

## 紫苏叶挥发油成分的生物合成、含量测定及生物活性研究进展

李惠萍, 陈璐, 张琪金, 黄宝康

### Research progress on biosynthesis, content determination and biological activity of volatile oil components in *Perillae Folium*

LI Huiping, CHEN Lu, ZHANG Qijin, HUANG Baokang

在线阅读 View online: <http://yxsj.smmu.edu.cn/cn/article/doi/10.12206/j.issn.2097-2024.202412058>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

HPLC-MS/MS测定当归六黄汤中4种不同成分的含量

Determination of four different components in Danggui Liu Huang decoction by HPLC-MS/MS

药学实践与服务. 2024, 42(6): 248-252, 266 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202305007](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202305007)

核磁共振磷谱法测定磷酸氢钙咀嚼片中药物含量

Determination of phosphorus content in calcium hydrogen phosphate tablets by  $^{31}\text{P}$ -qNMR

药学实践与服务. 2024, 42(9): 399-401, 406 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202404063](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202404063)

血通胶囊提取工艺优化及质量控制研究

Extraction process optimization and quality control of Xuetong capsules

药学实践与服务. 2025, 43(2): 82-86, 91 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202409003](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202409003)

HPLC-MS/MS同时测定感冒安颗粒中5种黄酮成分的含量

Simultaneous determination of five flavonoids in Ganmao' an granules by HPLC-MS/MS

药学实践与服务. 2024, 42(9): 402-406 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202403030](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202403030)

花椒生物碱富集纯化工艺优化及其成分分析

Optimization of purification process and component analysis of alkaloids from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim

药学实践与服务. 2025, 43(2): 75-81 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202404066](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202404066)

玉米须黄酮化学成分与药理作用研究进展

Flavonoids from Corn Silk (*Zea mays* L.) and its pharmacological effects

药学实践与服务. 2025, 43(2): 51-58 DOI: [10.12206/j.issn.2097-2024.202309037](https://doi.org/10.12206/j.issn.2097-2024.202309037)



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

· 综述 ·

## 紫苏叶挥发油成分的生物合成、含量测定及生物活性研究进展

李惠萍<sup>1,2#</sup>, 陈璐<sup>3#</sup>, 张琪金<sup>2,4</sup>, 黄宝康<sup>1,2</sup> (1. 福建中医药大学药学院, 福州 350122; 2. 海军军医大学药学院, 上海 200433; 3. 上海健康医学院附属周浦医院药学部, 上海 201318; 4. 西部战区总医院临床药学科, 成都 610036)

**[摘要]** 紫苏为唇形科紫苏属的一年生草本植物, 具有食用和药用价值, 有着悠久的种植和使用历史。挥发油是紫苏叶的主要活性成分之一, 紫苏醛为其特征性成分。挥发油含量测定方法多样, 其含量受不同种质差异、生长期和提取方法影响。挥发油中成分主要由甲羟戊酸和莽草酸两条途径合成调控, 具有抗菌、抗氧化、抗炎、抗肿瘤和抗抑郁等生物活性。紫苏挥发油的这些特性使其在食品保鲜、香料工业以及医药领域具有广泛的应用前景。随着对紫苏挥发油成分和生物合成途径的进一步研究, 提高紫苏品质, 明确挥发油的活性物质基础及作用机制, 以便更深入地挖掘利用紫苏的药食两用价值。

**[关键词]** 紫苏叶; 紫苏醛; 生物合成; 含量测定; 生物活性

**[文章编号]** 2097-2024(2025)00-0001-06

**[DOI]** 10.12206/j.issn.2097-2024.202412058

## Research progress on biosynthesis, content determination and biological activity of volatile oil components in *Perillae Folium*

LI Huiping<sup>1,2#</sup>, CHEN Lu<sup>3#</sup>, ZHANG Qijin<sup>2,4</sup>, HUANG Baokang<sup>1,2</sup> (1. School of Pharmacy, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350100, China; 2. School of Pharmacy, Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 3. Department of Pharmacy, Shanghai University of Medicine & Health Sciences Affiliated Zhoupu Hospital, Shanghai 201318, China; 4. Department of Clinical Pharmacy, Western Theater General Hospital, Chengdu 610036, China)

**[Abstract]** *Perilla* is an annual herbaceous plant with edible and medicinal value belonging to the Lamiaceae family. It has a long history of cultivation and use. The volatile oil is one of its main active components in perilla leaves, and Perilla aldehyde is its characteristic component. The methods for determining the content of volatile oil are diverse and affected by genetic differences, growth period, and extraction methods. It is mainly synthesized and regulated through the mevalonic acid pathway and shikimic acid pathway, and has biological activities such as antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory, anti-tumor, and anti-depressant. The characteristics of perilla volatile oil make it have broad application prospects in food preservation, fragrance industry, and medicine. With further research on the components and biosynthesis pathways of perilla volatile oil, it is important to improve the quality of perilla and further clarify the active substance basis and mechanism of action of volatile oil, and its medicinal and edible value will be further explored and utilized.

