白芷治疗偏头痛的有效成分作用机制及相关新型制剂研究进展Δ

赵梓丞[1,2*]，韩　瑾[1,2]，孙永康[1,3]，吴易俊[1,2]，宋研博[1,4]，孙逸龙[1,2]，王新志[1,3,4#]（1.河南中医药大学第一附属医院脑病中心，郑州　450099；2.河南中医药大学第一临床医学院，郑州　450046；3.中西医防治重大疾病河南省协同创新中心，郑州　450046；4.河南省中医药科学院脑病研究所，郑州　451163）

中图分类号　R285.5；R944　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2026）21-2900-05
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2026.21.21

摘　要　偏头痛是一种临床常见的原发性头痛，白芷为传统医学中治疗偏头痛的常用中药。本文综述了白芷治疗偏头痛的有效成分、作用机制及新型制剂的研究进展，发现白芷中的香豆素类、挥发油及脂肪族化合物等成分可通过调节降钙素基因相关肽相关信号、缓解氧化应激与神经炎症、调节神经递质水平以及改善肠-脑轴功能等多条途径发挥潜在的抗偏头痛作用。基于白芷抗偏头痛有效成分的新型制剂研究主要集中于鼻腔、皮肤等非口服给药途径。后续可围绕标准化提取物或明确组分组合的质量控制、作用机制验证、量效关系、药代动力学-药效动力学关联、组织分布及安全性评价以及在此基础上的随机双盲安慰剂对照探索性临床试验等方向推进。

关键词　白芷；偏头痛；香豆素类；挥发油；脂肪族化合物；降钙素基因相关肽；新型制剂

Research progress on the mechanisms of active constituents of *Angelica dahurica* in the treatment of migraine and related novel formulations

ZHAO Zicheng[1,2], HAN Jin[1,2], SUN Yongkang[1,3], WU Yijun[1,2], SONG Yanbo[1,4], SUN Yilong[1,2], WANG Xinzhi[1,3,4]（1. Encephalopathy Center, The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450099, China; 2. The First Clinical Medical College, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China; 3. Henan Collaborative Innovation Center for Prevention and Treatment of Major Diseases by Integrated Chinese and Western Medicine, Zhengzhou 450046, China; 4. Institute for Brain Disorders, Henan Academy of Chinese Medical Sciences, Zhengzhou 451163, China）

ABSTRACT　Migraine is a prevalent primary headache disorder in clinical practice. *Angelica dahurica* is a frequently used traditional Chinese medicine for migraine management. This review summarizes the research progress on bioactive constituents, pharmacological mechanisms, and novel formulations of *A. dahurica* against migraine. The coumarins, volatile oils, aliphatic compounds and other components from *A. dahuricae* exert potential anti-migraine effects via multiple pathways, including modulating calcitonin gene-related peptide-related signaling, alleviating oxidative stress and neuroinflammation, regulating neurotransmitter levels and improving gut-brain axis function. Studies on novel formulations based on *A. dahurica* anti-migraine constituents mainly focus on non-oral administration routes such as nasal and transdermal delivery. Further investigations should focus on quality control of standardized extracts or defined component combinations, mechanistic validation, dose-effect relationship, pharmacokinetic-pharmacodynamic correlation, tissue distribution and safety evaluation, followed by randomized, double-blind, placebo-controlled exploratory clinical trials.

KEYWORDS　*Angelica dahurica*; migraine; coumarins; volatile oils; aliphatic compounds; calcitonin gene-related peptide; novel formulations

偏头痛是一种常见的原发性头痛障碍，表现为反复发作的中度至重度头痛，通常为单侧、搏动性疼痛，常伴有恶心、呕吐以及对光和声音的敏感，部分患者在头痛前或头痛过程中出现可逆性的先兆症状[1]。现代医学研究表明，偏头痛是在遗传易感背景下，由脑网络兴奋性、感觉加工和三叉神经血管系统调控异常共同参与的神经系统疾病，其发病机制与脑血管功能异常、神经源性炎症、神经递质失调、肠-脑轴功能障碍等多种因素相关[2]。流行病学显示，在人口增长、老龄化和诊断识别变化等因素共同作用下，我国偏头痛疾病负担持续增加，严重影响患者身心健康与生活质量，并给患者家庭和社

