

文章编号:1004-1656(2026)05-1452-09

储存时间对茅苍术燃烧烟雾化学成分 及抗炎活性的影响

马矜烁, 钱慧琴*

(豫北医学院, 河南 新乡 453000)

摘要:本文报道了以不同储存时间(0, 1, 2 年)茅苍术燃烧烟雾为研究对象, 采用气相色谱-质谱联用技术分析茅苍术燃烧烟雾的挥发性成分。采用 LPS 诱导的 RAW264. 7 巨噬细胞模型评价各样品对一氧化氮生成的抑制作用。结果表明, 从储存 0~2 年茅苍术的燃烧烟雾分别鉴定出 45、54、60 种挥发性成分, 分别占各样品挥发性成分总量的 92. 17%、92. 96%、87. 45%。燃烧烟雾的主要挥发性成分为 hinesol 与 beta-eudesmol, 但其相对含量存在显著差别。抗炎活性评价显示储存 0 年茅苍术烟雾提取物的抗炎活性最强, 显著高于储存 1 年与 2 年的样品。该研究从“化学-活性”关联角度证实, 燃烧烟雾是茅苍术挥发性药效物质的主要载体。

关键词:茅苍术; 储存时间; 燃烧烟雾; 挥发性成分; 抗炎活性; GC-MS

中图分类号:O657. 7 **文献标志码:**A

Influence of storage time on the chemical composition and anti-inflammatory activity of combustion smoke of *Atractylodes lancea*

MA Jin-shuo, QIAN Hui-qin *

(North Henan Medical University, Xinxiang 453000, China)

Abstract: Taking the combustion smoke of *Atractylodes lancea* (AL) with different storage times (0, 1, 2 years) as research objects, the volatile components from the combustion smoke of AL were analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The inhibitory effects of the samples on nitric oxide (NO) production were evaluated using a lipopolysaccharide (LPS)-induced RAW264. 7 macrophage model. The results showed that the combustion smoke from AL stored for 0~2 years yielded 45, 54, and 60 volatile compounds, respectively, accounting for 92. 17%, 92. 96%, and 87. 45% of the total volatile compounds in each sample, respectively. While hinesol and beta-eudesmol were the primary volatile constituents in smoke, their relative contents differed significantly. The anti-inflammatory activity evaluation showed that the combustion smoke extract of AL stored for 0 years had the strongest anti-inflammatory activity, which was significantly higher than that of the 1-year and 2-year storage groups. This study, from the perspective of the "chemical-activity" correlation, confirmed that the combustion smoke was the main carrier of the volatile medicinal components of AL.

Key words: *Atractylodes lancea*; combustion smoke; volatile components; storage; anti-inflammatory activity; gas chromatography-mass spectrometry

收稿日期: 2025-12-22; 修回日期: 2026-02-11

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (23B360007) 资助

通讯作者: 钱慧琴 (1988-), 女, 副教授, 主要从事天然药物活性成分分析。E-mail: qianhuiqina@163. com

茅苍术(*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.)为菊科苍术属多年生草本植物,是中医临床常用的芳香化湿药,具有燥湿健脾、祛风散寒、明目之功效^[1]。传统中医理论中,常有关于药材“陈久者良”的论述,认为如陈皮、半夏等部分中药材经过一定时间的储存后,其药性可趋于缓和,燥烈之性得减,从而疗效更佳^[2,3]。此外,根据传统经验认为,“陈久”现象与中药药效及质量优劣有关联。然而,这一经验性理论对于茅苍术,特别是其燃烧产物(烟雾与灰烬)是否适用,尚缺乏系统的现代科学验证。

烟熏与灸法为中药一种使用方式,它们通过燃烧中药后产生的烟气熏蒸达到空气消毒、杀虫驱蚊及疾病治疗(如灸疗)的目的^[4,5]。苍术在空气消毒方面应用广泛^[6]。何红燕等人^[7]对比苍术烟熏消毒和紫外线照射消毒对胸心外科病房消毒效果,发现苍术烟熏消毒后,能有效杀灭空气中的细菌,细菌消亡率达92.7%,明显高于而紫外线照射消毒效果(细菌消亡率83.2%)。苍术空气消毒的作用主要是由于其所含的挥发性成分^[8]。苍术挥发油的主要成分包括苍术素、苍术酮、 β -桉叶醇等,具有抗菌、抗炎、抗肿瘤以及调节免疫力等多种药理活性^[9-11]。然而,这些挥发性成分在储存过程与空气、光线、日光长期接触容易发生氧化、分解或聚合,从而导致药材化学成分发生改变,可能影响其燃烧烟雾的组成与生物活性^[12]。

关于茅苍术挥发油的研究多集中于其组成、提取工艺及其药理活性研究^[13-14]。阐明储存时间对茅苍术燃烧烟雾挥发性成分的影响,同时揭示其抗炎活性的变化,这对于阐释传统用药经验的科学内涵,优化茅苍术的储存与临床应用具有重要价值。

