

分离提取技术

秦岭地区植物精油的提取方法及成分研究进展

王瑞婷¹, 何媛^{*2}, 马养民¹, 李小斌², 邓宝安², 马思悦¹

(1. 陕西科技大学 化学与化工学院, 陕西 西安 710021; 2. 陕西中烟工业有限责任公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 秦岭是我国天然香料植物资源最丰富的地区之一。从香料植物精油的提取方法及其化学组成两方面, 综述了该领域的研究现状, 旨在深化对秦岭香料植物的了解与应用。通过对传统提取工艺(如水蒸气蒸馏、热回流等)与前沿技术(超临界 CO₂ 萃取、微波辅助提取、超声波辅助提取等)的系统分析, 揭示了不同方法的技术优势与局限性。期望通过此项研究, 为未来秦岭特色植物精油的提取与应用提供有价值的参考, 进一步推动该地区自然资源的高效与可持续利用, 并为天然香料植物资源的开发与利用提供新的思路和方法。

关键词: 秦岭地区; 植物精油; 提取方法; 香料提取; 成分分析

中图分类号: TQ654+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-3283(2024)12-0076-11

DOI: 10.13822/j.cnki.hxsj.2024.0312

Progress of Extraction Methods and Composition of Essential Oils from Plants in Qinling Region WANG Rui-ting¹, HE Yuan^{*2}, MA Yang-min¹, LI Xiao-bin², DENG Bao-an², MA Si-yue¹ (1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: The Qinling region is one of the richest regions in China in terms of natural spice plant resources. The current research status of the field was reviewed in terms of both the extraction methods and the chemical compositions of essential oils from spice plants, aiming to deepen the understanding and application of Qinling spice plants. The technical advantages and limitations of the different methods were revealed through a systematic analysis of traditional extraction processes (including hydrodistillation, and thermal reflux) and cutting-edge technologies (including supercritical CO₂ extraction, subcritical extraction). It is expected that this study will provide valuable references for the future extraction and application of essential oils of plants featured in the Qinling Mountains, which will further promote the efficient and sustainable utilization of the rich natural resources in this region, and provide new ideas and methods for the development and utilization of natural spice plant resources.

Key words: the Qinling region; plant essential oil; extraction method; aromatic plant; components analysis

精油, 作为香料植物次生物质的精华, 其组成成分主要包括萜烯类化合物、醇类化合物、醛酮类化合物、酯类化合物、羧酸类化合物和杂环化合物等^[1]。近些年, 随着国内市场的不断发展, 精油行业逐渐走上轨道, 其销量以每年 300%~1 000% 的速度迅速增长^[2]。这不仅凸显了消费者对高品质天然香料制品需求的迅猛增长, 同时也揭示了精油行业在国内市场中的巨大潜力与广阔前景。

秦岭自古以来便是中华文明的摇篮, 亦是生物多样性的基因库。其独特的地理位置, 四季分明的气候, 以及丰富的水资源, 使得秦岭成为了我国乃至全球范围内香料植物资源最为丰饶的地区之一。秦巴山区中香料植物约有 340 种, 常见的有 110 种, 可以称得上是我国的“香料宝库”^[3]。

其蕴含的植物精油, 香气独特, 富含多种生物活性成分, 被广泛应用于化妆品、医药、日化和食品等领域, 如活络油、去痛剂、防晒霜、祛蚊液、灭菌剂、沐浴液等。植物精油通过提取与浓缩, 实现了活性成分的高效浓缩, 显著提升了产品的纯度与效能。这一过程不仅最大限度地保留了植物的原始

收稿日期: 2024-05-29; 网络首发日期: 2024-09-29

基金项目: 陕西中烟工业有限责任公司科技项目 (ZB23012); 陕西省农业科技创新驱动项目 (NYKJ-2022-XA-010)。

作者简介: 王瑞婷 (2001-), 女, 陕西西安人, 硕士生, 主要研究方向为植物香味成分提取与应用。

通讯作者: 何媛, E-mail: 286292857@qq.com,

引用本文: 王瑞婷, 何媛, 马养民, 等. 秦岭地区植物精油的提取方法及成分研究进展[J]. 化学试剂, 2024, 46(12): 76-86。

香气,还极大地增强了其生物活性。

尽管国内外有不少研究报道了秦岭地区植物精油的提取技术和成分分析,但对其进行综述的研究尚不多见。因此本研究对秦岭地区各类植物精油的提取技术和其组成成分的最新研究成果进行了系统的归纳和梳理,为该地区植物精油的实际应用提供科学的参考依据,并为天然香料植物资源的开发与利用开辟崭新的理论思路和实践方法。

1 植物精油提取技术

植物精油主要从植物的花、叶、根、皮、果实和种子中获取,运用诸如水蒸气蒸馏、热回流、超临界 CO₂ 萃取以及同时蒸馏萃取等多种提取方法^[4]。这些方法所得的精油在化学组成、结构特性、组分含量和活性上存在显著差异,这可能是由于不同提取技术对植物的选择性提取和过程中可能存在的化学变化所致。因此,深入探究和比较不同提取方法对精油得率和组分的影响,对于优化提取工艺,确保其在应用中的稳定性和功效具有重要的学术和实践意义。

1.1 水蒸气蒸馏法

水蒸气蒸馏法是一种被广泛采用的植物精油提取技术,基本原理是将植物材料与水共同蒸馏,在此过程中,植物中的挥发性成分可以随水蒸气共同馏出,冷凝分离后对提取液进行萃取、分液、浓缩,最终获得纯度较高、性质稳定的植物精油。13 种植物的精油提取条件及组成见表 1。

丝穗金粟兰 (*Chloranthus fortunei* (A. Gray) Solms-Laub), 属于金粟兰科金粟兰属植物,也被人们称为剪草、翦草、四块瓦。这种植物全草可作为药材,具有活血止痛、祛风除湿的功效。在临床应用中,丝穗金粟兰主要用于治疗风湿性关节炎、急性肠胃炎、咳嗽、跌打肿痛等多种疾病。此外,丝穗金粟兰还具有很好的抗炎、抗菌、镇痛和抗肿瘤等作用,因此在中药学中具有重要的地位^[5]。李石蓉等^[6]采用此法对丝穗金粟兰进行提取,精油得率为 0.2%。使用 GC-MS-DS 联用分析,检测到丝穗金粟兰精油的主要成分为 α -松油醇、桉树脑、香叶醇、乙酸冰片酯、金粟兰内酯等。

细辛 (*Asarum sieboldii* Miq.) 属于温性药材,味辛,富含多种化学成分,包括挥发油类、木脂素类、多糖类、甾体类以及黄酮类等。此外,细辛在镇静、抗菌、抗病毒、防止氧化、抗抑郁以及抑制肿