Δ **基金项目**　国家中医药管理局科技专项课题（No.GZY-KJS-2025-091）；河南省自然科学基金项目（No.252300423806）

＊ **第一作者**　硕士研究生。研究方向：中医药防治脑病。E-mail：z1064303778@163.com

\# **通信作者**　主任医师，教授，博士生导师，首届岐黄学者，国家级名老中医。研究方向：中医药防治脑病。E-mail：znqznq@163.com

会带来沉重负担[3]。尽管偏头痛的药物治疗手段不断丰富，但部分患者仍可能面临疗效不足、不良反应风险、禁忌证约束、用药过量及治疗可及性有限等问题。中药及其活性成分具有多成分、多靶点和多环节调控的特点，在偏头痛防治方面具有一定的研究价值。

白芷为伞形科植物白芷 *Angelica dahurica*（Fisch. ex Hoffm.）Benth. et Hook. f. 或杭白芷 *Angelica dahurica*（Fisch. ex Hoffm.）Benth. et Hook. f. var. *formosana*（Boiss.）Shan et Yuan 的干燥根，具有解表散寒、祛风止痛等传统功效。白芷在传统中医中常作为阳明经引经药，主要用于治疗头痛、牙痛、眉棱骨痛等疾病。白芷治疗头痛的相关记载最早见于《神农本草经》，谓其主“风头侵目泪出”；陶弘景的《名医别录》载其疗“风痛，头眩目痒”；李中梓的《雷公炮制药性解》述其“止阳明头痛之邪”；黄元御的《玉楸药解》中亦云其“治头痛鼻渊”。上述记载表明，白芷用于头痛治疗具有悠久的历史。目前从白芷中已分离出超过100种化合物，包括香豆素、萜类、酚酸及脂肪族化合物等多类成分[4]。临床前研究提示，白芷治疗偏头痛的有效成分可能通过调节降钙素基因相关肽（calcitonin gene-related peptide，CGRP）相关信号、减轻氧化应激和神经炎症、调控神经递质以及改善肠-脑轴功能等途径发挥潜在的抗偏头痛作用[5]。本文对白芷治疗偏头痛的有效成分、作用机制及相关新型制剂研究进行归纳总结，以期为白芷治疗偏头痛有效成分的药效物质基础研究、新型制剂开发及后续临床应用提供参考。

1 偏头痛的病理机制

1.1 CGRP释放及其相关信号异常

CGRP是一种具有多种生理功能的神经肽，广泛分布于外周及中枢感觉神经系统，在三叉神经血管系统中尤为关键。在遗传易感个体中，内外源性诱因可导致脑网络兴奋性及感觉加工异常，进而激活三叉神经血管系统。对于伴先兆偏头痛患者，皮层扩散性去极化可能进一步促进三叉神经传入通路的激活。三叉神经末梢释放CGRP后，可参与脑膜血管舒张、伤害感受信息传递以及外周和中枢敏化，这与头痛、畏光及皮肤异常性疼痛等症状的发生密切相关[6]。

CGRP首先与由降钙素受体样受体和受体活性修饰蛋白1构成的受体复合物结合，继而通过血管平滑肌与三叉神经节细胞膜上的G蛋白转导下游信号，诱发降钙素受体样受体发生构象改变，激活腺苷酸环化酶，催化腺苷三磷酸转化为环磷酸腺苷（cyclic adenosine monophosphate，cAMP）。cAMP作为第二信使结合蛋白激酶A（protein kinase A，PKA）的调节亚基，释放其催化亚基。活化的PKA可使血管平滑肌细胞内肌球蛋白轻链激酶相关蛋白发生磷酸化，造成硬脑膜血管与三叉神经血管平滑肌舒张，进而引发血管周围水肿及血浆蛋白外渗，诱发神经源性炎症，进一步刺激更多三叉神经末梢，形成恶性循环；与此同时，活化的PKA还可磷酸化三叉神经节神经元的离子通道，降低兴奋阈值，最终介导痛觉敏化[7]。

1.2 氧化应激与神经炎症

偏头痛发作涉及神经元、胶质细胞、血管细胞与免疫细胞之间复杂的信号交互过程。氧化应激可加剧中枢神经系统的高敏状态，促进炎症相关信号通路激活，进而参与偏头痛的发生与病程维持[8]。当活性氧（reactive oxygen species，ROS）生成过多或机体抗氧化能力减弱时，会诱发细胞内钙离子超载、线粒体膜电位下降、线粒体通透性转换孔异常开放以及氧化磷酸化功能受损，继而造成神经元能量代谢紊乱，升高三叉神经血管系统的兴奋水平[9]。

