

# 枇杷不同组织中主要三萜酸含量多样性分析

陈秀萍<sup>1,2</sup>, 苏文炳<sup>1,2a</sup>, 蒋际谋<sup>1,2</sup>, 姜帆<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>福建省农业科学院果树研究所, 福州 350013; <sup>2</sup>福建省龙眼枇杷育种工程技术研究中心, 福州 350013)

**摘要:**【目的】探讨枇杷种质资源不同组织中主要三萜酸组分含量多样性, 为功能化利用与特异资源挖掘提供依据。【方法】利用高效液相色谱法测定 10 份枇杷种质叶片、果皮、果肉和种子中的熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸等三萜酸组分含量, 并进行多样性和相关性分析。【结果】10 份枇杷资源的叶片、果皮、果肉、种子中均含有熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸, 各组织中的三萜酸组分含量变异系数为 21.8%~213.4%, 变异最小的是叶片齐墩果酸含量, 变异最大的是果肉熊果酸含量。不同组织中, 叶片的三萜酸含量最高, 其熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸和总三萜酸的平均含量分别为 4.10、3.47、1.10、8.63 mg·g<sup>-1</sup>, 是果皮的 1.8~2.2 倍、果肉的 64.1~582.2 倍、种子的 114.4~170.6 倍。大多数资源叶片和果皮的熊果酸含量最高, 平均熊果酸含量各占总三萜酸的 47.5%和 51.4%, 其次是科罗索酸含量, 各占 40.2%和 35.7%, 齐墩果酸含量均最低; 果肉中科罗索酸含量最高, 占总三萜酸的 75.6%~94.1%, 熊果酸和齐墩果酸含量低。各组织中的熊果酸、科罗索酸与三萜酸总量均呈极显著正相关。【结论】枇杷种质资源各组织中的熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸含量均存在丰富的多样性; 叶片的三萜酸含量高于果皮, 二者的含量远高于果肉和种子。研究结果可指导叶片高三萜酸种质挖掘, 也可用于果皮高熊果酸或果肉高科罗索酸优异资源的挖掘。

**关键词:** 枇杷; 三萜酸多样性; 熊果酸; 齐墩果酸; 科罗索酸

中图分类号: S667.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)04-0621-10

## Diversity assessment on triterpene metabolites in different tissues of ten types of loquat germplasms

CHEN Xiuping<sup>1,2</sup>, SU Wenbing<sup>1,2a</sup>, JIANG Jimou<sup>1,2</sup>, JIANG Fan<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Fruit Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou350013, Fujian, China; <sup>2</sup>Fujian Breeding Engineering Technology Research Center for Longan & Loquat, Fuzhou350013, Fujian, China)

**Abstract:** 【Objective】The loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] has long been used as a pharmaceutical plant, its leaves, flower as well as other tissues have been used for the treatment of many diseases. Dry loquat leaves are widely used in traditional Chinese medicine to treat cough and asthma. Triterpene acids have been found in the leaves, peel, flesh, seeds and flowers of loquat, and some of these compounds have been proved to have bioactivities such as anti-inflammatory, antitussive, diuretic, anti-tumor and diabetes. The aim of this work was to study the diversity of triterpene acids in different tissues of loquat germplasm resources, so as to provide basis for resource identification and functional utilization of this species. 【Methods】The contents of ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid in leaves, peel, flesh and seeds collected from 10 types of loquat germplasms were determined by high performance liquid chromatography (HPLC), and the diversity and correlation among triterpene acids in different loquat germplasms as well as correlation of triterpene enrichment capacities in tissues of the same germplasm accession were analyzed. 【Results】Three triterpene acids (ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid) were identified in all tissues of 10 loquat resources, the triterpene acids compounds

收稿日期: 2022-01-18

接受日期: 2022-03-02

基金项目: 福建省属公益类科研院所专项(2019R1028-4); 科技部、财政部国家科技资源共享服务平台项目(NHGRC2021-NH18-1); 农业高质量发展超越“5511”协同创新工程(XTCXGC2021006); 福建省农业科学院科技创新团队(CXTD2021004-1); 国家科技计划项目(2021L3022)

作者简介: 陈秀萍, 女, 研究员, 硕士, 研究方向为龙眼、枇杷种质资源与育种。Tel: 13625040468, E-mail: exp2516@126.com。a 为共同第一作者。

and contents in different tissues varied greatly with the variation coefficient ranging from 21.8% to 213.4%, the variation coefficient of ursolic acid in flesh was the highest, and the variation coefficient of oleanolic acid in leaves was the lowest. In leaves, the average contents of ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid of 10 types of loquat germplasms were 4.10, 3.47 and 1.10  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , respectively, the differences between the highest and lowest content were 2.7, 2.7 and 2.3 times for ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid, respectively. In peel, the content of ursolic acid was the highest (average 2.27  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 51.4%), the second was corosolic acid (average 1.58  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 35.7%), the content of oleanolic acid was the lowest (average 0.57  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 12.9%), and the differences between the highest and lowest content were 4.3, 3.2 and 5.2 times for ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid, respectively. In flesh, the content of corosolic acid was the highest (average 54.12  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 83.6%). The contents of ursolic acid and oleanolic acid were lower (average 7.03 and 3.61  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 10.9% and 5.7%, respectively), and the differences between the highest and lowest content were 48.1, 8.8 and 21.4 times for ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid, respectively. In seeds, the content of corosolic acid was the highest (average 30.25  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 47.6%), the next was ursolic acid (average 24.01  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 37.7%), the content of oleanolic acid was the lowest (average 9.36  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 14.7%), and the differences between the highest and lowest content were 40.0, 5.8 and 3.3 times for ursolic acid, corosolic acid and oleanolic acid, respectively. The total triterpene acid content in leaves was higher than that in peel, and both of them were much higher than those in flesh or seed. In most detected materials, ursolic acid was the highest triterpene compound in leaves, and the peak ursolic acid in Anhuidahongpao leaves was 4000 fold more than that in flesh of Xiaomaopipa. All these results demonstrated that most loquat leaves were suitable for traditional Chinese medicine. Loquat peel and flesh, with high ursolic acid and /or corosolic acid, were potential table supply of triterpene components. The amount of ursolic acid, corosolic acid and total triterpenoid acid in leaves showed significant positive correlation with each other ( $r=0.81$ , 0.95 and 0.94), while oleanolic acid showed weaker positive relationships with ursolic acid, oleanolic acid and total triterpenoid acid ( $r=0.64$ , 0.60 and 0.69). In peel, ursolic acid, corosolic acid and total triterpenoid acid also showed significant positive correlation with each other ( $r=0.82$ , 0.97 and 0.92) and oleanolic acid showed weaker positive relationships with total triterpenoid acid. In flesh, very significant positive correlations existed among ursolic acid, corosolic acid and total triterpenoid acid ( $r=0.97$ , 0.98 and 1.00). In seed, ursolic acid and corosolic acid showed positive correlation with total triterpenoid acid ( $r=0.87$  and 0.78) while ursolic acid content was just slightly related with corosolic acid ( $r=0.65$ ). **【Conclusion】** Comprehensive analysis on triterpene metabolite enrichment capacities of diverse tissues in 10 loquat accessions in this study identified specific germplasms including tissues for novel metabolite utilization of this species. Leaves with stable high triterpene content were suitable for traditional Chinese drug preparation. High ursolic acid and corosolic acid accumulation capacity was found in peel of germplasm like Luoyangqing, and high corosolic acid was detected in flesh of germplasm like Marc. Totally, here the comprehensive analysis on triterpene compounds among loquat germplasms supported metabolome basis that dry loquat leaves are vital and widely used in traditional Chinese medicine. The high specific triterpene accumulated in fruit tissues is potential for table dietary to benefit human health and the residual seed after loquat fruit consumption is valuable for food deep processing.