瘤细胞生长等领域也具有重要作用^[7]。欧阳天贽等^[8]连续 6 h 对细辛进行提取,获得具有特殊香味的淡绿色细辛精油。通过 GC-MS 分析,检测到精油的主要成分有优葛缕酮、龙脑、草蒿脑、3,5-二甲氧基甲苯、黄樟醚、甲基丁香酚、环苜蓿烯、肉豆蔻醚和十五烷等,其中甲基丁香酚的质量分数最高,占总质量分数的 29.38%。

山胡椒 (*Litsea cubeba*) 的果实、根和茎叶均可入药,不仅具有广泛的药理价值,用于食品、化妆品、香料等方面^[9],也可配制成烹饪调料,添加在各种腌渍食品内,既增加香气,又能够有效抑制好氧菌的生长,还可作为防腐剂使用^[10]。李芳等^[11]在山胡椒果实的不同采收期进行水蒸气蒸馏提取,在精油中检测出 49 种化合物,其中果实成熟早期鉴定出 37 种,中期鉴定出 30 种,晚期鉴定出 31 种。不同采收期的挥发油的种类及含量存在显著差异,但仍有 20 种共有成分,主要包括香叶醇、柠檬醛、石竹烯、*D*-柠檬烯、芳樟醇,其中柠檬醛的含量最高。

菖蒲 (*Acorus calamus* L.), 别名水菖蒲、水剑草,来源于天南星科菖蒲属植物的干燥根茎。它被广泛用于治疗多种疾病,包括晕厥、中风、癫痫、心悸、健忘、耳鸣、耳聋、消化不良引起的腹痛、痢疾、风湿疼痛和湿疹等^[12]。李铁纯等^[13]对粉碎后的菖蒲样品进行浸泡和连续提取,得到精油的主要成分为 β -细辛醚、三甲氧基苯甲酸、桉叶素、异龙脑、石竹烯等,其中 β -细辛醚的质量分数最高,占总体质量的 33.84%。

紫丁香 (*Syringa oblata* Lindl.) 为木樨科丁香属植物,其精油具有抗菌、消炎、止痛、抗病毒、抗癌、抗氧化等药理活性,可以有效地抵抗各种细菌和病毒的感染,是优良的天然食品防腐剂来源^[14]。李平等^[15]利用此法对紫丁香花进行提取,萃取剂选用乙醚。于芯宜等^[16]检测到紫丁香精油的主要成分为丁香酚、石竹烯、 α -石竹烯和氧化石竹烯等。

紫苏 (*Perilla frutescens* (L.) Britton), 又名白苏,属于唇形科紫苏属植物,其精油具有多种生物活性,包括抗氧化、抗菌、抗过敏、抗抑郁、抗炎、抗肿瘤、神经保护等^[17]。蒲秀峰等^[18]对紫苏进行水蒸气蒸馏提取,精油得率为 0.62%。使用 GC-MS 分析鉴定出紫苏精油的 30 种成分,主要成分为石竹烯、葑草烯、细辛脑、芹菜脑等,其中石竹烯的含量最高,占据总含量的 44.307%。

广藿香(*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) 是唇形科刺蕊草属草本植物,其挥发油具有芳香化浊、解暑的功效。现代药理学研究表明,广藿香挥发油还具有抗菌、抗炎、调整胃肠运动功能等多种作用^[19]。蒲秀峰等^[18]对广藿香进行水蒸气蒸馏提取,精油得率为 1.12%。使用 GC-MS 分析鉴定出广藿香精油的 30 种成分,主要有广藿香醇、广藿香酮、广藿香烯、石竹烯、 β -榄香烯等,其中广藿香醇的含量最高,占总含量的 35.241%。

荆芥(*Schizonepeta tenuifolia* Briq.) 是唇形科荆芥属的草本植物,全草富含挥发油,对昆虫具有触杀、熏蒸、拒食、驱避和产卵抑制等活性。挥发油及其化合物混合施用通常会表现出比单剂及单个化学成分更强的生物活性,能够提高防治效果、减少用量、延缓害虫抗性等^[20]。蒋以号等^[21]对干燥荆芥的叶、茎、穗粉碎后分别进行水蒸气蒸馏提取,微沸 3.5 h 后收集油层并干燥,得到了荆芥精油。不同部位的精油得率有一定的差异,荆芥穗的得率为 1.6%,荆芥叶的得率为 1.1%,荆芥茎的得率为 0.3%。经检测,荆芥叶鉴定出 49 种成分,荆芥茎鉴定出 16 种,荆芥穗鉴定出 25 种,主要成分为胡薄荷酮、薄荷酮、L-薄荷酮等,其中胡薄荷酮的含量最高,在荆芥叶中含有 60.95%,荆芥茎含有 57.75%,荆芥穗中含有 78.75%。

牛至(*Origanum vulgare* L.) 为唇形科牛至属多年生草本植物,全草入药,性凉,味辛无毒。全草可提取芳香油,牛至精油属于一种天然饲料添加剂,可作为抗生素药物的替代品^[22]。武晓英等^[23]以料液比 1:10(g/mL)对牛至粉末进行了精油提取,得率约为 0.15%。使用 GC-MS 检测分析出牛至精油的 54 种组分,主要有百里香酚、香芹酚和松油烯等,其中百里香酚含量最高,占总含量 26.63%。

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge) 为唇形科植物丹参的干燥根和根茎,性味苦,微寒,归心、肝经,具有活血祛瘀,通经止痛的功效^[24]。吴颖等^[25]采用料液比 1:10(g/mL)对丹参进行提取,萃取剂为石油醚。将丹参挥发油和蒲公英提取物进行油水体系复配,可增强样品的美白、抑菌、抗氧化、透皮吸收等功效。

小蓬草(*Conyza canadensis* L.) 又名加拿大蓬,菊科飞蓬属生植物。其挥发油具有多种生物活性,如具有明显的抗炎抗虫、杀菌抗病毒、抗凝血等功效^[26]。Muhammad 等^[27]对小蓬草地上部分进行提取,萃取剂选用正己烷,对小蓬草精油采用 GC-MS 分析,得到其主要成分为顺式毛叶酯、柠檬烯、香叶烯、反式- β -金合欢烯、反式- β -罗勒烯等。

黄花蒿(*Artemisia annua*) 又名草蒿、香丝草,菊科蒿属植物,具有抗菌、驱蚊、杀虫、抗氧化等活性^[28]。李玉红等^[29]先将干燥的黄花蒿粉末浸泡 3 h,蒸馏提取约 10 h 后,收集馏出液。计算得到黄花蒿精油的得率为 2.898%。对精油进行 GC-MS 分析,得出其主要成分为桉树脑、DL-樟脑、环异长叶烯、龙脑、蒿酮等,含量最高的为桉树脑,为 36.43%。

