

# 莲不同部位的多酚纯化鉴定及生物活性研究进展

鲁亚君, 黄文, 王益, 刘莹\*

(华中农业大学食品科学技术学院果蔬加工与品质调控湖北省重点实验室, 武汉 430070)

**摘要:** 莲在我国不仅是一种观赏植物和受欢迎的食物, 也是一种重要的传统中药材。其不同部位包括莲花、莲叶、莲藕、莲子等多酚化合物(酚酸、黄酮、花青素、白藜芦醇等)含量多、种类丰富, 具有较高的抗氧化、抗菌、抗肿瘤、降糖降脂、保护神经等多种药理作用, 是疾病治疗和膳食补充的潜在来源, 因此对于莲不同部位多酚的进一步研究与开发具有重要意义。本文综述了近年来莲不同部位多酚的提取纯化方法、结构鉴定、药理活性、产品开发应用等方面的研究进展, 旨在为莲及莲不同部位多酚化合物的综合利用提供参考。希望进一步通过指纹图谱、绿色提取、废弃物开发(莲蓬壳、莲子壳等)等方面的完善, 能达到帮助提升莲资源的高值化开发利用、扩大产品市场、保障莲产业可持续发展的目的。

**关键词:** 莲; 多酚; 提取纯化; 化学组成; 药理活性

## Research progress on purification and identification and biological activity of polyphenol in different parts of the *Nelumbo nucifera* Gaertn

LU Ya-Jun, HUANG Wen, WANG Yi, LIU Ying\*

(Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing and Quality Control in Hubei Province, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**ABSTRACT:** Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn) is not only an ornamental plant and a popular food in China, but also an important traditional Chinese medicine. Abundant polyphenols (phenolic acid, flavonoids, anthocyanins, resveratrol, etc.) of different parts including lotus flower, lotus leaves, lotus root, lotus seeds have high antioxidant, anti-antibacterial, antineoplastic, hypoglycemic and hypolipidemic, nerve protection and a variety of pharmacological effects, it is the potential source of disease treatment and dietary supplement, so for further research and development of polyphenols in different parts of lotus has important significance. This paper reviewed recent progress in purification methods, structure identification, pharmacological activity, product development and application, aiming to provide a reference for the comprehensive utilization of lotus and polyphenols compounds. It is hoped that through further the improvement of fingerprint, green extraction, waste development (lotus seed pot shell, lotus seed shell, etc.), it will help improve the high-value development and utilization of lotus resources, expand the product market, and ensure the sustainable development of the lotus industry.

**KEY WORDS:** *Nelumbo nucifera* Gaertn; polyphenols; extraction and purification; chemical composition; pharmacological activity

基金项目: 湖北省农业科技创新中心农产品加工与综合利用项目(2016-620-000-001-044)

**Fund:** Supported by the Agricultural Science and Technology Innovation Center of Hubei Province, Agricultural Products Processing and Comprehensive Utilization (2016-620-000-001-044)

\*通信作者: 刘莹, 博士, 副教授, 主要研究方向为果蔬加工及高值化利用。E-mail: yingliu@mail.hzau.edu.cn

\*Corresponding author: LIU Ying, Ph.D, Associate Professor, Huazhong Agricultural University, No.1, Shishan Street, Hongshan District, Wuhan 430070, China. E-mail: yingliu@mail.hzau.edu.cn

## 0 引言

莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn)又称荷、芙蓉、芙蕖、水华等,为睡莲科多年生水生草本植物,广泛分布于中国、印度、韩国、泰国和日本等地。莲在我国不仅是一种观赏植物和受欢迎的食物,也是一种重要的传统中药,其不同部位均可入药,用于治疗如腹泻、呕血、咳嗽、发热、心律不齐和炎症等各种症状<sup>[1]</sup>,其中莲子、莲子芯、莲房、藕节、莲须、荷叶已载入《中国药典》2015年版第一部<sup>[2]</sup>。传统中医中莲子补脾止泻、益肾涩精、养心安神,用于脾虚久泻、遗精带下、心悸失眠<sup>[3]</sup>;莲子芯清心安神、交通心肾、涩精止血,用于热入心包、神昏谵语、心肾不交、失眠遗精、血热吐血;莲房具有化瘀止血的功效,主治尿血、崩漏、痔疮出血、恶露不尽、产后瘀阻等症<sup>[4]</sup>;莲须可益心肾、固精气、乌须发、悦颜色,治疗血崩吐血<sup>[5]</sup>。

酚类化合物是植物重要的次生代谢产物,近年来由于其较好的抗氧化活性作为一大研究热点被广泛关注。其化学结构至少含有一个芳香环和羟基,根据其苷元结构不同可分为酚酸、黄酮、芪类和木质素等。其中酚类物质又分为苯甲酸衍生物(如没食子酸)和肉桂酸衍生物(香豆酸和阿魏酸)两大类<sup>[6]</sup>。黄酮类化合物的共同结构是由 2 个芳香环(A 和 B)组成,再由 3 个碳原子结合在一起,形成一个氧杂杂环(环 C),由于杂环类型的不同它们又被分为 6 个亚类:黄酮醇、黄酮、异黄酮、黄烷酮、花青素和黄烷醇(图 1)<sup>[7]</sup>。

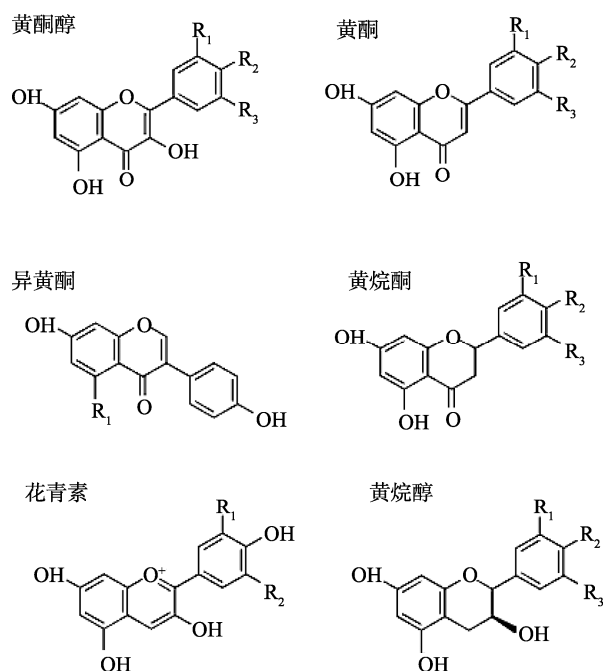


图 1 黄酮的分类  
Fig.1 Classification of flavonoids

我国莲资源丰富,但利用率较低,大量被当作废弃物丢弃,这不仅污染了环境,还造成了资源的严重浪费。目前已有的文献综述大都为莲活性成分的研究进展,全篇涉及多糖、多酚、萜类等,广而不精。为了更多地了解莲不同部位多酚的化学组成及其潜在利用价值,本文单独对近年来研究现状进行了全面综述,整理了莲不同部位多酚物质提取和鉴定的技术工艺,重点阐述了多酚抗氧化、抑菌、抗肿瘤等生物活性,以期莲不同部位多酚化合物的增效开发提供重要的理论依据。

