

## 荆芥与肉桂煎煮过程化学成分变化规律及煎煮时间优化

林家燕<sup>1</sup>, 倪峰<sup>2</sup>, 熊颖<sup>1</sup>, 张祥玲<sup>1</sup>, 杨玉磊<sup>1</sup>, 沈蒙<sup>1</sup>, 商洪才<sup>3,4</sup>, 缪素芬<sup>1\*</sup>, 张玫<sup>1,3,4\*</sup>

1. 北京中医药大学中药学院, 北京 102488

2. 中国医药工业研究总院有限公司, 上海 201203

3. 北京中医药大学 中医内科学教育部/北京市重点实验室, 北京 100700

4. 北京中医药大学东方医院, 北京 100078

**摘要:** **目的** 探讨荆芥 *Schizonepetae Herba* 和肉桂 *Cinnamomi Cortex* 在不同煎煮时间下挥发性与水溶性成分的动态变化规律, 从物质基础层面揭示煎煮过程中成分溶出、挥发与降解的特征, 为临床合理确定煎煮时间以及不同给药方式(如煎服、粉冲)提供依据。 **方法** 以荆芥、肉桂饮片为研究对象, 按不同煎煮时间制备煎煮液。采用顶空 GC-MS/MS 分析建立胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛、桂皮醛 4 种挥发性成分的定量方法并进行方法学验证; 比较其在不同煎煮时间下的含量变化。采用 UPLC-Q-TOF MS/MS 分析对水溶性成分进行系统鉴定与半定量分析, 结合离子峰面积归一化及聚类分析, 评估煎煮时间对整体物质基础的影响。 **结果** 4 种挥发性成分均呈显著的时间相关性。胡薄荷酮、薄荷酮及桂皮醛在短时间内迅速升高后下降, 邻甲氧基肉桂醛则持续升高。UPLC-Q-TOF MS/MS 检测共鉴定出 139 种水溶性成分, 其中部分成分在长时间煎煮中出现下降趋势, 提示存在热降解风险。综合成分变化规律发现, 荆芥约 7.5 min 时有效成分溶出与挥发损失达到较佳平衡; 肉桂在偏重温阳或助火功效时不宜长时间煎煮, 而在强调“温通止痛”等作用时则可适当延长煎煮或采用粉冲等替代给药方式。 **结论** 荆芥与肉桂煎煮过程中均呈现明确的“成分-时间”依赖关系, 煎煮时间是影响其物质基础与潜在药效的关键因素。研究结果对 2 味药材在不同临床用途下的煎煮时间选择及给药方式优化具有参考价值, 为中药汤剂煎煮规范与现代化提供实验依据。

**关键词:** 荆芥; 肉桂; 煎煮时间; 挥发性成分; 水溶性成分; 成分动态变化; 胡薄荷酮; 薄荷酮; 邻甲氧基肉桂醛; 桂皮醛

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)07-2469-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.07.004

## Chemical profile dynamics and optimization of decoction time for *Schizonepetae Herba* and *Cinnamomi Cortex*

LIN Jiayan<sup>1</sup>, NI Feng<sup>2</sup>, XIONG Ying<sup>1</sup>, ZHANG Xiangling<sup>1</sup>, YANG Yulei<sup>1</sup>, SHEN Meng<sup>1</sup>, SHANG Hongcai<sup>3,4</sup>, MIAO Sufen<sup>1</sup>, ZHANG Mei<sup>1,3,4</sup>

1. School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102488, China

2. Shanghai Institute of Pharmaceutical Industry Co., Ltd., China State Institute of Pharmaceutical Industry, Shanghai 201203, China

3. Key Laboratory of Chinese Internal Medicine of Ministry of Education and Beijing, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100700, China

4. Dongfang Hospital, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100078, China

**Abstract: Objective** To investigate the dynamic changes of volatile and water-soluble constituents in *Schizonepetae Herba* and *Cinnamomi Cortex* decoctions at different boiling durations, reveal the characteristics of constituent dissolution, volatilization, and degradation during decoction from the material basis, and provide a scientific basis for rational determination of decoction time and different administration routes (e.g., decoction, powder infusion) in clinical practice. **Methods** Decoctions of JIngjie (*Schizonepetae Herba*) and Rougui (*Cinnamomi Cortex*) were prepared at different boiling times. A headspace GC-MS/MS method was established and validated for pulegone, menthone, *o*-methoxycinnamaldehyde, and cinnamaldehyde, and their content changes at different decoction times were compared. UPLC-Q-TOF MS/MS was employed to characterize and semi-quantify water-soluble constituents. Normalized

收稿日期: 2026-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(82374154)

作者简介: 林家燕(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药分析学。E-mail: linjiayan0603@163.com

\*通信作者: 缪素芬, 副教授, 从事数理统计、中药分析学研究。E-mail: miaosf@bucm.edu.cn

张玫, 研究员, 从事中医药学新技术新方法、数智中医药学研究。E-mail: meizhang@bucm.edu.cn

ion intensities and clustering analysis were used to assess the impact of boiling duration on the overall chemical profile. **Results** The four volatile compounds exhibited distinct time-dependent patterns. Pulegone, menthone, and cinnamaldehyde increased rapidly at early stages and declined thereafter, whereas *o*-methoxycinnamaldehyde increased continuously. A total of 139 water-soluble constituents were identified by UPLC-Q-TOF MS/MS, many of which showed reduced abundance with prolonged boiling, indicating potential heat degradation. Integrated analysis suggested that approximately 7.5 min represents an optimal decoction time for *Schizonepetae Herba*. For *Cinnamomi Cortex*, prolonged decoction is not suitable when emphasizing the effects of warming *yang* and reinforcing fire, whereas appropriate prolonged decoction or alternative administration such as powder infusion can be used when emphasizing warming and unblocking to relieve pain. **Conclusion** *Schizonepetae Herba* and *Cinnamomi Cortex* exhibit clear time-dependent chemical changes during decoction. Boiling time critically influences the retention of volatile and water-soluble constituents. The results provide a reference for selecting decoction time and optimizing administration routes of the two herbs under different clinical applications, and offer an experimental basis for the standardization and modernization of traditional Chinese medicine decoctions.

**Key words:** *Schizonepetae Herba*; *Cinnamomi Cortex*; decoction time; volatile compounds; water-soluble compounds; dynamic component changes; menthone; pulegone; *o*-methoxycinnamaldehyde; cinnamaldehyde

中药汤剂是中医药临床最具代表性的给药形式之一，中药的煎煮方法对药物有效成分的溶出与稳定具有关键影响。清代徐大椿在《医学源流论》中指出“煎药之法，最宜深讲，药之效不效，全在乎此”，并提出“故方药虽中病，而煎法失度，其药必无效”<sup>[1]</sup>，强调即使方药切中病机，若煎煮方法失当亦难以保证疗效。在长期临床实践中，中医药逐渐形成了以“先煎、后下、包煎、烩化”等为代表的特殊煎煮规范，用以适配不同药物的理化特性和药效需求<sup>[2-5]</sup>。然而，对多数药材而言，现代临床并未形成统一的煎煮时间标准，部分药材亦存在粉冲、久煎、短煎等多种使用方式，具体选择常依医者经验及治疗需求而定。

荆芥 *Schizonepetae Herba* 和肉桂 *Cinnamomi Cortex* 是临床应用广泛的 2 味药材，前者可以解表散风、透疹、消疮；后者则具有补火助阳、散寒止痛等功效<sup>[6-7]</sup>。为了系统研究煎煮时间对药效成分的影响，基于前期系统的文献研究，本研究选取了临床中广泛应用，均含有挥发性成分，且在历代医籍与现代临床实践中均存在需根据用药目的调整煎煮方式的明确记载的 2 味药材荆芥和肉桂作为研究对象。其中，《证类本草》提到“假苏云荆芥之类是也，入汤宜后下”，强调荆芥不宜久煎；《冯氏锦囊秘录》亦提出肉桂“如入补药，藉其鼓舞药性者，则入药同煎；如全仗其行血走窜者，则群药煎好方入，煎一二沸服”，提示其煎煮时间可根据临床目的进行调整。现代研究表明，荆芥富含胡薄荷酮、薄荷酮等挥发性成分，肉桂富含邻甲氧基肉桂醛、桂皮醛等关键香豆素类成分，易挥发且具有一定的热不稳定性。《中国药典》2025 年版已将胡薄荷酮和

桂皮醛列为含量测定指标，用以保证药材质量，但目前关于煎煮时间对其整体化学成分的系统研究仍较不足，尤其缺少能同时考察挥发性与水溶性成分动态变化的综合性研究。此外，肉桂在部分临床场景中常采用粉末冲服，以减少挥发性成分的损失或增强特定作用，其背后亦涉及成分层面的科学依据。因此，有必要通过成分动态变化的研究，为煎煮时间及给药方式的选择提供客观的化学基础。