**Key words:** Loquat; Triterpene diversity; Ursolic acid; Oleanolic acid; Corosolic acid

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是原产于中国的亚热带常绿果树,在我国有 2000 多年的栽培历史,分布遍及北纬 33.5° 以南的 20 个省(自治区、直辖市),种质资源极其丰富<sup>[1]</sup>。枇杷作为食药同源植物,其花、果、叶、根及树白皮等均可入药,果实有止渴下气、利肺气、止吐逆、润五脏的功能,叶具有清肺和胃、降气化痰的功用<sup>[2]</sup>。现代药理研究表明,枇杷叶三萜酸有镇咳、祛痰、平喘、抗炎免疫调节和抗肿瘤等作用<sup>[3-7]</sup>,还具有潜在的治疗糖尿病及其并发症的作用<sup>[8]</sup>;枇杷核提取物具有抗炎、抗肿瘤、增强免疫力、改善肝纤维化<sup>[9-13]</sup>等作用,枇杷苷 I、熊果酸和总三萜酸类化合物是枇杷叶抗炎、止咳的主要活性成分<sup>[14-15]</sup>,乌苏酸(熊果酸)含量是枇杷叶药材质量的主要评价指标<sup>[15]</sup>。

枇杷是自然界中三萜酸含量较高的植物<sup>[16-17]</sup>,其叶片中的自由态三萜酸含量是蔷薇科近缘物种美土根、桃、苹果的近 10 倍<sup>[18]</sup>。三萜类物质如熊果酸(Ursolic acid)、齐墩果酸(Oleanolic acid)和科罗索酸(Corosolic acid)等具有多种生物活性和广泛的用途而备受关注。近年来,越来越多的研究表明熊果酸、齐墩果酸和科罗索等三萜类物质在枇杷叶片<sup>[7,18-20]</sup>、花<sup>[21-22]</sup>、果皮<sup>[23]</sup>、果肉<sup>[23-24]</sup>、种子<sup>[12-13,23]</sup>等组织中广泛分布。Li 等<sup>[9]</sup>分析了 11 份枇杷叶中的三萜酸组分含量,认为枇杷叶中的三萜酸组分主要是熊果酸及其衍生物科罗索酸;Hong 等<sup>[20]</sup>研究发现野生枇杷成熟叶中除了含有较多的熊果酸,委陵菜酸是另一种含量较高的三萜酸。Zhou 等<sup>[23]</sup>研究表明枇杷果皮中的熊果酸和齐墩果酸含量高,而果肉和种子中的含量很少;姜帆等<sup>[22]</sup>评价了 53 份枇杷种质花中的熊果酸、科罗索酸和齐墩果酸含量,发现枇杷花以熊果酸含量最高;Su 等<sup>[18]</sup>分析了解放钟枇杷叶片 5 个不同发育阶段三萜酸组分含量差异,认为熊果酸从第二阶段开始积累、而科罗索酸仅在第五阶段(成熟叶)含量高;李继杨等<sup>[24]</sup>分析了枇杷不同器官及不同物候 4 种三萜酸含量的动态变化,认为不同物候阶段枇杷叶中的三萜酸含量有变化;Shan 等<sup>[25]</sup>研究表明遮阴处理可以提高枇杷叶片中的熊果酸含量。可见熊果酸、科罗索酸和齐墩果酸是枇杷组织中的主要三萜酸,不同资源、不同组织中的三萜酸组分含量存在差异,不同物候、不同栽培措施也会影响枇杷的三萜酸含量。但叶片、果皮、果肉、种子等不同组织中的熊果酸、齐墩果酸、科罗索酸等三萜酸含

量是否有关联、不同种质间的差异如何,未见相关报道。

笔者在本研究中同时采集 10 份在统一栽培管理条件下枇杷种质的叶片、果实样品,采用液相色谱法(HPLC)分析叶片、果皮、果肉、种子中的熊果酸、科罗索酸和齐墩果酸含量,旨在为枇杷种质资源的评价利用及三萜类物质代谢研究提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于 2021 年进行,材料来自国家果树种质福州枇杷圃(福建福州)。测试枇杷种质 10 份,其中白梨、新白 2 号、乌躬白、白肉 8 号等 4 份为白肉资源,安徽大红袍、小毛枇杷、光面软枣枇杷、龙泉 1 号、Marc、洛阳青等 6 份为红肉资源。枇杷资源圃的土壤为砂壤土,管理条件一致。砧木为解放钟实生苗,树龄 15 a,生长结果正常,果实不套袋。为尽量保证不同种质之间果实成熟度的一致性,取样由有经验的同一实验者进行。根据往年经验结合果皮颜色观察、可溶性固形物含量测定和现场品尝,确定每份种质的成熟期<sup>[26]</sup>。每份种质采摘树冠外围中上部中心枝有代表性的成熟果实,同时采集夏梢中部无病虫害的成熟叶,分别剥取果皮、果肉、种子,叶片用清水洗净、擦干、剪碎,所有组织均用液氮处理,-80 °C 超低温冰箱贮藏备用。

