

国内外产西洋参挥发性成分的 HS-SPME/GC-MS 比较

司雨, 刘云鹤, 王钟瑶, 刘金平, 李平亚, 焦玉凤*
(吉林大学药学院天然药物研究中心, 长春 130021)

[摘要] 目的:对不同产地与不同年限的西洋参的挥发性化学成分进行测定分析,为西洋参的进一步开发和利用提供理论依据。方法:采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气相色谱-质谱联用法(GC-MS)对西洋参的挥发性成分进行提取、分析与鉴定,采用色谱峰面积归一化法确定各成分的相对含量。结果:西洋参样品中共鉴定出 151 种成分,包括烃类 99 种、醇酚类 21 种、醛类 7 种、酮类 8 种、酯类 1 种,杂环类及其他成分 15 种。3 年生吉林白山产西洋参根中鉴定出 68 种成分,质量分数 98.27%;4 年生吉林白山产西洋参根中鉴定出 67 种成分,质量分数 98.79%;3 年生美国产西洋参根中鉴定出 65 种成分,质量分数 95.81%;4 年生美国产西洋参根中鉴定出 63 种成分,质量分数 99.67%。4 个西洋参样品的挥发油成分中的特有成分分别为 24,23,19 和 23 种,共有成分为 16 种。结论:不同产地的不同年限的西洋参的挥发性化学成分的含量和组成存在很大差异,该实验结果为未来西洋参药材质量评价研究以及资源的充分合理开发利用提供借鉴。

[关键词] 西洋参;挥发性成分;气相色谱-质谱联用;顶空-固相微萃取

[中图分类号] R284.1;R282.6;R22;R243 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)18-0130-09

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20191815

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20190706.1518.004.html>

[网络出版时间] 2019-07-10 15:56

Comparison of Volatile Oil of Domestic and Foreign Panacix Quinquefolii Radix by HS-SPME/GC-MS

SI Yu, LIU Yun-he, WANG Zhong-yao, LIU Jin-ping, LI Ping-ya, JIAO Yu-feng*

(Natural Medicine Research Center, School of Pharmaceutical Sciences, Jilin University, Changchun 130021, China)

[Abstract] **Objective:** To determine the volatile chemical constituents of Panacix Quinquefolii Radix of different origins and different growth years, in order to provide the theoretical basis for the further development and utilization of Panacix Quinquefolii Radix. **Method:** Headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to extract, analyze and identify the volatile constituents of Panacix Quinquefolii Radix. The chromatographic peak area normalization method was used to determine the relative amount of ingredients. **Result:** A total of 151 compounds were identified in Panacix Quinquefolii Radix samples, including 99 hydrocarbons, 21 alcohol phenols, 7 aldehydes, 8 ketones, 1 ester, 15 heterocyclics and other compounds. Totally 68 kinds of compounds were identified in the roots of three-year-old Jilin Baishan, and the mass fraction accounted for 98.27%, 67 compounds were identified in the roots of four-year-old Jilin Baishan, and the mass fraction accounted for 98.79%, 65 compounds were identified in 3-year-old Panacix Quinquefolii Radix root, and the mass fraction accounted for 95.81%, and 63 compounds were identified in 4-year-old Panacix Quinquefolii Radix root, and the mass fraction accounted for 99.67%. The specific components of the volatile oil components of the four Panacix Quinquefolii Radix samples were 24, 23, 19, and

[收稿日期] 20190423(010)

[基金项目] 吉林省科技发展计划项目(20180311124YY)

[第一作者] 司雨,在读硕士,从事天然药物化学成分及其生物活性的研究,E-mail:yusi18@mails.jlu.edu.cn

[通信作者] *焦玉凤,在读硕士,从事天然药物化学成分及其生物活性的研究,Tel:0431-85619803,E-mail:jiaoyf18@mails.jlu.edu.cn

23, respectively, and the total composition was 16 species. **Conclusion:** The content and composition of volatile chemical constituents of *Panax quinquefolii* Radix of different origins are very different. This experiment provides a reference for the future quality evaluation of *Panax quinquefolii* Radix medicinal materials, rational development and utilization of resources.

[**Key words**] *Panax quinquefolii* Radix ; volatile components; gas chromatography-mass spectrometry; headspace solid phase microextraction

西洋参为五加科植物西洋参的干燥根,性凉,味甘,微苦,具有补气养阴,清热生津等功效^[1]。中医学认为,西洋参性凉而补,具有滋阴补气,宁神益智、清热生津及降火消暑等功效,凡欲用人参而不受人参之温者皆可用之。故补而不燥为西洋参特别之处^[2]。西洋参原产于美国和加拿大,我国自引种成功至今已经形成东北三省、山东半岛、陕西秦岭和北京怀柔四大主产区。

大量药理研究表明,西洋参对心血管系统具有一定的保护作用^[3-4],可改善受损记忆和学习功能^[5],有效增强中枢神经功能,调节内分泌^[6],对治疗糖尿病有一定辅助作用^[7-8],抑制癌细胞增长和肿瘤的发生^[9-10]等。目前,对于西洋参的皂苷类及糖类化学成分的研究居多^[11-12],对于挥发性化学成分也有报道,但对于国内外西洋参的比较报道较少。

西洋参挥发性成分常用水蒸气蒸馏提取^[13],采用顶空固相微萃取对其进行提取的研究未见报道,顶空固相微萃取法是将萃取头垂直置于待测样品上方的气相中,吸附挥发性组分^[14]。该方法适用于微量挥发性物质聚集,可减少底物样品中的其他物质干扰,且便于操作。

为深入研究国内外不同产地不同年限西洋参挥发性成分的差异,为全面分析西洋参的挥发性成分提供实验数据,采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术分别对美国与吉林白山产 3 年生,4 年生的新鲜西洋参的挥发油类成分进行了定性与定量研究,为西洋参挥发性成分的药理活性研究提供物质基础,同时也为不同产地与不同年限西洋参的筛选及新的药用价值提供一定参考。

