

芝麻素与细辛素检测方法及生物活性的研究进展

余琼, 刘华敏, 汪学德

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:旨在为芝麻木酚素相关产品、特殊用途油脂等的研发提供参考,对芝麻木酚素中主要的脂溶性活性成分芝麻素及其转化产物细辛素的含量分布、转化条件、检测方法和生物活性进行综述。芝麻素是芝麻中含量最多的脂溶性木酚素,而芝麻中几乎不含细辛素,但芝麻素可在酸性和受热条件下转化为细辛素;芝麻素与细辛素的检测方法有高效液相色谱法、薄层色谱法、气相色谱-质谱联用法、液相色谱-质谱联用法等;芝麻素具有抑菌、抗癌、降血脂等生物活性,细辛素具有抗炎、抑菌、抗病毒、抗癌、抗肿瘤、抗氧化等生物活性。

关键词:芝麻素;细辛素;检测方法;生物活性

中图分类号:TS201.4;TS207.3 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)05-0138-06

Progress on detection methods and physiological activities of sesamin and asarinin

YU Qiong, LIU Huamin, WANG Xuede

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to provide references for the research and development of sesame lignan-related products and oils for special purposes, the contents, conversion conditions, detection methods and physiological activities of sesamin and asarinin were reviewed. Sesamin is the most abundant fat-soluble lignan in sesame, while asarinin is almost absent in sesame, but sesamin can be converted to asarinin under acidic and heat conditions. Sesamin and asarinin can be detected by high performance liquid chromatography, thin layer chromatography, gas chromatography-mass spectrometry, liquid chromatography-mass spectrometry, etc. Sesamin has bioactivities such as antibacterial, anticancer and hypolipidemic, and asarinin has bioactivities such as anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, anticancer, antitumor, and antioxidant.

Key words: sesamin; asarinin; detection method; physiological activity

芝麻木酚素是一类重要的植物酚类物质,具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抑菌等作用。芝麻木酚素分为脂溶性木酚素和水溶性木酚素,其中脂溶性木酚素主要有芝麻素、细辛素、芝麻林素和芝麻酚等,水溶性木酚素包括芝麻素酚糖苷、芝麻林酚糖苷和松脂醇糖苷等^[1-2](部分结构见图1)。芝麻素是芝麻油中最主要的脂溶性木酚素,细辛素一般存在于马兜铃科细辛属的中草药用植物中,在芝麻油中含量很少,一般由芝麻素转化生成。芝麻素和细辛素具有较强的生物活性,因此其在开发相关产品上具有

较强的应用潜力。目前尚未有关于芝麻素和细辛素的含量分布、生物活性以及检测方法的总结归纳。本文主要对芝麻素和细辛素的含量分布和转化条件、检测方法以及生物活性等进行总结,以期对芝麻素和细辛素的分离、检测和相关产品的研发提供参考。

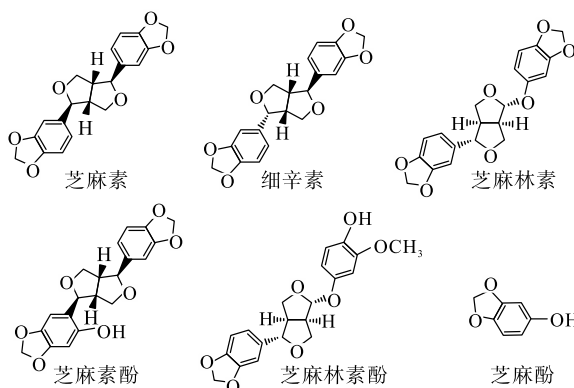


图1 芝麻中部分木酚素的结构

收稿日期:2021-05-07;修回日期:2024-02-21

基金项目:国家自然科学基金(31972004)