### 1.2 三萜酸的提取与测定

三萜酸提取参照 Zhou 等<sup>[23]</sup>的方法并加以改进。样品加入液氮研磨,真空冷冻干燥至恒质量,称取 1.000 g 样品,加入 10 mL 无水乙醇,浸泡 2 h,连续 50 °C 超声 30 min,取上清液,样品共提取 2 次,合并 2 次提取液,氮吹处理至干燥。残留物溶于 1 mL 甲醇中,果皮和叶片的提取液稀释 10 倍,上机前过 0.45 μm 滤膜。3 个生物学重复。

参照中国药典<sup>[27]</sup>的方法测定三萜酸组分含量,并进行改进。液相色谱为 Thermo Fisher UltiMate 3000,色谱柱为 phenomenex gmini C18 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相:  $V_{\text{乙腈}}:V_{\text{甲醇}}:V_{\text{水(含 0.5\% 醋酸铵)}}$  = 67:12:21,检测波长 210 nm,柱温 25 °C,流速 1.0 mL · min<sup>-1</sup>,进样量 50 μL。

标准品:科罗索酸纯度为 97%,批号为西力生物 BBP00116;熊果酸纯度为 98%,批号为西力生物

BBP00038;齐墩果酸纯度为98%,批号为西力生物BBP00607。

### 1.3 数据处理和分析

所有数据利用赛默飞 Chromeleon 7 工作站和 Excel 2010 进行处理,计算平均值、标准差和变异系数,采用 DPS 7.05 软件对数据进行方差分析和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 枇杷种质叶片中的三萜酸组分含量及比例

从表1可以看出,10份枇杷资源叶片中均含有熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸等3种三萜酸,不同种质间的三萜酸含量差异大,变异大小依次是科罗索酸>熊果酸>齐墩果酸,变异系数为24.8%~21.8%。

其中,熊果酸含量( $w$ ,后同)为1.83~4.99  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均值为4.10  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是白肉8号,最高的是光面软枣枇杷;科罗索酸含量为1.79~4.80  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均值为3.47  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是白肉8号,最高的是安徽大红袍;齐墩果酸含量为0.58~1.35  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均值为1.10  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是白肉8号,最高的是 Marc;三萜酸总量以白肉8号最低,仅4.08  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,其余9份种质的含量变幅为7.05  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (新白2号)~10.48  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (安徽大红袍),平均8.63  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变异系数为4.6%。红肉种质中,除光面软枣枇杷的齐墩果酸含量低于平均值外,其余均高于平均值;白肉资源除了白梨三萜酸含量高于平均值,其余均低于平均值。

不同种质间的三萜酸组成比例也有差异。其

表1 10份枇杷种质叶片中的三萜酸组分含量

Table 1 Contents of ursolic acid, oleanolic acid and corosolic acid in leaves of 10 cultivar loquat  $w/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$

种质名称 Accession name	熊果酸 Ursolic acid	科罗索酸 Corosolic acid	齐墩果酸 Oleanolic acid	三萜酸总量 Total triterpene acid
安徽大红袍 Anhuidahongpao	4.46±0.04	4.80±0.17	1.22±0.09	10.48±0.11
小毛枇杷 Xiaomaopipa	4.61±0.03	3.95±0.42	1.21±0.08	10.05±0.08
光面软枣枇杷 Guangmianruanzaopipa	4.99±1.01	3.62±0.61	0.81±0.01	9.66±1.65
龙泉1号 Longquan 1	4.34±0.27	4.19±0.15	1.12±0.03	9.64±0.44
Marc	4.81±0.44	3.55±0.23	1.35±0.04	9.33±0.18
洛阳青 Luoyangqing	4.13±0.35	3.60±0.33	1.32±0.12	9.08±0.78
白梨 Baili	4.47±0.13	3.71±0.61	1.17±0.18	8.88±0.32
乌躬白 Wugongbai	3.87±0.34	3.10±0.17	1.09±0.02	8.07±0.52
新白2号 Xinbai 2	3.50±0.41	2.42±0.03	1.13±0.08	7.05±0.52
白肉8号 Bairou 8	1.83±0.17	1.79±0.05	0.58±0.02	4.08±0.15
平均值 Mean	4.10	3.47	1.10	8.63
变异系数 CV/%	22.20	24.80	21.80	4.60

中,熊果酸占三萜酸总量的42.5%~51.6%,平均47.5%;科罗索酸占34.3%~45.8%,平均40.2%;齐墩果酸占8.4%~16.0%,平均12.8%。除了安徽大红袍是科罗索酸的含量最高外,其余9份资源均是熊果酸的含量最高,所有资源齐墩果酸的含量均最低。

### 2.2 枇杷种质果皮中的三萜酸组分含量及比例

从表2可以看出,10份枇杷种质果皮中平均含量最高的是熊果酸,其次是科罗索酸,齐墩果酸最低,变异系数为37.4%~40.4%。熊果酸平均含量达2.27  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅0.80~3.45  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,最低的是白肉8号,最高的是洛阳青;科罗索酸含量为0.56~2.24  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均1.58  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是小毛枇杷,最

高的是光面软枣枇杷;齐墩果酸含量0.17~0.89  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均0.57  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是小毛枇杷,最高的是新白2号;三萜酸总量为1.55~5.90  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均4.42  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是小毛枇杷,最高的是洛阳青,含量极值相差3.8倍。果皮中的三萜酸含量在红肉资源与白肉资源间没有明显差异。

不同种质间的三萜酸组成比例差异大。其中,熊果酸占总三萜酸的43.2%~58.4%,平均51.4%;科罗索酸占总三萜酸的30.6%~47.5%,平均35.7%;齐墩果酸占总三萜酸的6.6%~22.6%,平均12.9%。除了光面软枣枇杷以科罗索酸占比最高,其余9份资源均以熊果酸的占比最高,所有资源齐墩果酸的占比均最低。

