 4$)。2 种方法测得的抗氧化活性与总黄酮含量相关性均高于与总酚酸含量的相关性,类似的情况在其他植物中也有报道^[19]。

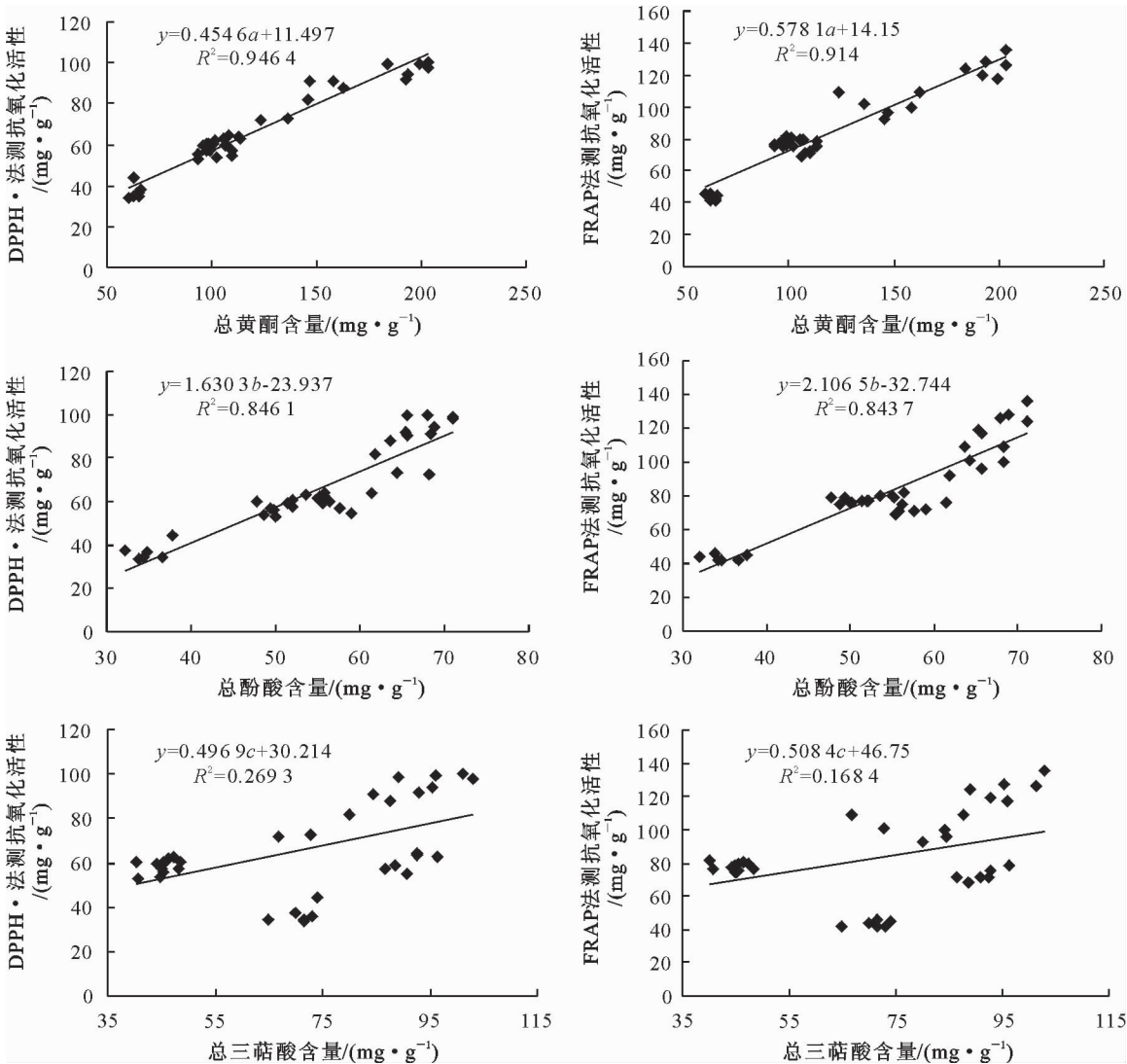


图 3 枇杷抗氧化活性与各主要有效成分的关系

Fig. 3 The relationship between the main active ingredient content and the antioxidant activity