本研究拟采集储存0、1、2年的茅苍术,分别收集其燃烧烟雾,采用GC-MS技术分析其挥发性成分,利用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)和偏最小二乘判别分析(Partial Least Squares Discrimination Analysis, PLS-DA)揭示储存年限与化学成分之间的关联,并通过体外细胞模型评价其抗炎活性。旨在明确储存时间对茅苍术燃烧烟雾挥发性成分组成的动态影响规律,明确

不同储存时间样品抗炎活性的差异,从而为茅苍术的质量控制与临床科学应用提供数据支撑。

1 实验部分

1.1 材料

使用的茅苍术于2022年10月于湖北英山县采集,经由豫北医学院副教授李彦灵鉴定为菊科茅苍术 *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. 的根茎。样品经干燥、切片后,密封分装于铝箔袋中,并长期储存于6~8℃的恒温冷库环境中,全程避光。此批原料在上述标准条件下保存,从新采时期(0年)至密封储存2年。正己烷(色谱纯)购于上海麦克林生化科技股份有限公司; Griess 试剂盒购自碧云天生物技术有限公司。DMEM 培养基,青链霉素混合液和胎牛血清均购于北京索莱宝科技有限公司;脂多糖(Lipopolysaccharide, LPS)购于美国 sigma 公司。

1.2 仪器

安捷伦 8860-5977B 气质联用仪购于美国安捷伦科技公司; CO₂ 细胞培养箱和全波长酶标仪购于赛默飞世尔科技公司。

1.3 实验方法

1.3.1 燃烧烟雾和灰烬的收集与处理 取50 g 茅苍术粉末置于自制燃烧装置中(图1),暗火燃烧,使药物无明显明火、表面呈暗红色炽热状态。在吸收瓶中加入乙醇作为烟雾吸收溶剂,缓冲瓶与真空泵连接。调节真空泵流量为100~150 mL/min,控制粉末燃烧速度为5~8 g/h,确保烟雾匀速

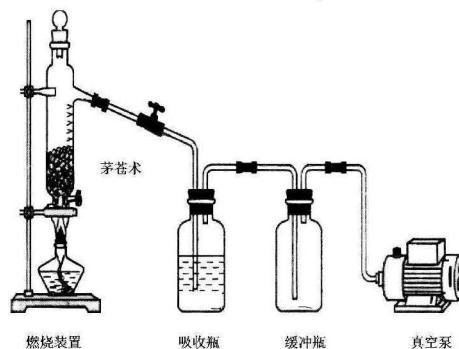


图1 茅苍术燃烧烟雾吸收装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the absorption device for the combustion smoke of AL

产生,使燃烧烟雾能够被充分吸收,得到吸收液,过滤,蒸馏得到其燃烧产物,将以上不同储存年限的燃烧产物和灰烬提取物用甲醇溶解并定容至 10 mL 容量瓶中,溶液经 0.45 μm 有机滤膜过滤,备用。

1.3.2 GC-MS 测定条件 GC 分析条件:Agilent 19091S-433UI 毛细管柱(30 m $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm);分流比 30:1;进样量 2 μL ;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;载气为氦气;柱初温 60 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 280 $^{\circ}\text{C}$,保持 12 min。完成一次样品检测需要 36 min。

质谱条件:电离模式为 EI,电离电能 70 eV。离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四极温度 150 $^{\circ}\text{C}$ 。扫描范围 30~650 m/z,溶剂延迟 2 min。

基于 NIST20. L 谱图库和相关文献^[14-18]分析茅苍术燃烧烟雾中各化学成分;采用峰面积归一化法求得各成分的相对含量,并筛选出匹配度高于 80% 的化合物。

1.3.3 体外抗炎活性测定 RAW 264.7 细胞活力测定:将对数期生长的 RAW264.7 细胞以 1.2×10^4 个/孔的密度接种于含 10% 胎牛血清的 DMEM 完全培养基中,置 37 $^{\circ}\text{C}$ 、5% CO_2 培养箱中培养。将细胞分为实验组(6.25-100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 茅苍术烟雾提取物)和对照组(DMEM 完全培养基)。培养 24 h 后,向每孔中加入 10 μL 的 CCK8 溶液,1~2 h 后在 450 nm 处测定吸光度值,计算细胞相对存活率。

细胞中 NO 含量的检测:采用 Griess 法检测 NO 含量。将对数期生长的 RAW264.7 细胞以 $1 \times$

10^5 个/孔的密度接种于 24 孔板中,将细胞分为正常组(DMEM 完全培养基)、模型组(1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ LPS)、实验组(6.25-50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 茅苍术烟雾提取物+1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ LPS)。孵育 24 h 后,吸取上清液,离心 3 min,待检测上清液于 4 $^{\circ}\text{C}$ 密封保存。具体检测方法按照 NO 试剂盒(碧云天公司,货号 S0021S)说明书进行。

2 结果与分析

2.1 不同储存时间茅苍术燃烧烟雾挥发性成分的分析

采用 GC-MS 对不同储存时间茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分进行分析,总离子流图见图 2,分析结果见表 1。