氧化应激还可激活核因子-κB（nuclear factor kappa-B，NF-κB）、促分裂原活化的蛋白质激酶（mitogen-activated protein kinase，MAPK）等炎症相关信号通路，上调白细胞介素1β（interleukin-1β，IL-1β）、IL-6以及肿瘤坏死因子α（tumor necrosis factor-α，TNF-α）等炎症因子的表达；这类炎症因子能够下调伤害感受器的兴奋阈值，介导外周与中枢敏化。与此同时，三叉神经血管系统激活后释放的CGRP等神经肽亦可调控血管、胶质细胞及免疫细胞的功能，形成氧化应激、神经炎症与痛觉敏化之间的正反馈环路[10]。

1.3 神经递质失调

神经递质是神经元释放、经由突触向邻近神经元或效应细胞传递信号的化学物质，主要包括5-羟色胺（5-hydroxytryptamine，5-HT）、多巴胺（dopamine，DA）、谷氨酸以及γ-氨基丁酸（gamma-aminobutyric acid，GABA）等。偏头痛患者体内可出现5-HT、DA等单胺类神经递质水平动态波动，同时伴随受体敏感性异常，上述改变可通过调控痛觉调制、感觉敏化与自主神经功能，参与偏头痛的病理进程[11]。GABA为中枢神经系统内关键的抑制性神经递质，GABA能抑制功能减弱可升高皮层兴奋性，但现阶段尚不能将GABA的不足归为先兆型偏头痛的单一致病因素[12]。由此可见，各类神经递质系统的动态失衡，可通过共同作用于脑网络兴奋性、痛觉调控及感觉加工过程，介导偏头痛的发生发展。

1.4 脑-肠轴失调

肠-脑轴是胃肠道与中枢神经系统之间，由神经、免疫、内分泌及代谢途径共同构建的双向信息交流体系。现有研究提示，肠道菌群及其代谢产物可通过调控炎症反应、肠黏膜屏障、神经肽与神经递质等，影响偏头痛的发生发展[13]。Gorenshtein等[14]依据PRISMA规范开展系统综述，结果发现，偏头痛患者与健康对照人群的肠道菌群组成存在差异；但现阶段仍未筛选出可用于偏头痛诊断、分型或疗效预测的稳定菌群标志物。该研究为白

芷抗偏头痛有效成分经由肠-脑轴发挥药效提供了临床前研究依据；然而现有证据多停留在相关性层面，肠道菌群及代谢物的改变是否为药效发挥的必要环节，仍需通过菌群耗竭、粪菌移植、关键代谢物回补等实验进一步验证。

2 白芷治疗偏头痛的有效成分及作用机制

2.1 白芷中香豆素类化合物治疗偏头痛的作用机制

香豆素类化合物是白芷的重要活性成分，主要包含佛手柑内酯、欧前胡素等。Latif等[15]在反复腹腔注射硝酸甘油（nitroglycerin，NTG）构建的大鼠偏头痛模型中观察到，佛手柑内酯能够缓解机械性与热性痛觉超敏、畏光及头部搔抓行为，增强三叉神经脊束核尾侧部及大脑皮质的抗氧化防御能力，减轻脂质过氧化反应，并下调NF-κB与TNF-α的表达，提示该成分的抗偏头痛效应可能与抑制氧化应激及神经炎症密切相关。Yang等[16]基于脂多糖诱导的大鼠嗜铬细胞瘤PC12细胞炎症模型发现，欧前胡素可下调神经元型一氧化氮合酶（neuronal nitric oxide synthase，nNOS）的表达，同时抑制NF-κB磷酸化，为其通过调控一氧化氮（nitric oxide，NO）介导的炎症过程干预偏头痛提供了细胞实验线索。杜晖等[17]利用大鼠纹状体细胞膜建立细胞膜色谱分析方法，以舒马曲坦作为竞争性探针，证实欧前胡素可与5-HT相关受体发生相互作用，提示其可能参与偏头痛相关5-HT信号通路的调节。除单体成分研究外，Feng等[18]在NTG皮下注射建立的雄性SD大鼠偏头痛模型中证实，白芷总香豆素联合川芎嗪可减少大鼠头部搔抓行为，降低血浆中CGRP水平与血清中NO水平。上述结果为含白芷总香豆素的配伍方案改善偏头痛相关神经血管紊乱提供了动物实验依据。