基于上述问题，本研究以荆芥和肉桂为代表性药材，重点研究其在煎煮过程中物质成分的变化规律。为了全面且精细地阐明煎煮过程中存在的变化规律，基于传统用法记载、现代研究结果以及实验设计需求为荆芥和肉桂选择了合适的煎煮时间范围。对于荆芥，既往研究表明其主要挥发性成分胡薄荷酮在煎煮 5~10 min 达到较高水平，煎煮时间过短或过长均会导致其含量下降；对于肉桂，传统医籍提出其煎煮时间需根据临床目的灵活调整，现代研究亦提示其主要挥发性成分在 20~30 min 内具有较高提取效率<sup>[8-12]</sup>。因此，本研究针对荆芥选择 5~15 min、肉桂选择 20~40 min 作为研究煎煮时间，并且将其细化至 5 个时间点。在此时间范围的基础上，分别各自选取 2 种含量较高的代表性挥发性成分作为研究对象，其中每味药材均包含 1 种《中国药典》2025 年版规定进行含量测定的指标物质，采用 GC-MS/MS 方法建立多反应监测（multiple reaction monitoring, MRM）模式考察不同的煎煮时间下，目标挥发性成分在煎煮液中的实际含量。同时，基于 UPLC-Q-TOF MS/MS 分析对 2 味药材煎煮液中的水溶性成分进行系统定性定量分析，比较不同煎煮时间导致的成分谱变化及相对含量差异，

并结合聚类分析揭示其物质基础的动态特征。最终，通过整合挥发性与水溶性成分的整体变化数据，揭示其成分-时间变化规律，为临床合理确定煎煮时间及不同给药方式提供实验依据。

### 1 仪器与材料

Agilent 8890-7000E 气质联用仪、Agilent 6546 LC/Q-TOF 液质联用仪，美国 Agilent 公司；XSR204/AC 电子天平（万分之一）、XSR205DU/AC 电子天平（十万分之一），瑞士 Mettler Toledo 公司；ZNHW 系列智能数显电热套，上海力辰邦西仪器科技有限公司；SCIENITZ-10N/C 普通多歧管型钟罩式冻干机，宁波新芝生物科技股份有限公司；MX-S 可调式涡旋仪，大龙兴创实验仪器（北京）股份公司。

荆芥饮片（批号 2212018）购自北京市双桥燕京中药饮片厂，肉桂饮片（批号 20230720）购自亳州市康易饮生物科技有限公司，由北京中医药大学中药学院魏胜利教授鉴定 2 种饮片均符合《中国药典》2025 年版规定；对照品薄荷酮（批号 024011022，质量分数 98%）、桂皮醛（批号 202308306，质量分数 98%）购自北京迈瑞达科技有限公司，邻甲氧基肉桂醛（批号 C15130118，质量分数 96%）购自上海麦克林生化科技股份有限公司，胡薄荷酮（批号 M10016284，质量分数 98%）购自上海迈瑞尔生化科技有限公司。水购自杭州娃哈哈集团有限公司；质谱级甲醇、乙腈购自美国赛默飞世尔科技公司。

## 2 方法

### 2.1 挥发性成分对照品溶液的制备

本研究所用挥发性成分的对照品溶液均由相应的对照品配制。分别精密称取胡薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛、薄荷酮及桂皮醛对照品各 10.00 mg，各置于 10 mL 量瓶中，加入甲醇溶解并稀释至刻度，分别配制成质量浓度均为 1.00 mg/mL 的单一对照品储备液。取储备液稀释，将胡薄荷酮与邻甲氧基肉桂醛储备液各 0.50 mL 置同一 10 mL 量瓶中，以甲醇稀

释至刻度，制得质量浓度为 50 μg/mL 的混合溶液 A；同理，将薄荷酮与桂皮醛储备溶液各 1.00 mL 稀释至 10 mL，制得质量浓度为 100 μg/mL 混合溶液 B。再取混合溶液 A 和 B 配制系列质量浓度的对照品溶液。根据目标浓度，分别精密量取适量混合溶液 A 和 B 于顶空瓶中，加入水至总体积为 4.00 mL，立即压盖密封并振摇混匀，制成含有 4 种待测挥发性成分的系列对照品溶液，其中胡薄荷酮和邻甲氧基肉桂醛的质量浓度分别为 5、15、20、25、30 μg/mL，薄荷酮和桂皮醛质量浓度分别为 1、5、10、15、20 μg/mL。

### 2.2 饮片煎煮液样品的制备

称取荆芥或肉桂饮片各 10 g，分别置于 1 000 mL 烧瓶中，加入 500 mL 水，加热至沸后开始计时。荆芥饮片连续煎煮 5、7.5、10、12.5、15 min；肉桂饮片连续煎煮 20、25、30、35、40 min。于相应时间点分别收集煎煮液，冷却后滤过，精密量取 4.00 mL 于顶空瓶中，立即压盖密封，用于顶空分析。另取 20 mL 煎煮液冻干，以 70% 甲醇溶解并配制成 10 μg/mL 溶液，用于 UPLC-Q-TOF MS/MS 分析。

### 2.3 GC-MS/MS 分析

气相色谱分离采用 MD-624 毛细管柱（30 m × 0.25 mm × 1.4 μm）。程序升温条件：初始温度 50 °C，保持 2 min；以 5 °C/min 升至 85 °C，保持 2 min；再以 5 °C/min 升至 180 °C，保持 2 min；最后以 2 °C/min 升至 240 °C，保持 2 min。顶空进样，进样口温度 250 °C；载气为氦气（纯度 99.999%），体积流量 0.5 mL/min；样品瓶平衡时间为 30 min；进样持续时间 0.5 min；不分流进样。

质谱检测器采用电子轰击离子源（EI），电子能量 70 eV；传输线温度 250 °C；离子源温度 230 °C；四极杆温度 150 °C。溶剂延迟时间 3.0 min。采用 MRM 模式，监测离子对及相关参数见表 1。

在此项实验中，标准曲线样品与待测样品在溶剂体系、进样体积及分析条件等方面保持一致，有效避

表 1 4 种目标挥发性成分监测离子对及相关质谱参数

Table 1 MRM ion pairs and corresponding MS parameters for four target volatile compounds

目标成分	<i>t<sub>R</sub></i> /min	定量离子 ( <i>m/z</i> )	定性离子 ( <i>m/z</i> )	碰撞能/ <i>V</i>
胡薄荷酮*	24.901	82.0	111.0, 72.0	10
薄荷酮	21.141	139.1	111.1, 83.0	10
邻甲氧基肉桂醛	32.908	130.9	119.1, 90.9	15
桂皮醛*	25.525	131.0	104.0, 78.0	15

\* 《中国药典》2025 年版要求进行含量测定的物质。

\*Indicates that it is a substance subject to content determination as required by the Chinese Pharmacopoeia (2025 edition).

免了溶剂差异对挥发性成分分配和平衡状态造成的影响,从而保证了定量结果的可比性与可靠性。

## 2.4 UPLC-Q-TOF MS/MS 分析

**2.4.1 色谱条件** 采用 ACQUITY UPLC® BEH C<sub>18</sub> 色谱柱 (50 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 柱温 30 °C。流动相为 0.1%甲酸水溶液 (A)-乙腈 (B), 梯度洗脱: 0~8.00 min, 5%~38% B; 8.00~14.00 min, 38%~100% B; 14.00~14.01 min, 100%~5% B; 14.01~15.00 min, 5% B。体积流量 0.4 mL/min, 进样量 2 μL。

**2.4.2 质谱条件** 采用电喷雾 (ESI) 离子源, 在正负离子模式下采集数据; 质量扫描范围为 100~1 000, 扫描时间 1.5 s。仪器参数设置如下: 雾化气温度为 320 °C, 雾化气气流为 8 L/min, 雾化气压力为 241 kPa, 鞘气温度为 350 °C, 鞘气流量为 11 L/min, 喷嘴电压为 1 000 V, 裂解电压为 175 V, 八极杆射频

峰值电压为 750 V。碰撞能量 35 eV。不同煎煮时间所得煎煮液经冻干后, 以 70%甲醇溶解并配制成为 10 μg/mL 溶液, 按上述条件进行 UPLC-Q-TOF MS/MS 分析。

## 3 结果

### 3.1 目标挥发性成分 GC-MS/MS 定量分析方法的建立

为建立胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛及桂皮醛的 GC-MS/MS 定量分析方法, 取不同质量浓度的系列混合对照品溶液, 按“2.3”项条件进行顶空进样。在 MRM 模式下记录各成分定量离子的峰面积, 并以浓度为横坐标 ( $x$ ), 峰面积为纵坐标 ( $y$ ) 绘制标准曲线。各成分的线性回归方程、相关系数及线性范围见表 2。结果表明, 4 种成分在各自浓度范围内线性良好 ( $r^2 \geq 0.999 0$ ), 可满足 GC-MS/MS 定量分析要求。

表 2 基于 GC-MS/MS 对 4 种目标挥发性成分建立定量分析方法

Table 2 GC-MS/MS-based quantitative method for four target volatile compounds

目标挥发性成分	线性回归方程	$r^2$	线性范围/(μg·mL <sup>-1</sup> )
胡薄荷酮	$y=220\ 092.4x+4\ 453\ 077.6$	0.999 0	5~30
薄荷酮	$y=1\ 706\ 928.5x+2\ 164\ 244.0$	0.999 1	1~20
邻甲氧基肉桂醛	$y=5\ 813.0x-14\ 130.5$	0.999 0	5~30
桂皮醛	$y=177\ 490.4x-110\ 376.9$	0.999 6	1~20

