

响应面试验优化超临界CO₂萃取人参挥发油的工艺

崔丽丽, 逢世峰, 李亚丽, 郑培和, 赵 卉, 王英平*

(中国农业科学院特产研究所, 吉林 长春 130112)

摘 要: 以生晒参为原料, 响应面分析法优化超临界CO₂提取挥发油的工艺。采用自动质谱退卷积定性系统和保留指数方法对挥发油化学成分定性。结果表明: 最佳工艺条件为萃取压力38 MPa、萃取温度55 ℃、静态萃取时间2 h、动态萃取时间1 h, 此条件下挥发油提取率达1.12%。气相色谱-质谱法结果显示分离出35个色谱峰, 鉴定出29种化学成分, 相对含量占挥发性物质的96.69%。

关键词: 人参挥发油; 超临界; 响应面试验; 自动质谱退卷积定性系统; 保留指数

Optimization of Supercritical-CO₂ Fluid Extraction of Essential oil from *Panax ginseng* Roots by Response Surface Methodology

CUI Lili, PANG Shifeng, LI Yali, ZHENG Peihe, ZHAO Hui, WANG Yingping*

(Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China)

Abstract: The supercritical-CO₂ fluid extraction conditions of volatile oil from dried raw ginseng were optimized by response surface methodology. Chemical constituents of the essential oil were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with automated mass spectral deconvolution and identification system (AMDIS) based on retention index. The optimal extraction conditions were determined as follows: extraction pressure, 38 MPa; extraction temperature, 55 ℃; static extraction time, 2 h and dynamic extraction, 1 h, under which, the maximum oil yield of 1.12% was obtained. A total of 35 chromatographic peaks were separated from the essential oil of ginseng roots, 29 of which were identified, accounting for 96.69% of the total peak area.

Key words: ginseng essential oil; supercritical fluid extraction; response surface methodology; automated mass spectral deconvolution and identification system (AMDIS); retention index

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604010

中图分类号: TS224.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 04-0058-04

引文格式:

崔丽丽, 逢世峰, 李亚丽, 等. 响应面试验优化超临界CO₂萃取人参挥发油的工艺[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 58-61.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604010. <http://www.spkx.net.cn>

CUI Lili, PANG Shifeng, LI Yali, et al. Optimization of supercritical-CO₂ fluid extraction for essential oil from *Panax ginseng* roots by response surface methodology[J]. Food Science, 2016, 37(4): 58-61. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604010. <http://www.spkx.net.cn>

挥发油是中药中一类重要的活性物质, 具有抗肿瘤、抗病毒、杀虫、降压、消炎、平喘、止咳等多种药理作用^[1]。人参挥发油含量较低, 具有人参的特殊香味, 主要成分为倍半萜烯, 约占40%, 其次为含氧化合物及长链烷烃类^[2]。目前传统的人参挥发油提取方法为水蒸气蒸馏、超声波提取、索氏提取^[2]等, 不仅提取率低, 而且由于温度高、受热时间长, 会导致有效成分的破坏或分解。如今超临界萃取技术提取天然中草药有效成分

的研究广泛引起人们的关注, 主要集中在活性多糖、挥发油、皂苷、生物碱、黄酮类、醌类等多种物质的提取研究^[3]。超临界CO₂萃取应用于中药领域与传统方法比较, 具有萃取速率快、分离工艺简单、萃取温度低、保护热敏性物质、萃取物无有机溶剂污染, 且成分保留全等优点^[4-8]。传统方法提取挥发油的收率较低, 因此本实验进行人参挥发油的超临界CO₂萃取工艺研究, 采用响应面分析法对工艺条件进行优化, 气相色谱-质谱 (gas

收稿日期: 2015-05-25

基金项目: 吉林市科技计划项目 (201452005); 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2014-ISAPS)

作者简介: 崔丽丽 (1984—), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为中药材病害防治及质量评价。E-mail: cbscui@126.com

*通信作者: 王英平 (1967—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为药用植物资源与评价。E-mail: jingpingw@126.com

chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 测定人参挥发性成分^[9-11], 利用软件自带自动质谱退卷积定性系统 (automated mass spectral deconvolution and identification system, AMDIS)^[12-16], 结合保留指数 (retention index, RI) 方法对挥发油化学成分定性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生晒参产地吉林省抚松县, 粉碎过200目筛, 粉碎后放置1 a。

