

琯溪蜜柚果皮中黄酮的超声辅助乙醇提取工艺

晏幸¹, 钟业渊¹, 胡阳^{1,2,3}, 魏好程^{1,2,3}, 杜希萍^{1,2,3},
倪辉^{1,2,3}, 陈艳红^{1,2,3}

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省食品微生物与酶工程重点实验室, 福建 厦门 361021; 3. 厦门市食品生物工程技术研究中心, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了探究柚皮黄酮的提取工艺, 采用超声波辅助乙醇提取法对琯溪蜜柚果皮中的黄酮及柚皮苷进行提取, 优化了液料比、提取时间、乙醇体积分数及提取次数。优化得到的柚皮黄酮提取工艺为: 液料比(mL:g)为45:1, 超声提取时间为50 min, 乙醇体积分数为70%, 提取次数为4次。在此条件下, 琯溪蜜柚果皮黄酮提取量为70.69 mg/g, 其中柚皮苷的质量分数为64.27%。

[关键词] 黄酮; 柚皮苷; 琯溪蜜柚; 超声辅助; 乙醇提取

[中图分类号] TS 255.1

Ultrasound-assisted Ethanol Extraction of Flavonoids from Peel of Guanxi Honey Pomelo(*Citrus grandis*)

YAN Xing¹, ZHONG Yeyuan¹, HU Yang^{1,2,3}, WEI Haocheng^{1,2,3}, DU Xiping^{1,2,3}, NI Hui^{1,2,3}, CHEN Yanhong^{1,2,3}

(1. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Key Laboratory of Food Microbiology and Enzyme Engineering of Fujian Province, Xiamen 361021, China;

3. Research Center of Food Biotechnology of Xiamen City, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to explore the process for flavonoids extraction from Guanxi honey pomelo, ultrasound-assisted ethanol extraction was used to extract flavonoids and naringin from Guanxi honey pomelo peel. The extraction liquid to material ratio, extraction time, ethanol concentration and extraction time were optimized. The optimal extraction process was: liquid to material ratio(mL:g) 45:1, ultrasonic extraction time 50 min, ethanol concentration 70%, and extraction for four times. Under this condition, the extraction yield of flavonoids was 70.69 mg/g, wherein the content of naringin was 64.27%.

Keywords: flavonoids; naringin; Guanxi honey pomelo; ultrasound-assisted; ethanol extraction

0 引言

琯溪蜜柚(*Citrus grandis*)原产于福建省平和县,是我国著名的柚类水果。统计数据^[1]显示,截至2016年底,仅福建省平和县琯溪蜜柚种植面积就达43 333 hm²,年产量120万t,产值超过50亿元。琯溪蜜柚的种植已经成为一种重要的农业产业及农业经济组成,是农民脱贫致富的重要途径^[2]。

[收稿日期] 2019-06-30

[基金项目] 国家自然科学基金项目(U1805235);漳州市科技重大专项项目(zz2018ZD14);福建省自然科学基金项目(2017J01634);福建省教育厅项目(JT180288, JAT170306)

[作者简介] 晏幸(1993—),女,硕士生,从事食品生物化学方向研究。通信作者:倪辉(1973—),男,教授,博士,从事食品生物化学和食品化学研究。E-mail:nihui@jmu.edu.cn

柚皮占整个柚子的43%~48%,是柚子最主要的加工副产物。长期以来,人们主要关注柚子果实的加工利用,却忽略了柚皮的利用^[3],导致大量柚皮丢弃,不仅浪费资源,而且会引起严重的环境污染。随着琯溪蜜柚加工产业不断发展,对其柚皮开展综合利用研究显得十分紧迫。