大花金挖耳(*Carpesium macrocephalum* Franch.et Sav.) 是菊科天名精属多年生草本植物,其中含有黄酮类、萜类、香豆素等化合物近百种,具有抗肿瘤、杀虫等医用功效^[30]。王俊儒等^[31]取阴干的大花金挖耳提取后同样使用乙醚进行萃取,干燥浓缩后得到精油。对其进行 GC-MS 分析,鉴定出 53 个化学组分,主要成分有(*E,E*)-3,7,11,15-四甲基-1,6,10,14-十六烷四烯、(3 α ,5 α)-3,5,14,19-四羟基强心甙-20(22)-烯、2-乙氧基四氢呋喃、亚油酸等,含量最高的成分为十六烷四烯,为 15.33%。

表 1 水蒸气蒸馏法提取植物挥发性成分^注

Tab.1 Extraction of plant volatile components by water vapor distillation

名称	别名	科属	分布	料液比/ (g·mL ⁻¹)	萃取剂	浸泡时 间/h	提取时 间/h	得率/ %	主要成分	参考 文献
丝穗金 栗兰	剪草、剪草、 四块瓦	金粟兰科 金粟兰属	秦岭南坡洋县、宁陕、略 阳,海拔 1 000 ~ 1 500 m 山坡林下阴湿地旁	—	乙醚	—	—	0.20	α -松油醇、桉树脑、香叶 醇、乙酸冰片酯、金粟兰 内酯	[6]
细辛	华细辛、 盆草细辛	马兜铃科 细辛属	秦岭南北坡,海拔 1 000 ~ 2 000 m 的山坡林下	1:5	乙醚	—	6	—	优葛缕酮、龙脑、草蒿 脑、3,5-二甲氧基甲苯、 黄樟醚、甲基丁香酚	[8]

续表

名称	别名	科属	分布	料液比/ (g·mL ⁻¹)	萃取剂	浸泡时 间/h	提取时 间/h	得率/ %	主要成分	参考 文献
山胡椒	牛筋条、雷公树、香楂子、铁箍散	樟科 山胡椒属	秦岭南北坡,海拔 600 ~ 1 700 m 的丘陵及山坡灌丛,喜光照	1:10	乙醚	1~2	—	—	香叶醇、柠檬醛、石竹烯、 <i>D</i> -柠檬烯、橙花酸、芳樟醇	[11]
菖蒲	臭蒲、水剑草、水菖蒲	天南星科 菖蒲属	秦岭南北坡,低山区或平原区的沼泽、溪流	1:6	乙醚	12	5	—	β -细辛醚、三甲氧基苯甲酸、桉叶素、异龙脑、石竹烯	[13]
紫丁香	丁香、华北紫丁香、紫丁白	木犀科 丁香属	秦岭北坡,海拔 1 200 ~ 1 600 m 间的山坡林下,喜温暖湿润及阳光充足	1:2	乙醚	12	4	0.07	丁香酚、石竹烯、 α -石竹烯、氧化石竹烯	[15, 16]
紫苏	白苏、桂荏、赤苏	唇形科 紫苏属	秦岭各地,海拔 1 000 m 左右村前房后	1:4	—	—	4	0.62	石竹烯、葑草烯、细辛脑、芹菜脑	[18]
广藿香	苍告、合香、山茴香	唇形科 藿香属	秦岭各地,海拔 2 000 m 以下,喜高温、喜湿润的环境	1:4	—	—	4	1.12	广藿香醇、广藿香酮、广藿香烯、石竹烯、 β -榄香烯	[18]
荆芥	小荆芥、香荆芥	唇形科 荆芥属	秦岭南北坡,海拔 700 ~ 1 800 m 的山坡、山谷路旁草丛	1:4	—	—	3.5	穗:1.6 叶:1.1 茎:0.3	薄荷酮、薄荷酮、L-薄荷酮	[21]
牛至	小叶薄荷、野薄荷、满天星	唇形科 牛至属	秦岭南北坡,海拔 1 000 ~ 2 300 m 的山坡、山谷沟岸道旁	1:10	—	—	4	0.15	百里香酚、香芹酚、2-异丙基-1-甲氧基-甲基苯、松油烯	[23]
丹参	玉蟾草、赤参	唇形科 鼠尾草属	秦岭南北坡,海拔 400 ~ 1 200 m 的山坡、林下及山沟	1:10	石油醚	3	5	—	—	[25]
小蓬草	小白酒草、加拿大蓬	菊科 白酒草属	秦岭各地,海拔 750 ~ 3 200 m 间的河滩、田野	—	正己烷	—	4	—	顺式毛叶酯、柠檬烯、香叶烯、反式- β -金合欢烯、反式- β -罗勒烯	[27]
黄花蒿	黄蒿、草蒿、香丝草	菊科蒿属	秦岭南北坡,海拔 450 ~ 600 m 间山坡、路边	1:5	乙醚	3	10	2.898	桉树脑、DL-樟脑、环异长叶烯、龙脑、蒿酮	[29]
大花金挖耳	香油罐、千日草、神灵草	菊科 天名精属	秦岭南北坡,海拔 2 000 m 以下的山坡林缘、山坡	—	乙醚	—	—	2.91	(3 α ,5 α)-3,5,14,19-四羟基强心甙-20(22)-烯、2-乙氧基四氢呋喃	[31]

注:“—”代表文中未注明。

水蒸气蒸馏法作为一种经典的精油提取方法,在天然香料植物精油的提取过程中扮演着重要的角色。该方法的优点在于操作简便易行,适用范围广,可适用于大多数含有挥发性香气物质的植物原料,而且设备成本相对较低,易于维护。但是,此方法也存在一定的局限性,如提取过程中对温度较为敏感,过高的温度会导致部分精油成分挥发,从而影响精油的质量及产率。

1.2 热回流法

热回流法就是利用有机溶剂对植物连续回流提取,将提取液进行蒸馏去除有机溶剂,得到植物精油。3种植物精油的提取条件及组成见表 2。

金银忍冬(*Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim.), 又名金银木,属于忍冬科忍冬属的落叶灌木。它具有清热解毒、宣风散热的功效,可用于治疗身热、咽喉肿痛等各种热性病。此外,金银忍冬还在抗炎、抗菌、降血脂、降血糖及免疫调节等方面具有独特的应用价值^[32,33]。王海英等^[34]使用正己烷对金银忍冬的鲜叶和鲜花进行索氏提取,得到鲜叶的精油得率为 0.95%,通过 GC-MS 分析鉴定出其主要成分为醇类、烷烃类、酯类、酮类、蒾萜内酯、异长叶醇甲醚等,其中含量最高的是(-)-异长叶醇(22.63%)。鲜花的精油得率为 0.83%,鉴定出 30 种化合物,主要成分为酯类、烷烃类、酸

