

• 药剂与工艺 •

基于成分-药效关联的不同炮制工艺鲜竹沥品质特征与止咳祛痰作用研究

于慧铖¹, 伍振峰¹, 鱼欢欢¹, 曹 莹¹, 张 询¹, 杨 明¹, 但 谦^{1*}, 张雨恬^{1,2*}

1. 江西中医药大学, 江西 南昌 330004

2. 江西中医药大学附属医院, 江西 南昌 330006

摘要: 目的 探究不同炮制方法对鲜竹沥品质与止咳祛痰效果的影响。方法 通过 GC-MS 技术分析比较不同炮制方法制备的鲜竹沥化学成分差异, 结合主成分分析 (principal component analysis, PCA) 与正交偏最小二乘-判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 进行综合评价, 筛选差异性及特有成分。进一步对比分析炮制前后竹子显微特征。建立慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 小鼠模型, 评价不同炮制工艺的鲜竹沥的止咳祛痰药效作用。结果 通过 GC-MS 分析确定了 3 种炮制方法制备的鲜竹沥中愈创木酚、紫丁香醇的相对含量及整体酚类成分占比。火制法中分别为 4.68%、2.22%、14.93%; 干馏法中分别为 5.98%、6.96%、24.77%; 水煮法中整体酚类成分占比为 3.65%, 2 种成分相对含量均低于检测限。PCA 与 OPLS-DA 结果表明, 3 种炮制工艺在化学成分上具有一定差异, 并筛选出邻甲酚、4-甲基愈创木酚、丁香酚、二氢丁香酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、香兰素、松柏醛、3-羟基-4-甲氧基甲苯、4-乙基愈创木酚、麦芽醇、油酸酰胺、丁香醛、2-吡咯甲醛有区分意义的特征差异成分。聚类分析显示, 火制法与干馏法成分较为接近, 而两者与水煮法差异显著。显微结构观察发现, 水煮法制备的鲜竹沥对应竹材结构与新鲜竹子相似, 火制与干馏法则对竹材结构改变更为显著。药效实验表明, 3 种工艺制备的鲜竹沥均有不同程度止咳祛痰作用, 其中干馏法具有延长咳嗽潜伏期 ($P<0.05$) 和增加酚红排泌量 ($P<0.01$) 的作用。结论 与火烤法和水煮法相比, 干馏法制备的鲜竹沥能更有效地保留和转化愈创木酚、紫丁香醇等活性成分。机制研究表明, 水煮法因加热温度不足, 难以使木脂素热解生成酚酸类成分, 导致其化学成分与传统火制法和干馏法存在显著差异, 三者品质不同。药效实验结果显示, 三者均表现出不同程度的止咳祛痰作用; 其中, 干馏法在延长咳嗽潜伏期与增加酚红排泌量方面效果显著更优。通过研究不同炮制工艺对鲜竹沥品质及止咳祛痰药效作用的影响, 为其临床应用、新剂型研发及干馏法炮制的科学内涵研究提供了理论依据。

关键词: 鲜竹沥; 干馏法; 物质基础; 止咳; 祛痰; 主成分分析; 正交偏最小二乘-判别分析; 慢性阻塞性肺疾病; 愈创木酚; 紫丁香醇; 酚类成分

中图分类号: R283.6

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2026)15-5825-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.15.005

Quality characteristics and antitussive and expectorant effects of *Bambusae Succus* prepared by different processing methods based on component-pharmaceutical effect associations

YU Huicheng¹, WU Zhenfeng¹, YU Huanhuan¹, CAO Xuan¹, ZHANG Xun¹, YANG Ming¹, DAN Qian¹, ZHANG Yutian^{1,2}

1. Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

2. Affiliated Hospital of Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330006, China

收稿日期: 2026-01-26

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC1707203); 江西省自然科学基金项目 (20224BAB216103); 江西省卫生健康委科技计划项目 (202610512); 江西省博士后研究人员科研项目择优资助项目 (2021KY45); 江西中医药大学教改课题 (2025jzyb-17); 景德镇市重大科技研发专项“揭榜挂帅”项目 (景财科指[2022]41号); 技术开发委托合同编号 (53523807); 江西中医药大学研究生创新专项资金项目 (XJ-S202527); 国家中医药管理局: “中药改良创新和智能制造技术示范中心建设”项目 (0686-2511CA083418Z)

作者简介: 于慧铖, 硕士研究生, 研究方向为药剂学。E-mail: yhc0688@163.com

***通信作者:** 但 谦, 讲师, 主要从事中医药数理特征研究。Tel: (0791)87119020 E-mail: danqian@jxutcm.edu.cn

张雨恬, 副教授, 硕士生导师, 主要从事中药药剂及中药炮制学研究。

Tel/Fax: (0791)87118658 E-mail: zhangyutian@jxutcm.edu.cn

Abstract: Objective To explore the effects of different processing methods on the expectorant and antitussive effects of Zhuli (*Bambusae Succus*, BS). **Methods** The chemical composition differences of BS prepared by different processing methods were analyzed by GC-MS technology, and a comprehensive evaluation was conducted using principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA) to screen for differential and specific components. The microscopic characteristics of bamboo before and after processing were further compared and analyzed. A chronic obstructive pulmonary disease (COPD) mouse model was established to evaluate the expectorant and antitussive effects of BS prepared by different processing methods. **Results** This study determined the relative contents of guaiacol and syringol and the overall proportion of phenolic components in BS prepared by three processing methods through GC-MS analysis. In the fire treatment method, the proportions were 4.68%, 2.22%, and 14.93% respectively; in the dry distillation method, they were 5.98%, 6.96%, and 24.77% respectively; in the water boiling method, the overall proportion of phenolic components was 3.65%, and the relative contents of the two components were both below the detection limit. PCA and OPLS-DA indicated that the three processing methods had certain differences in chemical composition and screened out 13 characteristic differential components with distinguishing significance, including 2-methylpheno, creosol, eugenol, 2-methoxy-4-propyl-Phenol, (*E*)-isoeugenol, vanillin, 2-propenal, 2-methoxy-5-methylphenol, 4-ethylguaiacol, maltol, oleamide, 3, 5-dimethoxy-4-hydroxybenzaldehyde, pyrrole-2-carboxaldehyde. Cluster analysis showed that the components of the fire processing and dry distillation methods were relatively similar, while both were significantly different from the water boiling method. Microscopic structure observation revealed that the bamboo structure corresponding to the BS prepared by the water boiling method was similar to that of fresh bamboo, while the fire processing and dry distillation methods had more significant changes in bamboo structure. Pharmacological experiments showed that BS prepared by the three methods all exhibited varying degrees of cough-suppressing and expectorant effects, among which the dry distillation method significantly prolonged the cough latency period ($P < 0.05$) and increased phenol red excretion ($P < 0.01$). **Conclusion** Compared with the fire processing and water boiling methods, the dry distillation method can more effectively retain active and convert components such as guaiacol and syringol. Mechanism studies indicated that the water boiling method, due to insufficient heating temperature, was unable to thermally decompose lignin to generate phenolic acid components, resulting in significant differences in chemical composition compared to the traditional fire processing and dry distillation methods, leading to distinct quality characteristics among the three approaches. The efficacy experiments showed that all three methods exhibited expectorant and antitussive effects to varying degrees; among them, the dry distillation method had a more significant effect in prolonging the cough latency period and increasing the phenol red excretion volume. By studying the effects of different processing techniques on the quality of BS and its efficacy in relieving cough and expectorating phlegm, this research provides a theoretical basis for its clinical application, the development of new dosage forms, and the scientific connotation of dry distillation processing.

