

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.22194

辛佳, 孙恒, 刘娟, 杨东, 邓显豹, 杨美. 莲黄酮类化合物鉴定、功能与应用的研究进展[J]. 植物科学学报, 2023, 41(3): 400-410

Xin J, Sun H, Liu J, Yang D, Deng XB, Yang M. Advances in the identification, function, and application of flavonoids in *Nelumbo* [J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(3): 400-410

莲黄酮类化合物鉴定、功能与应用的研究进展

辛佳^{1,2,3}, 孙恒^{1,2}, 刘娟^{1,2}, 杨东^{1,2}, 邓显豹^{1,2}, 杨美^{1,2*}

(1. 中国科学院植物种质创新与特色农业重点实验室, 武汉 430074; 2. 中国科学院武汉植物园水生植物研究中心, 武汉 430074; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 莲 (*Nelumbo*) 是一种重要的水生经济作物, 富含黄酮、生物碱、多糖等生物活性物质, 可药食两用。目前在莲中已经鉴定出超过百种的黄酮类化合物, 包括芦丁、槲皮素、金丝桃苷等, 这些物质具有抑菌抗炎、降脂减肥、抗氧化等多种药用功效。本文介绍了莲黄酮类化合物的种类, 以及包括大孔树脂色谱法和高效液相色谱-质谱联用法在内的提取与鉴定方法, 并对莲黄酮类化合物的功能活性、功能产品开发及其在疾病治疗中的最新应用进行了系统总结, 以期莲黄酮类化合物的科学研究和综合利用提供参考。

关键词: 莲; 黄酮; 提取和鉴定; 功能; 应用

中图分类号: Q946.8

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2023)03-0400-11

Advances in the identification, function, and application of flavonoids in *Nelumbo*

Xin Jia^{1,2,3}, Sun Heng^{1,2}, Liu Juan^{1,2}, Yang Dong^{1,2}, Deng Xian-Bao^{1,2}, Yang Mei^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Plant Germplasm Enhancement and Specialty Agriculture, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. Aquatic Plant Research Center, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Lotus (*Nelumbo*) is an economically important aquatic crop and contains abundant bioactive compounds, such as flavonoids, alkaloids, and polysaccharides. More than 100 flavonoids have been identified in lotus, including rutin, quercetin, and chrysin, which exhibit various antibacterial, anti-obesity, and antioxidant medicinal properties. In this review, we introduce the types of flavonoids in lotus and various effective extraction and identification methods, including microporous resin chromatography (MPRC) and high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). Moreover, the functional activities of flavonoids in lotus and their latest applications, including disease treatment and functional product development, are further summarized. This review provides a reference for future research and the comprehensive utilization of lotus flavonoids.

Key words: *Nelumbo*; Flavonoids; Extraction and identification; Function; Application

莲 (*Nelumbo*) 是莲科莲属多年生水生植物, 全世界莲属仅有亚洲莲 (*N. nucifera* Gaertn.) 和美洲黄莲 (*N. lutea* Pers.) 两个种^[1]。莲集食用、观赏和药用价值于一身, 是我国卫生部首批公布的既是食品又是药品的两用物种^[2]。莲花花型多样且观赏性强; 莲叶可食用, 有益于人体健康; 莲

收稿日期: 2022-07-22, 修回日期: 2022-08-24。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31872136); 中国科学院战略生物资源计划项目 (KFJ-BRP-007-009)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (31872136) and Biological Resources Programme, Chinese Academy of Sciences (KFJ-BRP-007-009).

作者简介: 辛佳 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为莲种质资源与遗传育种 (E-mail: xinjia21@mailsucas.ac.cn)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: yangmei815815@wbpcas.cn)。

子和莲藕可鲜食或加工成农副产品进行销售。莲的各个部分均可作中药成分。如：莲子心富含黄酮和生物碱，具有清心安神、抗癌等药用功效；莲叶具有降血脂、减肥作用，常作为降脂中药的辅药；莲花粉营养价值高，能够降低血压血脂、美容养颜^[3]。黄酮类化合物作为莲的重要药理活性成分之一，具有重要应用价值和广阔的开发前景。本文对莲黄酮类化合物的主要种类、提取分离技术与鉴定方法、功能特性与开发利用进行了系统总结，旨在为莲黄酮类化合物的研究、开发和利用提供参考。

1 莲黄酮类化合物的种类

黄酮类化合物是自然界植物中常见的次生代谢物，以 C6-C3-C6 碳链为基本骨架，通过两个苯环（环 A 和 B）和一个杂环（环 C）组成其母核结构（图 1），母核可以通过羟化、甲基化、酰化和糖基化等修饰方式来形成不同类型的黄酮类化合物。其中，糖基化黄酮类化合物最为常见，其 A 环可以与阿拉伯糖基、葡萄糖基、鼠李糖基、芸香糖基、木糖基等糖类结合成苷类，以黄酮苷形式来行使功能^[4]。植物中黄酮类化合物的生物合成复杂且保守，其起始于苯丙氨酸，经过一系列酶

基因的作用，转化为不同类型的黄酮类化合物，具有不同的生物活性^[5]。此外，苯环上取代基的连接方式、位置、数目不同及水解作用的强弱也会导致黄酮类化合物药理活性的差异。

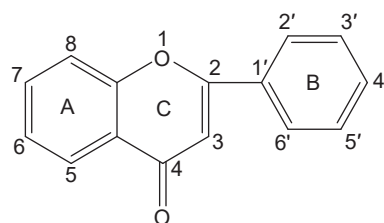


图 1 黄酮类化合物的母核结构
Fig. 1 Parent nucleus structure of flavonoids

目前，莲中已鉴定出 133 种黄酮类化合物，其中大部分以槲皮素为基本结构形成，少数通过山奈酚和杨梅素等其他类型的母核形成^[6]。莲的各个部位均有黄酮类化合物，但其含量和种类存在一定差异，其中，芦丁、槲皮素、金丝桃苷等 17 种黄酮类化合物含量较为丰富（表 1），其结构如图 2 所示。莲子心中芦丁、金丝桃苷、夏佛塔苷等黄酮类次生代谢产物较为丰富^[7]；莲叶中主要为槲皮素、异槲皮素等黄酮醇类^[8]，莲花花瓣和雄蕊中黄酮类化合物含量较低，主要为山奈酚、异鼠李素等^[9, 10]。