作者简介:余琼(1990),女,在读博士,研究方向为油脂化学与油料精深加工(E-mail)zqymmh@163.com。

通信作者:汪学德,教授(E-mail)wangxuede1962@126.com。

1 芝麻素和细辛素含量分布及转化条件

天然细辛素主要分布在马兜铃科细辛属中草药用植物中,含量为0.1%~0.2%^[3]。芝麻素是芝麻油中含量最多的一种脂溶性木酚素,含量为0.5%~1.1%^[4]。芝麻中几乎不含细辛素,但芝麻油在精炼时经磷酸水化脱胶和酸性白土脱色后,芝麻素会部分异构化为细辛素^[5-6]。汪学德等^[7]研究发现,芝麻油中的芝麻素是右旋体,而盐酸乙醇加热处理可使芝麻素部分转化为细辛素;Li等^[8]也提出了细辛素和芝麻素在酸性条件下均可差向异构化,经X射线晶体衍射分析芝麻素为单斜晶系,细辛素为三斜晶系,差向异构化主要取决于萃取条件;Das等^[9]研究发现,芝麻素和蒙脱土混合经微波辐照后,47%的芝麻素异构化为细辛素。因此,细辛素可作为区分冷榨芝麻油和浸出芝麻油的特征指标。

2 芝麻素与细辛素的检测方法

2.1 高效液相色谱法

高效液相色谱法是一种常用于活性物质定量分析的重要方法^[10-11],其可以很好地将芝麻素和细辛素分离。Wu等^[12]采用高效液相色谱法测定压榨芝麻油、精炼芝麻油中芝麻素的含量分别为734、369 mg/100 g,精炼后约40%的芝麻素转化为细辛素。郭增军等^[13]采用高效液相色谱法测定不同品种细辛中细辛素和芝麻素的含量,流动相为50%乙腈溶液,该方法可以快速准确地测定细辛素和芝麻素的含量。金秀丽等^[14]通过外标法测定细辛醇提取物中细辛素含量为28.04 mg/g。Wang等^[15]采用高效液相色谱法分离测定了花椒酚、芝麻素和细辛素,3种化合物均在25 min内实现分离,该方法可用于中药细辛中细辛素、芝麻素的常规定量分析,二者回收率分别达95.65%、96.14%。

2.2 薄层色谱法

薄层色谱法是利用吸附剂对不同物质吸附能力的不同使混合液中各组分相互分离的方法,具有操作便捷、设备简单等优势。王军宪等^[16]采用薄层紫外比色法测定黑、白芝麻中芝麻素和细辛素含量;Kuo等^[17]采用薄层色谱法和柱层析法对芝麻甲醇溶解物进行提取、分离和纯化,得到29种化合物,包括7种呋喃木酚素,其中芝麻林素和芝麻素是芝麻中含量最丰富的两种木酚素,且检测到了二者的转化产物——芝麻酚和细辛素。

2.3 气相色谱-质谱联用法

气相色谱-质谱联用法(GC-MS)适用于挥发性小分子有机物的检测,由于样品的特性不同,GC-MS常结合不同的样品前处理方法进行芝麻

木酚素的检测,如溶剂萃取法、皂化法和固相萃取法等。张子为等^[18]采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合GC-MS对中药细辛灌胃后小鼠体内的细辛素及其他挥发性物质进行定量,结果表明,给药后小鼠肝脏的细辛素含量为0.48 μg/g。李耀利等^[19]通过HS-SPME结合GC-MS分析发现,中药金耳环的根、茎、叶、花4个部位中的细辛素和黄樟醚的相对含量较高,其中4个部位的细辛素含量分别为6.7%、7.7%、5.0%和5.9%。HS-SPME结合GC-MS检测细辛素具有快速便捷、需要的样品量少等优势。Schwertner等^[20]采用GC-MS测定芝麻油中芝麻素、细辛素和芝麻林素,结果发现,GC-MS可有效分析芝麻油样品中的芝麻素和细辛素。

