

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80292

# 椒蒿不同生长部位、生长年限挥发油成分差异性分析

后春静<sup>1,2</sup> 郭勤<sup>1,2</sup> 杨嘉璐<sup>1</sup> 刘中豪<sup>1</sup> 常志天<sup>1</sup>

(1. 新疆理工学院, 新疆 阿克苏 843100; 2. 新疆新能源与储能技术重点实验室, 新疆 阿克苏 843100)

**摘要:** [目的] 考察不同生长部位及生长年限下, 椒蒿挥发油化学成分的差异性。[方法] 采用 GC-MS 进行挥发油化学成分分析检测, 运用聚类热图和 OPLS-DA 进行差异性分析。[结果] 根、茎、叶中分别检出 27, 27, 47 种化合物, 叶片中化合物种类最多且多数物质含量相对较高, 个别物质仅存在于茎部和根部, 如榄香素等物质在叶片中未检测到, 但在根部含量却相对较高, 3 个生长部位中有 32 种化合物的 VIP 值 > 1.0; 1, 2, 3 年生椒蒿中分别检出 35, 46, 52 种化合物, 多数化合物含量随年限的增加而提高, 有 35 种化合物的 VIP > 1.0。[结论] 椒蒿挥发油化学成分在不同生长部位和生长年限下表现出显著差异性。其中, 叶片和 3 年生化合物种类最为丰富, 含量也相对较高。特定化合物 (生长部位 32 种、生长年限 35 种 VIP 值 > 1.0) 可作为鉴定椒蒿生长部位和生长年限的重要标志性物质。

**关键词:** 椒蒿; GC-MS; 聚类热图; OPLS-DA; 差异性分析

## Differential analysis of volatile oil components in *Artemisia dracunculus* L. from different plant parts and growth years

HOU Chunjing<sup>1,2</sup> GUO Qin<sup>1,2</sup> YANG Jialu<sup>1</sup> LIU Zhonghao<sup>1</sup> CHANG Zhitian<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Institute of Technology, Aksu, Xinjiang 843100, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of New Energy and Energy Storage Technology, Aksu, Xinjiang 843100, China)

**Abstract:** [Objective] This study investigates variations in the chemical composition of volatile oils extracted from different plant parts and growth ages of *Artemisia dracunculus* L. [Methods] The volatile oil components are analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Differential analysis is performed using cluster heatmaps and orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA). [Results] The roots, stems, and leaves contain 27, 27, and 47 compounds, respectively. The leaves exhibit the highest chemical diversity, with most compounds present in relatively high concentrations. Certain compounds, such as elemicin, are exclusively detected in the stems and roots. While absent in the leaves, elemicin is particularly abundant in the roots. Among the three plant parts, 32 compounds show significant differences (VIP > 1.0). The 1-, 2-, and 3-year-old plants contain 35, 46, and 52 compounds, respectively. The concentration of most compounds increases with plant age, and 35 compounds have VIP values > 1.0. [Conclusion] The essential oil composition of *A. dracunculus* L. varies significantly depending on plant part and growth age. The leaves and 3-year-old plants contain the most diverse and abundant compounds. Specific marker compounds (32 for plant parts and 35 for growth ages, VIP > 1.0) can be used to distinguish between different plant tissues and developmental stages.

**Keywords:** *Artemisia dracunculus* L.; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); cluster heatmap; orthogonal partial least squares-discriminant analysis (OPLS-DA); differential analysis

**基金项目:** 新疆维吾尔自治区自然科学基金青年项目 (编号: 2023D01C221); 柔性陶瓷及全固态金属锂电池创新团队项目 (编号: 2024D14005); 大学生创新创业训练计划项目 (编号: S202513558002)

**通信作者:** 郭勤 (1989—), 男, 新疆理工学院副教授, 硕士。E-mail: 2015090@xjit.edu.cn

**收稿日期:** 2025-03-31 **改回日期:** 2025-08-23

**引用格式:** 后春静, 郭勤, 杨嘉璐, 等. 椒蒿不同生长部位、生长年限挥发油成分差异性分析[J]. 食品与机械, 2026, 42(2): 160-167.

**Citation:** HOU Chunjing, GUO Qin, YANG Jialu, et al. Differential analysis of volatile oil components in *Artemisia dracunculus* L. from different plant parts and growth years[J]. Food & Machinery, 2026, 42(2): 160-167.