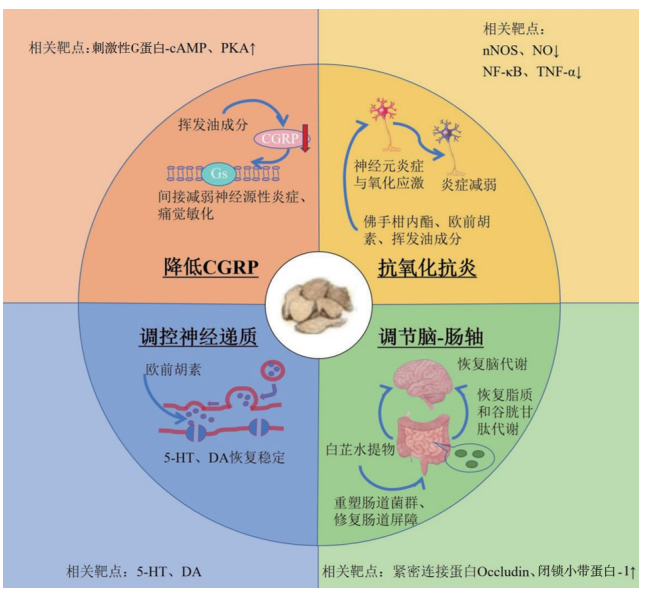
2.2 白芷挥发油成分治疗偏头痛的作用机制

白芷挥发油包含萜类与非萜类组分，主要有α-水芹烯、α-蒎烯、榄香烯等萜类成分，以及1-十二醇、1-十五醇等脂肪族化合物。Naduchamy等[19]在脂多糖诱导的斑马鱼幼体神经炎症模型中发现，α-水芹烯可改善模型动物行为异常，降低幼体脑组织匀浆内NO水平及TNF-α mRNA表达水平，表明该成分可通过抑制炎症反应发挥神经痛治疗效应。Sun等[20]通过气相色谱-质谱联用技术，从白芷挥发油中鉴定出α-蒎烯、榄香烯等萜类成分，以及1-十二醇、1-十五醇等脂肪族化合物；该研究进一步在NTG皮下注射构建的大鼠偏头痛模型中发现，白芷挥发油可减少摇头、头部搔抓等偏头痛样行为，降低血浆中CGRP水平以及血清、脑组织中NO水平，提示白芷挥发油整体抗偏头痛效应可能与调控神经肽及血管活性物质的水平相关。

2.3 白芷水提物治疗偏头痛的作用机制

Lian等[21]在NTG反复皮下注射构建的雄性大鼠偏头痛模型中观察到，白芷水提物在减少大鼠头部搔抓行为的同时，可降低模型大鼠血浆、脑组织中5-HT水平以及血浆中DA水平，提示其抗偏头痛效应与纠正神经递质的紊乱状态存在关联。在脑-肠轴层面，Lian等[22]基于NTG诱导的雄性SD大鼠偏头痛模型证实，白芷水提物可减少模型大鼠的头部搔抓行为，改善肠道组织病理损伤，并上调紧密连接蛋白Occludin与闭锁小带蛋白-1的表达。该研究结合16S rRNA测序、粪便代谢组学及脑组织质谱成像技术，还检测到动物肠道菌群组成、脂质与谷胱甘肽代谢水平，以及脑内能量代谢水平均发生了变化。上述结果为白芷可经由肠屏障、菌群-代谢物及脑代谢的交互网络干预偏头痛提供了动物实验线索。

综上，现有研究表明白芷所含有效成分中的香豆素类、萜类及脂肪族化合物，可通过调控CGRP与血管活性物质、缓解氧化应激、抑制神经炎症、调节神经递质、改善脑-肠轴功能等多条途径，发挥潜在的抗偏头痛药效。白芷治疗偏头痛有效成分的作用机制见图1。