### 3.2 目标挥发性成分定量方法学的验证

**3.2.1 精密度试验** 取煎煮 10 min 的荆芥煎煮液和煎煮 30 min 的肉桂煎煮液, 按顶空进样方法连续进样 6 次, 测定胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛和桂皮醛的峰面积。结果显示, 各成分峰面积的 RSD 分别为 3.11%、2.45%、2.67%、0.83%, 表明所建立的 GC-MS/MS 方法具有良好的精密度。

**3.2.2 稳定性试验** 取煎煮 10 min 的荆芥煎煮液和煎煮 30 min 的肉桂煎煮液置于 4 °C 条件下储存, 按顶空进样方法分别于 0、4、8、12、16、20、24 h 进样测定胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛和桂皮醛的峰面积。结果显示, 各成分峰面积的 RSD 分别为 1.18%、2.31%、2.06%、1.99%。结果表明, 样品在 4 °C 条件下于 24 h 内信号变化较小, 挥发性组分未出现显著降解或挥发损失, 样品溶液在存放期间具有良好稳定性。

**3.2.3 重复性试验** 按“2.2”项所述样品制备方法, 分别平行制备荆芥 10 min 煎煮液和肉桂 30 min 煎煮液各 6 份, 并按顶空进样方法测定胡薄荷酮、薄

荷酮、邻甲氧基肉桂醛和桂皮醛的质量浓度。结果显示, 各成分的平均质量浓度分别为 23.3、13.5、17.0、27.1 μg/mL, RSD 分别为 4.77%、2.50%、0.91% 和 0.77%。结果表明, 该样品制备与测定方法具有良好的重复性。

**3.2.4 加样回收率试验** 取同一批已测定的荆芥 10 min 煎煮液和肉桂 30 min 煎煮液, 分别精密量取 4.00 mL, 各制备 6 份。按照样品中相应成分的实测含量, 以 100%加标量精密加入胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛和桂皮醛对照品溶液各 100 μL, 压盖密封后涡旋混匀。按“2.3”项方法进行顶空进样分析, 并计算各成分的回收率。结果显示, 胡薄荷酮、薄荷酮、邻甲氧基肉桂醛和桂皮醛的平均回收率分别为 96.7%、97.1%、98.8%和 99.4%, RSD 分别为 4.2%、3.3%、3.8%和 2.7%。结果表明, 该方法在实际基质中的准确度良好, 具有良好的适用性。

**3.3 目标挥发性成分在不同煎煮时间下的含量变化** 按“2.2”项方法制备荆芥和肉桂在不同煎煮时

间下的样品溶液,并按“2.3”项 GC-MS/MS 条件进样分析,测定各目标挥发性成分的峰面积并换算其含量,结果见图 1。4 种目标挥发性成分在煎煮过程中的含量均呈现明显的时间相关性,但变化模式存在差异。胡薄荷酮、薄荷酮和桂皮醛均表现为先升

后降,在短时间内达到峰值后随煎煮延长明显下降;而邻甲氧基肉桂醛则随时间延长持续上升。上述规律反映了挥发性药材在加热过程中成分释放与挥发损失并存的动态特征,为进一步探讨煎煮时间选择与药效实现的关系提供了基础数据。

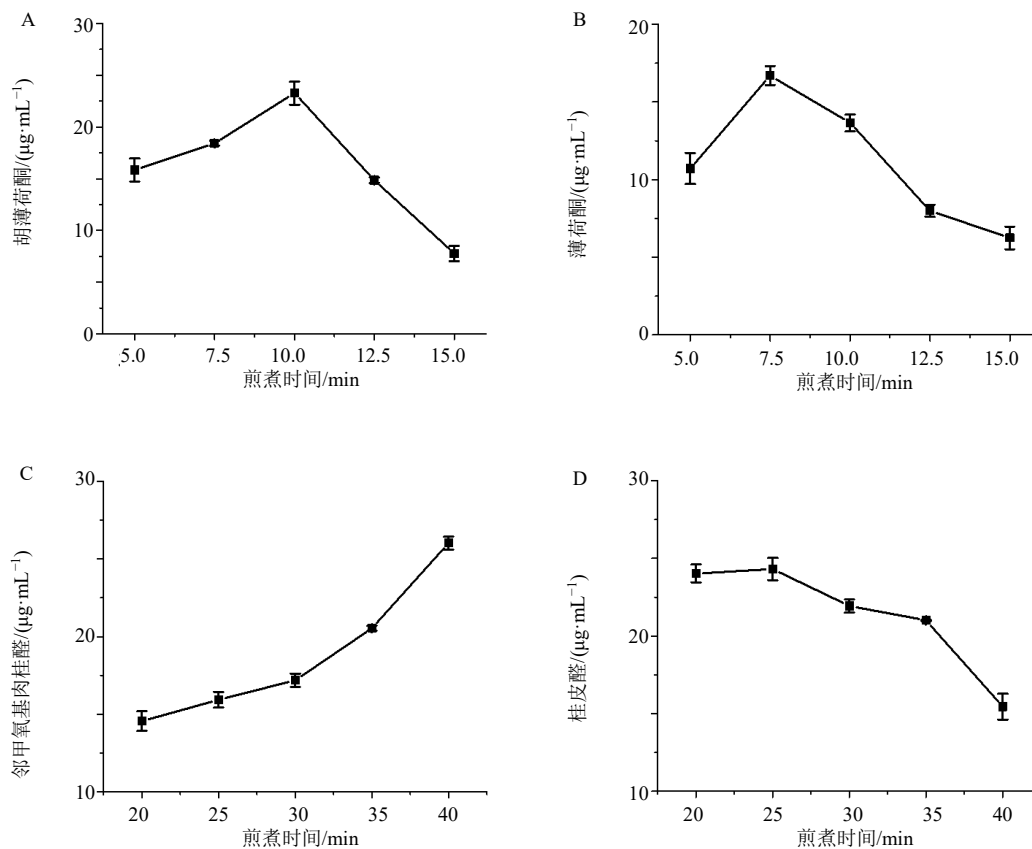


图 1 荆芥与肉桂中 4 种目标挥发性成分随煎煮时间的含量变化

Fig. 1 Changes in contents of four target volatile compounds in *Schizonepetae Herba* and *Cinnamomi Cortex* decoctions over different boiling times

### 3.4 煎煮液成分的 UPLC-MS/MS 定性分析

采用 UPLC-Q-TOF MS/MS 按“2.4”项方法,检测荆芥和肉桂按“2.2”项下不同煎煮时间所得的煎煮液,对其中可能存在的化学成分进行系统鉴定,结果见表 3、4。共鉴定出化学成分 139 种,其中荆芥 91 种、肉桂 48 种。鉴定结果显示,2 味药材的化学成分类型丰富,既包括挥发性成分,也包含多种黄酮类、酚酸类、有机酸及其衍生物等水溶性活性物质,为进一步分析不同煎煮时间下物质基础的动态变化及其与煎煮时间选择的关联奠定了数据基础。

### 3.5 水溶性成分相对含量对比与物质聚类分析

为进一步考察水溶性成分在不同煎煮条件下的变化规律,本研究选取煎煮时间差异较大的 3 个

时间点进行比较(荆芥为 5、10、15 min;肉桂为 20、30、40 min)。对已识别的水溶性成分提取其离子峰面积,并进行线性归一化处理,以反映各成分相对含量的变化趋势;同时结合物质类别信息开展聚类分析,对不同煎煮时间下化学成分的整体差异进行可视化展示,分析结果见图 2。该分析不仅揭示了水溶性成分在煎煮过程中的动态变化特征,也为进一步理解荆芥和肉桂煎煮时间选择的物质基础提供了依据。

## 4 讨论

本研究从挥发性与水溶性 2 类化学成分的角度系统考察了荆芥与肉桂在不同煎煮时间下的成分动态变化规律,并与既往药理研究及临床应用实践相结合,探讨煎煮时间对其物质基础与潜在药效

表3 荆芥煎煮液化学成分 UPLC-MS/MS 定性分析结果

Table 3 Qualitative analysis of chemical constituents in *Schizonepetae Herba* Decoction by UPLC-MS/MS