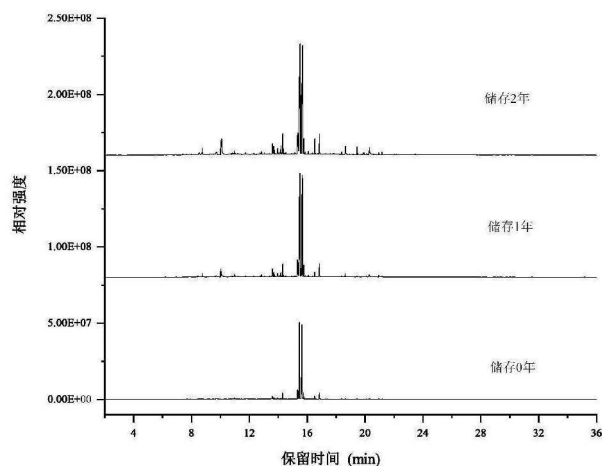


图 2 茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分的总离子流图
Fig. 2 Total ion chromatogram of volatile components in the combustion smoke of AL

表 1 茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分及相对百分含量

Table 1 Volatile components and their relative percentages in the combustion smoke of AL

序号	类型	化合物	分子式	CAS	相对含量%			匹配度 /%
					0 年	1 年	2 年	
1	倍半萜烯类	Modephene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	68269-87-4	-	0.04	0.08	91
2		(-)- α -Isocomene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	65372-78-3	0.03	0.13	0.17	87
3		β -Isocomene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	71596-72-0	0.02	0.13	0.05	90
4		Caryophyllene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	87-44-5	0.06	0.19	0.19	96
5		Germacrene B	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	15423-57-1	0.09	0.34	0.37	96
6		Valerena-4,7(11)-diene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	351222-66-7	0.03	0.06	0.04	91
7		Humulene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	6753-98-6	0.03	0.10	0.07	83
8		β -Guaiene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	88-84-6	0.09	0.26	0.13	90

续表1

9		beta-Selinene	C ₁₅ H ₂₄	17066-67-0	1.05	1.36	1.76	98
10		Eremophilene	C ₁₅ H ₂₄	10219-75-7	0.54	0.72	1.22	97
11		gamma-Patchoulene	C ₁₅ H ₂₄	508-55-4	0.57	0.76	1.07	91
12		gamma-Selinene	C ₁₅ H ₂₄	58893-88-2	0.49	0.72	1.09	97
13		beta-Vetivenene	C ₁₅ H ₂₂	27840-40-0	0.1	0.09	0.08	91
14	醇类	2-Furanmethanol	C ₅ H ₆ O ₂	98-00-0	-	0.08	0.02	91
15		beta-Acorenol	C ₁₅ H ₂₆ O	28400-11-5	0.12	0.11	0.10	87
16		Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	639-99-6	1.95	2.08	3.05	98
17		Rosifolol	C ₁₅ H ₂₆ O	63891-61-2	0.14	0.11	0.14	89
18		Epicubenol	C ₁₅ H ₂₆ O	19912-67-5	0.13	0.16	0.27	86
19		Guaiol	C ₁₅ H ₂₆ O	489-86-1	4.55	4.93	5.48	94
20		Hinesol	C ₁₅ H ₂₆ O	23811-08-7	35.88	33.51	38.80	94
21		beta-Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	473-15-4	36.43	31.87	3.31	98
22		α -Epi-7-epi-5-eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	1000411-50-1	2.23	1.99	2.20	92
23		Bulnesol	C ₁₅ H ₂₆ O	22451-73-6	0.25	0.23	0.42	91
24		Isospathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	88395-46-4	-	-	0.12	86
25	酚类	Phenol	C ₆ H ₆ O	108-95-2	0.31	0.13	-	82
26		p-Cresol	C ₇ H ₈ O	106-44-5	0.32	0.05	0.40	91
27		Guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	90-05-1	0.07	-	0.35	90
28		Creosol	C ₈ H ₁₀ O ₂	93-51-6	0.19	0.24	0.55	81
29		4-Ethylguaiacol	C ₉ H ₁₂ O ₂	2785-89-9	0.18	0.18	0.33	89
30		Hydroquinone	C ₆ H ₆ O ₂	123-31-9	0.37	0.28	0.57	88
31		3-Methylcatechol	C ₇ H ₈ O ₂	488-17-5	-	-	0.22	86
32		5-Ethenyl-2-methoxyphenol	C ₉ H ₁₀ O ₂	621-58-9	0.12	0.45	0.36	84
33		2,6-Dimethoxyphenol	C ₈ H ₁₀ O ₃	91-10-1	0.07	0.26	0.40	87
34		3,5-Dimethoxy-4-hydroxytoluene	C ₉ H ₁₂ O ₃	6638-05-7	0.03	0.06	0.03	85
35		trans-Isoeugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-54-1	0.18	0.19	0.19	95
36		2-(3,7-Dimethyl-octa-2,6-dienyl)-4-methoxy-phenol	C ₁₇ H ₂₄ O ₂	1000192-65-2	0.15	0.19	0.48	94
37	酯类	5-Acetoxymethyl-2-furaldehyde	C ₈ H ₈ O ₄	10551-58-3	-	-	0.18	86
38		Diisobutyl phthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	84-69-5	-	0.08	0.19	87
39		trans-Valerenyl acetate	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	101527-74-6	0.06	0.17	0.36	80
40		Dibutyl terephthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	1962-75-0	0.04	0.07	0.14	85
41		Naphtho[2,3-b]furan-2(3H)-one, 4a, 5,6,7,8,8a-hexahydro-3,8a-dimethyl-5-methylene-	C ₁₅ H ₁₈ O ₂	97214-30-7	0.15	0.22	1.09	98
42		[7-(2-Hydroxypropan-2-yl)-4a-methyl-1-methylidene-2,3,4,5,6,7,8,8a-octahydronaphthalen-2-yl]acetate	C ₁₇ H ₂₈ O ₃	1000502-54-5	0.07	0.09	0.08	89
43		Naphtho[2,3-b]furan-2(4H)-one, 4a, 5,6,7,8,8a,9,9a-octahydro-3,8a-dimethyl-5-methylene-	C ₁₅ H ₂₀ O ₃	94163-11-8	-	0.06	0.27	96