2.4 液相色谱-质谱联用法

液相色谱-质谱联用法(LC-MS)可对待测物进行定性和定量分析,不仅可以分析GC-MS所不能分析的强极性、难挥发、热不稳定化合物,而且具有分离能力强,检测限低,分析速度快等优点。Zheng等^[10]建立了高效液相色谱-串联质谱法(HPLC-MS/MS)同时检测和定量阿魏酸、细辛素等14种化合物,这些化合物在Kinetex C₁₈色谱柱上以乙腈-0.1%甲酸为流动相,在13 min内完全分离。Han等^[21]利用二维在线LC-MS对细辛醇提取物中的细辛素进行筛选、分析和鉴定,并通过体外细胞生长实验研究了细辛素的抗肿瘤作用。张红贵等^[22]采用LC-MS测定川芎茶调丸中阿魏酸、细辛素等6种成分的含量,该方法加标回收率为98.14%~99.63%。

2.5 其他方法

芝麻素和细辛素的测定方法还有反复硅胶色谱法、超高效液相色谱串联质谱法等。吕帅等^[23]采用反复硅胶色谱法对辽细辛地下部分进行分离纯化,用不同体积比的石油醚-丙酮洗脱分离得到5种化合物,其中2种被鉴定为细辛素和芝麻素。Bhatt等^[24]采用超高效液相色谱法测定竹叶花椒和刺花椒的化学成分,结果显示,木酚素总量为5 690~16 093 μg/g。Zhang等^[25]采用配备二极管阵列检测器的超高效液相色谱串联质谱法(UPLC-PDA-MS/MS)对麻黄附子细辛中的6种化合物定量测定,结果显示,样品中细辛素含量为1.61 mg/g。肖伟敏等^[26]建立了超高效液相色谱串联质谱法同时测定食品中的4种木酚素,其中芝麻素的检出限为0.03 mg/kg,该方法快速便捷、准确性高。

3 芝麻素与细辛素的生物活性

芝麻木酚素含有 2,6-二芳基-3,7-二氧杂二环辛烷骨架,其连接方式、取代基和构型、构象的不同导致了芝麻木酚素种类的多样性,而结构的变化则赋予芝麻木酚素类化合物广泛的生物活性,包括抗肿瘤、护肝、抗氧化、抗炎、抑菌等^[27]。

3.1 芝麻素的生物活性

3.1.1 抑菌、抗癌活性

芝麻素具有抑菌、抗癌活性。Oh 等^[28]研究发现,芝麻素、细辛素对单核细胞增多性李斯特菌的抑菌作用较强,抑菌圈直径达 9~10 mm。Tantapakul 等^[29]从花椒根和茎皮中分离得到芝麻素、细辛素等 10 种物质,这些化合物对鼠伤寒沙门氏菌的最小抑菌浓度(MIC)均为 128 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (标准药物的 MIC 为 0.125 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$),但对葡萄球菌均无抑制活性。Wang 等^[30]从肉桂中提取分离冬凌草内酯 A(OA)和(-)-芝麻素,并研究其抗癌活性,结果发现,OA 和(-)-芝麻素既可作为人线粒体 Lon 蛋白酶抑制剂,也可作为 DNA 损伤剂激活 DNA 损伤检查点,诱导肺癌细胞凋亡。Park^[31]、Majdalawieh^[32]等也发现芝麻素在体内和体外均能发挥抗癌作用。

3.1.2 降血脂

芝麻素具有降血脂功能。Majdalawieh 等^[33]对比分析了芝麻素、异芝麻素和芝麻林素的降血脂作用,结果发现,芝麻素主要通过 PPAR α 、PPAR γ 等信号通路影响 $\Delta 5$ 脱氢酶、HMGCR 等的活性从而起到降血脂作用。Ide 等^[34]研究发现,饲喂富含木酚素芝麻饲料的大鼠其血清三酰基甘油和血清丙二醛(脂质过氧化的标志)浓度低于饲喂不含芝麻饲料的大鼠。

3.1.3 其他

芝麻素还具有保护神经、防止皮肤损伤、护肝等作用。Ruankham 等^[35]研究发现,芝麻素和芝麻酚通过平衡抗氧化系统、抑制活性氧(ROS)积累、上调去乙酰化酶(SIRT)1-SIRT3-FOXO3a 和凋亡标志物来预防人体 SH-SY5Y 神经元细胞损伤和死亡,从而发挥保护神经作用。Lin 等^[36]探讨了芝麻素对皮肤光损伤的保护作用及机制,为芝麻素抗光损伤和护肤产品的开发提供了参考。Pilipenko 等^[37]通过体外研究发现,5~500 nmol/L 芝麻素能抑制华法林的主要代谢物 7-羟基华法林的生成。

