

莲生物碱类化合物的研究进展

于 辉¹, 周圣智¹, 彭芷芊², 张大为¹, 白宁宁¹

¹湖南科技大学生命科学与健康学院, 经济作物遗传改良与综合利用湖南省重点实验室, 湖南湘莲产业研究院, 湖南 湘潭

²湘潭建元中学, 湖南 湘潭

收稿日期: 2026年2月2日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年5月19日

摘 要

莲(*Nelumbo*)是国家卫生健康委员会批准的药食兼植物, 富含黄酮、生物碱、多糖等生物活性物质。莲生物碱的研究最早始于19世纪末, 迄今为止, 从莲不同部位分离出的生物碱类化合物已多达86种, 多集中在荷叶和莲子心中。莲生物碱类化合物具有抗氧化、调脂降糖、抑菌消炎、抗肿瘤等多种功效。本文介绍了莲生物碱类化合物的种类以及分离鉴定方法, 对莲生物碱类化合物的功能活性及其在疾病治疗中的最新应用进行了系统总结, 并提出了莲生物碱类化合物开发利用中存在的问题。本文旨在为系统地研究莲各部分中生物碱的种类和活性提供依据, 并为莲生物碱类化合物的研究、开发和利用提供理论参考。

关键词

莲, 生物碱, 分离和鉴定, 功能, 应用

Research Progress on Alkaloids in Lotus

Hui Yu¹, Shengzhi Zhou¹, Zhiqian Peng², Dawei Zhang¹, Ningning Bai¹

¹School of Life and Health Sciences, Hunan University of Science and Technology, Key Laboratory of Economic Crops Genetic Improvement and Integrated Utilization, Hunan Xianglian Industry Research Institute, Xiangtan Hunan

²Xiangtan Jianyuan Middle School, Xiangtan Hunan

Received: February 2, 2026; accepted: February 26, 2026; published: May 19, 2026

Abstract

Lotus (*Nelumbo*) is a medicinal and edible plant approved by the National Health Commission, rich in bioactive substances such as flavonoids, alkaloids and polysaccharides. The research on lotus alkaloids began at the end of 19th century. Up to now, 86 kinds of alkaloids have been isolated from different parts of lotus, mainly concentrated in lotus leaves and lotus embryo. Lotus alkaloids have

many effects, such as anti-oxidation, lipid lowering, antibacterial, anti-inflammatory, and anti-tumor. This article introduces the types of lotus alkaloids and their separation and identification methods, systematically summarizes the functional activities of lotus alkaloids and their latest applications in disease treatment, and puts forward the problems existing in the development and utilization of lotus alkaloids. This article aims to provide a basis for the systematic study of the types and activities of alkaloids in different parts of lotus, and to provide theoretical references for the research, development and utilization of lotus alkaloids.

Keywords

Nelumbo, Alkaloids, Isolation and Identification, Function, Application

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

莲(*Nelumbo*)为莲科莲属多年生水生草本,有亚洲莲(*N. nucifera* Gaertn.)和美洲黄莲(*N. lutea* Pers.)两个种。莲是一种古老的药用植物,莲的各个部分均可作中药成分,明代《本草纲目》中对莲各部位名称进行了详细的解释。莲的荷叶、荷花、荷梗、莲衣、莲子心等不同部位,在临床上常被用作中药,用于治疗各种病症。2020年版《中华人民共和国药典》收录了荷叶、莲房、莲须、莲子、莲子心、藕节6味中药。莲属植物中的生物碱、黄酮类化合物是其主要的药理活性成分物质,在临床上有很大的应用前景和开发价值。近二十年来,国内外学者对这两类物质的化学和药理等方面作了大量研究工作。本文主要对莲生物碱类化合物的研究概况进行总结,为系统地研究莲各部分中生物碱的种类和活性提供依据,并为莲生物碱类化合物的研究、开发和利用提供参考。