↑：上调/激活；↓：下调/抑制。

图1 白芷治疗偏头痛有效成分的作用机制

3 白芷治疗偏头痛有效成分的新型制剂

香豆素类和挥发油是白芷治疗偏头痛的有效成分，目前相关的新型制剂研究主要关注于鼻腔、皮肤等非口服途径给药。欧前胡素、异欧前胡素等游离呋喃香豆素类成分的脂溶性较强，传统水煎提取效率相对有限；长时间加热还可能造成部分热敏性、挥发性成分流失，并引发化学成分谱改变[23]。此外，口服给药条件下，白芷抗偏头痛有效成分还受溶解度、胃肠道吸收、肠肝代谢及复方配伍等多重因素制约，难以在偏头痛急性发作阶段实现快速、稳定的药物暴露[24]。因此，围绕鼻腔、皮肤等非口服途径构建现代递药系统，提升白芷治疗偏头痛活性成分的溶解性、吸收效率与靶组织暴露水平，是该药材有效成分相关制剂创新的重要方向。

3.1 透皮贴剂

用于全身治疗的透皮贴剂可促使药物穿透角质层与活性表皮，进入皮肤微循环，具备规避胃肠道降解与肝脏首过效应、减少血药浓度波动、延长作用时长、便于随时终止给药、患者依从性良好等优势[25]。白芷抗偏头痛有效成分中的香豆素类成分具备一定脂溶性与经皮渗透潜力，为其透皮给药系统的开发提供了药剂学依据。

刘晓昱等[26—27]针对香豆素类成分相继开展了黏胶分散型贴剂、醇质体凝胶贴剂等相关研究——黏胶分散型贴剂将香豆素与促渗剂直接分散于压敏胶骨架内，能够简化制剂结构、提升体外经皮渗透速率；醇质体凝胶贴剂依托乙醇与磷脂构筑的柔性囊泡可促进香豆素透皮，其体外经皮渗透速率与皮肤滞留量均优于普通凝胶及乙醇溶液。以上结果提示，压敏胶材质、促渗剂均可显著优化香豆素的经皮递送行为。但是，现有研究多局限于处方筛选优化与离体皮肤渗透评价，尚缺少体内药代动力学、脑组织分布以及偏头痛动物模型的药效学证据。透皮给药普遍存在吸收滞后现象，因而该类制剂的临床定位更适合偏头痛间歇期预防、降低短期复发风险或维持治疗，在缺少快速起效证据的前提下，不宜直接作为急性发作期急救制剂。此外，由于白芷抗偏头痛有效成分中的呋喃香豆素存在潜在光敏风险，所以在透皮制剂研发阶段，还需系统评估其皮肤刺激性、致敏性、光毒性与重复给药安全性，同时考察贴敷部位、皮肤屏障状态及光照条件对药物吸收和用药安全性的影响[28]。

3.2 鼻用喷雾剂

鼻腔黏膜血供丰富、上皮屏障相对较薄，药物经鼻给药可在一定程度上规避胃肠道降解与肝脏首过效应，并经鼻黏膜快速入血。部分药物还可经由嗅神经、三叉神经相关通路转运至中枢神经系统。因此，鼻腔给药具备使用便捷、吸收迅速、生物利用度较高及潜在脑靶向特性，理论上与偏头痛急性发作期快速干预的需求高度契合[29]。

王建平等[30]通过开展大鼠体内药代动力学及脑靶向研究发现，头痛宁鼻腔喷雾剂（由白芷、川芎、制川乌、防风、薄荷等组成）经鼻腔给药后，在相同时间点，大鼠血中的药物浓度略大于脑组织中的药物浓度，但其脑组织中的药时曲线下面积（area under the curve，AUC）与血浆中的AUC比值高于静脉给药，表明鼻腔给药有一定的脑靶向性。陈玲珑等[31]建立了白芷纳米乳鼻喷雾剂的质量控制方法：采用薄层色谱法鉴别欧前胡素与异欧前胡素；以欧前胡素为含量测定指标；同时考察制剂粒径等关键质量属性。该研究结果显示，纳米乳体系可较好包载白芷抗偏头痛有效成分中的脂溶性成分，但现阶段该方向研究仍缺少基于偏头痛动物模型的系统药效学评价及人体临床验证数据。

