

## 重庆野生土荆芥不同部位精油成分分析

刘世尧<sup>1,①</sup>, 张智宏<sup>1</sup>, 卞京军<sup>2</sup>, 樊志彤<sup>3</sup>

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业生态与资源保护站, 重庆 401121; 3. 重庆市江津区云雾坪林场, 重庆 402254)

**摘要:** 采用气相色谱-质谱联用法对重庆野生土荆芥 [*Dysphania ambrosioides* (Linn.) Mosyakin et Clemants] 果期的果实、叶片、细枝、主茎、根系精油成分进行了鉴定和分析。结果表明: 重庆野生土荆芥不同部位精油得率差异明显, 果实、叶片的精油含量明显高于细枝、主茎、根系。全株共鉴定出 62 种成分, 果实、叶片、细枝、主茎、根系分别鉴定出 24、17、35、31 和 14 种成分, 均以单萜烯类成分为主。果实、叶片、细枝中共有成分有 13 种, 其中,  $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烃含量均较高。主茎和根系精油中成分含量整体均较低, 主茎精油中仅  $\alpha$ -松油烯和正二十烷的含量高于  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 根系精油中仅棕榈酸、正二十一烷、邻苯二甲酸二丁酯、连三甲苯、正二十烷的含量高于  $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯含量在根系中最高。果实、细枝、主茎、根系中特有成分分别有 3、9、11、5 种,  $\alpha$ -松油烯、驱蛔素仅在果实、叶片、细枝、主茎精油中有检出, 对伞花烃仅在果实、叶片、细枝精油中有检出。乙酸香叶酯、植物醇、香叶基香叶醇、 $\alpha$ -蒎烯均首次从土荆芥中检出。综上所述, 重庆野生土荆芥不同部位精油主要成分组成和含量均存在差异, 果实、叶片是精油的主要贮存部位,  $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烃为主要成分, 土荆芥可能通过根系分泌棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯等成分达到入侵目的。

**关键词:** 土荆芥; 精油; 成分; 重庆

中图分类号: Q946.8; Q948.12; X176 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)03-0106-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.03.10

**Analysis on the components of essential oils from different parts of wild *Dysphania ambrosioides* in Chongqing** LIU Shiyao<sup>1,①</sup>, ZHANG Zhihong<sup>1</sup>, BIAN Jingjun<sup>2</sup>, FAN Zhitong<sup>3</sup> (1. Horticultural and Landscape Architecture College, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Agricultural Ecology and Resource Protection Station, Chongqing 401121, China; 3. Yunwuping Forestry Farm in Jiangjin of Chongqing, Chongqing 402254, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(3): 106–109

**Abstract:** The components of essential oils from the fruits, leaves, twigs, main stems, and roots of wild *Dysphania ambrosioides* (Linn.) Mosyakin et Clemants at fruiting stage in Chongqing were identified and analyzed by using gas chromatography-mass spectrometry method. The results show that there are significant differences in yields of essential oils from different parts of wild *D. ambrosioides* in Chongqing, the essential oil contents of the fruits and leaves are evidently higher than those of the twigs, main stems, and roots. A total of 62 components are identified from the whole plant, and 24, 17, 35, 31, and 14 components are identified from the fruits, leaves, twigs, main stems, and roots respectively, all of which are dominated by monoterpenes. There are 13 common components in fruits, leaves, and twigs, among which, the contents of  $\alpha$ -terpinene, 4-carene, and *p*-cymene are all relatively high. The contents of components in the essential oils of main stems and roots are all relatively low in general, and only the contents of  $\alpha$ -terpinene and eicosane in the essential oil of main stems are higher than  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; in the essential oil of roots, only the contents of hexadecanoic acid, heneicosane, dibutyl phthalate, 1,2,3-trimethylbenzene, and eicosane are higher than  $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , the contents of hexadecanoic acid and dibutyl phthalate are both the highest in roots. There are 3, 9, 11, and 5 unique components in fruits, twigs, main stems, and roots respectively,  $\alpha$ -terpinene and ascaridole are only detected in the essential oils of fruits, leaves, twigs, and main stems, and *p*-cymene is only detected in the essential oils of fruits, leaves, and twigs. Fragranyl acetate, phytol, geranyl geraniol, and  $\alpha$ -pinene are all detected in *D. ambrosioides* for the first time. In conclusion, there are differences in composition and contents of the main components of essential oils from different parts of wild *D. ambrosioides* in Chongqing, fruits and leaves are the main storage parts of essential oils,  $\alpha$ -terpinene, 4-carene, and *p*-cymene are the main components, and *D. ambrosioides* may achieve the purpose of invasion by secreting components such as hexadecanoic acid and dibutyl phthalate through the roots.

