

不同采收期对月季花总黄酮含量 及其抗氧化活性的影响

上官琨瑶,黄秀秀,宋庸,张晓婷,潘斐,刘怡晨,蒋万里,钱慧琴*

(新乡医学院三全学院,河南新乡 453000)

摘要:目的:通过比较月季花不同采收期总黄酮含量与其抗氧化活性,确定月季花的最佳采收期,为月季花临床用药的有效性奠定理论基础。方法:采用回流提取法提取月季花提取物,紫外分光光度法测定月季花总黄酮含量,以清除1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(DPPH·)及羟基自由基(OH·)的能力来评价不同采收期月季花抗氧化活性。结果:不同采收期总黄酮含量变化为:4月份>5月份>9月份>10月份>11月份>6月份>7月份>8月份。以4月份采收月季花总黄酮含量最高,含量达到 (152.28 ± 1.69) mg/g。不同采收期月季花提取物均有较好的抗氧化活性,其中7月份采收的月季花提取物体外抗氧化活性最强。结论:月季花提取物中总黄酮含量与其抗氧化活性正相关,但其抗氧化活性受采收期和提取物中的其他杂质的影响。

关键词:月季花,不同采收期,总黄酮,抗氧化活性

Effect of Different Harvesting Times on Total Flavonoids Content and Antioxidant Activity in Rosae Chinensis Flos

SHANGGUAN Kun-yao, HUANG Xiu-xiu, SONG Yong, ZHANG Xiao-ting,

PAN Fei, LIU Yi-chen, JIANG Wan-li, QIAN Hui-qin*

(Sanquan College of Xinxiang Medical University, Xinxiang 453000, China)

Abstract: Objective: The best harvest time was determined by comparing the content of total flavonoids and antioxidant activity of Rosae Chinensis Flos in different harvest time, which laid a theoretical foundation for the effectiveness of clinical medication of Rosae Chinensis Flos. Methods: The total flavonoids of Rosae Chinensis Flos were extracted by reflux extraction and determined by UV spectrophotometry. The antioxidant activity of Rosae Chinensis Flos was evaluated by scavenging DPPH· and OH·. Results: The change in content of total flavonoids in different harvest time was: April > May > September > October > November > June > July > August. The content of total flavonoids from rose flowers was the highest in April, which was (152.28 ± 1.69) mg/g. The total flavonoids from Rosae Chinensis Flos in different harvesting times exhibited good antioxidant activity. Among them, the best antioxidant activity was observed in total flavonoids from Rosae Chinensis Flos harvested in July. Conclusion: There was positive correlation between the content of total flavonoids and antioxidant activity in Rosae Chinensis Flos. However, its antioxidant activities were affected by harvesting time and other impurities.

Key words: Rosae Chinensis Flos; different harvesting times; total flavonoids; antioxidant activity

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)23-0236-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020020020

引文格式:上官琨瑶,黄秀秀,宋庸,等.不同采收期对月季花总黄酮含量及其抗氧化活性的影响[J].食品工业科技, 2020, 41(23): 236-239, 246.

SHANGGUAN Kun-yao, HUANG Xiu-xiu, SONG Yong, et al. Effect of Different Harvesting Times on Total Flavonoids Content and Antioxidant Activity in Rosae Chinensis Flos[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(23): 236-239, 246. (in Chinese with English abstract) <http://www.spagykj.com>

月季花(Rosae Chinensis Flos)是蔷薇科蔷薇属月季(Rosa chinensis Jacq)的干燥花。味甘,性温,归肝经,具有活血调经,疏肝解郁之效,临床上常用于

气滞血瘀,月经不调,痛经,闭经,胸胁胀痛等病症的治疗^[1],亦可用于冠状动脉性心脏病、颈淋巴结炎、肺虚咳嗽咯血、产后阴挺等病症的治疗^[2]。研究发现,

收稿日期: 2020-02-04

作者简介:上官琨瑶(1999-),女,大学本科,研究方向:药学, E-mail: shangguankun Yao@163.com。

*通信作者:钱慧琴(1988-),女,硕士,讲师,研究方向:天然药物活性成分研究, E-mail: qianhuiqina@163.com。

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(20B350007);新乡医学院三全学院骨干教师项目(SQ2020GGJS05)。