Key words: *Bambusae Succus*; dry distillation; material basis; antitussive, expectorant; principal component analysis; orthogonal partial least squares-discriminant analysis; chronic obstructive pulmonary disease; guaiacol; syringol; phenolic components

鲜竹沥为禾本科刚竹属植物粉绿竹 *Phyllostachys viridiglaucescens* (Carriere) Riviere & C. Riviere、灰竹 *P. nuda* McClure 及同属数种植物的鲜茎秆加热后自然沥出的液体^[1], 被中医誉为“痰家圣剂^[2]”, 现代研究^[3-4]表明, 鲜竹沥具有清热祛痰等疗效, 临床上主要用于痰热壅肺^[5-6]、咳嗽^[7]等症的治疗。鲜竹沥炮制工艺主要为 2 种: 烧制法^[2]和干馏法^[2]。烧制法用明火直接烤竹子来取得竹沥, 此法在《备急千金要方》里有记录^[8]; 干馏法将竹子装入密闭容器中加热, 通过热解反应收集竹沥, 其法记载于《本草纲目》^[9]。

随着现代科技发展, 市场还出现水煮法^[10-11]炮制鲜竹沥, 即以水或醇液浸泡竹粉后加热, 直接取其液体。在鲜竹沥生产逐步扩大化、产业化的趋势下, 为保障其药效与临床有效性, 需对不同炮制工

艺的鲜竹沥成分差异、药效差异进行一系列研究。因此, 本实验基于“成分-药效”, 探索不同炮制工艺对鲜竹沥品质的影响, 采用火制法、干馏法及水煮法 3 种工艺制备鲜竹沥, 并对其炮制的鲜竹沥品质特征进行分析, 并通过烟熏引咳^[12-13]、气管酚红法^[14-15]结合苏木精-伊红 (hematoxylin-eosin, HE) 染色考察比较不同炮制工艺制备的鲜竹沥止咳祛痰效果^[16-17]。

本研究通过系统比较不同炮制工艺对鲜竹沥物质基础及生物活性的影响, 阐明了其炮制工艺的科学内涵与核心机制, 不仅为传统炮制方法的优化与标准化提供了理论支撑, 更为鲜竹沥的临床合理用药、质量控制及产业化生产提供了科学依据与实践指导, 对推动中药炮制学科的现代化发展具有重要意义。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Agilent 7890A/5975C 型气质联用色谱仪, 美国安捷伦科技有限公司; V1.0 型卧式干馏器, 江西赫柏康华制药设备有限公司; J2609 型座式酒精喷灯, 湖北科昌天平仪器有限公司; XSP-153HP 型相衬显微镜, 北京试剂科信科学仪器有限公司; H2050R 型大容量高速台式冷冻离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; KF-WHQ-07 型压缩式雾化器, 可孚医疗科技股份有限公司; EG1150H 型包埋机, 徕卡显微系统(上海)有限公司; UV6000 型紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; BX43F 型显微镜, 日本 Olympus 公司; HI1220 型烤片机、RM2550 型手动石蜡切片机, 上海徕卡仪器有限公司。

1.2 药材与试剂

竹子采自江西省南昌市梅岭地区, 经江西中医药大学杨明教授鉴定为禾本科刚竹属植物毛竹 *P. heterocycla* (Carr.) Mitford cv. *pubescens* 的茎秆。

二氯甲烷(批号 I2111179, 色谱级)、二氯甲烷(色谱级, 批号 I2111179)、苯酚红(批号 P110937)、阿拉丁试剂(上海)有限公司; 对照品糠醛(批号 CHB210222)、糠醇(批号 CHB210223)、5-甲基呋喃醛(批号 CHB210222)、苯酚(批号 CHB201205)、2,3-二氢苯并呋喃(批号 CHB210121)、4-乙基苯酚(批号 CHB210123)、紫丁香醇(批号 CHB201107)、4-甲基愈创木酚(批号 CHB210223)、对乙基愈创木酚(批号 CHB240303), 质量分数 $\geq 98.0\%$, 成都克洛玛生物科技有限公司; 对照品愈创木酚, 批号 9LHI-ZF1K, 质量分数 $\geq 98.0\%$, 中国食品药品检定研究院; 脂多糖(lipopolysaccharide, LPS), 批号 0000287008, 美国 Sigma 公司; 金圣牌过滤嘴香烟, 批号 4031508069937048, 江西中烟工业有限责任公司; 枸橼酸喷托维林片, 批号 20112212, 国药集团容生制药有限公司; 生理盐水, 批号 2104260726, 辰欣药业股份有限公司; HE 染液, 批号 20211026, 江苏凯基生物技术股份有限公司; 组织固定液, 批号 MAO192-Aug-19G, 大连美仑生物技术有限公司; 盐酸氨溴索片, 批号 621012016, 山东裕欣药业有限公司; 二甲苯, 批号 190111, 西陇科学股份有限公司。

1.3 动物

SPF 级 KM 小鼠, 雄性, 体质量 16~18 g, 购于湖南斯莱克景达实验动物有限公司, 许可证号

SCXK(湘)2021-0002。所有动物均进行 1 周的适应性饲养, 自由饮水饮食。饲养环境温度控制在 24~25 °C, 湿度保持恒定。所有动物实验均经江西中医药大学动物伦理委员会批准, 批准号 JZLLSC20220004。

2 方法与结果

2.1 不同炮制工艺鲜竹沥的制备

鲜竹沥的制备方法, 参照江西省药品监督管理局发布的《江西省中药饮片炮制规范》执行^[18]。

2.1.1 火制法 将鲜竹秆切成两端去节的竹段, 破片, 洗净, 沥干; 将竹片直接或间接放置火上加热, 收集自然沥出的液体, 滤过, 煮沸, 加适量防腐剂, 即得。

2.1.2 水煮法 将鲜竹秆切成两端去节的竹段, 破片, 洗净, 沥干; 将竹片置于圆底烧瓶, 加适量水浸泡, 回流提取, 收集液体, 滤过, 取滤渣再加水提取, 收集液体并滤过, 合并 2 次提取液, 加适量防腐剂, 即得。

2.1.3 干馏法 将鲜竹秆切成两端去节的竹段, 破片, 洗净, 沥干; 置干馏罐体中, 加热, 收集竹沥液, 滤过, 煮沸, 加适量防腐剂, 即得。

2.2 不同炮制工艺鲜竹沥分析方法的建立

2.2.1 供试品溶液的制备 取鲜竹沥 5 mL, 等体积二氯甲烷萃取 3 次, 静置 20 min, 合并下层液, 过 0.45 μm 微孔滤膜, 即得供试品溶液。

2.2.2 对照品溶液的制备 精密称取糠醛、糠醇、5-甲基呋喃醛、苯酚、2,3-二氢苯并呋喃、愈创木酚、4-乙基苯酚、4-甲基愈创木酚、对乙基愈创木酚以及紫丁香醇对照品适量, 加入二氯甲烷定容, 摇匀, 过 0.45 μm 微孔滤膜, 即得对照品溶液。

2.2.3 方法学考察

(1) 气相条件: Agilent123-1334 DB-624 (30 m $\times$ 320 μm $\times$ 1.8 μm) 毛细管色谱柱; 载气为 He; 体积流量 1.0 mL/min; 进样口温度 280 °C; 分流比 5:1; 进样量为 1.0 μL ; 起始温度为 30 °C。

(2) 质谱条件: 四极杆温度 150 °C; 电离源为标准 EI 源, 离子源温度 230 °C; 电子倍增管电压 2 447.06 V; 质量扫描范围 m/z 为 50~650。

2.2.4 精密度考察 精密移取适量对照品溶液, 参照“2.2.3”项下色谱条件进样分析, 连续测定 6 次, 记录愈创木酚、4-乙基苯酚、4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚、对乙基愈创木酚、2,6-二甲氧基苯酚、二氢丁香酚的峰面积, 各峰面积的 RSD 分别为

0.01%、0.04%、0.10%、0.03%、0.02%、0.02%、0.01%，结果表明该仪器精密度良好。

2.2.5 稳定性考察 取干馏法制备的鲜竹沥样品，按照“2.2.1”项下方法制备供试品溶液，分别于制备后 0、2、4、8、12、24 h 进样分析，参照“2.2.3”项下色谱条件进行测定，各峰面积的 RSD 分别为 0.01%、0.02%、0.06%、0.03%、0.02%、0.01%、0.01%，结果表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.2.6 重复性考察 取 6 份干馏法制备的鲜竹沥样品，按照“2.2.1”项下方法制备供试品溶液，参照“2.2.3”项下色谱条件进样分析，平行测定 6 次，记录愈创木酚、4-乙基苯酚、4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚、对乙基愈创木酚、2,6-二甲氧基苯酚、二氢丁香酚的峰面积，计算其质量分数的 RSD 分别为 0.01%、0.03%、0.07%、0.03%、0.02%、0.01%、0.01%，结果表明该方法具有重复性和可靠性。