1 材料

19091U-433 型气相色谱/质谱联用仪(美国 Agilent 公司);固相微萃取装置,PDMS/DVB 萃取纤维头(涂层厚度 65 μm ,美国 Supelco 公司);FA1104N 型电子分析天平(上海菁华科技仪器有限公司)。

西洋参经吉林大学天然药物研究中心李平亚教

授鉴定均为五加科植物西洋参 *Panax quinquefolium* 的干燥根,具体信息见表 1。

表 1 西洋参信息

Table 1 *Panax quinquefolii* Radix information sheet

| 年限 | 产地 | 采集日期 |
|------|--------------|------------|
| 3 年生 | 吉林省白山市抚松县北岗镇 | 2018-10-07 |
| 4 年生 | 吉林省白山市抚松县北岗镇 | 2018-10-07 |
| 3 年生 | 美国威斯康辛州 | 2018-10-10 |
| 4 年生 | 美国威斯康辛州 | 2018-10-10 |

2 方法

2.1 挥发油的提取 取鲜西洋参样品适量,切碎,分别称取样品约 1.0 g,置于 20 mL 固相微萃取仪顶空瓶中,60 $^{\circ}\text{C}$ 顶空萃取 40 min(固相微萃取针型号 DVC/CAR/PDMS),取出萃取头,插入气相色谱仪进样口进行热解析,解析温度 260 $^{\circ}\text{C}$,时间 20 s。

2.2 分析条件

2.2.1 GC 色谱条件 Agilent 19091U-433 气相毛细管柱(0.25 mm \times 30 m,0.25 μm);进样口温度 260 $^{\circ}\text{C}$,载气 He(纯度 99.99%),载气流速 1 mL \cdot min⁻¹,程序升温(初始温度 60 $^{\circ}\text{C}$,保留 3 min,以 2 $^{\circ}\text{C} \cdot$ min⁻¹ 升温至 120 $^{\circ}\text{C}$,而后以 10 $^{\circ}\text{C} \cdot$ min⁻¹ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$,最后以 15 $^{\circ}\text{C} \cdot$ min⁻¹ 升温至 280 $^{\circ}\text{C}$)。

2.2.2 MS 条件 电子轰击(EI)离子源,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,电子轰击能量 70 eV,采集模式全扫描,质量扫描范围 m/z 20 ~ 600,扫描速度 150 amu \cdot s⁻¹。

2.2.3 统计分析 对总离子流图中的各峰经 HPMSD 化学工作站处理,根据保留时间,采用 NIST08.L 质谱谱库检索,结合人工谱图解析,综合文献分析鉴定各挥发性化学成分,峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

3 结果分析

通过检测获得美国与吉林白山产 3,4 年生的新鲜西洋参样品的挥发性成分的总离子流图,见图 1;通过对总离子流图进行分析,鉴别其中大部分化学成分及其相对质量分数,见表 2,3。

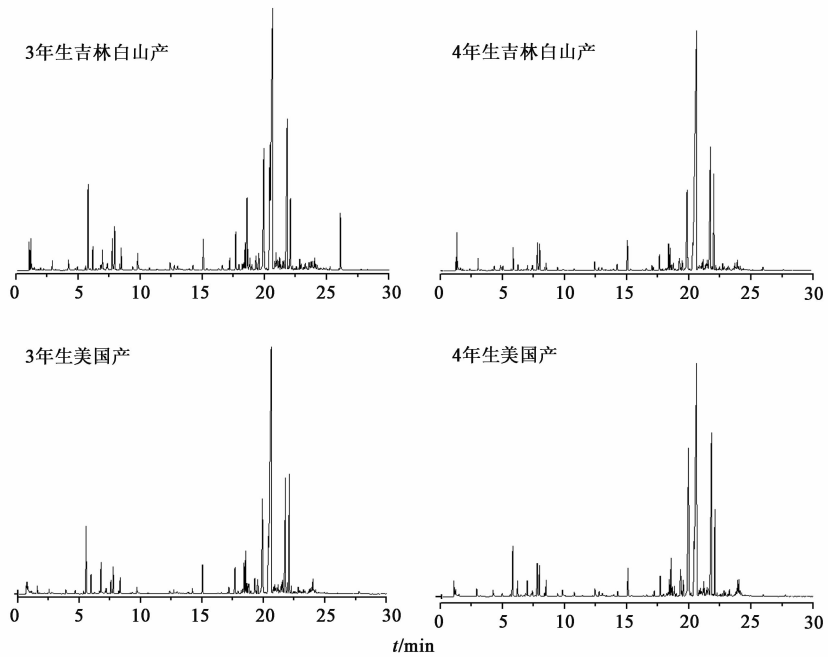


图 1 4 种西洋参样品挥发性成分的总离子流

Fig. 1 Total ion chromatogram of volatile constituents of four *Panax Quinquefolii Radix* samples