正构烷烃混合对照品 ($C_9 \sim C_{30}$) 美国Sigma公司; 正己烷、无水硫酸钠均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

超临界 CO_2 流体萃取仪 美国通用分离公司; 7890A-5975C型GC-MS仪 美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发油提取的单因素试验

分别以萃取压力 (15、20、30、40 MPa)、萃取温度 (25、35、40、45、55 $^{\circ}C$)、静态萃取时间 (0.5、1、2、3 h) 为单因素, 固定动态萃取1 h, 考察各因素对人参挥发油提取率的影响。

1.3.2 超临界 CO_2 萃取工艺响应面优化

影响挥发油提取率的因素有萃取压力、萃取温度、 CO_2 流量、萃取时间等^[17]。应用Design-Expert软件, 根据Box-Behnken设计原理, 选择影响挥发油提取率的主要因素萃取压力、萃取温度、静态萃取时间作为自变量, 以人参挥发油提取率为响应值设计响应面试验, 因素与水平见表1。

表1 响应面分析因素与水平

Table 1 Factors and levels used in response surface design

| 因素 | 水平 | | |
|--------------------|----|----|----|
| | -1 | 0 | 1 |
| A萃取压力/MPa | 30 | 40 | 50 |
| B萃取温度/ $^{\circ}C$ | 35 | 45 | 55 |
| C静态萃取时间/h | 1 | 2 | 3 |

1.3.3 挥发油成分分析

1.3.3.1 GC-MS条件

GC条件: HP-5MS石英毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温条件: 初始温度40 $^{\circ}C$, 保持5 min, 以5 $^{\circ}C/min$ 升至200 $^{\circ}C$, 再以10 $^{\circ}C/min$ 升至280 $^{\circ}C$, 保持5 min; 进样口温度250 $^{\circ}C$, 载气为高纯He (纯度99.999 9%), 柱流量1.0 mL/min, 进样量1.0 μL , 分流比20:1。

MS条件: 电子电离源, 电子能量70 eV, 离子源温度230 $^{\circ}C$, 四极杆温度150 $^{\circ}C$, 接口温度250 $^{\circ}C$, 溶剂延迟时间3 min, 质量扫描范围 m/z 30~550 u。

1.3.3.2 定性与定量

采用AMDIS进行自动质谱退卷积处理, 计算目标成分的保留指数 (retention index, RI) 与已有参考文献的保留指数 (RI*) 对比进行定性鉴定; 相对面积百分比定量。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

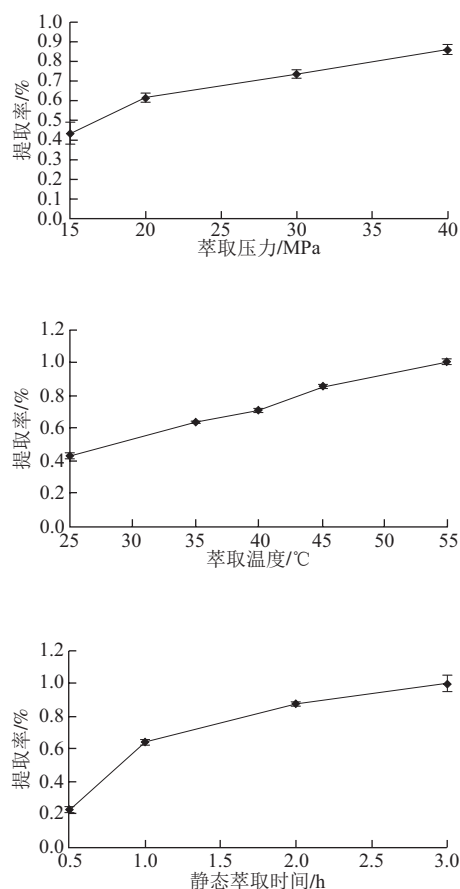


图1 各因素对提取率影响的单因素试验结果

Fig.1 Effects of extraction conditions on the yield of ginseng volatile oil analyzed by single factors experiments