2.3 不同炮制工艺鲜竹沥 GC-MS 分析

参照“2.2.1”项下方法制备不同工艺炮制的鲜竹沥样品，再依据“2.2.3”项下方法测定各样品的成分差异。

2.3.1 不同炮制工艺鲜竹沥成分分析 不同工艺鲜

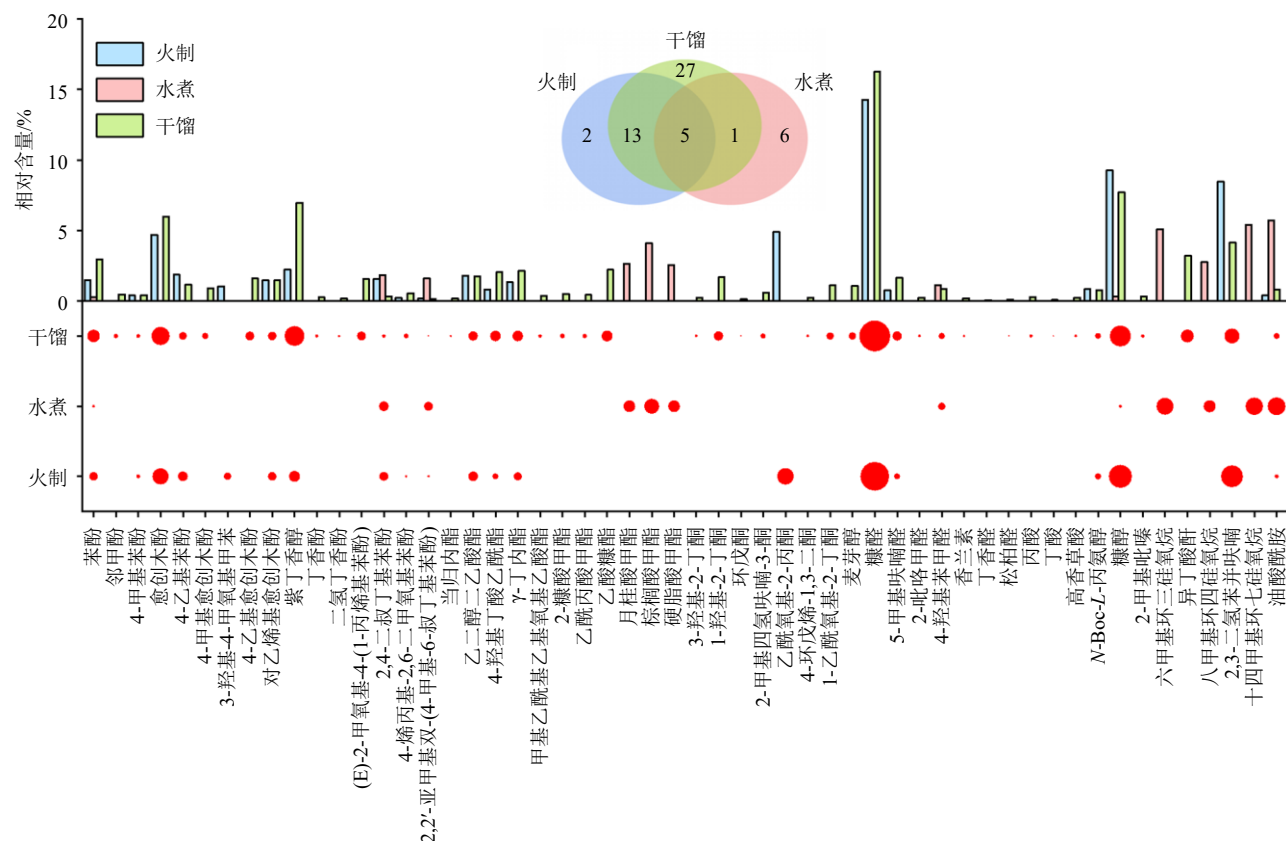
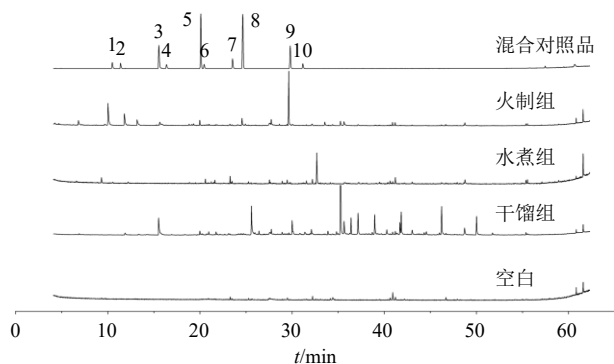


图2 不同工艺鲜竹沥成分分析

Fig. 2 Component analysis diagram of BS under different processing methods

竹沥的总离子流 (total ion chromatogram, TIC) 图如图 1 所示，共扫描得到 147 个成分峰，峰高与数量存在差异；成分组成分析见图 2，结果显示，水煮法与火制法、干馏法差异显著，火制法与干馏法



1-糠醛; 2-糠醇; 3-5-甲基呋喃醛; 4-苯酚; 5-愈创木酚; 6-4-乙基苯酚; 7-4-甲基愈创木酚; 8-2,3-二氢苯并呋喃; 9-对乙基愈创木酚; 10-2,6-二甲氧基苯酚。

1-furfural; 2-furfuryl alcohol; 3-5-methylfurfural; 4-phenol; 5-guaiacol; 6-4-ethylphenol; 7-4-methylguaiacol; 8-2,3-dihydrobenzofuran; 9-4-vinyl guaiacol; 10-2,6-dimethoxyphenol.

图1 不同工艺鲜竹沥的 TIC 图

Fig. 1 TIC diagram of Bambusae Succus (BS) under different processing methods

成分相似但仍有部分差异,可通过成分特征区分工艺;GC-MS 共鉴定出 54 种成分,包括酚类、酯类、酮类等,其中火制法、水煮法和干馏法分别检出 20、12、46 种成分,干馏法与火制法中酚类和醛类含量较高,水煮法以酯类为主。

2.3.2 不同炮制工艺鲜竹沥主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和正交偏最小二乘-判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA)

(1) 特征性成分筛选: 将处理后的 GC-MS 数据, 导入 SIMCA 13.0 软件进行 PCA 和 OPLS-DA。结果见表 1, 显示 PCA 提取 2 个特征值 >1 的主成分, 累积方差贡献率达 82%, 得分图见图 3-A, 相同工艺样品聚为一类, 不同工艺沿第 1 主成分分离, 表明模型区分度良好, 能有效反映不同工艺鲜竹沥的主要特征, 且组内稳定性高、组间差异显著。

表 1 不同工艺鲜竹沥 PCA 特征值及方差贡献率

Table 1 Characteristic values and variance contribution rates of PCA of BS in different processing methods

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	14.300	59.50	59.50
2	5.390	22.50	82.00
3	0.974	4.06	86.06

OPLS-DA 模型参数为 R_X^2 为 0.82, R_Y^2 为 1.00, Q^2 为 0.99, 结果见图 3-B, 说明 82% 的变量变化可解释 100% 的组间差异, 模型平均预测能力达 99% ($Q^2 > 50\%$), 稳定性及预测性能优异。对水煮、火制、干馏 3 种工艺制备的鲜竹沥进行组间 OPLS-DA, 结果见表 2 和图 4。结果显示所有模型 Q^2 趋近于 1, 具有显著统计学意义, 相同工艺鲜竹沥样品聚为一类, 不同工艺在第 1 主成分轴上明显分离, 表明 3 种工艺制备的鲜竹沥存在显著组间差异。

为验证 OPLS-DA 模型的拟合可靠性与重现性, 采用 OPLS-DA 交叉置换检验 (200 次), 以 R^2 和 Q^2 回归线与 Y 轴的截距值评估模型拟合程度, 并以 Q^2 截距为负值作为模型未过拟合的评判标准。对不同工艺鲜竹沥样品进行分析, 表 2 结果显示 Q^2 截距均小于 0, 证明原始模型具有统计学意义, 结果如图 5 所示。采用 OPLS-DA 模型的 S-plot 荷载分析识别协方差与相关性均较高的差异变量, 结合变量重要性投影 (variable importance projection, VIP) 分析 ($VIP > 1$)、 t 检验 ($P < 0.05$) 及原始数据的成分有无与含量高低排列分析, 筛选组间特征