研究^[4]表明,柚皮中富含对人体有益的活性成分,如黄酮类化合物、类柠檬苦素、类胡萝卜素、多酚等。黄酮类化合物占柚皮干重的2%~8%^[5],是柚皮的主要成分之一,其中柚皮苷是最主要的黄酮类化合物,约占其黄酮类物质的80%^[6]。柚皮苷等黄酮类化合物具有抗氧化、降血压、抗动脉粥样硬化、抗心肌缺血、抗心律失常、抗肿瘤、预防糖尿病等作用^[7-11]。在食品工业上,柚皮苷可作为品质改良剂、着色剂应用于食品和风味饮品的生产^[12];在医药工业上,柚皮苷可用于生产防治心脑血管疾病、镇痛、清热及消炎等药物。因此,提取柚皮苷等黄酮类物质是柚皮综合利用的重要途径。

目前,黄酮类化合物提取方法主要有水提法、有机溶剂提取法、微波辅助提取法、超声辅助提取法、酶辅助提取法等^[13],其中,超声辅助提取法与传统提取方法相比,具有速度快、提取率高、温度低、节约溶剂等特点,不受成分极性、分子质量大小的限制,适用于绝大多数有效成分的提取,是一种高效、快速、节能的柚皮黄酮提取技术^[14-15]。

本研究以福建省平和县琯溪蜜柚果皮为原料,采用超声波辅助法开展黄酮提取研究,考察各因素对总黄酮和柚皮苷提取量的影响,并测定提取得到的黄酮中柚皮苷的含量,为琯溪蜜柚果皮中黄酮类物质的提取及利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂 琯溪蜜柚购于福建省平和县。芦丁(质量分数 $\geq 95.0\%$)购自国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇(分析纯)购自上海沃凯生物技术有限公司;亚硝酸钠、九水合硝酸铝、氢氧化钠等均为分析纯,购自西陇科学股份有限公司;甲醇、乙腈均为色谱级,购自美国Sigma公司。

1.1.2 仪器与设备 高速粉碎机(JP-500C型)购于永康市久品工贸有限公司;旋转蒸发仪(RE-52AA型)购于上海亚荣生化仪器厂;酶标仪(Epoch 2T型)购买于美国伯腾仪器有限公司;超声波清洗器(KQ5200DE型)购于昆山市超声仪器有限公司;岛津液相色谱仪(LC-20AT型)购于日本岛津。

1.2 实验方法

1.2.1 黄酮提取及分析测定 将琯溪蜜柚清洗除杂后,剥取其果皮,挑选清洗,剪成 1 cm^2 的小块,晒干至柚皮质量不变为止,用高速粉碎机将其粉碎过100目筛。提取分析过程为:柚皮粉 $\rightarrow$ 超声辅助提取 $\rightarrow$ 真空抽滤 $\rightarrow$ 滤液定容 $\rightarrow$ 分析测定。

1.2.2 液料比对柚皮黄酮和柚皮苷提取的影响 称取1 g柚皮粉,以体积分数70%乙醇为提取溶剂,分别设定液料比(mL:g)为5:1、25:1、45:1、65:1、85:1,在25℃、超声频率100 W的条件下超声提取50 min,趁热进行抽滤,收集提取液用超纯水定容至100 mL,测定总黄酮及柚皮苷含量。

1.2.3 提取时间对柚皮黄酮和柚皮苷提取的影响 称取1 g柚皮粉,以体积分数70%乙醇为提取溶剂,液料比(mL:g)为45:1,提取温度为25℃,超声频率为100 W,分别提取10, 30, 50, 70, 90 min,样品超声后趁热进行抽滤,收集提取液用超纯水定容至100 mL,测定总黄酮含量及柚皮苷含量。

1.2.4 乙醇体积分数对柚皮黄酮和柚皮苷提取的影响 称取1 g柚皮粉,在液料比(mL:g)为45:1,提取时间为50 min,提取温度为25℃,超声频率为100 W条件下,分别采用10%, 30%, 50%, 70%, 90%的乙醇进行提取,样品超声后趁热进行抽滤,收集提取液用超纯水定容至100 mL,测定总黄酮含量及柚皮苷含量。

1.2.5 提取次数对柚皮黄酮提取的影响 称取1 g柚皮粉,在液料比(mL:g)为45:1、提取时间为50 min、提取温度为25℃、超声频率为100 W、乙醇体积分数为70%的条件下提取柚皮黄酮,将提取

