

## 基于文献分析的中药精油给药途径及疗效机制特点

孙静怡, 王新欣, 吴静, 程乐, 苗明三\*

河南中医药大学 豫药全产业链协同创新中心, 河南 郑州 450046

**摘要:** **目的** 整合中药精油的给药途径与疾病的关联性及其在疾病治疗中的核心生物标志物, 分析其作用于机体的路径及机制, 推动中药精油的合理化应用和创新性发展。**方法** 利用中国知网数据库(CNKI)、维普数据库(VIP)、万方数据库(Wanfang)、Web of Science 数据库统计中药精油的给药途径及治疗疾病类型的分布, 并分析不同给药途径与不同疾病类型的关联性, 对中药精油治疗过程中作用的生物标志物进行频次统计, 分析关联最密切的生物标志物在中药精油治疗疾病中的作用机制。**结果** 口服在所有给药途径中占比 66.23%, 吸入途径为 21.37%, 涂抹途径为 8.18%, 腹腔注射为 3.17%, 静脉注射为 1.06%; 口服和吸入给药途径关联性最高的疾病类型是精神神经系统性疾病, 涂抹给药途径中关联性最高的是皮肤病及免疫相关疾病, 腹腔注射关联性最高的是肿瘤疾病。在所有出现频次  $\geq 10$  的生物标志物中, 涉及氧化应激调控的生物标志物为丙二醛(malondialdehyde, MDA)、NO、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)等, 涉及炎症反应调控的生物标志物为肿瘤坏死因子- $\alpha$  (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )、白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6)、IL-1 $\beta$ 、IL-8 等, 涉及细胞凋亡调控的生物标志物为 B 淋巴细胞瘤-2 相关 X 蛋白(B-cell lymphoma-2 associated X protein, Bax)、B 淋巴细胞瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2)、半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-3 (cysteinase protease-3, Caspase-3) 等, 涉及神经调节的生物标志物为 5-羟色胺(5-hydroxytryptamine, 5-HT)、 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)、去甲肾上腺素(norepinephrine, NE)、乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)等。**结论** 中药精油通过吸入、经皮吸收和口服 3 种主要途径进入机体, 发挥其生物活性。可通过调节氧化应激、神经递质、炎症反应及细胞凋亡等多种机制发挥作用, 在疾病的防治中具有显著的优势。

**关键词:** 中药; 精油; 给药途径; 生物标志物; 氧化应激; 神经递质; 细胞凋亡

**中图分类号:** R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)13-5193-10

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.13.021

## Administration routes and therapeutic mechanism characteristics of traditional Chinese medicine essential oils based on literature analysis

SUN Jingyi, WANG Xinxin, WU Jing, CHENG Le, MIAO Mingsan

Yu Medicine Whole Industrial Chain Collaborative Innovation Center, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

**Abstract: Objective** To integrate the correlation between the administration routes of traditional Chinese medicine essential oils and diseases, as well as their core biomarkers in disease treatment, analyze their pathways and mechanisms of action on the body, and promote the rational application and innovative development of traditional Chinese medicine essential oils. **Methods** China National Knowledge Infrastructure(CNKI), VIP Information(VIP), Wanfang Data, Web of Science were used to analyze the distribution of administration routes for traditional Chinese herbal essential oils and the types of diseases treated. The correlation between different administration routes and disease types was examined, along with frequency statistics of biomarkers involved in the therapeutic process. After identifying the most closely associated biomarkers, their mechanisms of action in disease treatment by traditional Chinese herbal essential oils were analyzed. **Results** Among all administration routes, oral administration accounted for 66.23%, inhalation for 21.37%, topical application for 8.18%, intraperitoneal injection for 3.17%, and intravenous injection for 1.06%. The disease types most strongly associated with oral and inhalation routes were neurological and psychiatric disorders, while those most associated with topical application were skin diseases and immune-related conditions. Intraperitoneal injection showed the strongest association with tumor diseases. Among biomarkers appearing more than 10 times, those related to oxidative stress regulation included malondialdehyde (MDA), nitric oxide (NO), and superoxide dismutase (SOD); those involved in inflammatory response regulation included tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), interleukin-6 (IL-6), IL-1 $\beta$ , and IL-8; those associated with apoptosis regulation included B-cell lymphoma-2 associated X protein (Bax), B-cell lymphoma-2 (Bcl-2), and

收稿日期: 2025-10-24

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(82274119); 河南省重点研发专项(251111310400); 河南省中医药科学研究重大专项(2024ZYZD15); 河南省重点研发专项计划(241111311500); 河南省中医药科学院揭榜挂帅项目(2025ZKY006); 河南省中医学“双一流”创建科学研究专项; 河南省高等学校重点科研项目计划(25CY021)

**作者简介:** 孙静怡, 硕士研究生, 从事中药学研究。E-mail: sunjingyi0531@163.com

\***通信作者:** 苗明三, 博士, 教授, 从事中药药理学教学及实验研究。E-mail: miaomingsan@163.com

cysteinasparate protease-3 (Caspase-3); and those involved in neural regulation included 5-hydroxytryptamine (5-HT),  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA), norepinephrine (NE), and acetylcholinesterase (AChE). **Conclusion** Traditional Chinese medicine essential oils enter the human body through three primary routes: inhalation, transdermal absorption and oral administration to exert their biological effects. They can exert effects via by regulating multiple mechanisms such as oxidative stress, neurotransmitter, inflammatory responses, and apoptosis, demonstrating significant advantages in disease prevention and treatment.

**Key words:** traditional Chinese medicine; essential oils; biomarker; route of administration; therapeutic mechanism; oxidative stress; neurotransmitter; cell apoptosis

中药精油是从药用植物中提取的挥发性成分, 包含单萜、倍半萜、芳香族化合物等生物活性物质, 凭借多靶点作用及较低毒性在疾病防治及机体功能调节中逐渐展现独特价值<sup>[1-2]</sup>。其应用历史可追溯至传统芳香疗法, 现代研究则进一步揭示了精油在抗炎、抗氧化、调节免疫及神经功能等方面的药理潜力<sup>[3-4]</sup>。然而, 当前对于中药精油发挥作用的具体生物学机制仍需更系统地梳理与总结。

中药精油的给药途径直接关系到成分吸收效率与作用靶点, 不同途径在适用病症、作用速度及安全性上各有侧重。口服是在中药精油治疗疾病的基础研究中的常用给药方式, 药物经胃肠道吸收进入体循环<sup>[5]</sup>, 但部分成分会因首关效应被肝脏代谢, 影响生物利用度; 吸入途径利用挥发性分子通过鼻黏膜快速作用于中枢神经系统, 进而调节边缘系统、内分泌功能等, 在情绪改善、镇痛等方面具有速效优势<sup>[6]</sup>; 经皮涂抹则依赖皮肤渗透, 通过角质层吸收进入血液循环, 尤其适用于局部治疗及慢性疾病管理。