## 1 莲不同部位多酚的提取纯化与鉴定

### 1.1 莲不同部位多酚的提取

为了更好地研究和开发莲不同部位多酚,提取和纯化技术至关重要,由于样品的复杂性,制备方法及整个提取过程都对结果有明显的影响。常见的提取方法为热水浸提、有机溶剂萃取等,但传统提取方法效率低,为提高提取率,诸多学者在莲的多酚化合物提取过程中,在溶剂浸提基础上结合不同的辅助手段如超声<sup>[8]</sup>、微波<sup>[9]</sup>、酶解<sup>[10]</sup>、高速均质<sup>[11]</sup>、组织破碎<sup>[12]</sup>等,均取得显著效果,同时提取部位<sup>[13]</sup>、成熟阶段<sup>[14]</sup>、提取溶剂<sup>[15-16]</sup>等也会对所得结果产生影响。

除此之外,大多数研究表明甲醇乙醇等有机试剂是提取多酚类物质的较好溶剂,但其溶剂毒性、提取成本等又使其有所限制,因此,需要开发适合多酚类物质的绿色、高效提取方法。HUANG 等<sup>[17]</sup>以甘油为绿色溶剂有效提取得到了莲副产物中多酚类物质,在提取时间为 97.8 min、提取温度为 77.8 °C、甘油浓度为 73.7%时总多酚含量可达(62.32±1.25) mg GAE/g DW,得率高、成本低、环境友好。目前绿色提取研究尚未深入<sup>[18-19]</sup>,需要进一步研究酚类物质与绿色溶剂之间的关系,且如何实现提取过程中对多酚的富集也值得探索(表 1)。

### 1.2 莲不同部位多酚的纯化

提取工艺的优化提高了莲不同部位多酚的得率,但在多酚粗提物中仍有很多杂质如蛋白质、脂质及糖等,进一步提高纯度有助于下一步研究。常见的纯化方法主要包括大孔吸附树脂层析<sup>[21-23]</sup>、凝胶层析、沉淀法、制备液相色谱法<sup>[24]</sup>、高速逆流色谱法<sup>[25]</sup>、有机溶剂分级<sup>[26]</sup>和膜分离法等,不同方法均表现出了不同的优越性(表 2)。分离纯化技术使得研究更加便捷,而纯化技术耗时久、有机试剂消耗大等问题还有待进一步解决。

### 1.3 莲不同部位多酚的鉴定

目前对植物多酚的鉴定手段一般为紫外光谱(ultra-violet, UV)、红外光谱(infra-red, IR)、高效/超高效液相色谱(high/ultra performance liquid chromatography, HPLC/UPLC)、电喷雾-质谱(electrospray ionization-mass

spectrometer, ESI-MS)、单/三重四极杆-飞行时间-质谱 [quadrupole/triple quadrupole-time of flight-mass spectrometer, Q/Triple (QqQ) TOFMS] 和核磁共振 (nuclear magnetic

resonance, NMR) 等色谱和质谱技术, 通过这些技术的结合应用, 越来越多的莲不同部位的多酚物质已得到鉴定与报道(表 3)。

表 1 莲不同部位多酚的提取

Table 1 Extraction of polyphenols from different parts of the *Nelumbo nucifera* Gaertn

来源	优化结果	提取结果	参考文献
荷叶	料液比 1:50.7 (g/mL)、乙醇 32.5%、微波作用时间 159.4 s	得率 4.22%	[9]
荷叶	热水浸提温度 78 °C、浸提时间 95 min、pH 4.7、料液比 1:30 (g/mL)	26.49 mg GAE/g DW	[20]
莲房	甘油浓度 40%、萃取温度 66 °C、超声时间 44 min、料液比 1:55 (g/mL)	总酚含量(92.84±2.13) mg GAE/g DW	[18]
莲房	亚临界水萃取温度 140 °C、萃取时间 20 min、料液比 1:70 (g/mL)、亚硫酸氢钠添加量为 4‰ (w:I)	178.32 mg GAE/g DW, 显著高于传统热水萃取	[19]
莲房	酶解时间 60 min、酶解温度 55 °C、酶解 pH 6、果胶酶质量与纤维素酶质量比 1:1	原花青素提取率为 4.36%	[21]
藕节	酶解(纤维素酶+果胶酶)+超滤(100 kDa 膜、转速为 600 r/min、跨膜压力 0.3 MPa、pH 5)	过滤产率最高(4.08%)	[10]
莲藕	酸醇比 22:78 (I:I)、均质时间 6.8 min、均质转速 10500 r/min	165.85 mg GAE/100 g FW	[11]
莲藕皮	料液比 1:10 (g/mL)、乙醇浓度 60%、温度 80 °C、时间 2.5 h 和浸提次数 2 次	酚粗提物得率为 2.37%, 多酚纯度为 52.99%	[22]
莲子壳(不同成熟期)	超声波提取	青熟期、半成熟期、老熟期多酚提取得率分别为 16.02%、12.98%和 8.59%	[14]
莲子壳	选择 70%丙酮为提取溶剂; 料液比 1:25.49 (g/mL)、提取时间 1.58 h、提取温度 49.90 °C	总酚、总原花色素响应值预测结果: 194.31 mg GAE/g DW、242.99 mg CE/g DW	[15]

表 2 莲不同部位多酚的纯化

Table 2 Purification of polyphenols from different parts of the *Nelumbo nucifera* Gaertn

来源	纯化方法	结果	参考文献
荷叶	金属离子沉淀→大孔树脂纯化→高速逆流色谱法	得到紫云英苷、异槲皮素及槲皮素, 纯度分别为 92.67%、90.43%、87.52%	[20]
荷叶	半制备高效液相色谱法相结合使用 LX-5MARs	槲皮素-3-O-β-D-葡萄糖醛酸含量增加了 50.1%, 纯度达 98.00%以上	[24]
荷叶	AB-8 型大孔树脂→硅胶柱色谱→硅胶、聚酰胺、Sephadex LH-20、C <sub>18</sub> 柱色谱分离	得到 8 个黄酮类物质	[27]
莲房	聚丙烯腈膜(polyacrylonitrile, PAN)→HZ-806 大孔树脂	得到的原花青素纯度在 81%以上	[28]
藕节	大孔树脂→甲醇、氯仿、乙醚和乙酸乙酯萃取	藕节鞣制纯度提高到 85%	[29]
莲子芯	硅胶柱层析、Sephadex LX-20 柱色谱、开放 ODS 柱色谱、制备型高效液相色谱法	分离得到了 18 个化学结构	[30]
莲子壳	Sephadex LH-20 凝胶过滤色谱法	得到 3 个莲子壳多酚组分	[31]