收稿日期: 2024-07-29

基金项目: UNDP-GEF(6) 外来入侵物种防控项目(00100197 R-IAST2021-12); 重庆市农业农村委员会重点外来入侵物种防控技术专项(HRZ24C043)

作者简介: 刘世尧(1979—), 男, 辽宁阜新人, 博士, 副教授, 主要从事植物资源保护与利用研究。

①通信作者 E-mail: cqliushiyao@126.com

引用格式: 刘世尧, 张智宏, 卞京军, 等. 重庆野生土荆芥不同部位精油成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(3): 106–109.

**Key words:** *Dysphania ambrosioides* (Linn.) Mosyakin et Clemants; essential oil; component; Chongqing

土荆芥 [*Dysphania ambrosioides* (Linn.) Mosyakin et Clemants] 原产热带美洲, 现广泛分布于全世界温带至热带地区<sup>[1]</sup>, 为重庆主要外来入侵植物之一。土荆芥具有强烈芳香气味, 全株富含挥发油, 对乡土植物具有化感作用<sup>[2]</sup>。国内民间常以带果穗的土荆芥全草作药用, 具有一定的祛风、杀虫、通经止痛功效, 可用于治疗皮肤风湿痹痛、痛经、闭经、皮肤湿疹和蛇虫咬伤等<sup>[3]</sup>。

已有研究表明: 湖北野生土荆芥全草鲜样精油得率为 0.8%, 主要成分为薄荷醇、 $\alpha$ -松油烯、香芹烯、对伞花烯、1,8-桉叶油素等<sup>[4]</sup>; 福建阴干土荆芥全草精油含  $\alpha$ -松油烯、对-聚伞花素、驱蛔素等 13 种对-薄荷烷型单萜类化合物<sup>[5]</sup>; 广西桂林土荆芥鲜果精油含量为 0.8%, 成分主要是 3-异丙基-6-甲基-7-氧杂双环[4.1.0]庚-2-酮、1-甲基-4-(1-甲基己烯基)环己烯、邻甲基异丙苯、瑞香草酚、驱蛔素, 具有抗菌作用, 并可抑制 HepG2 细胞增殖<sup>[6]</sup>。杜成智等<sup>[7]</sup>从江苏、河北、四川等 10 个产地土荆芥精油中共检出 21 种成分, 以薄荷酮、异薄荷酮、胡薄荷酮、丁香烯、棕榈酸、亚麻酸为主, 不同产地的相对成分含量差异较大。陈利军等<sup>[8]</sup>测得河南信阳土荆芥干燥花序和干叶精油含量分别为 4.02% 和 1.64%, 成分主要有驱蛔素、2-萜烯、 $\alpha$ -松油烯, 但不同部位的相对含量差异较大。由此可见, 土荆芥精油组成和含量因产地不同具有一定差异。目前, 重庆野生土荆芥精油成分组成尚未见报道。本研究采用气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 法对重庆市九龙坡区野生土荆芥不同部位精油成分组成进行了检测和分析, 以期对重庆土荆芥的资源化利用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

于 2023 年 7 月底, 在重庆市九龙坡区南循环道附近 (北纬 29°30'04"、东经 106°25'37") 随机选取 3 个野生土荆芥居群, 采集全草后分别剪取果实、叶片、细枝、主茎、根系, 50 °C 烘干至恒质量, 粉碎后过筛 (80 目), 设置 3 个重复。