续表1

44		Atractylenolide III	$C_{15}H_{20}O_3$	73030-71-4	-	0.02	0.09	85
45		2-Palmitoylglycerol	$C_{19}H_{38}O_4$	23470-00-0	-	0.05	0.11	88
46	酮类	Corylone	$C_6H_8O_2$	80-71-7	0.15	0.07	0.09	91
47		Furaneol	$C_6H_8O_3$	3658-77-3	-	0.07	0.41	92
48		Maltol	$C_6H_6O_3$	118-71-8	-	-	0.24	86
49		2, 3-Dihydro-3, 5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one	$C_6H_8O_4$	28564-83-2	-	1.23	1.70	97
50		Cyperenone	$C_{15}H_{22}O$	3466-15-7	0.94	0.78	2.13	92
51	羧酸类	Palmiticacid	$C_{16}H_{32}O_2$	57-10-3	0.31	0.63	1.32	97
52		Linoleicacid	$C_{18}H_{32}O_2$	60-33-3	0.36	0.83	1.26	95
53		cis-Vaccenic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	506-17-2	-	-	0.89	92
54		Octadecanoic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	57-11-4	-	0.06	0.17	82
55	其他	2,5-Furandione,3-methyl-	$C_5H_4O_3$	616-02-4	-	-	0.11	85
56		3-Pyridinol	C_5H_5NO	109-00-2	-	0.63	1.11	93
57		5-Hydroxymethylfurfural	$C_6H_6O_3$	67-47-0	0.14	2.76	7.05	98
58		5-(Hydroxymethyl)-2-(dimethoxymethyl)furan	$C_8H_{12}O_4$	90200-14-9	1.03	0.96	0.81	81
59		Atractylodin	$C_{13}H_{10}O$	55290-63-6	1.96	1.98	3.06	99
60		2, 3-Dihydro-2-methyl-5-phenylbenzofuran	$C_{15}H_{14}O$	54965-07-0	0.11	0.11	0.24	80
61		2-(3,7-Dimethyl-octa-2,6-dienyl)-1,4-dimethoxy-benzene	$C_{18}H_{26}O_2$	107697-34-7	0.06	0.07	0.22	94

注：“-”表示未检出

从储存 0~2 年的茅苍术的烟雾中分别分离出 123, 145 和 157 个挥发性成分, 分别解析出 45、54、60 种挥发性成分, 分别占各样品挥发性成分总量的 92.17%、92.96%、87.45%。茅苍术烟雾中挥发性成分主要为倍半萜烯类、醇类、酚类、酯类、酮类、羧酸类等。茅苍术烟雾中相对含量较高的成分有 hinesol (33.51~38.80%)、5-hydroxymethylfurfural (0.14~7.05%)、guaiol (4.55~5.48%)、beta-eudesmol (3.31~36.43%)、atractylodin (1.96~3.06%)、elemol (1.95~3.05%)、 α -epi-7-epi-5-eudesmol (1.99~2.23%)、cyperenone (0.94~2.13%)、beta-selinene (1.05~1.76%)。

为探究储存时间对茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分的影响, 采用 Simca-P 对其烟雾中挥发性成分进行主成分分析。如图 3 所示, 第一主成分 (Principal Component 1, PC1) 与第二主成分 (Principal Component 2, PC2), 累计贡献率达 100%, 不同储

存时间的样本点呈现出良好的聚集性和分离趋势。储存 0 年和 1 年的样本集中分布于得分图的左侧, 而储存 2 年的样本则沿 PC1 轴正向逐渐偏移, 这表明其挥发性成分组成存在系统性差异。