选择萃取压力40 MPa、萃取温度40 $^{\circ}C$ 、静态萃取1 h后动态萃取1 h为初始条件, 分别进行超临界萃取单因素试验, 结果如图1所示。萃取压力为15、20、30、40 MPa时, 提取率分别为0.44%、0.62%、0.74%、0.86%, 压力增大, 流体密度增大, 溶剂的溶解度随之增大, 提取率随萃取压力增加而升高; 萃取温度为25、35、40、45、55 $^{\circ}C$ 时, 提取率分别为0.43%、0.64%、0.71%、0.85%、0.91%, 升高温度降低流体密度, 增加了溶质蒸汽压, 在临界温度以上的低温区时, 温度升高

溶质蒸汽压增加不多, 萃取量少, 而温度进一步升高时溶质蒸汽压增加快, 挥发度高, 提取率未减少反而有增大, 萃取温度升高, 提取率增加; 萃取时间为静态0.5、1、2、3 h, 动态1 h时, 提取率分别为0.23%、0.64%、0.87%、0.99%, 静态萃取时间越长, 提取率越高, 物质萃取充分。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 回归方程建立

表2 响应面试验设计方案及结果
Table 2 Results of response surface experiments

| 试验号 | A萃取压力 | B萃取温度 | C静态萃取时间 | 提取率/% |
|-----|-------|-------|---------|-------|
| 1 | -1 | 1 | 0 | 0.756 |
| 2 | 1 | 0 | -1 | 1.072 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1.068 |
| 4 | 0 | -1 | 1 | 0.792 |
| 5 | 1 | -1 | 0 | 0.980 |
| 6 | 0 | -1 | -1 | 0.986 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0.656 |
| 8 | -1 | -1 | 0 | 1.048 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0.845 |
| 10 | 1 | 1 | 0 | 0.994 |
| 11 | -1 | 0 | -1 | 0.715 |
| 12 | 0 | 1 | -1 | 0.695 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0.617 |
| 14 | -1 | 0 | 1 | 0.899 |
| 15 | 0 | 1 | 1 | 0.630 |

根据单因素试验结果, 采用Box-Behnken设计方案, 所得试验数据如表2所示, 并采用Design-Expert 8.0.6软件进行多元回归拟合, 得到生晒参挥发油提取率对萃取压力、萃取温度、静态萃取时间的二次多项回归方程为:

$$Y=1.03-0.016A+0.14B-0.034C-0.058AB+0.086AC+0.056BC-0.19A^2-0.051B^2-0.10C^2$$

该方程中各项系数绝对值的大小直接反映各因素对响应值的影响程度, 系数的正、负反映了影响的方向。由于该方程的二次项系数均为负值, 可以推断方程代表的抛物面开口向下, 因而具有极大值点, 可以进行优化分析。由方程的一次项系数可以得出, 影响生晒参挥发油提取率因素的主次顺序为: 萃取温度>静态萃取时间>萃取压力。

2.2.2 回归方程方差分析

由表3可知, 方程的模型 $P<0.05$, 是显著的, 说明模型有意义; $R^2_{Adj}=0.931\ 0$, 说明该模型能解释93.10%响应值的变化; 相关系数 $R^2=0.975\ 4$, 说明该模型拟合程度较好, 试验误差小, 试验方法可靠, 能够很好地描述试

验结果, 使用该方程代替真实的试验点进行分析可行。因此该模型可以用于对生晒参挥发油提取率进行分析。由表3可知, 一次项B对模型的影响极为显著。交互项AB、AC影响显著, 二次项 A^2 、 C^2 影响极显著。

表3 回归模型方差分析及显著性检验
Table 3 Analysis of variance of regression model

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | F值 | P值 |
|---------------------------------------|---------|-----|---------|----------|---------|
| 模型 | 0.379 8 | 9 | 0.042 2 | 21.991 8 | 0.001 7 |
| A萃取压力 | 0.002 1 | 1 | 0.002 1 | 1.084 2 | 0.345 5 |
| B萃取温度 | 0.152 4 | 1 | 0.152 4 | 79.405 8 | 0.000 3 |
| C静态萃取时间 | 0.009 2 | 1 | 0.009 2 | 4.784 7 | 0.080 4 |
| AB | 0.013 7 | 1 | 0.013 7 | 7.134 7 | 0.044 3 |
| AC | 0.029 4 | 1 | 0.029 4 | 15.329 7 | 0.011 2 |
| BC | 0.012 3 | 1 | 0.012 3 | 6.421 7 | 0.052 3 |
| A^2 | 0.126 9 | 1 | 0.126 9 | 66.130 9 | 0.000 5 |
| B^2 | 0.009 5 | 1 | 0.009 5 | 4.932 1 | 0.077 0 |
| C^2 | 0.040 6 | 1 | 0.040 6 | 21.166 4 | 0.005 8 |
| 残差 | 0.009 6 | 5 | 0.001 9 | | |
| 失拟项 | 0.005 3 | 3 | 0.001 8 | 0.836 0 | 0.585 0 |
| 纯误差 | 0.004 3 | 2 | 0.002 1 | | |
| 总变异 | 0.389 3 | 14 | | | |
| $R^2=0.975\ 4$, $R^2_{Adj}=0.931\ 0$ | | | | | |

