

[科研报道]

基于 GC-MS 指纹图谱结合保留指数法评价不同产地 PK 型紫苏叶质量

陈 玲¹, 宋 煜^{1#}, 谭亚杰¹, 高子茵¹, 吴蓉蓉¹, 栾亚军², 谭宁华^{1*}
(1. 中国药科大学中药学院, 江苏 南京 211198; 2. 扬子江药业集团北京海燕药业有限公司, 北京 102206)

摘要: **目的** 评价不同产地 PK 型紫苏叶质量。**方法** 建立药材挥发油 GC-MS 指纹图谱, 结合聚类分析、主成分分析、正交偏最小二乘判别分析考察产地差异, 保留指数法鉴定成分, 峰面积归一化法计算相对含量。**结果** 20 批样品指纹图谱相似度均大于 0.977, 河北产者差异明显, 紫苏酮和异白苏烯酮是质量差异标志物。共鉴定出 44 种挥发性成分, 以单萜类和倍半萜类为主。**结论** 该方法稳定可靠, 可系统评价不同产地 PK 型紫苏叶质量, 从而为该药材选用和质量控制提供参考。

关键词: 紫苏叶; PK 型; 产地; 质量评价; 挥发油; GC-MS 指纹图谱; 保留指数

中图分类号: R283 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2025)10-3380-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.10.030

苏黄止咳胶囊为国医大师晁恩祥教授根据临床四十多年治疗肺系疾病总结的经验方, 由麻黄、紫苏叶、五味子、蝉蜕、地龙、蜜炙枇杷叶、炒紫苏子、前胡、炒牛蒡子 9 味中药组成^[1]。课题组前期采用 LC-MS、GC-MS 法对苏黄止咳胶囊中非挥发性、挥发性成分进行定性分析和药材溯源^[2-4], 发现后者主要来源于君药紫苏叶。

紫苏叶为唇形科植物紫苏 *Perilla frutescens* (L.) Britt. 的干燥叶^[5], 临床上常用于治疗风寒感冒、咳嗽呕恶、妊娠呕吐、鱼蟹中毒等症, 富含挥发油、黄酮、酚酸、脂肪酸、三萜、植物甾醇等成分, 其中挥发油是其主要活性物质和特异性香气来源, 而且在止咳方面具有明确活性^[6-7]。紫苏叶分布广泛, 根据其主要成分的种类、含量差异可分为 PA 型 (主要含有紫苏醛和柠檬烯)、PK 型 (主要含有紫苏酮)、PL 型 (主要含有紫苏烯)、PP 型 (主要含有芳香类成分)、EK 型 (主要含有香薷酮) 等^[8], 其中 PA 型和 PK 型是主流, 并且后者占比更多^[9]。

2020 年版《中国药典》规定, 紫苏叶中挥发油含量不得少于 0.40%^[5], 但尚未要求对特定指标成分进行含量测定。因此, 本实验对不同产地 PK 型紫苏叶挥发油进行 GC-MS 分析, 以期为该药材选用和质量评价提供参考。

1 材料

1.1 仪器 安捷伦 7890-5977B 气相色谱-质谱联用仪 (美国安捷伦公司); ME203E 电子天平 [千分之一, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司]; ZNHW-DLT 多联加热套 (上海安春仪器设备有限公司); 中药粉碎机 (温岭市林大机械有限公司); 挥发油提取器 (安徽科腾实验设备有限

公司)。

1.2 试剂 C7~C40 正构烷烃混标 (四川维克奇生物科技有限公司, 批号 Wkq22082908)。紫苏酮对照品 (上海源叶生物科技有限公司, 批号 N02HT199800); 反式石竹烯对照品 (美国 Sigma 公司, 批号 BCBX3595), 纯度 ≥98%。正己烷 (GC 级, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 无水硫酸钠 (西陇科学股份有限公司); 超纯水由 Milli-Q 纯水仪制备。

1.3 药材 紫苏叶共 20 批 (编号 S1-S20), 采自四川、甘肃、河南、江西、河北, 由扬子江药业集团北京海燕有限公司提供, 经中国药科大学中药学院谭宁华教授鉴定为正品, 保存于中国药科大学中药学院谭宁华教授团队实验室, 具体见表 1。

