

石榴果实发育过程中的主要功能性成分变化规律

杨 圆^{1,2,3}, 刘春燕^{1,2}, 黎积誉^{1,2}, 贾波涛^{1,2}, 曹 榛^{1,2}, 秦改花^{1,2*}

(1. 园艺作物种质创制及生理生态安徽省重点实验室, 安徽省农业科学院园艺研究所, 合肥 230001; 2. 果树果实发育与品质生物学安徽省农业科学院重点实验室, 安徽省农业科学院, 合肥 230001; 3. 安徽科技学院资源与环境学院, 凤阳 233100)

摘 要: 为探究石榴果实发育过程中主要功能性成分的变化和累积规律, 以‘大笨子’石榴为材料, 研究了果实发育过程中果皮和果汁中主要功能性成分总酚、类黄酮、类胡萝卜素、花青素和单宁含量的变化规律。结果表明: 石榴果皮和果汁中总酚含量在 DAF65 时分别为 179.94 mg·g⁻¹ 和 12.99 mg·mL⁻¹, 随着果实发育总酚含量下降, 在 DAF140 时含量分别为 43.94 mg·g⁻¹ 和 1.22 mg·mL⁻¹; 果皮和果汁中类黄酮含量在 DAF65 时分别为 68.06 mg·g⁻¹ 和 2.52 mg·mL⁻¹, 随着果实发育类黄酮含量下降, 在 DAF140 时含量为 22.72 mg·g⁻¹ 和 1.47 mg·mL⁻¹; 果皮和果汁中类胡萝卜素含量在 DAF65 时分别为 68.06 mg·g⁻¹ 和 0.054 mg·mL⁻¹, 随着果实发育类胡萝卜素含量下降, 在 DAF140 时含量为 22.72 mg·g⁻¹ 和 0.012 mg·mL⁻¹; 果皮和果汁中单宁含量在 DAF65 时分别为 2.72 mg·g⁻¹ 和 0.94 mg·mL⁻¹, 随着果实发育类单宁含量下降, 在 DAF140 时含量为 0.94 mg·g⁻¹ 和 0.12 mg·mL⁻¹。果汁中花青素含量随着果实的发育成熟总体呈上升趋势, 在 DAF65 和 DAF140 变化范围为 92.89~281.39 nmol·mL⁻¹。除花青素外, 果皮中各功能性成分的含量均高于果汁。相关性分析显示, 果皮和果汁中总酚含量与类黄酮、单宁含量呈显著性正相关, 与类胡萝卜素含量呈正相关, 但未达到显著水平。由此可见, 石榴果实中主要功能性物质的含量与发育时期和组织部位具有一定的相关性。

关键词: 石榴; 果皮; 果汁; 果实发育; 功能性成分

中图分类号: S665.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)06-0911-05

Accumulation characteristics of main functional components of pomegranate during fruit development

YANG Yuan^{1,2,3}, LIU Chunyan^{1,2}, LI Jiyu^{1,2}, JIA Botao^{1,2}, CAO Zhen^{1,2}, QIN Gaihua^{1,2}

(1. Key Laboratory of Horticultural Crop Genetic Improvement and Eco-physiology of Anhui Province, Institute of Horticulture Research, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230001; 2. Key Laboratory of Fruit Quality and Developmental Biology, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230001; 3. College of Resource and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100)

Abstract: To explore the accumulation characteristics of functional components during pomegranate fruit development, the contents of total phenol, flavonoid, anthocyanin, carotenoid and tannin in pericarp and fruit juice of pomegranate cultivar ‘Dabenzi’ were studied. The results showed that: the contents of total phenols in pomegranate pericarp and juice were 179.94 mg·g⁻¹ and 12.99 mg·mL⁻¹ at DAF65, and the contents of total phenol decreased with fruit development, which were 43.94 mg·g⁻¹ and 1.22 mg·mL⁻¹ at DAF140, respectively; the contents of flavonoid in pomegranate pericarp and juice were 68.06 mg·g⁻¹ and 2.52 mg·mL⁻¹ at DAF65, and the contents of flavonoid decreased with fruit development, which were 22.72 mg·g⁻¹ and 1.47 mg·mL⁻¹, respectively; the contents of carotenoid in pomegranate pericarp and juice were 68.06 mg·g⁻¹ and 0.054 mg·mL⁻¹ at DAF65, and the contents of carotenoid decreased with fruit development, which were 22.72 mg·g⁻¹ and 0.012 mg·mL⁻¹ at DAF140; the contents of tannin in pomegranate pericarp and juice were 2.72 mg·g⁻¹ and 0.94 mg·mL⁻¹ at DAF65, and the contents of carotenoid decreased with fruit development, which were 0.94 mg·g⁻¹ and 0.12 mg·mL⁻¹ at DAF140, correspondingly. The contents of anthocyanins in fruit juice increased with the development of fruit, and which at DAF65 and DAF140 were in the range of 92.89 - 281.39 nmol·mL⁻¹. Except the anthocyanin, the contents of the functional components in pericarp were higher than those in juice during the fruit development. The contents of