### 1.2 方法

使用万分之一电子天平称取果实、叶片、细枝、主茎、根系粉末各 100 g, 加入重蒸水 1 200 g, 加热至微沸腾, 蒸馏提取 8 h, 自然冷却后油水分层, 精确计量精油体积。按 GB/T 4472—2011 中的方法测定精油相对密度, 按 GB/T 14454.4—2008 中的方法测定折光指数。精密量取果实、叶片、细枝精油 10  $\mu$ L, 加入 5.03 mg  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> 正己烷定容的精萘 (内标) 20  $\mu$ L, 正己烷定容至 2 mL, 0.45  $\mu$ m 有机滤膜过滤, 在 Nexis 2030-QP2020NX 气相色谱-质谱联用仪 (日本 Shimadzu 公司) 进样, 进样量 1  $\mu$ L。称取主茎和根系粉末 20 g, 100 mL 乙酸乙酯浸泡 2 h, 超声提取 40 min, 室温、3 000 r  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 离心 10 min, 取上清液, 减压浓缩并挥干溶剂, 加入 5.03 mg  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> 正己烷定

容的精萘 (内标) 50  $\mu$ L, 正己烷定容至 10 mL, 0.45  $\mu$ m 有机滤膜过滤后进样, 进样量 1  $\mu$ L。

气相色谱条件: SH-Rxi-5Sil MS 毛细管柱 (30 m  $\times$  0.25 mm, 0.25  $\mu$ m); 载气为高纯氮气, 进样口温度 230 °C, 分流进样, 进样时间 1 min, 分流比为 1。进样按恒压力模式控制, 总压力 68.3 kPa, 总流量 50 mL  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, 柱流量 1.2 mL  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, 线速度 39.7 cm  $\cdot$  s<sup>-1</sup>, 吹扫流量 3.0 mL  $\cdot$  min<sup>-1</sup>。柱温箱程序升温: 80 °C 维持 5 min; 2 °C  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 升温至 120 °C, 维持 5 min, 5 °C  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 升温至 220 °C, 色谱分离时间 50 min。

质谱条件: EI 离子源, 温度 230 °C, 接口温度 230 °C, 溶剂延迟时间 2 min, 质谱检测时间 3~45 min, 采集方式为 Scan, 间隔时间 0.30 s; 扫描速度 3 333 amu  $\cdot$  s<sup>-1</sup>; 质量扫描范围  $m/z$  50~600。

### 1.3 数据处理和分析

采用计算机谱库 (NIST17/17S/WILEY) 自动检索, 并结合相关文献对精油成分进行解析定性, 根据精萘内标法<sup>[9]</sup> 计算各成分含量。

## 2 结果和分析

通过蒸馏法从重庆野生土荆芥果实、叶片、细枝中分别分离到约 3.4、3.2、0.1 mL 精油; 根系和主茎未能得到精油, 成分通过溶剂提取再经 GC-MS 检测得到。结果 (表 1) 显示: 从重庆野生土荆芥 5 个部位的精油中共鉴定出成分 62 种, 包括单萜烯类 13 种、醇类 9 种、烷烃类 6 种、酯类 6 种、酮类 5 种、氧化物类 5 种、苯类 4 种、醛类 3 种、酚类 3 种、伞花烯类 2 种、脂肪族萜类 2 种、呋喃类 1 种、烯炔类 1 种、二萜烯类 1 种、脂肪酸 1 种, 说明重庆野生土荆芥精油成分组成以单萜烯类为主。果实精油中共鉴定出 24 种成分, 以  $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烯为主, 含量均高于 4 500 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 叶片精油中共鉴定出 17 种成分, 以 4-萜烯、 $\alpha$ -松油烯、对伞花烯为主, 含量均高于 3 900 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 细枝精油中共鉴定出 35 种成分, 以 4-萜烯、对伞花烯为主, 含量均高于 120 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 主茎精油中共鉴定出 31 种成分, 以  $\alpha$ -松油烯、正二十烷为主, 含量均高于 20 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>; 根系精油中共鉴定出 14 种成分, 含量整体均较低, 仅棕榈酸、正二十一烷、邻苯二甲酸二丁酯、连三甲苯、正二十烷含量高于 2 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>。

结果 (表 1) 还显示: 总体上看, 重庆野生土荆芥果实、叶片、细枝、主茎、根系精油含量分别为 30 592.10、28 721.20、648.40、150.40、36.70 mg  $\cdot$  kg<sup>-1</sup>。果实、叶片、细枝共有成分有 13 种, 分别为  $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烯、 $\alpha$ -二环氧柠檬烯、 $\gamma$ -松油烯、驱蛔素、*D*-柠檬烯、异驱蛔素、6-甲基-3-(1-甲基乙基)-7-氧杂双环[4.1.0]庚烷-2-酮、香芹酚、异丁酸茉莉酯、 $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -月桂烯。果实、细枝、主茎、根系分别检出特有成分 3、9、11、5 种。 $\alpha$ -松油烯、 $\alpha$ -二环氧柠檬烯、驱蛔