椒蒿 (*Artemisia dracunculus* L.) 是一种菊科蒿属多年生草本植物<sup>[1]</sup>, 作为生长于新疆的特色野生植物, 广泛分布于伊犁河谷、天山南北麓等地, 具有浓郁香气和药用价值, 是当地少数民族传统饮食 (如手抓饭、羊肉汤) 的重要调味品。椒蒿精油作为其重要的次生代谢产物, 具有独特的香味, 有抗惊厥、抗氧化、降血糖血脂、镇痛、助眠等作用, 具备较高的经济价值, 被广泛应用于食品、美容、医疗等领域<sup>[2]</sup>。研究<sup>[3-4]</sup>发现, 植物精油产量和化学成分受环境条件、品种、提取方法、生长时间、生长部位、贮藏条件、收获后加工、移植和间作因素等的影响。Rawat 等<sup>[5]</sup>研究了红球姜不同生长部位精油的化学成分, 结果显示, 根部和茎部的化合物组成接近, 叶片和果实的化合物接近, 4 个部位的主要成分存在差异。Ilardi 等<sup>[6]</sup>对小茴香不同营养部位精油的化学成分进行了检测分析, 结果发现, 小茴香的根、茎、叶、果实中精油的化学成分也存在差异, 根部的主要成分为松油烯 (33.15%)、 $\gamma$ -松油烯 (12.18%) 和乙酸芬酯 (11.23%), 茎部和叶片中富含  $\alpha$ -水芹烯 (分别为 36.85% 和 41.59%) 和  $\beta$ -水芹烯 (分别为 19.68% 和 25.79%), 而果实中主要成分为松油烯 (20.10%) 和柠檬烯 (17.84%)。Berramdane 等<sup>[7]</sup>采用水蒸气蒸馏法对葶苈草的叶、花、茎的挥发油进行提取分离, 利用 GC-MS 进行化学成分检测, 发现葶苈草精油中含氧单萜烯含量高达 65.91%~79.94%, 花、叶、茎的主要成分分别为樟脑 (68.12%, 65.17%, 55.72%)、桉树脑 (8.22%, 4.77%, 0.70%) 和  $\alpha$ -松油醇 (2.84%, 5.35%, 2.76%)。叶和花的精油含量分别为 0.59% 和 0.49%, 而茎中含量较低仅为 0.05%。Détár 等<sup>[8]</sup>发现, 生长年限对特定薰衣草品种的精油含量有显著影响。Wang 等<sup>[9]</sup>研究表明, 随着党参生长年限的增加, 部分组分含量增加, 部分组分含量减少, 且脾淋巴细胞增殖活性和 DPPH 自由基清除活性均增强。

由于每种精油中含有多种成分, 因此需对每种成分进行量化分析以确保精油的纯度。目前, 已有多种分析技术用于精油成分检测, 包括色谱法 [如气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS)<sup>[10]</sup> 或液相色谱-质谱联用技术 (LC-MS)] 和光谱法 (如红外光谱或核磁共振波谱)<sup>[11]</sup>。GC-MS 是分析精油最常用的方法, 因为精油主要由挥发性成分组成, 而该技术能够对这些成分进行可靠分析<sup>[12]</sup>, 具有准确度高、效率高的特点。

试验拟以不同生长部位 (根、茎、叶) 和生长年限的椒蒿为研究对象, 运用 GC-MS 技术进行椒蒿精油化学成分测定, 利用 OPLS-DA 对生长部位和生长年限精油化学成分进行差异性分析, 旨在为椒蒿的品质形成及高值化利用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

椒蒿: 生长于新疆维吾尔自治区阿克苏地区温宿县博孜墩乡提坎库如克村 (海拔 1 784.3 m; 东经 80°43'36"、北纬 41°24'14"; 平均气温 7.8 °C、最高气温 20 °C、最低气温 -10.5 °C; 年均降水量 215.4 mm), 由新疆大学生命科学与技术学院王虹高级实验师鉴定为新疆椒蒿 (*Artemisia dracunculus* L. var. *turkestanica* Krasch.)<sup>[13]</sup>;

石油醚: 分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司。

### 1.2 设备与仪器

研磨粉碎机: A11 basic 型, 德国 IKA 集团;

索氏提取器: 250 mL, 北京玻璃仪器厂;

旋转蒸发仪: RV 10B 型, 上海人和科学仪器有限公司;

电子天平: HD-G819 型, 广东海达仪器有限公司;

气相色谱-质谱联用仪 (GC/MS): Agilent 7890/5975 型, 美国安捷伦公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 椒蒿精油制备 参照徐晨曦等<sup>[14]</sup>的方法并修改。将采集的椒蒿植株自然干燥, 将根、茎、叶分别粉碎。精确称取定量试样于 250 mL 标准圆底烧瓶中, 按固液比 1:4 (g/mL) 加入石油醚溶剂体系。(50±1) °C 连续热回流提取 2.5 h, 进行 3 个平行样品提取。

### 1.3.2 GC-MS 检测条件

(1) GC 条件: 色谱分离系统配置 HP-5 MS 5% 苯基甲基聚硅氧烷固定相弹性石英毛细管色谱柱 (30 m×250  $\mu$ m×0.25  $\mu$ m), 载气系统采用超高纯度氦气 (纯度  $\geq$  99.999%), 恒流模式, 载气流速 1.0 mL/min, 进样口温度 250 °C。程序升温模式: 初始阶段 80 °C 保持 2 min, 以 5 °C/min 升温至 200 °C; 以 10 °C/min 升温至 300 °C, 保持 10 min。进样体积 1.0  $\mu$ L, 分流进样模式, 分流比 30:1。

(2) MS 条件: 质谱传输线温度 250 °C, 离子源温度 230 °C, 四极杆质量分析器工作温度 150 °C。采用电子轰击电离 (EI) 模式, 电子能量 70 eV。数据采集选择全扫描模式 (Scan Mode), 质量扫描范围  $m/z$  30~500。化合物鉴定通过 NIST05.LIB 质谱数据库进行比对分析, 匹配相似度阈值  $>$  85% 确证成分信息。

### 1.4 数据处理

基于 NIST MS Search 2.0 质谱数据库 (Version 2.0g) 对 GC-MS 联用系统检测的色谱峰进行物质归属分析, 各挥发性成分的定量评估采用色谱峰面积归一化法, 计算其相对百分含量。试验数据经 OriginPro 2024 软件进行可视化制图, 采用 SPSS 26.0 统计软件实施方差分析与差异显著性检验, 运用 SMICA 软件进行 OPLS-DA 分析。定量数据统一以  $\bar{x} \pm s$  表征,  $P$  值  $<$  0.05 认为具有显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 基于 GC-MS 进行不同生长部位椒蒿挥发油成分差异性分析