表 2 西洋参挥发性成分和相对质量分数

Table 2 Volatile components and contents of *Panax Quinquefolii Radix*

| No. | 成分中英文名称 | 保留时间 /min | 分子式 | 吉林白山 (3 年) /% | 吉林白山 (4 年) /% | 美国 (3 年) /% | 美国 (4 年) /% |
|-----|---|--------------|---|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1-丁烯 1-butene | 2.553 | C ₄ H ₈ | - | - | 0.19 | - |
| 2 | 二异丙基乙胺 diisopropylethylamine | 2.751 | C ₈ H ₁₉ N | - | - | 0.10 | - |
| 3 | 5-甲基-1-己烯 5-methyl-1-hexene | 2.849 | C ₇ H ₁₄ | - | - | - | 0.45 |
| 4 | 2-甲基-1-丙烯 2-methyl-1-propene | 2.915 | C ₄ H ₈ | 0.35 | 0.55 | - | - |
| 5 | 六甲基-环三硅氧烷 hexamethy-cyclotrisiloxane | 3.204 | C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃ | - | 0.09 | - | - |
| 6 | 1-己醇 1-hexanol | 4.164 | C ₆ H ₁₄ O | 0.63 | - | 0.38 | 0.45 |
| 7 | 1,2-二甲基-苯 1,2-dimethyl-benzene | 4.250 | C ₈ H ₁₀ | - | 0.34 | - | - |
| 8 | 双环[4.2.0]辛-1,3,5-三烯 bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene | 4.749 | C ₈ H ₈ | 0.12 | 0.50 | - | - |
| 9 | 正庚醛 heptanal | 4.907 | C ₇ H ₁₄ O | 0.20 | - | 0.22 | 0.22 |
| 10 | (E)-1,3-丁二烯-1-醇 (E)-1,3-butadien-1-ol | 4.953 | C ₄ H ₆ O | - | 0.31 | - | - |
| 11 | α-水芹烯 α-phellandrene | 5.361 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | 0.17 | 0.15 |
| 12 | 1R-α-蒎烯 1R-α-pinene | 5.788 | C ₁₀ H ₁₆ | 3.27 | 1.10 | 3.78 | 2.92 |
| 13 | 蒎烯 camphene | 6.150 | C ₁₀ H ₁₆ | 0.88 | 0.31 | 1.04 | 0.83 |
| 14 | 1,1-二甲基-环丙烷 1,1-dimethyl-cyclopropane | 6.413 | C ₅ H ₁₀ | - | - | - | 0.16 |
| 15 | 1-戊炔-1-醇 1-pentyn-1-ol | 6.439 | C ₅ H ₈ O | - | 0.14 | 0.18 | - |
| 16 | 2-甲基-2-十一烷硫醇 2-methyl-2-undecanethiol | 6.446 | C ₁₂ H ₂₆ S | 0.14 | - | - | - |
| 17 | 苯甲醛 benzaldehyde | 6.663 | C ₇ H ₆ O | 0.20 | 0.12 | - | - |
| 18 | (-)-β-蒎烯 (-)-β-pinene | 6.781 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | 1.64 | - |
| 19 | 1-庚醇 1-heptanol | 6.788 | C ₇ H ₁₆ O | 0.35 | - | 0.27 | 0.26 |
| 20 | (±)-α-蒎烯 (±)-α-pinene | 6.933 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | - | 0.86 |

续表 2

| No. | 成分中英文名称 | 保留时间 /min | 分子式 | 吉林白山 (3 年) /% | 吉林白山 (4 年) /% | 美国 (3 年) /% | 美国 (4 年) /% |
|-----|--|--------------|---|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 21 | 1 <i>R</i> - α -蒎烯 1 <i>R</i> - α -pinene | 6.959 | C ₁₀ H ₁₆ | - | 0.29 | - | - |
| 22 | β -蒎烯 β -pinene | 6.965 | C ₁₀ H ₁₆ | 0.82 | - | - | - |
| 23 | 1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol | 7.051 | C ₈ H ₁₆ O | - | - | - | 0.14 |
| 24 | 2,2-二甲基-1-己醇 2,2-dimethyl-1-hexanol | 7.077 | C ₈ H ₁₈ O | 0.15 | - | - | - |
| 25 | 2,2-二甲基-戊烷 2,2-dimethyl-pentane | 7.130 | C ₇ H ₁₆ | - | - | 0.22 | - |
| 26 | β -蒎品烯 β -terpinen | 7.202 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | 0.40 | - |
| 27 | 6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one | 7.268 | C ₈ H ₁₄ O | - | - | - | 0.22 |
| 28 | 3,5-二甲基-1-己烯 3,5-dimethyl-1-hexene | 7.294 | C ₈ H ₁₆ | 0.18 | - | - | - |
| 29 | 2,2,8-三甲基-癸烷 2,2,8-trimethyl-decane | 7.294 | C ₁₃ H ₂₈ | - | 0.12 | - | - |
| 30 | 1-戊基-咪喃 1-pentyl-furan | 7.347 | C ₉ H ₁₄ O | - | - | - | 0.40 |
| 31 | β -蒎烯 β -pinene | 7.366 | C ₁₀ H ₁₆ | 0.43 | 0.43 | - | - |
| 32 | 环状二甲基硅氧烷四聚体 octamethyl-cyclotetrasiloxane | 7.426 | C ₈ H ₂₄ O ₄ Si ₄ | - | - | 0.11 | 0.10 |
| 33 | 辛醛 octanal | 7.768 | C ₈ H ₁₆ O | 1.53 | 1.94 | 0.82 | 2.03 |
| 34 | 1,1-二甲基-2-(3-甲基-1,3-丁二烯-1-基)-环丙烷 1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)-cyclopropane | 7.912 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | - | 1.71 |
| 35 | 1 <i>S</i> - α -蒎烯 1 <i>S</i> - α -pinene | 7.939 | C ₁₀ H ₁₆ | - | 1.49 | - | - |
| 36 | 1 <i>R</i> - α -蒎烯 1 <i>R</i> - α -pinene | 7.945 | C ₁₀ H ₁₆ | 1.81 | - | 1.50 | - |
| 37 | β -伞花烃 β -cymene | 8.221 | C ₁₀ H ₁₄ | - | - | 0.17 | - |
| 38 | 对-聚伞花素 <i>p</i> -cymol | 8.353 | C ₁₀ H ₁₄ | 0.25 | 0.20 | - | 0.19 |
| 39 | <i>D</i> -柠檬烯 <i>D</i> -limonene | 8.445 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | - | 0.75 |
| 40 | 柠檬烯 limonene | 8.465 | C ₁₀ H ₁₆ | 0.89 | 0.37 | 0.81 | - |
| 41 | 2-亚甲基-环戊醇 2-methylene cyclopentanol | 9.300 | C ₆ H ₁₀ O | 0.24 | - | 0.18 | - |
| 42 | 2-甲基-3-(2-丙烯-1-基氧基)-2-丙烯 2-methyl-3-(2-propen-1-yloxy)-2-propene | 9.379 | C ₇ H ₁₂ O | - | - | - | 0.27 |
| 43 | (<i>E</i>)-2-辛烯醛 (<i>E</i>)-2-octenal | 9.385 | C ₈ H ₁₄ O | - | 0.27 | - | - |
| 44 | 1-辛醇 1-octanol | 9.773 | C ₈ H ₁₈ O | 0.96 | - | 0.67 | 0.67 |
| 45 | 3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one | 9.839 | C ₈ H ₁₂ O | - | 0.15 | - | - |
| 46 | 壬醛 nonanal | 10.727 | C ₉ H ₁₈ O | - | 0.10 | - | 0.26 |
| 47 | (<i>E</i>)-2-庚烯-1-醇 (<i>E</i>)-2-hepten-1-ol | 10.740 | C ₇ H ₁₄ O | 0.11 | - | - | - |
| 48 | 2-亚甲基-1-环戊醇 2-methylene-1-cyclopentanol | 12.364 | C ₆ H ₁₀ O | - | - | 0.25 | 0.57 |
| 49 | 二烯丙基胺 <i>bis</i> -allylamine | 12.403 | C ₆ H ₁₁ N | 0.46 | - | - | - |
| 50 | 3-环己基丙炔 3-cyclohexylpropyne | 12.410 | C ₉ H ₁₄ | - | 0.68 | - | - |
| 51 | 2-甲氧基-3-(1-甲基丙基)-吡嗪 2-methoxy-3-(1-methylpropyl)-pyrazine | 12.745 | C ₉ H ₁₄ N ₂ O | 0.28 | 0.27 | 0.27 | 0.29 |
| 52 | 2-甲氧基-3-(2-甲基丙基)-吡嗪 2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine | 13.002 | C ₉ H ₁₄ N ₂ O | - | 0.19 | - | 0.24 |
| 53 | 1-乙烯基金刚烷 1-vinyladamantane | 13.837 | C ₁₂ H ₁₈ | - | - | 0.12 | - |
| 54 | 3-甲基-4-亚甲基-双环[3.2.1]辛-2-烯 3-methyl-4-methylene-bicyclo[3.2.1]oct-2-ene | 13.870 | C ₁₀ H ₁₄ | - | - | - | 0.11 |
| 55 | 1,3-二异丙基苯 1,3-diisopropylbenzene | 13.909 | C ₁₂ H ₁₈ | - | - | 0.12 | - |
| 56 | 1,2,4-三乙基-苯 1,2,4-triethyl-benzene | 13.948 | C ₁₂ H ₁₈ | - | 0.11 | - | - |