表2 10份枇杷种质果皮中的三萜酸组分含量

Table 2 Contents of ursolic acid, oleanolic acid and corosolic acid in peel of 10 cultivar loquat  $w/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$ 

种质名称 Accession name	熊果酸 Ursolic acid	科罗索酸 Corosolic acid	齐墩果酸 Oleanolic acid	三萜酸总量 The total triterpene acid
洛阳青 Luoyangqing	3.45±0.14	1.80±0.07	0.59±0.04	5.90±0.19
安徽大红袍 Anhuidahongpao	2.97±0.25	1.84±0.08	0.64±0.03	5.45±0.37
龙泉1号 Longquan 1	2.62±0.03	2.00±0.00	0.72±0.01	5.33±0.04
乌躬白 Wugongbai	2.63±0.05	1.95±0.01	0.67±0.01	5.25±0.07
新白2号 Xinbai 2	2.32±0.23	1.75±0.05	0.89±0.06	4.84±0.11
白梨 Baili	2.41±0.10	1.54±0.03	0.83±0.00	4.76±0.12
光面软枣枇杷 Guangmianruanzaopipa	2.16±0.07	2.24±0.14	0.31±0.00	4.71±0.10
Marc	2.51±0.27	1.52±0.11	0.49±0.04	4.52±0.34
白肉8号 Bairou 8	0.80±0.08	0.58±0.02	0.42±0.00	1.86±0.03
小毛枇杷 Xiaomaopipa	0.82±0.03	0.56±0.01	0.17±0.00	1.55±0.03
平均值 Mean	2.27	1.58	0.57	4.42
变异系数 CV/%	37.40	38.00	40.40	33.70

### 2.3 枇杷种质果肉中的三萜酸组分含量及比例

从表3可以看出,10份枇杷种质果肉中熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸含量的变异系数为79.0%~213.4%。其中,熊果酸平均含量 $7.03\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅 $1.03\sim 49.50\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是小毛枇杷,最高的是Marc,极值相差48.1倍;科罗索酸平均含量 $54.12\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅 $21.00\sim 185.63\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是洛阳青,最高的是Marc,含量极值相差8.8倍;齐墩果酸平均含量 $3.61\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅 $0.40\sim 8.57\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是白梨,最高的是光面软枣枇杷,极值相差21.4倍;三萜酸总量平均为 $64.76\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅 $24.35\sim 239.15\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是洛阳青,最高的是Marc,极值相差9.8倍。

10份种质均以科罗索酸的含量最高,占总量的75.6%~94.1%,平均83.6%;熊果酸和齐墩果酸的占比很低,分别为1.8%~20.7%、0.9%~15.3%,平均10.9%、5.7%,其中Marc、龙泉1号、白梨、乌躬白等4份种质的熊果酸含量高于齐墩果酸,其余6份种质的齐墩果酸含量高于熊果酸。

### 2.4 枇杷种质种子中的三萜酸组分含量及比例

从表4可以看出,10份枇杷种质种子中熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸含量差异大,变异系数为55.7%~166.7%,多样性丰富。其中,熊果酸平均含量 $24.01\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,变幅 $1.95\sim 77.90\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的是新白2号,最高的是白肉8号,含量极值相差40.0倍;科罗索酸含量 $9.90\sim 57.80\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均 $30.25\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,

表3 10份枇杷种质果肉中的三萜酸组分含量

Table 3 Contents of ursolic acid, oleanolic acid and corosolic acid in flesh of 10 cultivar loquat  $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ 

种质名称 Accession name	熊果酸 Ursolic acid	科罗索酸 Corosolic acid	齐墩果酸 Oleanolic acid	三萜酸总量 The total triterpene acid
Marc	49.50±1.13	185.63±0.86	3.33±0.40	239.15±0.92
龙泉1号 Longquan 1	3.23±0.23	60.23±0.25	0.57±0.29	64.03±0.42
小毛枇杷 Xiaomaopipa	1.03±0.12	52.83±0.85	3.15±0.49	56.55±0.92
光面软枣枇杷 Guangmianruanzaopipa	1.37±0.12	46.23±0.78	8.57±1.36	56.17±1.36
白梨 Baili	4.23±0.40	49.37±1.33	0.40±0.00	54.55±1.48
新白2号 Xinbai 2	2.43±0.61	33.07±2.22	8.35±2.05	43.60±5.94
乌躬白 Wugongbai	2.57±0.38	33.57±0.47	1.55±0.49	37.90±1.56
安徽大红袍 Anhuidahongpao	2.75±0.07	30.30±0.46	3.40±0.14	36.25±0.35
白肉8号 Bairou 8	1.57±0.38	29.00±0.53	4.95±2.19	35.00±2.26
洛阳青 Luoyangqing	1.60±0.28	21.00±0.10	1.80±0.36	24.35±0.07
平均值 Mean	7.03	54.12	3.61	64.76
变异系数 CV/%	213.40	88.30	79.00	96.50

表 4 10 份枇杷种质种子中的三萜酸组分含量

Table 4 Contents of ursolic acid, oleanolic acid and corosolic acid in seeds of 10 cultivar loquat  $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ 

种质名称 Accession name	熊果酸 Ursolic acid	科罗索酸 Corosolic acid	齐墩果酸 Oleanolic acid	三萜酸总量 The total triterpene acid
白肉 8 号 Bairou 8	77.90±2.40	57.80±1.15	8.25±1.63	143.50±3.25
白梨 Baili	26.20±3.56	27.90±0.53	52.80±0.14	106.70±4.45
乌躬白 Wugongbai	28.20±6.79	49.60±4.53	1.87±0.57	79.90±10.75
洛阳青 Luoyangqing	34.73±1.65	39.67±1.20	2.50±0.28	76.07±4.08
新白 2 号 Xinbai 2	1.95±2.19	45.97±0.78	4.80±0.14	53.15±2.05
安徽大红袍 Anhuidahongpao	20.87±0.06	24.60±0.60	1.75±0.07	47.20±0.99
龙泉 1 号 Longquan 1	23.35±1.34	17.63±2.89	3.10±0.28	45.75±1.48
小毛枇杷 Xiaomaopipa	10.70±0.61	16.77±0.15	13.45±0.21	40.65±0.21
光面软枣枇杷 Guangmianruanzaopipa	9.63±0.64	12.70±1.15	3.50±0.44	25.83±1.57
Marc	6.60±0.00	9.90±0.30	1.60±0.10	13.70±3.64
平均值 Mean	24.01	30.25	9.36	63.25
变异系数 CV/%	90.30	55.70	166.70	60.80