3.2 细辛素的生物活性

3.2.1 抗炎

细辛素展现出显著的抗炎活性。Jing 等^[38]通过测定细辛根茎中 37 种非挥发性成分对血小板激

活因子诱导的中性粒细胞释放的 β -葡萄糖醛酸酶的抑制率,来评价其潜在的抗炎作用,结果发现,细辛素是其中最主要的抗炎活性成分。Huang 等^[39]发现细辛素对 RAW264.7 巨噬细胞表现出显著的抗炎活性。Park 等^[40]研究了细辛素对大鼠肾上腺嗜铬细胞瘤(PC12)细胞多巴胺生物合成和 6-羟基多巴胺(6-OHDA)细胞毒性作用的影响,进而比较了细辛素与芝麻素对 PC12 细胞多巴胺生物合成和 6-OHDA 诱导的细胞毒性的神经药理作用异同,结果显示,细辛素对 PC12 细胞中多巴胺生物合成的影响与芝麻素相似,可通过调节 PC12 细胞的 ERK1/2 信号抑制 6-OHDA 诱导的细胞毒性。Dai 等^[41]为研究细辛素对类风湿性关节炎(RA)的作用,调查了含细辛素药用血清对体外培养的人成纤维细胞的影响,结果发现,细辛素药用血清对 RA 滑膜成纤维细胞的抑制能力呈剂量和时间依赖性,还抑制了白细胞介素(IL)17A、肿瘤坏死因子- α 、干扰素- γ 、IL-6、TLR2 和 TLR4 的表达,明确了细辛素对 RA 的作用机制。

3.2.2 抑菌、抗病毒

目前细辛素在抑菌、抗病毒方面的研究相对较多。Perumalsamy 等^[42]研究发现,(-)-细辛素和 1,8-桉叶素对所有革兰氏阳性菌和 3 株革兰氏阴性菌的 MIC 在 1.47~2.94 mg/mL 之间。Xu 等^[43]研究发现,从塔银莲根部分离得到的芝麻素和细辛素对 5 种不同种类的非结核分枝杆菌显示出抑制活性,其 MIC 范围为 23~395 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 。Luo 等^[44]考察芝麻素和细辛素对结核分枝杆菌的抑制效果,结果发现,芝麻素和细辛素对无毒菌株(H37Ra ATCC 25177)的 MIC 一致,但对剧毒菌株(H37Rv ATCC 27294)的 MIC 分别为 50、25 $\mu\text{g}/\text{mL}$,细辛素较芝麻素的 MIC 低,表明同浓度下细辛素抑制结核分枝杆菌的效果优于芝麻素。

3.2.3 抗癌、抗肿瘤

细辛素对癌细胞和肿瘤细胞的抑制效果明显。Jeong 等^[45]发现细辛素对人卵巢癌细胞中的 A2780 和 SKOV3 细胞表现出较强的细胞毒性,其 IC₅₀ 值分别为 38.45 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 和 60.87 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 。Kim 等^[46]发现细辛素对人乳腺癌细胞 MCF-7 的抗增殖作用强于芝麻素,细辛素对人乳腺癌细胞 MCF-7 的 IC₅₀ 值较芝麻素低 31.77%。Han 等^[21]通过体外细胞生长实验研究细辛素的抗肿瘤作用,发现其在 0.1~102.4 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 剂量范围内能抑制高表达的表皮生长因子受体细胞的生长。