尽管已有研究揭示了中药精油的多种药理作用, 但不同给药途径的适用场景、关键疗效标志物的机制, 以及成分吸收与靶点效应的关联性仍需更深入的整合分析。本研究旨在系统归纳中药精油的给药途径分布, 剖析其在氧化应激、炎症、凋亡及神经调节中的核心作用靶点, 推动中药精油的合理化应用与创新发

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

利用中国知网数据库 (CNKI)、维普数据库 (VIP)、万方数据库 (Wanfang), 以“精油”“挥发油”为关键词分别进行主题检索, 检索时限为 2007 年 1 月—2025 年 4 月。在 Web of Science 检索界面以“essential oil”进行搜索, 研究领域设定为“pharmacology pharmacy”, 收集与精油及挥发油相关的实验性研究文献, 时间截至 2025 年 4 月。

### 1.2 纳入标准

①有明确给药方式的文献; ②明确含有检测指

标的文献; ③治疗确切有效的文献。

### 1.3 排除标准

①所有不涉及动物或体外实验的综述类文献; ②所有硕博论文、会议报纸类文献; ③重复发表的文献及不同数据库的相同文献只纳入 1 篇, ④不包含实验验证的网络药理学文献。

### 1.4 数据处理

所有数据经筛选核查后录入 Excel 表格, 创建数据库, 并对录入的所有疾病及检测指标进行归类整理, 数据录入后仔细核对并进行逻辑检查, 以保证录入的数据相对精准, 并使用 GraphPad Prism 9 软件进行图形绘制。

## 2 结果

### 2.1 中药精油的给药途径及治疗疾病类型分布

**2.1.1 中药精油的给药途径分布** 通过检索整理数据库相关词条, 最终纳入研究类文献 528 篇。将 528 篇文献进行统计分析, 共有吸入、涂抹、口服、腹腔注射和静脉注射 5 种给药途径, 其中频次最高的是口服途径, 频次为 251 次, 占比 66.23%, 其次是吸入途径, 频次为 81 次, 占比 21.37%, 涂抹途径频次为 31 次, 占比 8.18%, 腹腔注射频次为 12 次, 占比 3.17%, 静脉注射频次为 4 次, 占比为 1.06%。见图 1。

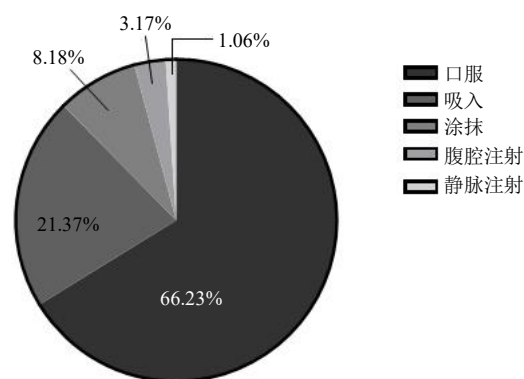


图 1 中药精油的给药途径分布

Fig. 1 Distribution of administration routes of traditional Chinese medicine essential oils

**2.1.2 中药精油治疗疾病类型分布** 统计出的中药精油及中药复方精油治疗疾病的类型共分为皮肤病及免疫相关疾病、精神神经系统性疾病、感染性疾病、心脑血管系统疾病、妇科与泌尿系统疾病、呼吸系统疾病、肿瘤、消化系统疾病、代谢与内分泌疾病、退行性关节病、中医证候、衰老相关 12 个方面，其中精神神经系统性疾病占比最高，频次为 115 次，频率为 28.12%；其次为心脑血管系统疾病，频次为 78 次，频率为 19.07%；其余疾病类型占比依次为肿瘤（46 次，11.25%）、呼吸系统疾病（39 次，9.54%）、消化系统疾病（32 次，7.82%）、妇科与泌尿系统疾病（18 次，4.40%）、代谢与内分泌疾病（18 次，4.40%）、皮肤病及免疫相关疾病（17 次，4.16%）、退行性关节病（16 次，3.91%）、感染性疾病（12 次，2.93%）、中医证候（10 次，2.44%）、衰老相关（8 次，1.96%）。

**2.2 给药途径与中药精油治疗疾病类型的关联性分析**

本研究统计的中药精油的给药途径共有 5 种，

在统计过程中发现不同的疾病类型侧重选择的给药途径也略有不同，原因可能是不同给药途径进入机体所作用的部位及循环路径不同。基于此，针对中药精油的给药途径与其治疗疾病类型进行统计分析。结果显示，在口服给药途径中，精神神经系统性疾病占比最高，频次为 63 次，其次是心脑血管系统疾病，频次为 42 次，消化系统疾病在口服给药途径中频次为 26 次，呼吸系统疾病频次为 22 次，其余 8 种疾病类型频次均小于 20 次；吸入给药途径关联 7 种疾病类型，精神神经系统性疾病占比最高，频次为 48 次，其次是心脑血管系统疾病，频次为 14 次，其余疾病类型频次均小于 10 次；涂抹给药途径关联 9 种疾病类型，皮肤病及免疫相关疾病占比最高，频次为 13 次，其次是衰老相关疾病，频次为 4 次；腹腔注射和静脉注射途径分别关联 5 种和 3 种疾病类型，且频次均低于 5 次。见图 2。