月季花活性成分有黄酮类、酚酸类、芳香油、鞣质和色素^[3-4]等,其中,以黄酮类化合物中槲皮素及其苷类为其主要活性成分^[5-6],具有抗氧化^[7-9],抗肿瘤^[10-11],抗菌^[12],抗衰老^[13],提高机体免疫^[14]等作用^[15-16]。

黄酮类化合物是药用植物体内的次生代谢产物,不同采收期与其次生代谢产物的积累有密切联系^[17]。药材能否发挥较好的临床疗效以及评价其质量的好坏主要取决于其活性成分^[18]。目前,薛紫鲸等^[19]采用紫外-可见分光光度法测定不同采收期祁艾的总黄酮和总酚酸含量,发现祁艾在不同采收期内黄酮和酚酸的含量有较大的差异,经过分析发现端午节前后祁艾有效成分含量最高,最终确定祁艾的最佳采收期。此外,付士朋等^[20]测定不同采收期芍药中有效成分含量,并探究其含量与采收期之间的变化规律。月季花的研究多局限在黄酮含量测定及提取工艺方面,但关于月季花在不同的采收期其有效成分是否有较大的差异尚未见报道。

本实验以2019年4月中旬至11月中旬采收的月季花为研究对象,测定不同采收期月季花总黄酮含量,并以其清除DPPH·、羟基自由基的能力来评价其抗氧化活性,探究其总黄酮含量与抗氧化活性的相关性,最终确定月季花最佳采收期,为其资源的开发、临床应用、质量标准的建立提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

月季花 采集于河南省新乡医学院三全学院校园内,经闫福林教授鉴定为蔷薇科蔷薇属植物月季;芦丁对照品 纯度98%,中国食品药品检定研究院;1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH) 东京化成工业株式会社;L-抗坏血酸(V_c) 上海源叶生物科技有限公司;无水乙醇、氢氧化钠、硝酸铝、亚硝酸钠、石油醚、乙酸乙酯 分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司。

ME203E/02型电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;R206型旋转蒸发仪 上海申生科技有限公司;101-3ES型电热鼓风干燥箱 北京市永光明医疗仪器有限公司;SHB-III型循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;CAA-420型低温冷却水循环泵 郑州杜甫仪器厂;T6型新世纪紫外可见分光光度仪 北京普析通用仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 月季花预处理 将2019年4月中旬-11月中旬(表1)的月季花清洗干净,晾晒至干燥,粉碎,过60目筛,分别置于密封袋中保存,备用。

1.2.2 芦丁标准曲线的绘制 精密吸取质量浓度为0.1 mg/mL 芦丁母液 0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL,分别置于10 mL容量瓶中,采用 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 法显色,分别加入5% NaNO_2 0.4 mL,摇匀,6 min后加入10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 0.4 mL,摇匀,6 min后再加入4% NaOH 溶液 4 mL,蒸馏水定容至刻度,15 min后于波长510 nm处测定不同浓度芦丁的吸光度 $A^{[21]}$ 。以芦丁浓度 $C(\mu\text{g/mL})$ 为横坐标,吸光度 A

表1 月季花样品信息

Table 1 The information of Rosae Chinensis Flos

采样编号	采样时间	部位	备注
A	2019.4.16	花	同一植株
B	2019.5.17	花	同一植株
C	2019.6.16	花	同一植株
D	2019.7.15	花	同一植株
E	2019.8.17	花	同一植株
F	2019.9.16	花	同一植株
G	2019.10.15	花	同一植株
H	2019.11.16	花	同一植株