表 1 莲中常见的黄酮类化合物
Table 1 Common flavonoids in *Nelumbo*

序号 No.	名称 Name	分子式 Molecular formula	部位 Part	参考文献 References
1	木犀草素-7-O-芸香糖苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	莲子心	[11]
2	槲皮素-3-O-芸香糖苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	莲子心	[11]
3	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₂	莲叶	[12]
4	牡荆素	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	莲叶、莲子心	[13]
5	芹菜素	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	莲子心	[14]
6	夏佛塔苷	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	莲花、莲子心	[4]
7	异夏佛塔苷	C ₂₆ H ₂₈ O ₁₄	莲花、莲子心	[4]
8	芦丁	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	莲子心	[15]
9	金丝桃苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	莲子心	[11]
10	鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	莲叶、莲子心	[4]
11	异鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	莲花、莲花粉	[10]
12	香叶木素	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	莲叶、莲子心	[6]
13	山奈酚	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	莲花、莲花粉	[10]
14	杨梅素	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	莲叶、莲花粉	[12]
15	槲皮素	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	莲叶、莲子心、莲花、莲梗	[16]
16	槲皮苷	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	莲叶、莲花	[11]
17	异槲皮素	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₃	莲叶、莲花	[4]

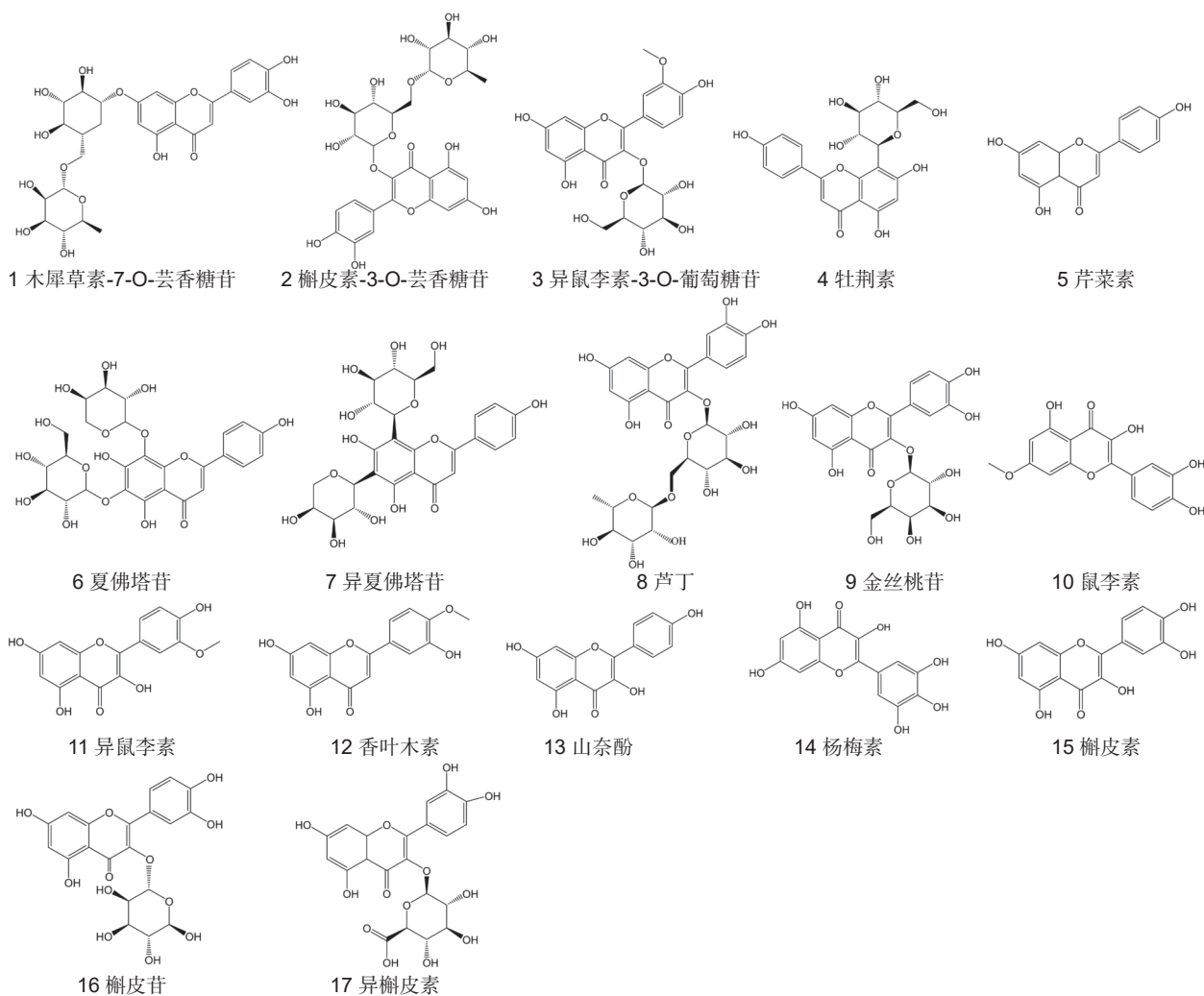


图 2 莲中常见的黄酮类化合物的化学结构式

Fig. 2 Chemical structural formulas of common flavonoids in *Nelumbo*

2 莲黄酮类化合物的提取与分离

黄酮类化合物的提取与分离是了解其功能的前提,不同的提取方法对黄酮的提取率和纯度影响不同。植物中黄酮类化合物的提取与分离技术主要是基于其极性、分子量、吸附性、特殊结构与金属盐络合能力等特性而开发。

2.1 有机溶剂提取法

有机溶剂提取法是将黄酮类化合物溶于有机溶液中,再进行萃取或吸附,从而实现分离提取,主要适用于易溶于乙醇、甲醇、乙酸乙酯、乙醚等有机溶剂的黄酮类化合物,如黄酮苷类或极性较大的苷元等。Chen 等^[17]从溶剂、料液比、提取时间和提取温度等 4 个方面对莲叶黄酮的提取工

艺进行优化,发现溶剂是影响产量的最重要的因素,认为最佳提取条件如下:溶剂为 70% 甲醇,料液比为 30 : 1,提取温度为 4 ℃,提取时间为 36 h。有机溶剂提取法是传统且成熟的黄酮提取技术,成本低、操作简便,但耗时长、效率低,且提取后溶剂需进行处理,因而无法大面积推广使用。后期可对此技术进行改进或与其他技术相结合,以获得更好的提取效果。

2.2 超声波辅助提取法

超声波辅助提取法主要利用超声波破坏植物细胞壁,无需对样品进行加热处理,从而降低温度对提取成分的影响,该方法在莲不同组织总黄酮的提取中均有应用。郭兴峰^[18]以干燥的莲花瓣为材料,利用该技术提取黄酮,并结合聚酰胺和

高速逆流色谱进行分离纯化,获得的总黄酮浓度最高可达 60.20 mg/g。龚明贵等^[19]以莲花粉为实验对象,使用 70% 乙醇,设置料液比为 1 : 12,提取 3 次,每次 20 min,总黄酮提取率可达 9.13 mg/g。而禹淞文等^[20]比较了超声时间、超声功率、料液比等 3 种因素对莲叶黄酮提取率的影响,结果表明,超声时间 > 超声功率 > 料液比,莲叶黄酮的平均提取率最高可达 2.75%。

