

## · 基础研究 ·

超快速液相色谱-质谱法测定鲜人参晶  
及林下山参中的39个人参皂苷成分<sup>△</sup>陈丽华<sup>1</sup>, 杨秀伟<sup>1\*</sup>, 白雪媛<sup>2</sup>, 赵大庆<sup>2</sup>

1. 北京大学 药学院 天然药物学系/天然药物及仿生药物国家重点实验室, 北京 100191;

2. 长春中医药大学 吉林省人参科学研究院, 吉林 长春 130000

**[摘要]** 目的: 通过超快速液相色谱-质谱法(UFLC-MS/MS)同时测定鲜人参晶和林下山参中主要活性成分人参皂苷的含量, 探讨鲜人参晶及林下山参中人参皂苷的差异变化, 为阐明鲜人参晶物质基础提供参考。方法: 室温下, 用70%甲醇水溶液对鲜人参晶及林下山参药材进行超声提取, 采用Waters ACQUITY UPLC<sup>®</sup> BEH Shield RP C<sub>18</sub>色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 以乙腈-0.5 mmol·L<sup>-1</sup>甲酸铵水溶液为流动相梯度洗脱。在电喷雾离子源负离子、多反应监测模式下, 通过UFLC-MS/MS外标对照品法测定鲜人参晶及林下山参中39个人参皂苷的含量。结果: 经方法学验证, 建立的分析方法符合定量分析要求。4批林下山参和1批鲜人参晶中的总人参皂苷质量分数分别为27.59~52.63、52.26 mg·g<sup>-1</sup>, 稀有人参皂苷质量分数分别为3.79~6.65、7.42 mg·g<sup>-1</sup>。林下山参中人参皂苷Rg<sub>1</sub>和人参皂苷Re总质量分数为0.72%~0.94%, 人参皂苷Rb<sub>1</sub>质量分数为0.24%~0.53%; 鲜人参晶中人参皂苷Rg<sub>1</sub>和人参皂苷Re总质量分数为1.21%, 人参皂苷Rb<sub>1</sub>质量分数为0.43%。结论: 所检测的鲜人参晶和林下山参中人参皂苷Rg<sub>1</sub>和人参皂苷Re总量及人参皂苷Rb<sub>1</sub>含量均符合《中华人民共和国药典》2020年版质量标准规定; 采用现代工艺制成的鲜人参晶中含有丰富的人参皂苷, 尤其是稀有人参皂苷, 其与林下山参中的人参皂苷种类几乎无变化, 但含量有一定差异。研究结果为综合评价林下山参和鲜人参晶的质量与功效提供了参考。

**[关键词]** 鲜人参晶; 林下山参; 人参皂苷; 超快速液相色谱-质谱法

**[中图分类号]** R284 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2023)04-0788-10

**doi:**10.13313/j.issn.1673-4890.20221031001

**Determination of 39 Ginsenosides in Fresh Ginseng Crystals and Understory Ginseng by Ultra-fast Liquid Chromatography-Mass Spectrometry**

CHEN Li-hua<sup>1</sup>, YANG Xiu-wei<sup>1\*</sup>, BAI Xue-yuan<sup>2</sup>, ZHAO Da-qing<sup>2</sup>

1. State Key Laboratory of Natural and Biomimetic Drugs and Department of Natural Medicines, School of Pharmaceutical Sciences, Peking University, Beijing 100191, China;

2. Jilin Ginseng Academy, Changchun University of Traditional Chinese Medicine, Changchun 130000, China

**[Abstract]** **Objective:** To determine the contents of ginsenosides in fresh ginseng crystals and understory ginseng by ultra-fast liquid chromatography-mass spectrometry (UFLC-MS/MS), so as to study the difference of ginsenosides in fresh ginseng crystals and understory ginseng, and to provide references for elucidating the material basis of fresh ginseng crystals. **Methods:** Fresh ginseng crystals and understory ginseng samples were ultrasonic-extracted with 70% methanol aqueous solution at room temperature. UFLC-MS/MS analysis was performed on Waters ACQUITY UPLC<sup>®</sup> BEH Shield RP C<sub>18</sub> column (100 mm×2.1 mm, 1.7 μm), together with a gradient elution using acetonitrile and 0.5 mmol·L<sup>-1</sup> ammonium formate in water as mobile phases. Under the electrospray ion source, negative ion and multiple reaction monitoring mode, the contents of 39 ginsenoside analytes in fresh ginseng crystals and understory ginseng were determined by the external standard reference method. **Results:** After methodological verification, the analytical method established in this study met