基于 DPPH ·、FRAP 法测定的枇杷抗氧化活性与总黄酮、总酚酸含量之间均存在较高的相关性

(图 3),对 2 种方法进行线性分析(图 4)表明:DP- PH · 和 FRAP 2 种方法在评价枇杷不同部位抗氧

化活性上表现出一定的相关性($R^2=0.9154$),本研究采取这2种方法测定抗氧化活性是可行的,起到了相互印证的作用。但是 DPPH·法测定的抗氧化活性与总黄酮、总酚酸含量的相关性略高于 FRAP法,可能 DPPH·法更适合用于测定枇杷各部位的抗氧化活性。

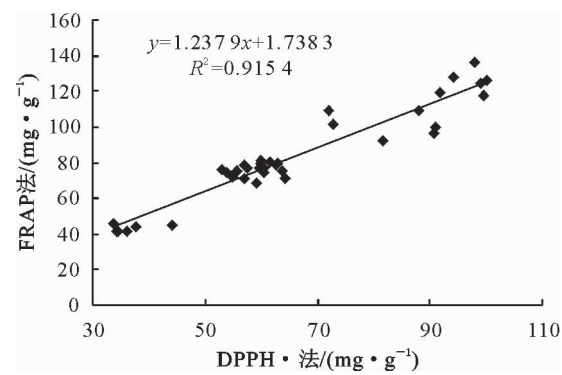


图4 不同抗氧化分析方法的线性分析

Fig.4 The linearship between different antioxidant activity detection method

3 结论与讨论

对枇杷不同部位各有效成分含量进行比较发现,花蕾和花各有效成分含量在各部位中具有显著优势,花蕾和花总黄酮、总酚酸、总三萜酸的均值分别为 170.83、66.83、87.78 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,新叶和老叶这3种有效成分含量的均值分别为 87.06、46.15、81.06 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。有研究表明,植物叶片可能是次生代谢产物的主要产生器官^[20-21],本研究取材时期为枇杷的花期,叶片中的次生代谢产物可能通过枝条和花梗运输到了花和花蕾,导致在花蕾和花部位积累,进而导致枇杷生殖器官(花和花蕾)各有效成分含量明显高于其营养器官(新叶和老叶)。在实际生产中,枇杷花的产量极大,为了满足市场对大果实枇杷的需求,果农们都会在一定时期进行疏花,每株有 60%~80%的鲜花蕾被疏掉,大概每亩枇杷可以疏花 100 kg,而疏掉的花蕾一般被遗弃地头,造成了自然资源的极大浪费^[10]。该研究结果为疏掉的枇杷花和花蕾的资源化利用提供了有益的借鉴。此外,虽然枇杷各部位均含有黄酮类、酚酸类、三萜酸类3种有效成分,但是,综合比较来看,各部位总黄酮含量最高,其次是总三萜酸含量,总酚酸含量最低,由此可以推断黄酮类化合物在枇杷药效活性中发挥着较为重要的作用。

本研究采用2个不同评价方法对抗氧化活性进行评价发现,枇杷枝条、老叶、新叶、花、花蕾、花梗各部位均呈现出不同的抗氧化活性。其中,枇杷花蕾

的醇提取物的抗氧化活性最强,其还原力和 DPPH·自由基清除率均显著高于其他各部位,说明枇杷花蕾有望被开发为新的抗氧化原料。对枇杷各部位总黄酮、总酚酸、总三萜酸含量与抗氧化活性的相关性进行分析发现,其抗氧化活性与总黄酮和总酚酸含量之间有着显著线性相关性,与总三萜酸含量无明显相关性,表明黄酮类、酚酸类成分为其抗氧化活性的重要成分,是枇杷抗氧化活性的重要贡献者。

综上所述,枇杷花蕾中含有较为丰富的黄酮类、酚酸类以及三萜酸类物质,并且具有较强的抗氧化活性,因此,枇杷花蕾具有广泛利用价值,值得综合利用加强资源开发。

参考文献:

[1] 王立为,刘新民,余世春,等. 枇杷叶抗炎和止咳作用研究[J]. 中草药,2004,35(2):174-176.