2.1.1 不同生长部位的椒蒿挥发油成分 由表 1 可知, 3 个生长部位共鉴定出 61 种物质, 主要包括萜烯类(22 种)、醇类(11 种)、酮类、醛类、脂肪酸等物质。萜烯类物质在叶片中的相对含量较高, 在茎部和根部的较低。这可能与光合作用以及叶片中萜烯合成酶(TPS)和氧化萜醛环化酶(OSC)基因的表达量高于根和茎有关<sup>[15]</sup>。叶片作为植物与外界环境交互的核心界面, 可能会生成更多的萜烯类化合物以应对环境压力, 例如抵御病虫害。

这种防御机制可能导致叶片中萜烯类物质的相对含量较高<sup>[16-17]</sup>。醇类物质在根部的相对含量较高, 主要是根部作为植物体物质吸收与储存的核心器官, 可能更专注于某些代谢途径, 如氮吸收和根系发育相关的代谢, 从而导致醇类物质在根部积累<sup>[18]</sup>。

根、茎、叶中分别检出 27, 27, 47 种化合物, 与作燕等<sup>[19]</sup>检出叶中 23 种化合物, 茎中 21 种化合物存在差异, 但一些主要成分如  $\beta$ -罗勒烯、萜品烯等相对含量在叶中高于茎部的结论与试验结果一致。这可能与椒蒿生长的环境有关, 新疆奇台属于北疆, 而阿克苏地处南疆, 气候条件存在差异, 此外提取方法也是导致差异的原因, 水蒸气蒸馏法因反复循环蒸馏, 常温水冷凝容易使挥发性成分流

表 1 GC-MS 检测不同生长部位椒蒿挥发油成分<sup>†</sup>

Table 1 GC-MS analysis of the volatile oil components from different plant parts of *A. dracuncululus* L.

化合物	保留时间/min	相对含量/%			化合物	保留时间/min	相对含量/%		
		根	茎	叶			根	茎	叶
乙酰丙酸	5.53	4.16±0.14 <sup>a</sup>	1.22±0.10 <sup>b</sup>	0.34±0.18 <sup>c</sup>	蓝桉醇	17.32	—	0.66±0.21	—
$\gamma$ -榄香烯	7.16	—	—	0.05±0.02	石竹素	17.33	0.33±0.13	—	—
$\alpha$ -蒎烯	7.74	1.23±0.11 <sup>c</sup>	1.71±0.13 <sup>b</sup>	4.85±0.10 <sup>a</sup>	棕榈醛	17.49	—	0.23±0.08 <sup>b</sup>	0.54±0.14 <sup>a</sup>
$\alpha$ -水芹烯	8.44	0.07±0.02	0.13±0.04	0.13±0.04	葎草烯	17.65	1.49±0.12 <sup>a</sup>	0.26±0.07 <sup>b</sup>	0.15±0.05 <sup>b</sup>
$\beta$ -蒎烯	8.54	0.12±0.01 <sup>c</sup>	0.46±0.10 <sup>b</sup>	0.94±0.12 <sup>a</sup>	桉油烯醇	17.86	1.67±0.02 <sup>c</sup>	3.21±0.19 <sup>b</sup>	3.66±0.23 <sup>a</sup>
$\beta$ -萜品烯	8.55	0.41±0.13 <sup>b</sup>	0.63±0.19 <sup>a</sup>	0.75±0.12 <sup>a</sup>	茵陈二炔酮	18.09	4.32±0.04 <sup>a</sup>	—	—
香叶醇	8.69	—	—	0.55±0.10	1-二十烯	19.86	—	—	0.10±0.02
1,4-桉叶素	9.15	0.33±0.10	—	—	植酮	19.98	—	0.34±0.13	0.51±0.13
$\beta$ -伞花烃	9.33	0.30±0.05 <sup>a</sup>	0.17±0.03 <sup>b</sup>	0.08±0.04 <sup>c</sup>	新植二烯	20.38	0.63±0.10 <sup>c</sup>	0.93±0.16 <sup>b</sup>	2.39±0.16 <sup>a</sup>
D-柠檬烯	9.41	0.82±0.17	0.86±0.08	0.69±0.14	植物醇	20.38	—	0.56±0.14 <sup>b</sup>	1.46±0.08 <sup>a</sup>
$\beta$ -罗勒烯	9.65	0.89±0.09 <sup>c</sup>	1.57±0.12 <sup>b</sup>	1.84±0.10 <sup>a</sup>	月桂烯	20.73	0.50±0.03 <sup>b</sup>	0.82±0.21 <sup>a</sup>	0.95±0.11 <sup>a</sup>
桃金娘烯醇	10.09	—	1.79±0.10 <sup>a</sup>	0.44±0.13 <sup>b</sup>	抗坏血酸二棕榈酸酯	21.29	—	—	4.10±0.42
$\gamma$ -松油烯	10.43	—	—	0.04±0.03	亚油酸	23.02	—	—	1.28±0.04
别罗勒烯	10.96	—	—	0.57±0.27	$\alpha$ -亚麻酸	23.08	—	—	4.39±0.02
草蒿脑	12.11	0.38±0.12 <sup>b</sup>	0.60±0.11 <sup>a</sup>	0.52±0.09 <sup>ab</sup>	硬脂酸	23.71	—	—	0.06±0.02
3-辛酮	12.71	—	0.13±0.05	—	二十七烷醇	23.84	2.69±0.22	—	—
小茴香醇	12.79	—	—	0.33±0.01	二十(烷)醛	23.84	0.67±0.13	—	—
花侧柏烯	13.13	—	—	0.15±0.09	棕榈酸	24.18	—	—	0.09±0.01
甲基丁香酚	14.85	—	0.27±0.01	0.44±0.18	东莨菪内酯	24.59	—	—	0.54±0.15
十五醛	14.98	—	—	1.70±0.18	正二十四醛	25.30	1.24±0.15	—	—
石竹烯	15.28	—	0.19±0.07	0.34±0.23	邻苯二甲酸双(6-甲基	25.93	4.45±0.16	—	—
$\beta$ -柏木烯	15.38	—	—	0.15±0.07	庚基)酯				
$\beta$ -倍半水芹烯	15.53	—	—	0.12±0.08	(Z)-三十五碳-17-烯	26.52	0.78±0.10	—	—
8-氧代香叶醇	15.75	—	—	0.20±0.14	油酸酰胺	27.43	—	—	0.30±0.13
香树烯	15.81	—	—	0.09±0.05	角鲨烯	27.64	0.12±0.03	0.25±0.13	0.32±0.14
(Z,E)- $\alpha$ -法尼烯	15.95	—	—	0.09±0.02	二十八烷醇	29.45	—	1.6±0.19	—
3-十五烷酮	16.05	—	—	0.60±0.16	$\beta$ -谷甾醇	30.19	0.71±0.16	—	—
2-十九烷酮	16.09	—	—	0.60±0.21	菜油甾醇	31.77	3.37±0.17	—	—
$\beta$ -甲基紫罗兰酮	16.23	—	—	0.22±0.09	豆甾醇	32.10	7.36±0.65 <sup>a</sup>	2.55±0.19 <sup>b</sup>	1.44±0.12 <sup>c</sup>
$\beta$ -细辛脑	16.67	—	10.78±0.12 <sup>b</sup>	18.05±0.10 <sup>a</sup>	$\gamma$ -谷甾醇	32.98	8.51±0.12 <sup>a</sup>	4.49±0.23 <sup>b</sup>	1.33±0.12 <sup>c</sup>
榄香素	16.69	2.30±0.15	—	—	$\alpha$ -香树精	34.56	—	3.49±0.18 <sup>a</sup>	1.51±0.01 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。