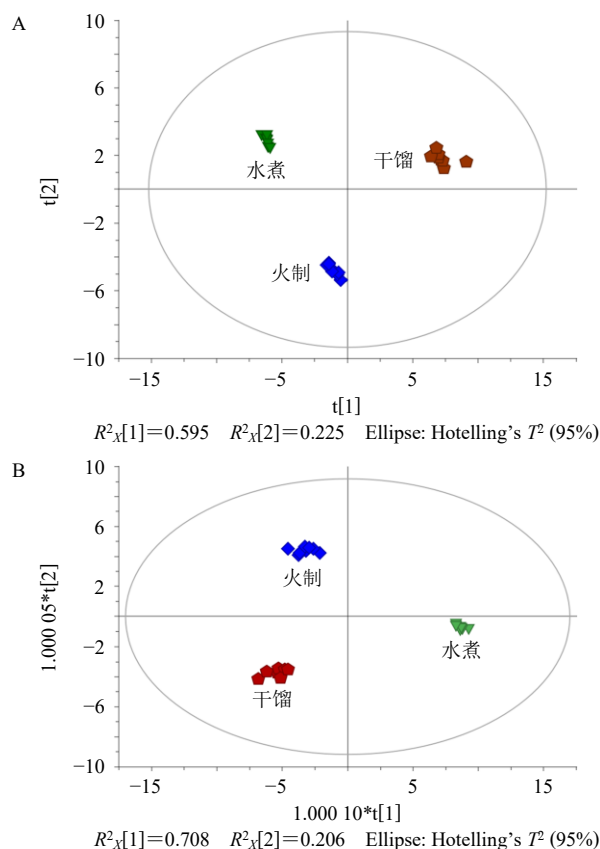


图 3 不同工艺鲜竹沥特征性成分筛选的 PCA 图 (A) 和 OPLS-DA 图 (B)

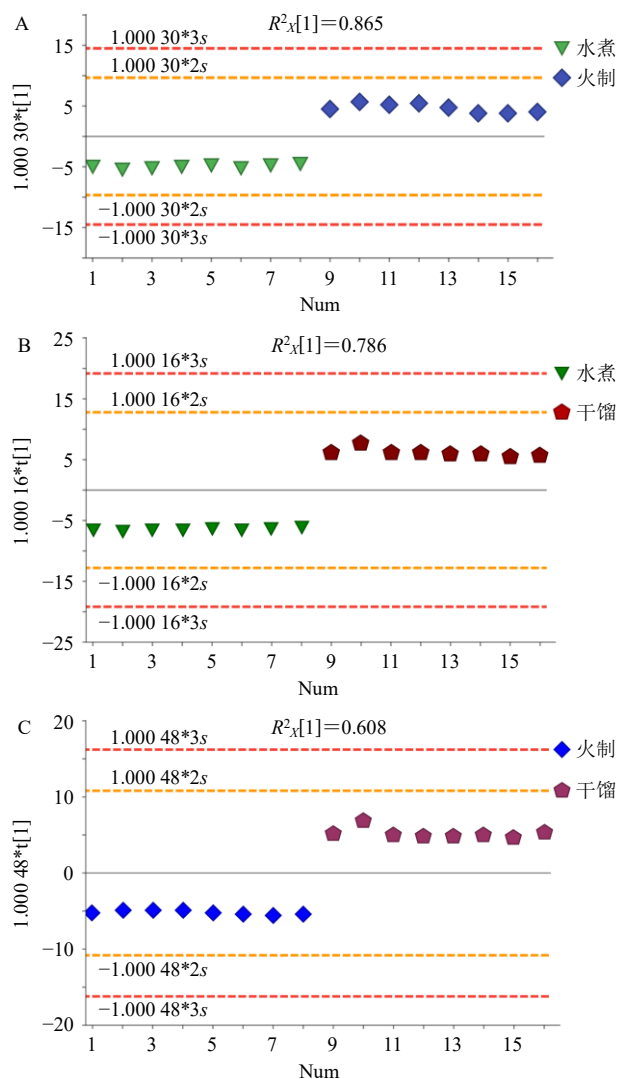
Fig. 3 PCA plot (A) and OPLS-DA plot (B) for screening of characteristic components in BS from different processing methods

表 2 不同工艺鲜竹沥多元统计分析数据置换

Table 2 Multivariate statistical analysis data replacement of BS in different processing methods

模型	参数	3 种工艺 比较	水煮 vs 火制	水煮 vs 干馏	火制 vs 干馏
OPLS-DA	$R_X^2_{cum}$	0.820	0.865	0.786	0.608
	$R_Y^2_{cum}$	1.000	1.000	1.000	1.000
	Q^2_{cum}	0.990	0.986	0.992	0.986
	R^2_{cum}	0.010 2	0.349	0.001 55	0.186
200 次置换检验 Q^2_{cum}		-0.319	-0.105	-0.246	-0.233

差异成分, 结果如图 6 所示, 水煮法与火制法中 5 种成分具有统计学意义, 进一步筛选出愈创木酚、糠醛、2,3-二氢苯并呋喃、油酸酰胺为特征差异成分; 火制法与干馏法中 14 种成分具有统计学意义, 确定 4-乙基愈创木酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、乙酸糠酯、1-羟基-2-丁酮、1-乙酰氧基-2-丁酮、麦芽醇、异丁酸酐为特征差异成分; 而水煮法与干馏法中 11 种成分具有统计学意义, 筛选出愈创木酚、



A-水煮组 vs 火制组; B-水煮组 vs 干馏组; C-火制组 vs 干馏组。
A-boiling water treatment group vs fire treatment group; B-boiling water treatment group vs dry distillation group; C-fire treatment group vs dry distillation group.

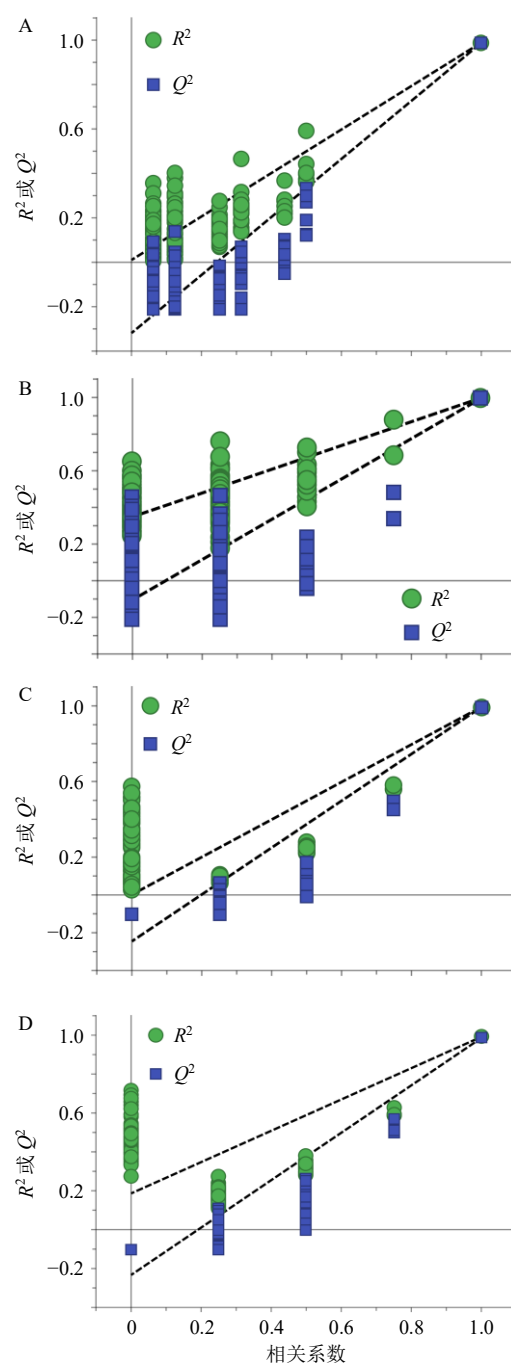
图4 不同工艺鲜竹沥组间分析

Fig. 4 Inter-group analysis of BS from different processing methods

紫丁香醇、4-羟基丁酸乙酰酯、 γ -丁内酯、乙酸糠酯、糠醛、异丁酸酐、2,3-二氢苯并呋喃、油酸酰胺为特征差异成分。

以止咳祛痰为核心药理目标,本研究对3种工艺筛选的成分进行系统性特征分析,并结合各成分药理活性特征,最终确定13种差异显著的特征性成分,具体包括邻甲酚、4-甲基愈创木酚、丁香酚、二氢丁香酚、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)、香兰素、松柏醛、3-羟基-4-甲氧基甲苯、4-乙基愈创木酚、麦芽醇、油酸酰胺、丁香醛、2-吡咯甲醛。

(2)特征性成分聚类热图分析:利用 Omicshare



A-火制组 vs 水煮组 vs 干馏组; B-水煮组 vs 火烤组; C-水煮组 vs 干馏组; D-火烤组 vs 干馏组。

A-fire treatment group vs boiling water treatment group vs dry distillation group; B-boiling water treatment group vs fire treatment group; C-boiling water treatment group vs dry distillation group; D-fire treatment group vs dry distillation group.