3.2.4 抗氧化

芝麻素与细辛素互为差向异构体,物理化学性质相近,但二者的生物活性具有一定差异。与芝麻素相比,细辛素可促进肝脏对脂肪酸的代谢转化,对于肌肤的抗氧化也具有更明显的效果以及可促进血管平滑肌细胞的增殖等^[47]。Kuo等^[17]采用柱层析法对芝麻甲醇提取液进行分离纯化,发现了芝麻素的氧化衍生物细辛素的生成,并对比了二者的自由基清除能力。结果显示:在浓度为50 $\mu\text{mol/L}$ 时,细辛素的DPPH自由基清除率达到43.3%,高于芝麻素的(27.2%);在浓度为32.25 $\mu\text{mol/L}$ 时,细辛素的超氧阴离子自由基清除率为20.40%,也高于芝麻素的(12.13%)。Gao等^[48]报道了细辛素的ABTS⁺和DPPH自由基清除能力显著高于芝麻素。综上,细辛素具有一定的抗氧化能力,且强于芝麻素。

3.2.5 其他功能

细辛素还具有促进疤痕修复、抗抑郁和护肝等作用。Gan等^[49]通过小鼠切口和大鼠烧伤模型评价含细辛素烧伤膏的效果,结果发现,含细辛素烧伤膏不仅可显著抑制小鼠耳郭肿胀和大鼠脚掌肿胀,而且能够促进大鼠烧伤模型中新上皮组织的生成,加速伤口的愈合和疤痕修复。Jing等^[50]研究发现,麻黄附子细辛汤(主要成分为细辛素)对抑郁有一定的积极作用。Kushiro等^[51]通过动物实验研究芝麻素和细辛素对大鼠肝脏脂肪酸代谢的影响,发现促进大鼠肝脏脂肪酸氧化的主要物质是细辛素。Freise等^[52]研究发现,5~10 $\mu\text{mol/L}$ 细辛素或芝麻素与强效血小板衍生生长因子(PDGF-BB)结合可降低PDGF-BB的促有丝分裂作用,而PDGF-BB可诱导小鼠、大鼠和人血管平滑肌细胞增殖,同等浓度下细辛素比芝麻素的效果更优。

4 结束语

随着检测技术手段的进步,芝麻素和细辛素的检测方法及其精确度等均已得到显著提升,二者对人体健康的影响机制研究也更加深入。受植物品种、制取工艺、检测方法等因素的影响,芝麻木酚素的含量和组成存在明显差异性;在不同的评价体系(如DPPH和ABTS⁺自由基清除能力等)中,不同木酚素表现出的活性不一致;关于构建可以评价木酚素活性的评价方法值得进一步探究。

参考文献:

- [1] KANCHARLA P K, ARUMUGAM N. Variation of oil, sesamin, and sesamol content in the germplasm of the ancient oilseed crop *Sesamum indicum* L. [J]. J Am Oil Chem Soc, 2020, 97(5): 475-483
- [2] OLALERE O A, ABDURAHMAN H N, GAN C Y. Microwave - enhanced extraction and mass spectrometry fingerprints of polyphenolic constituents in *Sesamum indicum* leaves [J]. Ind Crops Prod, 2019(131):151-159.
- [3] XIAO Y, LIU Z, GU H, et al. Improved method to obtain essential oil, asarinin and sesamin from *Asarum heterotropoides* var. *mandshuricum* using microwave - assisted steam distillation followed by solvent extraction and antifungal activity of essential oil against *Fusarium* spp. [J/OL]. Ind Crops Prod, 2021, 162: 113295 [2024-02-21]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021>.