2 方法与结果

2.1 GC-MS 分析条件

2.1.1 色谱条件 HP-5MS 毛细管柱 (0.25 μm×30 m×0.25 mm); 进样口温度 280 ℃; 载气高纯氮气, 体积流量 1 mL/min; 分流比 20:1; 进样量 1 μL; 程序升温 (初始 80 ℃, 保持 5 min; 以 2 ℃/min 升至 92 ℃, 保持 2 min; 以 2 ℃/min 升至 120 ℃, 保持 15 min; 以 5 ℃/min 升至 200 ℃, 保持 7 min); 溶剂延迟 4 min。

2.1.2 质谱 电子轰击源 (EI); 电子能量 70 eV; 离子源温度 250 ℃; 接口温度 200 ℃; 扫描范围 *m/z* 50~500, 扫描间隔 0.20 s; 进样口温度 250 ℃。

2.2 挥发油提取 采用水蒸气蒸馏法。准确称取药材 50 g, 粉碎, 过 7 号筛, 置于 1 000 mL 圆底烧瓶中, 加入 8 倍

收稿日期: 2025-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82474065)

作者简介: 陈 玲 (1996—), 女, 博士生, 从事中药质量评价研究。E-mail: 17320038793@163.com

#共同第一作者: 宋 煜 (1997—), 女, 硕士生, 从事中药质量评价研究。E-mail: songyu792023@163.com

*通信作者: 谭宁华 (1963—), 女, 博士, 教授, 从事环肽、中药研究。E-mail: nhtan@cpu.edu.cn

表 1 紫苏叶信息

编号	批号	产地	供应商	得油率/%	平均值/%
S1	22010917	四川	河南省一鸣中药材有限公司	0.67	0.65
S2	22010918	四川	河南省一鸣中药材有限公司	0.75	
S3	22010919	四川	河南省一鸣中药材有限公司	0.56	
S4	22010920	四川	河南省一鸣中药材有限公司	0.60	
S5	21120903	甘肃	河南省一鸣中药材有限公司	0.56	
S6	22010905	甘肃	河南省一鸣中药材有限公司	0.60	0.63
S7	22010906	甘肃	河南省一鸣中药材有限公司	0.58	
S8	22010907	甘肃	河南省一鸣中药材有限公司	0.80	
S9	22010908	甘肃	河南省一鸣中药材有限公司	0.60	
S10	22010913	河南	河南省一鸣中药材有限公司	0.75	
S11	22010914	河南	河南省一鸣中药材有限公司	0.60	0.61
S12	22010915	河南	河南省一鸣中药材有限公司	0.45	
S13	22010916	河南	河南省一鸣中药材有限公司	0.63	
S14	22010909	江西	河南省一鸣中药材有限公司	0.65	
S15	22010910	江西	河南省一鸣中药材有限公司	0.78	
S16	22010911	江西	河南省一鸣中药材有限公司	0.70	0.71
S17	22010912	江西	河南省一鸣中药材有限公司	0.70	
S18	21120201	河北	安徽人民医药有限公司	0.50	
S19	22011401	河北	安徽人民医药有限公司	0.60	
S20	22011402	河北	安徽人民医药有限公司	0.70	

量蒸馏水浸泡 1.5 h。按照 2020 年版《中国药典》通则 2204 挥发油测定法甲法提取 2.5 h，当冷凝管中无液体回流时关闭冷凝水，开启提取器下方活塞至油层下降到零刻度，读取体积，将油放出，置于装有无水硫酸钠的离心管中，涡旋，分离油层，计算挥发油得率，公式为得率 = (得油量/净药材量) × 100%，结果见表 1，可知均符合药典标准。

2.3 供试品溶液制备 精密吸取正己烷 980 μL，置于样品瓶中，精密加入 20 μL 挥发油，涡旋 30 s 混匀，过 0.22 μm 微孔滤膜，即得。

2.4 对照品溶液制备 精密吸取正己烷 980 μL，置于样品瓶中，精密加入 C7~C40 正构烷烃混标及紫苏酮、反式石竹烯对照品溶液各 20 μL，涡旋 30 s 混匀，过 0.22 μm 微孔滤膜，即得。

2.5 指纹图谱方法学考察

2.5.1 精密度试验 取挥发油 (S1) 适量，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，在“2.1”项条件下进样测定 6 次，以紫苏酮 (C3) 为参照 (S)，测得各共有峰相对保留时间、相对峰面积 RSD 分别为 0~0.13%、0~4.24%，表明仪器精密度良好。

2.5.2 重复性试验 取挥发油 (S1) 6 份，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，在“2.1”项条件下进样测定，以紫苏酮 (C3) 为参照 (S)，测得各共有峰相对保留时间、相对峰面积 RSD 分别为 0~0.12%、0~3.93%，表明该方法重复性良好。