**2.3 中药精油给药途径及其治疗疾病类型的应用分析**

**2.3.1 给药途径的关联性分析** 本研究统计出的

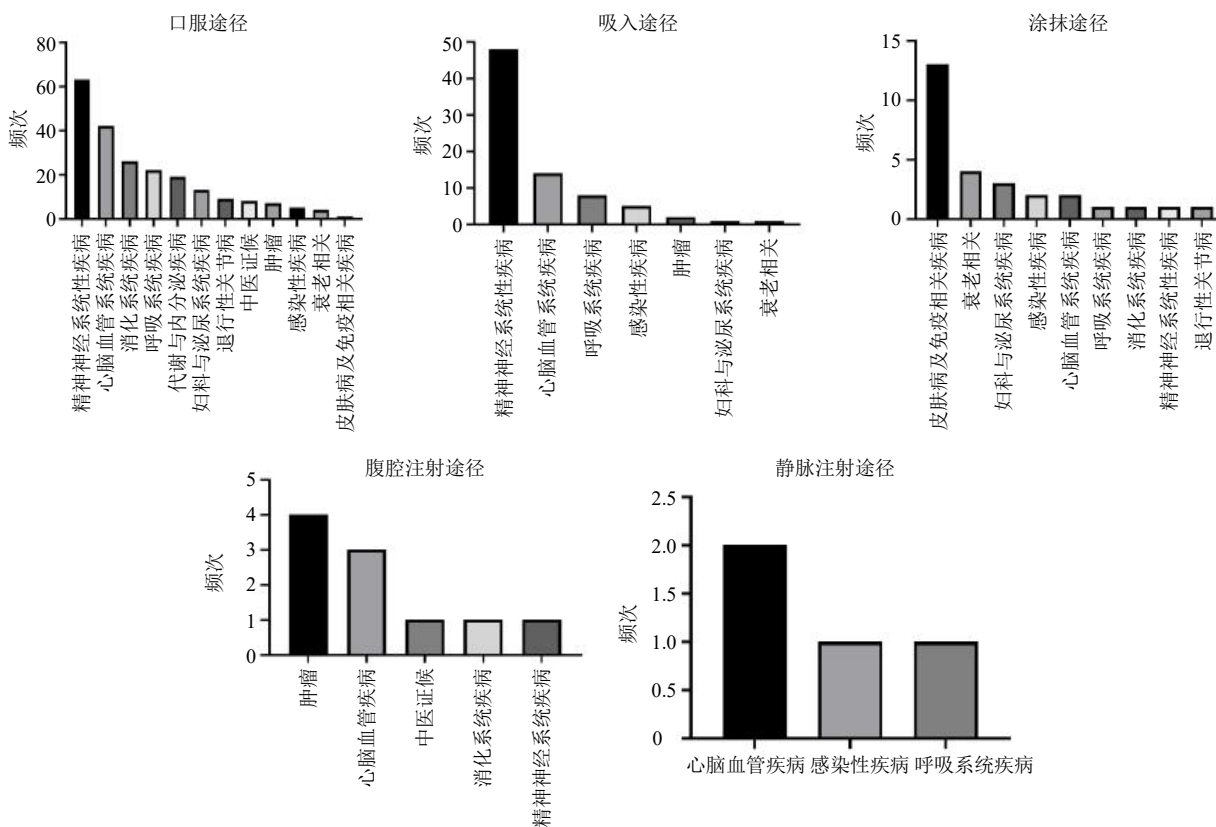


图 2 中药精油给药途径与各类型疾病的关联性分析

Fig. 2 Correlation analysis between administration routes of traditional Chinese medicine essential oils and various types of diseases

中药精油共 158 种，对其进行给药途径的关联性统计分析，结果显示，口服途径中关联性最高的是当归精油，频次为 35 次，其次是石菖蒲挥发油，频次为 18 次；吸入途径中，关联程度最高的是薰衣草精油，频次为 16 次；涂抹途径中，

占比最高的是薰衣草精油和花椒精油，频次均为 5 次；腹腔注射及静脉注射途径中，因研究较为分散且样本量过少，故无法统计最高频次。高频给药途径关联的出现 3 次及以上的中药精油种类见表 1。

表 1 给药途径与中药精油种类 (频次≥3)

Table 1 Administration routes and types of traditional Chinese medicine essential oils (frequency ≥ 3)

给药途径	中药精油 (频次)	总频次
口服途径	当归精油 (35)、石菖蒲挥发油 (18)、鱼腥草挥发油 (8)、苍艾挥发油 (6)、艳山姜挥发油 (5)、川芎挥发油 (5)、细辛挥发油 (5)、白术精油 (4)、益智挥发油 (4)、肉豆蔻挥发油 (4)、大蒜精油 (3)、肉桂精油 (3)、乌药挥发油 (3)、四神丸挥发油 (3)、厚朴挥发油 (3)、山蜡梅叶挥发油 (3)、小茴香挥发油 (3)、林蛙卵油 (3)	118
吸入途径	薰衣草精油 (16)、苍艾挥发油 (6)、迷迭香精油 (5)、沉香精油 (5)、冰香散挥发油 (4)、石菖蒲挥发油 (3)、川芎挥发油 (3)、苍耳子挥发油 (3)、椰子壳挥发油 (3)	51
涂抹	薰衣草精油 (5)、花椒精油 (5)、生姜精油 (3)	13

**2.3.2 疾病类型的关联性分析** 对本研究统计的各疾病类型进行中药精油用药统计，并对其进行排序。结果显示，精神神经系统性疾病类型中，频次最高的为石菖蒲挥发油，为 23 次，其次是薰衣草精油，为 16 次；心脑血管系统疾病类型中，频次最高的为当归挥发油，为 14 次，其次是艳山姜挥发油，为 10 次；其余疾病类型如肿瘤中，频次最高的是当归挥发油，为 6 次；呼吸系统疾病类型中，频次最高的是当归精油，为 8 次；消化系统疾病类型中，频次最高的是苍术挥发油，为 4 次；妇科与泌尿系统疾病类型中，频次最高的是当归精油，为 6 次；代谢与内分泌疾病类型中，频次最高

的是艳山姜挥发油，为 4 次；退行性关节病类型中，频次最高的是鱼腥草挥发油，为 4 次；皮肤病及免疫相关疾病类型中，频次最高的是薰衣草精油，为 3 次；感染性疾病类型中，频次最高的是荆芥挥发油，为 3 次；中医证候中与衰老相关疾病中，研究较为分散，故无法统计最高频次。以下是不同疾病类型关联的出现 3 次及以上的中药精油种类，见表 2。

**2.3.3 中药精油治疗疾病的生物标志物频率分布** 本研究统计出生物标志物达 380 余种，依照频次进行排序，占比较高的生物标志物分别是肿瘤坏死因子- $\alpha$  (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ , 99 次)、白细

表 2 各疾病类型与中药精油种类

Table 2 Types of diseases and categories of traditional Chinese medicine essential oils

疾病类型	中药精油种类 (频次)	总频次
精神神经系统性疾病	石菖蒲挥发油 (23)、薰衣草精油 (16)、沉香精油 (6)、迷迭香精油 (5)、益智挥发油 (4)、艳山姜挥发油 (4)、苍艾挥发油 (3)、当归精油 (3)	64
心脑血管系统疾病	当归精油 (14)、艳山姜挥发油 (10)、苍艾挥发油 (6)、薰衣草精油 (5)、川芎挥发油 (4)、玫瑰精油 (3)、椰子壳挥发油 (3)	45
肿瘤	当归精油 (6)、姜黄挥发油 (6)、川芎挥发油 (3)、佛手挥发油 (3)	18
呼吸系统疾病	当归精油 (8)、苍耳子挥发油 (4)	12
消化系统疾病	苍术挥发油 (4)、四神丸挥发油 (3)	7
妇科与泌尿系统疾病	当归精油 (6)、林蛙卵油 (3)	9
代谢与内分泌疾病	艳山姜挥发油 (4)、花椒精油 (3)、当归精油 (3)、大蒜精油 (3)、肉桂精油 (3)	16
退行性关节病	鱼腥草挥发油 (4)、独活精油 (3)	7
皮肤病及免疫相关疾病	薰衣草精油 (3)	3
感染性疾病	荆芥挥发油 (3)	3

胞介素-6 (interleukin-6, IL-6, 82 次)、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD, 78 次)、丙二醛 (malondialdehyde, MDA, 74 次)、IL-1 $\beta$  (63 次)、NO (51 次)、5-羟色胺 (5-hydroxytryptamine, 5-HT, 34 次)、凋亡相关蛋白 B 淋巴瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2, 31 次)、Bcl-2 相关 X 蛋白 (B-cell lymphoma-2 associated X protein, Bax, 30 次)、胱天蛋白酶-3 (cysteine aspartase-3, Caspase-3, 26 次)、谷胱甘肽过氧化酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px, 25 次)、核转录因子- $\kappa$ B (nuclear factor- $\kappa$ B, NF- $\kappa$ B, 22 次)、乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH, 21 次)、多巴胺 (dopamine, DA, 19 次)、 $\gamma$ -氨基丁酸 ( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA, 19 次)、前列腺素 E<sub>2</sub> (prostaglandin E<sub>2</sub>, PGE<sub>2</sub>, 18 次)、去甲肾上腺素 (norepinephrine, NE, 17 次)、IL-10 (16 次)、磷脂酰肌醇 3 激酶 (phosphatidylinositol-3-hydroxykinase, PI3K, 16 次)、核因子 E2 相关因子