类、醇类、酚类、醛类,含量最高的是 2,7,10-三甲基-十二烷(14.16%)。

漆树(*Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkl),又名柴树,为漆树科漆树属的落叶乔木或灌木,是亚洲独有的树种,也是中国特有的经济树种。除了生产生漆以外,漆树还可以结出富含脂肪酸的漆籽,并且可以从漆籽中提取出漆树籽油。漆树籽油具有活血化瘀、调节血脂、降胆固醇、消炎止痛等多种医疗功效。王森等^[35]在 55℃下用石油醚对漆籽进行提取,提取时间为 150 min。得到火罐子漆树、白皮高八尺漆树、黄

绒高八尺漆树、贵州黄漆树这 4 种不同品种的漆树含油率分别为 16.21%、13.15%、15.76%、10.90%。通过 GC-MS 分析鉴定这 4 种漆树籽油种含有亚油酸、油酸(E)、油酸(Z)、棕榈酸、肉豆蔻酸、木蜡酸等。

李学森等^[36]则使用 95%乙醇作为溶剂,对荆芥进行提取。经过 5 h 的提取后,使用无水硫酸钠干燥,得到挥发性成分。通过 GC-MS 分析鉴定出 34 种成分,主要成分包括草蒿脑、棕榈异丙酯、9,12,15-十八碳三烯酸丁酯、反式- α -红没药烯等,其中草蒿脑占总含量最高,为 34.90%。

表 2 热回流法提取植物挥发性成分^注

Tab.2 Extraction of plant volatile components by thermal reflux method

名称	别名	科属	分布	提取溶剂	回流时间	回流温度/℃	得率/%	主要成分	参考文献
忍冬	金银花、金银藤	忍冬科忍冬属	秦岭南北坡,900~1 500 m 的山坡灌丛或山坡路旁	正己烷	4 h	85	0.95	鲜叶:醇类、烷烃类、酯类、滨蒿内酯、异长叶醇甲醚 鲜花:酯类、酚类、醛类、香草乳糖苷	[34]
漆树	柴树	漆树科漆树属	秦岭南北坡,海拔 770~1 640 m 的山坡木林	石油醚	10 min	55	火罐子:16.21 白皮高八尺:13.15 黄绒高八尺:15.76 贵州黄漆树:10.90	亚油酸、油酸(E)、油酸(Z)、棕榈酸、硬脂酸、肉豆蔻酸、木蜡酸	[35]
荆芥	小荆芥、香荆芥	唇形科荆芥属	秦岭南北坡,海拔 700~1 800 m 的山坡、山谷路旁草丛	95%乙醇	5 h	120	—	草蒿脑、棕榈异丙酯、9,12,15-十八碳三烯酸丁酯、反式- α -红没药烯	[36]

注:“—”代表文中未注明。

热回流法在香料植物精油的提取中同样占据着重要地位,此方法利用连续循环加热,在恒定的温度下对植物原料进行反复浸泡和提取,实现了精油的高效提取。相较于传统的水蒸气蒸馏法,热回流法的优势在于可以在封闭系统中对物料进行多次提取,提高了精油的得率。同时,提取溶剂可以在封闭系统内部循环使用,从而降低了能源消耗及溶剂用量。但是热回流法也面临着设备成本相对较高、需要精准控制提取温度及回流时间等操作参数的问题。

1.3 同时蒸馏萃取法

同时蒸馏萃取法,即将水蒸气蒸馏法和溶剂萃取结合起来,仅需要少量的溶剂就可以实现对精油的高效萃取。3 种植物精油的提取条件及组成见表 3。

木姜子(*Lisea pungens* Hemsl.),又名山姜子、腊梅柴,是樟科木姜子属的落叶灌木或小乔木的果实。研究发现木姜子精油具有多种药理作用,包括抗氧化、抗菌、保护心肌和抗癌等^[37]。赵华

杰等^[38]对木姜子干果进行同时蒸馏萃取,通过 GC-MS 分析鉴定出 77 种成分,主要成分有 *d*-苧烯、香叶醛、橙花醛、芳樟醇、甲基庚烯酮、 α -松油醇、香叶醇、 β -石竹烯等,其中 *d*-苧烯所占含量最高,达到 14.51%。

游玉明等^[39]对山胡椒鲜果进行同时蒸馏萃取,优化提取条件后,山胡椒精油最高得率为 3.92%。李学森等^[36]使用二氯甲烷作为萃取剂,对粉碎的荆芥全草进行同时蒸馏萃取。通过 GC-MS 分析鉴定出 60 种成分,主要包括草蒿脑、刺柏烯、4-甲基肉桂醛等,其中草蒿脑的所占含量最高,为 44.75%。

同时蒸馏萃取法作为一种天然香料植物精油提取的新型方法,在兼顾提取效果和精油质量方面表现了显著优势,如该方法可以有效解决某些热敏性精油成分在传统蒸馏过程中受到破坏的问题,通过控制提取温度与选择适宜的提取溶剂,可以有效的提高精油的得率与纯度。不可忽视的是,溶剂的残留是该法亟待解决的一个重要问题。

表 3 同时蒸馏萃取法提取植物挥发性成分^注
Tab.3 Extraction of plant volatile components by simultaneous distillation

名称	别名	科属	分布	萃取溶剂	提取温度/℃	提取时间/h	浸泡时间/h	料液比/(g·mL ⁻¹)	提取率/%	主要成分	参考文献
木姜子	腊梅柴、滑叶树、山姜子	樟科木姜子属	秦岭南北坡,海拔 700~2 000 m 的山坡,喜光,喜湿润气候	—	—	2	—	—	—	<i>d</i> -苧烯,香叶醛、橙花醛、芳樟醇、甲基庚烯酮、 α -松油醇、香叶醇、 β -石竹烯	[38]
山胡椒	牛筋条、雷公树、香橼子、铁箍散	樟科山胡椒属	秦岭南北坡,海拔 600~1 700 m 的丘陵及山坡灌丛,喜光照	乙醚	—	4	2	1:10	4.17	β -石竹烯、香茅醛、D-柠檬烯、柠檬醛	[39]
荆芥	小荆芥、香荆芥	唇形科荆芥属	秦岭南北坡,海拔 700~1 800 m 的山坡、山谷路旁草丛	二氯甲烷	50	2	—	—	—	草蒿脑,刺柏烯、4-甲基肉桂醛	[36]

注:“—”代表文中未注明。

1.4 超临界 CO₂ 萃取

超临界流体萃取技术(SFE)就是利用超临界流体的性质,在高于临界压力和临界温度条件下与待分离的固体或者液体混合物接触,萃取出所需要的物质。4 种植物精油的提取条件及组成见表 4。