为纵坐标,在0.1~0.5 mg/mL范围内得线性回归方程 $y = 1.8109x - 0.0561$,决定系数 $R^2 = 0.9998$ 。

1.2.3 供试品溶液的制备 参照钱慧琴等^[22]的提取方法制备供试液,精密称取不同采收期月季花粉末2 g,按液料比42:1 mL/g加入60%乙醇溶液,于87℃下加热回流提取85 min,过滤,滤液于55℃减压浓缩至无醇味,依次用石油醚、乙酸乙酯萃取,取乙酸乙酯部位减压浓缩至浸膏,加无水乙醇溶解并转移至100 mL容量瓶中,定容至刻度,即得月季花供试品溶液。

1.2.4 月季花总黄酮含量的测定 精密吸取不同采收时期月季花供试品溶液1.00 mL,置10 mL容量瓶中,采用 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 法显色,于510 nm处测定月季花供试品溶液的吸光度。不同采收期月季花总黄酮的含量的按式(1)计算。其中,供试品溶液的浓度按照芦丁标准曲线的回归方程计算。

$$Y = \frac{C \times V \times N}{M}$$
 式(1)

式中:Y为月季花总黄酮含量,mg/g;C为月季花总黄酮的质量浓度,mg/mL;V为测量总黄酮提取液体积,mL;N为稀释倍数;M为月季花干品质量,g。

1.2.5 月季花不同采收期抗氧化活性评价

1.2.5.1 清除DPPH·自由基能力测定 参照闫蕊等^[23]的方法并加以修改,将不同采收期月季花供试品溶液配成2、8、14、20、26、32、40、50 $\mu\text{g/mL}$ 不同质量浓度的样品溶液,吸取2 mL不同质量浓度的样品溶液置于试管中,加入质量浓度为 2.55×10^{-4} mol/L的DPPH乙醇溶液(临用现配)2 mL,摇匀,避光反应30 min后于517 nm波长处测其吸光度 A_1 。同时测定2 mL样品溶液和2 mL无水乙醇的吸光度 A_2 ,2 mL无水乙醇和2 mL DPPH乙醇溶液的吸光度 A_0 。以相同质量浓度的 V_c 溶液作为对照组。根据式(2)计算DPPH·清除率,即:

$$W(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$
 式(2)

式中,W表示DPPH·清除率, A_1 表示加入样品的吸光度, A_2 表示样品参比溶液的吸光度, A_0 表示未加样品的吸光度。

1.2.5.2 清除羟基自由基($\text{OH}\cdot$)能力测定 参照张春生等^[24]的方法并加以修改,配制不同质量浓度0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.2、1.5 mg/mL的月季花样品溶液,依次加入9 mmol/L FeSO_4 溶液、

表2 不同采收期月季花提取物中的总黄酮含量(n=3)

Table 2 The content of total flavonoids in extracts of Rosae Chinensis Flos in different harvesting periods(n=3)

采收期(月)	4	5	6	7	8	9	10	11
总黄酮含量 (mg/g)	152.28 ± 1.69	147.11 ± 1.05	128.97 ± 1.17	116.57 ± 1.65	106.54 ± 2.00	146.10 ± 2.31	134.79 ± 0.93	134.33 ± 1.81

9 mmol/L的水杨酸-乙醇溶液、不同质量浓度的样品溶液各1 mL,再加入4 mL 20 mmol/L H_2O_2 溶液,摇匀,37 ℃水浴下反应30 min,于510 nm处测定吸光度 A_1 ;同时测定等体积的去离子水代替 H_2O_2 溶液的吸光度 A_2 ;测定等体积的乙醇溶液代替样品溶液的吸光度 A_0 。以相同质量浓度的 V_c 溶液作为对照组。根据式(3)计算 $OH\cdot$ 清除率,即:

$$W(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中,W表示 $OH\cdot$ 清除率, A_1 表示加入样品的吸光度, A_2 表示样品参比溶液的吸光度, A_0 表示未加样品的吸光度。

1.3 数据处理

上述实验均重复三次,运用数据分析软件 SPSS 20.0 及 Excel 进行图表的绘制及数据的处理,实验数据均以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同采收期月季花中黄酮含量的动态变化规律