表1 重庆野生土荆芥不同部位精油成分组成和含量( $\bar{X}\pm SD$ )Table 1 Composition and contents of essential oils from different parts of wild *Dysphania ambrosioides* (Linn.) Mosyakin et Clemants in Chongqing ( $\bar{X}\pm SD$ )

化合物 Compound	保留时间/min Retention time	含量/(mg·kg <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup> Content <sup>1)</sup>				
		果实 Fruit	叶片 Leaf	细枝 Twig	主茎 Main stem	根系 Root
<i>DL</i> -glyceraldehyde	3.039	—	—	—	0.41±0.02	—
ethylenglycol-mono-tert-butyl ether	3.076	5.84±0.33	—	0.30±0.01	1.43±0.06	—
1,3-dimethyl-benzen	3.506	—	—	—	1.39±0.06	—
$\alpha$ -pinene	5.210	—	—	—	—	1.44±0.08
1-ethyl-4-methyl-benzene	5.873	—	—	—	1.44±0.07	—
phenol	6.255	13.47±0.71	8.33±0.35	—	—	—
$\beta$ -myrcene	6.700	13.89±0.63	14.63±0.81	0.74±0.04	—	—
1,2,3-trimethylbenzene	6.852	—	10.93±0.60	0.46±0.03	2.26±0.13	2.62±0.13
3-carene	7.347	11.13±0.57	—	0.45±0.02	—	—
4-carene	7.633	11 385.99±518.06	15 251.15±678.68	448.71±22.21	—	—
1-ethyl-2-methylbenzene	7.720	25.04±1.15	—	0.78±0.04	0.76±0.04	—
<i>p</i> -cym l ene	7.854	4 501.47±193.56	3 928.34±198.38	121.94±5.85	—	—
<i>D</i> -limonene	8.022	117.74±4.83	126.47±6.51	4.21±0.19	—	—
$\beta$ -phellandrene	8.080	23.21±1.14	21.01±1.02	0.74±0.03	—	—
(1 <i>S</i> )-(—)- $\alpha$ -pinene	8.217	—	—	—	—	1.88±0.08
$\gamma$ -terpinene	9.046	179.11±10.03	223.56±12.18	7.79±0.36	—	—
1-methyl-4-(1-methylethylidene)-cyclohexene	10.084	—	—	0.45±0.02	—	—
1-methyl-4-(prop-1-en-2-yl) benzene	10.232	21.13±0.98	—	1.35±0.08	—	—
nonanal	10.783	—	—	0.91±0.05	—	—
<i>trans</i> -1-methyl-4-(1-methylvinyl)-cyclohex-2-en-1-ol	11.480	11.46±0.60	—	—	—	—
cyclooctanone	11.556	43.43±2.00	—	0.77±0.03	2.90±0.13	1.52±0.08
1,5,8- <i>p</i> -menthatriene	12.034	—	18.33±0.77	3.20±0.15	—	—
( <i>S</i> )- <i>cis</i> -verbenol	12.709	7.90±0.43	—	—	—	1.25±0.07
dehydro-1,8-cineole	13.758	30.93±1.39	—	—	0.34±0.02	—
diethyl ester	15.250	—	—	—	1.37±0.06	—
$\alpha$ -terpinene	16.504	12 787.94±575.46	8 161.82±408.09	12.60±0.62	56.13±3.06	—
isoascaridole	16.864	84.67±4.53	71.61±3.33	0.78±0.03	0.62±0.03	—
6-methyl-3-(1-methylethyl)-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-one	17.121	54.80±3.04	35.18±1.51	1.28±0.07	—	—