液在温度为 20 ℃、时间为 5 min、转速为 5500 r/min 的条件下离心取上清液。取第一次提取后的沉淀/残渣按照第一次提取相同的工艺进行第二次提取，得到提取上清液。之后，残渣不断进行重复提取，直至上清液吸光度值与体积分数 70% 乙醇空白溶液的一样，即代表柚皮中所有黄酮被完全提取出来。按下式计算多次提取得到的黄酮总量： $\text{黄酮总量}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5$ 。其中： m_1 为第 1 次提取出的黄酮量； m_2 为第 2 次提取出的黄酮量； m_3 为第 3 次提取出的黄酮量； m_4 为第 4 次提取出的黄酮量； m_5 为第 5 次提取出的黄酮量，单位均为 mg/g 。

1.2.6 总黄酮及柚皮苷含量测定方法的建立

1.2.6.1 总黄酮含量测定方法 取 5 mL 提取液于 25 mL 比色管中，向其中加入 2 mL 体积分数 30% 乙醇溶液，充分摇匀，加入 1 mL 质量分数 5% 的 NaNO_2 溶液，混匀后静置 5 min。再加入 1 mL 质量分数 10% 的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，摇匀后放置 5 min，然后加入 10 mL 质量分数 4% NaOH 摇匀，加入体积分数 30% 乙醇定容到 25 mL，充分摇匀并静置 15 min，测定 510 nm 的吸光度值，根据芦丁标准曲线按照式(1)^[16] 计算提取液中黄酮的提取量。其中，测定得到的芦丁标准回归曲线方程 $Y = 1.5565X + 0.0129$ 。

$$\text{黄酮提取量 } X/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (C \times V_1 \times V_2)/(m \times V_0),$$

(1)

式中： C 为由回归方程算得的样液浓度 (g/L)； V_1 为测定时的定容体积 (mL)； V_2 为提取液定容体积 (mL)； m 为称取样品质质量 (g)； V_0 为用于测定的提取液体积 (mL)。

1.2.6.2 柚皮苷含量测定方法 取 10 mL 定容后的提取液，旋蒸至干，加入 10 mL 甲醇并超声波辅助溶解，过 0.20 μm 滤膜进行液相色谱分析。色谱柱为 AlltimaTM C_{18} Column (150 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm)，流动相为 V (超纯水)： V (甲醇)： V (乙腈) = 62:12:26；检测波长为 283 nm；流速为 0.6 mL/min ；柱温为 25 ℃，进样量为 10 μL ，洗脱时间为 25 min。根据柚皮苷标准曲线方程 $Y = 27562.9X - 68552$ ，按下式计算柚皮苷含量：

$$\text{柚皮苷含量 } X/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = cV/(1000m),$$

(3)

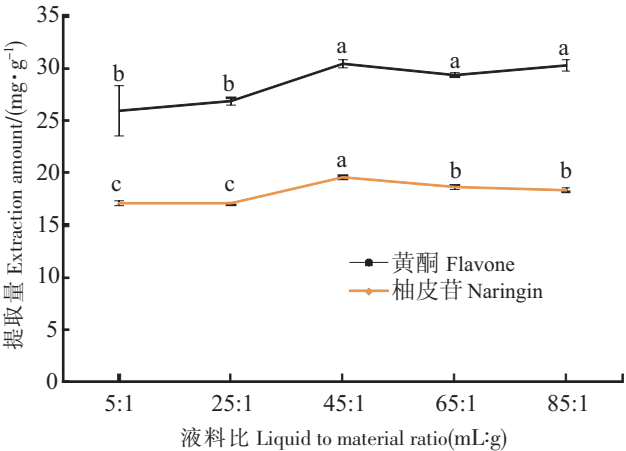
式中： X 为试样中被测组分含量 (mg/g)； c 为从标准曲线上得到被测组分溶液的浓度 (mg/L)； V 为样品溶液定容体积 (mL)； m 为样品溶液所代表试样的质量 (g)。