2.5.3 稳定性试验 取挥发油 (S1) 适量，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，于 0、4、8、12、16、24 h 在“2.1”项条件下进样测定，以紫苏酮 (C3) 为参照 (S)，测得各共有峰相对保留时间、相对峰面积 RSD 分别为 0~0.92%、0~4.43%，表明溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.6 GC-MS 指纹图谱建立

2.6.1 图谱生成 取 20 批药材，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，在“2.1”项条件下进样测定，将色谱数据以 txt 格式导入“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”(2012.130723 版本)，以 S1 为参照，采用中位数法进行匹配，生成对照图谱，见图 1。经对照品比对，确定共有峰 C3 为紫苏酮，C5 为反式石竹烯，见图 2。

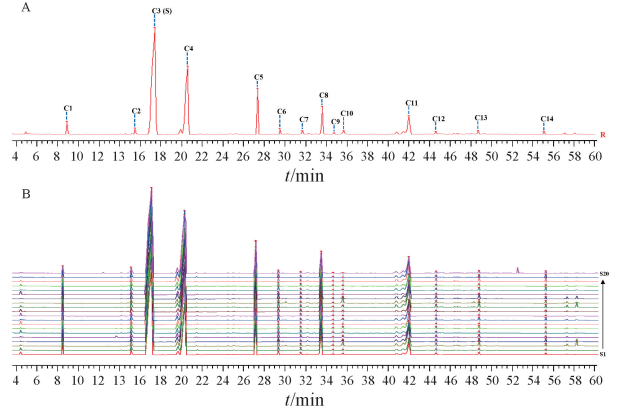
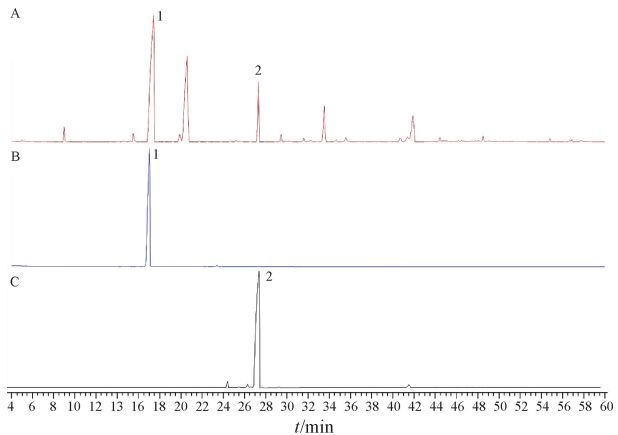


图 1 20 批紫苏叶挥发油对照图谱 (A)、GC-MS 指纹图谱 (B)



1. 紫苏酮 2. 反式石竹烯

图 2 供试品 (A)、紫苏酮对照品 (B)、反式石竹烯对照品 (C) GC-MS 色谱图

2.6.2 相似度分析 如表 2 所示，各批药材挥发油相似度均大于 0.977，表明其成分基本稳定。

表 2 相似度测定结果

编号	批号	相似度	编号	批号	相似度
S1	22010917	1.000	S11	22010914	0.998
S2	22010918	0.993	S12	22010915	0.995
S3	22010919	0.986	S13	22010916	0.999
S4	22010920	0.999	S14	22010909	0.998
S5	21120903	0.999	S15	22010910	0.977
S6	22010905	0.997	S16	22010911	1.000
S7	22010906	0.999	S17	22010912	1.000
S8	22010907	0.990	S18	21120201	0.986
S9	22010908	1.000	S19	22011401	0.994
S10	22010913	0.977	S20	22011402	0.990

2.6.3 聚类分析 (HCA) 以共有峰峰面积为变量, 数据取 log 值, 归一化后采用 Heml 软件进行分析, 结果见图 3A~3B。由此可知, 20 批药材聚为 2 类, 河北产地的 3 批为一类, 其余产地的 17 批为一类。

2.6.4 主成分分析 (PCA) 将共有峰峰面积导入 SIMCA 14.1 软件进行无监督分析, 结果见图 3C。由此可知, 20 批药材可分为 2 类, 除河北产地外其余产地区分不显著,

与聚类分析一致。

2.6.5 正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA) 为更好地比较不同产地药材组间差异, 寻找差异性成分, 进一步对其共有峰峰面积进行有监督分析, 结果见图 3D。由此可知, R^2 (cum) = 0.724, Q^2 (cum) = 0.559, 均大于 0.5, 说明模型预测性良好, 并且除河北产地可聚类外, 其余 4 个产地也能明显区分。