2.3 大孔树脂色谱法

大孔树脂色谱法 (Microporous resin chromatography, MPRC) 具有吸附容量高、稳定性好、操作成本低和操作简单的特性,已广泛应用于黄酮类、皂苷类等化合物的分离制备^[21]。曾绍校等^[22]使用大孔树脂对莲叶黄酮进行纯化,发现莲叶提取液浓度、pH 值以及流速对于大孔树脂的吸附量和分离纯化效果都会产生一定的影响。Zhu 等^[23]用 70% 乙醇在室温下利用超声法对莲叶总黄酮进行提取,通过石油醚洗脱去除叶绿素,蒸发后结合 D101 大孔树脂色谱法对总黄酮进行分离纯化,获得了较高纯度的莲叶总黄酮,为后续的抗氧化活性分析提供了便利。

2.4 高速逆流色谱法

高速逆流色谱法 (High-speed countercurrent chromatography, HSCCC) 是一种液-液分配色谱技术,其固定相与流动相均为液体,无不可逆吸附,能够连续高效地分离混合物质。目前,高速

逆流色谱法已成为莲黄酮类化合物分离、纯化的有效手段。潘汇等^[24]利用 HSCCC 分离纯化得到紫英云苷、异槲皮苷及槲皮素等 3 种莲叶黄酮,其纯度分别达 92.67%、90.43% 和 87.52%。盛达成等^[25]利用 HSCCC 分离纯化莲叶黄酮粗粉,优化参数后得到的莲叶槲皮素单体纯度最高可达 99%。郭兴峰^[18]利用 HSCCC 建立了莲花黄酮类化合物的高效分离方法,将预处理后的莲花样品总黄酮进行分离,得到 4 种黄酮类化合物,其纯度范围在 97% ~ 99%。高速逆流色谱法适用范围广,操作简单,回收得率高,可以较好地对黄酮单体进行分离,但其局限性在于后期需要色谱技术的支持,对仪器的精密度要求较高,样品流速较慢。

除了上述方法外,水提法、酶提取法、微波提取法、水提固相萃取法、碱提酸析法等也被应用于莲黄酮提取。根据操作流程,可将其分为单一提取法和辅助提取法两种类型 (表 2)。单一提取法操作简单易行,但提取得率与纯度不尽人意。辅助提取法在单一提取法的基础上,加入其他手段,如超声波、微波、大孔树脂等,在提取纯度方面有了很大的提升,能够较好地维持黄酮的生物活性。因此,辅助提取法在莲黄酮提取中的应用更为广泛,但针对莲不同组织中黄酮类化合物的提取,还需进一步优化提取条件和参数,以达到最佳提取效果。

表 2 莲黄酮类化合物的提取与分离方法
Table 2 Extraction and isolation methods of flavonoids in *Nelumbo*

序号 No.	方法 Method	提取类型 Extraction type	优点 Advantages	缺点 Disadvantages	参考文献 References
1	水提取法	单一提取法	操作简单、无污染	耗时长、效率低	[26]
2	有机溶剂提取法	单一提取法	操作简单、低成本	所需溶剂量大、耗时长、提取率低	[17]
3	超声波辅助提取法	辅助提取法	操作方便、节省时间、产率高、无需加热	作用范围有限,容易形成超声空白区	[20]
4	微波提取法	辅助提取法	灵敏度高,加热均匀	萃取温度高,容易破坏有效成分	[27]
5	酶提取法	单一提取法	低成本、高效无毒、反应条件温和	有机溶剂残留,得率低	[28]
6	大孔树脂色谱法	辅助提取法	吸附性好、操作简便、成本低、稳定性强	预处理复杂、有机残留物高	[23]
7	高速逆流色谱法	辅助提取法	操作简便、适用范围广、损耗低、回收率高	流速低、体系不成熟、仪器设备要求高	[25]
8	固相萃取法	辅助提取法	操作简单、无需特殊装置、重现性好	容量小、溶剂损耗大	[17]
9	碱溶酸析提取法	单一提取法	操作简单	耗时长、提取液稳定性差,易出现沉淀物	[29]

3 莲黄酮类化合物的鉴定方法

对植物总黄酮进行提取后,研究者还需要从化学结构及生物活性等方面入手,对其中的物质

类型作进一步的区分。目前,莲黄酮类化合物的鉴定主要通过质谱分析和核磁共振等方法进行。

3.1 高效液相色谱-质谱联用法

高效液相色谱-质谱联用法 (High-perfor-

mance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS), 其中液相色谱为分离系统, 质谱为检测系统, 色谱和质谱技术优势互补, 色谱先将混合物的成分分离, 再经过质谱得到离子碎片的质谱图, 从而推测物质的分子量和结构信息, 具有高通量、高灵敏度、高分辨率、高可靠性的特点, 是鉴定莲黄酮类化合物的一种高效可靠的方法。Chen 等^[17]利用 HPLC-MS/MS 在莲叶中检测到 13 种黄酮类化合物, 其中山奈酚-3-O-半乳糖苷、山奈酚-3-O-葡萄糖苷、薯蓣皂苷-7-O-己糖苷和异鼠李素-3-O-葡萄糖苷为莲叶中新发现。Liu 等^[30]优化了莲黄酮化合物的提取参数, 利用高效液相色谱-二极管阵列检测-质谱联用技术从不同地区采集的莲雄蕊样品中鉴定出 11 种黄酮类化合物。Zhu 等^[13, 23]利用 HPLC-MS/MS 对莲叶和莲子心的黄酮类成分进行了分析, 在莲叶中鉴定得到槲皮素-3-O-鼠李糖苷、槲皮素-3-O-阿拉伯糖苷、山奈酚-3-O-葡萄糖苷等 14 种黄酮类化合物, 在莲子心中鉴定出 16 种黄酮类化合物, 包括 8 种黄酮碳苷和 8 种黄酮氧苷, 其中, 木犀草素-7-O-新橙皮糖苷和山奈酚-7-O-葡萄糖苷为莲子心中首次报道。Yang 等^[31]采用高效液相色谱-光电二极管阵列检测/质谱法建立了一种高效可靠且能同时分析莲黄酮醇和花青素的方法, 从莲花花瓣中鉴定出 15 种黄酮类化合物, 其中两种花色苷和 9 种黄酮醇为首次报道。