1.2.7 数据处理方法 应用 Office Excel 2013 进行统计学分析，利用 SPSS 19.0 软件中的单因素中的 Duncan 检验进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 液料比对柚皮中黄酮和柚皮苷提取的影响

由图 1 可知，总黄酮和柚皮苷的提取量随着液料比升高而增大，并在液料比 (mL:g) 为 45:1 时达到最大值，总黄酮和柚皮苷的最大提取量分别为 30.44 和 19.56 mg/g 。但随着液料比进一步升高，总黄酮提取量趋于稳定。相关文献 [17] 表明，增大溶剂量会导致黄酮类化合物分子传质到溶液中的总量增加，当提取物达到平衡后，继续增大溶剂量会增加杂质的浸出。因此，柚皮黄酮提取选择液料比 (mL:g) 为 45:1 比较合适。此外，当液料比 (mL:g) 大于 45:1 时，对黄酮提取量无显著性影响 ($P \leq 0.05$)，柚皮苷提取量随提取液料比增加而缓慢降低 ($P \leq 0.05$)。倪明



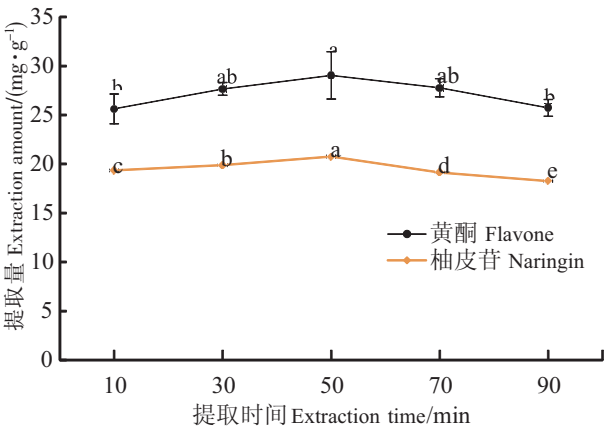
说明：图中同一系列不同英文字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$)。
Notes: Different letters of the same series indicated significant differences ($P \leq 0.05$).

图 1 液料比对琯溪蜜柚果皮总黄酮和柚皮苷提取量的影响
Fig.1 Effect of liquid to material ratio on extraction rate of total flavone and naringin from Guanxi honey pummelo peel

等^[18]采用超声波微波组合提取柚皮总黄酮,其优化的液料比(mL:g)为80:1,乙醇体积分数为90%,超声波功率为300 W,微波功率为900 W,提取时间为2 min。刘英等^[19]采用超声辅助提取柚皮中柚皮苷,优化的液料比(mL:g)为30:1,提取时间为1 h,乙醇体积分数为50%,提取温度为50 ℃,提取功率为25 W。对比相关文献,本实验的液料比小于文献[18]的研究结果,但大于文献[19]的结果。

2.2 提取时间对柚皮黄酮和柚皮苷提取的影响

由图2可知,随着提取时间的增加,总黄酮和柚皮苷提取量增大,在提取时间为50 min时达到最大,总黄酮和柚皮苷的最大提取量分别为29.05和20.76 mg/g。但随着时间进一步延长,总黄酮和柚皮苷提取量呈现下降的趋势。当提取时间为50 min的时候,黄酮提取量最大,继续增加提取时间,黄酮提取量显著降低($P \leq 0.05$)。柚皮苷提取量随提取时间的变化规律与黄酮提取量变化规律相同。陈文娟等^[20]采用热浸提法提取漳州血柚皮中的总黄酮,最优提取时间为2.5 h。郭俊俊等^[21]使用乙醇浸提法提取柚皮中的黄酮类化合物,最优提取时间为2 h。谢勇武等^[22]采用植物纤维素酶提取柚皮中总黄酮,最优提取时间为90 min。公衍玲等^[23]采用乙醇回流法提取柚皮中总黄酮,得到的最优提取时间为95 min。很显然,本研究的提取时间远远低于以上相关研究报道的柚皮黄酮提取时间,其原因可能是本实验采用了超声辅助提取,缩短了黄酮提取时间。