2. 莲生物碱类化合物的种类

Table 1. Common alkaloids in lotus

表 1. 莲中常见生物碱化合物

序号	名称	分子式	部位	参考文献
1	衡州乌药碱	C ₁₇ H ₁₉ NO ₃	荷叶、莲心	[1][2]
2	去甲基衡州乌药碱	C ₁₆ H ₁₇ NO ₃	荷梗	[1]
3	N-甲基衡州乌药碱	C ₁₈ H ₂₁ NO ₃	荷梗	[3]
4	莲心季铵碱	C ₁₉ H ₂₄ NO ₃	荷叶、荷梗、莲心	[3]
5	莲心碱	C ₃₇ H ₄₂ N ₂ O ₆	莲房、莲心	[1]
6	甲基莲心碱	C ₃₈ H ₄₄ N ₂ O ₆	莲房、莲心	[4]
7	异莲心碱	C ₃₇ H ₄₂ N ₂ O ₆	莲房、莲心	[4]
8	荷叶碱	C ₁₉ H ₂₁ NO ₂	荷叶、荷梗、莲心	[1]
9	原荷叶碱	C ₁₈ H ₁₉ NO ₂	荷叶、莲心	[5]
10	O-去甲基荷叶碱	C ₁₈ H ₁₉ NO ₂	荷叶、莲子、莲心	[1]
11	莲碱	C ₁₈ H ₁₇ NO ₂	荷叶、荷梗、莲心	[5]
12	番荔枝碱	C ₁₇ H ₁₅ NO ₂	荷叶、荷梗、莲心	[5]

生物碱类是一类含有氮杂环的小分子，有特定的毒性和药理性，大约 20%的植物可以产生生物碱。生物碱的发现始于 19 世纪初，是人们研究的最早且最多的一类天然有机化合物。生物碱类化合物广泛存在于多种药用植物中，也是莲属植物的主要活性成分。生物碱根据基本结构可分为 5 类：异喹啉类生物碱、吡啶类生物碱、苕荭烷类生物碱、吲哚类生物碱和有机胺类生物碱，莲生物碱属于异喹啉类生物碱。迄今为止，从莲不同部位分离出的生物碱类化合物已多达 86 种[6]。莲生物碱按母核连接的差异基团可分为多种类型：单苄基异喹啉类、双苄基异喹啉类、阿朴啡类、原阿朴啡类以及脱氢阿朴啡类等，以单苄基异喹啉类、双苄基异喹啉类和阿朴啡类这三类为主。莲中各部位所含生物碱种类及含量有所差别，其中荷叶碱、番荔枝碱、莲心碱等 12 种生物碱成分含量较为丰富，多集中在荷叶和莲子心中(表 1)。截至目前，荷叶中发现的生物碱有 27 种[7]，以阿朴啡类、单苄基异喹啉类为主，如荷叶碱、莲碱、O-去甲基荷叶碱、番荔枝碱等。莲子心中发现 23 种生物碱类化合物，结构类型主要包括单、双苄基异喹啉类和阿朴啡类，如莲心碱、甲基莲心碱、荷叶碱、O-去甲基衡州乌药碱等[8]。

3. 莲生物碱类化合物的分离鉴定

3.1. 莲中生物碱的分离纯化

提取莲中生物碱类物质时普遍采用溶剂提取法，也可利用超声波及其他辅助方式。提取到的生物碱粗提物，除了含有生物碱及其盐类之外，还含有大量其它物质，需要将生物碱成分从粗提物中分离出来。常用的分离纯化方法见表 2。

Table 2. Separation and purification methods of alkaloids from lotus

表 2. 莲生物碱类化合物的分离纯化方法

方法	原理	应用实例	优势与局限
树脂吸附与离子交换技术	利用大孔树脂的物理吸附或离子交换树脂的电荷作用进行选择性富集	非极性或弱极性树脂(如 AKS-W、D101)对莲子心及荷叶生物碱具有优异的吸附选择性，可显著提高目标成分的纯度[9]-[11]。 强酸性阳离子交换树脂(如 001×1 型)能有效吸附生物碱阳离子，在荷叶生物碱的纯化中展现出高效率 and 低杂质的特点[12][13]。	优势：成本较低，处理量大，适合粗提物的初步富集。 局限：分离度有限，难以获得高纯度单体
制备型高效液相色谱	基于高效色谱柱的精细分离，是目前获得高纯度标准品的可靠手段之一。	采用乙腈-0.1%三乙胺等优化流动相体系，可一次性制备获得纯度高于 98%的 N-去甲基荷叶碱、O-去甲基荷叶碱、荷叶碱和莲碱等多种单体[14][15]。	优势：分离效率高，重现性好，可获得色谱纯单体。 局限：设备昂贵，运行成本高，制备量有限。
高速逆流色谱及其衍生技术	基于液-液分配原理，无可逆吸附，样品回收率高，适合制备分离结构相似天然产物。	从荷叶中分离出多种阿朴啡类生物碱，从莲子心中分离出双苄基异喹啉类生物碱，单体纯度可达 90%以上[16]-[18]。通过引入离子液体作为流动相添加剂，结合 pH-区带精制模式，实现了对莲属植物中多种生物碱的高效、高纯度一次性分离[19]。	优势：无载体，无可逆吸附，回收率高；离子液体 pH-区带逆流色谱分离度极高，适合同系物分离。 局限：溶剂体系筛选耗时，对操作条件要求苛刻。
结晶法	利用不同生物碱或其盐在特定溶剂中溶解度的差异进行分离纯化	通过形成不同的盐(如莲心碱高氯酸盐、异莲心碱盐酸盐)，结合分步结晶，可获得高纯度的单一化合物	优势：操作简单，无需复杂设备。 局限：流程长，收率相对较低，溶剂消耗大。