编号	$t_R$ /min	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 ( $m/z$ )	误差 ( $\times 10^{-6}$ )	加合模式	碎片离子 ( $m/z$ )
1	0.593	羟基酪醇	酚类	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O	151.049 1	152.056 3	-2.03	[M+H] <sup>+</sup>	104.047 5, 108.018 7, 110.034 1, 111.038 1
2	0.492	柠檬酸	有机酸及其衍生物	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192.027 2	191.019 9	1.04	[M-H] <sup>-</sup>	191.019 9
3	0.649	丁二酸	有机酸及其衍生物	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	118.026 8	117.019 5	1.66	[M-H] <sup>-</sup>	117.021 6
4	0.728	脯氨酰-异亮氨酸	氨基酸及其衍生物	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	228.146 7	229.154 0	-2.88	[M+H] <sup>+</sup>	229.154 0, 230.141 0, 183.066 6, 229.436 6
5	0.758	车叶草昔酸	环烯醚萜	C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	432.125 5	477.124 6	-2.97	[M+COOH] <sup>-</sup>	109.029 9, 152.011 4, 219.028 8, 346.113 2
6	0.904	2-hydroxy-5-[3,4,5-trihydroxy-6-(hydroxymethyl)oxan-2-yl]oxybenzoic acid	有机酸及其衍生物	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>9</sub>	316.078 9	315.071 4	-1.57	[M-H] <sup>-</sup>	108.021 7, 109.025 1, 109.029 4, 152.016 6
7	0.952	果糖异亮氨酸	氨基酸及其衍生物	C <sub>12</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>7</sub>	293.146 9	294.154 2	-1.78	[M+H] <sup>+</sup>	276.206 4, 277.209 6, 278.212 7, 294.154 2
8	0.993	对苯二甲酸	有机酸及其衍生物	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	166.026 7	165.019 4	0.37	[M-H] <sup>-</sup>	121.348 2, 135.878 2, 149.009 6, 150.008 6
9	1.128	黑麦草碱	生物碱	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	154.110 3	155.117 5	-2.28	[M+H] <sup>+</sup>	112.220 1, 155.117 5
10	1.184	L-色氨酸	氨基酸及其衍生物	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	204.089 5	205.096 7	-1.72	[M+H] <sup>+</sup>	109.076 3, 117.000 7, 130.910 6, 149.047 2
11	1.203	(3,4,5-trihydroxy-6-(hydroxymethyl)oxan-2-yl) 4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzoate	脂肪酸	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	360.105 6	359.097 9	-0.15	[M-H] <sup>-</sup>	123.145 2, 149.024 8, 151.040 0, 153.018 9
12	1.394	异戊酰-L-肉碱	其他	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	245.161 9	246.169 1	-3.49	[M+H] <sup>+</sup>	246.169 1, 187.095 9
13	1.671	断马钱子酸	其他	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	374.120 9	373.113 7	-1.05	[M-H] <sup>-</sup>	109.029 7, 135.045 0, 169.066 3, 224.047 8
14	1.693	京尼平昔酸	糖苷	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	374.120 9	373.113 7	-1.05	[M-H] <sup>-</sup>	373.113 7
15	1.850	3,4-二羟基苯甲醛	挥发油	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138.031 9	137.024 4	1.71	[M-H] <sup>-</sup>	102.593 1, 118.938 0, 135.915 5
16	1.981	亮氨酰亮氨酸	氨基酸及其衍生物	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	244.179 4	245.186 7	2.80	[M+H] <sup>+</sup>	245.157 2, 245.186 7
17	2.281	木犀草昔	黄酮	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448.100 9	447.093 5	0.66	[M-H] <sup>-</sup>	123.045 2, 135.029 3, 149.024 0, 165.018 6
18	2.382	茉莉糖昔 B	糖苷	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub> O <sub>8</sub>	346.162 9	391.161 1	0.42	[M+COOH] <sup>-</sup>	105.071 0, 137.025 1, 175.040 2, 242.101 0
19	2.505	绿原酸	苯丙素	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.094 2	353.086 9	-2.51	[M-H] <sup>-</sup>	253.094 2
20	2.517	京尼平	环烯醚萜	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	226.083 3	227.090 9	-3.59	[M+H] <sup>+</sup>	103.054 2, 105.069 2, 107.085 2, 115.054 0
21	2.573	香豆酸-4-葡萄糖昔	糖苷	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	326.099 9	325.092 6	-0.73	[M-H] <sup>-</sup>	325.092 6
22	2.618	绿原酸半水合物	有机酸及其衍生物	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	372.104 3	373.111 6	-3.52	[M+H] <sup>+</sup>	373.111 6
23	2.764	咖啡酸乙酯	酚类	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	162.068 9	207.067 1	4.14	[M-H] <sup>-</sup>	101.039 3, 137.037 4, 161.024 8
24	2.854	咖啡酸	有机酸及其衍生物	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	180.042 2	179.034 9	-0.48	[M-H] <sup>-</sup>	107.050 7, 108.021 7, 121.029 5, 123.045 3
25	2.977	4-羟基肉桂酸甲酯	酯类	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	178.063 5	177.056 2	2.72	[M-H] <sup>-</sup>	177.056 2

表3 (续)

编号	tr/min	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 (m/z)	误差 (×10 <sup>-6</sup> )	加合模式	碎片离子 (m/z)
26	3.041	香草乙酮	酚类	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	166.062 2	167.069 6	-4.64	[M+H] <sup>+</sup>	105.001 0, 115.053 6, 122.035 1
27	3.067	对羟基肉桂酸	有机酸及其衍生物	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	164.046 7	163.039 5	-3.71	[M-H] <sup>-</sup>	119.936 8, 136.016 7
28	3.097	4',6'-二甲基-2-羟基苯乙酮	酚类	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196.072 8	197.080 1	-3.82	[M+H] <sup>+</sup>	106.041 0, 123.044 0, 167.069 1,
29	3.153	β-细辛脑	苯丙素	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	208.109 1	209.116 5	-4.11	[M+H] <sup>+</sup>	209.116 5
30	3.179	2-羟基辛酸	脂肪酸	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	160.110 0	159.102 8	0.60	[M-H] <sup>-</sup>	113.039 6, 140.940 1, 159.047 4
31	3.336	对甲氧基苯甲醛	挥发油	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	136.052 6	135.045 3	1.56	[M-H] <sup>-</sup>	118.938 0, 132.021 8
32	3.400	一枝黄花苷	糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>34</sub> O <sub>16</sub>	614.184 5	613.177 2	-0.27	[M-H] <sup>-</sup>	613.177 2
33	3.692	苦番红花素	类胡萝卜素	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub> O <sub>7</sub>	330.168 2	375.166 3	0.91	[M+COOH] <sup>-</sup>	111.081 8, 135.045 3, 187.075 9, 191.107 3
34	3.711	丁香酚芸香糖苷	糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>11</sub>	472.193 0	473.200 3	-3.13	[M+H] <sup>+</sup>	473.200 3
35	3.726	三裂鼠尾草素	其他	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	374.100 0	373.093 0	-0.46	[M-H] <sup>-</sup>	134.037 4, 150.032 5, 165.056 3, 191.107 5
36	3.932	木犀草素	黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286.047 5	287.054 8	-0.72	[M+H] <sup>+</sup>	287.054 8
37	4.127	山柰酚-3-O-芸香糖苷	糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	594.157 4	593.151 2	-1.84	[M-H] <sup>-</sup>	285.040 5, 318.070 1, 393.060 6
38	4.261	木犀草素-3'-葡萄糖醛酸苷	糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> O <sub>12</sub>	462.078 3	461.071 0	-3.26	[M-H] <sup>-</sup>	461.071 0
39	4.419	山柰酚	酚类	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286.046 6	285.039 3	-4.04	[M-H] <sup>-</sup>	285.039 3
40	4.520	樟脑	挥发油	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	152.120 5	151.113 2	2.58	[M-H] <sup>-</sup>	106.992 6, 108.022 1, 135.915 7
41	4.531	苯甲酸	有机酸及其衍生物	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	122.036 8	121.029 5	-0.07	[M-H] <sup>-</sup>	121.029 5
42	4.958	橙皮素	黄酮	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	302.077 9	303.084 9	-3.90	[M+H] <sup>+</sup>	105.033 8, 120.056 9, 149.058 6, 155.085 3
43	5.348	圣草酚	黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	288.063 4	287.056 1	0.03	[M-H] <sup>-</sup>	118.042 8, 145.029 3, 210.069 1
44	5.415	10-羟基癸酸	有机酸及其衍生物	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>3</sub>	188.141 3	187.134 0	0.23	[M-H] <sup>-</sup>	187.134 0, 188.137 8
45	5.804	牛蒡子苷元-4'-O-β-龙胆二糖苷	糖苷	C <sub>33</sub> H <sub>44</sub> O <sub>16</sub>	696.262 7	695.256 2	-0.38	[M-H] <sup>-</sup>	135.044 6, 441.192 6, 485.135 5, 578.200 4
46	5.872	乌柏苷 F	其他	C <sub>32</sub> H <sub>42</sub> O <sub>15</sub>	666.252 6	665.245 4	0.32	[M-H] <sup>-</sup>	165.055 8, 341.139 4, 396.150 8, 441.181 3
47	5.973	蒙花苷	黄酮	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	592.176 5	593.184 3	-4.52	[M+H] <sup>+</sup>	162.067 3, 264.056 0, 283.095 9, 299.090 4
48	6.220	蕨苷 A	其他	C <sub>21</sub> H <sub>30</sub> O <sub>8</sub>	410.193 8	409.186 7	-0.73	[M-H] <sup>-</sup>	409.186 7
49	6.288	迷迭香酸甲酯	酯类	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	374.099 7	373.092 4	-1.22	[M+COOH] <sup>-</sup>	164.048 3, 189.128 7, 231.067 2
50	6.377	迷迭香酸	有机酸及其衍生物	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	360.084 9	359.076 9	1.04	[M-H] <sup>-</sup>	359.092 4
51	6.430	goyazensolide	其他	C <sub>19</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	360.121 0	361.128 3	0.21	[M+H] <sup>+</sup>	229.085 3, 257.046 8, 275.123 3, 361.128 3
52	6.695	(-)-紫苏酸	有机酸及其衍生物	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	166.099 0	167.106 3	-2.23	[M+H] <sup>+</sup>	121.100 9, 167.106 3, 189.088 0
53	6.998	金合欢素	黄酮	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	284.068 4	283.061 0	-0.26	[M-H] <sup>-</sup>	283.061 0
54	7.088	(-)-小茴香酮	挥发油	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	152.120 7	197.118 9	4.07	[M+COOH] <sup>-</sup>	151.910 5, 156.098 1, 167.001 2, 170.020 4
55	7.268	芳樟醇	挥发油	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.135 8	153.128 5	0.00	[M-H] <sup>-</sup>	107.050 6, 118.938 1, 130.111 0, 138.929 2