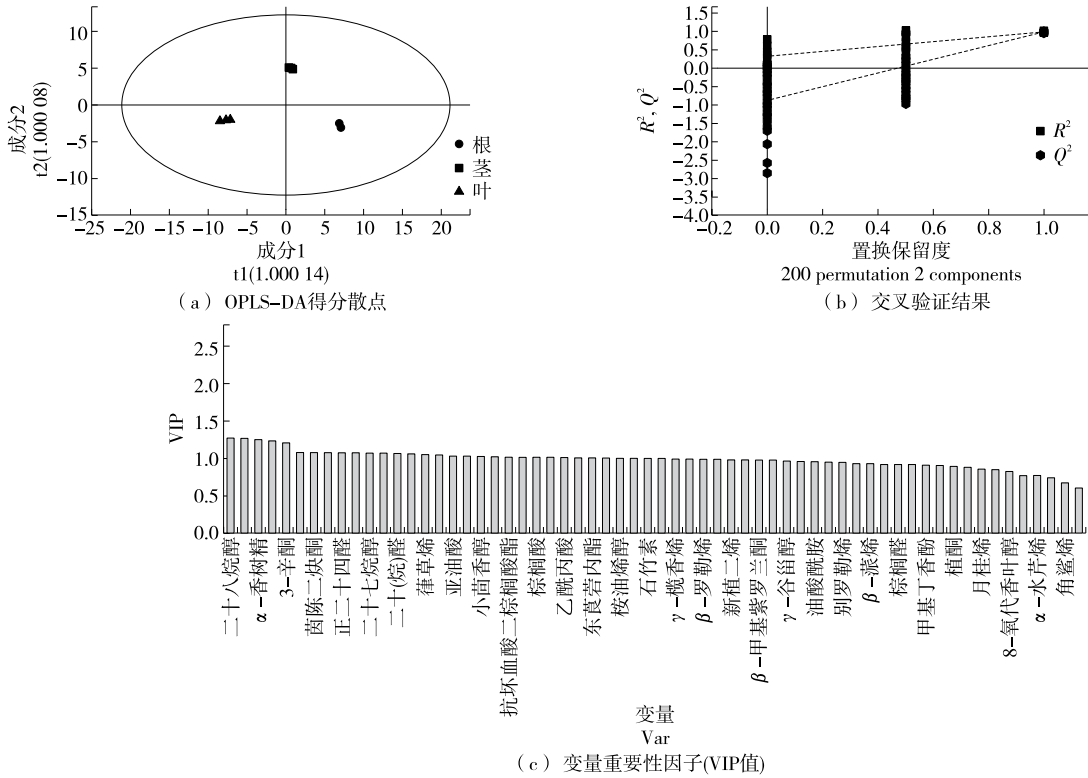


图2 不同生长部位椒蒿挥发油成分正交偏最小二乘判别分析  
Figure 2 OPLS-DA of volatile oil components from different plant parts of *A. dracunculus* L.