收稿日期: 2021-04-01

基金项目: 安徽省科技重大专项 (201903b06020017) 资助。

作者简介: 杨 圆, 硕士研究生。E-mail: 1462756402@qq.com

* 通信作者: 秦改花, 副研究员。E-mail: qghahstu@163.com

total phenols in pericarp and juice had significantly positive correlation with flavonoids and tannins contents, and it also had a positive correlation with carotenoids content. In conclusion, the main functional components in pomegranate fruits were different in the fruit developmental stages and tissues.

Key words: *Punica granatum* L.; pericarp; juice; fruit development; functional component

石榴 (*Punica granatum* L.), 为千屈菜科 (Lythraceae) 石榴属 (*Punica* L.) 落叶灌木或小乔木, 又名安石榴、丹若和若榴等^[1], 其栽培在中国已有两千多年的历史, 目前已形成了河南开封、陕西临潼、山东枣庄、安徽怀远、四川会理、云南蒙自、河南郑州和新疆叶城等石榴主产区^[2], 是集生态、社会和经济效益于一身的经济果树, 具有广阔的发展前景。

随着人们健康意识的提高、消费方式的转变以及进出口贸易的发展, 植物来源的功能性成分受到广泛关注, 其中以酚类物质最为突出。酚类物质包含类黄酮、单宁和花青素等, 其含量是衡量果实品质的重要评价标准之一^[3]。类黄酮是一类次生代谢产物, 具有抗氧化、抗癌以及增强免疫系统等功能^[4], 目前对有关果实类黄酮含量的研究主要在苹果^[5]、草莓^[6]和杏果实^[7]上。单宁是影响果实口感品质的主要物质, 又因为其具有医用价值, 近几年成为研究热点, 主要研究方向是在提取工艺上^[8-10]。花青素和类胡萝卜素以及类黄酮共同作用调控果实的颜色, 影响其外在品质, 目前对其研究主要集中在总量的测定和合成调控上^[11-12]。石榴不但果汁中含有丰富的天然活性物质, 对人体有保健功能^[13], 在石榴果皮内也富含黄酮、单宁、生物碱、有机酸、多酚等抗氧化物质, 可延缓衰老、预防动脉硬化和心脏病, 并且石榴皮占石榴果实很大一部分比重, 是生物活性化合物的重要来源, 其经济效益日益受到人们关注^[14]。尽管石榴果实中的功能性物质正引发人们的关注, 但是有关石榴果实发育过程中功能性成分变化规律的研究还较少。

本试验以安徽怀远主栽品种‘大笨子’石榴为材料, 研究石榴果实发育过程中果汁和果皮的功能性物质总酚、胡萝卜素、类黄酮、单宁和花青素含量及累积规律, 为石榴果实中功能性成分的开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选取安徽怀远二十年生‘大笨子’石榴为材料。根据果实的发育时期, 分别于盛花期后 65 d (2015 年 7 月 24 日, DAF65)、盛花期后 80 d (8 月 8 日, DAF80)、盛花期后 95 d (8 月 23 日, DAF 95)、盛

花期后 110 d (9 月 07 日, DAF 110)、盛花期后 125 d (9 月 22 日, DAF 125) 和盛花期后 140 d (10 月 7 日, DAF140) 6 个不同的时期采集果实。为了确保样品的代表性, 每个时期分别选择树冠中部且生长健壮无病虫害的果实 9 个, 果实用冰袋带回实验室, 削取果皮切碎混合, 剥取籽粒, 榨取果汁, 于 -80 °C 保存备用。3 个果实为 1 个重复, 试验重复 3 次。