表3 (续)

编号	<i>t<sub>R</sub></i> /min	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 ( <i>m/z</i> )	误差 ( $\times 10^{-6}$ )	加合模式	碎片离子 ( <i>m/z</i> )
56	7.384	松萝酸	维生素	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	344.088 5	345.096 0	-3.11	[M+H] <sup>+</sup>	345.096 0
57	7.616	9,12,13-trihydroxy-10-octadecenoic acid	脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>5</sub>	330.240 8	329.233 4	0.39	[M-H] <sup>-</sup>	171.102 9, 171.111 8, 211.133 9, 211.143 8
58	8.080	L-亮氨酸/L-异亮氨酸	其他	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	131.094 0	132.101 3	-4.95	[M+H] <sup>+</sup>	132.101 3
59	8.238	16-氧代泽泻醇 A	萜类	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>6</sub>	504.345 2	503.337 9	0.17	[M-H] <sup>-</sup>	135.045 3, 321.041 2, 459.347 4, 485.327 1
60	8.436	熊竹素	黄酮	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	314.077 9	315.085 1	-3.57	[M+H] <sup>+</sup>	315.085 1
61	8.533	isokobusone	其他	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	222.161 1	223.168 4	-3.84	[M+H] <sup>+</sup>	105.069 8, 107.085 4
62	8.682	苦皮藤素 VII	其他	C <sub>37</sub> H <sub>44</sub> O <sub>15</sub>	728.269 8	727.263 1	2.47	[M-H] <sup>-</sup>	358.156 0, 400.166 3, 479.243 9, 547.234 4
63	8.709	苜蓿酸	其他	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>6</sub>	502.327 5	503.335 2	-3.82	[M+H] <sup>+</sup>	109.101 1, 119.085 0, 185.132 8, 249.147 4
64	8.727	12-hydroperoxy-9,13,15-octadecatrienoic acid	脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	308.199 1	307.191 7	1.02	[M-H] <sup>-</sup>	119.086 7, 121.066 0, 121.073 9, 125.097 4
65	9.169	6-姜烯酚	酚类	C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O <sub>3</sub>	276.171 7	277.179 0	-2.98	[M+H] <sup>+</sup>	277.179 0
66	9.348	N-十二烷基乙醇胺	其他	C <sub>16</sub> H <sub>35</sub> NO <sub>2</sub>	273.266 2	274.273 5	-2.14	[M+H] <sup>+</sup>	102.091 1, 106.085 9, 256.263 2, 274.273 6
67	9.427	法卡林二醇	脂肪酸	C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	260.177 7	305.175 9	0.23	[M+COOH] <sup>-</sup>	113.097 2, 119.086 6, 121.102 3, 125.097 2
68	9.581	泽泻醇 F	萜类	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>5</sub>	488.350 0	487.342 7	-0.33	[M-H] <sup>-</sup>	409.310 5, 487.342 7, 488.345 3
69	9.764	类葎草酮	其他	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	348.194 0	347.186 7	0.96	[M-H] <sup>-</sup>	235.204 7, 207.126 0, 193.087 2, 165.093 4
70	9.838	十二烷基二甲基叔胺	其他	C <sub>14</sub> H <sub>31</sub> N	213.245 1	214.252 4	-2.42	[M+H] <sup>+</sup>	214.252 4, 215.255 7, 216.261 6
71	9.939	2-amino-1,3-dihydroxy heptadecane	其他	C <sub>17</sub> H <sub>37</sub> NO <sub>2</sub>	287.281 5	288.288 8	-3.29	[M+H] <sup>+</sup>	288.293 1, 289.160 0, 270.276 4
72	10.058	去氢木香内酯	挥发油	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	230.129 9	231.137 2	-3.40	[M+H] <sup>+</sup>	231.137 2
73	10.104	(10 <i>E</i> ,12 <i>E</i> ,14 <i>E</i> )-16-hydroxy-9-oxooctadeca-10,12,14-trienoic acid	其他	C <sub>18</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	308.198 8	307.191 5	0.15	[M-H] <sup>-</sup>	307.191 5, 137.097 4, 223.135 5, 167.108 6
74	10.190	巨大戟醇	萜类	C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub>	348.193 4	347.186 2	-0.69	[M-H] <sup>-</sup>	166.063 0, 233.081 2, 259.097 1, 287.166 1
75	10.380	2,2'-(tetradecylimino) bisethanol	其他	C <sub>18</sub> H <sub>39</sub> NO <sub>2</sub>	301.297 3	302.304 4	-2.99	[M+H] <sup>+</sup>	302.304 4
76	10.538	bisphenol a bis(2,3-dihydroxypropyl) ether	其他	C <sub>21</sub> H <sub>28</sub> O <sub>6</sub>	376.187 4	377.194 5	-3.06	[M+H] <sup>+</sup>	135.116 2, 209.152 7, 107.085 3
77	11.275	$\alpha$ -亚麻酸	不饱和脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	278.224 5	279.231 4	-0.35	[M+H] <sup>+</sup>	107.085 6, 135.116 3, 137.131 2
78	11.332	NCGC00381327-01	其他	C <sub>21</sub> H <sub>28</sub> O <sub>6</sub>	376.187 3	377.194 7	-3.31	[M+H] <sup>+</sup>	169.102 0, 359.183 9, 175.074 0, 135.116 4
79	11.440	丁香酚	挥发油	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	164.082 9	165.090 4	-3.69	[M+H] <sup>+</sup>	105.000 9, 110.974 3, 119.017 5, 129.070 4
80	11.552	顺-6,9,12,15-十八碳四烯酸	脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	276.208 0	277.215 2	-3.52	[M+H] <sup>+</sup>	277.215 2
81	11.608	<i>cis</i> -parinaric acid	其他	C <sub>18</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	276.208 0	277.215 2	-3.52	[M+H] <sup>+</sup>	149.022 8, 259.204 7
82	11.732	9-oxo-10,12-octadeca-dienoic acid	脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>3</sub>	294.218 4	295.225 7	-3.60	[M+H] <sup>+</sup>	147.117 7, 151.111 3, 276.203 1, 277.215 2

表3 (续)

编号	$t_R$ /min	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 ( $m/z$ )	误差 ( $\times 10^{-6}$ )	加合模式	碎片离子 ( $m/z$ )
83	11.818	白果新酸	有机酸及其衍生物	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> O <sub>3</sub>	320.235 2	319.227 8	0.19	[M-H] <sup>-</sup>	130.965 7, 168.984 0, 205.163 8, 262.005 3
84	11.863	亚油酸	脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	280.241 1	279.233 9	3.22	[M-H] <sup>-</sup>	107.050 4, 163.112 9
85	12.479	齐墩果酸/熊果酸	其他	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub>	456.358 9	455.351 9	-3.08	[M-H] <sup>-</sup>	141.128 2, 295.264 3, 326.187 1, 369.281 6
86	12.618	白桦脂醛	其他	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	438.348 2	439.355 5	-3.55	[M+H] <sup>+</sup>	177.163 5, 205.193 4, 393.352 1, 421.350 6
87	13.589	棕榈酸	脂肪酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256.240 2	255.233 0	-0.02	[M-H] <sup>-</sup>	237.224 5, 255.233 0, 256.234 4
88	13.761	油酸	不饱和脂肪酸	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.255 2	281.248 2	-2.55	[M-H] <sup>-</sup>	281.248 2, 282.249 0
89	14.226	邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	有机酸及其衍生物	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	390.275 8	391.282 7	-3.20	[M+H] <sup>+</sup>	121.028 0, 149.022 8, 150.026 2
90	14.454	芥酸酰胺	其他	C <sub>20</sub> H <sub>41</sub> N	337.333 3	338.340 6	0.64	[M+H] <sup>+</sup>	338.340 6, 339.343 7, 321.314 3, 149.022 7
91	14.574	维生素 E 琥珀酸酯	维生素	C <sub>33</sub> H <sub>54</sub> O <sub>5</sub>	530.398 0	531.405 8	1.65	[M+H] <sup>+</sup>	531.405 8, 553.912 8