2 (nuclear factor erythroid-2-related factor 2, Nrf2, 14 次)、诱导型一氧化氮合酶 (inducible nitric oxide synthase, iNOS, 14 次)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT, 14 次)、谷胱甘肽 (glutathione, GSH, 13 次)、IL-8 (13 次)、谷氨酸 (glutamic acid, Glu, 12 次)、脑源性神经营养因子 (brain derived neurotrophic factor, BDNF, 12 次)、IL-4 (12 次)、蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt, 11 次)、磷酸化 Akt (p-Akt, 11 次)、乙酰胆碱酯酶 (acetylcholinesterase, AChE, 11 次)、NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (nucleotide-binding oligomerization domain-like receptor protein 3, NLRP3, 11 次)、三酰甘油 (triacylglycerol, TG, 11 次)、总胆固醇 (total cholesterol, TC, 11 次)、活性氧 (reactive oxygen species, ROS, 11 次)、IL-2 (10 次) 等, 出现频次为 10 次及以上的生物标志物进行统计分类, 并统计其应用频率, 见表 3。

表 3 中药精油治疗疾病的生物标志物种类

Table 3 Types of biomarkers for traditional Chinese medicine essential oils in treatment of diseases

类别	生物标志物	应用频次	频率/%
炎症因子与抗炎因子	TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6、IL-8、IL-4、IL-10、IL-2、NF- $\kappa$ B、NLRP3	320	34.63
氧化应激与抗氧化因子	MDA、NO、iNOS、SOD、CAT、GSH-Px、GSH、Nrf2、ROS	294	31.82
细胞凋亡	Bcl-2、Bax、Caspase-3、PI3K、Akt、p-Akt	125	13.53
神经递质/调节因子	Glu、DA、NE、GABA、5-HT、BDNF、AChE	124	13.42
代谢与损伤标志物	LDH、TG、PGE <sub>2</sub> 、TC	61	6.60

#### 2.4 中药精油-给药途径-疾病类型-核心生物标志物系统构建

通过进一步整合上述结果, 深入探讨了中药精油、给药途径、疾病类型、生物标志物 4 者之间的关联性。结果表明, 在口服途径-精神神经系统疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括神经递质/调节因子、氧化应激与抗氧化因子、炎症因子与抗炎因子; 在口服途径-心脑血管系统疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括氧化应激与抗氧化因子、代谢与损伤标志物、炎症因子与抗炎因子; 在口服途径-心脑血管系统疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括氧化应激与抗氧化因子、炎症因子与抗炎因子。在吸入途径-精神神经系统疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括神经递质/调节因子、炎症因子与抗炎因子、氧化应激与抗氧化因子; 在吸入途径-心脑血管系统疾病-核心生物标

志物网络中, 常见的生物标志物类别包括代谢与损伤标志物; 在吸入途径-呼吸系统疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括炎症因子与抗炎因子。在涂抹途径-皮肤及免疫相关疾病-核心生物标志物网络中, 常见的生物标志物类别包括炎症因子。见表 4。由于与细胞凋亡相关的文献多为细胞实验, 因此在有关给药途径的文献中关于细胞凋亡因子的生物标志物较少, 未纳入。

#### 2.5 高频中药精油治疗疾病的应用机制

通过对各种药精油及各种疾病的统计归纳, 筛选出高频次中药精油, 并将频次 10 次以上的中药精油与各种疾病的关联性进行统计分析。结果表明, 在统计的 158 种中药精油中, 频次最高的是当归精油, 为 52 次, 其次是石菖蒲挥发油, 为 30 次, 艳山姜挥发油频次为 26 次, 薰衣草精油频次为 23 次, 苍艾挥发油频次为 13 次, 花椒精油的频次为 11 次。与高频中药精油关联性较高的疾病及作用机

表 4 给药途径-疾病类型-生物标志物核心关联

Table 4 Core association of administration route-disease type-biomarker

给药途径	疾病类型	生物标志物类别	核心生物标志物	频次
口服	精神神经系统性疾病	神经递质/调节因子	5-HT、DA、GFAP、AChE、NE、Iba1、BDNF、ChAT、GABA、ACh、Aβ、	77
		氧化应激与抗氧化因子	MDA、SOD	20
		炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-1β	16
	心脑血管系统疾病	氧化应激与抗氧化因子	NO、SOD、GSH-Px、MDA、ET-1	41
		代谢与损伤标志物	LDH、TC、TG、LDL-C	25
		炎症因子与抗炎因子	TNF-α	5
		氧化应激与抗氧化因子	SOD、GSH-Px、MDA、	23
	消化系统疾病	炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-6	16
		炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-6、IL-4	18
	呼吸系统疾病	炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-6、IL-4	18
妇科与泌尿系统疾病	代谢与损伤标志物	PGE <sub>2</sub> 、PGF <sub>2α</sub>	9	
退行性关节炎	炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-1β	12	
吸入	精神神经系统性疾病	神经递质/调节因子	GABA、5-HT、Glu、NE、DA	44
		炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-6、IL-1β	24
		氧化应激与抗氧化因子	SOD、MDA	10
	心脑血管系统疾病	代谢与损伤标志物	PRA、AngI、AngII	9
		炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-4	4
	呼吸系统疾病	炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-4	4
	感染性疾病	代谢与损伤标志物	s-IgA、IgA、IgG	7
	涂抹	皮肤病及免疫相关疾病	炎症因子与抗炎因子	TNF-α、IL-6
衰老相关		氧化应激与抗氧化因子	MDA	2
		代谢与损伤标志物	HYP	2

GFAP-胶质纤维酸性蛋白; Iba1-离子钙结合适配分子 1; ChAT-胆碱乙酰转移酶; Ach-乙酰胆碱; Aβ-β-淀粉样蛋白; ET-1-内皮素-1; LDL-C-低密度脂蛋白胆固醇; PGF<sub>2α</sub>-前列腺素 F<sub>2α</sub>; PRA-血浆肾素活性; AngI-血管紧张素 I; AngII-血管紧张素 II; s-IgA-分泌型免疫球蛋白 A; IgA-免疫球蛋白 A; IgG-免疫球蛋白 G; HYP-羟脯氨酸。

GFAP-glia fibrillary acidic protein; Iba1-ionized calcium binding adaptor molecule 1; ChAT-choline acetyltransferase; Ach-acetylcholine; Aβ-amyloid beta; ET-1-endothelin-1; LDL-C-low-density lipoprotein cholesterol; PGF<sub>2α</sub>-prostaglandin F<sub>2α</sub>; PRA-plasma renin activity; AngI-angiotensin I; AngII-angiotensin II; s-IgA-secretory immunoglobulin A; IgA-immunoglobulin A; IgG-immunoglobulin G; HYP-hydroxyproline.