图5 不同工艺鲜竹沥200次置换认证结果

Fig. 5 Certification results of 200 replacement cycles of BS with different processing methods

平台的聚类热图分析工具,基于差异成分鉴定结果,从成分和工艺2个维度对不同工艺制备的鲜竹沥样品进行可视化分析。结果如图7所示,热图中,横

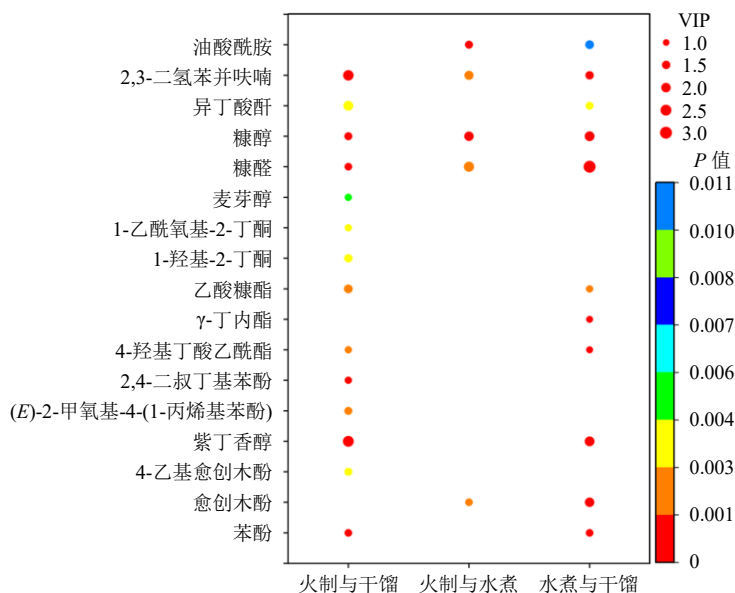


图 6 不同工艺鲜竹沥特征性成分分析

Fig. 6 Analysis of characteristic components in BS from different processing methods

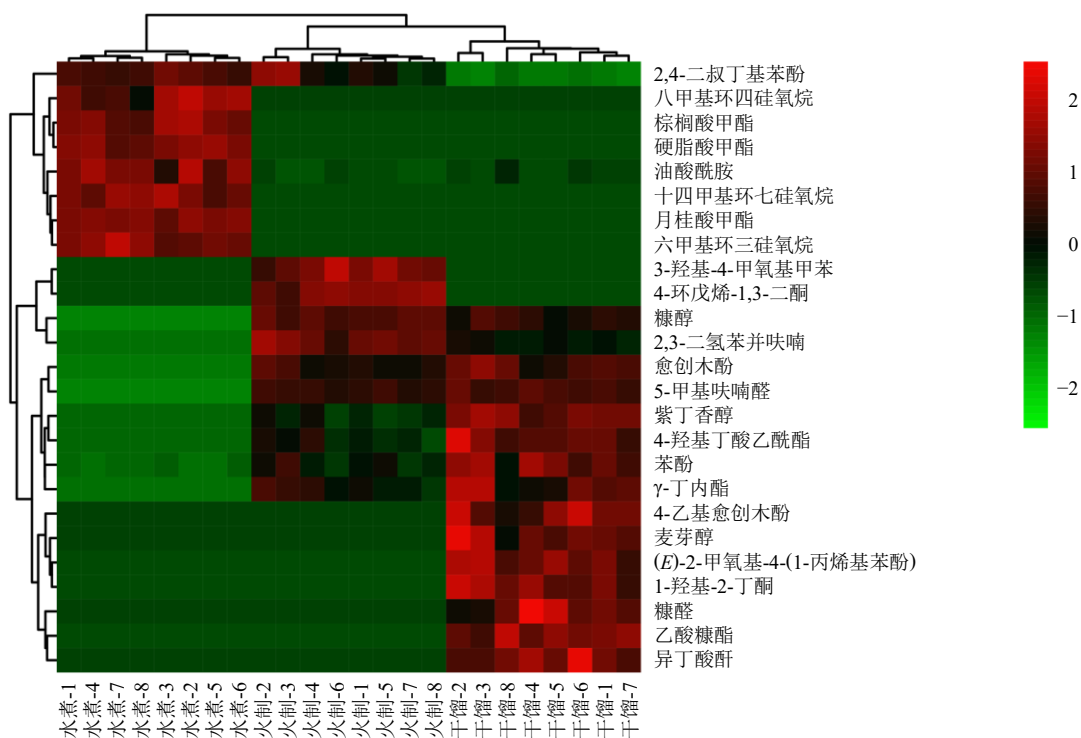


图 7 不同工艺鲜竹沥特征成分聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of characteristic components in BS from different processing methods

坐标为不同工艺的鲜竹沥样品，纵坐标为差异性成分，红色代表成分显著上调，绿色代表显著下调。聚类结果显示，差异性成分可有效区分不同工艺的鲜竹沥样品，火制法和干馏法样品聚为一类，再与水煮法样品聚类，表明前两者的成分种类与含量具有较高相似性，而与水煮法存在显著差异，这与 PCA 结果一致。

2.4 不同工艺炮制前后竹材外观及显微特征图像比较

2.4.1 不同工艺炮制前后竹材外观比较 在相同自然光条件下采用数码摄影技术，对同一批次不同方法炮制后的竹子样品进行拍摄，对比其外观、色泽及品质变化。由图 8-A 可知，与炮制前相比，火制后竹子整体炭化开裂、颜色加深，具炭烤味；水煮

后竹子的外观颜色略暗，形状无明显变化；干馏后竹子颜色加深、质量减轻，具焦香味。

2.4.2 不同工艺炮制前后竹细胞显微比较 精密称取水合氯醛 10 g，加水 15 mL、甘油 10 mL，混匀，制得透化剂^[19-20]；另精密量取甘油 33 mL，与水 10 mL 配制成稀甘油溶液，将不同工艺炮制的毛竹粉末，在室温下浸泡于透化剂中 5 h 后，取薄片平铺

于载玻片上，滴加稀甘油防析晶，加盖盖玻片后显微观察。结果如图 8-B 和表 3 所示，与新鲜竹细胞相比，火制与干馏后的细胞颜色加深、皱缩且少数破裂；水煮后各组织细胞形态完整、体积饱满。结合显微观察结果推测，水煮法制成的鲜竹沥与火制法、干馏法存在显著化学组成差异，核心原因在于温度阈值对木脂素转化的影响。