含量最低的是 Marc, 最高的是白肉 8 号, 含量极值相差 5.8 倍; 齐墩果酸含量  $1.60\sim 52.80 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均  $9.36 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 含量最低的是 Marc, 最高的是白梨, 含量极值相差 33.0 倍; 三萜酸总量  $13.70\sim 143.50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 平均  $63.25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 含量最低的是 Marc, 最高的是白肉 8 号, 极值相差 10.5 倍。6 份红肉资源中, 除了洛阳青三萜酸总量高于平均值, 其余 5 份均低于平均值; 4 份白肉资源中, 除了新白 2 号三萜酸总量低于平均值, 其余 3 份均高于平均值。

不同种质资源间的三萜酸组分比例差异很大。其中, 熊果酸占三萜酸总量的 3.7%~54.3%, 平均 37.7%; 科罗索酸占 26.2%~86.5% (新白 2 号), 平均 47.6%; 齐墩果酸占 2.3%~49.5%, 平均 14.7%。10 份种质中, 白肉 8 号、龙泉 1 号是熊果酸的含量最高, 白梨是齐墩果酸的含量最高, 其余 7 份种质均是科罗索酸的含量最高。

### 2.5 枇杷不同组织间的三萜酸组分含量比较

叶片中的平均熊果酸含量  $4.10 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 是果皮的 1.8 倍、果肉的 583.2 倍、种子的 170.6 倍; 科罗索酸含量  $3.47 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 是果皮的 2.2 倍、果肉的 64.1 倍、种子的 114.4 倍; 齐墩果酸含量  $1.10 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 是果皮的 1.9 倍、果肉的 299.7 倍、种子的 116.8 倍; 三萜酸总量  $8.63 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 是果皮的 2.0 倍、果肉的 132.8 倍、种子的 139.2 倍。可见, 叶片中的熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸和三萜酸总量均最高, 极显著高于果皮、果肉和种子 ( $p < 0.01$ ); 果皮中的熊果酸、科罗索酸、齐墩果酸和三萜酸总量仅次于叶片, 其三萜酸含量也极显著高于果肉和种子 ( $p < 0.01$ ); 果肉和种子中的

三萜酸含量远低于叶片和果皮, 两者间差异不显著。

### 2.6 枇杷不同组织中的三萜酸含量相关性分析

从表 5 可以看出, 叶片中的熊果酸、科罗索酸、三萜酸总量三者间均呈极显著正相关 ( $r=0.81, 0.95, 0.94$ ), 齐墩果酸与熊果酸、齐墩果酸、三萜酸总量间均呈显著正相关 ( $r=0.64, 0.60, 0.69$ ); 果皮中的熊果酸、科罗索酸、三萜酸总量三者间均呈极显著正相关 ( $r=0.82, 0.97, 0.92$ ), 齐墩果酸与三萜酸总量间呈显著正相关 ( $r=0.66$ ); 果肉中的熊果酸、科罗索酸、三萜酸总量三者间均呈极显著正相关 ( $r=0.97, 0.98, 1.00$ ); 种子中的熊果酸、科罗索酸与三萜酸总量间呈极显著正相关 ( $r=0.87, 0.78$ ), 熊果酸与科罗索酸含量间呈显著正相关 ( $r=0.65$ )。

## 3 讨 论

### 3.1 枇杷不同组织中的三萜酸组分含量多样性

枇杷不同资源花、果皮中的三萜酸组分含量多样性丰富, 花科罗索酸含量变异最大<sup>[22]</sup>, 果皮熊果酸和齐墩果酸最高含量分别是最底的 2.85 和 2.91 倍<sup>[23]</sup>。本研究在统一条件下, 10 份枇杷资源叶片、果皮、果肉和种子中的熊果酸、齐墩果酸、科罗索酸等三萜酸组分含量变异系数为 21.8%~213.4%, 如叶片科罗索酸最高含量是最底的 2.7 倍, 果皮齐墩果酸和熊果酸最高含量分别是最底的 5.2 和 4.3 倍, 果肉熊果酸最高含量是最底的 48.1 倍, 种子熊果酸最高含量是最底的 40.0 倍, 说明枇杷种质资源不同组织中的三萜酸组分含量均存在丰富的多样性。

表5 枇杷不同组织中的三萜酸含量相关性分析

Table 5 Correlation analysis of triterpene acids contents in different tissues of loquat

组织 Tissue	三萜酸 Triterpene	熊果酸 Ursolic acid	科罗素酸 Corosolic acid	齐墩果酸 Oleanolic acid
叶片 Leaf	科罗素酸 Corosolic acid	0.81**		
	齐墩果酸 Oleanolic acid	0.64*	0.60*	
	三萜酸总量 The total triterpene acid	0.95**	0.94**	0.69*
果皮 Peel	科罗素酸 Corosolic acid	0.82**		
	齐墩果酸 Oleanolic acid	0.59	0.48	
	三萜酸总量 The total triterpene acid	0.97**	0.92**	0.66*
果肉 Flesh	科罗素酸 Corosolic acid	0.97**		
	齐墩果酸 Oleanolic acid	-0.07	-0.08	
	三萜酸总量 The total triterpene acid	0.98**	1.00**	-0.04
种子 Seed	科罗素酸 Corosolic acid	0.65*		
	齐墩果酸 Oleanolic acid	0.07	-0.04	
	三萜酸总量 The total triterpene acid	0.87**	0.78**	0.43

注: \*表示相关显著( $p < 0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $p < 0.01$ )。

Note: \* means significant correlation( $p < 0.05$ ), \*\* means extremely significant correlation( $p < 0.01$ ).