制见表 5。

### 3 讨论

本研究通过建立数据库分析大量文献,发现中药精油的给药途径与其在疾病中的应用密不可分。口服用药在动物实验中作为一种主要的给药途径,在中药精油治疗精神神经系统性疾病、心脑血管系统疾病、消化系统疾病、呼吸系统疾病、代谢与内分泌等疾病等方面应用广泛,经肝脏代谢后的中药精油活性成分进入体循环输送至全身各处,从而发挥疗效。然而,尽管口服用药在中药精油治疗疾病的基础研究中占主导地位,但其生物利用度降低(首关效应)、对胃肠道黏膜产生刺激等劣势仍不可忽视<sup>[38]</sup>。吸入用药在精神神经系统性疾病、心脑血管疾病、呼吸系统疾病等疾病中应用较多,其机制依赖于挥发性分子通过鼻黏膜吸收开始,在气体交

换进入肺部后进入循环系统,进而系统性调节机体功能。作为一种芳香疗法,吸入给药可在短短 4 s 内诱导中枢神经系统反应<sup>[39]</sup>,具有起效迅速,副作用小的优势,但其作用剂量与强度易受环境因素干扰,难以实现精准控制。经皮吸收在中药精油治疗疾病的动物实验基础研究中是除口服用药和吸入给药之外的重要给药途径之一,本研究显示,该途径在痤疮等皮肤病和光老化等衰老相关疾病中占据重要地位,原因可能是中药精油的高脂溶性使其更容易穿透皮肤表皮角质层进入到皮肤的深层和血液循环<sup>[40]</sup>,从而发挥局部乃至全身疗效。然而,尽管其在皮肤病及衰老相关疾病疗效显著,但因中药精油的刺激性较强,在使用过程中常伴随局部灼烧感、刺激感等不良反应。口服用药和吸入给药在中药精油治疗疾病的动物实验应用中均占据主要

表5 高频中药精油及治疗疾病的机制 (频次>10)

Table 5 Mechanisms of high-frequency traditional Chinese medicine essential oils in treatment of diseases (frequency > 10)

中药精油	疾病	作用机制	应用频次
当归精油	高血压	①上调血管内皮 PI3K、AKT、p-AKT、eNOS、p-eNOS 及 miR122 的表达量 <sup>[7-8]</sup> ; ②抑制血清中的 EMPs、vWF、肾素、AngII、ET-1、VEGF 水平, 促进血清中的 NO 水平等 <sup>[9-10]</sup>	9
	哮喘	①抑制血清 IL-17 水平和肺组织 ROR $\gamma$ t 过度表达 <sup>[11]</sup> ; ②促进血清 IL-10 和肺组织 Foxp3 水平 <sup>[12]</sup>	8
	痛经	升高血清中 $\beta$ -EP、6-K-PGF1a 含量, 降低血清中 TXB2 水平, 子宫中 PGE <sub>2</sub> 、PGF <sub>2<math>\alpha</math></sub> 、AVP 水平 <sup>[13-14]</sup>	6
	结直肠癌	升高 Bax/Bcl 水平、LC3B-II、Beclin-1、Atg5、cleaved Caspase-3 蛋白表达, 抑制 $\beta$ -catenin、c-myc、Cyclin D1、PI3K、p-Akt、p-mTOR 蛋白表达 <sup>[15-17]</sup>	5
石菖蒲挥发油	癫痫	降低海马组织中 MDA、NO 含量及 c-fos 基因表达, 升高 SOD 含量 <sup>[18-19]</sup>	6
	阿尔茨海默病	①升高脑组织 SOD 含量, 降低 MDA 含量 <sup>[20]</sup> ; ②增加海马组织 ChAT 水平、降低 GFAP 表达水平 <sup>[21]</sup>	3
	帕金森病	①升高黑质 LC3B、Beclin1 蛋白表达水平, TH 阳性细胞占比, 降低 p-AKT/AKT、p-mTOR/mTOR <sup>[22]</sup> ; ②降低中脑 Beclin-1 和 LC3B 表达的作用, 同时增加 p62 的表达 <sup>[23]</sup>	2
艳山姜挥发油	脐静脉内皮细胞损伤	通过调控 Nrf2 升高 PPAR $\gamma$ 蛋白表达 <sup>[24]</sup> ; 改善 eNOS 活力, 提高 NO 水平 <sup>[25]</sup>	4
	内皮间质转分化	增加 VE-cadherin、CD31 的表达, 降低 $\alpha$ -SMA、Snail、NF- $\kappa$ B p-p65、Vimentin、Notch-1、Slug 蛋白的表达 <sup>[26-27]</sup>	3
薰衣草精油	高血压	①降低下丘脑旁室核 GABA 灰度值和 外周神经肽浓度 <sup>[28]</sup> ; ②降低血浆 PRA、AngI、AngII 和 ALD 的浓度 <sup>[29]</sup>	5
	抑郁症	升高海马体中 pCREB、mGluR1、mGluR5、EAAT2 和 c-fos 水平 <sup>[30-31]</sup>	5
	失眠	升高脑组织 5-HT 水平, 降低 DA 水平 <sup>[32]</sup> ; 升高海马体 I $\kappa$ B $\alpha$ 蛋白表达, 降低 AC-NF- $\kappa$ B 及 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-1 $\beta$ 的表达量 <sup>[33]</sup>	4
苍艾挥发油	高原心肌肥厚	升高血清中 SOD、GSH-Px 含量, 降低 MDA 含量 <sup>[34]</sup>	2
	抑郁症	升高血清中 BDNF 含量 <sup>[35]</sup>	2
花椒精油	结直肠癌	①降低结肠组织中 AChE 活性, 升高 ChAT 活性, 升高其 $\alpha$ -7nAChR 蛋白表达, 降低 IL-6 mRNA 相对表达 <sup>[36]</sup> ; ②减少结肠肿瘤形成与免疫炎症细胞浸润, 延缓 CAC 进程 <sup>[37]</sup>	2