3.2 核磁共振波谱法

核磁共振波谱法 (Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMRS) 是在磁场作用下确定有机分子的微观结构, 准确性和可重复性高, 不破坏样品结构, 目前已被应用于莲黄酮类化合物的鉴定。Kashiwada 等^[32]以莲叶为材料, 通过 NMRS 技术分离并鉴定了 5 种黄酮苷类物质, 发现槲皮素-3-O- β -D-葡萄糖苷为莲叶中主要的黄酮类化合物。Jiang 等^[33]利用 1D、2D 核磁共振波谱和高分辨电喷雾质谱技术 (High-resolution electrospray ionization mass spectrometry, HR-ESI-MS), 从莲子心中鉴定出 4 种新的黄酮苷。杨超^[15]通过 NMRS 技术对莲子心黄酮提取物进行了分析, 确定了 18 种黄酮化合物的结构, 并认为夏佛塔苷和异夏佛塔苷是莲子心主要的黄酮成分。刘婷^[34]利用 NMRS 技术成功鉴定了莲子心中 11 个黄酮类

化合物的结构, 其中, 金丝桃苷、木犀草素-7-O-新橙皮糖苷和淫羊藿次苷为莲子心中首次报道。

3.3 其他方法

除了上述方法外, 紫外光谱检测、亲和超滤质谱、超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨率质谱 (Ultra-performance liquid chromatography coupled with hybrid quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry, UHPLC/Q-Orbitrap HRMS)、反相高效液相色谱 (Reversed-phase high-performance liquid chromatography, RP-HPLC) 等也可用于莲黄酮类化合物的鉴定^[35-38]。

基于以上鉴定方法, 目前已在莲中成功鉴定出超过百种黄酮类化合物。但单一方法仍存在一定的局限性。如: 液相色谱-质谱联用分析法成本较高; 紫外光谱检测法灵敏度较低, 存在个别黄酮苷元检测不到的情况。此外, 莲黄酮类化合物在分离过程存在分离不彻底、化合物具有同分异构体等问题。为此, 可以通过优化液相色谱和质谱的实验体系, 提高黄酮类化合物的分离度和质谱的分辨率, 以获得准确而全面的鉴定结果。超高效液相色谱串联质谱分析 (Ultra-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS) 同时具备高效率和高灵敏度, 可用于复杂黄酮类化合物的鉴定, 未来应建立和优化 UPLC-MS/MS 技术体系, 以应用于莲各组织黄酮类化合物的鉴定。同时, 还可以将不同的鉴定技术进行组合, 如可将高效液相色谱-质谱联用技术、紫外光谱检测与亲和超滤技术相结合, 亲和超滤技术可以高效地分离不同分子量的化合物, 而高效液相色谱-质谱联用技术、紫外光谱检测可以提高鉴定的精确性, 从而实现高通量筛选和快速鉴定莲中复杂或微量的黄酮类化合物。

4 莲黄酮类化合物的功能作用

4.1 抗氧化、延缓衰老

黄酮类化合物是一种天然抗氧化成分, 能够有效清除活性氧, 延缓衰老。田文月^[38]采用自由基清除能力测定法 (DPPH) 分析了 13 个不同产地莲子心总黄酮的抗氧化活性, 发现总黄酮抗氧化能力随着浓度的增加而增强, 存在浓度依赖性。杨超^[15]对夏佛塔苷、异夏佛塔苷、牡荆素、异牡荆素、芦丁、金丝桃苷和芹菜素-6, 8-二吡喃葡萄

糖苷等7个莲子心黄酮单体进行DPPH测定,发现金丝桃苷和芦丁的抗氧化活性较好,与其浓度呈正相关,且当浓度为120 $\mu\text{mol/L}$ 时,其氧自由基清除能力可达到抗坏血酸Vc的同等水平。宗灿华等^[39]发现莲叶黄酮可以通过降低氧化自由基和脂质过氧化物的积累来延缓小鼠衰老。此外,莲雄蕊提取物富含杨梅素-3-O-葡萄糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷、山奈酚-3-O-葡萄糖苷和异鼠李素-3-O-葡萄糖苷等黄酮类化合物,具有很高的抗氧化能力,可以通过调节*sir2*和*sod2*基因表达及酶的活性水平进而延缓酵母细胞的衰老^[40]。

4.2 抑菌和抗炎作用

黄酮类化合物属于酚类衍生物,呈弱酸性,能够通过使蛋白质变性来达到抑菌或杀菌作用。莲子心黄酮的抑菌作用具有差异性,对真菌抑制作用不明显,但能够有效地抑制细菌的生长,且其抑菌能力受温度和pH值的影响较小^[41]。陈勇^[42]研究了金丝桃苷、异槲皮苷和槲皮素等5种莲叶黄酮对常见食品腐败菌的抑制作用,发现槲皮素的抑菌活性最高,对金黄色葡萄球菌的抑制作用最强,但当温度超过80℃时,其抑菌活性显著下降。黄酮类化合物可以通过抑制炎症介质的释放来调节炎症相关信号通路,从而抑制炎症的发生^[43]。相关研究表明,莲子心黄酮可以抑制脂多糖(LPS)诱导炎症过程中炎症介质(NO、PGE2)和炎症因子(TNF- α 、IL-1 β 和IL-6)的作用,发挥良好的抗炎活性^[36];也能通过抑制炎症因子的表达,减缓由佛波酯(TPA)诱导的小鼠耳肿胀^[38]。此外,莲子心黄酮夏佛塔苷是重要的抗炎活性成分之一,可显著抑制炎症介质NO的生成,减少炎症因子的合成^[44, 45]。

4.3 降血糖、降脂减肥

黄酮类化合物可以干扰多糖的分解和葡萄糖的吸收,调节血糖、血脂水平,在糖尿病的预防与治疗方面发挥着一定作用^[35, 46]。高剂量的莲叶黄酮和黄酮苷元可显著降低血糖水平,并能抑制糖尿病小鼠的体重减轻,缓解糖尿病的并发症^[47]。莲子心黄酮可提高小鼠的糖耐受量和胰岛素水平,从而调节糖尿病小鼠的血脂代谢,降低其血糖水平^[48]。莲蓬提取物中含有丰富的槲皮素-3-葡萄糖苷等黄酮类衍生物,可通过下调凋亡和上调自噬来保护胰腺 β 细胞免受氧化应激相关的凋亡和损

伤,对糖尿病和胰腺细胞损伤的治疗效果优于常规药物二甲双胍^[49]。莲叶黄酮具有明显的降血脂和减肥功效。刘嵩^[50]通过实验对比了莲叶黄酮对高血脂小鼠模型与正常小鼠模型的降脂作用,发现其能显著降低两种高血脂小鼠血清中甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)、丙二醛(MDA)和低密度脂蛋白(LDL)的含量。胡榴燕^[51]发现莲叶黄酮可以降低大鼠血清中TC和TG的水平,具有保护血管、辅助胆固醇分解、降低体重等作用。此外,莲叶黄酮可显著降低营养性肥胖大鼠血清、血脂指标的浓度,抑制体重增加,且不影响其食欲,提升其体质^[52]。