- [4] DALIBALTA S, MAJDALAWIEH A F, MANJIKIAN H. Health benefits of sesamin on cardiovascular disease and its associated risk factors [J]. Saudi Pharm J, 2020, 28(10): 1276-1289.
- [5] 刘玉兰, 刘瑞花, 张振山, 等. 芝麻油生产工艺对细辛素形成的影响[J]. 中国粮油学报, 2016,31(1):65-69.
- [6] CHEN J, CHEN Y, TIAN J, et al. Simultaneous determination of four sesame lignans and conversion in *Monascus* aged vinegar using HPLC method [J]. Food Chem, 2018, 256: 133-139.
- [7] 汪学德, 黄雪, 刘帅, 等. 盐酸-三氯化铁催化芝麻素差向异构化合成细辛素及机理探讨[J]. 化工学报, 2015,66(S2):455-460.
- [8] LI C Y, CHOW T J, WU T S. The epimerization of sesamin and asarinin [J]. J Nat Prod, 2005, 68(11): 1622-1624.
- [9] DAS B, MADHUSUDHAN P, VENKATAIAH B. Clay catalysed convenient isomerization of natural furofuran lignans under microwave irradiation [J]. Synth Commun, 2000, 30(22):4001-4006.
- [10] ZHENG L, HUO X K, WANG C, et al. Simultaneous determination of 14 components in Shuanghua Baihe tablets by ultrasonic - assisted extraction and HPLC - MS/MS [J]. Anal Methods, 2016,8(16):3359-3365.
- [11] CAO C, WANG J Z, WANG L, et al. Simultaneous determination of seven principal constituents in *Asari Radix et Rhizoma* by HPLC [J/OL]. J Chin Pharm Sci, 2015, 24(8):67 [2024-02-21]. <https://doi.org/10.5246/jcps.2015.08.067>.
- [12] WU S, WANG L, SHU F, et al. Effect of refining on the lignan content and oxidative stability of oil pressed from roasted sesame seed [J]. Int J Food Sci Tech, 2013, 48(6): 1187-1192.
- [13] 郭增军, 刘辉, 王利. HPLC法测定不同品种商品细辛中细辛脂素和芝麻脂素的含量[J]. 中药材, 2001,24(4):273-274.