由表2所示,不同采收期的月季花中总黄酮含量是呈动态变化的,4月中旬至9月中旬,随着采收期的延长,月季花中总黄酮的含量呈现下降而又骤然上升的趋势;9月中旬至11月中旬,月季花总黄酮含量缓慢下降趋于平缓。其中,4月中旬月季花总黄酮含量最高,为 (152.28 ± 1.69) mg/g,5月中旬月季花总黄酮含量次之,为 (147.11 ± 1.05) mg/g。8月中旬时月季花总黄酮含量最低,为 (106.54 ± 2.00) mg/g。一般认为黄酮的积累与植物的生长期、温度和水分有关^[19]。4月总黄酮最高可能因为月季花尚未完全开放,且生长温度较低,越冬芽发育的早期幼苗生长较慢,黄酮积累较丰富有关。8月月季花总黄酮最低可能是由于该时期花已经完全开放,且天气炎热,降雨量多,作物生长较快,黄酮积累较少有关。

2.2 不同采收期月季花的抗氧化活性评价

2.2.1 清除 DPPH· 能力 由图1可知,在质量浓度2~50 $\mu\text{g/mL}$ 范围内,随着不同采收期的月季花总黄酮溶液和阳性对照 V_c 质量浓度的增大,对 DPPH· 清除率逐渐增强而趋于平衡。通过 SPSS 20.0 软件计算不同采收期月季花总黄酮溶液和 V_c 对 DPPH· 的半数清除率 IC_{50} ,如图2所示。7月、8月采收的月季花所含总黄酮对 DPPH· 的半数清除率 ($IC_{50} = 1.792, 2.772 \mu\text{g/mL}$) 明显低于 V_c ($IC_{50} = 4.806 \mu\text{g/mL}$),说明7月、8月采收的月季花所含总黄酮对 DPPH· 的清除能力高于 V_c ,其中7月份月季花总黄酮对 DPPH· 清除能力最强。4~6月、9~11月采集月季花的总黄酮对 DPPH· 的半数清除率 IC_{50} 均高于 V_c ,说明此时抗氧化活性均弱于 V_c 。由此可见,不同采收期的月季花总黄酮含量呈现出不同程度的清除 DPPH· 的能力,表现出不同程度的抗氧化活性,这可能是因为月

季花在不同采收期黄酮类成分积累虽存在较大差异,但是黄酮类成分的结构不同,所起到的抗氧化活性不相同^[25-26],对月季花的抗氧化活性也有一定程度的影响。

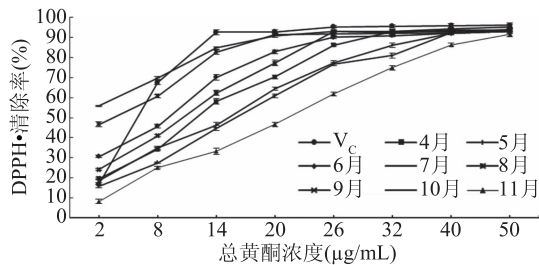
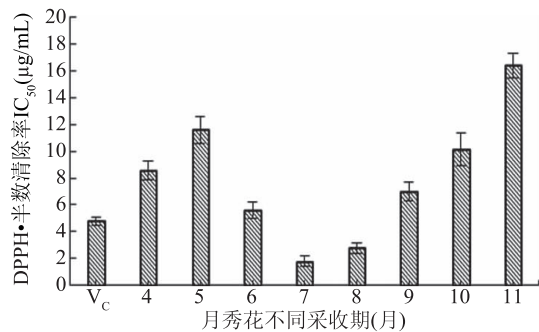


图1 不同采收期月季花总黄酮对 DPPH· 的清除能力

Fig.1 The scavenging ability of total flavonoids of Chinese rose in different harvesting periods on DPPH·

图2 不同采收期月季花总黄酮对 DPPH· 的半数清除率 IC_{50} Fig.2 The IC_{50} value of the total flavonoids of