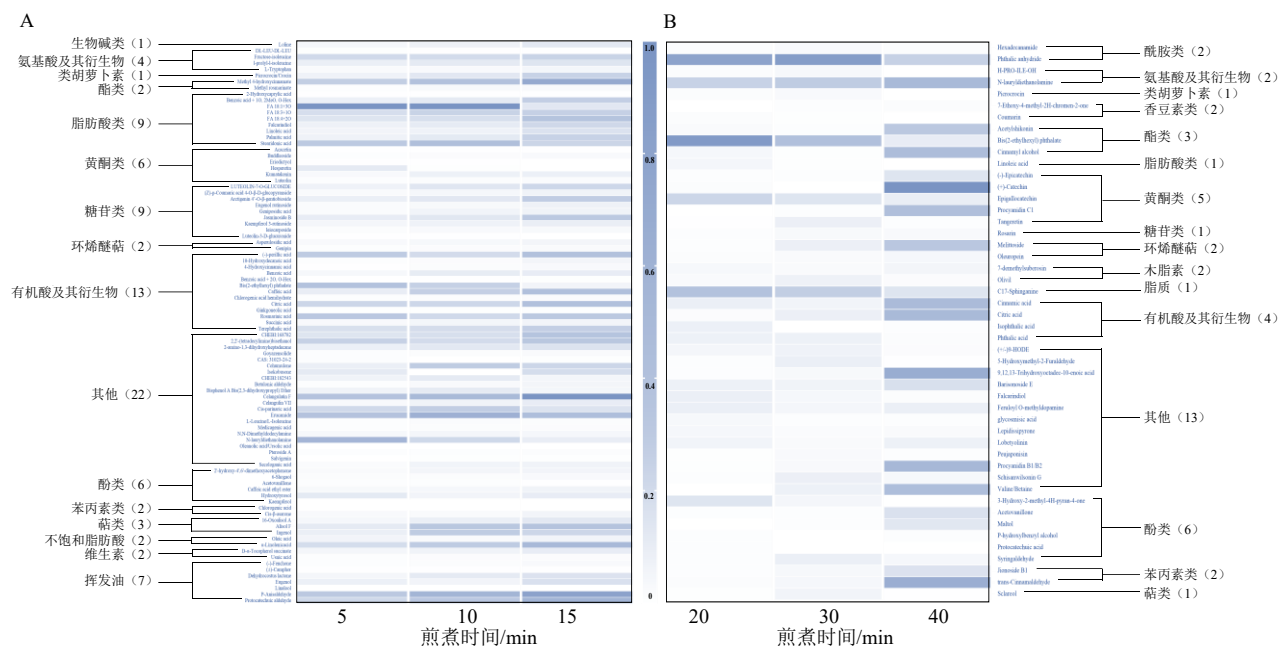
表4 肉桂煎煮液化学成分 UPLC-MS/MS 定性分析结果

Table 4 Qualitative analysis of chemical constituents in *Cinnamomi Cortex* decoction by UPLC-MS/MS

编号	$t_R$ /min	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 ( $m/z$ )	误差 ( $\times 10^{-6}$ )	加合模式	碎片离子 ( $m/z$ )
1	0.357	缬氨酸/甜菜碱	其他	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	117.078 7	118.085 9	-2.63	[M+H] <sup>+</sup>	118.085 9
2	0.607	脯氨酸-异亮氨酸	氨基酸及其衍生物	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	228.146 6	229.153 7	-3.43	[M+H] <sup>+</sup>	229.153 7, 230.158 8
3	0.639	柠檬酸	有机酸及其衍生物	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192.027 2	191.019 9	1.02	[M-H] <sup>-</sup>	191.019 9
4	1.129	对羟基苯甲醇	酚类	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124.052 2	169.050 4	-1.88	[M+COOH] <sup>-</sup>	169.050 4
5	1.185	邻苯二甲酸	有机酸及其衍生物	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	166.026 6	165.019 3	-0.09	[M-H] <sup>-</sup>	118.938 8, 121.029 9
6	1.218	甲基麦芽酚	酚类	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126.032 1	125.024 8	3.14	[M-H] <sup>-</sup>	123.929 8, 126.905 2
7	1.428	原儿茶酸	酚类	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	154.026 1	153.018 8	-3.37	[M-H] <sup>-</sup>	108.021 1, 121.939 4, 135.916 1, 139.895 0
8	1.694	苦番红花素	类胡萝卜素	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub> O <sub>7</sub>	330.167 8	329.160 5	-0.20	[M-H] <sup>-</sup>	122.033 4, 152.045 8, 164.983 1, 167.035 5
9	1.806	5-羟甲基糠醛	其他	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126.031 6	125.024 2	-0.92	[M-H] <sup>-</sup>	125.024 2
10	1.851	2-甲基-3-羟基-4-吡喃酮	酚类	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	126.031 7	125.024 4	-0.08	[M-H] <sup>-</sup>	126.906 1
11	2.060	(-)-表没食子儿茶素	黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	306.074 4	305.067 1	1.42	[M-H] <sup>-</sup>	305.067 1
12	2.139	表儿茶素	黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.079 1	289.071 8	0.15	[M-H] <sup>-</sup>	121.029 2, 125.024 8, 138.919 1, 151.040 5
13	2.303	美利妥双苷	环烯醚萜	C <sub>21</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	524.174 4	523.167 2	0.58	[M-H] <sup>-</sup>	112.981 0, 153.019 3, 183.066 9, 225.077 4
14	2.366	原花青素 B1/B2	其他	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	578.140 4	579.147 8	-3.52	[M+H] <sup>+</sup>	139.038 3, 259.058 7, 289.069 4, 417.150 9
15	2.670	(+)-儿茶素	黄酮	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.079 0	289.071 7	-0.15	[M-H] <sup>-</sup>	289.071 7
16	2.738	间苯二甲酸	有机酸及其衍生物	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	166.026 7	165.019 3	0.29	[M-H] <sup>-</sup>	121.066 6, 165.019 3, 108.045 5
17	2.857	原花青素 C1	黄酮	C <sub>45</sub> H <sub>38</sub> O <sub>18</sub>	866.206 0	865.198 8	0.25	[M-H] <sup>-</sup>	865.198 8
18	3.060	barisonoside E	其他	C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	414.116 2	459.114 4	-0.02	[M-H] <sup>-</sup>	459.114 4
19	3.358	丁香醛	酚类	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	182.057 4	183.064 7	-2.76	[M+H] <sup>+</sup>	115.054 1, 141.069 7, 156.080 4

表4 (续)