表 3 莲不同部位多酚的鉴定

Table 3 Identification of polyphenols from different parts of the *Nelumbo nucifera* Gaertn

分类	成分	部分	参考文献
酚酸	咖啡酸	莲藕, 藕节, 莲子皮渣	[10-11,15]
	鞣花酸	莲子皮渣	[15]
	香豆酸	莲藕	[11]
	对香豆酸	莲子皮渣	[15]
	没食子酸	莲藕, 莲子皮渣	[15,32]
	阿魏酸	荷叶	[33]
	没食子酸丙酯(倍丙酯)·H <sub>2</sub> O	藕节	[10]
	绿原酸	莲藕, 藕节	[10-11]
	新绿原酸	莲子皮渣	[15]

表 3(续)

分类	成分	部分	参考文献
	芹菜素	莲藕	[34]
	芹菜素-6-C-8-C-葡萄糖苷(异夏佛塔苷)	莲子心	[35]
	6-C-葡萄糖基-8-C-芹菜素(夏佛塔苷)	莲子心	[36]
	芹菜素-6-C-葡萄糖基-8-C-阿拉伯糖苷	莲子心	[35]
	芹菜素-8-C-葡萄糖苷(牡荆素)	莲子心, 荷花	[35-36]
	6-C-鼠李糖基-8-C-葡萄糖基-芹菜素	莲子心	[36]
	芹菜素 6-C-葡萄糖苷(异牡荆素)	莲子心, 荷花	[36-37]
黄酮	木犀草素- $\beta$ -D-葡萄糖苷	莲子心	[38]
	木犀草素-6-C-葡萄糖基-8-C-阿拉伯糖苷	莲子心	[35]
	6-C-葡萄糖基-8-C-戊糖基木犀草素	莲子心	[36]
	木犀草素-6-C-葡萄糖苷(异荭草素)	莲子心, 荷花	[35-36]
	木犀草素-8-C-葡萄糖苷(荭草素)	莲子心, 荷花	[35-36]
	木犀草素-7-O-新橙皮糖苷	莲子心	[35]
	木犀草素-7-O-芸香苷	莲子心	[36]
	丁香亭-3-葡萄糖醛酸	莲房, 荷花	[17,36]
	香叶木素-7-O-芸香苷(香叶木苷)	莲子心	[35]
	芦丁	荷叶, 莲藕, 藕节, 莲子皮渣, 莲子心, 荷花	[10-11,15,35-36,39]
	槲皮素-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷酸	荷叶, 荷花, 莲房	[36,39-40]
	槲皮素-3-O- $\beta$ -D-吡喃木糖-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-半乳糖苷	荷叶	[39]
	槲皮素-3-O-阿拉伯吡喃(1 $\rightarrow$ 2)-半乳糖苷	荷花	[36]
	槲皮素-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸苷	荷叶	[33]
	槲皮素 3-O-半乳糖苷(金丝桃苷)	荷叶, 莲房, 莲子壳, 莲房, 莲子心, 荷花	[14,17,35-36,39,41]
槲皮素-3-O-新橙皮糖苷	莲子心	[36]	
槲皮素 3-O-葡萄糖苷(异槲皮苷)	荷叶, 莲房, 莲子壳, 莲子心, 荷花	[14,35-36,39-40]	
槲皮素-7-O-葡萄糖醛酸苷	莲子皮渣	[15]	
槲皮素	荷叶, 莲房, 莲子壳, 荷花花瓣	[15,23,27,41]	
异槲皮素	莲房	[19]	
山奈酚	荷叶, 莲房, 莲子壳, 莲子皮渣, 莲子心	[15,23,27,41-42]	
山奈酚-3-O-洋槐糖苷	莲子心, 荷花	[35-36]	
山奈酚-3-O-葡萄糖醛酸苷	莲房, 荷花	[19,36]	
黄酮醇	山奈酚-3-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷(紫云英苷)	荷花, 荷叶	[27,36]
	山奈酚-3-O-葡萄糖苷	莲房, 莲子皮渣, 莲子心	[15,19,35]
	山奈酚-3-O-半乳糖苷	莲子皮	[36]
	山奈酚-3-O-葡萄糖-鼠李糖	莲子壳	[23]
	山奈酚-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	莲子心	[43]
	异鼠李素	荷叶, 莲房, 莲子皮渣	[15,19,27]
	异鼠李素-3-O-新橙皮苷	莲子心	[36]
	异鼠李素-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	荷叶	[33]
	异鼠李素-O-脱氧己糖-己糖糖苷	莲子壳	[23]
	异鼠李素-3-O-芸香苷	莲子心, 荷花	[35-36]
	异鼠李素-O-己糖	莲子壳	[23]
	杨梅黄酮-己糖糖苷	莲子壳	[23]
	杨梅素-3-O-葡萄糖醛酸苷	莲子皮渣, 荷花	[15,36]
	杨梅素-3-O-半乳糖苷	荷花	[36]
	杨梅素-3-O-葡萄糖苷酸	莲房	[18]

表 3(续)