<sup>△</sup> [基金项目] 国家自然科学基金项目(81973446)

\* [通信作者] 杨秀伟, 教授, 博士生导师, 研究方向: 天然产物化学与药物代谢; Tel: 010-82801569, E-mail: xwyang@bjmu.edu.cn

with the requirements of quantitative analysis. The contents of total ginsenosides in 4 batches of understory ginseng and 1 batch of fresh ginseng crystals were 27.59-52.63 and 52.26  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectively, while the total contents of rare ginsenosides were 3.79-6.65 and 7.42  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectively. The total mass fractions of ginsenoside  $\text{Rg}_1$  and ginsenoside  $\text{Re}$  in understory ginseng and fresh ginseng crystals were 0.72%-0.94% and 1.21%, while the contents of ginsenoside  $\text{Rb}_1$  were 0.24%-0.53% and 0.43%, respectively. **Conclusion:** The total amount of ginsenoside  $\text{Rg}_1$  and ginsenoside  $\text{Re}$  as well as the content of ginsenoside  $\text{Rb}_1$  in fresh ginseng crystals and understory ginseng were in accordance with the specifications in current quality standards in *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* (2020 edition). The fresh ginseng crystals processed by modern technology were rich in ginsenosides, especially rare ginsenosides, which were almost the same as those in understory ginseng, although the contents were different. These results may provide the scientific basis for comprehensive evaluation of the quality and efficacy of fresh ginseng crystals and understory ginseng.

**[Keywords]** fresh ginseng crystal; understory ginseng; ginsenosides; ultra-fast liquid chromatography-mass spectrometry

人参为五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 的干燥根和根茎<sup>[1]</sup>, 具有大补元气、生津养血、补脾益肺、安神益智等功效<sup>[2-3]</sup>, 被誉为“百草之王”。林下山参也称籽海、籽货、育山参等, 是通过人工方式将人参种子播种在深山密林中, 在野生环境下自然生长且10多年后采收的半野生山参<sup>[4-5]</sup>。鲜人参晶是一种口服人参冻干品, 以鲜人参为原料, 采用现代工艺(特殊的高压、研磨技术及先进的冻干技术)加工制成, 能溶出全部活性成分并充分发挥其作用, 具有活性高、吸收好、起效快、服用方便等特点。

人参皂苷是人参的主要活性成分, 也是评价人参的主要指标, 现代药理学和生物活性研究表明人参皂苷具有广泛的药理、药效作用<sup>[3,6-7]</sup>。根据苷元的不同, 人参皂苷可分为原人参二醇型(PPD)、原人参三醇型(PPT)及齐墩果酸型(OA)<sup>[8]</sup>。据文献报道, 林下山参中的人参皂苷与栽培人参相比虽然种类没有变化, 但单体人参皂苷的含量却有显著差异, 且前者的总人参皂苷含量也远高于后者<sup>[9-11]</sup>。鉴于此, 本研究选择林下山参与鲜人参晶进行比较, 探究两者的人参皂苷含量差异。

随着现代科学技术的不断发展, 超快速液相色谱-质谱法(UFLC-MS/MS)在医药、食品、化工等众多领域得到广泛应用<sup>[12-13]</sup>。与传统的高效液相色谱-紫外检测器法(HPLC-UV)和蒸发光散射检测器(ELSD)相比, UFLC-MS/MS显示出高效快速的分离能力和超高的灵敏度, 可以克服人参皂苷在分析时需衍生化及由于分子离子丰度低难检测等问题<sup>[14]</sup>。多反应监测(MRM)模式则通过去除不符合规则的信号干扰, 从而达到高灵敏度、高准确性和特异性的靶向定量检测效果<sup>[15]</sup>。因此, 本研究采用