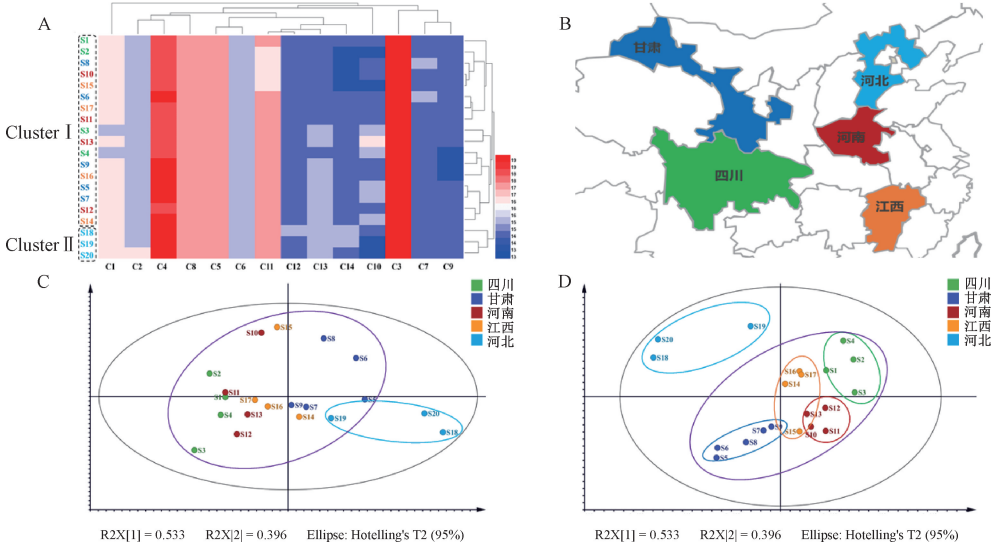


图 3 紫苏叶挥发油聚类热图 (A)、产地分布 (B)、PCA 得分图 (C)、OPLS-DA 得分图 (D)

PCA 分析载荷矩阵图、OPLS-DA 分析 VIP 值图分别见图 4A、4C, 以离矩阵图原点距离最远、VIP 值大于 1 为指标, 筛选出共有峰 C3 (紫苏酮)、C4 (异白苏烯酮) 作为

质量差异标志物。再进行 200 次置换检验, 结果见图 4B, 可知 Q^2 在 Y 轴上的截距小于 1, 表明 OPLS-DA 模型无过度拟合现象。

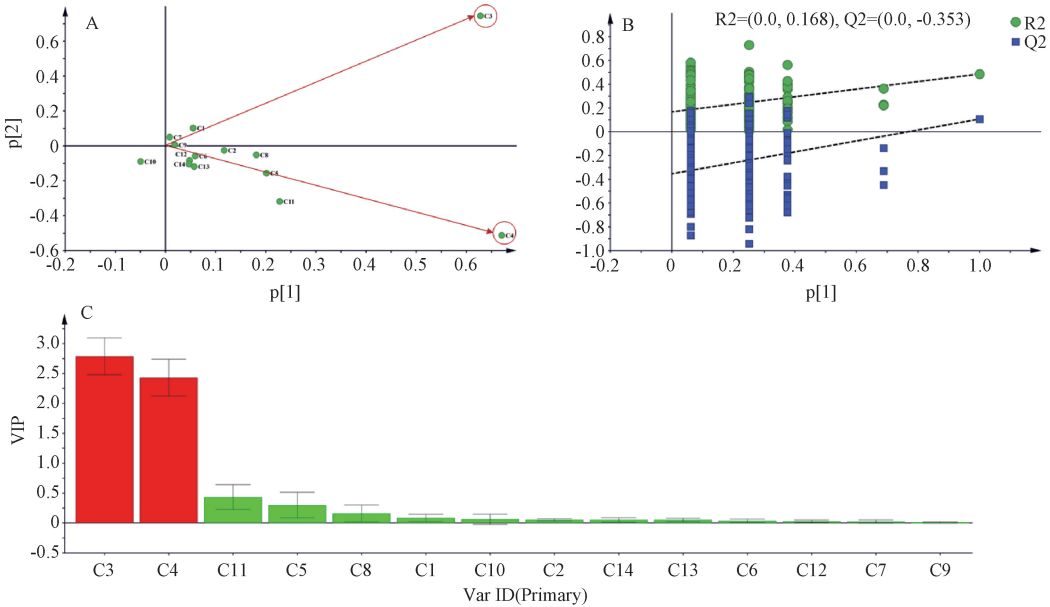


图 4 PCA 分析载荷矩阵图 (A) 及 OPLS-DA 置换检验图 (B)、VIP 值图 (C)