异<sup>[24]</sup>, 出现差异的原因可能与研究对象不同有关。

图3可知,角鲨烯、 $\beta$ -柏木烯等物质在3个生长年限内变化

2.2.2 不同生长年限椒蒿挥发油成分聚类热图分析

由 幅度较小, 豆甾醇、 $\alpha$ -蒎烯等物质含量随着生长年限的增

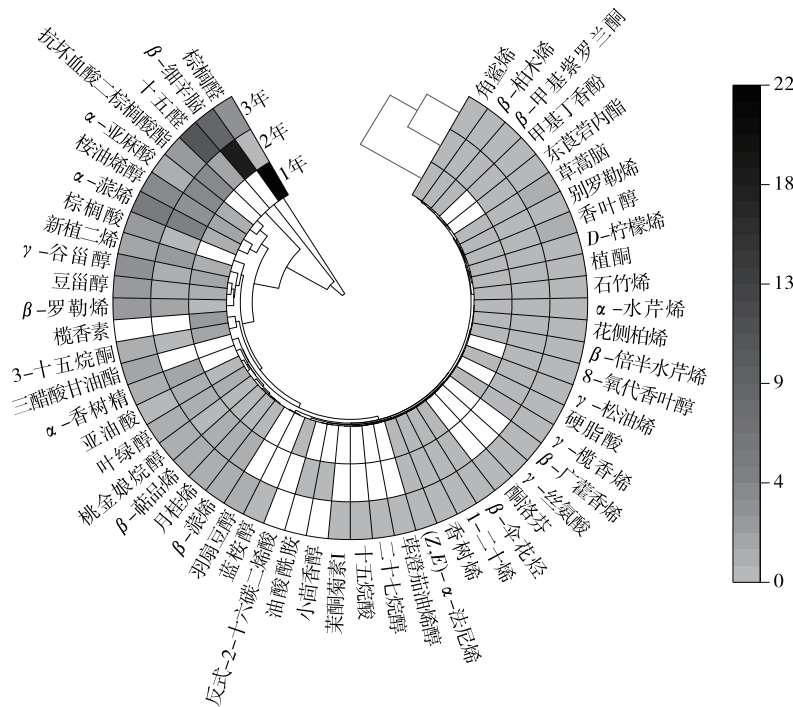


图3 不同生长年限椒蒿挥发油成分环状热图

Figure 3 Circular heatmap of volatile oil components from different growth years of *A. dracunculus* L.

表2 GC-MS检测不同年限椒蒿挥发油成分<sup>†</sup>Table 2 GC-MS analysis of volatile oil components from *A. dracuncululus* L. with different growth years