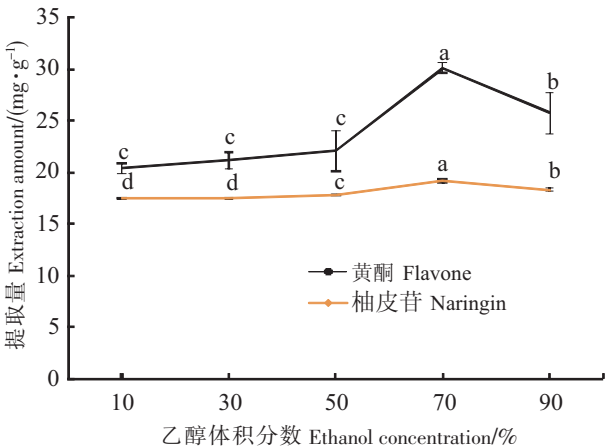
说明:图中同一系列不同英文字母表示差异显著($P \leq 0.05$)。
Notes: Different letters of the same series indicated significant differences ($P \leq 0.05$).

图2 提取时间对琯溪蜜柚果皮总黄酮和柚皮苷提取量的影响

Fig.2 Effect of extraction time on extraction rate of total flavone and naringin from Guanxi honey pummelo peel

2.3 乙醇体积分数对柚皮中黄酮和柚皮苷提取的影响

由图3可知,随着乙醇体积分数的增高,总黄酮和柚皮苷提取量先增大而后变小,在乙醇体积分数为70%时,总黄酮和柚皮苷提取量达到最大,分别为30.12和19.15 mg/g。在乙醇体积分数为70%~90%的范围内,柚皮总黄酮提取量随着乙醇体积分数增大而逐渐减小,这可能是由于乙醇体积分数不断增加,柚皮黄酮类化合物的溶解度变小所致。当乙醇体积分数为70%时,黄酮和柚皮苷的提取量显著高于其他乙醇体积分数的提取量($P \leq 0.05$)。



说明:图中同一系列不同英文字母表示差异显著($P \leq 0.05$)。
Notes: Different letters of the same series indicated significant differences ($P \leq 0.05$).

图3 乙醇体积分数对琯溪蜜柚果皮总黄酮和柚皮苷提取量的影响

Fig.3 Effect of ethanol concentration on extraction rate of total flavonoids and naringin from Guanxi honey pummelo peel

魏强华等^[24]在乙醇体积分数为70%、液料比(mL:g)为20:1、提取时间为60 min、提取温度为40 ℃的条件下从柚皮中提取柚皮苷,平均提取量为33.80 mg/g。于桂香等^[25]在乙醇体积分数为82%、超声时间为45 min、提取温度为61.5 ℃的条件下提取柚皮黄酮,

提取率为 6.667 mg/g。马亚琴等^[26]在甲醇体积分数为 80%、温度为 40 ℃、超声功率为 8 W、超声时间为 30 min、液料比 (mL: g) 为 20: 1 的条件下提取柚皮中的柚皮苷，提取率约为 5%。相比之下，本实验的乙醇体积分数低于大部分研究优化的结果。

2.4 提取次数对总黄酮的影响

在液料比为 45: 1、提取时间为 50 min、乙醇体积分数为 70% 的条件下对柚皮中的黄酮进行多次重复提取，结果如表 1 所示。可见，第 1 次黄酮提取量为 32.37 mg/g，之后，每次提取量随提取次数增加而逐渐下降，至第 5 次提取时，提取液中已经检测不出黄酮类物质。计算前 4 次琯溪蜜柚果皮中黄酮提取量为 70.69 mg/g，约占柚皮 7.07%。王晓君等^[27]采用微波辅助复合酶法提取脐橙皮中的总黄酮，每 100 g