WANG L W, LIU X M, YU S C, *et al.* Anti-inflammatory and antitussive effects of *Eriobotrya japonica* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2004, 35(2): 174-176. (in Chinese)

[2] HUANG Y, LI J, CAO Q, *et al.* Anti-oxidative effect of triterpene acids of *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl. leaf in chronic bronchitis rats [J]. Life Sciences, 2006, 78(23): 2749-2757.

[3] 郭宇,吴松吉,朴惠善. 枇杷叶的化学成分及药理活性研究进展[J]. 时珍国医国药,2006,17(6):928-930.

[4] 王静波,杨必坤,张宏,等. 枇杷花提取物止咳作用研究[J]. 中草药,2009,40(7):1106-1109.

[5] 何莲,张宏,李琪,等. 枇杷花系统溶剂提取物抑菌作用研究[J]. 食品科学,2007,28(12):109-112.

[6] DUFOUR D, PICHETTE A, MSHYILDADAE V, *et al.* Antioxidant, anti-inflammatory and anticancer activities of methanolic extracts from *Ledum groenlandicum* Retzius[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 111:22-28.

[7] YANG J, MEYERS K J, HEIDE J V D, *et al.* Varietal differences in phenolic content and antioxidant and antiproliferative activities of onions[J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 2004, 52(22):6787-6793.

[8] 李琨,张学杰,张德纯,等. 不同芹菜品种叶与叶柄黄酮含量及其与抗氧化能力的关系[J]. 园艺学报,2011,38(1):69-76.

LI K, ZHANG X J, ZHANG D C, *et al.* The quantitation of flavonoids in leaf and stalk of different celery cultivars and the correlation with antioxidation activity [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011,38(1):69-76. (in Chinese)

[9] 龚晓武,李炳奇,刘丹丹,等. 红景天黄酮提取及其抗氧化活性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):136-138.

GONG X W, LI B Q, LIU D D, *et al.* Antioxidant activity of the flavonoid extract from *rhodiola rosea* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(03):136-138. (in Chinese)

[10] 黄福山,袁卫明,俞文生. 枇杷大棚栽培疏花疏果技术[J]. 江

西园艺,2003(6):10.

[11] 罗锋,汪河滨,杨玲,等. 超声——微波协同萃取法提取甘草黄酮的研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(8):127-128.

[12] 吴媛琳,王世军,张社奇,等. 修剪对苹果枝(梢)皮层总黄酮含量的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(6):103-107.

WU Y L, WANG S J, ZHANG S Q, *et al.* Effect of puring on the content of total flavonoids in the branch bark of apple trees[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(6):103-107.

[13] 韩菊,魏福祥. Folin-Ciocalteu 比色法测定苹果渣中的多酚[J]. 食品科学,2010,31(4):179-182.

[14] 周巧霞,张经硕,顾明,等. 测定山楂及提取物总三萜酸的含量[J]. 中国野生植物资源, 2004,23(5): 43-44.

[15] 张雁冰,王克让,刘宏民. 马桑叶中总三萜酸的含量测定[J]. 时珍国医国药,2006,17(4):529-530.

[16] KIM D O,LEE K W,LEE H J, *et al.* Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals [J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 2002, 50: 3713-3717.

[17] 林恋竹,赵谋明. 反应时间对 DPPH · 法、ABTS + · 法评价抗氧化性结果的影响[J]. 食品科学,2010,31(05):63-67.

[18] LUO W, ZHAO M M, YANG B, *et al.* Identification of bio-active compounds in *Phyllenthus emblica* L. fruit and their free radical scavenging activities[J]. Food Chemistry, 2009, 114: 499-504.

[19] 石雪萍,吴亮亮,高鹏,等. 20 种食用辛香料抗氧化性及其与黄酮和多酚的相关性研究[J]. 食品科学,2011,32(5):83-86.