1.2 指标测定方法

总酚含量的测定采用 Folin-Ciocalteu 试剂法, 方法参照邱涛涛等^[15]并作适当修改, 以没食子酸为标准, 结果以没食子酸等价值 (gallic acid equivalents, GAE) 表示; 总类黄酮含量的测定方法参照 Jia 等^[16]的方法, 并稍有改动, 以芦丁为标准, 结果以芦丁等价值 (rutin equivalents, RE) 表示; 花青素含量测定方法参照 Qin 等^[17]的方法; 单宁测定方法参照文献 [18], 以单宁酸为标准, 结果以单宁酸等价值 (tannic acid equivalents, TAE) 表示; 类胡萝卜素测定采用丙酮法, 参照张宪政等^[19]的方法并稍作修改。

1.3 数据处理

对原始数据用 Excel 进行标准化处理后, 用 SPSS 软件检验差异显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实发育过程中总酚含量的变化

石榴果实的生长发育是一个极其复杂的代谢过程, 随着果实的成熟, 酚类物质含量也不断发生变化。如图 1 所示, 果皮和果汁中总酚含量均呈现不断下降的趋势且变化幅度较大。果皮和果汁中总酚含量最高值均在盛花期后 65 d, 其中果皮中总酚含量最大值为 179.94 mg·g⁻¹, 果汁中最大值为 12.99 mg·mL⁻¹; 两者总酚含量最小值均出现在盛花期后 140 d, 其中果皮中总酚含量最小值为 43.94 mg·g⁻¹, 果汁中最小值为 1.22 mg·mL⁻¹。果实生长发育各时期果皮中总酚含量均高于果汁, 随着果实发育, 果皮和果汁中总酚含量差异越来越大, 果汁中的总酚含量快速下降, 尤其在盛花期后 95 d 果汁中总酚含量下降最快; 果皮中总酚含量缓慢下降。其中盛花期后 65 d 果皮的总酚含量是果汁中的 13.85 倍, 盛花期后 140 d 果皮中总酚含量是果汁中的 36.01 倍。

2.2 果实发育过程中类黄酮含量的变化

从图 2 可以看出, 果皮和果汁中类黄酮含量的

变化趋势一致, 均是先下降后上升再下降, 但总体呈下降趋势。果皮中类黄酮含量从盛花期后 65 d 至盛花期后 95 d 期间逐渐下降, 随后增加至 $53.50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (DAF110) 后再逐渐下降到最小值为 $22.72 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (DAF140), 最大值在盛花期后 65 d, 为 $68.06 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。各时期果汁中类黄酮含量无显著性差异, 其中最大值为 $2.52 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ (DAF65), 最小值为 $1.47 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ (DAF140)。果实发育各时期果皮和果汁中类黄酮含量之间相差较大, 果皮中的类黄酮含量显著高于果汁中的类黄酮含量。

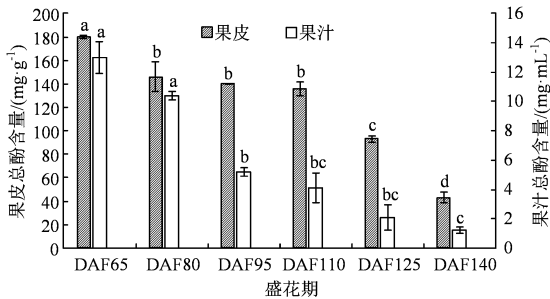


图 1 果实发育过程中石榴果皮和果汁中总酚含量的变化
Figure 1 Changes of total phenol content in pomegranate pericarp and juice during fruit development

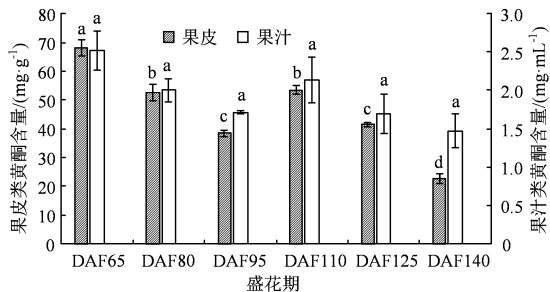


图 2 果实发育过程中石榴果皮和果汁中类黄酮含量变化
Figure 2 Changes of flavonoid content in pomegranate pericarp and juice during fruit development