分类	成分	部分	参考文献	
黄烷酮	根皮苷	莲子壳	[31]	
	金圣草素-7-O- $\alpha$ -L-吡喃鼠李糖基-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷	莲子心	[42]	
	柯伊利素-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	荷叶	[27]	
	矢车菊素-3-O-葡萄糖苷	莲房, 莲子壳, 荷花	[19,31,44-45]	
	矢车菊素-3-O-丙二酰葡萄糖苷	荷花	[45]	
	矢车菊素-3,5-O-二葡萄糖苷	荷花	[45]	
	花青素	矮牵牛素-3-O-葡萄糖苷	荷花	[45]
		飞燕草素-3-O-葡萄糖苷	荷花	[44]
		飞燕草素-3-O-芸香糖苷	荷花	[44]
		芍药花素-3-O-葡萄糖苷	荷花	[44]
锦葵素-3-O-葡萄糖苷		荷花	[43]	
表儿茶素		莲房, 莲藕, 莲子壳, 莲子皮渣	[11,14-15,19]	
(-)-表儿茶素-3-没食子酸酯		藕节	[10]	
儿茶素		莲房, 莲蓬, 荷叶, 莲子壳, 莲子皮渣	[14-15,19,33,41]	
(表)没食子儿茶素		莲房, 莲子皮渣	[15,19]	
(表)没食子儿茶素-(表)儿茶素 1 和 2		莲房	[19]	
(表)儿茶素-(表)没食子儿茶素 1 和 2	莲房	[19]		
黄烷醇	邻苯二酚	莲藕, 莲子皮渣	[15,32]	
	原花青素二聚体 1	莲房, 莲子皮渣	[15,19]	
	原花青素二聚体 2	莲房, 莲子皮渣	[15,19]	
	原花青素二聚体 3	莲房, 莲子皮渣	[15,19]	
	原花青素二聚体 4	莲房, 莲子皮渣	[15,19]	
	原花青素三聚体 1	莲房	[19]	
	原花青素三聚体 2	莲房	[19]	
	原花青素三聚体 3	莲房	[19]	
	原花青素三聚体 4	莲房	[19]	
	芪类	白藜芦醇	莲藕	[11]

## 2 莲不同部位多酚的药理活性

研究表明莲不同部位多酚具有多种药理活性, 如抗氧化、抑菌、抗肿瘤等, 是疾病治疗和膳食补充潜在来源。

### 2.1 抗氧化

植物多酚以苯酚为基本骨架, 苯酚的多羟基取代基为主要特征。由于其邻位酚羟基极易被氧化, 能消耗环境中的氧, 且对活性氧等自由基有较强的捕捉能力, 能抑制脂质过氧化, 从而对自由基诱发的机体损伤能起到有效的保护作用<sup>[46]</sup>。大量体内体外模型研究<sup>[9,15,47-48]</sup>表明莲不同部位多酚提取物具有抗氧化活性, 主要表现在能有效地清除自由基、螯合金属离子、抑制油脂自动氧化、抑制糖基化终产物产生等。李泱<sup>[29]</sup>根据细胞模型得出, 藕节鞣制对过氧化氢诱导小鼠红细胞氧化溶血以及小鼠红细胞自氧化溶血都有一定抑制效果。此外, 生物体内的内源性抗氧化系统使得大小鼠模

型能够更好地模拟抗氧化物质的体内作用, 更具有参考价值。诸多研究表明莲不同部位多酚尤其是其中的原花青素组分能够通过提高抗氧化剂及抗氧化酶的水平达到保护神经损伤的作用, 如通过降低脑组织内氧化应激损伤的程度, 而发挥其对老年鼠脑组织的保护作用<sup>[49]</sup>。同样莲房原花青素、莲子乙醇提取物在改善老年痴呆方面<sup>[50-51]</sup>及改善焦虑和抑郁方面<sup>[52]</sup>亦有显著作用。

### 2.2 抑菌活性

近年植物提取物的抑菌研究通常认为植物提取物中所含酚类化合物与微生物的细胞壁与细胞膜发生作用, 破坏其细胞壁结构, 细胞膜通透性与流动性增加, 从而导致微生物细胞膜结构破坏, 产生不可逆损伤, 最终导致细胞失活死亡<sup>[53]</sup>。刘晓艳等<sup>[54]</sup>用荷叶黄酮提取物进行抑菌实验, 得出荷叶黄酮对大肠杆菌、荧光假单胞菌、铜绿假单胞菌、酵母菌的最低抑菌浓度分别为 5.30、6.26、6.26、5.30 mg/100 mL, 抑

菌效果较为理想, 是一种理想的天然抑菌物质。张轶等<sup>[55]</sup>也进一步探究了荷叶黄酮提取物对食源性致病菌的抑菌效果, 得出荷叶黄酮溶液对蜡样芽孢杆菌的最小抑菌浓度为 1.0 mg/mL, 对枯草芽孢杆菌的最小抑菌浓度为 1.5 mg/mL, 对福氏志贺菌的最小抑菌浓度为 3.5 mg/mL。此外, 多酚提取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特氏菌和枯草芽孢杆菌 5 种细菌均有抑制能力<sup>[56]</sup>。

### 2.3 抗肿瘤

肿瘤是危害人类健康最严重的疾病之一, 严重危及人类生命和健康。化学药物的毒性使得探索低毒性的天然活性成分成为新趋势。体内体外研究结果指向莲不同部位多酚提取物对许多癌症都具有潜在预防和治疗作用, 更多地表现为抑制肿瘤细胞增殖、迁移、侵袭和诱导肿瘤细胞凋亡<sup>[57]</sup>。此外, 莲房原花青素在结肠癌中也具有显著的抑制肿瘤恶性生物学行为的作用, 其具体机制可能是通过抑制 ras 相关 C3 肉毒菌毒物底物 1/磷脂酰肌醇 3-激酶/丝氨酸-苏氨酸蛋白激酶 (ras-related C3 botulinum toxin substrate/phosphatidylinositol 3-kinase/protein-serine-threonine kinase, RAC1/PI3K/AkT) 信号传导途径实现的<sup>[58]</sup>。CHANG 等<sup>[59]</sup>以富含多酚黄酮花青素的荷叶水相提取物为原料发现其可通过下调结缔组织生长因子介导的磷脂酰肌醇 3-激酶/丝氨酸-苏氨酸蛋白激酶/细胞外信号调节激酶 (extracellular signal-regulated kinase, ERK) 信号抑制乳腺癌细胞的血管生成和转移, 从而有助于治疗耐药三阴性乳腺癌。刘正欢等<sup>[60]</sup>发现荷叶总黄酮可下调 3 种前列腺癌细胞(LN Cap、DU145、PC3)中 Ki67 蛋白表达, 并诱导相关细胞凋亡。且在动物实验中也表现不同浓度荷叶总黄酮灌胃喂养组肿瘤体积生长速率均明显低于纯净水灌胃喂养组。JIA 等<sup>[61]</sup>将荷叶黄酮应用于人肺癌 A549 细胞, 发现其可以通过调节活性氧/p38 丝裂原活化蛋白激酶(reactive oxygen species/p38 mitogen-activated protein kinases, ROS/p38 MAPK)通路诱导人肺癌 A549 细胞凋亡。此外, 莲子皮、莲房多酚提取物均表现出了对 HepG2(人肝癌 G2 细胞)的抗增殖活性<sup>[41,62]</sup>。