3.2 莲生物碱类化合物的鉴定方法

莲生物碱的定性分析方法主要是采用高效液相色谱法、液质联用及核磁共振波谱法等方法(表 3)。

Table 3. Identification methods of alkaloids from lotus

表 3. 莲生物碱类化合物的鉴定方法

方法	原理	应用实例
色谱 - 高分辨质谱联用技术	色谱的强大分离能力与质谱的高灵敏度、高分辨率结构解析能力相结合。	通过高效液相 - 飞行时间质谱联用技术, 鉴定出荷叶中 9 种主要生物碱[20]; 超高效液相色谱与四极杆 - 飞行时间质谱联用, 从荷叶中鉴别出 57 种生物碱类成分[21]。
多维色谱 - 质谱联用技术	在传统液相色谱 - 质谱基础上增加一个分离或分析维度(如离子迁移谱), 以提供更丰富的化合物信息。	从荷花各部位中鉴定出 23 种生物碱, 包括难以用质谱单独区分的同分异构体(如 N-去甲荷叶碱与 O-去甲荷叶碱) [22]。
核磁共振波谱法	通过分析原子核在磁场中的共振行为, 提供分子中原子连接方式、空间构型等最直接的结构信息。	鉴定了已知的甲基莲心碱、异莲心碱等, 发现并鉴定了荷叶中的新阿朴啡型生物碱[23] [24]。

4. 莲生物碱类化合物的功能作用

4.1. 抗氧化作用

荷叶碱和莲子心生物碱具有较强的抗氧化作用。肖娟等[25]对荷叶生物碱水提物的抗氧化作用进行了系统研究, 发现其对羟基自由基有明显的清除作用。罗伟等[26]抗氧化活性实验表明, 荷叶生物碱浓度为 1 mg/mL 时, DPPH 和羟基自由基清除能力分别为 70% 和 62%。Khan 等[27]认为荷叶碱可以作为治疗氧化应激的有效植物药物。Shu 等[28]研究发现, 荷叶碱通过激活 miR-144/Nrf2/HO-1 通路改善乙醇导致的细胞及鼠肝氧化损伤。Xie 等[29]研究发现, 莲心碱、异莲心碱、甲基莲心碱对叔丁基过氧化氢诱导的人肝癌细胞株 HepG2 具有明显的抗氧化活性, 且甲基莲心碱抗氧化活性最高。

4.2. 调脂作用

荷叶总生物碱具有抑制胰脂酶活性的作用[30], 对 3T3-L1 前脂肪细胞有明显的抑制作用, 使其停留在 G0/G1 期[31]。Zhang 等[32]认为, 荷叶碱作用机制主要通过调节与脂代谢有关的基因来实现的。其可通过在高脂饲料和链脲佐菌素诱导的糖尿病小鼠模型中, 活化肝脏 PGC1- α 来上调 PPAR α 及下游脂肪酸氧化相关基因的表达, 逆转高脂饮食所致的肥胖。徐豪等[33]、王豪等[34]发现, 荷叶碱能激活细胞通路、调节胞体能量代谢平衡来抑制细胞脂质蓄积。