- [14] 金秀丽, 唐淑洁, 张华, 等. HPLC 测定细辛醇提取物中细辛脂素的含量[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2010, 31(12):1927.
- [15] WANG C C, CHEN S, WU T S. The facile reversed-phase HPLC resolution of tetrahydrofuran nucleus lignans in traditional Chinese medicine: Quantitative analysis of asarinin and sesamin in *Asari Radix* [J]. J Chin Chem Soc, 2003, 50(2): 261–266.
- [16] 王军宪, 庞新莉, 姚希梅, 等. 脂麻中脂麻素及细辛素的含量测定[J]. 西北药学杂志, 2000, 15(6):257–258.
- [17] KUO P C, LIN M C, CHEN G F, et al. Identification of methanol-soluble compounds in sesame and evaluation of antioxidant potential of its lignans [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(7): 3214–3219.
- [18] 张子为, 刘广学, 谢德媚, 等. 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对灌胃细辛后小鼠脑、肝和血液中7个挥发性主要成分的定量分析研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 2(2):285–293.
- [19] 李耀利, 胡海波, 罗世恒, 等. 顶空-气相色谱-质谱联用分析金耳环不同部位的挥发性成分[J]. 中草药, 2018, 49(17):4003–4008.
- [20] SCHWERTNER H A, RIOS D C. Analysis of sesamin, asarinin, and sesamol by HPLC with photodiode and fluorescent detection and by GC/MS: Application to sesame oil and serum samples [J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 89(11):1943–1950.
- [21] HAN S, HUANG J, HOU J, et al. Screening epidermal growth factor receptor antagonists from *Radix et Rhizoma Asari* by two-dimensional liquid chromatography [J]. J Sep Sci, 2014, 37(13): 1525–1532.
- [22] 张红贵, 陈洪岩, 孙晓, 等. 液质联用法测定川芎茶调丸中阿魏酸等6种成分的含量[J]. 药学与临床研究, 2019, 27(2): 90–92, 97.
- [23] 吕帅, 许磊, 黄健, 等. 辽细辛地下部分化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2008, 25(9): 702–704.
- [24] BHATT V, KUMAR N, SHARMA U, et al. Front cover: Comprehensive metabolic profiling of *Zanthoxylum armatum* and *Zanthoxylum acanthopodium* leaves, bark, flowers and fruits using ultra high performance liquid chromatography [J/OL]. Sep Sci Plus, 2018, 1(5):17 [2024-02-21]. <https://doi.org/10.1002/sscp.201870017>.
- [25] ZHANG L, WANG C, MIAO D, et al. Simultaneous determination of six constituents in Mahuang Fuzi Xixin by UPLC-PDA-MS/MS [J]. Nat Prod Res, 2014:1–4.
- [26] 肖伟敏, 王奇, 董珊, 等. UPLC-MS/MS 法测定食品中的4种木酚素[J]. 食品工业, 2020, 41(4):294–298.
- [27] 王炼, 吴迪, 周景文. 木脂素的生物合成及其微生物法生产的研究进展 [J]. 化工学报, 2021, 72(1): 320–333.
- [28] OH J, HWANG I H, KIM D C, et al. Anti-listerial compounds from *Asari Radix* [J]. Arch Pharm Res, 2010, 33(9):1339–1345.
- [29] TANTAPAKUL C, PHAKHODEE W, RITTHIWIGROM T, et al. Antibacterial compounds from *Zanthoxylum rhetsa* [J]. Arch Pharm Res, 2012, 35(7):1139–1142.
- [30] WANG H M, CHENG K C, LIN C J, et al. Obtusilactone A and (–)-sesamin induce apoptosis in human lung cancer cells by inhibiting mitochondrial Lon protease and activating DNA damage checkpoints [J]. Cancer Sci, 2010, 101(12):2612–2620.
- [31] PARK S H, RYU S N, BU Y, et al. Antioxidant components as potential neuroprotective agents in sesame (*Sesamum indicum* L.) [J]. Food Rev Int, 2010, 26(2):103–121.
- [32] MAJDALAWIEH A F, MASSRI M, NASRALLAH G K. A comprehensive review on the anti-cancer properties and mechanisms of action of sesamin, a lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*) [J]. Eur J Pharmacol, 2017, 815:512–521.
- [33] MAJDALAWIEH A F, DALIBALTA S, YOUSEF S M. Effects of sesamin on fatty acid and cholesterol metabolism, macrophage cholesterol homeostasis and serum lipid profile: A comprehensive review [J/OL]. Eur J Pharmacol, 2020, 885: 173417 [2024-02-21]. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020>.
- [34] IDE T, AZECHI A, KITADE S, et al. Comparative effects of sesame seeds differing in lignan contents and composition on fatty acid oxidation in rat liver [J]. J Oleo Sci, 2015, 64(2):211–222.
- [35] RUANKHAM W, SUWANJANG W, WONGCHITRAT P, et al. Sesamin and sesamol attenuate H₂O₂-induced oxidative stress on human neuronal cells via the SIRT1-SIRT3-FOXO3a signaling pathway [J]. Nutr Neurosci, 2021, 24(2): 90–101.
- [36] LIN T Y, WU P Y, HOU C W, et al. Protective effects of sesamin against UVB-induced skin inflammation and photodamage *in vitro* and *in vivo* [J/OL]. Biomolecules, 2019, 9(9): 479 [2024-02-21]. <https://doi.org/10.3390/biom9090479>.
- [37] PILIPENKO N, RASMUSSEN M K, DORAN O, et al. 7-Hydroxylation of warfarin is strongly inhibited by sesamin, but not by episesamin, caffeic and ferulic acids in human hepatic microsomes [J]. Food Chem Toxicol, 2018, 113:14–18.
- [38] JING Y, ZHANG Y F, SHANG M Y, et al. Chemical