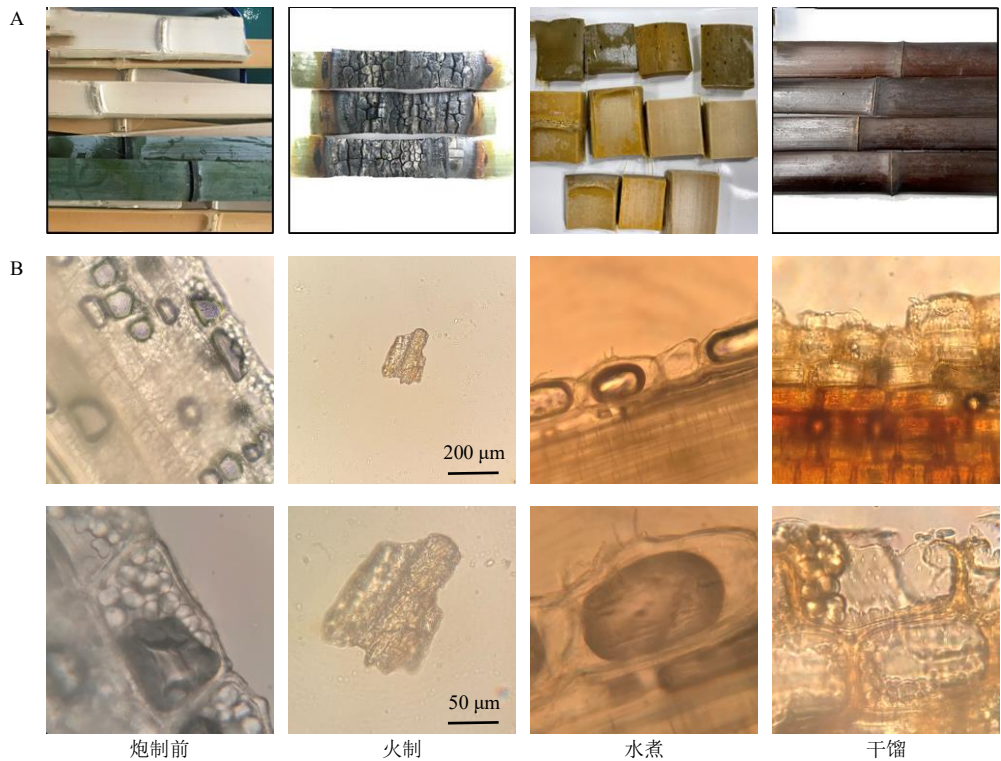


图 8 不同工艺鲜竹沥炮制前后外观 (A) 及显微特征 (B)

Fig. 8 Appearance (A) and microscopic characteristics (B) of BS before and after processing by different techniques

表 3 不同工艺鲜竹沥前后外观及显微特征比较

Table 3 Comparative analysis of appearance and microscopic characteristics of BS before and after processing using different techniques

工艺	外观	显微
新鲜	表皮绿色且光滑，内表皮淡黄色	薄壁细胞透明且饱满
火制	表皮颜色为黑色，且有凹凸裂痕	薄壁细胞颜色加深，呈棕褐色，少数细胞破裂
水煮	颜色较新鲜的暗沉，形态基本无变化	薄壁细胞颜色暗沉，基本维持原来的形态
干馏	竹块整体颜色加深，质量减轻	细胞皱缩且颜色加深，呈深棕色，少数细胞破裂

传统火制法与干馏法直接加热竹子，可达到 200~300 ℃ 高温，此温度下竹纤维组织中的大量木脂素发生热解，生成愈创木酚、紫丁香醇、对羟基苯甲酸等小分子芳香族化合物，同时木脂素微观表面结构改变导致细胞壁坍塌^[21]，细胞破裂促进细胞质成分溶出；而水煮法通过溶剂传热，常压下加热温度仅能维持在 100 ℃ 左右，远低于木脂素热解所需的 160 ℃ 阈值，因此无法生成愈创木酚等酚酸

类成分，提示水煮法在物质成分转变中难以完全替代传统火制法。

2.5 COPD 模型构建及止咳、祛痰药效学评价

2.5.1 COPD 模型构建与评价 采用香烟烟熏 (CS) 联合 LPS 滴鼻法构建小鼠 COPD 模型。造模第 1、30、60 天，小鼠禁食 12 h 并称定质量后垂直固定，缓慢滴注 200 μL 1 mg/mL LPS 溶液，保持垂直体位 10 s 确保吸入，术后观察状态；第 2~29、

31~59 天将小鼠置于自制烟熏箱,每日予 1 支香烟烟熏处理,期间检测咳嗽、呼吸急促等呼吸道症状及生理行为指标;造模第 59 天各组随机取小鼠,禁食 12 h 后麻醉取材,取右肺下叶进行病理学检查,结合小鼠一般状态及肺组织病理结果综合评价模型构建情况。

2.5.2 止咳效果的分组给药与指标检测 造模成功后选取小鼠随机分为模型组、阳性药组、火制组、水煮组、干馏组,另取正常小鼠作为对照组,每组 8 只,于造模完成第 4 天开始 ig 给药,连续 7 d。对照组、模型组给予等体积生理盐水;阳性药组给予枸橼酸喷托维林 15.2 mg/(kg·d) [以市售枸橼酸喷托维林片临床成人每日口服剂量为 1.67 mg/(kg·d),换算成小鼠等效 ig 剂量为 15.2 mg/(kg·d)];火制组和水煮组、干馏组均灌服鲜竹沥 36.4 mL/(kg·d) [以市售鲜竹沥口服液临床成人每日口服剂量为 60 mL/(kg·d)计算,等效于临床剂量的 4.0 倍,即 36.4 mL/(kg·d)],末次给药后以 2%戊巴比妥钠溶液麻醉

小鼠,取右肺中叶组织经固定、脱水、透明、石蜡包埋制成 4 μm 切片,HE 染色并以中性树胶封片,光镜下观察肺组织病理变化。

2.5.3 不同工艺炮制的鲜竹沥镇咳效果比较

(1) 不同工艺制备的鲜竹沥止咳活性:结果如表 4 所示,与模型组相比,各鲜竹沥工艺组及阳性对照组均能显著抑制小鼠咳嗽次数 ($P<0.01$ 、 0.001);其中干馏法制备的鲜竹沥可显著延长咳嗽潜伏期 ($P<0.05$),提示其镇咳效果优于火制法与水煮法。

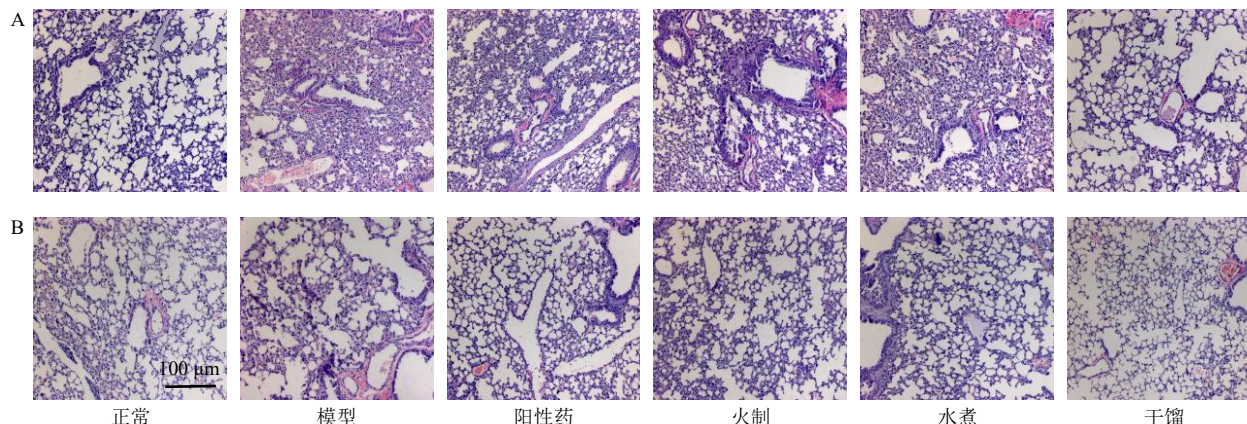
(2) 肺组织的 HE 染色情况比较:肺组织的 HE 染色结果如图 9-A 所示,对照组小鼠肺组织结构完整,支气管黏膜上皮完整,肺泡壁无增厚及充血情况,未见炎性细胞浸润。与对照组相比,模型组小鼠肺组织气道明显增厚,炎性细胞大量浸润,肺泡壁增厚且破裂;与模型组相比,各炮制组小鼠气道壁变薄,炎性细胞减少,肺泡壁变薄,干馏组小鼠的肺组织病理情况较其他组别更接近对照组。

表 4 不同工艺鲜竹沥对小鼠咳嗽的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 8$)

Table 4 Effects of BS from different processing methods on cough in mice ($\bar{x} \pm s, n = 8$)

组别	剂量	给药前		给药后	
		潜伏期/s	3 min 咳嗽次数	潜伏期/s	3 min 咳嗽次数
对照	—	—	—	—	—
模型	—	27.20±15.64	143.50±97.32	13.50±3.84 ^{##}	22.30±13.45 ^{##}
阳性药	15.2 mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	35.30±19.60	145.50±88.32	70.40±54.99 ^{**##}	2.60±3.62 ^{**##}
火制	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	31.90±27.99	157.30±75.03	32.20±7.52	6.60±6.84 ^{**##}
水煮	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	29.20±16.20	133.20±86.08	19.00±4.17 [#]	4.60±2.42 ^{**##}
干馏	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	28.40±12.80	140.50±86.65	61.80±16.57 ^{*##}	4.20±2.84 ^{***##}

与模型组比较: * $P<0.05$ ** $P<0.01$ *** $P<0.001$; 与给药前比较: # $P<0.05$ ## $P<0.01$ 。
* $P<0.05$ ** $P<0.01$ *** $P<0.001$ vs model group; # $P<0.05$ ## $P<0.01$ vs before administration.