**[Key words]** *Perillae Folium*; volatile oil; biosynthesis; content determination; biological activity

紫苏 *Perilla frutescens*(L.)Britton 为唇形科紫苏属一年生草本植物, 历版《中国药典》有记载。紫苏叶、紫苏梗、紫苏子均可入药<sup>[1]</sup>。紫苏也是药食两用植物, 可作蔬菜食用, 可与色拉或寿司配食, 别具风味。挥发油是紫苏叶中的主要活性物质, 本文对紫苏叶挥发油成分(见图 1)的生物合成、含量测定及生物活性研究进行综述, 为紫苏叶的深入开发

利用提供参考。

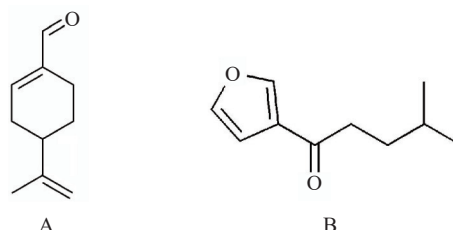


图 1 紫苏叶挥发油中主要成分的化学结构  
A. 紫苏醛; B. 紫苏酮

**[基金项目]** 上海市浦东新区卫生系统优秀青年医学人才培养计划资助项目(PWRq2021-46)

**[作者简介]** 李惠萍, 硕士研究生, Email: 2541009521@qq.com; 陈璐, 硕士, 主管药师, Email: chenlu7782@163.com

**[通信作者]** 黄宝康, 教授, 博士生导师, 研究方向: 中药资源品质评价与资源开发, Email: hbk@smmu.edu.cn

#共同第一作者

### 1 紫苏叶挥发油的种类及生物合成途径

#### 1.1 紫苏叶挥发油的种类

紫苏叶中的挥发油化学成分类型包括单萜类,

倍半萜类,芳香类,脂肪族类等,目前已报道的成分超过80种,主要包括紫苏醛、紫苏酮、香薷酮、柠檬醛、紫苏烯、 $\beta$ -石竹烯等多种成分。紫苏醛系统名为4-异丙烯基-1-环己烯基-甲醛,又称二氢桔名醛,分子式为 $C_{10}H_{14}O$ ,是一种具有樱桃、油脂和桔茗类似香气的光学活性萜类化合物,是天然紫苏油的特征香气成分,存在于天然紫苏油、莲叶桐和香柠檬油中。根据2020版《中国药典规定》紫苏叶的挥发油含量不少于0.20%<sup>[1]</sup>,

最早,日本学者Ito等<sup>[2]</sup>根据紫苏挥发油主要成分的差别,将日本产的紫苏分成6个不同的化学型,并推测了每种成分的生物合成途径,之后又在泰国的紫苏样品中发现了另外一种化学型。而郭佳琪等<sup>[3]</sup>从800份紫苏种质中选出非PK化学型的种质62份,并且发现了两种新亚型,1份PA-II型和3份PT-II型。魏长玲等<sup>[4]</sup>也参考了Ito等学者对紫苏精油的分类方法,汇总了国内70份不同来源样品的报道,将紫苏的化学型总结为7种,包括:①PA型,主要含紫苏醛和柠檬烯;②PK型,主要成分为紫苏酮;③PAPK型,含有紫苏醛、柠檬烯和紫苏酮;④PL型,主要成分为紫苏烯;⑤PP型,PP-a型,主要成分为芹菜脑;PP-m型,主要成分为肉豆蔻醚;PP-e型,主要成分为榄香素;PP-as型,主要成分为细辛脑;⑥PT型,主要成分为薄荷烯酮和柠檬烯。⑦F型,主要成分为2-己酰呋喃。目前仍有不少学者对紫苏种质进行研究,不断有新的化学型出现,如C(柠檬醛)型,MT( $\beta$ -石竹烯、肉豆蔻碱)型,EK(香薷酮)型,PS(倍半萜)型等。

### 1.2 紫苏叶挥发油的生成途径

腺毛是紫苏、薄荷等挥发性植物挥发油的生成和分泌部位。紫苏的腺毛分为头状腺毛和盾状腺毛两种,其中挥发油主要是在盾状腺毛中生成和积累,腺毛的类型、结构、分布、数量和发育等与挥发油的产生和分泌有着直接的联系。Nitta等<sup>[5]</sup>通过研究推测紫苏叶挥发油主要化学成分合成途径分成两类:单萜类成分合成通过甲羟戊酸(MVA)途径,而芳香类成分则是通过莽草酸(SA)途径合成。这两种途径的转换受相应基因的调控。

甲羟戊酸途径是通过甲羟戊酸生成异戊烯基焦磷酸酯(IPP)和其双键异构体二甲基烯丙基焦磷酸酯(DMAP),IPP和DMAP通过生成焦磷酸香叶酯(GPP)进一步形成单萜薄荷烷型骨架,该骨架阳离子在水分的作用下失去1个质子在柠檬烯合酶催化下生成柠檬烯,柠檬烯合成途径的开始受显性基因H的控制,存在该关键基因时从柠檬烯途径开