月见草(*Oenothera biennis*),别名山芝麻、夜来香,属于柳叶菜科月见草属的植物。其挥发油具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化、免疫调节等各种药理作用^[40]。罗婧等^[41]对月见草种子粉末进行提取,萃取温度 35℃、萃取压力 35 MPa、静萃时间 140 min、动萃时间 60 min、CO₂ 流速 3 L/min,经计算得率为 12.47%。

张小云等^[42]对山胡椒粉进行提取,考察了压力、温度等操作参数对萃取过程的影响,最后筛选出最优条件:萃取压力 16 MPa、温度 31℃、CO₂ 流量 20 kg/h、解压釜 I 压力 7~8 MPa、温度

60℃;解压釜 II 压力 4~6 MPa、温度 35℃、萃取时间 60 min。每 20 min 收集提取物,得率为 14.7%。

鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb.)为三白草科蕺菜属植物,又名蕺菜。它的挥发油具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗过敏等多种作用^[43]。张成成等^[44]在萃取压力 30 MPa、萃取温度 45℃、萃取时间 100 min 的条件下对鱼腥草进行提取,得到鱼腥草精油的提取率为 1.98%。主要成分有鱼腥草素、甲基正壬酮、癸醛等。

小叶女贞(*Ligustrum quihoui* Carr.)是木犀科女贞属的小灌木,具有止咳、平喘、抗氧化、增强免疫、抑制脲酶等药理作用^[45]。王文娟等^[46]在 40℃、25 MPa 的条件下对小叶女贞进行提取,得到挥发油的主要成分为羽扇豆醇、对羟基苯乙醇、1,19-二十碳二烯、 β -谷甾醇、环二十四烷等。

表 4 超临界 CO₂ 萃取法提取植物挥发性成分^注
Tab.4 Extraction of plant volatile components by supercritical CO₂ extraction

名称	别名	科属	分布	萃取压力/MPa	萃取温度/℃	萃取时间/min	CO ₂ 流速	提取率/%	参考文献
月见草	香月见草、山芝麻、夜来香	柳叶菜科月见草属	秦岭南北坡,喜阳光	35	35	140(静)、60(动)	3 L/min	12.47	[41]
山胡椒	牛筋条、雷公树、香橼子、铁箍散	樟科山胡椒属	秦岭南北坡,海拔 600~1 700 m 的丘陵及山坡灌丛,喜光照	16	31	60	20 kg/h	14.70	[42]
鱼腥草	蕺菜、狗蝇草、侧耳根	三白草科蕺菜属	秦岭南北坡,海拔 400~1 800 m 的山坡草地、山谷湿地	30	45	100	45 kg/h	1.98	[44]
小叶女贞	小叶冬青、小白蜡	木犀科女贞属	秦岭南北坡,海拔 200~1 300 m 的山坡灌丛、石崖	25	40	3(静)、13(动)	10 mL/min	—	[46]

注:“—”代表文中未注明。

超临界 CO₂ 萃取技术以环境友好和高效节能而备受瞩目,其优越性体现在多个方面。首先,由于使用 CO₂ 作为萃取剂,它具有安全便捷、不易燃烧和爆炸、无残留等特性,因此具有很高的环保性和安全性。其次,通过调节压力和温度等参数,超临界 CO₂ 萃取技术可以实现不同成分的选择性萃取,从而获得高纯度的提取物。然而,超临界 CO₂ 萃取技术的操作成本较高,目前还没有普遍投入工业化生产。尽管如此,该技术仍然在许多高附加值产品的生产中发挥着重要作用。相信随着技术的进一步发展和成本的降低,超临界 CO₂ 萃取技术将会在更多领域得到广泛应用。

表 5 超声波辅助提取法提取植物挥发性成分^注

Tab.5 Extraction of plant volatile components by ultrasonic-assisted extraction

名称	别名	科属	分布	提取溶剂	料液比/ (g·mL ⁻¹)	浸泡时 间/h	超声时 间/min	超声温 度/℃	提取率/ %	主要成分	参考 文献
白鲜	白鲜皮、 八股牛	芸香科 白鲜属	秦岭南北坡,海拔 1 800 m 以下的山坡草地	60% 乙醇	1:20	—	60	80	—	—	[48]
细辛	华细辛、 盆草细辛	马铃科 细辛属	秦岭南北坡,海拔 1 000~ 2 000 m 的山坡林下	甲醇	1:5	3	30	40	—	优葛缕酮、龙脑、草蒿 脑、3,5-二甲氧基甲苯、 黄樟醚、甲基丁香酚	[8]
紫苏	白苏、 桂荑、 赤苏	唇形科 紫苏属	秦岭各地,海拔 1 000 m 左右村前房后	石油醚	2:9	—	20	45	2.70	石竹烯、细辛脑、芹菜 脑、叶绿醇、葑草烯、顺 式-β-金合欢烯	[19]
荆芥	小荆芥、 香荆芥	唇形科 荆芥属	秦岭南北坡,海拔 700~ 1 800 m 的山坡、山谷路 旁草丛、林下	石油醚	2:9	—	20	45	2.47	L-薄荷酮、胡薄荷酮、石 竹烯、β-可巴烯、叶绿 醇、植醋酸、亚麻酸	[19]
广藿香	苍告、 合香、 山茴香	唇形科 藿香属	秦岭各地,海拔 2 000 m 以下,喜高温、喜湿润	石油醚	2:9	—	20	45	1.48	β-榄香烯、罗汉柏烯、广 藿香酮、石竹烯、广藿香 烯和广藿香醇	[24]

注:“—”代表文中未注明。

欧阳天贽等^[8]用甲醇浸泡华细辛根 3 h 后进行超声提取,温度为 40 ℃,每次 30 min。将得到的提取物用 GC-MS 进行分析鉴定,得到 24 个化合物,主要成分油优葛缕酮、龙脑、草蒿脑、3,5-二甲氧基甲苯、黄樟醚、甲基丁香酚、环苜蓿烯等,其中甲基丁香酚质量分数最高,为 19.47%。

蒲秀峰等^[18]用石油醚作为溶剂,超声功率 60 W,时间 20 min,温度 45 ℃,对紫苏、荆芥、广藿香进行提取。相比于传统的水蒸气蒸馏法,超声波辅助提取法所提取的紫苏精油中细辛脑的含量最高,为 40.152%,荆芥精油中胡薄荷酮和植醋酸的含量明显高于水蒸气蒸馏法,广藿香精油中的 α-愈创木烯(11.035%)也远高于水蒸气蒸馏法(0.753%)。