续表 2

| No. | 成分中英文名称 | 保留时间 /min | 分子式 | 吉林白山 (3年) /% | 吉林白山 (4年) /% | 美国 (3年) /% | 美国 (4年) /% |
|-----|---|--------------|--|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 57 | 1-苯基-1,3-丁二酮 1-phenyl-1,3-butanedione | 14.244 | C ₁₀ H ₁₀ O ₂ | - | - | - | 0.30 |
| 58 | 1,5-癸二炔 1,5-decadiyne | 14.244 | C ₁₀ H ₁₄ | 0.26 | 0.42 | 0.34 | - |
| 59 | 5-羟基-3-甲基-1-二氢茛酮 5-hydroxy-3-methyl-1-indanone | 15.066 | C ₁₀ H ₁₀ O ₂ | 1.38 | 1.85 | 1.72 | 1.48 |
| 60 | E-1-十一碳烯醛 E-1-undecenal | 15.342 | C ₁₁ H ₂₀ O | 0.13 | - | - | - |
| 61 | 2,3-二甲基-1-戊烯 2,3-dimethyl-1-pentene | 15.342 | C ₇ H ₁₄ | - | 0.13 | - | - |
| 62 | 2-亚甲基环戊醇 2-methylene cyclopentanol | 15.356 | C ₆ H ₁₀ O | - | - | - | 0.10 |
| 63 | 1-溴-2-甲基丁烷 1-bromo-2-methyl-butane | 16.309 | C ₅ H ₁₁ Br | - | 0.09 | - | - |
| 64 | 1,5-二氯-2-甲氧基-3-甲基苯 1,5-dichloro-2-methoxy-3-methyl-benzene | 16.611 | C ₈ H ₈ Cl ₂ O | 0.32 | 0.21 | - | - |
| 65 | 十二甲基环己硅氧烷 dodecamethyl-cyclohexasiloxane | 17.078 | C ₁₂ H ₃₆ O ₆ Si ₆ | - | 0.26 | - | - |
| 66 | 1,3-二甲基-5-叔丁基-2-苯乙酮 1,3-dimethyl-5-tert-butyl-2-acetophenone | 17.183 | C ₁₄ H ₂₀ O | - | 0.18 | 0.35 | - |
| 67 | 1,3-双(1,1-二甲基乙基)-5-甲基-苯 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)-5-methyl-benzene | 17.197 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.28 |
| 68 | 1-(2,4,5-三乙基)乙酮 1-(2,4,5-triethylphenyl)-ethanone | 17.203 | C ₁₄ H ₂₀ O | 0.49 | - | - | - |
| 69 | (±)-异长叶烯 (±)-isolongifolene | 17.670 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 1.26 |
| 70 | 4-(2,7,7-三甲基二环[3.2.0]庚-2-烯-1-基)3-丁烯-2-酮 4-(2,7,7-trimethylbicyclo[3.2.0]hept-2-en-1-yl)-3-buten-2-one | 17.677 | C ₁₄ H ₂₀ O | 1.79 | - | - | - |
| 71 | α-葎澄茄油烯 α-cubebene | 17.690 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 1.25 | 2.14 | - |
| 72 | (-)-α-愈创木烯 (-)-α-gurjunene | 17.940 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.29 | - | - | - |
| 73 | 3-(1,1-二甲基乙基)-α-甲基-苯丙醛 3-(1,1-dimethylethyl)-α-methyl-benzenepropanal | 18.189 | C ₁₄ H ₂₀ O | - | - | 0.23 | - |
| 74 | 1,3,5-三(异丙基)苯 1,3,5-tris(isopropyl)benzene | 18.196 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.20 |
| 75 | 1-(2,4,5-三乙基)乙酮 1-(2,4,5-triethylphenyl)-ethanone | 18.203 | C ₁₄ H ₂₀ O | 0.29 | 0.18 | - | - |
| 76 | 1,2,4,5-四甲基-3-(3-甲基丁基)苯 1,2,4,5-tetramethyl-3-(3-methylbutyl)-benzene | 18.314 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.35 | - |
| 77 | 1-(3-甲基丁基)-2,3,4,5-四甲基苯 1-(3-甲基丁基)-2,3,4,5-四甲基苯 | 18.328 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.20 | 0.28 |
| 78 | 1,2-二乙基-3,4-二甲基苯 1,2-diethyl-3,4-dimethyl-benzene | 18.334 | C ₁₂ H ₁₈ | 0.49 | - | - | - |
| 79 | (-)-可巴烯 (-)-copaene | 18.420 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 1.69 | - |
| 80 | α-葎澄茄油烯 α-cubebene | 18.426 | C ₁₅ H ₂₄ | 1.21 | 1.55 | - | 0.86 |
| 81 | β-人参烯 β-panasinsene | 18.558 | C ₁₅ H ₂₄ | 3.84 | 1.42 | 2.73 | 2.15 |
| 82 | 1,2-二乙基-3,4-二甲基苯 1,2-diethyl-3,4-dimethyl-benzene | 18.637 | C ₁₂ H ₁₈ | - | 0.35 | 0.60 | - |
| 83 | 4-(3-甲基-2-丁烯基)-苯酚 4-(3-methyl-2-butenyl)-phenol | 18.650 | C ₁₁ H ₁₄ O | - | - | - | 0.50 |
| 84 | 3-乙基-1,2,4,5-四甲基苯 3-ethyl-1,2,4,5-tetramethyl-benzene | 18.656 | C ₁₂ H ₁₈ | 0.82 | - | - | - |
| 85 | β-葎澄茄油烯 β-cubebene | 18.762 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.23 | 0.30 | 0.53 | 0.19 |
| 86 | β-榄香烯 β-elemen | 18.821 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.52 | 0.46 | 0.46 | 0.54 |
| 87 | 1-乙基-3-异丙基苯 1-ethyl-3-isopropylbenzene | 18.972 | C ₁₁ H ₁₆ | 0.32 | - | 0.26 | 0.19 |
| 88 | (-)-α-古芸烯 (-)-α-gurjunene | 19.314 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.90 | 1.05 | 1.24 | 2.06 |
| 89 | 雪松烯-V6 cedrene-V6 | 19.531 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.88 | - | - | - |
| 90 | (-)-马兜铃烯 (-)-aristolene | 19.537 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.70 | - | 1.01 |