### 2.4 降糖降脂

高血糖、高血脂等疾病能通过增加糖氧化应激而造成对器官和组织的损害<sup>[63]</sup>, 并给全球卫生保健系统带来沉重的财政负担。诸多研究表明多酚提取物在降糖降脂<sup>[64-65]</sup>方面也表现出了较高的活性。LI 等<sup>[66]</sup>的一项高脂血症大鼠体内研究中, 莲蓬低聚原花青素可以通过调节脂肪乳化和消化来部分调节脂质稳态, 降低大鼠的总血清甘油三酯和总胆固醇, 并提高高密度脂蛋白水平。LIU 等<sup>[67]</sup>研究了荷叶提取物对甘油三酯积累和促进脂肪分解的作用, 得出其可以通过调节脂肪和糖的吸收来控制新陈代谢的能力。张露等<sup>[68]</sup>用 90%甲醇提取的莲蓬壳、莲壳和莲衣提取物均具有很强的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制能力, 且抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的能力分别为阿卡波糖的 85 倍、32.9 倍、21.7 倍。

LI 等<sup>[69]</sup>通过测定小鼠体重、空腹血糖水平、口服葡萄糖耐量实验及分析链脲佐菌素糖尿病小鼠模型的各项生理指标评价荷叶黄酮的降血糖活性, 得出荷叶黄酮具有较好的抗糖尿病活性。以上研究均表明莲不同部位多酚提取物的开发能为肥胖和 II 型糖尿病等疾病提供新的治疗方法。

### 2.5 其他活性研究进展

莲的不同部位多酚提取物还具有许多其他生理活性, LIU 等<sup>[70]</sup>通过腹腔注射 CCl<sub>4</sub> 诱导昆明小鼠肝损伤得出荷叶黄酮明显降低 CCl<sub>4</sub> 致肝损伤小鼠肝脏指数和血清天冬氨酸转氨酶、丙氨酸转氨酶、甘油三酯、总胆固醇水平; 有效减少 CCl<sub>4</sub> 处理肝组织的形态不完整和肝细胞坏死; 显著上调抗氧化酶的 mRNA 表达水平, 下调肿瘤坏死因子- $\alpha$  (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )、核因子  $\kappa$ B (nuclear factor kappa-B, NF- $\kappa$ B) 和白细胞介素-1 $\beta$  (interleukin-1 $\beta$ , IL-1 $\beta$ ) 的表达 ( $P < 0.05$ ), 从而达到改善肝脏损伤的作用。李冲等<sup>[71]</sup>采用 D-半乳糖诱导建立小鼠肝损伤模型发现荷叶黄酮能通过抵御氧化应激损伤, 抑制 TNF- $\alpha$ 、白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6) 和 IL-1 $\beta$  的表达, 促进白细胞介素-10 (interleukin -10, IL-10) 的表达来达到改善小鼠肝损伤的作用。

此外, 荷叶多酚提取物还有提高睡眠量和质量<sup>[72]</sup>、预防动脉粥样硬化<sup>[73]</sup>等功效。但需要注意的是更多的活性研究是以粗多酚为原料进行, 其中混有不同浓度的皂苷、生物碱、萜类化合物等<sup>[51]</sup>, 其诸多药理活性可能是多种物质共同作用的结果<sup>[74]</sup>, 之后的研究仍需要提高其纯度, 减少其他成分的影响, 并进一步研究多种成分如何发挥共同作用。

### 3 莲不同部位多酚提取物应用与产品开发

目前各种植物的多酚提取物由于其抗氧化活性好、安全毒性小、抑菌效果好<sup>[13]</sup>, 使其应用于食品添加剂、化妆品等行业具有很大前景。如应用于油脂以及高脂肪食品中<sup>[1,75]</sup>提高其营养价值的同时通过其较好的抗氧化能力达到延缓产品变质、延长产品货架期的目的。化妆品应用方面证明了荷叶黄酮提取物的添加质量分数在 1.00% 及以下时无细胞毒性, 在 0.02%~0.30% 内均可显著抑制酪氨酸酶活力, 添加到护肤霜中可起到美白的效果<sup>[76]</sup>。目前莲不同部位多酚提取物的应用范围较窄, 仍有广阔的发展空间。

### 4 结束语

目前莲不同部位多酚的研究还处在初步阶段, 种类活性及其机制还有待更完善的探索, 为了更大程度提高其利用价值, 未来研究可以从以下几个方面进一步探讨: 1) 品种、部位、成熟阶段等对多酚的定性和定量都会产生不同的影响, 建立更全面的指纹图谱有利于更大价值的开发与利用; 2) 结合更多绿色、高效分离纯化技术手段得到更多、纯度更高的多酚提取物进行活性研究; 3) 目前莲的开发利用主要为直接添加原材料, 而对单一化合物的开发力度还不够, 其抗氧化、抑菌

等活性使其在食品、化妆品、医药等领域还有着巨大的开发潜力; 4) 目前研究原料主要集中在荷叶、莲子心、荷房等部位, 对废弃物如莲子壳、莲蓬壳、藕皮等研究还不够深入。通过以上几个方面的完善, 希望能够帮助提升莲资源的高值化开发利用, 扩大产品市场, 保障莲产业可持续发展。