始合成,之后柠檬烯在基因R的调控下转化成紫苏醛<sup>[6]</sup>。当柠檬烯不受R调控时则生成薄荷酮和薄荷烯酮。当途径中没有显性基因H而变成隐性基因h时,不再从柠檬烯途径合成,此时IPP和其同分异构体焦磷酸橙花酯(NPP)会首先合成反式柠檬醛,反式柠檬醛在2个聚合基因Fr1,Fr2的调控下生成呋喃环而进一步合成紫苏烯,紫苏烯通过基因J的作用再转化成白苏烯酮而进一步合成紫苏酮。同时IPP亦可通过结构的变化生成顺式柠檬醛。在基因N的调控作用下生成白苏酮,若存在关键基因P,Q则进一步生成香薷酮。

除了上述两条紫苏叶挥发油主要化学成分合成途径之外,还可通过特定的酶催化反应合成挥发油中的特定成分<sup>[7]</sup>。紫苏醛生物合成过程中柠檬烯合酶、柠檬烯羟化酶、紫苏醇氧化酶和香叶基焦磷酸合酶等酶类发挥着关键作用,通过催化不同的生化反应,最终促成紫苏醛的生成。此外,以 $\alpha$ -蒎烯和 $\beta$ -蒎烯为原料,经一系列催化、氧化、异构化等操作,所得到的紫苏醛含量高且纯度大。还可通过异构化桃金娘烯醛来获得紫苏醛或者通过紫苏醇氧化为紫苏醛。通过紫苏醛衍生物设计合成酰胺、脲、脲醚等一系列衍生物,进一步扩展紫苏醛的应用范围。

## 2 紫苏叶挥发油含量测定及影响因素

### 2.1 含量测定方法

紫苏挥发油作为紫苏叶中的主要活性成分之一,其含量的测定对于紫苏叶的质量控制具有重要意义。随着对紫苏挥发油研究的不断深入,其含量测定方法也在不断发展和优化。如水蒸气蒸馏法提取紫苏叶和花中挥发油<sup>[8]</sup>,利用不同的有机溶剂萃取法提取紫苏挥发油,并通过GC-MS分析了其成分<sup>[9]</sup>。其他如超临界流体萃取法、微波辅助萃取法、超声辅助萃取法等不断发展,这些方法具有提取效率高,速度快等特点,但同时也存在成本高,规模小等弊端<sup>[10]</sup>。温方方等<sup>[11]</sup>利用气相色谱同时测定紫苏叶油中的紫苏烯、紫苏酮和紫苏醛含量,其方法简便,快速、准确,重复性好。谭善财等<sup>[12]</sup>利用高效液相色谱测定不同部位中紫苏醛含量,发现紫苏醛含量与叶型之间存在一定的关联。此外,气相色谱-质谱联用技术也可被用于检测紫苏不同部位挥发油的化学成分组成及含量差异。近年来通过一种高光谱成像技术结合特征融合,成功建立了紫苏中紫苏醛含量的快速检测模型。同时,还可利用双模式光学传感器阵列,通过智能手机检测和识

别溶液相和植物叶子中的紫苏醛含量,为紫苏叶挥发油的质量控制和成分分析提供支持<sup>[13]</sup>。

## 2.2 影响含量的主要因素

### 2.2.1 紫苏种质的影响

种质对紫苏的影响主要体现在营养成分和活性成分的含量差异上,张琛武等<sup>[14]</sup>对9个不同种质的紫苏叶进行不同日期、部位和时间取样,并测定紫苏醛含量,结果发现不同种质之间紫苏醛含量存在差异。Kaur等<sup>[15]</sup>通过研究评估了印度东北喜马拉雅地区45种紫苏种质的营养成分,发现水分、灰分、油脂、蛋白质等含量存在显著差异,并观察到矿物质元素含量的显著变化。多变量分析显示种质间营养多样性丰富,相关性分析揭示了营养参数间的生化和代谢相互作用,为选择优质紫苏品种提供了科学依据。随着遗传转化和基因组编辑技术的进步,已有学者开始利用这些技术来获得紫苏的优良性状以提高产量和品质。

### 2.2.2 不同生长期挥发性成分的差异

生长发育不同时期挥发油含量存在差异,通常花期含量最高但存在品种之间差异。2020版《中国药典》规定紫苏叶应该在夏季枝叶茂盛时采收<sup>[1]</sup>。向福等<sup>[16]</sup>对不同生育期的紫苏进行了总挥发油含量的测定,发现开花期前紫苏叶挥发油含量不断升高,花期后则逐渐降低。Zhang等<sup>[17]</sup>通过分析不同生育期的PA型紫苏叶挥发油组成,发现挥发油中主成分的含量在不同时期存在差异,但变动不大,紫苏醛在10月中旬相对最高,为57.21%,6月下旬最低,为54.20%; $\beta$ -石竹烯在9月中旬含量最高达7.23%,10月中旬最低为4.87%。杨军辉等<sup>[18]</sup>研究了对不同采收期PK型紫苏叶挥发性成分进行分析,发现其中10种主要成分(包括 $\beta$ -石竹烯、 $\alpha$ -法尼烯等)的含量在8月和9月较高,而紫苏酮则是8月份最高。采收时期的不同影响紫苏叶挥发油的总量,但成分构成类型变化不大,而相对含量有一定变化,也会造成紫苏叶挥发油质量的差异。