续表 2

| No. | 成分中英文名称 | 保留时间 /min | 分子式 | 吉林白山 (3 年) /% | 吉林白山 (4 年) /% | 美国 (3 年) /% | 美国 (4 年) /% |
|-----|---|--------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 91 | (1 <i>R</i> ,8 <i>AS</i>)-1,2,3,7,8,8 <i>a</i> -六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)萘 (1 <i>R</i> ,8 <i>AS</i>)-1,2,3,7,8,8 <i>a</i> -hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)naphthalene | 19.958 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.59 | - |
| 92 | (+)-白菖油萜 (+)-calarene | 19.965 | C ₁₅ H ₂₄ | 7.81 | 6.79 | 7.12 | 13.73 |
| 93 | (±)-β-杜松烯 (±)-β-cadinene | 19.768 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.22 | - |
| 94 | α-人参烯 α-panasinsanene | 19.978 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.63 | - | - |
| 95 | (+)-α-榄香烯 (+)-α-elemene | 20.004 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 1.13 |
| 96 | (-)-香树烯 (-)-alloaromadendrene | 20.149 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.16 | - | - |
| 97 | 2,3,3 <i>a</i> ,4-四氢基-3,3 <i>a</i> ,6-三甲基-1-(1-甲基乙基)-1 <i>H</i> -茛 2,3,3 <i>a</i> , 4-tetrahydro-3,3 <i>a</i> ,6-trimethyl-1-(1-methylethyl)-1 <i>H</i> -indene | 20.155 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.18 | - | - | - |
| 98 | α-蛇床烯 α-selinine | 20.162 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.26 |
| 99 | 新丁香三环烯 neoclovene | 20.386 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 1.81 | - | - |
| 100 | 丁香香烯 clovene | 20.392 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 3.85 | 3.22 |
| 101 | β-马榄烯 β-maaliene | 20.425 | C ₁₅ H ₂₄ | 7.71 | - | - | - |
| 102 | (<i>E</i>)-β-金合欢烯 (<i>E</i>)-β-farnesene | 20.649 | C ₁₅ H ₂₄ | 29.79 | 44.50 | 36.88 | 30.25 |
| 103 | 石竹烯 caryophyllene | 20.813 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.45 | 0.41 |
| 104 | 4,11,11-三甲基-8-亚甲基双环[7.2.0]十一碳-4-烯 4,11,11- trimethyl-8-methylene-bicyclo[7.2.0]undec-4-ene | 20.826 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.49 | 0.35 | - | - |
| 105 | β-新丁香三环烯 β-neoclovene | 20.931 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.89 | 0.41 | 0.62 | 0.47 |
| 106 | γ-蛇床烯 γ-selinine | 21.004 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.33 |
| 107 | β-绿叶烯 β-patchoulene | 21.017 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.66 | - |
| 108 | 2-异丙烯基-4 <i>a</i> ,8-二甲基甲基-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,7-八氢萘 2- isopropenyl-4 <i>a</i> ,8-dimethyl-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,7-octahydronaphthalene | 21.023 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.65 | - | - | - |
| 109 | (-)-α-古芸烯 (-)-α-gurjunene | 21.063 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.48 | - | - |
| 110 | (±)-α-姜黄烯 (±)-α-curcumene | 21.135 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.34 | 0.41 | 0.34 | 0.35 |
| 111 | β-顺-金合欢烯 β-cis-farnesene | 21.201 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.46 | 0.54 | 0.45 | 0.65 |
| 112 | 1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘 1,2,3,4,4 <i>a</i> , 7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-naphthalene | 21.405 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.24 | 0.26 | 0.34 | 0.26 |
| 113 | 1,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,8 <i>a</i> -八氢-4 <i>a</i> ,8-二甲基-2-(1-甲基乙基)-萘 1, 2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,8 <i>a</i> -octahydro-4 <i>a</i> ,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-naphthalene | 21.477 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.39 | - | - | - |
| 114 | (±)-香橙烯 (±)-aromadendrene | 21.464 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.50 | - |
| 115 | β-绿叶烯 β-patchoulene | 21.490 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.50 | - | 0.46 |
| 116 | 顺式-(-)-2,4 <i>a</i> ,5,6,9 <i>a</i> -六氢-3,5,5,9-四甲基(1 <i>H</i>)苯并环庚烯 cis-(-)-2,4 <i>a</i> ,5,6,9 <i>a</i> -hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl (1 <i>H</i>)benzocycloheptene | 21.556 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.61 | - | 0.98 | - |
| 117 | (<i>Z</i>)-α-红没药烯 (<i>Z</i>)-α-bisabolene | 21.563 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 0.66 |
| 118 | (<i>S</i>)-β-红没药烯 (<i>S</i>)-β-bisabolene | 21.819 | C ₁₅ H ₂₄ | 10.38 | 12.08 | 9.01 | 14.10 |
| 119 | 2-异丙基-5-甲基-9-亚甲基-二环[4.4.0]癸-1-烯 2-isopropyl-5- methyl-9-methylene-Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene | 21.944 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.57 | - |
| 120 | (-)-β-倍半水芹烯 (-)-β-sesquiphellandrene | 22.089 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | - | 4.13 |
| 121 | (+)-δ-杜松萜烯 (+)-δ-cadinene | 22.095 | C ₁₅ H ₂₄ | 3.83 | 5.60 | 6.23 | - |