2.7 不同产地药材挥发油成分差异分析 自动质谱退卷积分性系统 (AMDIS) 基于模型峰的算法, 可将形状、保留时间完全相同的碎片峰重新组合, 构建更“纯净”的色谱图, 从而更准确对化合物进行定性分析^[10], 而保留指数法

能更准确鉴别同分异构体或者同系物, 两者相结合可显著降低定性判断失误率, 增加准确率^[11]。本实验将 C7~C40 正构烷烃混标溶液、供试品溶液在“2.1”项条件下进样测定, 总离子流图应用 AMDIS 拆分重叠峰, 再根据 Vanden

Dool 与 Kratz 提出的程序升温公式计算保留指数 $RI^{[10]}$ ，公式为 $RI=100n+\frac{100\left(t_x-t_n\right)}{t_{n+1}-t_n}$ ，其中 t 为保留时间， x 为待分析成分， n 和 $n+1$ 分别是待分析成分前后相邻 2 个正构烷

烃的碳原子数。
然后，通过检索 NIST 17 数据库结合人工解析质谱，共鉴定出 44 种挥发性成分，主要为单萜、倍半萜、芳香族，具体见表 3，可知大部分该类成分具有与止咳相关的活性。

表 3 紫苏叶挥发油中挥发性成分鉴定结果

编号	t_R/min	名称	分子式	相对分子质量	RI 计算值	RI 参考值	类型	止咳机制
1	4.265	苯甲醛	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	106.12	955	966	芳香族	无
2	5.791	<i>p</i> -伞花烃	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	134.22	1 018	1 022	单萜	平喘 ^[12]
3	8.458	芳樟醇	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	154.25	1 095	1 099	单萜	抗炎、抗菌 ^[13]
4	10.011	3,5-二乙基甲苯	$\text{C}_{11}\text{H}_{16}$	148.24	1 128	1 143	芳香族	无
5	10.805	1,2-二氢萘	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}$	130.19	1 143	1 141	芳香族	无
6	12.321	萘	C_{10}H_8	128.17	1 173	1 173	芳香族	无
7	12.771	α -松油醇	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	154.25	1 182	1 183	单萜	抗炎、抗菌、抗病毒 ^[14]
8	13.293	藏红花醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	150.22	1 193	1 197	单萜	抗炎、抗菌、抗病毒 ^[15]
9	13.977	1-(3-呋喃)-4-甲基-2-戊酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2$	166.22	1 205	1 211	芳香族	无
10	16.692	紫苏酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2$	166.22	1 248	1 251	单萜	抗炎、抗菌 ^[13]
11	17.848	紫苏醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	150.22	1 266	1 272	单萜	抗炎、抗菌、抗病毒 ^[16]
12	18.862	2-甲基萘	$\text{C}_{11}\text{H}_{10}$	142.20	1 282	1 289	芳香族	无
13	19.312	白苏烯酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	164.20	1 290	1 297	单萜	抗菌 ^[17]
14	19.806	异白苏烯酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	164.20	1 297	1 304	单萜	抗炎、抗过敏 ^[18]
15	21.205	香叶酸甲酯	$\text{C}_{11}\text{H}_{18}\text{O}_2$	182.26	1 320	1 321	酯	抗菌 ^[19]
16	21.839	γ -榄香烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 330	1 344	倍半萜	抗炎 ^[20]
17	23.220	丁香酚	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	164.20	1 351	1 353	单萜	抗炎、止咳、平喘 ^[21-22]
18	25.249	β -榄香烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 383	1 391	倍半萜	止咳、平喘 ^[23]
19	26.874	β -石竹烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 407	1 419	倍半萜	抗炎、镇咳、祛痰 ^[24]
20	28.973	α -石竹烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 435	1 436	倍半萜	抗炎 ^[22]
21	29.807	反式- β -金合欢烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 446	1 448	倍半萜	抗炎、抗菌 ^[25]
22	31.107	大根香叶烯 D	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 463	1 464	倍半萜	无
23	31.117	β -蒎烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 464	1 459	倍半萜	无
24	31.750	反式- β -紫罗兰酮	$\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}$	192.30	1 472	1 478	单萜	无
25	32.392	双环大根香叶烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.35	1 481	1 495	倍半萜	抗菌 ^[26]
26	34.100	金合欢烯	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	204.36	1 502	1 504	倍半萜	抗菌 ^[27]
27	34.809	夫洛丙酮	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_4$	182.17	1 509	1 519	酮	无
28	35.043	肉豆蔻醚	$\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_3$	192.21	1 511	1 519	苯丙素	抗炎、抗菌 ^[21]
29	40.040	橙花醇	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$	222.37	1 556	1 561	倍半萜	抗菌 ^[26]
30	40.210	橙花醇 2	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$	222.37	1 557	1 564	倍半萜	抗菌 ^[26]
31	40.586	乙酸烯丙酯	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	100.12	1 561	1 568	酯	无
32	40.608	桉油烯醇	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	220.35	1 561	1 568	倍半萜	抗菌、抗病毒 ^[28]
33	41.100	石竹素	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	220.35	1 565	1 581	倍半萜	抗炎、镇痛 ^[29]
34	43.091	α -环氧葎草烯 I	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	220.35	1 583	1 581	倍半萜	抗菌 ^[30]
35	44.031	环氧化蛇麻烯 II	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	220.35	1 592	1 592	倍半萜	抗菌 ^[30]
36	44.280	1,2,3,4-四甲氧基-5-(2-丙烯)-苯	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_4$	238.28	1 593	1 591	芳香族	抗菌 ^[31]
37	46.315	洋芹脑	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$	222.24	1 625	1 620	苯丙素	抗炎、止咳、祛痰 ^[14]
38	49.376	十六甲基环辛硅氧烷	$\text{C}_{16}\text{H}_{48}\text{O}_8\text{Si}_8$	593.23	1 680	1 700	烃	无
39	52.213	菲	$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$	178.23	1 752	1 757	芳香族	无
40	54.874	植酮	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}$	268.48	1 839	1 842	酮	抗菌 ^[32]
41	56.941	棕榈酸甲酯	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	270.45	1 919	1 920	酯	抗炎 ^[33]
42	57.872	庚酸	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	130.19	1 959	1 968	脂肪酸	无
43	58.491	2,8-二甲基癸酸甲酯	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	214.34	1 986	1 993	酯	无
44	59.801	蒹蒹	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}$	202.25	2 036	2 041	芳香族	无