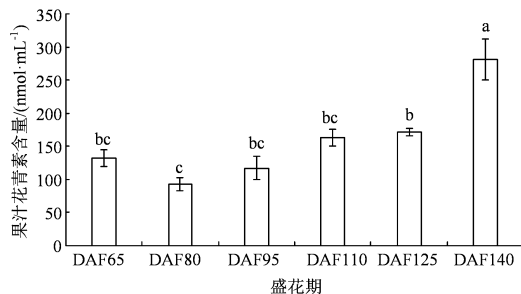


图 3 果实发育过程中石榴果汁中花青素含量的变化
Figure 3 Changes of anthocyanin content in pomegranate juice during fruit development

2.3 果实发育过程中花青素含量的变化

由图 3 可知, 随着果实的成熟, 果汁中花青素含量总体呈上升趋势。在盛花期后 65 d 到盛花期后 80 d 期间花青素含量下降至最小值为 $92.89 \text{ nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$, 随后逐渐上升至最大值 281.39

$\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$ (DAF140), 盛花后 140 d 花青素含量增加最大。果皮中花青素含量极低, 无法检测。

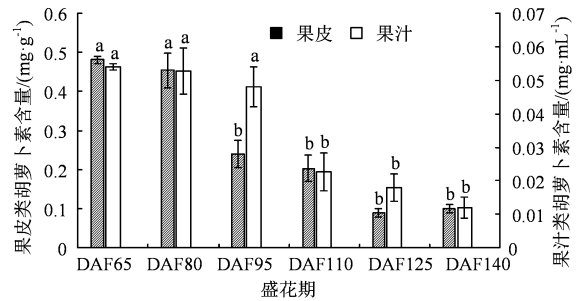


图 4 果实发育过程中石榴果皮和果汁中类胡萝卜素含量的变化

Figure 4 Changes of carotenoid content in pomegranate pericarp and juice during fruit development

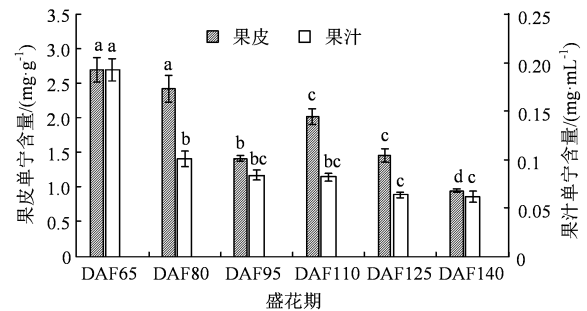


图 5 果实发育过程中石榴果皮和果汁中单宁含量的变化
Figure 5 Changes of tannin content in pomegranate pericarp and juice during fruit development

表 1 石榴果皮和果汁中总酚含量与其他物质含量的相关性分析

来源	类黄酮	单宁	类胡萝卜素	花青素
果皮	0.904*	0.874*	0.829	-
果汁	0.831*	0.891*	0.893*	-0.697

注: *表示在 0.05 水平差异显著。

2.4 果实发育过程中类胡萝卜素含量的变化

由图 4 可知, 在石榴果实发育过程中, 果皮和果汁中类胡萝卜素含量的变化趋势基本相同, 即总体呈下降趋势。在盛花期后 65 d 果皮和果汁中类胡萝卜素含量最大, 其中果皮中类胡萝卜素含量为 $0.48 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 果汁中类胡萝卜素含量为 $0.054 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。果皮和果汁中的类胡萝卜素含量最小值分别为 $0.09 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (DAF125) 和 $0.012 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ (DAF140)。随着果实的发育成熟, 果皮中类胡萝卜素含量变化较大, 且明显高于果汁中的类胡萝卜素含量。

2.5 果实发育过程中单宁含量的变化

随着果实发育, 果实和果汁中单宁含量整体呈下降趋势。但是果皮和果汁中单宁含量变化趋势略有差异, 果皮中单宁含量先下降后上升最后再下降, 果皮

中单宁含量在盛花期后 95 d 快速下降, 之后显著上升, 在盛花期后 140 d 又快速下降至最低值; 果汁中单宁在盛花期后 80 d 出现显著的下降, 之后随着果实的发育而逐渐降低, 石榴果皮中单宁含量在果实发育各个时期都大于果汁中的含量, 其中盛花期后 65 d 果皮中单宁含量是果汁的 14.26 倍, 盛花期后 140 d 果皮中单宁含量是果汁中单宁含量的 1.67 倍。