续表 2

| No. | 成分中英文名称 | 保留时间 /min | 分子式 | 吉林白山 (3 年) /% | 吉林白山 (4 年) /% | 美国 (3 年) /% | 美国 (4 年) /% |
|-----|---|--------------|---|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 122 | 1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1,2,3,4,4a,7-六氢萘 1,2,3,4,4a,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-naphthalene | 22.266 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.16 | - | 0.32 | 0.27 |
| 123 | (-)- α -雪松烯 (-)- α -cedrene | 22.279 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.21 | - | - |
| 124 | [7S-(7R*,8R*)]-7-甲基-4-(1-甲基亚乙基)-双环[5.3.1]十一碳-1-烯醇 [7S-(7R*,8R*)]-7-methyl-4-(1-methylethylidene)-bicyclo[5.3.1]undec-1-enol | 22.575 | C ₁₅ H ₂₄ O | - | 0.24 | - | - |
| 125 | 蒎烯 camphene | 22.825 | C ₁₀ H ₁₆ | - | - | - | 0.29 |
| 126 | (Z,E)- α -金合欢烯 (Z,E)- α -farnesene | 22.825 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.46 | - | 0.41 | - |
| 127 | 顺式- α -红没药烯 cis- α -bisabolene | 22.825 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.38 | - | - |
| 128 | (+)-朱栾倍半萜 (+)-valencene | 22.943 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.41 | - | 0.20 | - |
| 129 | 石竹烯氧化物 caryophyllene oxide | 22.943 | C ₁₅ H ₂₄ O | - | 0.22 | - | - |
| 130 | (+)-斯巴醇 (+)-spathulenol | 23.154 | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.16 | - | - | - |
| 131 | (-)-蓝桉醇 (-)-globulol | 23.266 | C ₁₅ H ₂₆ O | - | - | 0.24 | 0.36 |
| 132 | (+)-绿花白千层醇 (+)-viridiflorol | 23.266 | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.40 | - | - | - |
| 133 | (+)- β -蛇床烯 (+)- β -selinine | 23.272 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.33 | - | - |
| 134 | 十六烷 hexadecane | 23.384 | C ₁₆ H ₃₄ | 0.20 | 0.18 | - | - |
| 135 | 1,2,4,5-四氯-3-硝基-苯 1,2,4,5-tetrachloro-3-nitro-benzene | 23.588 | C ₆ HCl ₄ NO ₂ | 0.44 | - | - | - |
| 136 | α -胡椒烯环氧化物 II α -humulene epoxide II | 23.706 | C ₁₅ H ₂₄ O | 0.27 | - | - | - |
| 137 | 2,6-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇 2,6-dimethyl-1,5,7-octatrien-3-ol | 23.772 | C ₁₀ H ₁₆ O | 0.26 | - | - | - |
| 138 | (1Z,3a α ,7a β)-1-亚乙基八氢-7a-甲基-1H-茛 (1Z,3a α ,7a β)-1-ethylideneoctahydro-7a-methyl-1H-indene | 23.805 | C ₁₂ H ₂₀ | - | - | 0.25 | - |
| 139 | 愈创木醇 guaial | 23.811 | C ₁₅ H ₂₆ O | 0.38 | - | - | - |
| 140 | β -马榄烯 β -maaliene | 23.884 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.17 | - | - |
| 141 | 1,7-辛二炔 1,7-octadiyne | 23.923 | C ₈ H ₁₀ | - | - | 0.37 | - |
| 142 | 1,3-癸二炔 1,3-decadiyne | 23.923 | C ₁₀ H ₁₄ | - | - | - | 0.93 |
| 143 | (-)- α -古芸烯 (-)- α -gurjunene | 24.022 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.27 | 0.92 | 0.89 |
| 144 | 2-异丙烯基-4a,8-二甲基甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘 2-isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene | 24.022 | C ₁₅ H ₂₄ | - | 0.66 | - | - |
| 145 | (+)- α -榄香烯 (+)- α -elemene | 24.107 | C ₁₅ H ₂₄ | - | - | 0.23 | 0.31 |
| 146 | γ -蛇床烯 γ -selinine | 24.114 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.32 | 0.41 | - | 0.35 |
| 147 | 沉香螺醇 agarospirol | 24.252 | C ₁₅ H ₂₆ O | - | - | 0.25 | 0.21 |
| 148 | β -愈创木烯 β -guaiene | 24.252 | C ₁₅ H ₂₄ | 0.25 | - | - | - |
| 149 | 茅术醇 hinesol | 24.258 | C ₁₅ H ₂₆ O | - | 0.26 | - | - |
| 150 | 五氯硝基-苯 pentachloronitro-benzene | 26.106 | C ₆ Cl ₅ NO ₂ | 2.18 | 0.29 | - | - |
| 151 | 棕榈酸甲酯 hexadecanoic acid methyl ester | 27.770 | C ₁₇ H ₃₄ O ₂ | - | - | 0.21 | - |