### 3.2 枇杷不同组织中的三萜酸组分构成特征

与果实糖组分一样<sup>[28]</sup>, 枇杷资源不同组织中的三萜酸组分构成也存在差异。已有研究表明, 叶片中的主要三萜酸是熊果酸及其衍生物科罗素酸<sup>[17,19]</sup>, 解放钟成熟叶中的科罗素酸含量最高<sup>[18]</sup>, 野生枇杷成熟叶中的熊果酸含量较高<sup>[20]</sup>, 果皮、果肉、种子中的熊果酸含量均高于齐墩果酸<sup>[23]</sup>, 果肉中的三萜酸含量高低依次是熊果酸、科罗素酸和齐墩果酸<sup>[24]</sup>。本研究中, 10份资源叶片中的熊果酸含量占42.5%~51.6%、科罗素酸含量占34.3%~45.8%, 以熊果酸含量最高的9份、以科罗素酸含量最高的1份, 所有资源齐墩果酸含量均最低; 果皮中的熊果酸含量占43.2%~58.4%, 科罗素酸含量占30.6%~47.5%, 以熊果酸含量最高的9份、科罗素酸含量最高的1份, 所有资源齐墩果酸含量均最低; 所有资源果肉中的三萜酸均以科罗素酸含量最高, 占总量的75.9%~94.1%, 而熊果酸和齐墩果酸的含量少, 其中熊果酸含量高于齐墩果酸的4份、齐墩果酸含量高于熊果酸的6份, 这与前人<sup>[23-24]</sup>的研究结果不完全一致, 可能与试验品种及来源不同有关; 种子中的三萜酸组分差异大, 其中熊果酸含量占3.7%~54.3%、科罗素酸含量占26.2%~86.5%、齐墩果酸含量占2.3%~49.5%, 以熊果酸含量最高的2份、科罗素酸含量最高的7份、齐墩果酸含量最高的1份, 熊果酸含量最低的3份、齐墩果酸含量最低的7份。可见, 枇杷叶、果皮中的主要三萜酸是熊果酸和科罗素酸, 果肉中

的三萜酸以科罗素酸为主, 多数资源种子中的三萜酸是科罗素酸和熊果酸, 个别资源例外。相关分析表明, 叶片、果皮、果肉和种子中的熊果酸与科罗素酸含量间呈显著或极显著的正相关, 二者与总三萜酸含量间呈极显著正相关, 说明熊果酸与科罗素酸的关系密切, 二者对枇杷各组织中的总三萜酸含量贡献大。

### 3.3 枇杷不同组织中的三萜酸综合评价与优异资源挖掘

枇杷叶是一味常用中药, 在中医临床上广泛使用, 熊果酸和总三萜酸化合物均是枇杷叶抗炎、止咳的主要生物活性成分<sup>[14-15]</sup>。已有研究表明, 叶片中的熊果酸和齐墩果酸含量高于其他组织<sup>[23]</sup>。本研究中, 叶片中的熊果酸、齐墩果酸、科罗素酸和总三萜酸含量均高于其他组织, 各组分含量分别是果皮的1.8~2.2倍、果肉的64.1~582.2倍、种子的114.4~170.6倍, 说明叶片是枇杷熊果酸、科罗素酸、齐墩果酸等次生代谢产物的主要产生器官<sup>[29-30]</sup>, 也为传统中药材枇杷叶的综合利用提供了依据。

枇杷果肉柔软多汁、甜酸适口、营养丰富, 兼具食用和药用价值<sup>[1-2]</sup>。果实除鲜食外, 还是加工罐头、果膏、果酱、果汁、果冻、果酒、果醋、果脯的好原料, 果核用于提取生物活性成分<sup>[1-31]</sup>。但在枇杷加工过程中, 果皮和种子往往被废弃<sup>[1]</sup>。本研究表明, 枇杷果皮也是富含三萜酸物质的组织, 其平均三萜酸总量为4.42 mg·g<sup>-1</sup>, 高出了白肉8号叶片中的含量。

因此,枇杷带皮食用营养价值更高,在加工时若将果皮与果肉一起利用,不仅可节省去皮的工序,还可以提高产品的保健价值。种子中也含三萜酸物质,应加强种子三萜酸活性成分提取工艺研究<sup>[31]</sup>,实现枇杷种子的资源化开发利用。果肉中的三萜酸含量虽不及叶片和果皮,但它是唯一以科罗素酸为主导的组织,科罗素酸是一种天然降血糖功能因子<sup>[32]</sup>,被称作“植物胰岛素”<sup>[33]</sup>,具有很高的药用价值。因此,枇杷也是一种非常适合糖尿病患者食用的保健果品。本研究进一步证实了枇杷果实的药用价值。

笔者通过三萜酸组分含量的综合评价,筛选出了叶片富含科罗素酸及总三萜酸的安徽大红袍,叶片富含熊果酸、果皮富含科罗素酸的光面软枣枇杷,果皮富含熊果酸及总三萜酸的洛阳青,果肉富含总三萜酸的 Marc,以及种子富含齐墩果酸的白梨、富含总三萜酸的白肉 8 号等特异资源,为枇杷三萜酸代谢研究和活性成分提取利用等提供了宝贵的基因资源。

## 4 结 论

枇杷叶、果皮、果肉、种子中三萜酸含量存在丰富的多样性;叶片中的三萜酸含量高于果皮,二者含量远高于果肉和种子;叶片和果皮中均以熊果酸含量最高,果肉中以科罗素酸含量最高。研究结果可指导叶片高三萜酸种质的挖掘,也可用于果皮高熊果酸或果肉高科罗素酸优异资源的挖掘。