UFLC-MS/MS测定林下山参及鲜人参晶中人参皂苷的含量, 为鲜人参晶和林下山参的质量标准及营养保健作用研究提供参考。

## 1 材料

### 1.1 仪器

岛津LCMS-8050型超高效液相色谱-质谱系统, 其中Nexera X2型超高效液相系统(配置LC-30AD型二元泵、SIL-30AC型自动进样器、SPD-M30A型检测器和CTO-20AC型柱温箱)与三重四极杆质谱仪串联, 配有电喷雾离子源(ESI)及LabSolution LCMS V 5.65工作站软件; XS105DU型十万分之一电子天平、ME204T/02型万分之一电子天平(梅特勒-托利多公司); KQ5200型超声波系统(昆山市超声仪器有限公司); Milli-Q Advantage A10型超纯水机(Merck Millipore公司)。

### 1.2 试药

20年生林下山参(批号:LXS-201308, 编号:1)于2013年8月采自吉林省抚松县东岗镇; 20年生林下山参(批号分别为LXS-202001、LXS-202002、LXS-202003, 编号为2~4)于2020年采于吉林省白山市抚松县露水河镇, 所有样品均经吉林省人参科学研究院赵大庆教授鉴定为五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 的干燥根和根茎; 鲜人参晶(批号:XRSJ-202112, 编号:5)由北京同仁堂健康药业(辽宁)有限公司提供, 原料林下山参经辽宁省食品检验检测院董英杰教授鉴定为15年生以上人参 *P. ginseng* C. A. Mey. 的干燥根和根茎, 产地为辽宁省宽甸县; 所有凭证标本存放在北京大学药学院天然药物及仿生药物国家重点实验室。

对照品人参皂苷  $Ra_1$  (G- $Ra_1$ , **1**)、G- $Ra_2$  (**2**)、G- $Ra_3$  (**3**)、G- $Rb_1$  (**4**)、G- $Rb_2$  (**5**)、G- $Rb_3$  (**6**)、G- $Rc$  (**7**)、G- $Rd$  (**8**)、G- $Re$  (**9**)、G- $Rs_1$  (**10**)、20(*S*)-G- $Rs_3$  (*S*- $Rs_3$ , **11**)、20(*R*)-G- $Rs_3$  (*R*- $Rs_3$ , **12**)、G- $Rs_4$  (**13**)、G- $Rg_6$  (**14**)、G- $F_4$  (**15**)、G- $Rg_1$  (**16**)、20(*S*)-G- $Rf$  (*S*- $Rf$ , **17**)、20(*R*)-G- $Rf$  (*R*- $Rf$ , **18**)、20(*S*)-G- $Rg_2$  (*S*- $Rg_2$ , **19**)、20(*R*)-G- $Rg_2$  (*R*- $Rg_2$ , **20**)、20(*S*)-G- $Rg_3$  (*S*- $Rg_3$ , **21**)、20(*R*)-G- $Rg_3$  (*R*- $Rg_3$ , **22**)、G- $F_2$  (**23**)、20(*S*)-三七皂苷 (NG)  $R_2$  (**24**)、20(*R*)-NG- $R_2$  (**25**)、G- $Rk_1$  (**26**)、G- $Rg_5$  (**27**)、G- $Rh_4$  (**28**)、G- $Rk_3$  (**29**)、20(*S*)-G- $Rh_1$  (*S*- $Rh_1$ , **30**)、20(*R*)-G- $Rh_1$  (*R*- $Rh_1$ , **31**)、G- $Rh_2$  (**32**)、20(*S*)-PPT (*S*-PPT, **33**)、西洋参皂苷  $R_1$  (Q- $R_1$ , **34**)、G- $Ro$  (**35**)、NG- $R_1$  (**36**)、G- $Rg_9$  (**38**)及20-glu-G- $Rf$  (20-glu- $Rf$ , **39**)为本课题组从生晒参<sup>[16-17]</sup>、红参<sup>[18-20]</sup>及人参茎叶<sup>[21-22]</sup>中分离得到;竹节参皂苷IVa (CS-IVa, **37**)购自成都普思生物科技有限公司;各对照品纯度均大于98%。