超声波辅助提取法的优点在于短暂的提取时

1.5 超声波辅助提取

超声波是频率在 20 kHz 以上的电磁波,可用于植物有效成分的辅助提取,具有加快提取效率、节约能源及环保等优势。5 种植物的提取条件及组成见表 5。

白鲜皮是芸香科植物白鲜 (*Dictamnus dasycarpus* Turcz.) 的干燥根皮,具有祛风解毒、清热燥湿的功效,也可以用来治疗多种疾病,包括皮肤炎症、湿疹、风疹、风湿病和妇科炎症等^[47]。林好等^[48]使用 60%乙醇进行提取,料液比为 1:20 (g/mL),温度为 80 ℃,提取时间为 1 h,提取 3 次后过滤、浓缩,得到白鲜皮提取物。

间、相对低温的环境以及高效的精油得率。然而,该方法并不能单独使用,可以通过结合不同的提取方法,实现更全面、更理想的提取效果。

1.6 微波辅助提取

微波是一种电磁波,在快速振动的微波磁场中,植物细胞受热,水分减少、细胞收缩,细胞表面出现裂纹,使溶剂容易进入细胞内,溶解释放细胞内物质,促使成分被快速提取。3 种植物的提取条件及组成见表 6。

张小云等^[42]利用此法对山胡椒粉进行提取,将其装入微波萃取仪专用烧瓶中,萃取剂选用石油醚,微波功率 1 000 W,温度 90 ℃,萃取时间 20 min,得率为 11.6%。

林好等^[48]则使用 60%乙醇作为白鲜皮的萃取剂,微波功率设定为 400 W,料液比为 1:25 (g/mL),

表 6 微波辅助提取法提取植物挥发性成分^注

Tab.6 Extraction of plant volatile components by microwave-assisted extraction

名称	别名	科属	分布	萃取剂	微波功率/W	温度/℃	萃取时间/min	料液比/(g·mL ⁻¹)	主要成分	参考文献
山胡椒	牛筋条、雷公树、香榧子	天南星科 菖蒲属	秦岭南北坡,低山区或平原区的沼泽、溪流、稻田边	石油醚	1 000	90	20	1:4	—	[43]
白鲜	白鲜皮、八股牛	芸香科 白鲜属	秦岭南北坡,海拔 1 800 m 以下的山坡	60% 乙醇	400	80	30	1:25	—	[48]
荆芥	小荆芥、香荆芥	唇形科 荆芥属	秦岭南北坡,700 ~ 1 800 m 的山坡、山谷路旁草丛、林下	水	630	—	—	1:12	叶子:胡薄荷酮、L-薄荷酮、烯丙基丙二酸二甲酯 茎:胡薄荷酮、L-薄荷酮、反式薄荷酮 穗:胡薄荷酮、薄荷酮、L-薄荷酮、优香芹酮	[22]

注:“—”代表文中未注明。

提取温度 80 ℃,萃取时间 30 min。实验得到,白鲜皮提取物具有不错的体外生物学活性,具备一定的抗氧化、抑菌及抗过敏功效,是一种潜在的天然抗菌剂和抗氧化剂。

蒋以号等^[21]分别对干燥的荆芥叶、茎、穗粉碎后提取,萃取剂选择水,料液比 1:12 (g/mL),微波功率初始为 630 W,但是待反应较为激烈时依次调整为 600、560、500、450 W 进行微波萃取。对提取到的荆芥精油进行分析鉴定,发现相比传统的水蒸气蒸馏法,微波辅助提取法提取的精油中胡薄荷酮的含量明显提高。

微波辅助萃取法具有提取时间短、提取率高等优点,然而,它与超声波辅助提取法类似,只能作为辅助提取手段,与其他技术联用才能实现对植物的有效提取。通过与其他技术的联用,可以进一步提升目标成分的提取效率和质量,使萃取过程更加高效、环保和节能。

1.7 其他新型提取方法

固相微萃取法为非溶剂型萃取法,是一种新型的样品预处理方法,具有无溶剂干扰、对样品的富集能力强、操作简便以及易于与其他分析仪器联

用等优点。3 种植物的提取方法及条件见表 7。

李铁纯等^[13]利用固相微萃取装置对菖蒲样品进行提取,检测后发现提取出来的挥发性成分种类和相对质量百分含量都低于经典的水蒸气蒸馏法,但是提取出的 β-细辛醚的相对百分含量高于水蒸气蒸馏法,而且 β-细辛醚是菖蒲、治疗支气管炎和癫痫的药用有效成分。经 GC/Q-TOF MS 检测,菖蒲精油中含有的主要成分有:β-细辛醚、丁香酚甲醚、石竹烯、5-(1,5-二甲基-4-己烯基)-2-甲基-1,3-环己二烯等。

柴胡(*Bupleurum Chinese* DC.)为我国传统中药,药用历史悠久。具有解表退热,舒肝解郁等功效。北柴胡(*Bupleurum Chinese* DC.)为传统的柴胡品种,是伞形科多年生草本植物,s 柴胡挥发油有镇痛、解热、抗炎等作用。王书林等^[49]利用固相微萃取装置对北柴胡进行提取,且经检测得到挥发油的主要成分为 n-十六烷酸、9,12-十八碳二烯酸、9-十八碳烯酸、十五烷酸等,其中 n-十六烷酸占据主要成分,为 42.13%。

亚临界萃取法是以低沸点的有机物作为萃取剂进行逆向萃取,实验环境低温低压,苏雪峰等^[50]

表 7 其他新型提取方法提取植物挥发性成分^注

Tab.7 Extraction of plant volatile components by other novel extraction methods

名称	别名	科属	分布	提取方法	主要成分	参考文献
菖蒲	臭蒲、水剑草、水菖蒲、大叶菖蒲	天南星科 菖蒲属	秦岭南北坡,低山区或平原区的沼泽、溪流、稻田边	固相微萃取法	β-细辛醚、丁香酚甲醚、石竹烯、5-(1,5-二甲基-4-己烯基)-2-甲基-1,3-环己二烯	[13]
北柴胡	叶柴胡、硬苗柴胡、韭叶柴胡	伞形科 柴胡属	秦岭南北坡,海拔 400 ~ 2 200 m 的山坡或草地	固相微萃取法	n-十六烷酸、9,12-十八碳二烯酸、9-十八碳烯酸、十五烷酸	[49]
荆芥	小荆芥、香荆芥、线芥、四棱杆蒿、假苏	唇形科 荆芥属	秦岭南北坡,海拔 700 ~ 1 800 m 的山坡、山谷路旁草丛、林下	亚临界萃取法	—	[50]

注:“—”代表文中未注明。

利用此方法对荆芥进行提取,萃取剂为丁烷,通过正交试验得到最佳提取条件为:萃取压力 0.5 MPa、萃取温度 40 °C、萃取时间 30 min、萃取 3 次。

2 结论

综上所述,秦岭地区作为中国生物多样性丰富的自然宝库,其植物精油提取技术的探索与发展对于推动天然资源的高效利用具有重要意义。目前,秦岭地区香料植物的提取方法包括传统技术如水蒸气蒸馏法、热回流法,以及新型提取方法的超临界 CO₂ 萃取、微波辅助提取、超声波辅助提取等方法。各提取技术的优劣分析揭示了在实际应用中选择适宜提取手段的复杂性,需综合考量效率、成本、环境影响及精油品质等多方面因素。各种提取方法具体的优缺点详见表 8。