编号	$t_R/\text{min}$	化合物名称	化合物分类	分子式	相对分子质量	母离子 ( $m/z$ )	误差 ( $\times 10^{-6}$ )	加合模式	碎片离子 ( $m/z$ )
20	3.434	焦地黄苯乙醇苷 B1	苯丙素	$\text{C}_{37}\text{H}_{50}\text{O}_{20}$	814.289 7	859.288 2	0.17	$[\text{M}+\text{COOH}]^-$	859.288 2
21	3.745	橄榄树脂素	木脂素	$\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_7$	376.153 0	375.144 9	2.05	$[\text{M}-\text{H}]^-$	122.037 0, 149.024 7, 150.032 4, 151.035 3
22	3.778	肉桂酸	有机酸及其衍生物	$\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_2$	148.051 6	147.045 4	1.67	$[\text{M}-\text{H}]^-$	103.923 8, 118.042 1, 119.049 0, 131.895 8,
23	4.134	党参炔昔宁	其他	$\text{C}_{26}\text{H}_{38}\text{O}_{13}$	558.231 5	557.224 2	0.48	$[\text{M}-\text{H}]^-$	101.024 3, 149.045 3, 153.091 9
24	4.202	洛塞琳	糖苷	$\text{C}_{20}\text{H}_{28}\text{O}_{10}$	428.168 7	473.166 8	1.04	$[\text{M}+\text{COOH}]^-$	161.045 7, 179.035 0, 215.056 2, 218.058 4
25	4.459	香豆素	香豆素	$\text{C}_7\text{H}_4\text{N}_3\text{O}$	146.036 1	147.043 3	4.35	$[\text{M}+\text{H}]^+$	147.043 3, 103.682 5, 105.071 2, 119.085 3
26	4.769	反式肉桂醛	苯丙素	$\text{C}_9\text{H}_8\text{O}$	132.057 2	155.046 4	-2.23	$[\text{M}+\text{Na}]^+$	115.053 3, 127.053 6, 141.068 9
27	5.657	feruloyl <i>O</i> -methyl dopamine	其他	$\text{C}_{19}\text{H}_{21}\text{NO}_5$	343.141 9	344.149 1	-0.32	$[\text{M}+\text{H}]^+$	177.053 8
28	5.657	橄榄苦苷	环烯醚萜	$\text{C}_{25}\text{H}_{32}\text{O}_{13}$	540.184 3	539.176 4	0.08	$[\text{M}-\text{H}]^-$	539.176 4
29	5.702	橘皮素	黄酮	$\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{O}_7$	372.121 2	371.113 6	0.80	$[\text{M}-\text{H}]^-$	162.032 7, 179.050 7, 243.103 8
30	5.942	lepidissipyron	其他	$\text{C}_{24}\text{H}_{22}\text{O}_7$	422.136 2	421.129 0	-0.74	$[\text{M}-\text{H}]^-$	255.062 9, 377.107 6
31	6.057	7-乙氧基-4-甲基香豆素	香豆素	$\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_3$	204.077 7	205.085 0	-4.48	$[\text{M}+\text{H}]^+$	177.055 1
32	6.218	山橘脂酸	其他	$\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{O}_7$	372.121 4	371.114 1	1.37	$[\text{M}-\text{H}]^-$	123.044 3, 162.030 4, 177.020 3, 193.0180
33	6.521	黄精碱 A	其他	$\text{C}_{30}\text{H}_{34}\text{O}_9$	538.219 6	583.217 6	-1.31	$[\text{M}-\text{H}]^-$	151.040 4, 189.050 4, 190.063 8, 315.088 8
34	7.232	肉桂醇	酯类	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}$	134.073 2	135.080 5	0.38	$[\text{M}+\text{H}]^+$	135.078 8
35	7.526	7-去甲基软木花椒素	木脂素	$\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{O}_3$	230.094 3	229.087 0	0.02	$[\text{M}-\text{H}]^-$	229.087 0
36	7.664	9,12,13-trihydroxyoctadec-10-enoic acid	其他	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_5$	330.240 6	329.233 3	-0.21	$[\text{M}-\text{H}]^-$	329.233 3, 171.102 8, 211.144 4
37	8.942	peujaponisin	其他	$\text{C}_{24}\text{H}_{28}\text{O}_7$	428.182 6	429.189 8	-2.22	$[\text{M}+\text{H}]^+$	115.054 4, 181.084 8, 300.099 1
38	9.274	乙酰紫草素	酯类	$\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_6$	330.109 3	331.116 5	-3.28	$[\text{M}+\text{H}]^+$	109.064 3, 119.048 8, 135.043 6, 147.043 6
39	9.285	香草乙酮	酚类	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$	166.062 5	167.069 8	-3.00	$[\text{M}+\text{H}]^+$	107.049 0, 108.056 7, 109.028 1, 109.064 4
40	9.405	<i>N</i> -十二烷基乙醇胺	氨基酸及其衍生物	$\text{C}_{16}\text{H}_{35}\text{NO}_2$	273.267 1	274.274 4	1.32	$[\text{M}+\text{H}]^+$	274.274 4
41	9.460	法卡林二醇	其他	$\text{C}_{17}\text{H}_{24}\text{O}_2$	260.177 7	305.175 8	0.12	$[\text{M}+\text{COOH}]^-$	121.102 0, 135.118 3, 147.081 7, 179.143 9
42	9.648	$\text{C}_{17}$ -sphinganine	脂质	$\text{C}_{17}\text{H}_{37}\text{NO}_2$	287.281 5	288.288 6	-3.66	$[\text{M}+\text{H}]^+$	288.288 6, 106.086 8, 289.170 5, 270.033 5
43	11.159	(+/-)-9-HODE	其他	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_3$	296.235 1	295.227 8	-0.22	$[\text{M}-\text{H}]^-$	171.103 4, 277.411 3
44	12.704	亚油酸	脂肪酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	280.239 0	325.237 2	-4.24	$[\text{M}-\text{H}]^-$	325.237 2
45	12.940	十六碳酰胺	酰胺	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{NO}$	255.257 0	256.264 3	3.23	$[\text{M}+\text{H}]^+$	102.090 2, 256.264 3
46	13.455	香紫苏醇	萜类	$\text{C}_{20}\text{H}_{36}\text{O}_2$	308.271 7	353.269 5	0.54	$[\text{M}+\text{COOH}]^-$	125.096 6, 158.872 2, 174.866 3, 269.060 9
47	14.234	邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	酯类	$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	390.275 7	391.282 9	-3.37	$[\text{M}+\text{H}]^+$	149.022 9, 150.026 2, 167.033 1
48	14.256	苯酚	酰胺	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$	148.015 5	149.022 8	-3.62	$[\text{M}+\text{H}]^+$	149.022 8, 121.050 4, 150.026 2, 111.091 3



颜色深浅表示成分的相对含量水平：颜色越深（接近 1.0）代表该成分在对应煎煮时间下的相对含量越高；颜色越浅（接近 0）则代表相对含量越低。

The color intensity reflects the relative abundance of each compound: Darker colors (approaching 1.0) indicate higher relative abundance at the corresponding decoction time, whereas lighter colors (approaching 0) indicate lower relative abundance.

图 2 荆芥 (A) 与肉桂 (B) 水溶性成分的相对含量对比及聚类分析

Fig. 2 Comparative and clustering analysis of water-soluble constituents in *Schizonepetae Herba* (A) and *Cinnamomi Cortex* (B)

的影响。研究结果显示，2 味药材均具有显著的成分-时间依赖性，而煎煮时间的变化不仅影响挥发性成分的溶出与散失，也显著影响水溶性活性成分在煎煮液中的保留量。

现有研究中针对胡薄荷酮、桂皮醛等《中国药典》2025 年版规定的指标成分，多采用 HPLC 方法进行测定，但在样品制备过程中往往需要对煎煮液进行浓缩处理或直接进样分析。对于挥发性成分而言，此类处理过程容易在浓缩或操作过程中造成成分逸散，且其在煎煮液中的分布状态可能并非完全均一，取样位置差异亦可能对测定结果产生影响，从而影响其实际含量的准确反映<sup>[8-12]</sup>。因此，本研究采用顶空 GC-MS/MS 方法，在 MRM 模式下对目标挥发性成分进行定量分析。该方法可在较少样品前处理的条件下直接检测煎煮液中的挥发性成分，有效减少因浓缩等前处理步骤带来的人为损失。同时，MRM 模式具有较高的选择性与定量可靠性，更适用于不同煎煮时间点样品之间的比较分析。

结果表明，荆芥的主要挥发性成分胡薄荷酮和薄荷酮在煎煮早期迅速溶出，分别于 10 min 与 7.5 min 达到峰值，随后随煎煮延长逐渐下降。现代研究表明，胡薄荷酮可激活瞬时受体电位阳离子通道

亚家族 M 成员 8 (transient receptor potential cation channel subfamily M member 8, TRPM8)、瞬时受体电位阳离子通道亚家族 A 成员 1 (transient receptor potential cation channel subfamily A member 1, TRPA1)/瞬时受体电位阳离子通道亚家族 V 成员 1 (transient receptor potential cation channel subfamily V member 1, TRPV1) 等通道产生清凉、镇痛等作用<sup>[13]</sup>；薄荷酮通过激活大麻素 2 型受体(cannabinoid receptor 2, CB2) 参与免疫调节与抗炎过程<sup>[14]</sup>，是荆芥发挥疏风解表、透疹消疮等功效的重要物质基础。然而胡薄荷酮亦可代谢为具有肝毒性的薄荷呋喃<sup>[15-16]</sup>，提示其含量并非越多越好。本研究结果表明，短时间煎煮有利于目标挥发性成分的有效溶出，同时避免因过度加热造成显著损失；因此，从药效与安全性双重考虑，荆芥在煎煮时应避免长时间加热，以此保留关键药效成分。

肉桂的挥发性成分桂皮醛和邻甲氧基肉桂醛也呈现明显的时间依赖规律。桂皮醛在约 25 min 时达到峰值，是肉桂发挥温阳助火、改善微循环等作用的重要成分，其可通过调节“下丘脑-垂体-靶腺”轴并激活 TRPV1/TRPA1 通路发挥生物学效应<sup>[17-18]</sup>。邻甲氧基肉桂醛则随煎煮时间延长持续升高，其与

肉桂温补肾阳等功效密切相关<sup>[19]</sup>。这些趋势提示：肉桂煎煮时间应根据其临床应用目的进行调整。若偏重温阳、助火等作用，适度煎煮即可；若以温通止痛、改善血流为主要治疗目的，则适当延长煎煮时间可能更利于相关活性成分的溶出。此外，临床上肉桂常采用粉末冲服，以减少挥发性成分的热损失，这一经验与本研究关于挥发性成分随加热时间下降的规律高度一致，提示粉冲服可能适用于强调保留挥发性成分的临床场景。

然而，仅从挥发性成分角度解释煎煮时间的影响仍不够全面。随着中药化学研究的深入，越来越多证据表明挥发性药材中同时含有具有显著药理活性的水溶性成分<sup>[20-22]</sup>。例如，荆芥中的槲皮素及其衍生物可调节肠道菌群并具有肝保护作用<sup>[23]</sup>；木犀草素、橙皮素、原儿茶醛等多类常见水溶性成分亦具有抗炎、抗氧化等活性<sup>[24-27]</sup>。这些成分共同参与中药多途径、多靶点、多环节的整体功效发挥，构成挥发性药材治疗作用的重要补充。因此，有必要进一步考察水溶性成分在煎煮过程中的动态变化，以弥补仅考察挥发性成分的研究局限。

水溶性成分的动态变化从另一个层面揭示了煎煮时间的重要性。UPLC-Q-TOF MS/MS 分析共鉴定出 139 种水溶性化合物，其中多数为黄酮、酚酸、香豆素、有机酸及萜类衍生物<sup>[6,28-30]</sup>。部分成分的相对含量随煎煮时间延长而增加，说明一定程度的加热有助于促进其溶出；但也有不少成分在长时间加热后出现下降趋势，比如荆芥煎煮液中有 19 种物质在煎煮时间延长后其相对含量减少，分布在氨基酸及其衍生物、脂肪酸、黄酮、糖苷、挥发油、酚和苯丙素等类物质之中。肉桂煎煮液中有 22 种物质在煎煮时间延长后其相对含量减少，分布在氨基酸及其衍生物、脂肪酸、酯、黄酮、木脂素、色素和香豆素类物质之中。造成含量降低的原因可能与热降解、氧化或结构转化有关<sup>[31]</sup>，例如荆芥中的迷迭香酸具有明确抗炎活性<sup>[26]</sup>，而肉桂中的原儿茶酸具有显著抗氧化作用<sup>[32-34]</sup>。这些重要活性物质在过度煎煮中易遭受破坏，从而降低药材的整体药效。该结果提示，中药煎煮时间的选择不仅要考虑挥发性成分，还应关注热敏性水溶性成分的保护问题。