5 结语与展望

近年来，白芷抗偏头痛相关研究已从传统用药经验与基础镇痛、抗炎体外实验，逐步拓展至偏头痛动物模型、多组学分析及新型递药系统开发领域。现有研究提示，白芷抗偏头痛有效成分可通过调控CGRP相关信号、缓解氧化应激与神经炎症、调节神经递质水平以及改善肠-脑轴功能等多条途径发挥药效。其新型制剂研究主要集中于鼻腔、皮肤等非口服给药途径。然而，当前研究证据仍以细胞实验、动物模型及计算预测结果为主，不同研究在药材基原、产地、炮制加工方式、提取工艺、给药剂量与评价指标等方面异质性较高。

现有研究结果主要佐证白芷抗偏头痛有效成分具备良好的临床前研究潜力，后续研究可从以下方向推进：（1）以基原清晰、制备工艺稳定的标准化提取物或筛选获得的明确组分组合作为固定研究对象，建立覆盖药材、提取物与制剂的化学指纹图谱及多成分定量分析方法，明确关键质量属性，保障批间一致性。（2）针对CGRP相关信号、神经炎症、氧化应激、神经递质及肠-脑轴等候选作用环节，借助受体激动/拮抗、基因干预、菌群耗竭、粪菌移植、关键代谢物回补等手段验证因果调控关系，区分核心效应成分、辅助作用成分与仅用于质量表征的标志物。（3）系统开展量效关系、药代动力学-药效动力学关联、组织分布研究及安全性评价。其中鼻用制剂重点关注数分钟至数小时内的起效速度、鼻黏膜刺激性与鼻纤毛毒性；透皮制剂侧重考察稳态药物暴露、预防性药效、皮肤刺激性及光毒性。（4）在完善制剂质量标准、重复给药安全性、健康受试者耐受性与药代动力学研究基础上，再依据急性期治疗与预防性治疗的不同研究目标，开展随机、双盲、安慰剂对照的探索性临床试验。

综上，白芷治疗偏头痛的有效成分具有多成分、多靶点、多环节调控的特点，现代递药技术也为改善其脂溶性及挥发性成分的递送提供了新的研究路径；然而，其药效物质基础、关键作用靶点、体内暴露-效应关系及长期安全性仍有待阐明。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Eigenbrodt A K, Ashina H, Khan S, et al. Diagnosis and management of migraine in ten steps[J]. Nat Rev Neurol, 2021, 17(8): 501-514.

[2] 赵芳芳，贾菁楠，崔应麟. 偏头痛发病机制与中医药干预的研究进展[J]. 中药新药与临床药理，2025，36(10)：1790-1798.

[3] Wang Y X, Lu G S, Zhao J J, et al. The burden of migraine and predictions in the Asia-Pacific region, 1990-