Chinese rose in different harvesting periods on DPPH·

2.2.2 清除羟基自由基能力 由图3所示,不同采收期月季花总黄酮对 $OH\cdot$ 的清除能力随着样品和 V_c 质量浓度的增加而不断的增强,体现出显著的量效关系。不同采收期月季花总黄酮溶液和 V_c 对 $OH\cdot$ 的半数清除率 IC_{50} 如图4所示,不同采收期的月季花总黄酮对 $OH\cdot$ 的半数清除率均高于 V_c ,说明不同采收期的月季花总黄酮对 $OH\cdot$ 清除能力均弱于 V_c ,但依然表现出一定的抗氧化活性。在月季花不同采收期中,7月份月季花总黄酮清除 $OH\cdot$ 的能力最强,这与上述清除 DPPH· 的结果是一致的。

2.3 抗氧化活性与总黄酮含量相关性分析

由表3可知,不同采收期月季花总黄酮含量与 DPPH 自由基清除能力的相关系数范围为 0.8000~0.9842,除了11月份呈显著相关 ($P < 0.05$) 外,其他月份均呈现极显著相关 ($P < 0.01$);不同采收期月季花总黄酮与 OH 自由基清除能力的相关系数范围为 0.9639~0.9947,均呈现极显著相关 ($P < 0.01$),因此可以推断月季花总黄酮含量与其抗氧化活性均呈一定的相关性,总黄酮含量越高,抗氧化活性越高,黄酮的含量是影响月季花抗氧化活性的重要因素。

表3 不同采收期的月季花提取物中总黄酮含量与抗氧化活性的相关性分析
Table 3 Correlation between total flavonoids and the antioxidant activities of
extracts of *Rosae Chinensis* Flos in different harvesting periods

不同采收期 (月)	4	5	6	7	8	9	10	11
清除 DPPH·能力	0.9138 **	0.9603 **	0.8649 **	0.8341 **	0.8000 **	0.8841 **	0.9527 **	0.9842 *
清除 OH·能力	0.9863 **	0.9840 **	0.9639 **	0.9921 **	0.9794 **	0.9831 **	0.9947 **	0.9829 **

注：* 表示显著相关($P<0.05$)；** 表示极显著相关($P<0.01$)。

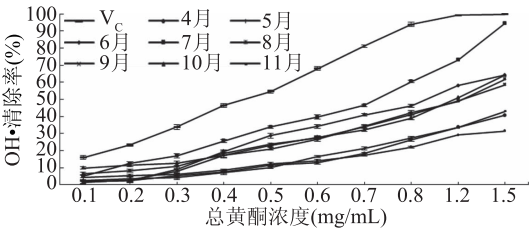


图3 不同采收期月季花总黄酮对 OH· 的清除能力
Fig.3 The scavenging ability of total flavonoids on hydroxyl free radical in Chinese rose of different harvesting periods

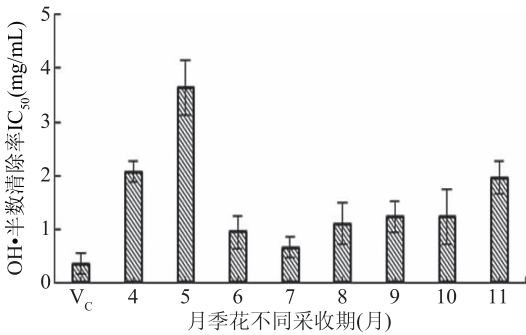


图4 不同采收期月季花总黄酮对 OH· 的半数清除率 IC₅₀
Fig.4 The IC₅₀ value of the total flavonoids of Chinese rose in different harvesting periods on OH·

3 讨论与结论

本研究以不同采收期月季花为研究对象,比较其总黄酮含量和抗氧化活性。结果表明,月季花总黄酮含量不同的采收期内其含量差异很大,其含量变化为:4月份>5月份>9月份>10月份>11月份>6月份>7月份>8月份。4月份采收的月季花总黄酮含量最高,8月份采收的月季花总黄酮含量最低。月季花总黄酮含量表现出明显的季节规律性,在春季和秋季含量比较高,尤其是在春季,含量最高。月季花总黄酮含量的波动主要与其生长周期,生长环境,采收次数,初采时间,采收间隔时间等^[27]因素有关。这一结果与薛紫鲸等^[19]不同采收期祁艾化学成分差异性研究结果相一致。