4.4 其他作用

除了上述功能,莲黄酮类化合物还具有治疗肝损伤、提高记忆力、改善心肌供血、抗抑郁等作用。莲叶黄酮不仅可以降低D-半乳糖诱导的肝损伤小鼠肝细胞中的MDA和NO含量,降低细胞和组织结构的破坏速度,延缓肝细胞的衰老^[53],还可以显著降低四氯化碳(CCl₄)诱导的肝损伤小鼠的血清肝脏指数,有效抑制肝细胞坏死,保持肝脏的完整性^[54]。莲叶黄酮能显著提高过氧化氢(H₂O₂)损伤的大鼠肾上腺嗜铬细胞瘤细胞(PC12)的存活率,减少细胞凋亡,对神经元具有良好的保护作用^[55]。莲叶黄酮可通过上调凋亡调控基因*Bcl-2*和抑制*Bax*、*Caspase-3*的表达,抑制心肌缺血再灌注损伤大鼠心肌细胞的凋亡^[56]。通过明暗箱、高架十字迷宫等实验研究发现,3 g/kg的莲叶黄酮可有效缓解小鼠状态性与特质性焦虑行为,对缓解焦虑有一定作用^[57]。

5 莲黄酮类化合物的开发利用

5.1 用于治疗疾病

莲是一种全株皆可入药的典型药用植物。在药理学研究中,莲各组织部位因其发育和代谢机制的不同,功效存在差异,因而用途不同。莲叶黄酮常用于制备中药、胶囊等,通过中药煎剂、莲叶合剂、莲叶水煎剂或制作祛脂汤等方式来防治冠心病、动脉粥样硬化及高脂血症等疾病^[58]。莲子心黄酮类化合物丰富,是我国传统中药之一,可作为辅助药剂用于治疗心脑血管疾病或降血糖。其中,木犀草素常被用于止咳祛痰消炎;金丝桃苷具有镇静止痛的效用,也可用于修复缺血性脑

损伤; 芦丁可防止血管破裂, 具有止血功能^[59]。此外, 莲花花瓣和雄蕊富含黄酮类和生物碱等活性成分, 可用于治疗组织炎症、癌症、皮肤病和用作解毒剂^[60]。

5.2 用作天然保健品

近年来, 以黄酮类化合物为主要成分, 利用莲不同组织制成的保健茶饮料开始流行于市场, 广受消费者的青睐。利用银杏叶与莲叶总黄酮开发的保健饮料, 酸甜适中, 色泽均匀, 其黄酮含量可达 0.68 mg/mL, 适量饮用, 有助于身体健康^[61]。采用超声波辅助乙醇提取法提取莲叶黄酮, 干燥后回填到茶饮料中, 可提升其降脂效果^[62]。在东南亚地区, 泰国人常使用莲雄蕊制成草药茶饮来改善身体的循环系统, 因其富含黄酮类化合物, 在降低血糖和血脂方面具有一定作用^[63]。冯丹^[64]研制了一种以莲叶、绿豆为主要成分的营养保健酒, 产品稳定性好, 具有一定的降血脂、降血压和抗氧化功效。另外, 通过优化糯米糕的制作工艺, 添加 10% 的莲叶黄酮提取液制作成莲叶糯米糕, 色香味更佳, 更具有营养保健价值^[65]。

5.3 制作日用品、化妆品

黄酮类化合物具有良好的抑菌作用和抗氧化

能力, 可作为有效成分应用于日用品和化妆品的研发。陈健芬等^[66]从莲叶黄酮类提取物中分离出金丝桃苷成分, 并将其添加至牙膏中, 制作的天然中草药牙膏能够有效抑制口腔细菌的滋生, 缓解牙周炎、牙龈炎及口臭等症状, 这也是国内关于莲叶金丝桃苷在牙膏中应用的首次报道, 对于莲叶提取物有效成分的应用意义重大。王晓娜等^[67]将质量分数为 0.03% ~ 1.00% 的莲叶黄酮应用于化妆品中, 可有效抑制酪氨酸酶的活力, 减少黑色素的积累, 清除氧自由基, 对皮肤美白具有一定功效。

6 结语与展望

莲是我国重要的水生经济作物, 集食用、药用和观赏于一身。当前, 在国家大力推动特色农业发展的背景下, 国内莲种植面积逐步增加, 在带动莲生产区经济发展、增加农民收入方面发挥着积极作用。莲黄酮类化合物因其具有广泛的生物活性和药理功能, 在医疗保健和疾病治疗等方面发挥着重要的作用, 已被应用于生物制药、保健品开发和日用化妆品研发等多个领域, 具有巨大的市场开发潜能 (图 3)。本文围绕莲黄酮类化

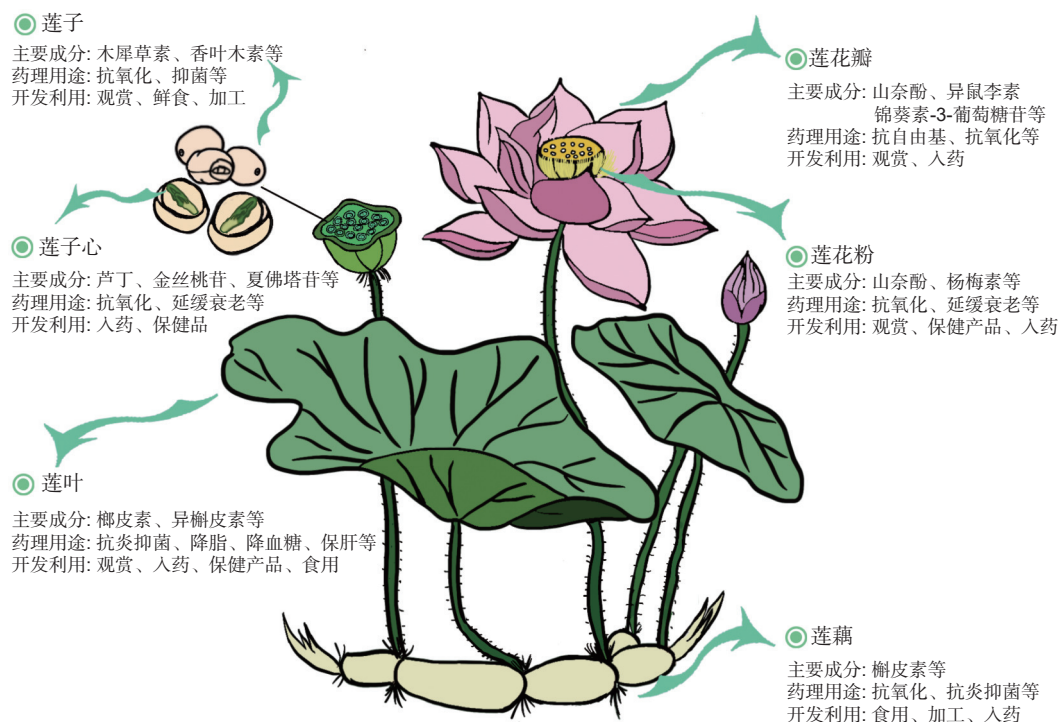


图 3 莲组织中主要黄酮的种类、功能及应用

Fig. 3 Types, functions, and applications of major flavonoids in *Nelumbo* tissues