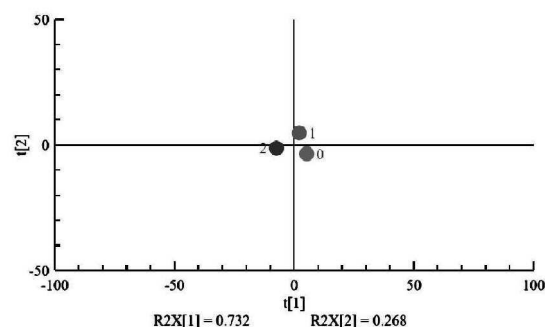


图 3 不同储存时间茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分得分图
Fig. 3 Score chart of volatile components in the combustion smoke of AL at different storage durations

采用微生信 (<https://www.bioinformatics.com.cn/>) 平台对不同储存时间茅苍术烟雾中挥发性成分进行层次聚类分析。如图 4 所示, 样本被

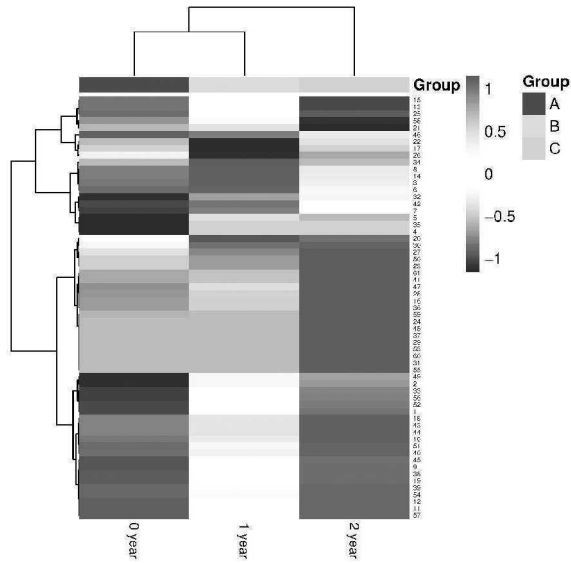


图 4 茅苍术燃烧烟雾中挥发性成分的聚类分析热图

Fig. 4 Heatmap of cluster analysis for volatile components in combustion smoke of AL

明显分为两个类群:储存时间为 0 年和 1 年茅苍术样本聚为一簇,而储存时间为 2 年茅苍术样本

聚为另一簇。这一结果与主成分分析结论一致,进一步证实储存时间是导致茅苍术燃烧烟雾成分变化的关键因素。

结合图 5 中数据可知,0 年和 1 年茅苍术聚为一簇,说明茅苍术在生长初期的次生代谢以“延续性合成”为主,倍半萜烯类、醇类等核心成分的代谢路径具有一定的连续性,化学组成相似度高;2 年茅苍术单独成簇,这是因为茅苍术进入生长成熟期后进入了代谢分化期,使醇类特征成分(如 hinesol)积累增强,同时酚类等代谢分支被激活,促使化学组成呈现显著差异。

2.2 烟雾中关键差异挥发性成分的鉴定与相对含量变化

基于偏最小二乘法-判别分析模型,以变量投影重要度值大于 1 为标准,筛选出 17 种可作为区分不同储存时间烟雾的关键差异挥发性成分。关键差异挥发性成分及相对含量见表 2。

表 2 不同储存时间茅苍术燃烧烟雾中关键差异挥发性成分

Table 2 Key differences in volatile components in the combustion smoke of AL with different storage durations

类型	序号	化合物	VIP	相对含量%		
				0 年	1 年	2 年
倍半萜烯类	3	beta-Isocomene	1.37	0.02	0.13	0.05
	4	Caryophyllene	1.13	0.06	0.19	0.19
	5	Germacrene B	1.07	0.09	0.34	0.37
	6	Valerena-4,7(11)-diene	1.36	0.03	0.06	0.04
	7	Humulene	1.33	0.03	0.10	0.07
	8	beta-Guaiene	1.36	0.09	0.26	0.13
醇类	14	2-Furanmethanol	1.36	0	0.08	0.02
	17	Rosifoliol	1.36	0.14	0.11	0.14
	20	Hinesol	1.10	35.88	33.51	38.80
	22	α -Epi-7-epi-5-eudesmol	1.36	2.23	1.99	2.20
酚类	26	p-Cresol	1.27	0.32	0.05	0.40
	30	Hydroquinone	1.01	0.37	0.28	0.57
	32	5-Ethenyl-2-methoxyphenol	1.25	0.12	0.45	0.36
	34	3,5-Dimethoxy-4-hydroxytoluene	1.34	0.03	0.06	0.03
	35	trans-Isoeugenol	1.35	0.18	0.19	0.19
	42	[7-(2-Hydroxypropan-2-yl)-4a-methyl-1-methylidene-2,3,4,5,6,7,8,8a-octahydronaphthalen-2-yl] acetate	1.37	0.07	0.09	0.08
酮类	46	Corylone	1.24	0.15	0.07	0.09