GC-MS 总离子流色谱图见图 5。再采用峰面积归一化法计算相对含量，结果见图 6，可知单萜、倍半萜较高，芳

香族较低。

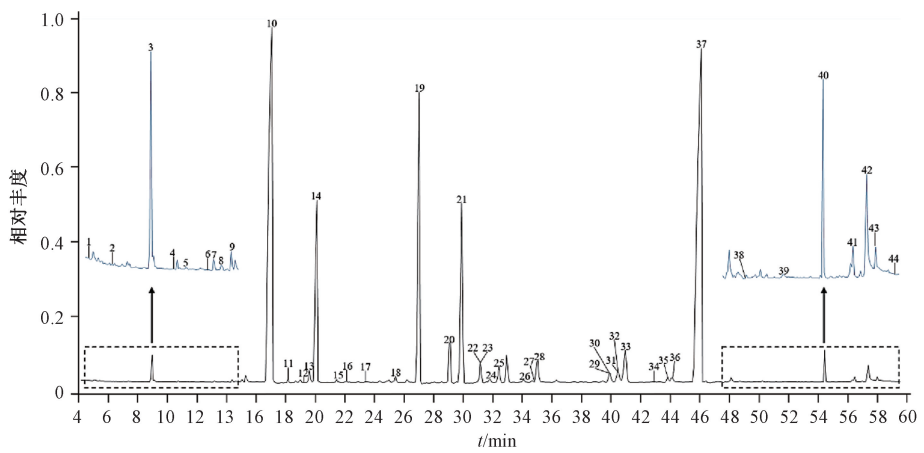


图 5 紫苏叶挥发油 GC-MS 总离子流色谱图

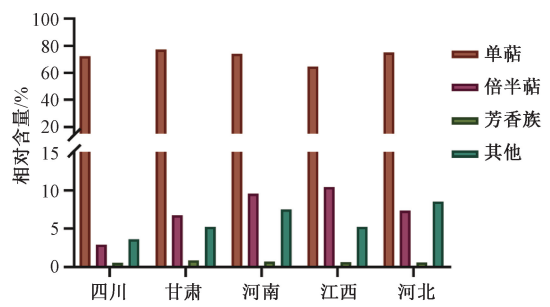


图 6 不同产地紫苏叶挥发油中挥发性成分相对含量

3 讨论

本实验发现，河北与其他产地所产 PK 型紫苏叶中挥发油含量存在明显差异，并且前者单独聚为一类，提示华北地区的地形、气候、土壤、降水等因素可能对该药材生长有显著影响；20 批药材挥发油中紫苏酮、异白苏烯酮相对含量最高，以河北产者更明显，尤其是后者，几乎是其他产地的 2 倍，表明 PK 型紫苏叶品质与产地密切相关，符合药材成分空间特异性特点^[34]，但所收集到的样本量有限，结果可能存在偶然性。此外，本实验仅比较 5 个产地 PK 型紫苏叶挥发油质量特征，但该药材遍布全国各地，有多个化学型，后续将考虑收集更多批次的不同产地、化学型者开展进一步研究。

2020 年版《中国药典》仅规定紫苏叶来源、水分和挥发油总含量，缺乏化学成分含量标准，而本实验仅针对紫苏叶中挥发油，尚未涉及非挥发性成分。因此，今后将分别建立挥发油、非挥发性成分指纹图谱和多成分含量测定方法，通过考察不同批次、产地、化学型紫苏叶，制定该药材中紫苏醛、紫苏酮、迷迭香酸等关键药效成分的含量标准，推动其质量标准提升。

综上所述，本实验首次建立不同产地 PK 型紫苏叶挥发油 GC-MS 指纹图谱，并结合 AMDIS 和保留指数法鉴定出 44 种挥发性成分，可为该药材筛选和质量评价提供参考。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献：

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020 年版一

部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：998-999.

[2] Wu X D, Liu Q Y, Chen D, *et al.* Identification of quality control markers in Suhuang antitussive capsule based on HPLC-PDA fingerprint and anti-inflammatory screening[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2020, 180: 113053.

[3] 李舒丰, 刘芹燕, 刘文东, 等. 苏黄止咳胶囊及其挥发油中间体中挥发性成分的分析[J]. *中成药*, 2017, 39(11): 2329-2334.

[4] 刘芹燕, 巫兴东, 陈 东, 等. 苏黄止咳胶囊中非挥发性成分的 LC-MS 分析[J]. *中成药*, 2019, 41(6): 1434-1445.

[5] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：354.

[6] Liu S Y, Jin X Y, Shang Y, *et al.* A comprehensive review of the botany, ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, toxicity and quality control of *Perillae Fructus*[J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 304: 116022.