eNOS-内皮型一氧化氮合酶; p-eNOS-磷酸化内型一氧化合酶; miR122-微小 RNA-122; EMPs-内皮细胞微粒; vWF-血管性血友病因子; VEGF-血管内皮生长因子; ROR $\gamma$ t-维甲酸相关孤儿受体  $\gamma$ t; Foxp3-叉头框蛋白 P3;  $\beta$ -EP- $\beta$ -内啡肽; 6-K-PGF1a-6-酮-前列腺素 F1 $\alpha$ ; TXB<sub>2</sub>: 血栓素 B<sub>2</sub>; AVP-精氨酸加压素; LC3B-II-微管相关蛋白 1 轻链 3 $\beta$ ; Beclin-1-自噬效应蛋白; Atg5-自噬相关蛋白 5; cleaved Caspase-3-切割(活化)型半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶 3;  $\beta$ -catenin- $\beta$ -连环蛋白; c-myc-骨髓细胞瘤病毒癌基因; Cyclin D1-细胞周期蛋白 D1; p-mTOR-磷酸化哺乳动物雷帕霉素靶蛋白; c-fos-c-Fos 原癌基因; LC3B-微管相关蛋白 1 轻链 3 $\beta$ ; TH-辅助性 T 细胞; mTOR-哺乳动物雷帕霉素靶蛋白; PPAR $\gamma$ -过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$ ; VE-cadherin-血管内皮钙黏蛋白; CD31-血小板内皮细胞黏附分子-1;  $\alpha$ -SMA- $\alpha$ -平滑肌肌动蛋白; Snail-Snail 家族转录抑制因子 1; Vimentin-形蛋白; Notch-1-Notch 同源蛋白 1; Slug-Snail 家族转录抑制因子 2; ALD-固酮; pCREB-磷酸化 cAMP 反应元件结合蛋白; mGluR1-代谢型谷氨酸受体 1; EAAT2-兴奋性氨基酸转运蛋白 2; I $\kappa$ B $\alpha$ -核因子  $\kappa$ B 抑制蛋白  $\alpha$ ; AC-NF- $\kappa$ B-乙酰化核因子- $\kappa$ B;  $\alpha$ -7nAChR- $\alpha$ -7 烟碱型乙酰胆碱受体; CAC-结直肠癌。

eNOS-endothelial nitric oxide synthase; p-eNOS-phosphorylated endothelial NO synthase; miR122-microRNA-122; EMPs-endothelial microparticles; vWF-von willebrand factor; VEGF-vascular endothelial growth factor; ROR $\gamma$ t-RAR-related orphan receptor gamma t; Foxp3-forkhead box protein P3;  $\beta$ -EP- $\beta$ -endorphin; 6-K-PGF1a-6-keto-prostaglandin F1 $\alpha$ ; TXB<sub>2</sub>-thromboxane B<sub>2</sub>; AVP-arginine vasopressin; LC3B-II-microtubule-associated protein 1 light chain 3 beta; Beclin-1-autophagy effector protein; Atg5-autophagy-related 5; cleaved Caspase-3-cleaved/activated cysteine aspartic acid protease 3; c-myc-mycocytomatosis oncogene; Cyclin D1-Cylin D1; p-mTOR-phosphorylated mammalian target of rapamycin; c-fos-c-Fos proto-oncogene; LC3B-microtubule-associated protein 1 light chain 3 beta; TH-helper T cell; mTOR-mammalian target of rapamycin; PPAR $\gamma$ -peroxisome proliferator-activated receptor gamma; VE-cadherin-vascular endothelial cadherin; CD31-platelet endothelial cell adhesion molecule-1;  $\alpha$ -SMA- $\alpha$ -smooth muscle actin; Snail-Snail family transcriptional repressor 1; Notch-1-neurogenic locus notch homolog protein 1; Slug-Snail family transcriptional repressor 2; ALD-aldosterone; pCREB-phosphorylated cAMP response Element-binding protein; mGluR1-metabotropic glutamate receptor 1; EAAT2-excitatory amino acid transporter 2; I $\kappa$ B $\alpha$ -inhibitor of nuclear factor of kappa light polypeptide gene enhancer in B-cells inhibitor alpha; AC-NF- $\kappa$ B-acetylated nuclear factor- $\kappa$ B;  $\alpha$ -7nAChR- $\alpha$ -7 nicotinic acetylcholine receptor; CAC-colitis-associated colorectal cancer.

地位,但二者进入机体的路径及作用部位存在显著差异,例如在精神神经系统性疾病中,口服给药依赖于中药精油中的小分子物质通过体循环穿透血脑屏障作用于中枢神经系统<sup>[41]</sup>;而在吸入给药途径中,芳香分子通过鼻腔进入体内后,迅速被嗅觉上皮中的嗅觉感受器转化为神经冲动,随后通过嗅神经传递至嗅球,最终到达大脑的边缘系统和海马体等区域发挥疗效<sup>[42]</sup>。

本研究将文献中涉及的生物标志物进行统计,并将出现频率高的生物标志物进行归类分析,结果显示,中药精油主要通过调控机体氧化应激、炎症反应、细胞凋亡和神经系统 4 个方面从而发挥其疗效。中药精油进入机体后,通过调节 MDA、NO、SOD、CAT、GSH-Px、GSH、Nrf2 等氧化应激与抗氧化因子发挥调控作用,例如姜黄精油中的姜黄素可上调糖尿病模型小鼠脑组织的 SOD 活性,同时减少 MDA 含量,从而缓解 DM 小鼠脑组织的氧化损伤<sup>[43]</sup>。百里香精油能显著提高机体 GSH 含量及 CAT、SOD、GSH-Px 的活性,防止自由基连锁反应的扩展与细胞膜系统的脂质过氧化<sup>[44]</sup>。此外,罗仙子精油能明显提高小鼠皮肤组织中 HYP 含量、SOD 及 GSH-Px 活力,有效提高皮肤内抗氧化酶的活力,从而发挥抗衰老作用<sup>[45]</sup>。中药精油调控机体炎症反应涉及 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-8、IL-4、IL-10、PGE<sub>2</sub> 等因子的动态平衡,研究表明,薰衣草精油通过降低大鼠海马体中 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-1 mRNA 表达,从而改善睡眠剥夺大鼠的学习记忆能力<sup>[37]</sup>;桉木精油可通过减少组织的变性和坏死,降低血清 TNF- $\alpha$ 、IL- $\beta$  等炎症介质水平,促进炎症消除<sup>[46]</sup>。同时体外研究表明柠檬精油可有效降低脂多糖诱导的 HaCaT 细胞内 ROS 水平,降低 IL-6、TNF- $\alpha$  和 NO 炎症因子,从而改善氧化应激导致的细胞炎症损伤<sup>[47]</sup>。细胞凋亡是机体在生理或病理条件下受基因精确调控的程序性死亡过程,受到 Bcl-2、Bax、Caspase-3、PI3K、Akt、p-Akt 等多种因子和信号通路的调控,中药精油通过调节这些因子从而发挥作用。体外研究表明,白术精油能诱导 HepG2 肝癌细胞凋亡,其机制在于升高肝癌细胞中 Bax、cleaved PARP 及 cleaved Caspase-3 的蛋白表达,降低 Bcl-2 的蛋白表达,从而抑制其增殖<sup>[48]</sup>。巴豆精油可以剂量相关性方式升高 A549 肺癌细胞系中 Bax/Bcl-2,并使肺癌细胞色素 C 释放到胞质溶胶中激活 Caspase-9,最终激活 Caspase-3,诱导肺癌细胞的调