( <i>E</i> )-7-pentadecene	17.164	—	—	—	1.57±0.08	—
ascaridole	17.292	118.20±5.91	98.65±4.04	3.00±0.17	3.38±0.18	—
( <i>E</i> )-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	17.789	—	—	1.94±0.10	2.22±0.12	—
<i>trans</i> -ascaridol glycol	18.020	—	24.56±1.20	—	3.80±0.16	—
(—)-(1 <i>R</i> *,4 <i>S</i> *)-1,4-dihydroxy- <i>p</i> -menth-2-ene	18.026	—	—	—	4.16±0.19	—
3-methyl-2-(3-methyl-2-butenyl)-furan	18.837	41.58±1.95	—	—	—	—
2-methyl-5-(1-methylethyl)-phenol	19.186	33.73±1.50	20.12±1.12	3.15±0.18	—	—
$\alpha$ -limonene diepoxide	19.398	630.26±31.20	321.17±14.93	1.20±0.06	8.30±0.40	—
fragranyl acetate	22.155	—	—	0.97±0.05	2.34±0.13	—
butylated hydroxytoluene	29.906	—	—	—	—	1.77±0.08
( <i>E,Z</i> )-3,7,11-trimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol	30.763	—	—	—	0.98±0.05	1.46±0.07
caryophyllene oxide	32.815	—	—	1.26±0.05	—	—
phytol	33.547	—	—	—	3.70±0.16	—
citronellyl tiglate	35.480	—	—	1.01±0.05	—	—
geranyl angelate	35.574	18.57±1.01	—	—	—	—
4,8-dimethylheptacosne	35.735	—	—	—	—	1.40±0.08
fragranyl isobutyrate	35.771	28.73±1.31	16.97±0.92	7.06±0.38	—	—
hexadecane	36.664	—	—	0.64±0.03	—	—
1-pentadecano	38.678	—	—	1.15±0.06	—	—
2,6,10-trimethyldodecane	39.414	—	—	0.83±0.04	—	—
7,11,15-trimethyl-3-methylidene-hexadec-1-ene	40.115	—	—	—	1.74±0.07	1.96±0.11
6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone	40.193	—	—	1.23±0.06	2.13±0.09	—
1-hexadecanol	41.102	—	—	2.39±0.12	1.27±0.05	—
pentabromophenol	41.535	—	—	—	1.00±0.05	—
eicosane	41.695	—	—	—	23.14±1.17	2.01±0.11
( <i>E,E</i> )-6,10,14-trimethylpentadeca-5,9,13-trien-2-one	41.745	—	—	1.30±0.07	—	—
8-hexyl-pentadecane	41.765	—	—	—	5.77±0.27	—
( <i>Z</i> )-14-methylhexadec-8-enal	41.956	—	—	—	0.84±0.04	—
dibutyl phthalate	42.665	—	—	0.53±0.03	1.96±0.10	2.75±0.13
hexadecanoic acid	42.851	—	—	—	3.90±0.17	6.32±0.36
( <i>Z</i> )-7-hexadecenal	43.136	—	—	0.39±0.02	—	—
geranyl geraniol	43.496	—	—	—	3.06±0.16	—
heneicosane	43.751	—	—	3.75±0.21	1.15±0.06	2.85±0.13
5,9,13-trimethyl-1-(1-methylethyl)-4,16-dioxatricyclo [11.2.1.0 <sub>3,5</sub> ]hexadec-8-en-12-ol	44.464	—	—	—	—	1.70±0.10