化合物	保留时间/min	相对含量/%			化合物	保留时间/min	相对含量/%		
		1年	2年	3年			1年	2年	3年
$\gamma$ -榄香烯	7.16	0.03±0.02 <sup>c</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	$\beta$ -甲基紫罗兰酮	16.23	0.25±0.01	0.22±0.05	0.20±0.01
$\alpha$ -蒎烯	7.74	1.40±0.17 <sup>c</sup>	4.85±0.17 <sup>b</sup>	5.66±0.01 <sup>a</sup>	$\beta$ -细辛脑	16.67	—	18.05±0.10 <sup>a</sup>	8.32±0.05 <sup>b</sup>
$\alpha$ -水芹烯	8.44	0.09±0.04	0.13±0.08	0.24±0.16	榄香素	16.69	2.74±0.11	—	—
$\beta$ -蒎烯	8.54	0.35±0.35 <sup>c</sup>	0.94±0.05 <sup>b</sup>	1.08±0.01 <sup>a</sup>	蓝桉醇	16.89	—	—	0.63±0.19
$\beta$ -蒈品烯	8.55	0.32±0.10 <sup>c</sup>	0.75±0.10 <sup>b</sup>	1.06±0.02 <sup>a</sup>	棕榈酸	17.49	—	0.09±0.02 <sup>b</sup>	2.91±0.14 <sup>a</sup>
香叶醇	8.69	0.21±0.07 <sup>c</sup>	0.55±0.03 <sup>b</sup>	0.74±0.04 <sup>a</sup>	棕榈醛	17.49	21.96±0.27 <sup>a</sup>	0.54±0.01 <sup>c</sup>	3.30±0.04 <sup>b</sup>
$\beta$ -广藿香烯	9.12	—	—	0.05±0.02	桉油烯醇	17.86	1.52±0.03 <sup>c</sup>	3.66±0.01 <sup>b</sup>	4.08±0.02 <sup>a</sup>
$\beta$ -伞花烃	9.33	0.10±0.06	0.08±0.01	0.06±0.01	茱萸酮 I	18.37	—	—	0.22±0.03
<i>D</i> -柠檬烯	9.41	0.23±0.13 <sup>c</sup>	0.69±0.10 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>b</sup>	十五烷酸	19.08	—	—	0.20±0.06
$\beta$ -罗勒烯	9.65	0.27±0.12 <sup>c</sup>	1.84±0.11 <sup>b</sup>	2.32±0.07 <sup>a</sup>	反式-2-十六碳二烯酸	19.53	0.33±0.12	—	—
桃金娘烷醇	10.09	0.31±0.06 <sup>b</sup>	0.44±0.15 <sup>b</sup>	1.30±0.01 <sup>a</sup>	1-二十烯	19.86	0.07±0.02 <sup>ab</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>
$\gamma$ -松油烯	10.43	0.02±0.02 <sup>b</sup>	0.04±0.02 <sup>ab</sup>	0.06±0.02 <sup>a</sup>	植酮	19.98	0.35±0.10	0.51±0.12	0.45±0.12
别罗勒烯	10.96	0.20±0.12 <sup>b</sup>	0.57±0.12 <sup>a</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>	新植二烯	20.38	1.35±0.10 <sup>c</sup>	2.39±0.05 <sup>a</sup>	1.52±0.04 <sup>b</sup>
草蒿脑	12.11	0.40±0.13 <sup>b</sup>	0.52±0.18 <sup>b</sup>	0.80±0.06 <sup>a</sup>	叶绿醇	20.38	0.85±0.01 <sup>b</sup>	1.46±0.40 <sup>a</sup>	0.82±0.08 <sup>b</sup>
三醋酸甘油酯	12.62	—	—	1.51±0.03	月桂烯	20.73	0.42±0.11 <sup>b</sup>	0.95±0.10 <sup>a</sup>	1.24±0.02 <sup>a</sup>
小茴香醇	12.79	—	0.33±0.02	—	抗坏血酸二棕榈酸酯	21.29	—	4.10±0.93 <sup>a</sup>	2.36±0.11 <sup>b</sup>
花侧柏烯	13.13	0.07±0.03	0.15±0.02	0.24±0.15	亚油酸	23.02	0.34±0.10 <sup>c</sup>	1.28±0.10 <sup>a</sup>	0.69±0.21 <sup>b</sup>
$\gamma$ -丝氨酸	14.80	—	—	0.11±0.02	$\alpha$ -亚麻酸	23.08	0.97±0.08 <sup>c</sup>	4.39±0.01 <sup>a</sup>	1.12±0.03 <sup>b</sup>
甲基丁香酚	14.85	—	0.44±0.08	0.38±0.08	硬脂酸	23.71	—	0.06±0.01	0.06±0.01
十五醛	14.98	—	1.70±0.28 <sup>b</sup>	10.55±0.01 <sup>a</sup>	二十七烷醇	23.84	—	—	0.19±0.01
石竹烯	15.28	0.63±0.06 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>b</sup>	0.36±0.09 <sup>b</sup>	东莨菪内酯	24.59	—	0.54±0.11 <sup>a</sup>	0.43±0.11 <sup>b</sup>
$\beta$ -柏木烯	15.38	0.20±0.10 <sup>b</sup>	0.34±0.10 <sup>ab</sup>	0.43±0.02 <sup>a</sup>	酮洛芬	25.83	—	—	0.12±0.02
$\beta$ -倍半水芹烯	15.53	0.04±0.02 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.19±0.02 <sup>a</sup>	油酸酰胺	27.43	—	0.30±0.11	—
萜澄茄油烯醇	15.75	—	—	0.16±0.02	角鲨烯	27.64	0.21±0.11 <sup>b</sup>	0.32±0.09 <sup>ab</sup>	0.38±0.01 <sup>a</sup>
8-氧代香叶醇	15.75	—	0.20±0.08	0.25±0.13	豆甾醇	32.10	1.40±0.17 <sup>b</sup>	1.44±0.21 <sup>b</sup>	2.33±0.05 <sup>a</sup>
香树烯	15.84	0.02±0.01 <sup>c</sup>	0.09±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>	$\gamma$ -谷甾醇	32.98	1.52±0.16 <sup>b</sup>	1.33±0.01 <sup>b</sup>	3.15±0.11 <sup>a</sup>
( <i>Z,E</i> )- $\alpha$ -法尼烯	15.95	0.05±0.01 <sup>b</sup>	0.09±0.02 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	羽扇豆醇	34.54	—	—	0.80±0.10
3-十五烷酮	16.05	1.60±0.04 <sup>a</sup>	0.60±0.01 <sup>c</sup>	0.78±0.09 <sup>b</sup>	$\alpha$ -香树精	34.56	—	1.51±0.03	1.42±0.23

† 字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

长而增加,有些物质则仅在3年生椒蒿中检测出,如 $\beta$ -广藿香烯、二十七烷醇等。Zhao等<sup>[25]</sup>在对不同生长年限虎眼万年青的代谢成分及微量元素进行比较时发现,不同的生长年限,虎眼万年青的主要物质含量变化显著,皂苷、甾醇含量随着年份的增长而增加,但多糖含量降低,与试验结果一致。

### 2.2.3 不同生长年限椒蒿挥发油成分 OPLS-DA 分析

如图4(a)所示,椒蒿挥发油成分在生长年限维度呈显著分离趋势。模型验证参数显示:自变量解释率与因变量解释率均达到较高水平,且模型预测能力指标 $Q^2$ 显著优于经验阈值0.5,表明该模型具有可靠的分类效能与

预测精度。从空间分布特征分析,1年生样本集中于第一象限,3年生样本分布于第三象限,2年生样本聚类于第四象限,同一年限组内样本呈高度聚集性(组内变异系数低),进一步佐证不同生长年限椒蒿挥发油成分存在显著性差异。通过进行200次置换检验,得到交叉验证模型图[图4(b)],其 $Q^2$ 回归线与Y轴的交点 $< 0$ ,表明该模型没有过度拟合的情况,因此可以认为该模型是有效的。由图4(c)可知,筛选出 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -罗勒烯、 $\alpha$ -亚麻酸、新植二烯及 $\beta$ -细辛脑等35种代谢物(VIP $> 1.0$ )。这些化合物因其高VIP值,对椒蒿不同生长年限的挥发油成分分类具有显著的判别能力,表明其能够作为挥发油成分中与生长