由表 3 可知,从西洋参样品的挥发性成分中分离并鉴定出 151 种,包括烃类 99 种、醇酚类 21 种、醛类 7 种,酮类 8 种,酯类 1 种,杂环类及其他 15 种。

3 年生吉林白山产西洋参根中鉴定出 68 个成分,占总挥发性成分的 98.27%,相对质量分数超过

1% 的有 12 种。其中相对质量分数较高的有 (*E*)- β -金合欢烯 (29.79%), (*S*)- β -红没药烯 (10.38%), (+)-白菖油萜 (7.81%), β -马榄烯 (7.71%), β -人参烯 (3.84%), (+)- δ -杜松萜烯 (3.83%), 1*R*- α -蒎烯 (3.27%) 和五氯硝基-苯 (2.18%), 占总成分的 68.81%。

表 3 西洋参各类挥发性成分的数量及相对质量分数

Table 3 Quantity and relative content of various volatile components of Panax Quinquefoli Radix

| 产地年限 | 烃类 (相对质量分数) /个(%) | 醇/酚类 (相对质量分数) /个(%) | 酮类 (相对质量分数) /个(%) | 醛类 (相对质量分数) /个(%) | 酯类 (相对质量分数) /个(%) | 杂环及其他类 (相对质量分数) /个(%) | 合计 (相对质量分数) /个(%) |
|----------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 吉林白山(3年) | 43(84.53) | 11(3.78) | 4(3.95) | 4(2.06) | - | 6(3.95) | 68(98.27) |
| 吉林白山(4年) | 46(91.25) | 4(0.95) | 5(2.54) | 4(2.43) | - | 8(1.62) | 67(98.79) |
| 美国(3年) | 47(92.21) | 8(2.42) | 2(2.07) | 3(1.27) | 1(0.21) | 3(0.48) | 64(98.66) |
| 美国(4年) | 43(90.60) | 9(3.26) | 3(2.00) | 3(2.51) | - | 5(1.30) | 63(99.67) |

4年生吉林白山产西洋参根中鉴定出67个成分,占总挥发性成分的98.79%,相对质量分数超过1%的有13种。其中相对质量分数较高的有(*E*)- β -金合欢烯(44.50%),(*S*)- β -红没药烯(12.08%),(+)-白菖油萜(6.92%)和(+)- δ -杜松萜烯(5.60%),占总成分的69.10%。

3年生美国产西洋参根中鉴定出65个成分,占总挥发性成分的98.81%,相对质量分数超过1%的有14种。其中相对质量分数较高的有(*E*)- β -金合欢烯(36.88%),(*S*)- β -红没药烯(9.01%),(+)-白菖油萜(7.12%),(+)- δ -杜松萜烯(6.23%),丁子香烯(3.85%),1*R*- α -蒎烯(3.78%), β -人参烯(2.73%)和 α -萜澄茄油烯(2.14%),占总成分的71.74%。

4年生美国产西洋参根中鉴定出63个成分,占总挥发性成分的99.67%,相对质量分数超过1%的有14种。其中相对质量分数较高的有(*E*)- β -金合欢烯(30.25%),(*S*)- β -红没药烯(14.10%),(+)-白菖油萜(13.73%),(-)- β -倍半水芹烯(4.13%),丁子香烯(3.22%),1*R*- α -蒎烯(2.92%), β -人参烯(2.15%),(-)- α -古芸烯(2.06%)和辛醛(2.03%),占总组分的74.59%。

3.1 挥发性成分种类和含量差异分析 3年生吉林白山产西洋参根中共鉴定出5类物质,烃类(43种,84.53%),醇酚类(11种,3.78%),酮类(4种,3.95%),醛类(4种,2.06%),杂环及其他类(6种,3.95%);4年生吉林白山产西洋参根中鉴定出5类物质,烃类(46种,91.25%),醇酚类(4种,0.95%),酮类(5种,2.54%),醛类(4种,2.43%),杂环及其他类(8种,1.62%);3年生美国产西洋参根中鉴定出6类物质,烃类(47种,92.21%),醇酚类(8种,2.42%),酮类(2种,2.07%),醛类(3种,1.27%),酯类(1种,0.21%),杂环及其他类(3种,0.48%)。4年生美国产西洋参根中鉴定了5类物

质,烃类(43种,90.60%),醇酚类(9种,3.26%),酮类(3种,2.00%),醛类(3种,2.51%),杂环及其他类(5种,1.30%)。由上可知,美国与吉林白山产3,4年生西洋参挥发性成分中烃类化合物占主要部分,但是,不同产地,不同年限的西洋参挥发性成分的组成种类和含量方面存在一定差异。

3.2 挥发性成分中共有成分和特有成分分析 美国与吉林白山产3,4年生西洋参共有成分为16种,分别为1*R*- α -蒎烯,蒎烯,辛醛,2-甲氧基-3-(1-甲基丙基)-吡嗪,5-羟基-3-甲基-1-二氢茛酮, β -人参烯, β -萜澄茄油烯, β -榄香烯,(-)- α -古芸烯,(+)-白菖油萜,(*E*)- β -金合欢烯, β -新丁香三环烯,(\pm)- α -姜黄烯, β -顺-金合欢烯,1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘,(*S*)- β -红没药烯。共有成分分别占总挥发性成分的62.74%,73.69%,67.35%,72.30%。