### 2.2.3 提取方法的影响

紫苏叶挥发油的提取一般采用水蒸气蒸馏法(SD),有机溶剂萃取(SE)、同时蒸馏萃取(SDE)、超声波辅助溶剂萃取(UASE)、液-液萃取(LLE)、超临界CO<sub>2</sub>萃取(SFECO<sub>2</sub>)等,此外,还有微波辐射诱导法、响应面优化法、无溶剂微波萃取法及生物酶解技术等新型提取技术。张辰露等<sup>[9]</sup>在对比分析了5种不同的紫苏叶挥发油提取方法后发现,萃取溶剂种类和辅助提取方式对提取效果影响显著,而纤维素酶辅助法和NaCl盐析辅助法均能有

效提高紫苏叶挥发油的提取率,达到0.63%和0.54%,分别是常规SDE法得率的1.34倍和1.15倍。Huang等<sup>[19]</sup>发现,使用SFE提取挥发油,不仅得油率高,提取速度也更快,能明显提高挥发油得率。而滕晓焕等<sup>[20]</sup>以新鲜紫苏叶为主,利用离子液体-酶辅助水提得到的紫苏挥发油提取率为0.528%,在相同的条件下,比水提法提高了22.5%。

## 3 紫苏叶挥发油的生物活性

### 3.1 抗菌作用

植物挥发油多具有抗菌活性,紫苏叶中富含丰富的挥发油,有研究表明<sup>[21]</sup>,紫苏叶挥发油对革兰氏阳性和阴性菌均有抗菌效果,成分分析发现了10种主要化合物,包括芳香醇、紫苏醛、紫苏醇等,首次发现牻牛儿基牻牛儿醇,含量约2.69%。褚宏叶等<sup>[22]</sup>研究发现紫苏醛和紫苏烯两种化学型紫苏挥发油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌均有明显抑制活性。而紫苏醛型紫苏含紫苏醛、石竹烯等单萜类成分,紫苏烯型紫苏含紫苏烯、柠檬醛等单萜类成分。近期研究发现<sup>[23]</sup>,紫苏酸对酸土脂环酸芽孢杆菌具有良好的抑菌效果,它通过破坏该菌的细胞膜和细胞壁,增加膜的通透性,进而导致氨基酸合成代谢紊乱。基于此制备的紫苏酸抗菌水凝胶,可有效抑制苹果汁中的酸土脂环酸芽孢杆菌,可开发天然抗菌剂。此外,利用紫苏醛/甲基- $\beta$ -环糊精纳米纤维,提高紫苏醛热稳定性和水溶性,从而增强抑菌效果,据检测,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制率分别达到96.2%和94.0%<sup>[24]</sup>。

紫苏挥发油被认为是一种比化学合成的食品防腐剂更可靠的天然食品添加剂,具有广谱抗菌特性。其特征性成分紫苏醛在抗菌过程中发挥着关键作用,其抗菌机制主要通过调节活性氧(ROS)、自噬、蛋白降解和细胞膜完整性等途径实现,而不依赖于类胱天蛋白酶(metacaspase)<sup>[25]</sup>。此外,还能通过调控过氧化氢酶CATA的表达,阻断黄曲霉菌细胞内活性氧的清除,促进其积累,导致细胞凋亡<sup>[26]</sup>。智亚楠等<sup>[27]</sup>采用水蒸气蒸馏法提取紫苏挥发油,发现其主要成分为2-丁酰呋喃(79.093%)和2-呋喃甲酰乙腈(12.398%),这些成分对番茄灰霉病菌、油菜菌核病菌、小麦赤霉病菌和花生白绢病菌有强烈熏蒸抑制作用。此外,还能影响植物病原真菌生物膜的结构和发育,抑制真菌分生孢子的黏附与萌发,提示其可用于防治植物病害<sup>[28]</sup>。近年来,Wang等<sup>[29]</sup>发现紫苏挥发油与聚乳酸制成的共混膜可延长冷冻鸡肉保鲜期至12天,负载紫苏醛

的聚乳酸膜也能提升冷鲜羊肉保质期,并具有良好的机械性能。同时,以紫苏醇为原料,经多步反应合成紫苏醇硒氰酸酯对小麦纹枯病菌和苹果轮纹病菌抑制率分别为 97.4% 和 83.9%,这一数据接近阳性药百菌清,充分显示出紫苏挥发油良好的开发价值<sup>[30]</sup>。