2.6 总酚含量与类黄酮、花青素、单宁以及类胡萝卜素含量之间的变化关系

由表 1 可见, 果皮中总酚含量与类黄酮、单宁和类胡萝卜素含量呈正相关, 并且与类黄酮和单宁含量呈显著正相关; 果汁中总酚含量与类黄酮、单宁和类胡萝卜素含量呈显著正相关, 但与花青素含量呈负相关, 但未达到显著水平。

3 讨论

3.1 石榴果实不同发育时期对总酚含量的影响

酚类物质在控制果实色泽的同时, 还被广泛用于医疗和保健行业, 前景十分广阔。本研究中, 果皮和果汁中的总酚含量在发育前期最高, 随着果实的发育, 总酚含量一直减少, 直至果实成熟。在桃、葡萄等果实中都发现酚类物质在幼果期含量最高, 随后含量持续降低的现象, 这可能和酚类物质的功能性有关。酚类物质不但可以抑制病原菌的发生, 还可以清除活性氧等从而使植物免受伤害, 这大概是易受侵害的幼果中含有较高酚类物质的原因^[20-21]。Fawole 等对石榴果实也做了相关的研究, 结果发现石榴果实中酚类物质含量随着果实的成熟呈显著下降趋势, 成熟果实的抗氧化能力明显降低^[22]; 张俊环等^[23]研究发现杏果实发育过程中果皮和果肉中总酚含量先减少后持续增加, 这和本试验结果不同, 说明不同物种果实酚类物质含量和积累规律不同, 与花青素的合成可能同时存在又相互制约。本研究中的相关性分析显示酚类物质与花青素的含量呈负相关, 张俊环等^[23]发现杏果实的呈色可能与 β -胡萝卜素含量的相关性要高于与花青素含量的相关性, 所以在成熟后期杏果实花青素合成速率减慢, 促进底物相同的酚类物质的积累。因此, 石榴果实发育过程中酚类物质含量的降低, 可能会促进花青素等物质的积累。

3.2 石榴果实发育过程中花青素、类黄酮和类胡萝卜素含量的变化关系

花青素、类黄酮和类胡萝卜素共同调控果实的色泽和品质。本研究中, 石榴果实在发育过程中类黄酮和类胡萝卜素含量总体呈下降趋势, 花青素含量则随着果实的成熟逐渐升高。在蓝莓^[24-25]和石榴^[26]

等果实中都发现花青素含量在幼果期含量较低、随后含量持续上升的现象, 这可能和果实的颜色呈相关性。鞠志国等^[27]指出在黄色果实中类黄酮和类胡萝卜素作为主要色素控制着果实的外观品质, 而对于红色果实来说, 类黄酮和类胡萝卜素则作为辅助色素, 起决定性作用的是花青素。这一结论在其他多数研究中均得到了证实, 如在超红桃和白沙桃的研究中, 发现白沙桃的类胡萝卜素含量下降速率慢, 花青素含量上升慢, 而超红桃在发育后期花青素含量迅速上升, 叶绿素和类胡萝卜素含量迅速下降, 这可能是超红桃相较于白沙桃色泽红润的主要原因^[28]; 番石榴的果皮颜色主要为黄绿色、绿黄色、黄色或橘红色, 在研究中发现, 番石榴在成熟后期花青素含量几乎为零, 虽然在后期有所上升, 但对于红色果实来说含量甚微, 而类黄酮和类胡萝卜素在后期有较高的含量^[29]。在猕猴桃花青素变化的相关研究中, 发现花青素含量在成熟后期有下降的趋势, 结果与本研究不同, 可能是由于持续高温导致花青素含量在后期降低, 也可能与果实呈色的差异性有关^[30-31]。因此, 花青素含量的逐渐上升, 增加了石榴果实的红色对比度, 提高了石榴果实的品质。

3.3 石榴果实不同发育时期对单宁含量的影响

单宁味涩, 对植物鲜产品及加工产品的品质均有很大的影响^[32]。本文对不同时期石榴果皮和果汁中单宁含量的分析表明, 随着石榴果实的发育, 果皮和果汁中单宁含量总体呈下降趋势。这与陈锦永等^[33]的研究结果相一致, 随着果实的成熟, 果实会进行涩味脱除。在果实的发育过程中, 单宁在细胞中的浓度逐渐下降, 在橄榄和柿果实中相继得到证明, 即随着橄榄果实的成熟和柿果实的软化, 单宁含量逐渐降低, 橄榄和柿果实的涩味也逐渐消失^[34-35]。因此, 单宁含量的降低可能是石榴果实涩味失去的主要原因, 使得口感更佳。