注: $P<0.05$, 差异显著; $P<0.01$, 差异极显著。

2.2.3 验证实验结果

采用Design-Expert 8.0.6软件分析回归模型, 得出生晒参挥发油最佳提取工艺参数为静态萃取时间2.02 h、萃取温度55 ℃、萃取压力38.05 MPa, 在萃取压力38 MPa、萃取温度55 ℃、静态萃取2 h、动态萃取1 h的工艺条件下进行验证实验, 以原料质量计算, 所得挥发油提取率为1.12%。

2.3 挥发油成分分析

吉林省生晒参超临界CO₂提取的挥发油中共检出35种化学成分, 鉴定出其中的29种化学成分(表4), 相对含量占96.69%, 其中含烷烃、醛、醇、酮、脂肪酸及酯等脂肪族化合物, 桉油烯醇、蓝桉醇、愈创木烯等倍半萜类物质。棕榈酸甲酯相对含量(39.86%)最高, 人参挥发油特有的倍半萜类物质中桉油烯醇相对含量(2.67%)最高; 本次实验提取出人参新萜醇、人参炔醇相对含量分别为0.365%和0.159%。

3 结 论

传统的提取方法挥发油提取率普遍较低, 加热回流法提取率在0.1%~0.3%^[18-19], 水蒸气蒸馏收率在0.3%~0.5%^[20], 超声法提取率为0.05%^[21], 沙氏提取器收率为0.12%^[22], 只有索氏提取器回流的收率稍高, 为

表4 人参挥发油成分分析结果
Table 4 Analytical results of main components of volatile oil from ginseng roots