### 3.2 抗炎作用

紫苏挥发油具有抗真菌作用,还能够减轻宿主的炎症反应。冯劫等<sup>[31]</sup>通过 GC-MS 分析紫苏叶挥发油成分,发现其主要含柠檬烯、紫苏醛、紫苏酮、芹菜脑和反式丁香烯。实验表明,紫苏挥发油可减轻角叉菜胶诱导的炎症,降低 PGE<sub>2</sub>、NO 含量及蛋白渗出,抑制白细胞游走,且与肾上腺皮质系统无关。而紫苏醛作为紫苏挥发油的主要单体成分,抗炎作用也十分显著。Chen 等<sup>[32]</sup>的研究发现,在口咽部念珠菌病小鼠模型中,紫苏醛不仅能抑制白念珠菌毒力,还能抑制 NLRP3 炎症体的组装,减少活性氧积累,阻止 p65 核转移,降低宿主炎症反应。还可通过激活 Nrf2/HO-1 信号通路,抑制 Dectin-1 介导的炎症反应和中性粒细胞募集,改善烟曲霉菌感染的小鼠角膜炎<sup>[33]</sup>。此外,紫苏醛还能通过抑制脂多糖(LPS)诱导的肺组织病理变化、炎症细胞的浸润、炎症因子过表达和氧化应激;显著下调 cGAS、STING、p-TBK、p-IRF3、p-P65 和 p-IκB 的表达,并抑制 cGAS/STING 介导的 IRF3/NF-κB 信号通路,有效缓解 LPS 诱导的急性肺损伤(ALI),可作为 ALI 的潜在候选药物<sup>[34]</sup>。

### 3.3 抗氧化作用

植物挥发油作为一种天然抗氧化剂,不仅高效安全,还具有绿色环保等特点。张彦等<sup>[35]</sup>对比了 8 种植物挥发油的抗氧化活性,采用 DPPH 自由基清除法进行评估比较,发现紫苏叶挥发油的抗氧化活性在这 8 种植物中最为突出。紫苏挥发油中的紫苏醛具有显著的抗氧化能力,可通过抑制炎症反应和氧化应激,进一步增强了紫苏挥发油的综合抗氧化能力<sup>[36]</sup>。曾燕茹等<sup>[37]</sup>发现 PK 型紫苏挥发油具有良好的抗氧化能力,其主要成分包括紫苏酮、异白苏烯酮和 β-石竹烯。这些成分赋予了 PK 型紫苏挥发油对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力,且抗氧化活性指标均与浓度呈正相关。Masahiro 等<sup>[38]</sup>从紫苏中分离出了两种新型抗氧化剂:乙炔基咖啡酸酯和咖啡酸反式对薄荷-8-烯-7-基酯(trans-p-menth-8-en-7-yl caffeate),其中,咖啡酸反式对薄荷-8-烯-7-基酯能有效的防止紫苏醛在紫苏挥发油中的氧化降解,从而保持了紫苏挥发油的稳定性和

抗氧化活性。

### 3.4 抗抑郁作用

抑郁症是常见的精神障碍,早在 2008 年,世界卫生组织将重度抑郁症列为全球疾病负担第三大原因,预计 2030 年将升至首位。其临床表现多样,成因复杂,给检测、诊断和治疗带来挑战。而紫苏在传统用药中常用于抗抑郁,常见于香苏散、半夏厚朴汤等方剂。

已有多项研究涉及紫苏及其提取物和单体成分在抗抑郁方面的效应。Ji 等<sup>[39]</sup>利用慢性不可预知轻度应激(CUMS)小鼠模型发现,紫苏精油(EOPF)可逆转 CUMS 诱导的海马 5-HT 及 5-HIAA 水平下降、血浆促炎因子(IL-6、IL-1β、TNF-α)升高,并改善蔗糖偏好率、旷场活动及强迫游泳(FST)不动时间,其作用与调节 5-羟色胺能系统及抑制神经炎症相关,但疗效未呈现剂量依赖性。Nguyen 团队<sup>[40]</sup>进一步通过鼻内给药紫苏叶精油(PFEO,含榄香素、芹菜脑、紫苏醛)发现,该方式可缓解社交失败应激(SDS)小鼠的抑郁样行为,其机制涉及调控皮质酮水平、恢复海马神经递质平衡及激活 ERK 信号通路。此外,针对单体成分的研究显示,紫苏醛在 CUMS 大鼠模型中显著增加糖水消耗量、缩短 FST 不动时间并提升旷场活动性,同时上调海马 TXNIP/NLRP3 炎症小体及 p-NF-κB p65 表达水平<sup>[41]</sup>。在脂多糖(LPS)诱导的抑郁模型中,紫苏醛可逆转血清及前额叶皮层 IL-6、TNF-α 升高,恢复 5-HT 和 NE 水平,并通过调节单胺能神经递质与抗炎作用改善悬尾(TST)和 FST 行为学指标<sup>[42]</sup>。综上所述,紫苏挥发油可能通过多靶点协同机制——包括单胺递质调控、炎症通路抑制及神经可塑性调节,发挥抗抑郁潜力。