## 参考文献

- QI SJ, ZHOU DL. Lotus seed epicarp extract as potential antioxidant and anti-obesity additive in Chinese cantonese sausage [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(2): 257–262.
- 宋静. 莲须和莲房的化学成分研究[D]. 昆明: 云南中医药大学, 2020. SONG J. Study on the chemical constituents of nelumbinis stamen and nelumbinis receptaculum [D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2020.
- 朱洪涛, 赵克谊. 几种同科属中药材不同药用部位之功效对比几种同科属中药材不同药用部位之功效对比[J]. *湖南中医药导报*, 2003, (4): 65. ZHU HT, ZHAO KY. Functional comparison for the same category several Chinese herbs' different positions [J]. *Hunan Tradit Chin Med Guide*, 2003, (4): 65.
- 李国群. 中药莲房活性成分的筛选及其抗氧化与抗炎机制的初步研究[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2021. LI GQ. Screening of active components of lotus seedpod and preliminary study on its anti-oxidation and anti-inflammatory mechanism [D]. Nanchang: Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2021.
- 李时珍. 本草纲目[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1975. LI SZ. *Compendium of Materia Medica* [M]. Beijing: People's Health Press, 1975.
- 徐雨生, 廖川江, 申科, 等. 植物多酚的功效及其作用机理综述[J]. *普洱学院学报*, 2021, 37(3): 6–9. XU YS, LIAO CJ, SHEN K, *et al.* Review of the efficacy and action mechanism of plant polyphenols [J]. *J Puer Univ*, 2021, 37(3): 6–9.
- MANACH C, SCALBERT A, MORAND C, *et al.* Polyphenols: Food source and bioavailability [J]. *Am J Clin Nutr*, 2004, 79: 727–747.
- 王占一, 葛笑昆, 周婉梅, 等. 藕节多酚超声波辅助提取工艺优化及其抗油脂氧化能力研究[J]. *中国油脂*, 2020, 350(4): 58–62. WANG ZY, GE XK, ZHOU WM, *et al.* Optimization of ultrasound -assisted extraction of polyphenols from lotus rhizome node and its antioxidation ability on oils and fats [J]. *China Oils Fats*, 2020, 350(4): 58–62.
- 赵晓云, 赵博, 邢媛媛, 等. 荷叶多酚的微波辅助提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *中国酿造*, 2010, 29(3): 79–83. ZHAO XY, ZHAO B, XING YY, *et al.* Optimization of microwave -assisted extraction technology of polyphenols from lotus-leaf and oxidation activity [J]. *China Brew*, 2010, 29(3): 79–83.
- ZHU ZZ, LI SY, HE JR, *et al.* Enzyme-assisted extraction of polyphenol from edible lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome knot: Ultra-filtration performance and HPLC-MS<sup>2</sup> profile [J]. *Food Res Int*, 2018, 111: 291–298.
- 徐燕燕. 莲藕不同部位多酚组成及抗氧化活性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015. XU YY. Study on the composition and antioxidant activities of phenolics from different parts of lotus root [D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2015.
- 林小柯, 杨伊莉, 葛彬洁, 等. 组织破碎法提取莲蓬中的原花青素工艺研究[J]. *食品安全导刊*, 2019, 12: 118–119. LIN XK, YANG YL, GE BJ, *et al.* Study on proanthocyanidin extraction from lotus seedpod by tissue fragmentation method [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2019, 12: 118–119.
- PENGGON S, CHINATANGKUL N, LIMMATVAPIRAT C, *et al.* Development of antimicrobial nanoemulsions containing *Nelumbo nucifera* extract [J]. *Key Eng Mater*, 2020, 859: 226–231.
- 马双双. 莲子壳多酚的提取、分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. MA SS. Study on extraction, purification, identification and antioxidant activity of polyphenols from lotus seed epicarp [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- 蒋蕾. 莲子皮渣中酚类物质及其抗氧化活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019. JIANG L. Research on phenolic compounds and the antioxidant activity of lotus seed epicarp residue [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- JIRAPORN LO, CHURDSAK J, KANOKPORN S, *et al.* Phytochemical screening, antioxidant and sperm viability of *Nelumbo nucifera* petal extracts [J]. *Plants*, 2021, 10(7). DOI: 10.3390/PLANTS10071375
- HUANG H, BELWAL T, JIANG L, *et al.* Valorization of lotus byproduct (*Receptaculum nelumbinis*) under green extraction condition [J]. *Food Bio Prod Process*, 2019, 110–117. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.03.006
- BAO NN, WANG D, FU XZ, *et al.* Green extraction of phenolic compounds from lotus seedpod (*Receptaculum nelumbinis*) assisted by ultrasound coupled with glycerol [J]. *Foods*, 2021, 10: 239.
- 颜征. 莲房多酚的亚临界水萃取、组成及活性评价[D]. 镇江: 江苏大学, 2020. YAN Z. Subcritical water extraction, composition and activity evaluation of polyphenols from lotus seedpod [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2020.
- 潘汇. 荷叶中多酚类物质的提取、分离及抗氧化构效关系的研究[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2018. PAN H. Study on extraction, isolation and antioxidant structure-activity relationship of polyphenols in lotus leaf [D]. Wuhu: Anhui University of Engineering, 2018.
- 黄爱妮, 李丽, 文卓琼, 等. 双酶辅助提取莲房原花青素的工艺及其抗氧化性研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(10): 104–108. HUANG AIN, LI L, WEN ZQ, *et al.* Study on the extraction of procyanidins from *Receptaculum nelumbinis* by double enzymes and antioxidant properties [J]. *J Cere Oils*, 2020, 33(10): 104–108.
- 刘焕云, 刘月英, 陈延峰, 等. 莲藕皮多酚的提取及抗氧化性能研究[J]. *林产化学与工业*, 2011, 31(2): 87–90. LIU HY, LIU YY, CHEN YF, *et al.* Extraction of polyphenols from lotus rhizome peel and its antioxidant activity [J]. *Forest Chem Ind*, 2011, 31(2): 87–90.
- 黄迪惠. 莲子壳黄酮的分离纯化、结构及抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. HUANG DH. Isolation, purification, structure and antioxidant activity of flavonoids from lotus seed shell [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- LI F, SUN XY, LI XW, *et al.* Enrichment and separation of quercetin-3-O- $\beta$ -D-glucuronide from lotus leaves (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) and evaluation of its anti-inflammatory effect [J]. *J Chromatogr B*, 2017, 1040: 186–191.
- 凌智辉, 肖蓓, 岳芊羽, 等. 荷叶黄酮分离鉴定及不同干燥方法对荷叶黄酮及荷叶碱含量影响[J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(10): 1730–1736, 1746. LING ZH, XIAO B, YUE QY, *et al.* Isolation and identification of flavonoids