表 8 不同精油提取方法优缺点总结

Tab.8 Summary of advantages and disadvantages of different essential oil extraction methods

提取方法	优点	缺点
水蒸气蒸馏法	操作简便,适用范围广,设备成本较低	对温度较为敏感,容易导致部分精油成分挥发
热回流法	精油的得率较高,提取溶剂可以循环使用	设备成本较高、需要精准控制操作参数
同时蒸馏萃取法	精油得率较高	易造成溶剂残留
超临界 CO ₂ 萃取法	CO ₂ 作为萃取剂具有很高的环保性和安全性而且可以实现不同成分的选择性萃取	操作成本较高
超声波辅助提取法 微波辅助提取法	提取时间短、温度低、精油得率高	要与其他提取方法联用
固相萃取法	无溶剂干扰、操作简便	操作成本高
亚临界萃取法	无毒、无污染、非热加工节能、运行成本低	产物纯度不高

传统提取方法如水蒸气蒸馏,尽管操作简便且成本相对较低,但往往存在效率不高、对热敏感性成分保护不足及环境影响等问题。新型提取方法包括超临界 CO₂ 萃取、微波辅助提取、超声波辅助提取等,具有高效、环保、无毒等优势,但是仍具有不同的缺点。

总之,为了更好地发挥这些提取方法的作用,未来可以进一步研究这些方法原理和适用范围,并将其应用于实际生产中。同时,针对不同种类的特色植物,可以探索采用不同的提取方法,以优化提取效果和提高提取率。相信这些提取方法的

进一步研究和应用将为陕西秦岭地区的特色植物开发带来更加广阔的应用前景。

参考文献:

- [1]何凤平,雷朝云,范建新,等.植物精油提取方法、组成成分及功能特性研究进展[J].食品工业科技,2019,40(3):307-312;320.
- [2]吴林洁.精油产业现状与发展前景中国有望成主力军[J].中国化妆品,2016,1:71-73.
- [3]兰昌定,田毅.秦巴山区香料植物的开发与利用探讨[J].现代园艺,2021,44(15):72-74.
- [4]刘瑞秀,覃英克,齐维金,等.桉叶油的提取工艺优化及对金黄色葡萄球菌的作用[J].化学试剂,2023,45(7):87-93.
- [5]JONGSOO K,BOYUN K,KIOUG Y.The complete plastid genome sequence of *Chloranthus fortunei* (A. Gray) Solms-Laub.in Chloranthaceae[J].*Mitochondrial DNA.B*,2022,7(10):1 829-1 833.
- [6]李石蓉,姚红.丝穗金粟兰挥发油成分的分析[J].江西中医学院学报,2005,6:48.
- [7]LI C,XU F,XIE D M,et al.Identification of absorbed constituents in the rabbit plasma and cerebrospinal fluid after intranasal administration of asari radix et rhizoma by HS-SPME-GC-MS and HPLC-APCI-IT-TOF-MSn [J].*Molecules*,2014,19(4):4 857-4 879.
- [8]潘红亮,欧阳天贽.水蒸气蒸馏法和超声辅助提取法提取华细辛挥发油的比较[J].食品科学,2011,32(10):190-193.
- [9]BIAO X,LIMEI Z,LUN X,et al.Genome of *Lindera glauca* provides insights into the evolution of biosynthesis genes for aromatic compounds[J].*Science*,2022,25(8):104 761.
- [10]彭湘莲,蔡报林,付红军.山苍子精油中柠檬醛的分离纯化研究[J].林产工业,2018,45(8):17-22.
- [11]李芳,游玉明.山胡椒成熟过程中挥发油成分的变化[J].中国调味品,2016,41(4):66-69;81.
- [12]曾晓艳,李芳,谭朝阳,等.石菖蒲和茴香菖蒲的生药学及 GC-MS 比较分析研究[J].时珍国医国药,2021,32(10):2 432-2 436.
- [13]李铁纯,侯冬岩,回瑞华,等.两种方法提取菖蒲的挥发性组分[J].鞍山师范学院学报,2020,22(4):27-31.
- [14]FILIPEK A,WYSZOMIERSKA J,MICHALAK B,et al.*Syringa vulgaris* bark as a source of compounds affecting the release of inflammatory mediators from human neutrophils and monocytes/macrophages [J].*Phytochem.*