A-止咳实验; B-祛痰实验。

A-antitussive experiment; B-expectorant experiment

图 9 不同炮制工艺鲜竹沥下的小鼠肺组织 HE 染色图 (×200)

Fig. 9 HE staining images of mouse lung tissues under different processing methods of BS (×200)

2.5.4 不同工艺炮制的鲜竹沥祛痰效果比较

(1) 酚红标准曲线的建立：精密称取酚红 0.5 mg，加 5%碳酸氢钠溶液并配制成 5 $\mu\text{g/mL}$ 的母液，经梯度稀释获得系列质量浓度溶液，以 5%碳酸氢钠溶液作为空白对照。于 546 nm 波长处测定吸光度 (A) 值。以酚红质量浓度为横坐标 (X)、 A 值为纵坐标 (Y)，绘制标准曲线，进行线性回归，得回归方程为 $Y=0.112\ 1\ X+0.008\ 161$ ， $R^2=0.999\ 9$ ，结果表明酚红在 0.30~9.88 $\mu\text{g/mL}$ 与 A 值线性关系良好。

(2) 分组给药与祛痰指标检测：造模成功后，将小鼠分为模型组、阳性药组、火制组、水煮组、干馏组，另取正常小鼠作为对照组，每组 8 只，于造模完成第 4 天开始 ig 给药，连续 7 d。对照组、模型组给予等体积生理盐水；阳性药给予盐酸氨溴索 27.3 mg/(kg·d) [以市售盐酸氨溴索片临床成人每日口服剂量 3 mg/(kg·d) 为依据，换算成等效 ig 剂量 27.3 mg/(kg·d)]；火制组、水煮组、干馏组均灌服鲜竹沥 36.4 mL/(kg·d) [以临床鲜竹沥口服液每日成人口服剂量为 60 mL/(kg·d) 计算，等效于临床剂量的 4.0 倍，即 36.4 mL/(kg·d)]；末次给药后，小鼠 ip 5% 酚红溶液，0.5 h 后以 2% 戊巴比妥钠溶液麻醉，剥离气管周围组织并沿甲状软骨剪下等长气管段置于离心管，加入生理盐水与 5% 碳酸氢钠溶液，离心后取上清液于 546 nm 波长处测定 A 值，结合标准曲线计算酚红浓度并比较组间排泄量，同时取小鼠右肺中叶组织经固定、脱水、透明、石蜡包埋制成 4 μm 切片，HE 染色并以加拿大树胶封片后光镜下观察肺组织病理变化。

(3) 鲜竹沥对小鼠气管酚红排出量的影响：表 5

表 5 不同工艺鲜竹沥对小鼠酚红排泄量的影响 ($\bar{x} \pm s$, $n=8$)

Table 5 Effects of BS from processing methods on phenol red secretion in mice ($\bar{x} \pm s$, $n=8$)

组别	剂量	A 值	酚红排泄量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
对照	—	0.054 ± 0.005	0.406 ± 0.032
模型	—	$0.032 \pm 0.004^{**}$	$0.213 \pm 0.035^{**}$
阳性药	27.3 mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	$0.165 \pm 0.016^{***\#}$	$1.406 \pm 0.133^{***\#}$
火制	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	$0.093 \pm 0.009^{***\#}$	$0.753 \pm 0.081^{***\#}$
水煮	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	0.059 ± 0.004	0.460 ± 0.035
干馏	36.4 mL·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	$0.140 \pm 0.015^{***\#}$	$1.164 \pm 0.137^{***\#}$

与对照组比较： $^{**}P<0.01$ ；与模型组比较： $^{***}P<0.01$ 。

$^{**}P<0.01$ vs control group; $^{***}P<0.01$ vs model group.

结果显示，与模型组相比，火制组与干馏组鲜竹沥能显著提高小鼠酚红排泄量 ($P<0.01$)，具有祛痰活性；水煮组无显著差异 ($P>0.05$)。

(4) 肺组织的 HE 染色比较：如图 9-B 所示，与对照组相比，干馏组小鼠肺泡壁变薄，肺间质炎性细胞浸润及肺泡壁血管充血显著减轻；水煮组与火制组仍有少量炎性细胞浸润；干馏组和火制组小鼠的肺组织病理情况较其他组别更接近对照组。

3 讨论

研究结果显示，不同工艺制备的鲜竹沥成分存在显著差异，其中水煮法与火制法和干馏法组分差异尤为突出。通过 PCA 和 OPLS-DA 法结合 NIST 数据库进行成分解析，结果表明，干馏法制备的鲜竹沥含有 4-乙基愈创木酚、麦芽醇等 11 种特征成分；火制法制备的鲜竹沥特征成分为 3-羟基-4-甲氧基甲苯，其成分组成与干馏法基本一致，但部分成分含量存在差异；水煮法制备的鲜竹沥特征成分为油酸酰胺。目前难以通过味道、颜色等感官指标准确区分鲜竹沥炮制的不同工艺，通过 PCA 及 OPLS-DA 对鲜竹沥进行品质特征及差异性分析，可用于鉴别不同工艺制备的鲜竹沥。结合 PCA，还可显著提升工艺鉴别的准确性。本研究为鲜竹沥的工艺鉴别提供了科学依据，对进一步开展鲜竹沥质量评价及规范产品炮制生产过程具有一定指导意义。

本研究中不同炮制工艺获得的鲜竹沥止咳祛痰药效也存在明显差异，整体来看干馏法制备的鲜竹沥镇咳、祛痰效果均优于水煮法与火制法，这与不同工艺下成分组成及含量的差异直接相关。干馏法在高温处理过程中，竹材组织发生深度热解产生了更多具有止咳祛痰活性的成分，水煮法仅能溶出极性较大的小分子成分，因此活性成分种类及含量有限，药效也相对较弱。

研究报道，鲜竹沥中主要化学成分包括愈创木酚、苯酚、氨基酸等^[22]，且发现具有愈创木酚母核结构如丁香醛等化合物同样具有止咳化痰作用，这些成分通过减少炎症细胞浸润，有效保护了支气管黏膜的结构完整^[23]。实验采用烟熏和 LPS 的方式建立 COPD 模型^[24]分别考察火制法、水煮法与干馏法制备的鲜竹沥对小鼠止咳祛痰效果。结果显示，火制法、水煮法与干馏法制备的鲜竹沥均能显著降低烟熏引起小鼠咳嗽的频率，干馏法鲜竹沥能显著延长小鼠咳嗽潜伏期，提示各组鲜竹沥对烟熏所致的小鼠咳嗽具有较好的止咳效果，但干馏法止咳效果

更优于火制法与水煮法；干馏法和火制法制备的鲜竹沥均能显著增加小鼠气管酚红排泌量($P<0.01$)，促进小鼠排痰。

干馏法制备的鲜竹沥中含有 4-乙基愈创木酚、麦芽醇等特有成分，其抗炎、抗氧化作用已得到实验证实。Zhao 等^[25]研究表明，4-乙基愈创木酚具有天然抗炎活性，可通过激活核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2, Nrf2) /血红素加氧酶-1 (hemoglobin oxygenase-1, HO-1) 信号通路以及调控核因子- κ B (nuclear factor- κ B, NF- κ B) /下游核因子 κ B 抑制因子 α (nuclear factor κ B inhibitor α , I κ B α) /激活蛋白-1 (activator protein-1, AP-1) 信号通路，显著改善 LPS 诱导的 THP-1 细胞炎症反应。Ahn 等^[26]证实，麦芽醇具有抗炎活性，可通过抑制活性氧产生及半胱天冬酶 1 (cysteine-aspartic protease 1) 活性，特异性抑制核苷酸结合寡聚化结构域样受体蛋白 3 (nucleotide-binding oligomerization domain-like receptor protein 3, NLRP3) 与非典型的炎症小体激活，显著减弱炎症性体介导的白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β) 分泌及相关炎症反应。