4.3. 抑菌消炎作用

在多种细胞和动物模型中都可以看到荷叶碱降低炎症因子的分泌, 肝、肾、肺、乳腺等组织器官炎性病理损伤减轻[35]-[37]。莲子心富含的莲心碱、异莲心碱、甲基莲心碱等生物碱具有合成 NO 和抑制白细胞分化抗原配体等刺激因子活性、抑制炎症因子及抗炎症等作用[38]。姚茹等[39]发现, 莲心碱对佛波酯所致耳肿胀炎症模型小鼠具有较好的抗炎作用, 其机制可能与抑制耳组织中 NF- κ B p65、NF- κ B 蛋白的磷酸化, 进而抑制炎症因子 COX-2、iNOS mRNA 表达有关。李依[40]提取莲叶、莲心和叶柄伤流液的生物碱进行抑菌效果检测, 发现莲生物碱对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的生长存在显著抑制作用, 且莲叶生物碱的抑制作用最强。

4.4. 降糖作用

在高脂饮食及链脲佐菌素诱发的糖尿病动物模型中, 荷叶碱可以降低糖尿病小鼠的血糖水平, 并使其病情变得更加稳定[32]。荷叶碱还能够促进脂肪细胞和肌肉细胞对葡萄糖的消耗[41], 促进胰岛细胞分泌胰岛素[42]。Nguyen 等[43]研究表明, 荷叶碱通过关闭三磷酸腺苷钾通道刺激胰岛素分泌, 与传统降糖药物格列本脲相比, 其对胰岛 β 细胞毒性更小。甲基莲心碱对 2 型糖尿病大鼠有明显的降血糖作用, 其作用机制可能与抗氧化应激和抗炎等作用有关[44]。另有研究发现, 在 2 型糖尿病 KK-Ay 小鼠中, 异莲心碱可改善 2 型糖尿病大鼠高血脂, 且与其调控 GLUT4、SREBP-1c、PPAR γ 、AMPK 和 ACC 的磷酸化密切相关[45]。

4.5. 抗肿瘤作用

癌细胞的显著特点之一是细胞的无限增殖, Kang 等[46]研究表明, 荷叶碱和莲心碱通过细胞周期阻滞诱导细胞凋亡和抑制增殖来抑制 MDA-MB-231 和 MCF-7 人乳腺癌细胞的生长。荷叶碱在裸鼠模型中能够降低 Wnt/ β -catenin 信号传导的活性, 诱导细胞凋亡, 可显著抑制尼古丁诱导的非小细胞肺癌生长, 同时对黑素瘤的生长有明显的抑制作用, 为黑色素瘤的治疗提供了一种潜在的治疗策略[47]。Manogarana 等[48]研究表明, 异莲心碱和甲基莲心碱增强结肠癌癌细胞对顺铂的“细胞内摄取”, 并诱导活性氧介导的细胞凋亡。在其他学者的研究中也发现, 异莲心碱和甲基莲心碱可以抑制多种癌细胞的增殖或促进其凋亡, 可作为潜在的抗癌剂[49]-[51]。林立男等[52]的研究发现莲子心总生物碱和莲子心总生物碱高氯酸盐均能抑制骨肉瘤 MG63 细胞增殖, 并抑制其迁移能力。

4.6. 其他作用

巫传玲等[53]的研究结果表明, 莲心碱和甲基莲心碱对 5 α -还原酶具有抑制作用, 可用于临床治疗前列腺增生。莲心碱、异莲心碱和甲基莲心碱具有抗多种实验性心律失常作用, 对进行强迫游泳试验后的小鼠具有显著的抗抑郁作用[54]。刘晓旭[55]研究发现, 荷叶碱能够显著改善脑梗死大鼠的神经功能评分, 减轻脑水肿程度, 改善脑梗死的神经功能。荷叶碱的受体分布特征与阿立哌唑类抗精神病药相似, 能够增强苯丙胺诱导的运动活性, 具有非典型的抗精神病效应。刘鹏飞[56]等研究表明, 甲基莲心碱通过激活 AMPK 通路发挥心肌保护作用。另外莲子心生物碱和荷叶碱还有舒张气管和血管的作用[57][58]。