## 参考文献 References:

- [1] 邱武陵,章恢志. 中国果树志(龙眼·枇杷卷)[M]. 北京:中国林业出版社,1996.  
QIU Wuling, ZHANG Huizhi. China fruit records: Longan and Loquat Volume [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996.
- [2] 郑少泉,许秀淡,蒋际谋,陈元洪,陈景耀,何志刚. 枇杷品种与优质高效栽培技术原色图说[M]. 北京:中国农业出版社,2005.  
ZHENG Shaoquan, XU Xiudan, JIANG Jimou, CHEN Yuanhong, CHEN Jingyao, HE Zhigang. Primary color map on loquat cultivars and high quality cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [3] 葛金芳,李俊,金涌,吕雄文,彭磊,胡成穆,余世春. 枇杷叶三萜酸的镇咳祛痰平喘作用[J]. 安徽医科大学学报,2006,41(4):413-416.  
GE Jinfang, LI Jun, JIN Yong, LÜ Xiongwen, PENG Lei, HU Chengmu, YU Shichun. The antitussive, expectorant and antiasthmatic activities of triterpene acids of loquat leaves in mice and guinea-pigs[J]. Acta Universitatis Medicinalis Anhui, 2006, 41(4):413-416.
- [4] 葛金芳,李俊,姚宏伟,胡成穆,彭磊,金涌,吕雄文,张磊,余世春. 枇杷叶三萜酸的抗炎作用[J]. 安徽医科大学学报,2007,42(2):174-179.  
GE Jinfang, LI Jun, YAO Hongwei, HU Chengmu, PENG Lei, JIN Yong, LÜ Xiongwen, ZHANG Lei, YU Shichun. The anti-inflammatory effects of triterpene acids of loquat leaf[J]. Acta Universitatis Medicinalis Anhui, 2007, 42(2):174-179.
- [5] 葛金芳,李俊,胡成穆,金涌,吕雄文,彭磊,张磊,余世春. 枇杷叶三萜酸的免疫调节作用研究[J]. 中国药理学通报,2006,22(10):1194-1198.  
GE Jinfang, LI Jun, HU Chengmu, JIN Yong, LÜ Xiongwen, PENG Lei, ZHANG Lei, YU Shichun. Immunoregulatory actions of triterpene acids of loquat leaf (TAL)[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2006, 22(10):1194-1198.
- [6] 葛金芳. 枇杷叶三萜酸的抗炎免疫作用及对慢性支气管炎的治疗作用与机制研究[D]. 合肥:安徽医科大学,2004.  
GE Jinfang. The anti-inflammatory and immunoregulatory effects of triterpene acids of loquat leaf and its mechanisms of therapeutic actions on chronic bronchitis[D]. Hefei: Universitatis Medicinalis Anhui, 2004.
- [7] ITO H, KOBAYASHI E, LI S H, HATANO T, SUGITA D, KUBO N, SHIMURA S, ITOH Y, TOKUDA H, NISHINO H, YOSHIDA T. Antitumor activity of compounds isolated from leaves of *Eriobotrya japonica*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(8):2400-2403.
- [8] 陈剑,吴月娟,吕寒,简敏昱,丁晓琴,李佳伟,刘艳,任冰如. 枇杷叶中三萜酸类成分抗糖尿病及其并发症的体外活性研究[J]. 植物资源与环境学报,2020,29(3):78-80.  
CHEN Jian, WU Yuexian, LÜ Han, JIAN Tunyu, DING Xiaojin, LI Jiawei, LIU Yan, REN Bingru. Study on *in vitro* activities of triterpene acids from leaf of *Eriobotrya japonica* against diabetes and its complications[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2020, 29(3):78-80.
- [9] 李鹰,唐晓云,赵启超,李英兰. 枇杷核提取物对机体免疫功能影响的探讨[J]. 中医药信息,1999,16(1):51-52.  
LI Ying, TANG Xiaoyun, ZHAO Qichao, LI Yinglan. Effects of loquat nut extract on immune function[J]. Chinese Medicine Information, 1999, 16(1):51-52.
- [10] 京谷庄二郎. 枇杷核提取物改善肝纤维化的作用(1):引起肝损害的物质对改善肝纤维化作用的影响[J]. 国外医学中医中药分册,2004,26(2):124.  
JIRO Jingtani. Effect of loquat nut extract on improving liver fibrosis (1): Effects of substances causing liver damage on amelioration of liver fibrosis[J]. Foreign Chinese Medicine and Trad-