合物的提取鉴定技术、生物学功能及应用现状等3个方面的研究进展进行了系统总结,为莲黄酮类化合物的开发利用提供了参考。然而,关于莲黄酮类化合物的开发利用还存在一些问题亟需解决。首先,莲黄酮类化合物的提取、分离与鉴定方法应基于环保、高效、低成本的原则,改进提取方法、优化提取工艺中的条件和参数、开发新型鉴定方法等。目前,尚未发现莲中存在独特的黄酮类化合物,这可能是由于黄酮类化合物合成和修饰途径在植物中较为保护所导致的。值得注意的是,目前鉴定的多数莲黄酮类化合物含量相对丰富,是否存在独特的微量黄酮类化合物还需进一步研究。莲黄酮类化合物的提取、分离与鉴定体系的优化将为解决这一科学问题提供机遇。其次,尽管目前已经鉴定到许多莲黄酮类化合物,但相关研究多集中在莲叶与莲子心中开展,对于莲房、莲梗、莲花、莲藕等组织的研究较少。未来亟需开展莲不同组织的研究,以鉴定更多具有药用活性的黄酮类化合物,并进行有效地开发、加工和使用,最终改善莲不同组织的利用率,提高莲在农业生产中的附加值。

我国莲种质资源丰富,种植面积广,这是开展莲黄酮类化合物相关研究的有利基础。未来需深入阐明其药理活性及其作用机制,研究其生物合成途径相关结构基因的功能,揭示其生物合成和代谢相关的分子机理,从而为莲黄酮类化合物的全面研究与综合利用奠定坚实的理论基础,助力莲黄酮类化合物的合成生物学研究以及规模化生产,经济效益与社会效益巨大。

参考文献:

- [1] Sun H, Li JJ, Song HY, Yang D, Deng XB, *et al.* Comprehensive analysis of AGPase genes uncovers their potential roles in starch biosynthesis in lotus seed[J]. *BMC Plant Biol*, 2020, 20 (1): 457.
- [2] Song HY, Liu YL, Dong GQ, Zhang MH, Wang YX, *et al.* Genome-wide characterization and comprehensive analysis of NAC transcription factor family in *Nelumbo nucifera*[J]. *Front Genet*, 2022, 13: 901838.
- [3] 刘鑫, 曲玮, 梁敬钰. 莲的药用研究进展[J]. *海峡药学*, 2010, 22(3): 1-5.
Liu X, Qu W, Liang JY. Research progress of *Nelumbo nucifera* Gaertn.[J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2010, 22 (3): 1-5.
- [4] Li SS, Wu J, Chen LG, Du H, Xu YJ, *et al.* Biogenesis of C-glycosyl flavones and profiling of flavonoid glycosides in lotus (*Nelumbo nucifera*) [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (10): e108860.
- [5] Shui LY, Huo KS, Chen Y, Zhang ZL, Li YF, Niu J. Integrated metabolome and transcriptome revealed the flavonoid biosynthetic pathway in developing *Vernonia amygdalina* leaves[J]. *PeerJ*, 2021, 9: e11239.
- [6] 黄秀琼, 卿志星, 曾建国. 莲不同部位化学成分及药理作用研究进展[J]. *中草药*, 2019, 50(24): 6162-6180.
Huang XQ, Qing ZX, Zeng JG. Research advances on chemical constituents and pharmacological effects of various parts of *Nelumbo nucifera* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2019, 50 (24): 6162-6180.
- [7] Feng CY, Li SS, Taguchi G, Wu Q, Yin DD, *et al.* Enzymatic basis for stepwise C-glycosylation in the formation of flavonoid di-C-glycosides in sacred lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) [J]. *Plant J*, 2021, 106 (2): 351-365.
- [8] 江汇, 章倩, 杨继元, 束智昊, 张华. 荷叶黄酮提取工艺及药理活性研究进展[J]. *山东化工*, 2022, 51(5): 79-81.
Jiang H, Zhang Q, Yang JY, Shu ZH, Zhang H. Research progress on extraction technologies and pharmacological activities of flavonoids from lotus leaf [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2022, 51 (5): 79-81.
- [9] 吴倩, 邵帅, 李珊珊, 张会金, 王亮生. 荷花花粉的类黄酮组成[J]. *植物学报*, 2015, 50(6): 721-732.
Wu Q, Shao S, Li SS, Zhang HJ, Wang LS. Composition of flavonoids in lotus pollen [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2015, 50 (6): 721-732.
- [10] Deng J, Chen S, Yin XJ, Wang K, Liu YL, *et al.* Systematic qualitative and quantitative assessment of anthocyanins, flavones and flavonols in the petals of 108 lotus (*Nelumbo nucifera*) cultivars [J]. *Food Chem*, 2013, 139 (1-4): 307-312.
- [11] Feng CY, Li SS, Yin DD, Zhang HJ, Tian DK, *et al.* Rapid determination of flavonoids in plumules of sacred lotus cultivars and assessment of their antioxidant activities [J]. *Ind Crops Prod*, 2016, 87: 96-104.
- [12] Sharma BR, Gautam LNS, Adhikari D, Karki R. A comprehensive review on chemical profiling of *Nelumbo nucifera*: potential for drug development [J]. *Phytother Res*, 2017, 31 (1): 3-26.
- [13] Zhu MZ, Liu T, Zhang CY, Guo MQ. Flavonoids of lotus (*Nelumbo nucifera*) seed embryos and their antioxidant potential [J]. *J Food Sci*, 2017, 82 (8): 1834-1841.
- [14] Liu RH, Wen XC, Shao F, Zhang PZ, Huang HL, Zhang S. Flavonoids from heartwood of *Dalbergia cochinchinensis* [J]. *Chin Herb Med*, 2016, 8 (1): 89-93.
- [15] 杨超. 莲子心黄酮类化合物及其活性研究[D]. 广州: 广东工