### 3.5 抗肿瘤作用

植物挥发油多含萜类和苯丙素类成分,通过诱导细胞凋亡、抑制增殖和血管生成而抑制肿瘤生长。有研究发现<sup>[43]</sup>,紫苏挥发油能够抑制人肺癌 LTEP-a-2 细胞的生长,经 24、48、72 h 处理后的人肺癌 LTEP-a-2 细胞的 IC<sub>50</sub> 分别为 17.56、14.83、12.65 mg/ml,具有剂量和浓度的依赖性。近年来,紫苏挥发油中的单体成分在抗肿瘤活性方面也得到了广泛研究。Zhang 等<sup>[44]</sup>研究发现,紫苏醛能够以时间和剂量依赖性方式激活小鼠胃癌细胞系 MFC 和人胃癌细胞系 GC9811-P 中的 AMPK,增加 Thr172 的磷酸化和活性,进而促进自噬,包括 beclin-1、LC3-II、组织蛋白酶、caspase-3、p53 和组织蛋白酶在小鼠胃癌异种移植模型中分离的肿瘤,

从而抑制胃癌生长。张媛<sup>[45]</sup>通过薄膜分散法制备了载紫苏醇的 DSPE-PEG-TPP 脂质体,体外实验表明,该脂质体可靶向线粒体,激活凋亡程序,显著抑制乳腺癌 MDA-MB-231 细胞增殖,增强抗肿瘤效果。为了进一步提高抗肿瘤活性,通过引入含氮基团合成衍生物,如 7-乙基紫苏醇、7-甲基紫苏醇,极性增强后抗肿瘤活性显著提高,且耐药性风险降低<sup>[46]</sup>。紫苏挥发油及其单体成分在抗肿瘤药物开发方面展现出较大的潜力。

### 3.6 其他作用

紫苏挥发油及其主要活性成分紫苏醛(PAE)在心血管系统保护方面展现出多维度药理活性。刘蓉等<sup>[47]</sup>研究表明,紫苏挥发油通过双重调控机制作用于大鼠结肠平滑肌:一方面通过抑制钙泵活性降低细胞内钙离子浓度,另一方面通过增强细胞膜流动性改善离子通道功能,从而参与结肠平滑肌收缩过程,减轻肢体缺血再灌注模型大鼠的肠黏膜损伤。值得关注的是,紫苏醛在心脏保护领域显示出更广泛的治疗潜力。Yu 等<sup>[48]</sup>发现了 PAE 能改善糖尿病型心肌病(DCM)大鼠的心功能,降低血糖和心脏体重指数,减少心肌损伤和细胞凋亡;通过上调 miR-133a-3p 和抑制 P-GSK-3 $\beta$  表达发挥作用,改善 H9c2 细胞的迁移和线粒体功能,对 DCM 具有潜在治疗作用。进一步研究还发现,PAE 对阿霉素(DOX)诱导的大鼠心脏毒性有保护作用,能显著改善心脏功能,减轻心肌纤维化,并降低氧化应激和炎症反应。通过调节 PI3K/Akt 信号通路和抑制 NHE1 磷酸化来保护心脏<sup>[49]</sup>。这些研究系统揭示了 PAE 通过调节钙稳态、能量代谢、氧化应激和炎症反应等多重途径发挥心脏保护作用,为开发新型心脏保护剂提供了重要的药理学依据。

### 4 小结与展望

紫苏作为被广泛应用的药食两用中药,以紫苏醛为特征成分的挥发油是紫苏叶主要活性成分,具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗抑郁、抗肿瘤等多种药理活性。近年来,紫苏醛的生物活性和药理作用成为研究的热点,尤其是在抗肿瘤、抗炎和抗抑郁等方面的研究不断深入,具有良好的开发利用的潜力。而不同化学型的紫苏挥发油成分差异较大,通过对不同挥发油化学型紫苏植株的研究、检测、培育等,同时通过对紫苏醛等挥发性成分的生物合成途径的解析,结合基因编辑技术,可以进一步地提高紫苏的品质,通过研究进一步明确挥发油的活性物质基础及作用机制,推动紫苏在医药、食品和香