5. 莲生物碱类化合物的开发利用

莲生物碱类化合物, 特别是荷叶与莲子心中的生物碱, 因其显著的药理活性, 在药品开发中已展现出明确的应用价值。荷叶生物碱的调脂功能可辅助治疗多种心血管疾病, 如动脉粥样硬化、高胆固醇血症等, 已被用于多种复方制剂。如通脉降脂片是用于治疗高脂血症的中成药, 经检测其荷叶碱质量分数为 2.42 mg/g [59]。糖脂清复方有较好的调脂、降血糖效果, 其中荷叶碱质量分数为 1.75 mg/g [60]。莲子心中提取的生物碱可以加工成多种制剂。如鲁定国等[61]采用乳化交联法制备莲心总碱-阿霉素明胶微球, 经测验该微球具有载药量较大、较高包封率以及较好粒径分布和形态的优点。柳伟[62]对莲子心总生物碱滴丸处方工艺及剂型评价系统进行了研究, 其制备的滴丸质量可控, 在抗心律失常方面具有速效、生物利用度高的特点。李美云等[63]将莲心总碱固体分散体制备成渗透泵控释片, 使其具有平稳释放、延长作用时间的特点, 可提高临床疗效。

6. 莲生物碱类化合物的研究展望

莲生物碱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,但在开发利用中还存在一些问题亟需解决。

(1) 原料生产的精准化与标准化:莲生物碱的开发利用首先受限于原料的均一性和活性成分含量的稳定性。未来的研究应致力于实现从“粗放种植”到“精准育种与生产”的转变。如利用已完成的荷花全基因组测序成果,深入开展控制荷叶碱、甲基莲心碱等关键生物碱合成与积累的关键基因功能解析,实现分子育种与高含量品种的选育。

(2) 提取分离技术的绿色化与集成化:虽然已有研究优化了酸水提取、大孔树脂纯化等工艺,但未来需开发更高效、环保的提取分离技术。如结合超临界流体萃取、膜分离、连续色谱等技术,建立标准化、可放大的生产工艺流程,确保不同批次原料提取物中活性成分的种类和含量稳定可控。

(3) 全株综合利用与高值化产品开发:莲的各个部位均含有丰富的生物活性物质。如莲须(雄蕊)具有清心益肾等药用价值,其生物碱组分可进一步深入研究。莲房、藕节等部位富含纤维素,可开发为功能性膳食纤维原料。另外莲生物碱类化合物的开发不应局限于药品,未来还应朝着大健康产业多元化的方向发展。如基于荷叶碱的调脂减肥功效[64],可开发用于体重管理的固体饮料、代餐粉或膳食补充剂,提高莲在农业生产中的附加值。

基金项目

湖南望城国家农业科技园区管理委员会产学研项目(D124V9);湖南省自然科学基金项目(2026JJ80156);水生植物净化城市景观河流的集成技术开发(D125AD)。

参考文献

- [1] 肖桂青,卢向阳,田云,等. 荷叶中生物碱类成分的研究进展[J]. 化学与生物工程, 2006(5): 1-2, 8.
- [2] 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): 100-101.
- [3] 单锋,袁媛,康利平,等. 基于 UPLC-ESI/Q-TOF-MS/MS 技术分析荷梗中的化学成分[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(16): 3233-3238.
- [4] 肖娟,付晓燕,杨超,等. 莲的非可食用部分中生物碱分布[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(6): 1133-1138.
- [5] 刘静,陈莎,刘安. 荷叶和莲子心“同源异效”的物质基础研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(22): 131-139.
- [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.
- [7] 程婷婷,原新博,惠小涵,等. 荷叶生物碱成分及其调脂机制研究进展[J]. 中草药, 2019, 50(8): 1998-2003.
- [8] 裴浩田. 莲不同部位的化学成分及去心莲子安神作用的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2021.
- [9] 张吉祥,冯冬然,欧来良. 大孔吸附树脂对莲子心中有效成分的分离纯化研究[J]. 中草药, 2007(12): 1812-1814.
- [10] 郑振佳. 荷叶生物碱的分析及分离纯化研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [11] 吴梅青,陈丹. 莲子心生物碱树脂法分离纯化工艺研究[J]. 药物评价研究, 2013, 36(3): 199-202.
- [12] 罗朵生,杨晓琦,周修腾,等. 离子交换树脂纯化荷叶生物碱的研究[J]. 广州中医药大学学报, 2013, 30(1): 68-71, 77.
- [13] 刘淑萍. 荷叶中生物碱的制备及其药理学活性研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2014.
- [14] 刘婧婧,罗旭彪,陈波,等. 制备高效液相色谱分离纯化荷叶碱[J]. 中草药, 2006(1): 55-57.
- [15] Luo, X., Chen, B., Liu, J. and Yao, S. (2005) Simultaneous Analysis of N-Nornuciferine, O-Nornuciferine, Nuciferine, and Roemerine in Leaves of *Nelumbo Nucifera Gaertn* by High-Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detection-Electrospray Mass Spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, **538**, 129-133. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.01.066>
- [16] Hu, J., Shan, B., Deng, Z., Li, J., Fan, Y., Ruan, Z., et al. (2010) Application of High-Speed Counter-Current Chromatography for the Isolation of 5 Alkaloids from Lotus (*Nelumbo Nucifera Gaertn.*) Leaves. *Food Science and Biotechnology*, **19**, 1661-1665. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0235-3>
- [17] 王颖滢. 荷叶生物碱单体的分离鉴定及其抑菌活性研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [18] Liu, S., Wang, B., Li, X., Qi, L. and Liang, Y. (2009) Preparative Separation and Purification of Liensinine, Isoliensinine