- 业大学, 2020: 66–67.
- [16] Ahn JH, Kim ES, Lee C, Kim S, Cho SH, *et al.* Chemical constituents from *Nelumbo nucifera* leaves and their anti-obesity effects[J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2013, 23 (12): 3604–3608.
- [17] Chen S, Wu BH, Fang JB, Liu YL, Zhang HH, *et al.* Analysis of flavonoids from lotus (*Nelumbo nucifera*) leaves using high performance liquid chromatography/photodiode array detector tandem electrospray ionization mass spectrometry and an extraction method optimized by orthogonal design[J]. *J Chromatogr A*, 2012, 1227: 145–153.
- [18] 郭兴峰. 荷花化学成分和抗氧化活性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010: 64–66.
- [19] 龚明贵, 张巧明, 尤晓颜. 超声波辅助提取荷花黄酮[J]. *农业工程*, 2013, 3(6): 99–101.
- Gong MG, Zhang QM, You XY. Ultrasonic extraction of flavonoids from lotus pollen[J]. *Agricultural Engineering*, 2013, 3 (6): 99–101.
- [20] 禹淞文, 赵大兴, 张平喜, 陈志军, 文奕峰, 薛鑫. 超声波辅助浸提荷叶黄酮的工艺优化[J]. *湖南农业科学*, 2017(11): 73–75.
- Yu SW, Zhao DX, Zhang PX, Chen ZJ, Wen YF, Xue X. Ultrasonic assisted digestion of flavanoid from lotus leaf[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2017 (11): 73–75.
- [21] Li J, Chase HA. Development of adsorptive (non-ionic) macroporous resins and their uses in the purification of pharmacologically-active natural products from plant sources[J]. *Nat Prod Rep*, 2010, 27 (10): 1493–1510.
- [22] 曾绍校, 林志钦, 陈玲, 许丽宾, 郑宝东. 莲子心总黄酮的大孔吸附树脂纯化及其抑菌活性[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2013, 42(6): 660–664.
- Zeng SX, Lin ZQ, Chen L, Xu LB, Zheng BD. Macroporous resin purification and bacteriostasis of total flavonoids from lotus-seed plumule[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2013, 42 (6): 660–664.
- [23] Zhu MZ, Wu W, Jiao LL, Yang PF, Guo MQ. Analysis of flavonoids in lotus (*Nelumbo nucifera*) leaves and their antioxidant activity using macroporous resin chromatography coupled with LC-MS/MS and antioxidant biochemical assays[J]. *Molecules*, 2015, 20 (6): 10553–10565.
- [24] 潘汇, 蔡为荣, 谢亮亮, 张杰. 运用HSCCC法分离纯化荷叶中三种黄酮及抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 161–165.
- Pan H, Cai WR, Xie LL, Zhang J. Isolation and purification of three flavonoid from lotus leaf by HSCCC and antioxidant activity evaluation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39 (16): 161–165.
- [25] 盛达成, 肖文军, 邵元元. 高速逆流色谱分离纯化荷叶黄酮槲皮素[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(4): 312–314.
- Sheng DC, Xiao WJ, Shao YY. Isolation and preparation of quercetin from flavonoids of lotus leaf by high speed counter-current chromatography[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33 (4): 312–314.
- [26] 陈海光, 余以刚, 曾庆孝. 荷叶功能成分的提取研究[J]. *食品与机械*, 2001(5): 16–17.
- Chen HG, Yu YG, Zeng QX. Extraction of functional component from lotus leaf[J]. *Food & Machinery*, 2001 (5): 16–17.
- [27] 付洋, 张良慧, 江慎华, 杨琼玉, 万严, 等. 超声-微波协同提取荷叶总黄酮工艺优化及其提取效果分析[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(18): 261–266.
- Fu Y, Zhang LH, Jiang SH, Yang QY, Wan Y, *et al.* The optimization on extraction technology of total flavonoids from lotus leaves based on simultaneous ultrasonic/microwave assisted extraction and the analysis of high efficiency[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36 (18): 261–266.
- [28] 赵洪, 胡鹏. 纤维素酶辅助提取荷叶中的总黄酮研究[J]. *山东化工*, 2016, 45(15): 4–5.
- Zhao H, Hu P. Cellulase-assisted extraction of lotus leaf total flavonoids[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2016, 45 (15): 4–5.
- [29] 蔡定建, 柳茶花, 钟鸿鸣, 刘慧, 毛林春. 莲子心中黄酮类物质的提取和测定[J]. *中国酿造*, 2010(1): 132–135.
- Cai DJ, Liu CH, Zhong HM, Liu H, Mao LC. Extraction and determination of flavonoid from plumula nelumbinis[J]. *China Brewing*, 2010 (1): 132–135.
- [30] Liu JS, Guo YJ, Zhang J, Qi YD, Jia XG, *et al.* Systematic chemical analysis of flavonoids in the Nelumbinis stamen[J]. *Phytomedicine*, 2014, 21 (13): 1753–1758.
- [31] Yang RZ, Wei XL, Gao FF, Wang LS, Zhang HJ, *et al.* Simultaneous analysis of anthocyanins and flavonols in petals of lotus (*Nelumbo*) cultivars by high-performance liquid chromatography-photodiode array detection/electrospray ionization mass spectrometry[J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216 (1): 106–112.
- [32] Kashiwada Y, Aoshima A, Ikeshiro Y, Chen YP, Furukawa H, *et al.* Anti-HIV benzyloquinoline alkaloids and flavonoids from the leaves of *Nelumbo nucifera*, and structure-activity correlations with related alkaloids[J]. *Bioorg Med Chem*, 2005, 13 (2): 443–448.
- [33] Jiang XL, Wang L, Wang EJ, Zhang GL, Chen B, *et al.* Flavonoid glycosides and alkaloids from the embryos of *Nelumbo nucifera* seeds and their antioxidant activity[J]. *Fitoterapia*, 2018, 125: 184–190.
- [34] 刘婷. 莲子心中黄酮化合物的分离鉴定与比较研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016: 32–38.