料工业等方面的高效合理应用。

### 【参考文献】

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)2020年版[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:354.
- [2] ITO M, TOYODA M, KAMAKURA S, et al. A new type of essential oil from *Perilla frutescens* from Thailand[J]. *J Essent Oil Res*, 2002, 14(6): 416-419.
- [3] 郭佳琪,李卫萍,沈奇,等. 62份非PK型紫苏种质的挥发油GC-MS分析和新化学型发现[J]. *中国现代中药*, 2019, 21(8): 1068-1075.
- [4] 魏长玲,郭宝林. 紫苏叶挥发油的不同化学型及研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(15): 2937-2944.
- [5] NITTA M, KOBAYASHI H, OHNISHI-KAMEYAMA M, et al. Essential oil variation of cultivated and wild *Perilla* analyzed by GC/MS[J]. *Biochem Syst Ecol*, 2006, 34(1): 25-37.
- [6] KIMURA M, ITO M. Bioconversion of essential oil components of *Perilla frutescens* by *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *J Nat Med*, 2020, 74(1): 189-199.
- [7] BABA M, ITO M. Cloning of the cytochrome P450 enzyme from *Perilla frutescens* involved in nothoapiole biosynthesis[J]. *J Nat Med*, 2021, 75(3): 577-589.
- [8] 林硕,邵平,马新,等. 紫苏挥发油化学成分GC/MS分析及抑菌评价研究[J]. *核农学报*, 2009, 23(03): 477-481.
- [9] 张辰露,梁宗锁,吴三桥,等. 不同方法提取紫苏叶挥发油成分GC-MS分析[J]. *中药材*, 2016, 39(02): 337-341.
- [10] 郭旭,田荣荣,张东. 紫苏油的提取工艺和药理功能研究进展[J]. *粮油食品科技*, 2021, 29(05): 120-130.
- [11] 温方方,张昊,姜鹏. 气相色谱同时测定紫苏叶油中紫苏烯、紫苏酮和紫苏醛含量[J]. *上海医药*, 2022, 43(11): 76-79.
- [12] 谭善财,袁波,黄珍,等. 梵净山紫苏紫苏醛的提取及其含量分析[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(8): 174-178.
- [13] ZHAO J Y, LIU K, WANG R T, et al. Dual-mode optical sensor array for detecting and identifying perillaldehyde in solution phase and plant leaf with smartphone[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2022, 14(47): 53323-53330.
- [14] 张琛武,李卫萍,郭宝林,等. 紫苏醛型紫苏不同种质中紫苏醛含量变化规律研究[J]. *中国现代中药*, 2017, 19(12): 1722-1727.
- [15] KAUR S, GODARA S, SINGH N, et al. Multivariate data analysis assisted mining of nutri-rich genotypes from north eastern Himalayan germplasm collection of *Perilla* (*Perilla frutescens* L.)[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2024, 79(4): 843-850.
- [16] 向福,江安娜,项俊,等. 四种紫苏叶挥发油化学成分GC-MS分析[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(13): 90-94.
- [17] ZHANG X, WU W, ZHENG Y L, et al. Essential oil variations in different *Perilla* L. accessions: chemotaxonomic implications[J]. *Plant Syst Evol*, 2009, 281(1): 1-10.
- [18] 杨军辉,樊蓉,刘训红,等. 不同采收期紫苏叶挥发性成分HS-GC/MS分析[J]. *南京中医药大学学报*, 2013, 29(1): 66-70.
- [19] HUANG B K, LEI Y L, TANG Y H, et al. Comparison of HS-SPME with hydrodistillation and SFE for the analysis of the