- and Neferine from Seed Embryo of *Nelumbo nucifera* GAERTN Using High-Speed Counter-Current Chromatography. *Journal of Separation Science*, **32**, 2476-2481. <https://doi.org/10.1002/jssc.200800766>
- [19] 房映彤, 李權, 魏芸. 离子液体 pH-区带逆流色谱分离莲属植物中生物碱类物质的研究[C]//中国化学会. 第 21 届全国色谱学术报告会及仪器展览会会议论文集. 北京: 北京化工大学化工资源有效利用国家重点实验室, 2017: 106.
- [20] 周永刚, 刘畅, 毛飞, 等. 荷叶化学成分的高分辨质谱分析[J]. 药学实践杂志, 2011, 29(5): 342-346.
- [21] 郭忠会, 覃春萍, 梁洁, 等. 基于 UHPLC-Q-TOF-MS 结合分子网络技术快速分析荷叶中生物碱类成分[J]. 分析测试学报, 2023, 42(8): 893-906.
- [22] Sun, H., Song, H.Y., Deng, X.B., *et al.* (2023) Transcriptome-Wide Characterization of Alkaloids and Chlorophyll Biosynthesis in Lotus Plumule. *Frontiers in Plant Science*, **5**, 1-15.
- [23] 吴昊, 刘斌, 王伟, 等. 荷叶中的一个新阿朴啡型生物碱[J]. 中草药, 2010, 41(4): 514-516.
- [24] Jiang, X., Wang, L., Wang, E., Zhang, G., Chen, B., Wang, M., *et al.* (2018) Flavonoid Glycosides and Alkaloids from the Embryos of *Nelumbo Nucifera* Seeds and Their Antioxidant Activity. *Fitoterapia*, **125**, 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.01.009>
- [25] 肖娟, 孙智达, 谢笔钧, 等. 荷叶生物碱的提取工艺优化及其清除羟基自由基能力的测定[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 194-197.
- [26] 罗伟, 杨立军, 高涵, 等. 荷叶总生物碱提取工艺优化及生物活性研究[J]. 广东化工, 2023, 50(8): 53-56, 14.
- [27] Khan, S., Khan, H.U., Khan, F.A., Shah, A., Wadood, A., Ahmad, S., *et al.* (2022) Anti-Alzheimer and Antioxidant Effects of *Nelumbo Nucifera* L. Alkaloids, Nuciferine and Norcoclaurine in Alloxan-Induced Diabetic Albino Rats. *Pharmaceuticals*, **15**, Article 1205. <https://doi.org/10.3390/ph15101205>
- [28] Shu, G., Qiu, Y., Hao, J., Fu, Q. and Deng, X. (2019) Nuciferine Alleviates Acute Alcohol-Induced Liver Injury in Mice: Roles of Suppressing Hepatic Oxidative Stress and Inflammation via Modulating miR-144/NRF2/HO-1 Cascade. *Journal of Functional Foods*, **58**, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.055>
- [29] Xie, Y., Zhang, Y., Zhang, L., Zeng, S., Guo, Z. and Zheng, B. (2013) Protective Effects of Alkaloid Compounds from *Nelumbinis Plumula* on Tert-Butyl Hydroperoxide-Induced Oxidative Stress. *Molecules*, **18**, 10285-10300. <https://doi.org/10.3390/molecules180910285>
- [30] 汪闻皓, 曾钰婷, 杨子健, 等. 莲生物碱抗氧化降脂活性及其对植物病原菌的抑菌性能[J]. 湖北农业科学, 2025, 64(11): 86-95.
- [31] 刘晓琴, 郭慧, 晁鲁平, 等. 荷叶生物碱对 3T3-L1 前脂肪细胞增殖分化的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(10): 54-58.
- [32] Zhang, C., Deng, J., Liu, D., Tuo, X., Xiao, L., Lai, B., *et al.* (2018) Nuciferine Ameliorates Hepatic Steatosis in High-fat Diet/Streptozocin-Induced Diabetic Mice through a PPAR α /PPAR γ Coactivator-1 α Pathway. *British Journal of Pharmacology*, **175**, 4218-4228. <https://doi.org/10.1111/bph.14482>
- [33] 徐豪, 王雪竹, 俞卓利, 等. 荷叶碱对小鼠肝 AML-12 细胞内脂质代谢的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(11): 18-24.
- [34] 王豪, 刘艳芳, 王委, 等. 荷叶中的生物碱及其对 5-HT $2A$ 和 5-HT $2C$ 受体的激动作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(4): 656-661, 721.
- [35] Wang, M., Zhao, X., Chen, T., Liu, Y., Jiao, R., Zhang, J., *et al.* (2016) Nuciferine Alleviates Renal Injury by Inhibiting Inflammatory Responses in Fructose-Fed Rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **64**, 7899-7910. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03031>
- [36] Zhu, X., Hao, R., Lv, X., Zhou, X., Li, D. and Zhang, C. (2024) Nuciferine Ameliorates High-Fat Diet-Induced Disorders of Glucose and Lipid Metabolism in Obese Mice Based on the Gut-Liver Axis. *Food Frontiers*, **5**, 188-201. <https://doi.org/10.1002/fft2.292>
- [37] Chen, X., Zheng, X., Zhang, M., Yin, H., Jiang, K., Wu, H., *et al.* (2018) Nuciferine Alleviates LPS-Induced Mastitis in Mice via Suppressing the TLR4-NF- κ B Signaling Pathway. *Inflammation Research*, **67**, 903-911. <https://doi.org/10.1007/s00011-018-1183-2>
- [38] 刘娟丽, 徐慧萍, 刘艳芳, 等. 荷叶提取物在抑制口腔细菌和改善牙龈炎症的有效性分析[J]. 日用化学工业, 2024, 54(10): 1235-1242.
- [39] 姚茹, 张锐虎, 王璐, 等. 莲心碱对佛波酯所致耳肿胀炎症模型小鼠的抗炎作用及机制研究[J]. 中国药房, 2018, 29(17): 2364-2368.
- [40] 李依. 药用植物莲 NnWRKY70 转录因子调控荷叶碱合成的功能研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2022.