- from lotus leaf and effects of drying methods on the content of flavonoid and nuciferine [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2020, 32(10): 1730–1736, 1746.
- [26] 李绮丽. 莲子皮低聚原花青素分级分离、组分鉴定与抗氧化机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- LI QL. Studies on isolation and identification and antioxidant activity of oligomeric proanthocyanidins from lotus seed peel [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [27] 王玲玲, 刘斌, 石任兵, 等. 荷叶黄酮类化学成分研究[J]. *北京中医药大学学报*, 2008, (2): 48–50.
- WANG LL, LIU B, SHI RB, *et al.* Flavonoid chemical compositions of folium nelumbinis [J]. *J Beijing Univ Tradit Chin Med*, 2008, (2): 48–50.
- [28] 张娣, 刘浩东, 张慧, 等. PAN 膜-大孔树脂分离纯化莲房原花青素[J]. *化学工程与装备*, 2017, (8): 4–6.
- ZHANG D, LIU HD, ZHANG H, *et al.* Separation and purification of procyanidins from lotus seedpod by PAN membrane and macroporous resin [J]. *Chem Eng Equip*, 2017, (8): 4–6.
- [29] 李洪. 莲藕藕节鞣质提取纯化及其抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- LI Y. Studies on the technique of extract and purification and its anti-oxidant ability of tannin from nodes of lotus root [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [30] 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.
- YANG C. Study on flavone composition and its activity of *Plumula nelumbinis* [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2020.
- [31] MA ZL, HUANG Y, HUANG W, *et al.* Separation, identification, and antioxidant activity of polyphenols from lotus seed epicarp [J]. *Molecules*, 2019, 24(21): 4007.
- [32] 王清章, 彭光华, 金悠, 等. 莲藕中酚类物质的提取分析及酶促褐变底物的研究[J]. *分析科学学报*, 2004, 20(1): 38–40.
- WANG QZ, PENG GH, JIN Y, *et al.* Extraction and analysis of phenols from lotus root and study on enzymatic browning substrate [J]. *J Anal Sci*, 2004, 20(1): 38–40.
- [33] 蒋锡兰, 王伦, 李甫, 等. 荷叶的抗氧化活性成分[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, 23(1): 89–94.
- JIANG XL, WANG L, LI F, *et al.* Antioxidant components of lotus leaf [J]. *J Appl Environ Biol*, 2017, 23(1): 89–94.
- [34] 张翔. 藕和藕节的化学成分研究[D]. 昆明: 云南中医药大学, 2019.
- ZHANG S. Studies the constituents in the rhizoma nelumbinis and rhizomatis nodus of *Nelumbo nucifera* gaertn [D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2019.
- [35] ZHU MZ, LIU T, ZHANG C, *et al.* Flavonoids of lotus (*Nelumbo nucifera*) seed embryos and their antioxidant potential [J]. *J Food Sci*, 2017, 82(8): 1834–1841.
- [36] LI SS, WU J, CHEN LG, *et al.* Biogenesis of C-glycosyl flavones and profiling of flavonoid glycosides in lotus (*Nelumbo nucifera*) [J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e108860.
- [37] 刘婷. 莲子心中黄酮类化合物的分离鉴定与比较研究[D]. 武汉: 中国科学院研究生院(武汉植物园), 2016.
- LIU T. Isolation and identification of flavonoids *Nelumbinis plumula* and the comparison of flavonoids *Nelumbinis plumula* from four different districts [D]. Wuhan: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Wuhan Botanical Garden), 2016.
- [38] 吕晶, 韩栋年, 金磊, 等. 莲子心化学成分研究[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(73): 107–108.
- LV J, HAN DN, JIN L, *et al.* Chemical constituents of lotus plumula [J]. *World Latest Med Inform*, 2018, 18(73): 107–108.
- [39] KASHIWADA Y, AOSHIMA A, IKESHIRO Y, *et al.* Anti-HIV benzyloisoquinoline alkaloids and flavonoids from the leaves of *Nelumbo nucifera*, and structure-activity correlations with related alkaloids [J]. *Chem Inform*, 2005, 36(22): 443–448.
- [40] 宋静, 陈亚南, 饶高雄. 莲房化学成分的分离鉴定[J]. *中国医药科学*, 2020, 10(23): 83–85, 173.
- SONG J, CHEN YN, RAO GX. Isolation and identification of chemical constituents from lotus seedpod [J]. *Chin Med Sci*, 2020, 10(23): 83–85, 173.
- [41] SHEN YB, GUAN YF, SONG X, *et al.* Polyphenols extract from lotus seedpod (*Nelumbo nucifera* Gaertn.): Phenolic compositions, antioxidant, and antiproliferative activities [J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7(3): 3062–3070.
- [42] 李希珍. 莲子心化学成分及生物活性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- LI XZ. Studies on the chemical constituents and bioactivities of plumula nelumbinis [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [43] 吕纱平, 潘胜浪. 莲子心中二种黄酮类化合物的分离与鉴定[J]. *广东化工*, 2015, 42(15): 19.
- LV SP, PAN SL. Separation and identification of two flavonoids from *Plumula nelumbinis* [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2015, 42(15): 19.
- [44] KATORI M, WATANABE K, NOMURA K, *et al.* Cultivar differences in anthocyanin and carotenoid pigments in the petals of the flowering lotus (*Nelumbo* spp.) [J]. *J Jpn Soc Hortic Sci*, 2002, 71(2): 473–479.
- [45] 李珊珊, 吴倩, 袁茹玉, 等. 莲属植物类黄酮代谢产物的研究进展[J]. *植物学报*, 2014, 49(6): 738.
- LI SS, WU Q, YUAN RY, *et al.* Advances in the study of flavonoid metabolites in lotus plants [J]. *Chin Bull Bot*, 2014, 49(6): 738.
- [46] SHI B. Plant polyphenol [M]. Hongkong: Science Press, 2000.
- [47] CHEN GL, FAN MX, WU JL, *et al.* Antioxidant and anti-inflammatory properties of flavonoids from lotus plumule [J]. *Food Chem*, 2019, 277: 706–712.
- [48] KREDY HM, HUANG DH, XIE BJ, *et al.* Flavonols of lotus (*Nelumbo nucifera*, Gaertn.) seed epicarp and their antioxidant potential [J]. *Eur Food Res Technol*, 2010, 231(3): 387–394.
- [49] 姚惠. 莲房原花青素对丙烯酰胺致神经细胞损伤的预防作用及机制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- YAO H. Preventive effects and mechanism of lotus seedpod procyanidins on acrylamide-induced nerve cell injury [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [50] 赵思琪. 莲房原花青素对阿尔茨海默病小鼠认知功能的改善作用及其机制研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2019.
- ZHAO SQ. Study on the ameliorating cognitive impairment and the mechanisms of procyanidins extracted from the lotus seedpod in APP/PS1 transgenic mice [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019.
- [51] GONG YS, LIU LG, XIE BJ, *et al.* Ameliorative effects of lotus seedpod proanthocyanidins on cognitive deficits and oxidative damage in senescence-accelerated mice [J]. *Behav Brain Res*, 2008, 194(1): 100–107.
- [52] RAJPUT MA, KHAN RA. Phytochemical screening, acute toxicity, anxiolytic and antidepressant activities of the *Nelumbo nucifera* fruit [J]. *Metab Brain Dis*, 2017, 32(3): 743–749.
- [53] XU YF, SHI C, WU Q, *et al.* Antimicrobial activity of punicalagin against *Staphylococcus aureus* and its effect on biofilm formation [J]. *Foodborne Pathog Dis*, 2017, 14(5): 282.
- [54] 刘晓艳, 陈海光, 叶思平, 等. 荷叶黄酮提取及对肉类腐败菌抑菌活性