体外抗氧化活性研究结果显示7月份采收的月季花总黄酮清除 DPPH 自由基和 OH 自由基的能力最强。相关性分析结果表明,月季花总黄酮含量与其抗氧化活性均具显著相关性,但是体外抗氧化活性试验显示月季花的抗氧化活性与总黄酮含量不是正相关的。这可能是由于在不同采收期中月季花积累的黄酮的结构不同,发挥的抗氧化活性有一定差异,另外在提取过程中,若温度过高会造成黄酮结构

的破坏,促进其他杂质的溶出,从而影响其抗氧化活性。

综合考虑,4月份月季花总黄酮含量最高,若此时采摘将影响月季的生长,且抗氧化试验表明4月的抗氧化活性并不是最高的。7月份采摘月季花其抗氧化活性最高,药用价值较高,故以7月份采摘月季花的最佳时期。另外相关性分析显示,月季花总黄酮是其抗氧化的主要活性成分,但其具体的黄酮物质的组成和含量以及其他杂质对于抗氧化活性关系仍需进一步分析和完善。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 中国医药科技出版社,2015:75-76.

[2] 程博琳,苗明三. 月季花的现代研究[J]. 中医学报,2014, 29(5):711-712.

[3] 张沛,薛莹,青琳森,等. 月季花的化学成分研究[J]. 中草药,2010,41(10):1616-1618.

[4] 刘谋治,宋霞,姜远英,等. 月季花化学成分及药理作用的研究进展[J]. 药学实践杂志,2015,33(3):198-200,249.

[5] 赵倩,刘钊,李清娟,等. 月季花化学成分的研究[J]. 中草药,2012,43(8):1484-1488.

[6] 王晓燕,王雯雯,周勇辉,等. 月季花化学成分的初步研究[J]. 中国药理学杂志,2012,47(7):500-503.

[7] Xiong L, Yang J, Jiang Y, et al. Phenolic compounds and antioxidant capacities of 10 common edible flowers from China [J]. Journal of Food Science,2014,79(4):517-525.

[8] Qing L, Xue Y, Zhang J, et al. Identification of flavonoid glycosides in *Rosa chinensis* flowers by liquid chromatography-tandem mass spectrometry in combination with 13 C nuclear magnetic resonance [J]. Journal of Chromatography A, 2012,1249.

[9] Shang X C, Tan J N, Du Y M, et al. Environmentally-friendly extraction of flavonoids from *Cyclocarya paliurus* (Batal.) iljinskaja leaves with deep eutectic solvents and evaluation of their antioxidant activities[J]. Molecules,2018,23(9):2110.

[10] 王哲元,张璐,张有成. 天然黄酮类化合物抗肿瘤作用机制的研究[J]. 西部中医药,2018,31(5):138-142.

[11] 蔡元元. 月季花正丁醇部位的化学成分及抗肿瘤活性的研究[D]. 郑州:郑州大学,2014.

[12] Meng Y, Sun Y. Development of biogenic silver nanoparticle using *Rosa chinensis* flower extract and its antibacterial property [J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2016, 16(4): 3969-3972.

(下转第246页)