[7] 何育佩, 郝二伟, 谢金玲, 等. 紫苏药理作用及其化学物质基础研究进展[J]. *中草药*, 2018, 49(16): 3957-3968.

[8] 张琛武, 郭佳琪, 李卫萍, 等. PA 型紫苏不同部位 8 种酚酸和黄酮类成分的含量相关性研究[J]. *中国中药杂志*, 2022, 47(13): 3447-3451.

[9] 魏长玲, 郭宝林, 张琛武, 等. 中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究[J]. *中国中药杂志*, 2016, 41(10): 1823-1834.

[10] 王智磊, 伍清芳, 刘素娟, 等. GC-MS 结合 AMDIS 及 Kováts 保留指数研究不同虫蛀程度陈皮挥发性成分变化规律[J]. *中华中医药杂志*, 2018, 33(8): 3327-3331.

[11] 薛淑娟, 杨江凯, 陈随清. GC-MS 结合保留指数法解析太行菊挥发油的化学成分[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2022, 28(15): 120-128.

[12] Rehman N U, Ansari M N, Haile T, *et al.* Possible tracheal relaxant and antimicrobial effects of the essential oil of ethiopian thyme species (*Thymus serrulatus* Hochst. ex Benth.): A multiple mechanistic approach[J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 615228.

[13] Cai T, Shi P, Zhang S, *et al.* Inhibition of *Perilla frutescens* essential oil on pellicle formation of *Candida tropicalis* and *Pichia kluyveri* and its effect on volatile compounds in Sichuan

pickles[J]. *Foods*, 2023, 12(8): 1593-1607.

[14] Li J, Chen W, Liu H M, *et al.* Pharmacologic effects approach of essential oils and their components on respiratory diseases[J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 304: 115962.

[15] Martí M, Diretto G, Aragonés V, *et al.* Efficient production of saffron crocins and picrocrocin in *Nicotiana benthamiana* using a virus-driven system[J]. *Metab Eng*, 2020, 61: 238-250.