- Lett.*, 2019, **30**:309-313.
- [15] 胡建燃,李平,铁军,等.紫丁香花精油的抗氧化和抗肿瘤活性研究[J].生物技术通报,2019, **35**(12):16-23.
- [16] 于芯宜,徐家延,陈方圆,等.5种植物精油抗菌性能研究及特征成分分析[J].保鲜与加工, 2022, **22**(10):1-9.
- [17] 陶晓倩,张强,付慧敏,等.基于 Box-Behnken 响应面法优化紫苏叶挥发油提取工艺的研究[J].中中药学,2023, **21**(2):369-374.
- [18] 蒲秀峰,胥顺堂,蔺新雅.不同提取方法对紫苏叶、荆芥、广藿香中挥发油的影响[J].甘肃科技, 2019, **35**(22):143-147.
- [19] 程灿,潘超美,吴婕,等.引种的印尼广藿香和肇庆广藿香不同部位挥发油气相色谱-质谱联用分析[J].中药新药与临床药理,2021, **32**(4):546-551.
- [20] 孔波,何培艳,钱昱含,等.基于化合物消除法和混配法评价荆芥挥发油的活性成分及协同增效作用[J].农药,2023, **62**(5):378-382.
- [21] 蒋以号,罗朝晖,洪玲玲,等.GC-MS 分析不同提取方法对荆芥各部位挥发油的影响[J].中药材, 2014, **37**(1):77-79.
- [22] RAFFO A, SAPIENZA F U, ASTOLFI R, et al. Effect of different soil treatments on production and chemical composition of essential oils extracted from *foeniculum vulgare* mill., *origanum vulgare* L. and *thymus vulgaris* L. [J]. *Plants*, 2023, **12**(15):2 835.
- [23] 李娜,武晓英,赵文婧,等.牛至精油成分分析及其抗氧化性和抑菌活性研究[J].中国调味品, 2020, **45**(9):29-33;54.
- [24] 王玥,陈薇,杨志国,等.丹参提取物对去卵巢模型大鼠骨质疏松的影响[J].食品研究与开发, 2023, **44**(19):80-85.
- [25] 吴颖,刘晴,唐文,等.丹参挥发油与蒲公英提取物复配物在化妆品中的应用[J].精细化工, 2022, **39**(3):562-568.
- [26] PAWLACZYK I, CZERCHAWSKI L, KULICZKOWSKI W, et al. Anticoagulant and anti-platelet activity of polyphenolic-polysaccharide preparation isolated from the medicinal plant *Erigeron canadensis* L. [J]. *Thromb Res.*, 2011, **127**(4):328-340.
- [27] MUHAMMAD A, TARIQ Z, MEHMOOD A A, et al. Pesticidal potential of some wild plant essential oils against grain pests *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) and *Aspergillus flavus* (Link, 1809) [J]. *Arabian J. Chem.*, 2022, **15**(1):103 482.
- [28] JARAD A T, NIDA L, AMI N, et al. Assessing *artemisia arborescens* essential oil compositions, antimicrobial, cytotoxic, anti-inflammatory, and neuroprotective effects gathered from two geographic locations in Palestine [J]. *Ind. Crops Prod.*, 2022, **176**:114 360.
- [29] 李玉红,张知侠,曹蕾.黄花蒿精油的提取及 GC-MS 分析[J].化学与生物工程, 2014, **31**(1):71-73.
- [30] KIM M R, KIM C S, HWANG K H, et al. Isolation and structures of quaianolides from *Carpesium macrocephalum* [J]. *J. Nat. Prod.*, 2002, **65**(4):583-584.
- [31] 冯俊涛,苏祖尚,王俊儒,等.大花金挖耳花蕾中精油的化学组成及其杀菌活性研究[J].西北植物学报, 2007, **1**:156-162.
- [32] CHEN X, GUO D, GONG X, et al. Optimization of steam distillation process for volatile oils from *forsythia suspensa* and *lonicera japonica* according to the concept of quality by design [J]. *Separations*, 2023, **10**(1):25.
- [33] 吴娇,王聪,于海川.金银花中的化学成分及其药理作用研究进展[J].中国实验方剂学杂志, 2019, **25**(4):225-234.
- [34] 高欣妍,王海英,刘志明,等.金银忍冬提取物的挥发性成分及抑菌活性分析[J].生物质化学工程, 2018, **52**(1):10-16.
- [35] 王森,谢碧霞,何方,等.秦岭山区漆树种籽含油率与脂肪酸成分分析[J].中南林业科技大学学报, 2011, **31**(3):97-101;129.
- [36] 李学森,黄静,施红林,等.荆芥挥发性成分的提取方法研究[J].安徽农业科学, 2012, **40**(2):792-794; 1 220.
- [37] CHEN T, KONG Q, KUANG X, et al. Chemical composition of *litsea pungens* essential oil and its potential antioxidant and antimicrobial activities [J]. *Molecules*, 2023, **28**(19):6835.
- [38] 赵华杰,郭宁,杨凌霄,等.木姜子干果挥发性成分的提取与分析[J].香料香精化妆品, 2017, **5**:1-5.
- [39] 游玉明,颜士英.山胡椒果实挥发油化学成分的 GC-MS 分析[J].食品研究与开发, 2013, **34**(8):81-83.
- [40] 罗贵聪,任建伟,林奋杰,等.月见草油对蛛网膜下腔出血大鼠 EGFR/STAT3 通路及运动功能的影响[J].中西医结合心脑血管病杂志, 2022, **20**(18):3 318-3 322.
- [41] 罗婧,刘继永,侯召华,等.超临界 CO₂ 萃取法与水蒸气蒸馏法提取月见草油成分的 GC-MS 分析[J].保鲜与加工, 2015, **15**(1):49-53.
- [42] 张小云,覃文庆,喻连香.山胡椒挥发油的提取及其抑菌活性研究[J].现代生物医学进展, 2010, **10**(1):

- 133-136.
- [43] 张志伟, 孟进, 李红军. 鱼腥草挥发油抗炎作用的研究[J]. 中国中医药现代远程教育, 2011, **9**(20): 84-85.
- [44] 张成成, 杨凌宇, 格日勒, 等. 超临界 CO₂ 萃取鱼腥草挥发油的工艺优化[J]. 江西中医药, 2017, **48**(6): 63-65.
- [45] QIN G, ZHANG F, REN M, et al. Eco-friendly and efficient extraction of polyphenols from *Ligustrum robustum* by deep eutectic solvent assisted ultrasound [J]. *Food chem.*, 2023, **429**: 136-828.
- [46] 王文娟, 李瑞锋. 不同方法提取小叶女贞果实挥发油的 GC-MS 分析[J]. 黄山学院学报, 2016, **18**(3): 48-51.
- [47] GAO P, CHANG K, YUAN S, et al. Exploring the mechanism of hepatotoxicity induced by *dictamnus dasycarpus* based on network pharmacology, molecular docking and experimental pharmacology [J]. *Molecules*, 2023, **28**(13): 5 045.
- [48] 林好, 陈圻宇, 骆声秀, 等. 白鲜皮提取物的体外生物学活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, **34**(3): 99-104.
- [49] 王砚, 王书林. SPME-GC-MS 法研究竹叶柴胡和北柴胡挥发性成分差异[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, **20**(14): 104-108.
- [50] 苏雪锋, 冯军伟, 黄继红, 等. 亚临界萃取技术在提取荆芥中活性物质的应用研究[J]. 食品工业, 2013, **7**: 55-58.

《化学试剂》期刊栏目介绍

1 特约专题

主要针对当前研究热点和某一领域突出创新成果进行组稿, 约 3~5 篇, 要求稿件质量好, 研究价值大。

2 综述与专论

主要报道化学试剂、精细化学品、专用化学品、绿色化学品等应用领域的研究成果整理、分析与前景预测。

3 生化与药用试剂

主要报道生物材料、抗癌药物、诊断试剂、生化试剂等新方向的研究进展和成果展示。

4 功能材料

主要报道光催化材料、荧光探针、晶体配合物、吸附材料、纳米材料等方向的研究进展。

5 分离提取技术

主要报道与天然产物、精细化学品、化学试剂等成分分析相关的分离提取技术。

6 电化学和新能源

主要报道电极材料、电化学传感、生物质能等领域的创新成果。

7 化学品与环境

主要报道与环境相关的化学品应用研究, 包括空气、土壤、水、食品等方面的化学物质检测。

8 分析与测试

主要报道分析方法、仪器检测、成分分析等方面的新技术、新工艺、新设备。

9 标准物质与标准品

主要报道标准物质与标准品的制备过程及发展现状、标准物质的纯度分析及评价。

10 合成与工艺技术

主要报道与化学试剂、精细化学品、专用化学品生产和研制有关的新成果和创新成果。

11 电子化学品

主要报道电子工业中常用的专用化学品, 包括高纯试剂、特种气体、电镀化学品、PCB 化学品等。