| 序号 | 保留时间/min | RI | RI* | 化合物名称 | CAS编号 | 相对分子质量 | 分子式 | 相对含量/% |
|----|----------|---------|-------|--|-------------|---------|--|--------|
| 1 | 3.338 | 730.6 | 736 | cyclohexane, methyl 甲基环己烷 | 108-87-2 | 98.186 | C ₇ H ₁₄ | 1.771 |
| 2 | 4.577 | 767.3 | 768 | 1-pentanol 正戊醇 | 71-41-0 | 88.148 | C ₅ H ₁₂ O | 0.106 |
| 3 | 4.963 | 778.8 | 775 | 3-hexanone 3-己酮 | 589-38-8 | 100.159 | C ₆ H ₁₂ O | 0.132 |
| 4 | 5.144 | 784.1 | 790 | 2-hexanone 2-己酮 | 591-78-6 | 100.159 | C ₆ H ₁₂ O | 0.267 |
| 5 | 5.350 | 790.2 | 797 | 3-hexanol 3-己醇 | 623-37-0 | 102.175 | C ₆ H ₁₄ O | 0.028 |
| 6 | 5.401 | 791.7 | 801.1 | hexanal 己醛 | 66-25-1 | 100.159 | C ₆ H ₁₂ O | 6.663 |
| 7 | 7.833 | 863.8 | 861.5 | benzene, 1,3-dimethyl 间二甲苯 | 108-38-3 | 106.165 | C ₈ H ₁₀ | 0.045 |
| 8 | 8.943 | 896.9 | 931 | 2,5-hexanedione 2,5-己二酮 | 110-13-4 | 114.142 | C ₆ H ₁₀ O ₂ | 0.231 |
| 9 | 12.436 | 1 000.1 | 968.4 | pentanoic acid, 3-methyl 3-甲基戊酸 | 105-43-1 | 116.158 | C ₆ H ₁₂ O ₂ | 1.012 |
| 10 | 12.882 | 1 013.3 | 1 001 | octanal 正辛醛 | 124-13-0 | 128.212 | C ₈ H ₁₆ O | 0.584 |
| 11 | 14.785 | 1 069.7 | 1 065 | formic acid, octyl ester 甲酸辛酯 | 112-32-3 | 158.238 | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 0.151 |
| 12 | 15.959 | 1 104.5 | 1 098 | 2-furanmethanol, tetrahydro-, acetate 乙酸四氢糠酯 | 637-64-9 | 144.168 | C ₇ H ₁₂ O ₃ | 0.872 |
| 13 | 17.948 | 1 163.4 | 1 158 | naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro 1,2,3,4-四氢萘 | 119-64-2 | 132.202 | C ₁₀ H ₁₂ | 2.685 |
| 14 | 21.291 | 1 276.7 | 1 276 | nonanoic acid 壬酸 | 112-05-0 | 158.238 | C ₉ H ₁₈ O ₂ | 1.126 |
| 15 | 21.886 | 1 298.3 | 1 312 | 2,4-decadienal, (E,E) (E,E)-2,4-癸二烯醛 | 25152-84-5 | 152.233 | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.359 |
| 16 | 22.501 | 1 320.7 | 1 320 | 2,4-decadienal 2,4-癸二烯醛 | 2363-88-4 | 152.233 | C ₁₀ H ₁₆ O | 1.915 |
| 17 | 25.786 | 1 445.6 | 1 480 | 4'-hydroxy-3'-methoxyacetophenone 4-羟基-3-甲氧基苯乙酮 | 498-02-2 | 166.174 | C ₉ H ₁₀ O ₃ | 0.434 |
| 18 | 29.133 | 1 583.4 | 1 582 | (-)-spathulenol 桉油烯醇 | 77171-55-2 | 220.351 | C ₁₅ H ₂₄ O | 2.584 |
| 19 | 29.282 | 1 589.5 | 1 497 | δ-guaijene δ-愈创木烯 | 3691-11-0 | 204.351 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.299 |
| 20 | 29.960 | 1 619.5 | 1 580 | (-)-globulol (一) 蓝桉醇 | 489-41-8 | 222.366 | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.216 |
| 21 | 30.294 | 1 634.6 | 1 621 | ginsenosol 人参新萜醇 | 117591-80-7 | 222.366 | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.353 |
| 22 | 32.921 | 1 755 | 1 700 | heptadecane 正十七烷 | 629-78-7 | 240.468 | C ₁₇ H ₃₆ | 0.432 |
| 23 | 37.183 | 1 967.9 | 1 969 | n-hexadecanoic acid 棕榈酸 | 0057-10-3 | 256.424 | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 25.640 |
| 24 | 37.730 | 1 995.9 | 1 996 | hexadecanoic acid, ethyl ester 棕榈酸乙酯 | 628-97-7 | 284.477 | C ₁₈ H ₃₆ O ₂ | 0.166 |
| 25 | 38.426 | 2 044.4 | 2 056 | (S,Z)-heptadeca-1,9-dien-4,6-diyn-3-ol 人参炔醇 | 81203-57-8 | 244.372 | C ₁₇ H ₂₄ O | 0.153 |
| 26 | 39.820 | 2 145 | 2 107 | 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester 棕榈酸甲酯 | 112-63-0 | 294.472 | C ₁₉ H ₃₄ O ₂ | 38.543 |
| 27 | 39.877 | 2 149.1 | 2 105 | 9-octadecenoic acid (Z)-, methyl ester 亚油酸甲酯 | 112-62-9 | 296.488 | C ₁₉ H ₃₆ O ₂ | 7.464 |
| 28 | 40.154 | 2 169.1 | 2 172 | octadecanoic acid 十八烷酸 | 0057-11-4 | 284.477 | C ₁₈ H ₃₆ O ₂ | 1.313 |
| 29 | 40.377 | 2 183.1 | 2 179 | 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-亚油酸 | 60-33-3 | 280.446 | C ₁₈ H ₃₂ O ₂ | 1.145 |

注: RI.保留指数计算值; RI*.文献报道的参考值。

0.96%^[23]。本实验采用超临界CO₂方法提取生晒参挥发油,通过响应面法优化了提取工艺。应用GC-MS结合AMDIS和RI鉴定其化学成分组成。结果表明,在萃取压力38 MPa、萃取温度55℃、静态萃取2 h、动态萃取1 h的工艺条件下,超临界萃取法操作简便,提取率可达1.12%。从挥发油中分离出35种化学成分,鉴定出其中的29种,相对含量占挥发性物质的96.69%。