3.4 总酚、类黄酮和花青素等物质分布区域化差异

石榴果实中总酚、类黄酮、单宁和花青素含量具有明显的组织差异性, 本研究中总酚、类黄酮和单宁在果实发育的各个时期果皮中的含量都显著高于果汁, 花青素在果汁中含量更高。通过对哥伦比亚引进的 24 种水果的研究, 发现有些果实的非食用部位即果皮和种子比果肉中含有较高的总酚, 而有的果实种类是可食部分含有较高的总酚^[36]; 谭琳等^[37]对‘台农’、‘红贵妃’芒果果皮和果肉的原花青素含量及其抗氧化活性的研究表明, 果皮花青素含量显著高于果肉中的花青素; Mirdehghan 等^[38]发现石榴果皮中总酚的含量大概是果汁中的 8 倍; 刘永

玲等^[39]比较了八月瓜叶、果皮和果肉中酚类、V_C含量及其抗氧化能力, 结果表明叶片和果皮中没食子酸、儿茶素、抗坏血酸和总酚等含量明显高于果肉; Li 等^[40]研究表明石榴果皮提取物中含有更多的总酚、类黄酮和原花青素物质。由于皮中富含丰富的酚类物质导致其具有较高的抗氧化能力, 同时石榴皮的抗氧化能力也强于石榴籽^[41], 因此石榴果皮是石榴含有抗氧化物质较丰富的组织, 可以进行合理的开发利用。

参考文献:

- [1] 中国农业科学院郑州果树研究所, 中国农业科学院果树研究所, 中国农业科学院柑桔研究所. 中国果树栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [2] 吴帅, 张岩, 邹琴艳, 等. 石榴种质资源果实重要性状的统计分析[J]. 落叶果树, 2020, 52(5): 15-18.
- [3] 刘霞, 谭前龙, 邓英能, 等. 猕猴桃果实发育期酚类物质含量和保护酶活性的变化[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 61-66.
- [4] MENA P, GIRONÉS-VILAPLANA A, MORENO D A, et al. Pomegranate fruit for health promotion: myths and realities[J]. *Funct Plant Sci Biotechnol*, 2011, 5: 33-42.
- [5] VIEIRA F G K, BORGES G D S C, COPETTI C, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of the apple flesh and peel of eleven cultivars grown in Brazil[J]. *Sci Hortic*, 2011, 128(3): 261-266.
- [6] 张琼, 王红清, 冷平, 等. 草莓果实发育过程中花色苷和黄酮醇类物质的形成机制[J]. 园艺学报, 2008, 35(12): 1735-1741.
- [7] 夏乐晗, 陈玉玲, 冯义彬, 等. 不同品种杏果实发育过程中类黄酮、总酚和三萜酸含量及抗氧化性研究[J]. 果树学报, 2016, 33(4): 425-435.
- [8] 李玉巍, 孔祥舜. 柿皮中单宁的提取及其防紫外线特性的研究[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44(11): 92-93, 143.
- [9] 杜凯, 马养民, 郭林新. 杏仁皮单宁提取工艺优化及其DPPH自由基清除活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 174-178.
- [10] 舒杨雄, 陈亚, 谭念, 等. 石榴皮单宁的提取及抑菌效果研究[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(5): 63-64, 69.
- [11] 李巨秀, 张小宁, 李伟伟. 不同品种石榴花色苷、总多酚含量及抗氧化活性比较研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 143-146.
- [12] 林源秀. 草莓果实花青素苷转录调控机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- [13] 毕晓菲, 李勇. 石榴化学成分及其保健功能的研究进展[J]. 现代农业科技, 2010(22): 356-357, 360.
- [14] 李佳, 陈皓玉, 张文慧, 等. 石榴皮中酚类化合物药理作用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(12): 4-6.
- [15] 邱涛涛, 王华, 毛世红. 石榴叶总酚测定及提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 131-134.
- [16] JIA Z S, TANG M C, WU J M. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. *Food Chem*, 1999, 64(4): 555-559.
- [17] QIN G H, XU C Y, MING R, et al. The pomegranate (*Punica granatum* L.) genome and the genomics of punicalagin biosynthesis[J]. *Plant J*, 2017, 91(6): 1108-1128.
- [18] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. 苹果果实单宁 Folin-Denis 测定法[J]. 中国果树, 2006(5): 57-59.
- [19] 张宪政. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
- [20] 朱明涛, 余俊, 高瑞汝, 等. 桃果实不同成熟期总酚含量的变化及其抗氧化活性[J]. 北方园艺, 2017(5): 31-34.
- [21] TIAN L, WAN S B, PAN Q H, et al. A novel plastid localization of Chalcone synthase in developing grape berry[J]. *Plant Sci*, 2008, 175(3): 431-436.
- [22] FAWOLE O A, OPARA U L. Effects of maturity status on biochemical content, polyphenol composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit arils (cv. 'Bhagwa')[J]. *S Afr N J Bot*, 2013, 85: 23-31.
- [23] 张俊环, 杨丽, 孙浩元, 等. 不同品种杏果实发育进程中多酚与类黄酮物质含量的变化[J]. 北方园艺, 2012(24): 1-5.
- [24] 杨雅涵, 李建宾, 和加卫, 等. 不同蓝莓品种果实花青素苷研究[J]. 西南农业学报, 2020, 33(8): 1769-1777.
- [25] LIN Y, HUANG G H, ZHANG Q, et al. Ripening affects the physicochemical properties, phytochemicals and antioxidant capacities of two blueberry cultivars[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2020, 162: 111097.
- [26] SHWARTZ E, GLAZER I, BAR-YA'AKOV I, et al. Changes in chemical constituents during the maturation and ripening of two commercially important pomegranate accessions[J]. *Food Chem*, 2009, 115(3): 965-973.
- [27] 鞠志国, 原永兵, 刘成连, 等. 苹果果皮中酚类物质合成规律的研究[J]. 莱阳农学院学报, 1992, 9(3): 222-225.
- [28] 薛晓敏, 王金政, 张安宁, 等. 超红桃和日川白沙桃果实发育过程中色素及酚类物质含量变化研究[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 76-79.
- [29] 李平, 郑润泉, 温华良, 等. 套袋对新世纪番石榴果皮色素及酚类物质的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(2): 120-123.
- [30] 刘仁道, 黄仁华, 吴世权, 等. '红阳'猕猴桃果实花青素含量变化及环剥和 ABA 对其形成的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(6): 793-798.
- [31] 洪珊妮, 梁静仪, 赖兰兰, 等. "仲和红阳"猕猴桃果实成熟过程中花青素及糖含量的变化[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2016, 29(1): 22-25.
- [32] LEA A G H. Flavor, color, and stability in fruit products: the effect of polyphenols[M]//Plant Polyphenols. Boston, MA: Springer US, 1992: 827-847.
- [33] 陈锦永, 靳路真, 程大伟, 等. 水果涩味研究进展[J]. 果树学报, 2016, 33(12): 1556-1566.
- [34] 吴如健, 王继锋, 韦晓霞, 等. 橄榄果实发育过程中单宁变化规律研究[J]. 福建农业学报, 2015, 30(5): 489-491.
- [35] 陈佩, 李平, 郝艳宾, 等. 柿果成熟过程中可溶性果胶和单宁含量的变化[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 88-92.
- [36] CONTRERAS-CALDERÓN J, CALDERÓN-JAIMES L, GUERRA-HERNÁNDEZ E, et al. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia[J]. *Food Res Int*, 2011, 44(7): 2047-2053.
- [37] 谭琳, 周兆禧, 郭素霞, 等. '台农'、'红芒'芒果果皮和果肉原花青素含量差异及其生物学活性评价[J]. 分子植物育种, 2018, 16(14): 4802-4808.
- [38] MIRDEHGHAN S H, RAHEMI M. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit[J]. *Sci Hortic*, 2007, 111(2): 120-127.
- [39] 刘永玲, 谢国芳, 王威, 等. 八月瓜叶、果皮和果肉中酚类、VC 含量及其抗氧化能力分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(15): 66-72.
- [40] LI Y F, GUO C J, YANG J J, et al. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract[J]. *Food Chem*, 2006, 96(2): 254-260.
- [41] SINGH R P, CHIDAMBARA MURTHY K N, JAYAPRAKASHA G K. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models[J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(1): 81-86.