SHI X P, WU L L, GAO P, *et al.* Ethanol extracts from twenty edible spices: antioxidant activity and its correlations with total flavonoids and total phenols content [J]. Food Science, 2010, 32(5):83-86. (in Chinese)

[20] 赵则海,于景华,杨逢建,等. 人为扰动对乌拉尔甘草不同部位甘草酸与总黄酮含量的影响[J]. 生态学报,2004,24(12):2799-2803.

ZHAO Z H, YU J H, YANG F J, *et al.* Influences of artificial disturbance degrees on the contents of *Glycyrrhizic acid* and flavonoids in different parts of *Glycyrrhiza uralensis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12):2799-2803. (in Chinese)

[21] 杨蓓芬,金则新,邵红,等. 七子花不同器官次生代谢产物含量的分析[J]. 植物研究,2007,27(2):229-232.

(上接第 13 页)

[14] 刘俊霞,袁登胜,袁秀英. 花棒群落植物多样性及其种群空间分布格局的研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):55-59.

LIU J X, YUAN D S, YUAN X Y. Characteristics of species diversity and spatial distribution pattern of *Hedysarum scoparium* population[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(5):55-59. (in Chinese)

[15] 张健,郝占庆. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1681-1687.

ZHANG J, HAO Z Q. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved korean pine mixed forest in Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(8):1681-1687. (in Chinese)

[16] 陈贝贝,赵秀海,倪瑞强,等. 长白山阔叶红松林乔木树种幼苗组成与空间分布[J]. 东北林业大学学报,2012,40(10):39-42.

CHEN B B, ZHAO X H, NI R Q, *et al.* Composition and spatial pattern of tree seedlings in Korean pine broadleaved forest in Changbai Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University,2012,40(10):39-42. (in Chinese)

[17] 陈列,赵秀海,张赞. 长白山北坡椴树红松林空间分布及其空间关联[J]. 北京林业大学学报,2009,31(3):6-10.

CHEN L, ZHAO X H, ZHANG Y. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in *Tilia*-Korean pine forest on the north slope of Changbai Mountain, northeastern China[J]. Journal of Beijing Forestry University,2009,31(3):6-10. (in Chinese)

[18] 张赞,赵亚洲,张春雨,等. 北京松山油松种群结构及空间分布格局[J]. 应用与环境生物学报,2009,15(2):175-179.

ZHANG Y, ZHAO Y Z, ZHANG C Y, *et al.* Structure and spatial distribution of *Pinus tabulaeformis* population in the Songshan Nature Reserve, Beijing, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,15(2):175-179. (in Chinese)

[19] 兰国玉,雷瑞德. 植物种群空间分布格局研究方法概述[J]. 西北林学院学报,2003,18(2):17-21.

LAN Y G, LEI R D. Brief Introduction of spatial methods to distribution patterns of population[J]. Journal of Northwest Forestry University,2003,18(2):17-21. (in Chinese)

[20] WIEGAND T, MOLONEY K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology[J]. Oikos, 2004, 104(2): 209-229.

[21] 常新华,赵秀海,曾凡勇,等. 长白山针阔混交林主要树种空间分布及其环境解释[J]. 北京林业大学学报,2009,31(1):7-12.

CHANG X H, ZHAO X H, ZENG F Y, *et al.* Spatial distribution of main tree species and their environmental interpretations in conifer and broadleaved mixed forests of Changbai Mountains, northeastern China[J]. Journal of Beijing Forestry University,2009,31(1):7-12. (in Chinese)

[22] 孙冰,杨国亭,迟福昌,等. 白桦种群空间分布格局的研究[J]. 植物研究,1994,12(2):201-207.

[23] CONDIT R, ASHTON P S, BAKER P, *et al.* Spatial patterns in the distribution of tropical tree species[J]. Science, 2000,288(5470):1414-1418.

[24] HE F L, DUNCAN R P. Density-dependent effects on tree survival in an old-growth *Douglas fir* forest[J]. Journal of Ecology,2000,88(4):676-6.