- [41] Ma, C., Wang, J., Chu, H., Zhang, X., Wang, Z., Wang, H., *et al.* (2014) Purification and Characterization of Aporphine Alkaloids from Leaves of *Nelumbo Nucifera* Gaertn and Their Effects on Glucose Consumption in 3T3-L1 Adipocytes. *International Journal of Molecular Sciences*, **15**, 3481-3494. <https://doi.org/10.3390/ijms15033481>
- [42] 宋冠军. 荷叶碱等几种植物降糖功能成分对 GLUT4 的作用机制[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中南民族大学, 2018.
- [43] Nguyen, K.H., Ta, T.N., Pham, T.H.M., Nguyen, Q.T., Pham, H.D., Mishra, S., *et al.* (2012) Nuciferine Stimulates Insulin Secretion from Beta Cells—An *in Vitro* Comparison with Glibenclamide. *Journal of Ethnopharmacology*, **142**, 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.05.024>
- [44] 张吕卓. 荷叶提取物成分分析及其对 2 型糖尿病动物模型糖脂代谢的影响[D]: [硕士学位论文]. 荆州: 长江大学, 2023.
- [45] Yang, X., Huang, M., Yang, J., Wang, J., Zheng, S., Ma, X., *et al.* (2017) Activity of Isoliensinine in Improving the Symptoms of Type 2 Diabetic Mice via Activation of Amp-Activated Kinase and Regulation of PPAR γ . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **65**, 7168-7178. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01964>
- [46] Kang, E.J., Lee, S.K., Park, K., Son, S.H., Kim, K.R. and Chung, W. (2017) Liensinine and Nuciferine, Bioactive Components of *Nelumbo nucifera*, Inhibit the Growth of Breast Cancer Cells and Breast Cancer-Associated Bone Loss. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, **2017**, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2017/1583185>
- [47] Xu, J., Ying, A. and Shi, T. (2020) Nuciferine Inhibits Skin Cutaneous Melanoma Cell Growth by Suppressing TLR4/NF- κ B Signaling. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, **20**, 2099-2105. <https://doi.org/10.2174/1871520620666200811114607>
- [48] Manogaran, P., Beeraka, N.M., Huang, C. and Vijaya Padma, V. (2019) Neferine and Isoliensinine Enhance ‘Intracellular Uptake of Cisplatin’ and Induce ‘Ros-Mediated Apoptosis’ in Colorectal Cancer Cells—A Comparative Study. *Food and Chemical Toxicology*, **132**, Article 110652. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110652>