综合挥发性与水溶性成分的变化规律，本研究从物质基础角度提出 2 味药材煎煮时间的优化建议：荆芥的最佳煎煮时间约为 7.5 min，可兼顾挥发性成分的充分释放与减少损失；肉桂的煎煮时间则

应依据临床目的灵活选择，若侧重温阳助火作用，可适度缩短煎煮时间，若用于温通止痛、改善血流，则适当延长煎煮时间有助于提高特定成分含量；若希望最大程度保留挥发性成分，粉冲等替代给药方式亦可作为选择。

综上，煎煮时间是影响荆芥与肉桂化学成分溶出、转化与保留的关键因素。本研究通过系统揭示挥发性与水溶性成分的动态变化规律，为临床在不同治疗目的下选择合适的煎煮时间或给药方式提供了科学依据，也为中药煎煮方法的规范化和现代化研究奠定了基础。

## 5 结论

本研究基于 GC-MS/MS 与 UPLC-Q-TOF MS/MS 技术，系统揭示了荆芥与肉桂在不同煎煮时间下挥发性成分与水溶性成分的动态变化特征。结果显示，2 味药材均存在明确的“成分-时间”依赖关系，煎煮时间是影响其关键活性物质溶出、挥发性物质逸散及部分水溶性物质热降解的重要因素。结合挥发性与水溶性成分的综合变化规律，本研究建议荆芥的最佳煎煮时间约为 7.5 min，肉桂的煎煮时间应依据临床治疗目的灵活调整，25 min 或适当延长均可。此外，对于需要尽可能保留挥发性成分的临床应用场景，肉桂粉末冲服等非煎煮给药方式亦具有合理性，与本研究中挥发性成分的热敏特征相吻合。

总之，本研究从挥发性与水溶性双重视角系统阐明了荆芥与肉桂煎煮过程中成分变化的规律，为煎煮时间优化及临床给药方式选择提供了客观的化学依据，也为完善中药煎煮规范及开展进一步的成分动力学研究奠定了基础。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 徐大椿. 医学源流论 [M]. 万芳, 整理. 北京: 人民卫生出版社, 2023: 74.
- [2] 聂安政, 高梅梅, 朱春胜, 等. 中药特殊煎法的探讨与思考(二): 后下 [J]. 中草药, 2018, 49(13): 3153-3161.
- [3] 聂安政, 赵雪睿, 王雨, 等. 中药特殊煎法的探讨与思考(三): 包煎 [J]. 中草药, 2019, 50(3): 767-771.
- [4] 聂安政, 朱春胜, 张冰. 中药特殊煎法的探讨与思考(一): 先煎 [J]. 中草药, 2018, 49(7): 1716-1720.
- [5] 毛菊敏. 中药几种特殊煎法与疗效的关系 [J]. 中国药业, 2002, 11(4): 65-66.
- [6] 刘英男, 牛凤菊, 辛义周, 等. 荆芥的化学成分、药理作用及临床应用研究进展 [J]. 中国药房, 2020, 31(11): 1397-1402.
- [7] 马叶子, 徐浩南, 王佳伟, 等. 肉桂化学成分及药理作

- 用研究进展 [J]. 陕西中医药大学学报, 2025, 48(5): 152-161.
- [8] 黄晓巍, 杨明慧, 刘玥欣, 等. 煎煮时间对荆芥中胡薄荷酮含量的影响 [J]. 吉林中医药, 2017, 37(9): 949-951.
- [9] 杨明慧, 黄晓巍, 辛国, 等. 荆芥汤中荆芥最佳煎煮时间的实验研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2019, 39(4): 344-347.
- [10] 王一诺, 刘英, 刘容西, 等. 芳香类中药应用规律及煎煮工艺优化策略研究 [J]. 世界中医药, 2025, 20(14): 2578-2587.
- [11] 赵跃荣. 探讨荆芥饮片煎煮过程中胡薄荷酮含量变化的高效液相色谱测定方法及效果 [J]. 北方药学, 2017, 14(10): 1-2.
- [12] 魏引平, 袁菊丽. 肉桂不同煎煮方法对提取物中有效成分的影响研究 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2009, 11(11): 191-192.
- [13] Petitjean H, Héberlé E, Hilfiger L, *et al.* TRP channels and monoterpenes: Past and current leads on analgesic properties [J]. *Front Mol Neurosci*, 2022, 15: 945450.
- [14] Cheng Y J, Dong Z, Liu S.  $\beta$ -Caryophyllene ameliorates the Alzheimer-like phenotype in APP/PS1 mice through CB2 receptor activation and the PPAR $\gamma$  pathway [J]. *Pharmacology*, 2014, 94(1/2): 1-12.
- [15] Lassila T, Mattila S, Turpeinen M, *et al.* Tandem mass spectrometric analysis of S- and N-linked glutathione conjugates of pulegone and menthofuran and identification of P450 enzymes mediating their formation [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2016, 30(7): 917-926.
- [16] Thorup I, Würtzen G, Carstensen J, *et al.* Short term toxicity study in rats dosed with pulegone and menthol [J]. *Toxicol Lett*, 1983, 19(3): 207-210.
- [17] 张哲, 赵雯雯, 孙秀蕊, 等. 肉桂对肾虚大鼠下丘脑-垂体-靶腺轴相关 mRNA 表达及组织病理变化的影响 [J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(4): 59-63.
- [18] Kataoka Y, Kenny G P, Nishiyasu T, *et al.* TRPA1 channel activation with cinnamaldehyde induces cutaneous vasodilation through NOS, but not COX and KCa channel, mechanisms in humans [J]. *J Cardiovasc Pharmacol*, 2022, 79(3): 375-382.
- [19] 侯小涛, 陈晓璐, 郝二伟, 等. 基于谱效关系的肉桂改善肾虚作用的质量标志物 (Q-Marker) 研究 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2597-2607.
- [20] 孙文豪, 杨扬, 陈恒, 等. 薄荷有效成分药理作用研究进展 [J]. 江苏中医药, 2023, 55(5): 78-82.
- [21] 杨东, 雷根平, 马宇. 荆芥有效成分的药理作用研究进展 [J]. 江苏中医药, 2023, 55(12): 78-82.
- [22] 李雪, 马艳春, 赵婧含, 等. 肉桂的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 药学研究, 2024, 43(10): 1015-1020.
- [23] Liu J Q, Liu Y H, Huang C Q, *et al.* Quercetin-driven *Akkermansia muciniphila* alleviates obesity by modulating bile acid metabolism via an ILA/m(6)A/CYP8B1 signaling [J]. *Adv Sci*, 2025, 12(12): 2412865.
- [24] Zhu M T, Sun Y P, Su Y, *et al.* Luteolin: A promising multifunctional natural flavonoid for human diseases [J]. *Phytother Res*, 2024, 38(7): 3417-3443.
- [25] Song B C, Hao M H, Zhang S, *et al.* Comprehensive review of hesperetin: Advancements in pharmacokinetics, pharmacological effects, and novel formulations [J]. *Fitoterapia*, 2024, 179: 106206.
- [26] Zhang S J, Gai Z B, Gui T, *et al.* Antioxidant effects of protocatechuic acid and protocatechuic aldehyde: Old wine in a new bottle [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2021, 2021: 6139308.
- [27] 杨昊若, 唐今扬, 张伊婷, 等. 槲皮素通过恢复免疫平衡对类风湿性关节炎大鼠的保护作用 [J]. 世界中医药, 2025, 20(16): 2870-2877.
- [28] Al-Khayri J M, Sahana G R, Nagella P, *et al.* Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A review [J]. *Molecules*, 2022, 27(9): 2901.
- [29] Tu Y B, Yang Y, Li Y F, *et al.* Naturally occurring coumestans from plants, their biological activities and therapeutic effects on human diseases [J]. *Pharmacol Res*, 2021, 169: 105615.
- [30] Xie J C, Xiong S H, Li Y M, *et al.* Phenolic acids from medicinal and edible homologous plants: A potential anti-inflammatory agent for inflammatory diseases [J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1345002.
- [31] 张美娜. 中药煎煮的化学成分变化研究 [J]. 河南科技, 2014, 41(11): 77-78.
- [32] Azhar M K, Anwar S, Hasan G M, *et al.* Comprehensive insights into biological roles of rosmarinic acid: Implications in diabetes, cancer and neurodegenerative diseases [J]. *Nutrients*, 2023, 15(19): 4297.
- [33] Guan H Q, Luo W B, Bao B H, *et al.* A comprehensive review of rosmarinic acid: From phytochemistry to pharmacology and its new insight [J]. *Molecules*, 2022, 27(10): 3292.
- [34] Masella R, Santangelo C, D'Archivio M, *et al.* Protocatechuic acid and human disease prevention: Biological activities and molecular mechanisms [J]. *Curr Med Chem*, 2012, 19(18): 2901-2917.

[责任编辑 王文倩]