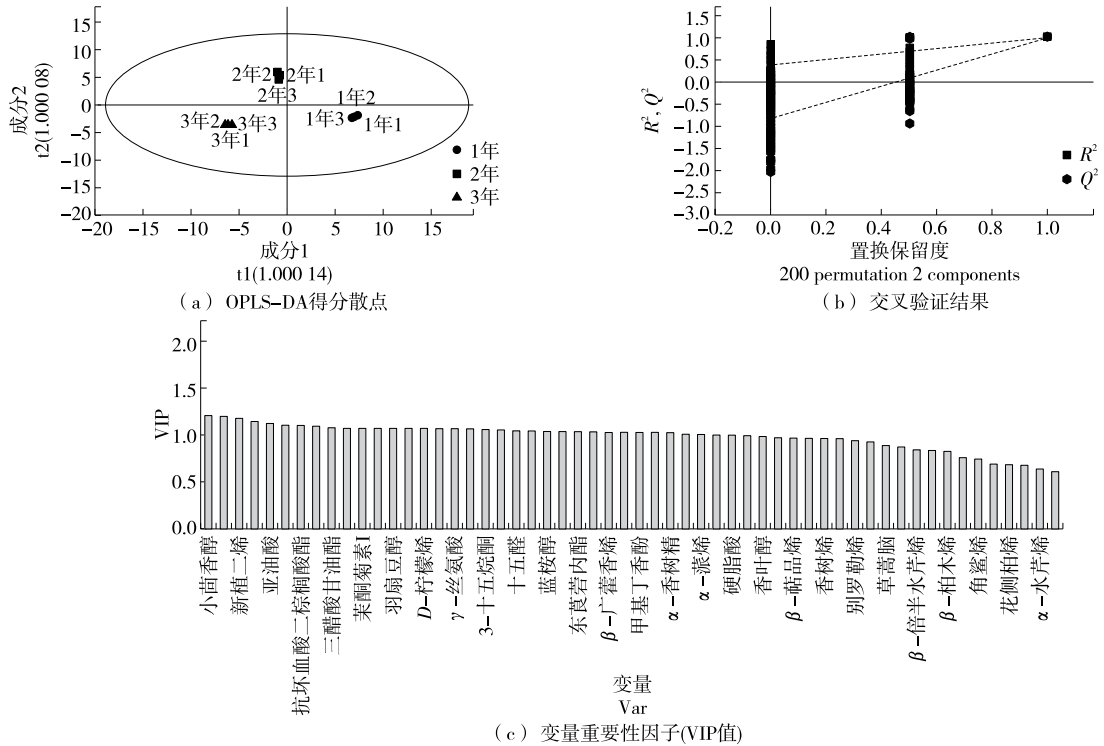


图4 不同生长年限椒蒿挥发油成分正交偏最小二乘判别分析

Figure 4 OPLS-DA of volatile oil components from different growth years of *A. dracunculus* L.

年限相关的特异性标志物。

### 3 结论

不同生长部位(根、茎、叶)椒蒿中共检出 62 种化合物,不同生长年限(1,2,3年)椒蒿中共鉴定出 56 种化合物,主要以萜烯类和醇类物质为主;叶片中的物质种类及相对含量较高,随着生长年限的增加,椒蒿挥发油成分呈逐渐积累趋势;通过 OPLS-DA 分析,3 个生长部位共筛选出桃金娘烯醇、豆甾醇、 $\alpha$ -蒎烯等 32 种化合物(VIP 值>1.0),这些物质可以作为对根、茎、叶进行差异性分析的标志性物质; $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -罗勒烯、新植二烯等 35 种化合物(VIP>1.0)可以作为不同生长年限椒蒿的标志性物质。后续可通过检测椒蒿中的多酚类物质探究其抗氧化活性,也可通过观测环境因子探究生长环境与椒蒿品质间的关系。

#### 参考文献

[1] WEINOEHL S, FEISTEL B, PISCHEL I, et al. Comparative evaluation of two different *Artemisia dracunculus* L. cultivars for blood sugar lowering effects in rats[J]. *Phytotherapy Research*, 2012, 26(4): 625-629.

[2] MOHAMMADI M M, SAEB M, NAZIFI S. Experimental hypothyroidism in adult male rats: the effects of *Artemisia dracunculus* aqueous extract on serum thyroid hormones, lipid profile, leptin, adiponectin, and antioxidant factors[J].

*Comparative Clinical Pathology*, 2020, 29(2): 485-494.

[3] 朱海东, 曾茂茂, 何志勇, 等. 不同产地香榧假种皮精油组分分析[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 62-68.

ZHU H D, ZENG M M, HE Z Y, et al. Effects of origin on the compositions of essential oil from fresh aril of *Torreya grandis* cv. Merrilli prepared by hydro-distillation[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 62-68.

[4] RAWAT A, RAWAT M, PRAKASH O M, et al. Comparative study on eucalyptol and camphor rich essential oils from rhizomes of *Hedychium spicatum* Sm. and their pharmacological, antioxidant and antifungal activities[J]. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 2022, 94(3): e20210932.

[5] RAWAT A, KHOLIYA S, CHAUHAN A, et al. Chemical composition of the essential oil from different plant parts of *Zingiber zerumbet* Sm. grown in the foothills of Uttarakhand[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2023, 108: 104627.