亡<sup>[49]</sup>。体外研究表明,柠檬百里香叶挥发油可参与 NF- $\kappa$ B p65 的表达,从而导致肝癌细胞凋亡<sup>[50]</sup>。神经调节通过神经递质在突触间传递信号实现 5-HT、GABA、NE、DA、AChE 等神经调节递质在体温调节、行为认知、觉醒、情绪等多种生理功能中发挥作用<sup>[51-55]</sup>。神经递质的失衡会导致失眠、抑郁、认知功能障碍等病症,中药精油可通过调节神经递质发挥作用,如薰衣草精油可显著增加脑内 5-HT 含量,同时降低 NE 和 DA 水平,平衡神经兴奋性,从而改善失眠及情绪障碍<sup>[36,56]</sup>。广藿香精油可通过肠-脑轴恢复脑内 5-HT 水平,改善抑郁状态<sup>[57]</sup>。

#### 4 结论

本研究以中药精油为研究对象,系统总结中药精油的给药途径分布,剖析其在氧化应激、炎症、凋亡及神经调节中的核心作用靶点。研究发现,中药精油主要包含口服、吸入和涂抹 3 种给药途径,且针对不同疾病有不同的给药方式。由于中药精油的易挥发、高脂溶性的特性与其所包含的小分子的活性物质,使其易于通过鼻黏膜迅速进入大脑、穿透血脑屏障、穿透皮肤角质层进入皮肤深层,在精神神经系统疾病、心脑血管系统疾病、肿瘤疾病的治疗中有着独特的优势,为推动中药精油的合理化应用与创新提供一定的参考价值。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 张一飞,程露,任明诗,等. 中药挥发油化学成分和抗抑郁作用机制研究进展 [J]. 中国药科大学学报, 2025, 56(1): 22-30.
- [2] 肖晨韵,邹嵘嵘. 植物精油活性成分在心血管疾病治疗中的抗氧化研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(15): 5658-5667.
- [3] 李彩明,程丽红,左文明,等. 芳香植物精油的提取工艺及药理作用研究进展 [J]. 广州化工, 2025, 53(8): 1-4.
- [4] 张小磊,李秀敏,苗明三. 基于临床应用特点的精油吸入药理作用及机制分析 [J]. 中药药理与临床, 2024, 40(10): 123-128.
- [5] 李嘉雯,刘伟新,王晶,等. 新型药物递送系统在口服给药方面的应用前景 [J]. 动物医学进展, 2023, 44(8): 121-126.
- [6] Zhong Y, Zheng Q, Hu P Y, et al. Sedative and hypnotic effects of compound Anshen essential oil inhalation for insomnia [J]. BMC Complement Altern Med, 2019, 19(1): 306.

- [7] 伊琳, 纪禄风, 谢青, 等. 当归挥发油对自发性高血压大鼠血管内皮 miR122 表达的影响 [J]. 中兽医医药杂志, 2018, 37(6): 12-14.
- [8] 江华, 毛玉娟, 杨锐, 等. 当归挥发油对自发性高血压大鼠血管内皮相关信号通路 PI3K/Akt/eNOS 的影响 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(4): 794-796.
- [9] 毛玉娟, 何亚丽, 江华, 等. 当归挥发油对自发性高血压大鼠 NO、vWF、EMPs 表达水平影响 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(4): 1153-1158.
- [10] 王利红, 谢青, 纪禄风, 等. 当归挥发油对自发性高血压大鼠 ET-1、PGI<sub>2</sub>、VEGF 表达水平的影响 [J]. 临床心血管病杂志, 2018, 34(3): 297-300.
- [11] 妥海燕, 任远, 王志旺, 等. 当归挥发油对哮喘 BALB/c 小鼠的平喘作用及对 Th17 免疫活性的影响 [J]. 中国应用生理学杂志, 2016, 32(2): 137-141.
- [12] 王志旺, 妥海燕, 李荣科, 等. 当归挥发油对哮喘 BALB/c 小鼠的平喘作用及对 Treg 细胞活性的影响 [J]. 中药药理与临床, 2015, 31(6): 72-75.
- [13] 冉鑫, 尹洁, 王瑞琼, 等. 当归精油对原发性痛经小鼠子宫 PGF<sub>2a</sub>、PGE<sub>2</sub>、AVP 的影响 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(3): 530-532.
- [14] 殷玲, 徐莹, 叶红, 等. 当归精油香薰疗法对大鼠痛经模型的影响 [J]. 护理研究, 2010, 24(25): 2281-2283.
- [15] 杨晓娣, 张微, 张佳思, 等. 当归挥发油对人结直肠癌 HCT116 细胞增殖、迁移的作用机制研究 [J]. 世界中西医结合杂志, 2023, 18(12): 2386-2390.
- [16] 朱丽娟, 宋润泽, 罗慧英, 等. 当归挥发油对人结直肠癌 HCT-116 细胞增殖、迁移及凋亡的作用 [J]. 中成药, 2022, 44(10): 3321-3325.
- [17] 朱丽娟, 罗建云, 宋润泽, 等. 当归挥发油通过抑制 PI3K/Akt/mTOR 信号转导通路影响人结肠癌 LOVO 细胞自噬研究 [J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(4): 437-441.
- [18] 龚磊, 许洁, 龚其海, 等. 石菖蒲挥发油改善氯化锂-匹鲁卡品致病大鼠行为学的抗氧化机制探讨 [J]. 现代医药卫生, 2014, 30(14): 2081-2082.
- [19] 龚磊, 许洁, 龚其海, 等. 石菖蒲挥发油对锂-匹鲁卡品诱发癫痫大鼠 c-fos 表达的影响 [J]. 现代医药卫生, 2014, 30(13): 1921-1923.
- [20] 郭丽红, 张明华. 高压氧联合石菖蒲挥发油对老年痴呆大鼠模型学习记忆功能及脑组织 SOD、MDA 水平的影响 [J]. 中国老年学杂志, 2013, 33(16): 3916-3918.
- [21] 邓敏贞, 宁百乐, 王南卜, 等. 石菖蒲挥发油联合人参总皂苷对 APP/PS1 双转基因小鼠乙酰胆碱转移酶、胶质纤维酸性蛋白和海马组织病理形态学的影响 [J]. 中医学报, 2019, 34(1): 80-85.
- [22] 程宝仓, 夏昱, 杨会杰, 等. 石菖蒲挥发油对帕金森病模型小鼠黑质多巴胺能神经元自噬的影响及其机制 [J]. 卒中与神经疾病, 2022, 29(2): 101-105.
- [23] 黄丽平, 邓敏贞, 冯真英, 等. 石菖蒲挥发油有效成分联合左旋多巴对 6-羟基多巴诱导帕金森病模型大鼠自噬相关因子影响 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2017, 19(4): 33-36.
- [24] 吴国萍, 方官琴, 陶玲, 等. 基于 Nrf2-PPAR $\gamma$  信号通路的艳山姜挥发油对高糖诱导人脐静脉内皮细胞损伤的保护作用及机制 [J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(9): 5569-5572.
- [25] 沈祥春, 李万奎, 陶玲. 艳山姜挥发油对氧化低密度脂蛋白诱导人脐静脉血管内皮细胞损伤及一氧化氮合酶-一氧化氮的影响 [J]. 中国医院药学杂志, 2012, 32(24): 1937-1940.
- [26] 张彦燕, 赵爽, 何丽, 等. 基于 Notch/Snail 信号的艳山姜挥发油对内皮间质转分化的保护作用研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(15): 1634-1637.
- [27] 李晨, 赵爽, 徐旖旎, 等. 艳山姜挥发油对 TGF- $\beta$ 1 诱导人脐静脉内皮细胞间质转分化的保护作用 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(22): 160-164.
- [28] 杨莹, 李家霞, 史秀丽, 等. 薰衣草精油对大鼠血压的影响 [J]. 中华高血压杂志, 2010, 18(9): 845-849.
- [29] 李家霞, 刘云峰, 傅佳, 等. 吸入不同浓度薰衣草精油对大学生血压的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(9): 2397-2401.
- [30] 张轶, 贺芳, 何叶成, 等. 薰衣草精油对抑郁症大鼠海马、杏仁核 pCREB 及 c-fos 表达影响的研究 [J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(2): 194-198.
- [31] 任雅婷, 楚琰. 薰衣草精油调节 I 型代谢型谷氨酸受体对产前应激子代大鼠抑郁样行为的作用研究 [J]. 黑龙江科学, 2024, 15(18): 109-112.
- [32] 苏晓艳, 毛小文, 顾志荣, 等. 薰衣草精油缓释固体分散体对失眠小鼠的治疗作用及对单胺类神经递质的影响研究 [J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(11): 1-6.
- [33] 刘嗣凡, 郭蕴源, 邵玉萍, 等. 有氧运动联合薰衣草精油对睡眠剥夺大鼠学习记忆及炎症因子水平的影响 [J]. 湖北中医药大学学报, 2024, 26(6): 14-18.
- [34] 梁博深, 尹红科, 王磊, 等. 苍艾挥发油通过调节氧化应激反应对高原心肌肥厚大鼠的治疗作用 [J]. 四川大学学报: 医学版, 2024, 55(6): 1485-1493.
- [35] 崔洁琼, 李华妍, 段金凤, 等. 苍艾挥发油对孤养结合慢性应激抑郁样大鼠血清脑源性神经营养因子水平的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2022, 37(12): 7045-7049.
- [36] 温婷茹, 吴昊, 祝捷, 等. 雾化吸入花椒精油对炎症相关性结肠癌小鼠炎癌转化的影响及作用机制 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(10): 77-81.