<sup>1)</sup>—: 未检出 Undetected.

素、异驱蛔素仅在果实、叶片、细枝、主茎精油中有检出,且均在果实中最高;4-萜烯、对伞花烃、 $\gamma$ -松油烯、*D*-柠檬烯仅在果实、叶片、细枝精油中有检出,其中,4-萜烯、 $\gamma$ -松油烯、*D*-柠檬烯在叶片中含量最高,对伞花烃在果实中最高。说明重庆野生土荆芥不同部位精油主要成分含量存在差异。此外,乙酸香叶酯、植物醇、香叶基香叶醇、 $\alpha$ -蒎烯均首次从土荆芥中检出。

### 3 讨论和结论

本研究中,重庆野生土荆芥果实、叶片、细枝精油中成分均以 $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烃为主。湖北野生土荆芥以薄荷醇为主,但其他次要成分如 $\alpha$ -松油烯、对伞花烃等组成和相对含量<sup>[4]</sup>与本文结果较为相近;福建野生土荆芥主要成分与本文基本一致,但驱蛔素相对含量<sup>[6]</sup>明显高于本文结果;桂林野生土荆芥果实中主要成分与本文不同,主要为3-异丙基-6-甲基-7-氧杂双环[4.1.0]庚-2-酮、1-甲基-4-(1-甲基己烯基)环己烯,但驱蛔素相对含量<sup>[7]</sup>与本文结果接近;河南信阳野生土荆芥花序和叶挥发油以驱蛔素为主<sup>[8]</sup>。说明野生土荆芥精油成分组成具有明显的产地差异。已有研究结果表明:棕榈酸对豌豆(*Pisum sativum* Linn.)种子萌发和幼苗生长具有抑制作用<sup>[10]</sup>,邻苯二甲酸二丁酯对玉米(*Zea mays* Linn.)种子萌发和生长具有化感作用<sup>[11]</sup>。本研究从重庆野生土荆芥根系中检出棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯,且含量高于其他部位,推测土荆芥入侵可能是通过根系分泌棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯等成分对其他伴生植物产生化感作用,以达到抑制乡土物种生长和迅速占据群落生态位的入侵目的。本研究结果显示: $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烃为重庆野生土荆芥精油的主要成分且在果实、叶片中含量较高。现有研究表明: $\alpha$ -松油烯具有柑橘香味可直接用作香料,也是合成如驱蛔素、萘马树脂等化工产品的重要前体<sup>[12]</sup>;4-萜烯是一种单萜类化合物,其理化性质和光谱数据在化学数据库中已有记录,但其合成路径尚无报道,现有研究较多的是其同分异构体3-萜烯,该成分因具有优良的生物活性常被用作医药和农药相关产品的关键添加剂<sup>[13]</sup>;对伞花烃能够抑制多种肿瘤细胞增殖,可用于治疗呼吸道炎症<sup>[14]</sup>。因此,重庆野生土荆芥果实和叶片精油在香料、医药产品、农药产品开发方面具有一定的开发潜力和应用价值。

综上所述,重庆野生土荆芥不同部位精油主要成分组成和含量均存在差异,其中,果实、叶片是精油的主要贮存部位,精油成分组成以单萜烯类为主, $\alpha$ -松油烯、4-萜烯、对伞花烃为主要成分。

### 参考文献:

- [1] WU Z Y, RAVEN P H. Flora of China: Vol. 5 [M]. Beijing: Science Press, 2003: 351-414.
- [2] 谢雨思,王强,张红,等.土荆芥挥发物化感胁迫对3种农作物根边缘细胞释放的干扰效应[J].生态学报,2025,45(2): 984-999.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志:第二十五卷第二分册[M].北京:科学出版社,1979: 82.
- [4] 熊秀芳,张银华,龚复俊,等.湖北土荆芥挥发油化学成分研究[J].武汉植物学研究,1999,17(3): 244-248.
- [5] 肖建平,陈体强.土荆芥挥发油成分的GC-MS分析[J].海峡药理学,2010,22(5): 36-38.
- [6] 李植飞,唐祖年,戴支凯.土荆芥果实挥发油GC-MS分析及其生物活性研究[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(5): 265-269.
- [7] 杜成智,覃洁萍,陈玉萍,等.不同产地荆芥挥发油化学成分的GC-MS分析[J].湖北农业科学,2014,53(1): 188-190.
- [8] 陈利军,智亚楠,王国君,等.土荆芥花序和叶挥发油的抑菌作用及组分分析[J].植物保护,2014,40(5): 40-43.
- [9] 罗然,王春丽,樊志彤,等.重庆引种3种桃金娘科植物枝叶精油GCMS鉴定与品质评价[J].西南大学学报(自然科学版),2024,46(3): 40-53.
- [10] 王娜,马绍英,马蕾,等.肉桂酸和棕榈酸对豌豆种子萌发和幼苗生长的化感效应[J].植物生理学报,2021,57(8): 1657-1667.
- [11] 秦永燕,刘瑞祥,杨亚男.邻苯二甲酸二丁酯对玉米种子萌发和生长的影响[J].河南农业科学,2019,48(3): 33-38.
- [12] 王婧,陈玉湘,赵振东,等. $\beta$ -水芹烯异构体制备 $\alpha$ -松油烯的研究[J].林产化学与工业,2024,44(4): 45-50.
- [13] 王婧.3-萜烯含氮、氧衍生物的合成及其生物活性研究[D].北京:北京林业大学,2022: 1-3.
- [14] 涂雅蕙,贾林金,张君怡,等.对伞花烃的来源、合成及生物活性研究与应用进展[J].食品安全质量检测学报,2024,15(14): 203-212.

(责任编辑:郭严冬)