对不同储存时间的燃烧烟雾中关键差异成分的分析表明,其相对含量随储存时间的变化呈现出一定的规律性。

萜烯类化合物随茅苍术储存时间的延长呈现先上升后下降的趋势(图 5A),如 beta-isocomene (3)、valerena-4,7(11)-diene (6)、humulene (7) 和

beta-guaiene(8)。Caryophyllene(4)在储存 0 年的茅苍术烟雾中的相对含量为 0.06%,而在 1 年茅苍术中显著上升至 0.19%,其相对含量在 2 年茅苍术烟雾中相对含量维持不变。Germacrene B(5)的相对含量在茅苍术烟雾中随着储存时间的延长而呈现逐渐上升的趋势。

醇类化合物相对含量随着茅苍术储存时间的延长呈现先下降后上升的趋势,如 rosifoliol(17), hinesol(20), α -epi-7-epi-5-eudesmol(22)。与之相反,2-furanmethanol(14)在 0 年茅苍术的燃烧烟雾

中检测不到,而其在储存 1 年茅苍术的燃烧烟雾中相对含量为 0.08%,在储存 2 年后茅苍术的燃烧烟雾中其相对含量降低至 0.02%。

酚类化合物相对含量变化趋势如图 5B 所示。p-Cresol(26)和 hydroquinone(30)随着茅苍术储存时间的延长呈现先降低后显著增加的趋势。与之相反,5-ethenyl-2-methoxyphenol(32)和 3,5-dimethoxy-4-hydroxy-toluene(34)则呈现出先增加后降低的趋势。此外,trans-isoeugenol(35)则在储存 0-2 年茅苍术的烟雾中其相对含量变化不明显。

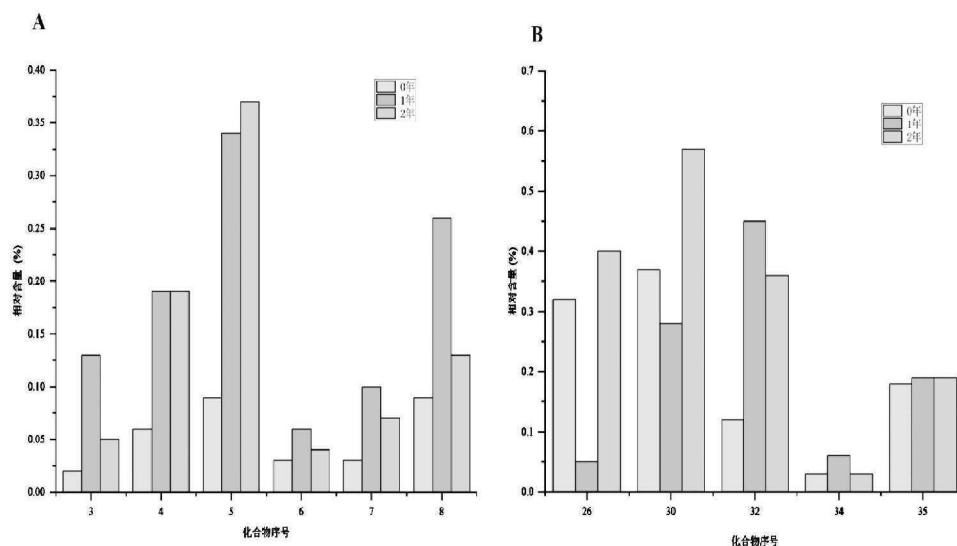


图 5 不同储存时间茅苍术燃烧烟雾中关键成分变化趋势

A. 倍半萜烯类; B. 酚类

Fig. 5 Trend of key components in the combustion smoke of AL with different storage durations

A. sesquiterpenoids; B: phenols

2.3 茅苍术燃烧烟雾抗炎活性分析

不同储存时间茅苍术燃烧烟雾对 RAW 264.7 细胞活力的影响如图 6 所示。与正常组相比, YW-

1、YW-2、YW-3 在 100 $\mu\text{g/mL}$ 浓度时均有细胞毒性。因此, YW-1、YW-2 和 YW-3 均采用 50 $\mu\text{g/mL}$ 以下的浓度进行抗炎活性筛选。

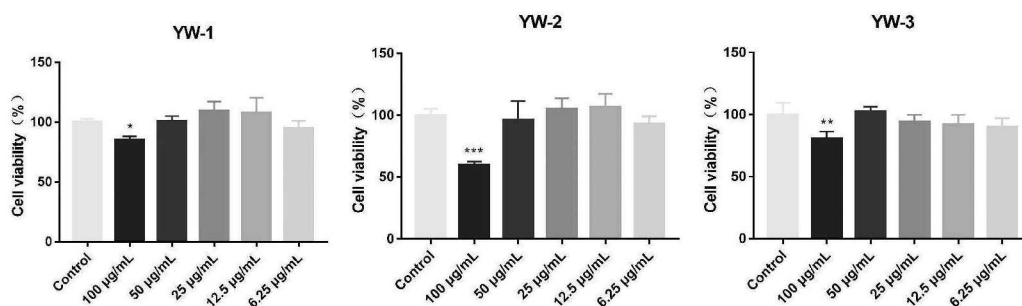


图 6 样品对 RAW 264.7 细胞活力的影响

Fig. 6 Effect of the sample on the viability of RAW 264.7 cells

注: YW-1、YW-2、YW-3 为储存 0-2 年茅苍术燃烧烟雾提取物;与空白组相比, * 表示显著 ($P < 0.05$);