得到的黄酮提取量为 3.96 g (约 3.96%)；公衍玲等^[23]在乙醇体积分数为 76%、液料比为 20: 1、回流提取为 2 次、回流时间为 95 min、回流温度为 90 ℃ 的条件下提取柚皮黄酮，得率为 1.036%。相比之下，本实验从琯溪蜜柚果皮中提取得到的黄酮得率远高于其他柚类黄酮的提取得率。

2.5 琯溪蜜柚黄酮提取物中柚皮苷含量的分析

采用 HPLC 测定琯溪蜜柚提取物中柚皮苷含量，色谱图如图 4 所示，通过分析得到柚皮苷占黄酮质量分数为 64.27%。盛雪飞等^[28]水浴提取胡柚得到黄酮含量为 385.61 mg/g，柚皮苷含量为 220.87 mg/g，所得柚皮苷占黄酮的 57.27%。赵红英等^[29]采用超声法提取不同栽培品种化州柚的黄酮含量为 19.42%，柚皮苷质量分数为 11.72%，提取的柚皮苷含量占黄酮含量的 60.35%。相比之下，本实验从琯溪蜜柚皮中提取的柚皮苷含量占黄酮的比例高于其他研究的结果。

表 1 提取次数对琯溪蜜柚果皮中黄酮的影响

Tab.1 Effect of repeat times on extraction rate of total flavone from Guanxi honey pummelo peel

提取次数 Extraction times	黄酮提取量/(mg · g ⁻¹) Extraction amount of flavone	黄酮提取率/% Extraction rate of flavone
1	32.37 ± 0.19	45.79 ± 0.005
2	14.59 ± 0.37	20.65 ± 0.004
3	12.02 ± 0.49	17.01 ± 0.002
4	11.70 ± 0.19	16.56 ± 0.001
5	0	0
柚皮中总黄酮提取量 Total flavone extracted from pomelo peel	70.69 ± 0.98	—

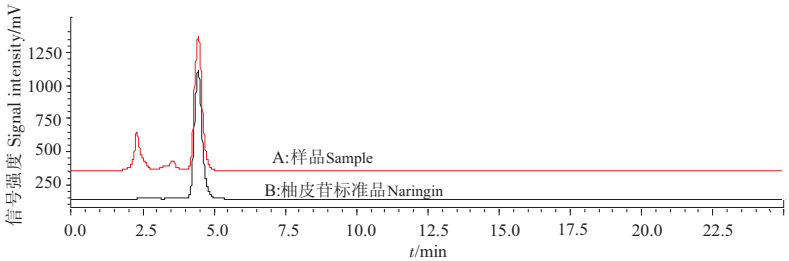


图 4 琯溪蜜柚黄酮提取物和柚皮苷标准品液相色谱图
Fig.4 Chromatograms of naringin and flavonoids extracted from Guanxi honey pummelo peel

3 结论

本实验运用超声辅助提取法提取柚皮总黄酮及柚皮苷，优化的提取工艺条件为：液料比 (mL: g) 为 45: 1，超声时间为 50 min，乙醇体积分数为 70%，重复提取 4 次，黄酮提取量为 70.69 mg/g，提取得到的黄酮中柚皮苷质量分数达到 64.27%。

[参 考 文 献]

[1] 赵双双. 琯溪蜜柚兴农 助力经济腾飞 [J]. 中华商标, 2018(1): 86-87.
[2] 陈小明, 朱有添, 林祥兴. 平和县蜜柚产业发展的主要问题与对策 [J]. 东南园艺, 2018, 6(4): 36-38.
[3] 吴琼英, 贾俊强. 柚皮黄酮的超声辅助提取及其抗氧化性研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(2): 29-33.
[4] 邓婷婷, 刘素纯, 贺建华. 柚皮提取物有效成分的研究概况 [J]. 中国食物与营养, 2008(6): 16-19.