[16] Erhunmwunsee F, Pan C, Yang K L, *et al.* Recent development in biological activities and safety concerns of perillaldehyde from *Perilla* plants: A review[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, 62(23): 6328-6340.

[17] Ghimire B K, Yoo J H, Yu C Y, *et al.* Profiling volatile and phenolic compound composition and characterization of the morphological and biological activities of *Perilla frutescence* Britton var. *japonica* accessions[J]. *Acta Physiol Plant*, 2019, 41(7): 108-123.

[18] Jin C H, Lee H J, Park Y D, *et al.* Isoeogonol inhibits lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in RAW 264.7 macrophages through the heme oxygenase-1 induction and inhibition of the interferon- β -STAT-1 pathway[J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(2): 860-867.

[19] Gilles M, Zhao J, An M, *et al.* Chemical composition and antimicrobial properties of essential oils of three Australian *Eucalyptus* species[J]. *Food Chem*, 2010, 119(2): 731-737.

[20] 钟上勇. 几种 γ -榄香烯型倍半萜的全合成[D]. 太原: 中北大学, 2021.

[21] Ashokkumar K, Simal-Gandara J, Murugan M, *et al.* Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) essential oil: A review on its composition, biological, and pharmacological activities[J]. *Phytother Res*, 2022, 36(7): 2839-2851.

[22] Singh N, Rao A S, Nandal A, *et al.* Phytochemical and pharmacological review of *Cinnamomum verum* J. Presl-a versatile spice used in food and nutrition[J]. *Food Chem*, 2021, 338: 127773.

[23] Zhang G Y, Xue C, Zeng Y M. β -Elemene alleviates airway stenosis via the ILK/Akt pathway modulated by MIR143HG sponging miR-1275[J]. *Cell Mol Biol Lett*, 2021, 26(1): 28.

[24] Paula-Freire L I G, Andersen M L, Gama V S, *et al.* The oral administration of *trans*-caryophyllene attenuates acute and chronic pain in mice[J]. *Phytomedicine*, 2014, 21(3): 356-362.

[25] Biltekin S N, Karadağ A E, Demirci F, *et al.* *In vitro* anti-inflammatory and anticancer evaluation of *Mentha spicata* L. and *Matricaria chamomilla* L. essential oils[J]. *ACS Omega*, 2023, 8(19): 17143-17150.

[26] Valarezo E, Flores-Maza P, Cartuche L, *et al.* Phytochemical profile, antimicrobial and antioxidant activities of essential oil extracted from *Ecuadorian* species *Piper ecuadorensis* Sodiro[J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(24): 6014-6019.

[27] Jesus A S, Blank A F, Alves M F, *et al.* Influence of storage time and temperature on the chemical composition of the essential oil of *Hyptis pectinata* L. Poit[J]. *Rev Bras Plantas Med*, 2016, 18(1 suppl 1): 336-340.

[28] Dzul-Beh A D, García-Sosa K, Uc-Cachón A H, *et al.* *In vitro* growth inhibition and bactericidal activity of spathulenol against drug-resistant clinical isolates of *Mycobacterium tuberculosis*[J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2019, 29(6): 798-800.

[29] Chavan M J, Wakte P S, Shinde D B. Analgesic and anti-inflammatory activity of caryophyllene oxide from *Annona squamosa* L. bark[J]. *Phytomedicine*, 2010, 17(2): 149-151.

[30] Padalia R C, Verma R S, Chauhan A, *et al.* *Zingiber zerumbet* (L.) Roscoe ex Sm. from northern India: Potential source of zerumbone rich essential oil for antiproliferative and antibacterial applications[J]. *Ind Crop Prod*, 2018, 112: 749-754.

[31] Arellanes A J, Mata R, Lotina-Henssen B, *et al.* Phytochemical growth-inhibitory compounds from *Malmea depressa*[J]. *J Nat Prod*, 1996, 59: 202-204.

[32] Negm W A, El-Seoud K A A, Kabbash A, *et al.* Hepatoprotective, cytotoxic, antimicrobial and antioxidant activities of *Dioon spinulosum* leaves Dyer ex Eichler and its isolated secondary metabolites[J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(23): 5166-5176.

[33] Saeed N M, El-Demerdash E, Abdel-Rahman H M, *et al.* Anti-inflammatory activity of methyl palmitate and ethyl palmitate in different experimental rat models[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2012, 264(1): 84-93.

[34] 贾延莎, 张雪佳, 谭宁华. 中药材中化学成分时空特异性的研究进展[J]. *中草药*, 2024, 55(24): 8580-8588.