- 研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(8): 25–29.
- LIU XY, CHEN HG, YE SP, *et al.* Study on the extraction and antibacterial activity of lotus leaves flavonoid [J]. Food Res Dev, 2015, 36(8): 25–29.
- [55] 张轶, 郭金峰, 吕佳, 等. 荷叶黄酮对食源性致病菌的抑菌活性初步研究[J]. 中国微生态学杂志, 2015, 27(6): 638–641.
- ZHANG Y, GUO JF, LV J, *et al.* Antimicrobial activity of lotus leaf flavonoids on food-borne pathogens [J]. Chin J Microecol, 2015, 27(6): 638–641.
- [56] 黄素英. 莲子多酚提取及其抗氧化抑菌活性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- HUANG SY. Study on the extraction technology antioxidation and antibacterial activity of lotus-seed polyphenols [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.
- [57] 段玉清. 莲原花青素对皮肤的保护作用及其分子机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- DUAN YQ. Protective effect of procyanidins from lotus seedpod on skin and its molecular mechanism [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004.
- [58] 张毅, 马丹丹, 龚齐, 等. 莲房原花青素调控 RAC1/PI3K/AKT 信号途径抑制结肠癌的增殖、迁移与侵袭[J]. 医学研究生学报, 2021, 34(6): 580–585.
- ZHANG Y, MA DD, GONG Q, *et al.* Lotus seed procyanidin inhibits the proliferation, migration and invasion of colon cancer by inhibiting RAC1/PI3K/AKT signaling pathway [J]. J Med Postgra, 2021, 34(6): 580–585.
- [59] CHANG CH, OU TT, YANG MY, *et al.* *Nelumbo nucifera* gaertn leaves extract inhibits the angiogenesis and metastasis of breast cancer cells by downregulation connective tissue growth factor (CTGF) mediated signaling [J]. J Ethnopharmacol, 2016, 188: 111–122.
- [60] 刘正欢, 廖邦华, 夏超, 等. 荷叶总黄酮抑制前列腺癌细胞增殖的研究[J]. 中国医药, 2018, 13(12): 1865–1869.
- LIU ZH, LIAO BH, XIA C, *et al.* Total flavonoids of lotus leaves inhibits human-derived prostate cancer cells proliferation [J]. China Med, 2018, 13(12): 1865–1869.
- [61] JIA XB, ZHANG Q, XU L, *et al.* Lotus leaf flavonoids induce apoptosis of human lung cancer A549 cells through the ROS/p38 MAPK pathway [J]. Biol Res, 2021, 54(1). DOI: 10.1186/s40659-021-00330-w
- [62] YAN Z, LUO XP, CONG JL, *et al.* Subcritical water extraction, identification and antiproliferation ability on HepG2 of polyphenols from lotus seed epicarp [J]. Ind Crop Prod, 2019, 129: 472–479.
- [63] BALANDRANO DDH, CHAI Z, HUTABARAT RP, *et al.* Hypoglycemic and hypolipidemic effects of blueberry anthocyanins by AMPK activation: *In vitro* and *in vivo* studies [J]. Redox Biol, 2021, 46: 102100–102113.
- [64] PARK EJ, CHO HW, PARK YJ, *et al.* *In vitro* biological activities of lotus (*Nelumbo nucifera*) leaves extract [J]. J Appl Biol Chem, 2021, 64(2): 121–125.
- [65] LIU YT, LAI YH, LIN HH, *et al.* Lotus seedpod extracts reduced lipid accumulation and lipotoxicity in hepatocytes [J]. Nutrients, 2019, 11(12): 2895–2909.
- [66] LI X, CHEN Y, LI S, *et al.* Oligomer procyanidins from lotus seedpod regulate lipid homeostasis partially by modifying fat emulsification and digestion [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(16): 4524–4534.
- [67] LIU E, TSUBOI H, IKEGAMI S, *et al.* Effects of *Nelumbo nucifera* leaf extract on obesity [J]. Plant Food Hum Nurt, 2021, 76: 377–384.
- [68] 张露, 黄祥霞, 涂宗财, 等. 5 种莲副产物中活性成分及其抗氧化、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性比较[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 33–38.
- ZHANG L, HUANG XX, TU ZC, *et al.* Comparison of bioactive compounds, antioxidant activity and  $\alpha$ -glucosidase inhibition activity of five by-products from lotus seed production [J]. Food Sci, 2018, 39(9): 33–38.
- [69] LI QZ, LI XQ, ZHENG BD, *et al.* The optimization of ultrasonic-microwave assisted synergistic extraction of lotus plumule extract rich in flavonoids and its hypoglycemic activity [J]. Food Prod Process Nutr, 2021, 3(1). DOI: 10.1186/S43014-021-00063-Z
- [70] LIU TJ, TAN F, LONG XY, *et al.* Improvement effect of lotus leaf flavonoids on carbon tetrachloride-induced liver injury in mice [J]. Biomedicines, 2020, 8(2): 41.
- [71] 李冲, 勾玉婷, 蹇宇, 等. 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, *et al.* Effect of lotus leaf flavonoids on liver injury induced by D-galactose in mice [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(21): 123–131.
- [72] SINGEUN K, KIBAE H, KYUNGAE J, *et al.* Quercetin-3-O-glucuronide in the ethanol extract of lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) enhances sleep quantity and quality in a rodent model via a GABAergic mechanism [J]. Molecules, 2021, 26(10). DOI: 10.3390/MOLECULES26103023
- [73] DAI JC, YI LW, MON YY, *et al.* *Nelumbo nucifera* leaf polyphenol extract and gallic acid inhibit TNF- $\alpha$ -induced vascular smooth muscle cell proliferation and migration involving the regulation of miR-21, miR-143 and miR-145 [J]. Food Funct, 2020, 11: 8602–8611.
- [74] ALI RM, TABASSUM Z, FIZZAH A, *et al.* Evaluation of anti-inflammatory activity of ethanol extract of *Nelumbo nucifera* fruit [J]. Turk J Pharm Sci, 2021, 18(1): 56–60.
- [75] SHAHZAD MA, AHMAD N, ISMAIL T, *et al.* Characterization, nutritional composition and quality characterization of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seed flour supplemented cookies [J]. J Food Meas Charact, 2020, (4): 181–188.
- [76] 王晓娜, 刘少英, 王晓梅, 等. 荷叶黄酮美白功效研究[J]. 日用化学品科学, 2019, 42(5): 29–32.
- WANG XN, LIU SY, WANG XM, *et al.* Study on whitening effect of flavonoids in lotus leaf [J]. Deterg Cosmet, 2019, 42(5): 29–32.

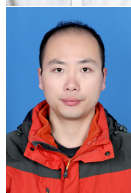
(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

## 作者简介



鲁亚君, 硕士研究生, 主要研究方向为天然产物化学。

E-mail: 13453892728@163.com



刘莹, 博士, 副教授, 主要研究方向为果蔬加工及高值化利用。

E-mail: yingliu@mail.hzau.edu.cn