[6] ILARDI V, BADALAMENTI N, BRUNO M. Chemical composition of the essential oil from different vegetative parts of *Foeniculum vulgare* subsp. *Piperitum* (*Ucria*) *Coutinho* (*Umbelliferae*) growing wild in Sicily[J]. *Natural Product Research*, 2022, 36(14): 3 587-3 597.

[7] BERRAMDANE T, GOURINE N, ZITOUNI A, et al. Essential oils composition of different *Achillea santolina* L. plant parts growing in Algeria[J]. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 2018, 18: 265-269.

- [8] DÉTÁR E, NÉMETH É Z, GOSZTOLA B, et al. Effects of variety and growth year on the essential oil properties of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2020, 90: 104020.
- [9] WANG Y P, WANG Z X, ZHANG J J, et al. Evaluation of the quality of codonopsis radix in different growth years by the AHP-CRITIC method[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2023, 20(6): e202201108.
- [10] PEJIN B, VUJISIC L, SABOVLJEVIC M, et al. Preliminary data on essential oil composition of the Moss *Rhodobryum ontariense*(kindb.) kindb[J]. *Cryptogamie, Bryologie*, 2011, 32(2): 113-117.
- [11] AISSA I, ZNATI M, ZARDI-BERGAOUI A, et al. GC and GC-MS integrated analyses and *in vitro* antibacterial, anticholinesterase, anti-tyrosinase, and anti-5-lipoxygenase potential of *Inula viscosa* root fractionated essential oil[J]. *South African Journal of Botany*, 2019, 125: 386-392.
- [12] 庞敏, 崔秀明. 超临界 CO<sub>2</sub> 提取葛缕子精油及其成分分析[J]. *食品与机械*, 2022, 38(1): 175-179.
- PANG M, CUI X M. Extraction of *Carum carvi* L. essential oil by supercritical carbon dioxide and its composition analysis[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(1): 175-179.
- [13] 曾浩洋. 新疆椒蒿化学成分的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2013: 21-22.
- ZENG H Y. Study on the chemical constituents from *Artemisia dracunculus* L.[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2013: 21-22.
- [14] 徐晨曦, 张赞彬, 汪馨, 等. 西红花精油的提取工艺研究及其抗氧化性分析[J]. *中国食物与营养*, 2022, 28(5): 37-40.
- XU C X, ZHANG Y B, WANG Y, et al. Extraction technology and antioxidant activity study of saffron essential oil[J]. *Food and Nutrition in China*, 2022, 28(5): 37-40.
- [15] ZHANG H Y, HE Q, XING L S, et al. The haplotype-resolved genome assembly of autotetraploid rhubarb *Rheum officinale* provides insights into its genome evolution and massive accumulation of anthraquinones[J]. *Plant Communications*, 2024, 5(1): 100677.
- [16] DO NASCIMENTO K F, MOREIRA F M F, ALENCAR SANTOS J, et al. Antioxidant, anti-inflammatory, antiproliferative and antimycobacterial activities of the essential oil of *Psidium guineense* Sw. and *Spathulenol*[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, 210: 351-358.
- [17] LI D S, HUA J, LUO S H, et al. An extremely promiscuous terpenoid synthase from the Lamiaceae plant *Colquhounia coccinea* var. *mollis* catalyzes the formation of sester-/ di-/ sesqui-/ mono-terpenoids[J]. *Plant Communications*, 2021, 2(5): 100233.
- [18] FRACCHIA F, GUINET F, ENGLE N L, et al. Microbial colonisation rewrites the composition and content of poplar root exudates, root and shoot metabolomes[J]. *Microbiome*, 2024, 12(1): 173.
- [19] 仵燕, 王春娥, 玛衣拉·阿不拉克, 等. GC-MS分析椒蒿不同部位挥发油的化学成分[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2011, 32(3): 385-387.
- WU Y, WANG C E, MAYILA·ABULAKE, et al. Analysis of the chemical components of volatile oil from different parts of *Artemisia dracunculus* L with GC-MS[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences)*, 2011, 32(3): 385-387.
- [20] 杨晓忱. 宁夏富硒大米的矿物元素判别及品质评价[J]. *食品与机械*, 2022, 38(4): 89-94.
- YANG X C. Mineral element discrimination of Selenium-enriched rice in Ningxia and its quality evaluation[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(4): 89-94.
- [21] YUN J, CUI C J, ZHANG S H, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea[J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 130033.
- [22] 颜廷宇, 林洁鑫, 朱建新, 等. 电子鼻和 GC-MS 结合化学计量学应用于高香红茶与传统工夫红茶香气特征的研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 252-261.
- YAN T Y, LIN J X, ZHU J X, et al. Analysis of E-nose and GC-MS combined with chemometrics applied to the aroma characteristics of high aroma black tea and traditional congou black tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(18): 252-261.
- [23] WANG J, XIAO Q Y, HUANG H B, et al. Non-target screening and identification of the significant quality markers in the wild and cultivated *Cordyceps sinensis* using OPLS-DA and feature-based molecular networking[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2023, 51(9): 100302.
- [24] ZHANG J Y, GU X, ZHAO Y Y, et al. Differences in gene expression and endophytic bacterial diversity in *Atractylodes macrocephala* Koidz. rhizomes from different growth years[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 2022, 68(5): 353-366.
- [25] ZHAO X L, LIN G Y, LIU T, et al. Comparative analysis of metabolic compositions and trace elements of *Ornithogalum caudatum* with different growth years[J]. *ACS Omega*, 2023, 8(26): 23 889-23 900.