- [35] Goo HR, Choi JS, Na DH. Simultaneous determination of quercetin and its glycosides from the leaves of *Nelumbo nucifera* by reversed-phase high-performance liquid chromatography[J]. *Arch Pharm Res*, 2009, 32 (2): 201-206.
- [36] Chen GL, Fan MX, Wu JL, Li N, Guo MQ. Antioxidant and anti-inflammatory properties of flavonoids from lotus plumule[J]. *Food Chem*, 2019, 277: 706-712.
- [37] Liu M, Jiang YP, Liu R, Liu MH, Yi LZ, et al. Structural features guided "fishing" strategy to identification of flavonoids from lotus plumule in a self-built data "pool" by ultra-high performance liquid chromatography coupled with hybrid quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. *J Chromatogr B*, 2019, 1124: 122-134.
- [38] 田文月. 莲子心总黄酮、总生物碱化学成分及体内外活性研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2019: 57-70.
- [39] 宗灿华, 马山, 于国萍. 荷叶黄酮抗衰老作用研究[J]. *中国食物与营养*, 2008(10): 52-53.
Zong CH, Ma S, Yu GP. Study on anti-decrepit effects of flavonoids extracted from lotus leaves[J]. *Food and Nutrition in China*, 2008 (10): 52-53.
- [40] Tungmunthum D, Drouet S, Hano C. Flavonoids from sacred lotus stamen extract slows chronological aging in yeast model by reducing oxidative stress and maintaining cellular metabolism[J]. *Cells*, 2022, 11 (4): 599.
- [41] 林志钦. 莲子心总黄酮的提取纯化及其功能性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 66-69.
- [42] 陈勇. 荷叶黄酮提取、分离纯化及其抗氧化活性的研究[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2014: 77-82.
- [43] Klimczak I, Malecka M, Szlachta M, Gliszczynska-Swiglo A. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices[J]. *J Food Compost Anal*, 2007, 20 (3-4): 313-322.
- [44] 李慧, 潘思轶, 徐晓云. 莲子心水提物中黄酮类化合物的结构及其对RAW264.7小鼠巨噬细胞NO生成的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(2): 44-54.
Li H, Pan SY, Xu XY. Structures of flavones in lotus plumule water extract and the effect on RAW264.7 mouse' macrophage producing NO[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18 (2): 44-54.
- [45] 王晶晶, 李慧, 潘思轶, 徐晓云. 8种莲子心水提物中夏佛塔苷含量及其抗炎活性分析[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(3): 291-298.
Wang JJ, Li H, Pan SY, Xu XY. Analysis of schaftoside and it's anti-inflammatory activity in the water extracts from 8 lotus plumule[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18 (3): 291-298.
- [46] Patra JC, Chua BH. Artificial neural network-based drug design for diabetes mellitus using flavonoids[J]. *J Comput Chem*, 2011, 32 (4): 555-567.
- [47] 朱燕超. 荷叶黄酮苷与苷元的制备及其降血糖初步研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 48-52.
- [48] 李秋哲. 莲子心黄酮结构分析及其降血糖活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 84-87.
- [49] Lee MS, Chyau CC, Wang CP, Wang TH, Chen JH, Lin HH. Flavonoids identification and pancreatic beta-cell protective effect of lotus seedpod[J]. *Antioxidants*, 2020, 9 (8): 658.
- [50] 刘嵩. 荷叶黄酮提取工艺及其药理作用的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006: 56-59.
- [51] 胡榴燕. 荷叶黄酮对高血脂大鼠调节血脂及抗氧化作用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 36-41.
- [52] 薛冬娜. 荷叶总黄酮提取纯化工艺及减肥降脂作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 42-46.
- [53] 李冲, 勾玉婷, 蹇宇, 赵欣. 荷叶黄酮对D-半乳糖诱导小鼠肝损伤的改善作用[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(21): 123-131.
Li C, Gou YT, Qian Y, Zhao X. Effect of lotus leaf flavonoids on liver injury induced by D-galactose in mice[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47 (21): 123-131.
- [54] Liu TJ, Tan F, Long XY, Pan YN, Mu JF, et al. Improvement effect of lotus leaf flavonoids on carbon tetrachloride-induced liver injury in mice[J]. *Biomedicines*, 2020, 8 (2): 41.
- [55] 吴磊, 司徒领, 陈铭, 薛琪, 罗海青, 等. 荷叶总黄酮对H₂O₂诱导PC12细胞损伤的保护作用[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(9): 272-275.
- [56] 纪冰, 宋涛, 徐晟伟, 沈若武. 荷叶黄酮对大鼠心肌缺血再灌注损伤的保护作用[J]. *齐鲁医学杂志*, 2009, 24(6): 515-516.
Ji B, Song T, Xu SW, Shen RW. Protective effect of nelumbo flavone on myocardium ischemia-reperfusion injury in rat[J]. *Medical Journal of Qilu*, 2009, 24 (6): 515-516.
- [57] 张宏霞. 基于明暗箱抗焦虑中药药效评价方法及荷叶黄酮抗焦虑作用的研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2018: 54-55.
- [58] 赵海雯. 荷叶的药用价值及产品开发[J]. *现代农业科技*, 2009(18): 321-322.
Zhao HW. Medical value and product development of lotus leaf[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2009 (18): 321-322.
- [59] 龚昊, 卢殷瑶, 陈全斌. 我国对中药莲子心的研究现状综述[J]. *大众科技*, 2015, 17(2): 208-209.
Gong H, Lu YY, Chen QB. Summary of lotus plumule research status in China[J]. *Popular Science & Technology*, 2015, 17 (2): 208-209.

- [60] Mukherjee PK, Mukherjee D, Maji AK, Rai S, Heinrich M. The sacred lotus (*Nelumbo nucifera*) - phytochemical and therapeutic profile[J]. *J Pharm Pharmacol*, 2009, 61 (4): 407-422.
- [61] 李玲玲. 银杏叶荷叶总黄酮的提取及保健饮料的研制[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 106-110.
Li LL. Extraction of total flavonoids from *Ginkgo folium* leaves and *Nelumbinis folium* and development of health drink[J]. *Journal of Qufu Normal University*, 2022, 48 (1): 106-110.
- [62] 何莉萍. 荷叶降脂茶饮料的研制[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(10): 62-66.
He LP. Development of lotus leaf tea beverage for lowering blood lipids[J]. *Cereals & Oils*, 2017, 30 (10): 62-66.
- [63] Tungmunthum D, Pinthong D, Hano C. Flavonoids from *Nelumbo nucifera* Gaertn., a medicinal plant: uses in traditional medicine, phytochemistry and pharmacological activities[J]. *Medicines*, 2018, 5 (4): 127.
- [64] 冯丹. 荷叶营养保健酒的研发及其质量标准的制定[D]. 重庆: 重庆大学, 2014: 3-4.
- [65] 李松林. 荷叶糯米糕的制作工艺[J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(12): 114-116.
Li SL. Processing technology of the lotus leaf glutinous rice cake[J]. *Food Research and Development*, 2010, 31 (12): 114-116.
- [66] 陈健芬, 何卫华, 钱伏刚. 荷叶提取物口腔抑菌有效成分的定性定量分析[J]. 日用化学工业, 2003, 33(1): 49-51.
Chen JF, He WH, Qian FG. Qualitative and quantitative analysis of bacteriostatic constituents of lotus leaf extract for mouth cavity[J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2003, 33 (1): 49-51.
- [67] 王晓娜, 刘少英, 王晓梅, 孟祥璟, 杨素珍. 荷叶黄酮美白功效研究[J]. 日用化学品科学, 2019, 42(5): 21-24.
Wang XN, Liu SY, Wang XM, Meng XJ, Yang SZ. Study on the whitening efficacy of flavones in lotus leaf[J]. *Detergent & Cosmetics*, 2019, 42 (5): 21-24.

(责任编辑: 李惠英)