- [49] Gao, X., Mao, H., Zhao, L., Li, X., Liao, Y., Li, W., *et al.* (2024) Nuciferine Protects Cochlear Hair Cells from Ferroptosis through Inhibiting NCOA4-Mediated Ferritinophagy. *Antioxidants*, **13**, Article 714. <https://doi.org/10.3390/antiox13060714>
- [50] 屈雅琴, 张倩玉, 谈相云, 等. 荷叶碱抑制 Akt/mTOR/4EBP1-糖酵解通路抗胆管癌细胞增殖作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(8): 1297-1304, 1379.
- [51] 段雅倩, 王旭, 唐高卿, 等. 莲子和莲子心生物碱成分及抗癌活性的比较分析[J]. 药学实践与服务, 2025, 43(9): 449-454.
- [52] 林立男, 熊梅, 曾建伟, 等. 莲子心总生物碱及总生物碱高氯酸盐对 MG63 细胞迁移和迁移体生成的影响[J]. 福建中医药, 2024, 55(1): 15-20.
- [53] 巫传玲, 马松涛, 王富琴, 等. 莲子心提取物对 5 α -还原酶的抑制作用研究[J]. 中国药业, 2012, 21(10): 17-18.
- [54] Farrell, M.S., McCorvy, J.D., Huang, X., Urban, D.J., White, K.L., Giguere, P.M., *et al.* (2016) *In Vitro* and *In Vivo* Characterization of the Alkaloid Nuciferine. *PLOS ONE*, **11**, e0150602. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150602>
- [55] 刘晓旭. 基于 PERK/Nrf2 信号通路探讨荷叶碱对脑缺血再灌注损伤保护的作用机制[D]: [博士学位论文]. 长春: 长春中医药大学, 2023.
- [56] 刘鹏飞. 莲子生物碱甲基莲心碱通过激活 AMPK 通路缓解力竭运动诱导的心肌损伤[J]. 分子植物育种, 2025, 23(15): 5182-5189.
- [57] Yang, X., Yu, M., Lei, J., Peng, Y., Zhao, P., Xue, L., *et al.* (2018) Nuciferine Relaxes Tracheal Rings via the Blockade of VDLCC and NSCC Channels. *Planta Medica*, **84**, 83-90. <https://doi.org/10.1055/s-0043-118178>
- [58] 周佳, 曾宾宇, 寇舒豪, 等. 4 种莲子心生物碱的主要心血管药理作用研究进展[J]. 中南药学, 2025, 23(12): 3629-3637.
- [59] 熊登科, 黄志军, 邓瑜, 等. 反相高效液相色谱法测定通脉降脂片荷叶碱含量[J]. 医药导报, 2012, 31(8): 1070-1071.
- [60] Li, Z., Liu, J., Zhang, D., Du, X., Han, L., Lv, C., *et al.* (2018) Nuciferine and Paeoniflorin Can Be Quality Markers of Tangzhiqing Tablet, a Chinese Traditional Patent Medicine, Based on the Qualitative, Quantitative and Dose-Exposure-Response Analysis. *Phytomedicine*, **44**, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.02.006>
- [61] 鲁定国, 刘韶, 雷霆, 等. 莲心总碱-阿霉素明胶微球的制备研究[J]. 中南药学, 2009, 7(10): 724-728.
- [62] 柳伟. 莲子心抗心律失常有效部位及其滴丸制剂的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国中医科学院, 2007.
- [63] 李美云, 雷小小, 周江, 等. 星点设计-效应面法优化莲心总碱固体分散体渗透泵控释片处方[J]. 中草药, 2016, 47(18): 3204-3210.
- [64] 张彧博, 张亚婷. 荷叶的减肥降脂功效成分与功能食品开发利用研究[J]. 中国林副特产, 2025(1): 84-87.