- [37] 刘宏, 陈芜, 林俊芝, 等. 基于 STAT3 信号通路探讨花椒精油吸嗅改善 CAC 小鼠免疫微环境的机制 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(1): 173-179.
- [38] 李慧芳, 袁天杰, 江曙. 基于肠道微生物的口服药物生物利用度研究进展 [J]. 中国医药工业杂志, 2022, 53(9): 1262-1269.
- [39] Hedigan F, Sheridan H, Sasse A. Benefit of inhalation aromatherapy as a complementary treatment for stress and anxiety in a clinical setting-A systematic review [J]. *Complement Ther Clin Pract*, 2023, 52: 101750.
- [40] Shahinfar S, Maibach H. *In vitro* percutaneous penetration test overview [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1102433.
- [41] 黄小英, 龚梦雅, 杨建波, 等. 中药精油及其挥发性成分调控血脑屏障通透性的药理学机制研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(13): 4875-4889.
- [42] Sánchez-Vidaña D I, Po K K, Fung T K, *et al.* Lavender essential oil ameliorates depression-like behavior and increases neurogenesis and dendritic complexity in rats [J]. *Neurosci Lett*, 2019, 701: 180-192.
- [43] 姚月, 郭霜, 郭西英, 等. 姜黄素缓解糖尿病小鼠脑组织氧化损伤的机制研究 [J]. 湖北科技学院学报: 医学版, 2024, 38(3): 185-188.
- [44] 刘星, 王锐, 张润光, 等. 百里香精油对硫代乙酰胺诱导的小鼠急性肝损伤的保护作用 [J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(5): 856-862.
- [45] 姜晓琳, 陈亮元, 牛君, 等. 罗仙子油精制工艺优化及其对 D-半乳糖致小鼠皮肤衰老的作用研究 [J]. 中国新药杂志, 2021, 30(2): 162-169.
- [46] 蒋兆梅, 杨应亮, 胡必凤, 等. 桉木精油对实验性慢性咽炎动物模型的作用机制研究 [J]. 广西中医药大学学报, 2019, 22(1): 1-5.
- [47] 张依萍, 徐旭, 吕亿婷, 等. 基于网络药理学和实验验证研究柠檬精油缓解焦虑症的作用机制 [J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(2): 336-347.
- [48] 李红霞, 叶泽婷, 聂裕桐, 等. 白术精油对肝癌细胞增殖和凋亡的影响 [J]. 中成药, 2024, 46(7): 2365-2370.
- [49] Niu Q L, Sun H, Liu C, *et al.* *Croton tiglium* essential oil compounds have anti-proliferative and pro-apoptotic effects in A549 lung cancer cell lines [J]. *PLoS One*, 2020, 15(5): e0231437.
- [50] 吴爽, 魏凤香, 李红枝, 等. 柠檬百里香叶挥发油成分分析及对肝癌细胞毒性作用 [J]. 中药材, 2013, 36(5): 756-759.
- [51] Cui X L, Xu Y J, Zhu H Y, *et al.* Long noncoding RNA NONHSAG045500 regulates serotonin transporter to ameliorate depressive-like behavior via the cAMP-PKA-CREB signaling pathway in a model of perinatal depression [J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2023, 36(1): 2183468.
- [52] Perucca E, White H S, Bialer M. New GABA-targeting therapies for the treatment of seizures and epilepsy: II. treatments in clinical development [J]. *CNS Drugs*, 2023, 37(9): 781-795.
- [53] Dicks L M T. Our mental health is determined by an intrinsic interplay between the central nervous system, enteric nerves, and gut microbiota [J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(1): 38.
- [54] 田英姿, 胡飞雪, 王文博, 等. 蛇麻草精油香薰法对氯苯丙氨酸诱导失眠大鼠的助眠作用研究 [J]. 中国现代医学杂志, 2022, 32(21): 39-45.
- [55] Zhou Z D, Yi L X, Wang D Q, *et al.* Role of dopamine in the pathophysiology of Parkinson's disease [J]. *Transl Neurodegener*, 2023, 12(1): 44.
- [56] 程惠芳, 刘志刚, 雷学恒, 等. 薰衣草精油通过抑制凋亡、上调海马 BDNF/proBDNF 表达改善大鼠卒中后抑郁 [J]. 河北医科大学学报, 2023, 44(11): 1248-1254.
- [57] Ouyang P Y, Kang D L, You W J, *et al.* *Pogostemon cablin* essential oil affects anxiety- and depressive-like behaviors and the gut microbiota in chronic unpredictable mild stress model rats [J]. *Front Nutr*, 2024, 11: 1303002.

[责任编辑 潘明佳]