- [5] 王思远, 陈智毅, 张岩. 柚皮中黄酮类活性物质的研究进展 [J]. 农产品加工, 2017(17): 67-69.
- [6] 许鹭. 柚皮中柚皮苷的提取、分离纯化及其固体分散体与卵磷脂复合物的制备及表征 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [7] JIANG X, CHEN Y, SHI L G. Optimization of flavonoids extraction from *Bombyx batryticatus* using response surface methodology and evaluation of their antioxidant and anticancer activities *in vitro* [J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(6): 1707-1715.
- [8] 孙晓青, 陈志武. 映山红花总黄酮对大鼠心肌细胞收缩性的影响及其机制 [J]. 安徽医科大学学报, 2019, 54(2): 267-271.
- [9] GANAI, AHMAD S. Plant-derived flavone apigenin: the small-molecule with promising activity against therapeutically resistant prostate cancer [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 85: 47-56.
- [10] SHIN E K, KWON H S, KIM Y H, et al. Chrysin, a natural flavone, improves murine inflammatory bowel diseases [J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2009, 381(4): 502-507.
- [11] KHAN M K, ZILL-E-HUMA, DANGLES O. A comprehensive review on flavanones, the major citrus polyphenols [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(1): 85-104.
- [12] 孙慧慧, 余元善, 吴继军, 等. 沙田柚的加工和综合利用研究 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39(6): 209-214.
- [13] 李俊儒. 柚子皮黄酮类化合物及其应用研究进展 [J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(20): 40-41.
- [14] 廖维良, 赵美顺, 杨红. 超声波辅助提取技术研究进展 [J]. 广东药科大学学报, 2012, 28(3): 347-350.
- [15] 谭品鑫, 刘彦琳, 赵容慧. 超声辅助提取柚皮黄酮及其抗氧化性的研究 [J]. 山东化工, 2018, 47(5): 8-9, 12.
- [16] 张婉君, 冯彬, 谢笔钧, 等. 白肉番石榴总黄酮提取工艺优化及体外抗氧化活性分析 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 196-201.
- [17] 张立攀, 周莉, 关炳峰. 超声辅助法提取柿子叶中总黄酮工艺的研究 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39(21): 87-91.
- [18] 倪明, 刘春辉, 孟菊锋, 等. 柚皮总黄酮超声波、微波组合提取工艺研究 [J]. 黑龙江科技信息, 2014(18): 124.
- [19] 刘英, 但俊峰, 吴丹, 等. 柚皮中柚皮苷的超声波辅助提取条件研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2008, 36(4): 218-222.
- [20] 陈文娟, 陈建福. 漳州血柚皮总黄酮的提取工艺研究 [J]. 北京联合大学学报 (自然科学版), 2012, 26(4): 40-45.
- [21] 郭俊俊. 柚皮中黄酮类物质提取工艺的研究 [J]. 农产品加工 (学刊), 2014(24): 30-32.
- [22] 谢勇武, 谭属琼, 张鹭文. 酶法辅助优化平和蜜柚皮总黄酮的提取工艺研究 [J]. 福建轻纺, 2018, 354(11): 38-42.
- [23] 公衍玲, 刘菲. 柚皮总黄酮提取工艺的响应面法优化及其抗氧化活性研究 [J]. 青岛科技大学学报 (自然科学版), 2016, 37(2): 137-142.
- [24] 魏强华, 洪晓婷, 林玉香, 等. 沙田柚皮中柚皮苷和果胶综合提取工艺研究 [J]. 中国食品添加剂, 2013(2): 104-110.
- [25] 于桂香, 于咏梅, 张中华, 等. 响应面法优化超声提取柚皮总黄酮工艺的研究 [J]. 北方园艺, 2011(8): 23-26.
- [26] 马亚琴, 陈健初, 江萍, 等. 超声辅助提取琯溪蜜柚皮中酚酸的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2008(7): 159-163.
- [27] 王晓君, 张秀玲, 陈少华, 等. 微波辅助复合酶法提取脐橙皮中总黄酮的工艺优化 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 172-177.
- [28] 盛雪飞. 柑橘黄酮抗氧化及协同作用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [29] 赵红英, 文海涛, 林励, 等. 化州柚不同栽培品种总黄酮及柚皮苷含量的比较研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2010, 21(2): 183-186.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)