- 姜中 13 种金属元素[J].中国调味品,2010,35(6):106-107.
- [22] 张胜帮,郭玉生.ICP-AES 法测定干姜中多种微量元素的研究[J].食品科学,2005(9):377-379.
- [23] Dudka S, Miller W P. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 1999, 34(4):681-708.
- [24] 周桂生.银杏种子资源化学研究[D].南京:南京中医药大学,2013.
- [25] 叶润,刘芳竹,刘剑,等.微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法测定大米中铜、锰、铁、锌、钙、镁、钾、钠 8 种元素[J].食品科学,2014,35(6):117-120.
- [26] 邢雷,郭玉海.不同种质肉苁蓉矿质元素分析[J].光谱学与光谱分析,2019,39(12):3921-3924.
- [27] 许靖,满雪玉.原子吸收光谱法在药物分析中的应用[J].中国资源综合利用,2018,36(2):84-86.
- [28] 金平,陈建伟.不同产地桃胶无机元素的 ICP-MS 分析与评价[J].食品工业科技,2019,40(21):1-12.
- [29] 张黄琴,严辉,钱大玮,等.不同产地百合药材中无机元素的分析与评价[J].中国现代中药,2016,18(8):960-966.
- [30] 谭亚杰.益母草资源化学与质量标准研究[D].南京:南京中医药大学,2019.
- [31] 郭盛,段金廛,严辉,等.采用微波消解-ICP-AES 法分析不同产地大枣中无机元素的组成及其含量[J].食品工业科技,2016,37(1):302-308,314.
- [32] 石宇华.干姜质量标准及干姜、炮姜和姜炭的化学成分比较研究[D].成都:成都中医药大学,2008.
- [33] 蒋文福,罗玲,林朋,等.三种姜中微量元素的测定[J].绵阳师范学院学报,2012,31(2):46-50.
- [34] 舒凤,张远志,王宏磊,等.ICP-MS 测定汞的记忆效应的研究[J].中国卫生检验杂志,2016,26(2):189-191.

[13] 刘谋治, 宋霞, 姜远英, 等. 月季花化学成分及药理作用的研究进展[J]. 药学实践杂志, 2015, 33(3): 198-200, 249.

[14] 宋成英, 黄俊懿, 封加福, 等. 对生物黄酮生物活性的综述[J]. 化学工程与装备, 2013(4): 128-130, 133.

[15] Shashank K, Abhay K P. Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview [J]. The Scientific World Journal, 2013, 2013: 1-16.

[16] Takashi M, Atsushi K, Junichi K, et al. Pharmacokinetic study of bioactive flavonoids in the traditional Japanese medicine keigaiirengyoto exerting antibacterial effects against *Staphylococcus aureus* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(2): 328-358.

[17] 李雁群, 吴鸿. 药用植物生长发育与有效成分积累关系研究进展[J]. 植物学报, 2018, 53(3): 293-304.

[18] 杨利民, 张永刚, 林红梅, 等. 中药材质量形成理论与控制技术研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(2): 119-124, 129.

[19] 薛紫鲸, 郭利霄, 郭梅, 等. 不同采收期祁艾化学成分差异性研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(24): 5433-5440.

[20] 付士朋, 沈宏伟, 王谦博, 等. 不同采收期赤芍中6种有效

- 成分的含量测定及其变化规律研究[J].中国药房,2020,31(4):441-446.
- [21] Chen F L, Zhang Q, Mo K L, et al. Optimization of ionic liquid-based homogenate extraction of orientin and vitexin from the flowers of *Trollius chinensis* and its application on a pilot scale [J]. Separation and Purification Technology, 2017, 175: 147-157.
- [22] 钱慧琴, 秦晶晶, 李亚杰, 等. 响应面法优化月季花中总黄酮的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(19): 130-135, 148.
- [23] 闫蕊, 赵桦. 黄花油点草总黄酮超声提取工艺的响应面优化及抗氧化性分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 190-196, 203.
- [24] 张春生, 方玉梅, 王毅红, 等. 野生鱼腥草黄酮化合物对羟基自由基的清除作用[J]. 食品科技, 2009, 34(6): 188-190.
- [25] 赵雪巍, 刘培玉, 刘丹, 等. 黄酮类化合物的构效关系研究进展[J]. 中草药, 2015, 46(21): 3264-3271.
- [26] 吴秋敏, 苏平, 刘芸. 黄酮的抗氧化性和促氧化性研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 379-383.
- [27] 陆胜军, 于娇, 胡晓, 等. 汕头地区不同采收期坛紫菜营养成分分析与评价[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 539-546.