** 表示极显著 ($P < 0.01$); *** 表示极极显著 ($P < 0.001$)

不同储存时间茅苍术燃烧烟雾对 RAW264.7 细胞 NO 生成的影响如图 7 所示。YW-1、YW-2 和 YW-3 在 6.25-50 $\mu\text{g/mL}$ 浓度范围内可显著抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞 NO 生成,并呈现一定的浓度依赖性。为量化其抗炎活性,采用四参数

Logistic 回归模型,通过 GraphPad Prism 9.0 软件对量效曲线进行非线性回归拟合,拟合得到的 IC_{50} 值为 $24.37 \pm 1.37 \mu\text{g/mL}$ 、 $38.40 \pm 2.03 \mu\text{g/mL}$ 、 $29.13 \pm 1.35 \mu\text{g/mL}$,由此表明 YW-1 的抗炎活性优于 YW-2 和 YW-3。

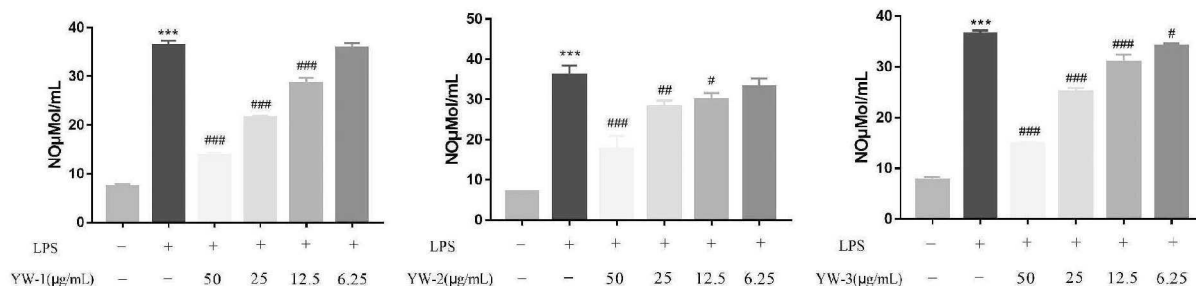


图7 样品对 RAW264.7 细胞 NO 生成的影响

Fig.7 Effect of samples on NO production in RAW264.7 cells

注:与空白组相比,*表示显著($P<0.05$);**表示极显著($P<0.01$);***表示极极显著($P<0.001$);

与模型组相比,#表示显著($P<0.05$);##表示极显著($P<0.01$);###表示极极显著($P<0.001$)。

3 讨论与结论

3.1 茅苍术燃烧烟雾挥发性成分分析

采用 GC-MS 对不同储存时间茅苍术燃烧烟雾的挥发性成分进行对比分析,发现在化学组成上存在一定差异。从储存 0-2 年茅苍术的燃烧烟雾分别鉴定出 45、54、60 种挥发性成分,分别占各样品挥发性成分总量的 92.17%、92.96%、87.45%。随储存时间增加,烟雾中鉴定出的化合物数量均呈上升趋势(挥发性成分数量 45→60)。这表明烟雾所含的化学信息较为丰富和复杂,这与洪宗国等人^[19]发现艾叶的主要成分集中在烟雾中结果一致。

通过对比烟雾中的高含量挥发性成分,可以明确看出燃烧对于不同化学性质物质的选择性迁移。Hinesol(茅苍术醇)和 beta-eudesmol(β -桉叶醇)是茅苍术的重要有效成分^[20-21]。二者在茅苍术烟雾中也均为主要挥发性成分,但相对含量有显著差异。这 2 种成分均含稳定的环己烷母核,在燃烧时不易发生碳化降解,故可化进入烟雾相;同时,部分成分因与茅苍术粉末的弱氢键作用,未能完全脱离基质,最终残留于灰烬,形成“烟雾富集-灰烬残留”的分布特征。5-羟甲基糠醛(5-

Hydroxymethylfurfural, 5HMF) 是糖类和纤维素等碳水化合物在加热过程中形成的经典热解标志物^[22]。其在烟雾中的含量范围为 0.14%-7.05%,在烟雾中随储存年限变化剧烈。这表明烟雾相的动态挥发特性可快速捕获生成的 5-HMF,烟雾相能更能灵敏地反映燃烧过程中的热解反应程度。

3.2 茅苍术燃烧烟雾抗炎活性分析

不同储存时间茅苍术燃烧烟雾提取物能显著地抑制 LPS 诱导的巨噬细胞 NO 的产生。这证实了茅苍术燃烧后,其药理活性物质主要富集于烟雾中,而非灰烬中。不同储存年限茅苍术燃烧烟雾的抗炎活性强弱顺序为 0 年>2 年>1 年。这一现象与挥发性成分在储存过程中的动态转化密切相关。新苍术(0 年样品)燃烧烟雾中核心有效成分茅苍术醇(Hinesol)含量最高(35.88%),且其抗炎活性未被大量次生成分干扰,因而新苍术表现出最佳抗炎活性。储存至 1 年时,茅苍术醇含量降至 33.51%,而多种倍半萜烯类成分(如 Germacrene-B、Caryophyllene)含量显著上升,这些成分与茅苍术醇具有相似的倍半萜母核,可能通过稀释效应或功能拮抗作用削弱了整体抗炎效果。经过 2 年储存后,化学体系达到新的平衡状态,茅苍术醇含量恢复至 38.80%,同时部分干扰性成分含量降低,促使抗炎活性恢复。这一发现表明,茅苍术