共有组分占总挥发性成分的含量较高,但是共有成分之间的含量具有较大的差别,例如(*E*)- β -金合欢烯作为共有组分中的主要成分,其相对质量分数分别为29.79%,44.50%,36.88%和30.25%。

分析并比对各样品成分,可知3年生吉林白山产西洋参根中含24种特有成分(占总成分的17.84%),含量较高的包括 β -马榄烯(7.71%)和4-(2,7,7-三甲基二环[3.2.0]庚-2-烯-1-基)3-丁烯-2-酮(1.79%)等;4年生吉林白山产西洋参根中含23种特有成分(占总成分的8.57%),含量较高的包括新丁香三环烯(1.81%)和1*S*- α -蒎烯(1.49%)等;3年生美国产西洋参根中含19种特有成分(占总成分的8.60%),含量较高的包括(-)-可巴烯(1.69%)和(-)- β -蒎烯(1.64%)等;4年生美国产西洋参根中含23种特有成分(占总成分的11.31%),含量较高的包括1,1-二甲基-2-(3-甲基-1,3-丁二烯-1-基)-环丙烷(1.71%),(\pm)-异长叶烯(1.26%)和(+)- α -榄香烯(1.13%)等。不同西

洋参样品的特有成分占总组分的相对含量差异较大。

4 结论

采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气相色谱-质谱联用法(GC-MS)分析4个不同产地不同年限西洋参样品的挥发性成分,共鉴定出151种成分,包括烃类99种、醇酚类21种、醛类7种、酮类8种、酯类1种、杂环类及其他化合物15种;特有成分分别为24种,23种,19种和23种,共有成分16种。美国产和吉林白山产3,4年生西洋参的挥发性成分种类和含量均存在明显差异,通过对挥发性成分进行分析发现共有组分的含量较高,虽然(E)- β -金合欢烯等单个成分在各个样品的分布较高,但相对含量相差较大。特有成分含量相对差异较大。

共有成分中部分具有显著的活性。 β -榄香烯是对多种肿瘤疗效确切,明显抑制肿瘤的生长,对转移性肿瘤也有良好的治疗效果。体内外实验表明 β -榄香烯通过诱导肿瘤细胞凋亡、诱导分化、增强癌症患者的免疫功能、逆转肿瘤对化学药物的耐药性等多方面达到抗肿瘤作用^[15]。 α -蒎烯具有镇咳、祛痰、抗炎、抗真菌的作用^[16]。

本文的研究可为西洋参的鉴别提供数据和理论基础,同时可为未来西洋参药材质量评价研究以及资源的充分合理开发利用提供借鉴。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:131.

[2] 何晓燕,王兵,朱卫兵. 西洋参的化学成分与药理作用[J]. 益寿宝典,2017,5(32):56-57.

[3] ZHUO D R, QUE H T, ZHANG N, et al. *In vitro* dissolution rate of ginsenoside Rb₁ in superfine powder of wild *Panax quinquefolii* Radix [J]. Drug Eval Res, 2013,36:374-376.

[4] MAO J, Juan M M, Tom C, et al. American ginseng acutely regulates contractile function of rat heart [J]. Fronti Pharmacol,2014,5:43.

[5] Assinewe A V, Baum R B, Gagnon D, et al. Phytochemistry of wild populations of *Panax quinquefolius* L. (North American ginseng) [J]. J Agric

Food Chem,2003,51(16):4549-4553.

[6] 王倩. 糖脂平方治疗2型糖尿病胰岛素抵抗(气阴两虚兼痰瘀证)的临床研究[D]. 兰州:甘肃中医药大学,2016.

[7] Singh R K, Lui E, Wright D, et al. Alcohol extract of North American ginseng (*Panax quinquefolius*) reduces fatty liver, dyslipidemia, and other complications of metabolic syndrome in a mouse model [J]. Can J Physiol Pharmacol,2017,95:1046-1057.

[8] Mucalo I, Jovanovski E, Raheli D, et al. Effect of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) on arterial stiffness in subjects with type-2 diabetes and concomitant hypertension [J]. J Ethnopharmacol, 2013, 150: 148-153.

[9] Dougherty U, Mustafi R, WANG Y, et al. American ginseng suppresses Western dietpromoted tumorigenesis in model of inflammation-associated colon cancer: role of EGFR [J]. BMC Complementary and Alternative Medicine,2011,11:1-11.

[10] Sandra C M, Danielle D, Jacqueline J S. Extract of North American ginseng (*Panax Quinquefolius*), administered to leukemic, juvenile mice extends their life Span [J]. J Complement Inteqr Med,2011,8:1553-3840.

[11] 唐艳,闫述模,汪静静,等. 基于UPLC及多成分分析的西洋参质量评价[J]. 中国中药杂志,2016,41(9):1678-1684.

[12] 张丹,郑开颜,吴兰芳,等. 西洋参药材的质量特征与商品规格的相关性分析[J]. 中国中药杂志,2016,41(18):3329-3335.

[13] 郑友兰,张崇禧,李向高,等. 国产西洋参与进口西洋参的比较研究—西洋参中挥发油成分的分析[J]. 药学学报,1989,24(2):118-121.

[14] 常宇桐,罗云敬,钱承敬,等. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱法测定馥郁香型白酒中的挥发性香气成分 [J]. 食品安全质量检测学报,2018,9(17):4618-4627.

[15] 吴稚冰,马胜林. β -榄香烯抗肿瘤作用的研究进展 [J]. 中华中医药学刊,2011,29(10):2255-2257.

[16] 谢小洋,冯永忠,王得祥. 5种园林树木挥发性成分分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2016,44(7):146.

[责任编辑 顾雪竹]