- tional Chinese Medicine Sub-volume, 2004, 26(2): 124.
- [11] 小野正英. 枇杷核提取物改善肝纤维化的作用(2): 对 CCl<sub>4</sub> 损害模型大鼠的影响[J]. 国外医学中医中药分册, 2004, 26(2): 124.
- ONO Jungyoung. Effect of loquat nut extract on improving liver fibrosis (2): Effect of CCl<sub>4</sub> on rat model[J]. Foreign Chinese Medicine and Traditional Chinese Medicine Sub-volume, 2004, 26(2): 124.
- [12] YOKOTA J, TAKUMA D, HAMADA A, ONOGAWA M, YOSHIOKA S, KUSUNOSE M, MIYAMURA M, KYOTANI S, NISHIOKA Y. Scavenging of reactive oxygen species by *Eriobotrya japonica* seed extract[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2006, 29(3): 467-471.
- [13] SUN G C, ZHANG Y X, TAKUMA D, ONOGAWA M, YOKOTA J, HAMADA A, YOSHIOKA S, KUSUNOSE M, MIYAMURA M, KYOTANI S, NISHIOKA Y. Effect of orally administered *Eriobotrya japonica* seed extract on allergic contact dermatitis in rats[J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2007, 59(10): 1405-1412.
- [14] 王立为, 刘新民, 余世春, 肖培根, 杨峻山. 枇杷叶抗炎和止咳作用研究[J]. 中草药, 2004, 35(2): 174-176.
- WANG Liwei, LIU Xinmin, YU Shichun, XIAO Peigen, YANG Junshan. Anti-inflammatory and antitussive effects of *Eriobotrya japonica*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2004, 35(2): 174-176.
- [15] 鞠建华, 周亮, 林耕, 刘东, 王立为, 杨峻山. 枇杷叶中三萜酸类成分及其抗炎、镇咳活性研究[J]. 中国药学杂志, 2003, 38(10): 752-757.
- JU Jianhua, ZHOU Liang, LIN Geng, LIU Dong, WANG Liwei, YANG Junshan. Studies on constituents of triterpene acids from *Eriobotrya japonica* and their anti-inflammatory and antitussive effects[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2003, 38(10): 752-757.
- [16] 相延英, 杨光. 常用中药中齐墩果酸和熊果酸的含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2004, 24(5): 316-318.
- XIANG Yanying, YANG Guang. Determination of oleanolic acid and ursolic acid in traditional Chinese medicine[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2004, 24(5): 316-318.
- [17] 苏文炳, 原远, 白昉鹭, 刘月学, 龙婷, 林顺权. 枇杷萜类物质鉴定与三萜酸合成研究进展[J]. 园艺学报, 2019, 46(9): 1727-1738.
- SU Wenbing, YUAN Yuan, BAI Yunlu, LIU Yueyue, LONG Ting, LIN Shunquan. Advances in terpenoid identification and triterpene acid biosynthesis in loquat[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2019, 46(9): 1727-1738.
- [18] SU W B, JING Y, LIN S K, YUE Z, YANG X H, XU J B, WU J C, ZHANG Z K, XIA R, ZHU J J, AN N, CHEN H X, HONG Y P, YUNA Y, LONG T, ZHANG L, JIANG Y Y, LIU Z L, ZHANG H L, GAO Y S, LIU Y X, LIN H L, WANG H C, YANT L, LIN S Q, LIU Z H. Polyploidy underlies co-option and diversification of biosynthetic triterpene pathways in the apple tribe[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2021, 118(20): 2101767118.
- [19] LI E N, LUO J G, KONG L Y. Qualitative and quantitative determination of seven triterpene acids in *Eriobotrya japonica* Lindl. by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection and mass spectrometry[J]. Phytochemical Analysis, 2009, 20(4): 338-343.
- [20] HONG Y P, LIN B S, CAO H Y, GAO Y S, LIN S Q. Analysis of major triterpene acids and total polysaccharides in the leaves of 11 species of *Eriobotrya*[J]. BIO Web of Conferences, 2017, 8: 03012.
- [21] ZHOU C H, CHEN K S, SUN C D, CHEN Q J, ZHANG W S, LI X. Determination of oleanolic acid, ursolic acid and amygdalin in the flower of *Eriobotrya japonica* Lindl. by HPLC[J]. Biomedical Chromatography, 2007, 21(7): 755-761.
- [22] 姜帆, 高慧颖, 陈秀萍, 郑少泉. 枇杷花中三萜类物质的分析与评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(2): 233-240.
- JIANG Fan, GAO Huiying, CHEN Xiuping, ZHENG Shaoquan. Analysis and evaluation of triterpenoids in loquat flowers[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2016, 24(2): 233-240.
- [23] ZHOU C H, LI X, ZHANG W S, SUN C D, CHEN K S. Oleanolic and ursolic acid in the fruit of *Eriobotrya japonica* Lindl.[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5(9): 1735-1740.
- [24] 李继杨, 谢晓梅, 李倩文, 张齐, 陈胜林, 汪鹤群, 余文霞, 杨沫. 枇杷不同器官及不同物候 4 种三萜酸含量的动态变化[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(3): 875-880.
- LI Jiyang, XIE Xiaomei, LI Qianwen, ZHANG Qi, CHEN Shenglin, WANG Hequn, YU Wenxia, YANG Mo. Dynamic change of four triterpenic acids contents in different organs of loquat (*Eriobotrya japonica*) and phenology[J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2015, 40(3): 875-880.
- [25] SHAN Y X, DENG C V, HU W S, CHEN J W, CHEN X P, QIN Q P, ZHENG S Q. Long-term, high-intensity shading enhances triterpene production of loquat leaf through increasing foliar mineral nutrients[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 260: 108873.
- [26] 郑少泉, 陈秀萍, 许秀淡, 蒋际谋, 黄爱萍, 张守梅, 邓朝军. 枇杷种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- ZHENG Shaoquan, CHEN Xiuping, XU Xiudan, JIANG Jimou, HUANG Aiping, ZHANG Shoumei, DENG Chaojun. Descriptors and data standard for loquat (*Eriobotrya* spp.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [27] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2015 年版(四部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 60.
- Pharmacopoeia Commission of People's Republic of China. Chinese Pharmacopoeia 2015 Edition (Part 4)[M]. Beijing: Chi-

- na Medical Science and Technology Press, 2015: 60.
- [28] 蒋际谋, 陈秀萍, 胡文舜, 姜帆, 邓朝军, 郑少泉. 枇杷种质资源果实糖组分及含量特征[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1781-1788.
- JIANG Jimou, CHEN Xiuping, HU Wenshun, JIANG Fan, DENG Chaojun, ZHENG Shaoquan. Characteristics of components and contents of soluble sugars in mature fruits of loquat germplasm[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1781-1788.
- [29] 赵则海, 于景华, 杨逢建, 祖元刚, 曹建国. 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 Zehai, YU Jinghua, YANG Fengjian, ZU Yuangang, CAO Jianguo. 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.
- [30] 杨蓓芬, 金则新, 邵红, 李钧敏. 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.
- YANG Beifen, JIN Zexin, SHAO Hong, LI Junmin. Analysis of secondary metabolites contents in the different organs of *heptacodium miconioides*[J]. Bulletin of Botanical Research, 2007, 27(2): 229-232.
- [31] 乔方, 黄略略, 方长发, 喻福元. 基于枇杷果实的加工研究进展[J]. 农产品加工, 2012(10): 119-123.
- QIAO Fang, HUANG Luelue, FANG Changfa, YU Fuyuan. Research progress of processing based on loquat (*Eriobotrya japonica* L.) fruit[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012(10): 119-123.
- [32] 梁茂雨, 陈怡平, 纵伟. 降血糖功能因子科罗素酸研究进展[J]. 中国食物与营养, 2007(5): 17-18.
- LIANG Maoyu, CHEN Yiping, ZONG Wei. Research progress of corosolic acid with the function of dropping blood sugar[J]. Food and Nutrition in China, 2007(5): 17-18.
- [33] 吴哲, 李小玉, 田晓东, 张璐, 张琼姝, 王斌, 张吉科, 林美珍, 张小民. HPLC法测定桑叶和沙棘叶中科罗素酸的含量[J]. 山西农业科学, 2014, 42(11): 1169-1171.
- WU Zhe, LI Xiaoyu, TIAN Xiaodong, ZHANG Lu, ZHANG Qiongshu, WANG Bin, ZHANG Jike, LIN Meizhen, ZHANG Xiaomin. Determination of corosolic acid in mulberry leaves and sea buckthorn leaves by HPLC[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2014, 42(11): 1169-1171.