- volatile compounds of Zisu and Baisu, two varietal species of *Perilla frutescens* of Chinese origin[J]. *Food Chem*, 2011, 125(1): 268-275.
- [20] 滕晓焕, 杜淑霞, 柯剑丽, 等. 离子液体-酶辅助水提紫苏叶挥发油工艺优化及成分分析 [J]. *广东轻工职业技术大学学报*, 2024, 23(5): 19-25.
- [21] 郭群群. 紫苏抗菌活性成分研究 [D]. 青岛大学, 2002.
- [22] 褚宏叶, 杨仕梅, 商志伟, 等. 两种紫苏挥发油体外抑菌效果评价 [J]. *山地农业生物学报*, 2021, 40(05): 34-39.
- [23] 马明霞. 紫苏酸对酸土脂环酸芽孢杆菌的抑菌机制研究及其保鲜应用 [D]. 吉林大学, 2023.
- [24] 张杨, 李晓明, 胡芬, 等. 静电纺丝紫苏醛/甲基- $\beta$ -环糊精包合物纳米纤维的制备与表征 [J]. *精细化工*, 2024, 41(4): 820-828.
- [25] WANG G B, WANG Y D, WANG K C, et al. Perillaldehyde functions as a potential antifungal agent by triggering metacaspase-independent apoptosis in *Botrytis cinerea*[J]. *Microbiol Spectr*, 2023, 11(3): e0052623.
- [26] PAN C, LI Y X, YANG K L, et al. The molecular mechanism of perillaldehyde inducing cell death in *Aspergillus flavus* by inhibiting energy metabolism revealed by transcriptome sequencing[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(4): 1518.
- [27] 智亚楠, 赵筱岑, 常卫格, 等. 罗勒和紫苏挥发油的化学组分及其抑菌活性分析 [J]. *信阳农林学院学报*, 2022, 32(02): 92-97.
- [28] CATTÒ C, DE VINCENTI L, BORGONOVO G, et al. Sublethal concentrations of *Perilla frutescens* essential oils affect phytopathogenic fungal biofilms[J]. *J Environ Manage*, 2019, 245: 264-272.
- [29] WANG D B, SUN Z L, SUN J Y, et al. Preparation and characterization of polylactic acid nanofiber films loading *Perilla* essential oil for antibacterial packaging of chilled chicken[J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 192: 379-388.
- [30] 张媛. 载紫苏醇 DSPE-PEG-TPP 脂质体的制备及体外抑瘤评价 [D]. 桂林医学院, 2022.
- [31] 冯劼, 王薇, 余陈欢. 紫苏叶挥发油化学成分分析及其抗炎机制研究 [J]. *海峡药学*, 2011, 23(05): 45-48.
- [32] CHEN L, QU S, YANG K L, et al. Perillaldehyde: a promising antifungal agent to treat oropharyngeal candidiasis[J]. *Biochem Pharmacol*, 2020, 180: 114201.
- [33] FAN Y Q, LI C, PENG X D, et al. Perillaldehyde ameliorates *Aspergillus fumigatus* keratitis by activating the Nrf2/HO-1 signaling pathway and inhibiting dectin-1-mediated inflammation [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(6): 51.
- [34] WEI J H, LIU Z J, SUN H B, et al. Perillaldehyde ameliorates lipopolysaccharide-induced acute lung injury via suppressing the cGAS/STING signaling pathway[J]. *Int Immunopharmacol*, 2024, 130: 111641.
- [35] 张彦, 郭增军, 张寒, 等. 八种植物挥发油的抗氧化活性比较研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2017, 28(8): 49-54.
- [36] CHEN L, WANG F, QU S, et al. Therapeutic potential of perillaldehyde in ameliorating vulvovaginal candidiasis by reducing vaginal oxidative stress and apoptosis[J]. *Antioxidants*, 2022, 11(2): 178.
- [37] 曾燕茹, 陈少美, 徐陞梅. PK 型紫苏叶精油 GC-MS 成分分析及抗氧化活性研究 [J]. *福建农业科技*, 2024, 55(09): 44-50.
- [38] MASAHIRO T, RISA M, HARUTAKA Y, et al. Novel Antioxidants Isolated from *Perilla frutescens* Britton var. *crispa* (Thunb.) [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 1996, 60(7): 1093-1095.
- [39] JI W W, LI R P, LI M, et al. Antidepressant-like effect of essential oil of *Perilla frutescens* in a chronic, unpredictable, mild stress-induced depression model mice[J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2014, 12(10): 753-759.
- [40] NGUYEN L T H, NGUYEN N P K, TRAN K N, et al. Intranasal administration of the essential oil from *Perillae Folium* ameliorates social defeat stress-induced behavioral impairments in mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 324: 117775.
- [41] SONG Y C, SUN R X, JI Z Y, et al. Perilla aldehyde attenuates CUMS-induced depressive-like behaviors via regulating TXNIP/TRX/NLRP3 pathway in rats[J]. *Life Sci*, 2018, 206: 117-124.
- [42] JI W W, WANG S Y, MA Z Q, et al. Effects of perillaldehyde on alternations in serum cytokines and depressive-like behavior in mice after lipopolysaccharide administration[J]. *Pharmacol Biochem Behav*, 2014, 116: 1-8.
- [43] 袁芃, 牛晓涛, 宋梦薇, 等. 紫苏挥发油对人肺癌细胞的体外抑制作用研究 [J]. *食品科技*, 2017, 42(2): 235-238.
- [44] ZHANG Y, LIU S S, FENG Q, et al. Perillaldehyde activates AMP-activated protein kinase to suppress the growth of gastric cancer via induction of autophagy[J]. *J Cell Biochem*, 2019, 120(2): 1716-1725.
- [45] 张媛. 载紫苏醇 DSPE-PEG-TPP 脂质体的制备及体外抑瘤评价 [D]. 桂林医学院, 2022.
- [46] 惠子. 紫苏醇衍生物的设计、合成及抗癌活性研究 [D]. 沈阳药科大学, 2014.
- [47] 刘蓉, 唐方, 凌海慧, 等. 紫苏叶油对结肠平滑肌细胞钙离子和膜电位的作用 [J]. *时珍国医国药*, 2019, 30(6): 1302-1304.
- [48] YU Y N, REN Y Y, SHAO Z L, et al. Perillaldehyde improves diabetic cardiomyopathy by upregulating miR-133a-3p to regulate GSK-3 $\beta$ [J]. *Eur J Pharmacol*, 2023, 953: 175836.
- [49] YIN Y L, NIU Q Q, HOU H Y, et al. PAE ameliorates doxorubicin-induced cardiotoxicity via suppressing NHE1 phosphorylation and stimulating PI3K/AKT phosphorylation[J]. *Int Immunopharmacol*, 2022, 113(Pt A): 109274.

[收稿日期] 2024-12-27 [修回日期] 2025-02-27

[本文编辑] 陈盛新