2021：a comparative analysis of China，South Korea，Japan，and Australia[J]. J Headache Pain，2025，26(1)：104.
[4] 李昕雨，喻良文，吴泽青. 白芷的化学成分及药理作用研究进展[J]. 新乡医学院学报，2026，43(1)：73-79.
[5] Thanh C D，Men C V，Kim H M，et al. Network pharmacology-based investigation on therapeutic mechanisms of the *Angelica dahurica* Radix and *Ligusticum chuanxiong* Rhizoma herb pair for anti-migraine effect[J]. Plants（Basel），2022，11(17)：2196.
[6] Dickerson I M. Role of CGRP-receptor component protein（RCP）in CLR/RAMP function[J]. Curr Protein Pept Sci，2013，14(5)：407-415.
[7] Iyengar S，Johnson K W，Ossipov M H，et al. CGRP and the trigeminal system in migraine[J]. Headache，2019，59(5)：659-681.
[8] Chen Q W，Meng R T，Ko C Y. Modulating oxidative stress and neurogenic inflammation：the role of topiramate in migraine treatment[J]. Front Aging Neurosci，2024，16：1455858.
[9] Gross E C，Lisicki M，Fischer D，et al. The metabolic face of migraine：from pathophysiology to treatment[J]. Nat Rev Neurol，2019，15(11)：627-643.
[10] Morgan C T，Nkadimeng S M. The role of inflammation in migraine headaches：a review[J]. FASEB Bioadv，2025，7(7)：e70033.
[11] Antony Rajan R J，Esther A R. Bridging migraine and psychosis：a neuropsychiatric review of shared dopaminergic mechanisms[J]. Front Neurol，2025，16：1577146.
[12] O'Hare L，Asher J M，Hibbard P B. Migraine visual aura and cortical spreading depression-linking mathematical models to empirical evidence[J]. Vision（Basel），2021，5(2)：30.
[13] Arzani M，Jahromi S R，Ghorbani Z，et al. Gut-brain Axis and migraine headache：a comprehensive review[J]. J Headache Pain，2020，21(1)：15.
[14] Gorenshtein A，Shihada K，Leibovitch L，et al. The association between migraine and gut microbiota：a systematic review[J]. Acta Neurol Belg，2025，125(4)：977-987.
[15] Latif K，Khan A U，Haque M，et al. Bergapten attenuates nitroglycerin-induced migraine headaches through inhibition of oxidative stress and inflammatory mediators[J]. ACS Chem Neurosci，2021，12(18)：3303-3313.
[16] Yang S，Chen C，Liu X Y，et al. Xiongshao zhitong recipe attenuates nitroglycerin-induced migraine-like behaviors via the inhibition of inflammation mediated by nitric oxide synthase[J]. Front Pharmacol，2022，13：920201.
[17] 杜晖，吕楠，黄洁，等. 细胞膜色谱法筛选川芎-白芷中5-HT受体激动剂的研究[J]. 中国中药杂志，2015，40(3)：490-494.
[18] Feng S，He X，Zhong P R，et al. A metabolism-based synergy for total coumarin extract of Radix Angelicae Dahuricae and ligustrazine on migraine treatment in rats[J]. Molecules，2018，23(5)：1004.
[19] Naduchamy K P，Guptha J S C，Vellapandian C. Alpha-phellandrene alleviates lipopolysaccharide-induced neurogenic inflammation in zebrafish larvae[J]. NPJ，2025，16：e22103155348215.
[20] Sun J B，Li H，Sun J H，et al. Chemical composition and antimigraine activity of essential oil of Angelicae Dahuricae Radix[J]. J Med Food，2017，20(8)：797-803.
[21] Lian Y，Gan Z K，Sun J Y，et al. Multi-omics analysis reveals *Angelica dahurica* Radix extract alleviates migraine in rats via gut microbiota-metabolome-gut-brain axis regulation[J]. Front Pharmacol，2025，16：1650296.
[22] Lian Y，Chen X，Shen X L，et al. Spatial metabolomics combined with MALDI-MSI unveils gut-brain axis mechanisms of *Angelica dahurica* Radix in migraine rats[J]. Phytomedicine，2026，152：157815.
[23] 朱兴龙，陈晓妍，晏宇杭，等. 不同干燥加工方式的白芷饮片质量评价[J]. 中国药房，2022，33(24)：2985-2989.
[24] Muntoni E，Marini E，Ferraris C，et al. Intranasal lipid nanocarriers：uptake studies with fluorescently labeled formulations[J]. Colloids Surf B Biointerfaces，2022，214：112470.
[25] 涂希，洪卫漫，邓昌坚，等. 分子间相互作用调控经皮给药系统中药物释放与渗透的研究进展[J]. 药学学报，2025，60(12)：3720-3729.
[26] 刘晓昱，赖瑛. 白芷香豆素黏胶分散型贴剂的制备及体外经皮渗透研究[J]. 中国现代应用药学，2018，35(3)：330-334.
[27] 刘晓昱，陈红梅. 白芷香豆素醇质体凝胶贴剂的制备及其体外经皮渗透研究[J]. 中药材，2021，44(2)：408-410.
[28] Wang Z，Zan K，Hu X W，et al. The simultaneous determination of nine furocoumarins in *Angelica dahurica* using UPLC combined with the QAMS approach and novel health risk assessment based on the toxic equivalency factor[J]. Separations，2023，10(9)：508.
[29] Huang Q Q，Chen X，Yu S X，et al. Research progress in brain-targeted nasal drug delivery[J]. Front Aging Neurosci，2023，15：1341295.
[30] 王建平，郭佳宇，汪铜芳，等. 头痛宁鼻腔喷雾剂在大鼠体内的药动学及脑靶向研究[J]. 中国药房，2017，28(34)：4804-4807.
[31] 陈玲珑，田其学，李跃辉. 白芷纳米乳鼻喷雾剂质量控制方法的研究[J]. 中医药导报，2019，25(18)：47-49.

（收稿日期：2026-05-31　修回日期：2026-09-20）
（本文责编：邹丽娟）