参考文献:

- 王海坤,李淑娥,贾淑云,等.中药挥发油研究进展[C]//2013年中国临床药学学术年会暨第九届临床药师论坛.南昌:中国医院协会药事管理专业委员会,2013:836-841.
- 魏爱书,赵锐.人参挥发油的研究进展[J].人参研究,2010(2):39-41. DOI:10.3969/j.issn.1671-1521.2010.02.009.
- 刘鸿斌.人参有效成分超临界萃取法提取与纯化的研究[D].长春:吉林农业大学,2014.
- 曹明宇.中药挥发油绿色提取技术的研究[D].石家庄:河北科技大学,2011.
- 董新艳,张兴儒.超临界萃取技术在中草药研究中的应用[J].青海大学学报(自然科学版),2005(3):15-18;26. DOI:10.3969/j.issn.1006-8996.2005.03.005.
- 范群红,刘芳,周丹,等.超临界流体萃取技术在中草药挥发油提取中的应用[J].中国药房,2014,25(31):2964-2966. DOI:10.6039/j.issn.1001-0408.2014.31.31.
- 侯彩霞,李淑芬.挥发油的超临界流体萃取与分离进展[J].化工进展,2007,26(1):42-46. DOI:10.3321/j.issn.1000-6613.2007.01.009.
- 李桂生,马成俊,刘志峰,等.超临界CO₂萃取法与水蒸气蒸馏法提取当归挥发油的比较[J].中草药,2001,32(7):581-583. DOI:10.3321/j.issn.0253-2670.2001.07.003.
- 佟鹤芳,薛健,童燕玲.GC-MS法测定人参和西洋参挥发性成分[J].中医药学报,2013,41(1):49-54. DOI:10.3969/j.issn.1002-2392.2013.01.018.
- 王恩鹏.人参挥发油的质谱研究[D].长春:长春中医药大学,2010.
- 杨艳辉,杨兴斌,王燕,等.人参脂肪酸和挥发油成分的GC-MS分析[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2007,31(1):77-81. DOI:10.3321/j.issn.1672-4291.2007.01.019.
- 王坚,陈鸿平,刘友平,等.应用自动质谱退卷积分性系统拆分中药挥发油总离子流谱图中的重叠峰:以青皮为例[J].中国中药杂志,2013,38(10):1564-1569.
- 闫婕,卫莹芳,古锐.应用自动质谱退卷积分性系统(AMDIS)和保留指数分析马尔康柴胡地上、地下部分与北柴胡挥发油的成分差异[J].中国中药杂志,2014,39(6):1048-1053.
- 樊丹青,陈鸿平,刘荣,等.GC-MS-AMDIS结合保留指数分析花椒、竹叶花椒挥发油的组成成分[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(8):63-68.
- 任恒鑫,张舒婷,吴宏斌,等.GC-MS-AMDIS结合保留指数分析藿香挥发油[J].食品科学,2013,34(24):230-232. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201324048.
- 梁晟,李雅文,赵晨曦,等.GC-MS结合保留指数对中药挥发油的定性[J].分析测试学报,2008,27(1):84-87. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2008.01.023.
- 曹立军,徐涛,赵花,等.超临界CO₂萃取人参挥发油工艺的研究[J].人参研究,2012,24(3):8-10. DOI:10.3969/j.issn.1671-1521.2012.03.004.
- 李念平,程光荣,曹淑兰,等.人参挥发油化学成分的研究(一):辽宁参根、茎、叶、花中挥发油分析[J].分析测试通报,1983(增刊1):17-23.
- 丁增伟.人参根中挥发油含量变化规律的研究[D].长春:吉林农业大学,2008.
- 孙允秀,张惠祥,姜文普,等.人参挥发性成分分析(IV):吉林省不同产地的人参根部挥发性成分的研究[J].吉林大学自然科学学报,1987(1):107-112.
- 宋晓凯.人参挥发油提取方法的探讨[J].吉林林学院学报,1991,7(2):42-43.
- 陈英杰,黄祯,李念平,等.人参挥发油的研究[J].中药通报,1982(4):29-31.
- 阎吉昌,张宏,卫永弟,等.人参挥发油的提取和分析[J].分析测试学报,1994,13(3):46-50.