- constituents from the roots and rhizomes of *Asarum heterotropoides* var. *mandshuricum* and the *in vitro* anti-inflammatory activity[J/OL]. *Molecules*, 2017, 22(1): 125 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules22010125>.
- [39] HUANG J, WANG H Q, ZHANG C, et al. A new tetrahydrofuran - type lignan with anti - inflammatory activity from *Asarum heterotropoides* Fr. Schmidt var. *mandshuricum*[J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(4): 387 - 392.
- [40] PARK H J, LEE K S, ZHAO T T, et al. Effects of asarinin on dopamine biosynthesis and 6 - hydroxydopamine - induced cytotoxicity in PC12 cells [J]. *Arch Pharm Res*, 2017, 40(5): 631 - 639.
- [41] DAI Q, LI Y, WANG M, et al. TIR2 and TIR4 are involved in the treatment of rheumatoid arthritis synovial fibroblasts with a medicated serum of asarinin through inhibition of T_h1/T_h17 cytokines [J]. *Exp Ther Med*, 2020, 19(4): 3009 - 3016
- [42] PERUMALSAMY H, JUNG M Y, HONG S M, et al. Growth - inhibiting and morphostructural effects of constituents identified in *asarum heterotropoides* root on human intestinal bacteria [J/OL]. *BMC Complement Altern Med*, 2013, 13: 245 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-245>.
- [43] XU W H, ZHAO P, WANG M, et al. Naturally occurring furofuran lignans: Structural diversity and biological activities[J]. *Nat Prod Res*, 2019, 33(9): 1357 - 1373.
- [44] LUO X, PIRES D, AÍNSA J A, et al. *Zanthoxylum capense* constituents with antimycobacterial activity against *Mycobacterium tuberculosis* *in vitro* and *ex vivo* within human macrophages [J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 146(1): 417 - 422.
- [45] JEONG M, KIM H M, LEE J S, et al. (-) - Asarinin from the roots of *Asarum sieboldii* induces apoptotic cell death via caspase activation in human ovarian cancer cells [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(8): 1849 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules23081849>.
- [46] KIM E, KIM H J, OH H N, et al. Cytotoxic constituents from the roots of *Asarum sieboldii* in human breast cancer cells[J/OL]. *Nat Prod Sci*, 2019, 25(1): 72 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.20307/nps.2019.25.1.72>.
- [47] YILDIRIM K, KOSTEM A M. A Technical glance on some cosmetic oils [J]. *Eur Sci J*, 2014, 2:425 - 435.
- [48] GAO J, WANG R, LU X, et al. Enzymatic preparation and structure - activity relationship of sesaminol [J]. *J Oleo Sci*, 2021, 70(9): 1261 - 1274.
- [49] GAN D, SU Q, SU H, et al. Burn ointment promotes cutaneous wound healing by modulating the PI3K/AKT/mTOR signaling pathway [J/OL]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 631102 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.631102>.
- [50] JING W, SONG S, SUN H, et al. Mahuang - Fuzi - Xixin decoction reverses depression - like behavior in LPS - induced mice by regulating NLRP3 inflammasome and neurogenesis [J/OL]. *Neur Plast*, 2019, 2019: 1571392 [2024 - 02 - 21]. <https://doi.org/10.1155/2019/1571392>.
- [51] KUSHIRO M, MASAOKA T, HAGESHITA S, et al. Comparative effect of sesamin and episesamin on the activity and gene expression of enzymes in fatty acid oxidation and synthesis in rat liver [J]. *J Nutr Biochem*, 2002, 13(5): 289 - 295.
- [52] FREISE C, SOMMER K, QUERFELD U. Protective effects of the polyphenols (+) - episesamin and sesamin against PDGF - BB - induced activation of vascular smooth muscle cells are mediated by induction of haem oxygenase - 1 and inhibition of mitogenic signalling [J]. *J Funct Foods*, 2015, 18:586 - 597.
-
- (上接第94页)
- [23] 赵守敬, 陈斌, 陆道礼. 基于荧光光谱法的植物油加热氧化规律[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(3): 104 - 109.
- [24] 贾艳华, 徐晓轩, 杨仁杰, 等. 煎炸食用油质量变化的同步荧光光谱研究[J]. *光子学报*, 2006, 35(11): 1717 - 1720.
- [25] SIKORSKA E, GÓRECKI T, KHMELINSKII I V, et al. Classification of edible oils using synchronous scanning fluorescence spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2005, 89(2): 217 - 225.
- [26] ROSSI M, ALAMPRESE C, RATTI S. Tocopherols and tocotrienols as free radical - scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep - fat frying [J]. *Food Chem*, 2007, 102(3): 812 - 817
- [27] ZANDOMENEGHI M, CARBONARO L, CAFFARATA C. Fluorescence of vegetable oils: Olive oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(3): 759 - 766.
- [28] 傅冬和, 黄建安, 刘仲华. 大小叶种茶儿茶素抗氧化作用比较 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 8(1): 29 - 31.