燃烧烟雾的抗炎效果取决于其整体挥发性成分谱的动态变化,而非单一成分的线性改变,其中储存

1 年的样品表现出明显的活性低谷期。

参考文献:

- [1] 中国药典[S]. 一部. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [2] 魏飞亭,董嘉皓,乔日发,等. 中药“陈久者良”的研究概述与思考[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2020,22(8):3048-3053.
- [3] 孟祥松,胡云飞,钱心悦,等. “陈久”类药材的种类及其历史源流[J]. 中国现代应用药学,2021,38(18):2317-2322.
- [4] 丁曼旎,方晓阳,朱建平. 中国古代烟熏防疫方的用药规律研究[J]. 中华中医药杂志,2015,30(9):3095-3098.
- [5] 徐一菲,庄宛滢,毛萌,等. 针灸疗法在古代疫病防治中的应用与诊疗思路探讨[J]. 中华中医药杂志,2021,36(5):2464-2467.
- [6] 杨洋,梅全喜,张书亚,等. 苍术在瘟疫防治中的研究与应用[J]. 亚太传统医药,2021,17(8):214-218.
- [7] 何红燕,盛琍,黄雪琴,等. 中药苍术空气消毒预防医院感染效果观察[J]. 中华医院感染学杂志,2006,4:407-408.
- [8] 胡伟尚,吴巧凤. 中药熏蒸防疫历史沿革与现代应用探讨[J]. 中草药,2020,51(4):895-901.
- [9] 杜清,吴光鹏,叶明方,等. 苍术挥发油的研究进展[J]. 中华中医药学刊,2024,42(11):89-97.
- [10] Gao Y, Wang D, Ma X, et al. The biological function of *Atractylodes lancea* and its application in animal husbandry: a review[J]. *Front Vet Sci*, 2025, 11:1-8.
- [11] Xie T, Lin J, Lin D, et al. In vitro and in vivo antibacterial studies of volatile oil from *Atractylodes Rhizoma* against *Staphylococcus pseudintermedius* and multidrug resistant *Staphylococcus pseudintermedius* strains from canine pyoderma[J]. *J Ethnopharmacol (Pt3)*, 2024, 319:1-24.
- [12] 刘素娟,王智磊,张鑫,等. 中药贮藏期药效物质变化研究进展[J]. 时珍国医国药,2017,28(4):949-951.
- [13] Xu X, Xiong X, He Z, et al. Optimization of ultrasound pretreatment combined with solvent-free microwave for extracting volatile oil from *Atractylodes lancea* and its chemical composition and antimicrobial activity[J]. *Talanta (PtB)*, 2026, 297:1-11.
- [14] 王蝉,赵文燕,向茜,等. GC-MS 法分析米泔水制苍术前后挥发性成分的差异[J]. 时珍国医国药,2022,33(2):357-361.
- [15] Xu R, Lu J, Wu J, et al. Comparative analysis in different organs and tissue-specific metabolite profiling of *Atractylodes lancea* from four regions by GC-MS and laser microdissection[J]. *J Sep Sci*, 2022, 45(5):1067-1079.
- [16] 陈袁袁,陈雷,王萌,等. 茅苍术根茎、须根挥发性成分比较[J]. 中成药,2024,46(10):3330-3337.
- [17] 王聪. 超临界流体萃取-气相色谱质谱分析白术挥发性成分指纹图谱和系统聚类分析[J]. 化学研究与应用,2025,37(7):2045-2050.
- [18] Qiu H, Shan C, Fei C, et al. Geoherbalism metabolomic analysis of *Atractylodes lancea* (thunb.) DC. by LC-Triple TOF-MS/MS and GC-MS[J]. *Molecules*, 2023, 28(16):5974-5998.
- [19] 洪宗国,农熠瑛,杨梅,等. 艾叶燃烧产物化学成分的分析[J]. 中国针灸,2009,29(S1):60-62.
- [20] 冯铃芳,王升,张成才,等. 苍术倍半萜类化合物生物合成的研究进展[J]. 中国中药杂志,2024,49(21):5829-5834.
- [21] Yu D Q, Han X J, Shan T Y, et al. Microscopic characteristic and chemical composition analysis of three medicinal plants and surface frosts[J]. *Molecules*, 2019, 24(24):4548-4564.
- [22] 徐芳辉,胡志成,易欣宜,等. 5-羟甲基糠醛在中药质量标准中的应用现状[J]. 中国医药导报,2017,14(15):47-50.

(责任编辑 李 瑛)