综合上述分析结果可见，干馏工艺赋予鲜竹沥的特征性成分，可依托抗炎-抗氧化核心通路，靶向改善呼吸道炎症微环境与黏液清除功能，进而发挥止咳祛痰效应。

实验观察发现，不同炮制工艺对鲜竹沥药效的影响不仅局限于止咳祛痰，还可能涉及其他药理作用。例如，干馏法制备的鲜竹沥中特有成分如 4-乙基愈创木酚和麦芽醇等，除了具有抗炎、抗氧化作用外，还可能对免疫系统、神经系统等产生调节作用。结合本研究成分与药效的关联结果，干馏工艺更有利于鲜竹沥止咳祛痰活性成分的保留与转化，未来研究可进一步拓展鲜竹沥的药理作用范围，探索其在更多疾病治疗中的应用潜力。同时，对于鲜竹沥中尚未明确的微量金属元素、多种氨基酸及复杂多糖等成分，也需要采用更先进的分析技术进行深入探究，以全面揭示其物质基础和药效机制。此外，本研究虽然验证了火制组与干馏组鲜竹沥的祛痰活性，但不同工艺之间的药效差异仍需进一步量化分析，以便为临床用药提供更精确的指导。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 郑云霞, 徐春芝, 王小鹤. 鲜竹沥的化学成分及药理研

究进展 [J]. 中国民间疗法, 2023, 31(13): 118-120.

[2] 徐诗军, 万娜, 伍振峰, 等. 鲜竹沥的本草考证与现代研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(4): 196-204.

[3] 张雨恬, 伍振峰, 黄艺, 等. 基于网络药理学与分子对接技术的鲜竹沥治疗“咳、喘、痰”机制及其质量标志物预测分析 [J]. 中草药, 2021, 52(24): 7538-7549.

[4] 王鑫, 曲建启. 鲜竹沥化学成分与药理作用研究进展及其质量标志物预测分析 [J]. 医药前沿, 2024, 14(29): 31-34.

[5] 张津男, 刘玉英. 定喘汤联合复方鲜竹沥液加減治疗慢阻肺急性加重期痰热壅肺证的效果 [J]. 内蒙古中医药, 2025, 44(1): 39-41.

[6] 危佳敏, 王蒙, 刘宗林, 等. 鲜竹沥治疗慢性阻塞性肺疾病急性加重期痰热壅肺证临床研究 [J]. 医师在线, 2025, 15(7): 91-95.

[7] 李文喆, 吴茜, 董雪峰, 等. 呼吸科门诊清热止咳平喘类中成药用药分析 [J]. 中国医药导报, 2021, 18(20): 124-127.

[8] 孙思邈. 备急千金要方 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2010: 144-145.

[9] 李时珍. 本草纲目 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2014: 982-985.

[10] 熊艳, 吴学文, 蒋孟良. 淡竹沥四种不同制备工艺的比较研究 [J]. 中成药, 2006, 28(12): 1825-1826.

[11] 肖小武, 刘静佳, 洪挺, 等. 鲜竹沥气相色谱特征图谱建立及不同炮制方法质量评价 [J]. 中国药业, 2023, 32(5): 92-96.

[12] Li X, Xu H, Liu K, *et al.* LXA4 alleviates inflammation and ferroptosis in cigarette smoke induced chronic obstructive pulmonary disease via the ALX/FPR2 receptor [J]. *Int Immunopharmacol*, 2025, 151: 114322.

[13] Chen Z J, Shi Q, Liu X X, *et al.* Codonopsis Radix inhibits the inflammatory response and oxidative stress in chronic obstructive pulmonary disease mice through regulation of the Nrf2/NF- κ B signaling pathway [J]. *Pharmacology*, 2024, 109(5): 266-281.

[14] 李婷, 颜宏, 龚吕东, 等. 香薷喷雾剂对小鼠上呼吸道感染防治作用研究 [J]. 中国新药杂志, 2025, 34(4): 407-413.

[15] 宋敏, 刁婷婷, 齐琪琪, 等. 不同产地法半夏化学核苷类成分及其对寒饮蕴肺模型小鼠的作用研究 [J]. 世界中医药, 2024, 19(21): 3260-3267.

[16] 谢静, 穆中林, 温远珍, 等. 不同炮制工艺鲜竹沥多糖的化学特征及体外抗氧化活性比较 [J]. 中国现代中药, 2023, 25(12): 2540-2548.

[17] 肖小武, 周志强, 易路遥, 等. GC-MS 法分析不同基原、炮制方法制备的鲜竹沥中成分 [J]. 中药材, 2021,

- 44(11): 2624-2629.
- [18] 江西省中药饮片炮制规范 [S]. 2023: 351.
- [19] 冯龙, 孙存举, 毕文思, 等. 毛竹薄壁细胞组分分布及取向显微成像研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(9): 2957-2961.
- [20] 李红晨, 何盛, 张仲凤, 等. 竹材显微构造与孔隙结构研究进展 [J]. 竹子学报, 2019, 38(3): 52-58.
- [21] Li J, Bai X W, Fang Y, *et al.* Comprehensive mechanism of initial stage for lignin pyrolysis [J]. *Combust Flame*, 2020, 215: 1-9.
- [22] 肖小武, 林凯鹏, 周志强, 等. GC 法同时测定鲜竹沥中 10 种成分 [J]. 中成药, 2022, 44(5): 1506-1509.
- [23] 肖小武, 刘静佳, 周志强, 等. GC-MS 同时测定复方鲜竹沥液中 8 个酚类有效成分 [J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(6): 788-793.
- [24] Li W J, Li Y Y, Wang Q, *et al.* Therapeutic effect of phycocyanin on chronic obstructive pulmonary disease in mice [J]. *J Adv Res*, 2024, 66: 285-301.
- [25] Zhao D R, Jiang Y S, Sun J Y, *et al.* Amelioration of 4-methylguaiacol on LPS-induced inflammation in THP-1 cells through NF- κ B/I κ B α /AP-1 and Nrf2/HO-1 signaling pathway [J]. *J Funct Foods*, 2019, 55: 95-103.
- [26] Ahn H, Lee G, Han B C, *et al.* Maltol, a natural flavor enhancer, inhibits NLRP3 and non-canonical inflammasome activation [J]. *Antioxidants*, 2022, 11(10): 1923.

[责任编辑 郑礼胜]

• 封面图片介绍 •

菊三七花



菊三七为菊科菊三七属植物菊三七 *Gynura japonica* (Thunb.) Juel. 的根或全草, 别名土三七、水三七、紫背三七、血当归、破血丹。甘、微苦, 温。散瘀止血, 解毒消肿。用于吐血、衄血、尿血、便血、功能性子宫出血、产后瘀血腹痛、大骨节病; 外用治跌打损伤、痈疮疮疡、蛇咬伤、外伤出血。

菊三七为多年生草本, 高 60~150 cm。根粗大成块状, 直径 3~4 cm, 有多数纤维状根茎直立, 中空, 基部木质, 直径达 15 mm, 有明显的沟棱, 幼时被卷柔毛, 后变无毛, 多分枝, 小枝斜升。基部叶在花期常枯萎。基部和下部叶较小, 椭圆形, 不分裂至大头羽状, 顶裂片大, 中部叶大, 具长或短柄, 叶柄基部有圆形, 具齿或羽状裂的叶耳, 多少抱茎; 叶片椭圆形或长圆状椭圆形, 长 10~30 cm, 宽 8~15 cm, 羽状深裂, 顶裂片大, 倒卵形, 长圆形至长圆状披针形。头状花序多数, 直径 1.5~1.8 cm, 花茎枝端排成伞房状圆锥花序; 每一花序枝有 3~8 个头状花序; 花序梗细, 长 1~3 (6) cm, 被短柔毛, 有 1~3 线形的苞片; 总苞狭钟状或钟状, 长 10~15 mm, 宽 8~15 mm, 基部有 9~11 线形小苞片; 总苞片 1 层, 13 个, 线状披针形, 长 10~15 mm, 宽 1~1.5 mm, 顶端渐尖, 边缘干膜质, 背面无毛或被疏毛。花果期 8~10 月。

(本封面图片由袁井泉提供)