质谱级甲醇、乙腈、甲酸铵均购自Fisher公司;色谱纯甲醇购于天津西华特种试剂厂;超纯水(18 M $\Omega$ ·cm<sup>-1</sup>)为本实验室自制。

## 2 方法

### 2.1 色谱与质谱条件

色谱柱为Waters ACQUITY UPLC<sup>®</sup> BEH Shield RP C<sub>18</sub> (100 mm×2.1 mm, 1.7  $\mu$ m), 配备Waters ACQUITY UPLC<sup>®</sup> BEH Shield RP C<sub>18</sub> VanGuard<sup>™</sup>预柱(5 mm×2.1 mm, 1.7  $\mu$ m);流动相为0.5 mmol·L<sup>-1</sup>甲酸铵水溶液(A)-乙腈(B), 梯度洗脱(0~3 min, 22%B; 3~5 min, 22%~30%B; 5~9 min, 30%~35%B; 9~11 min, 35%~36%B; 11~14 min, 36%~48%B; 14~20 min, 48%~51%B; 20~22 min, 51%~75%B; 22~25 min, 75%~80%B; 25~27 min, 80%~90%B; 27~30 min, 90%B);柱温为40℃;流速为0.35 mL·min<sup>-1</sup>;进样量为2  $\mu$ L。

优化的质谱参数:接口加热器温度为300℃;脱溶剂管温度为250℃;接口电压为3 kV;检测器电压为1.7 kV;雾化气流速为3 L·min<sup>-1</sup>;干燥气和加热气流速均为10 L·min<sup>-1</sup>;负离子模式,电喷雾离子源(ESI),扫描方式为MRM。

### 2.2 对照品溶液的配制

分别精密称取39个人参皂苷对照品适量,用质

谱级甲醇溶解,配制成质量浓度为1.0 mg·mL<sup>-1</sup>的对照品储备液,于-20℃密封保存。分别精密吸取各对照品储备液适量,用质谱级甲醇稀释并制成质量浓度为1.0~10.0  $\mu$ g·mL<sup>-1</sup>的混合对照品母液,置于4℃冰箱保存,备用。

### 2.3 供试品溶液的配制

参照本课题组已发表文献的处理方法<sup>[18]</sup>,精密称取过40目筛的样品粉末0.500 00 g ( $\pm$ 0.000 1 g)于50 mL离心管中,精密加入70%甲醇水溶液40 mL,常温超声提取60 min。5000 r·min<sup>-1</sup>(离心半径为10 cm)离心10 min,取上清液适量,用70%甲醇水10倍稀释,过0.22  $\mu$ m微孔滤膜,作为供试品溶液。每批样品分别平行制备3份。

### 2.4 方法学考察

取适量混合对照品母液,用甲醇逐级倍比稀释,得到系列质量浓度的混合对照品线性工作液。以信噪比(S/N)=3为检测下限(LLOD),S/N=10为定量下限(LLOQ)。通过对同一对照品溶液(质量浓度为125 ng·mL<sup>-1</sup>)进行如下操作:同日内重复6次或连续进样3 d(每天进样3次),测定各分析物的峰面积,分别计算日内和日间精密度的RSD。

按2.3项下方法平行制备6份供试品溶液,测定各分析物的含量,计算RSD,进行重复性试验。取同一供试品溶液,分别在制备后0、2、4、8、12、24、48 h,按照2.1项下条件测定各分析物的峰面积,计算RSD,评估所有分析物的稳定性。精密称取同一批鲜人参样品9份,分别加入不同质量浓度(低、中、高)的混合对照品溶液,每个质量浓度按2.3项下方法平行制备3份,按2.1项下条件测定,计算加样回收率。

## 3 结果

### 3.1 UFLC-MS/MS条件的优化

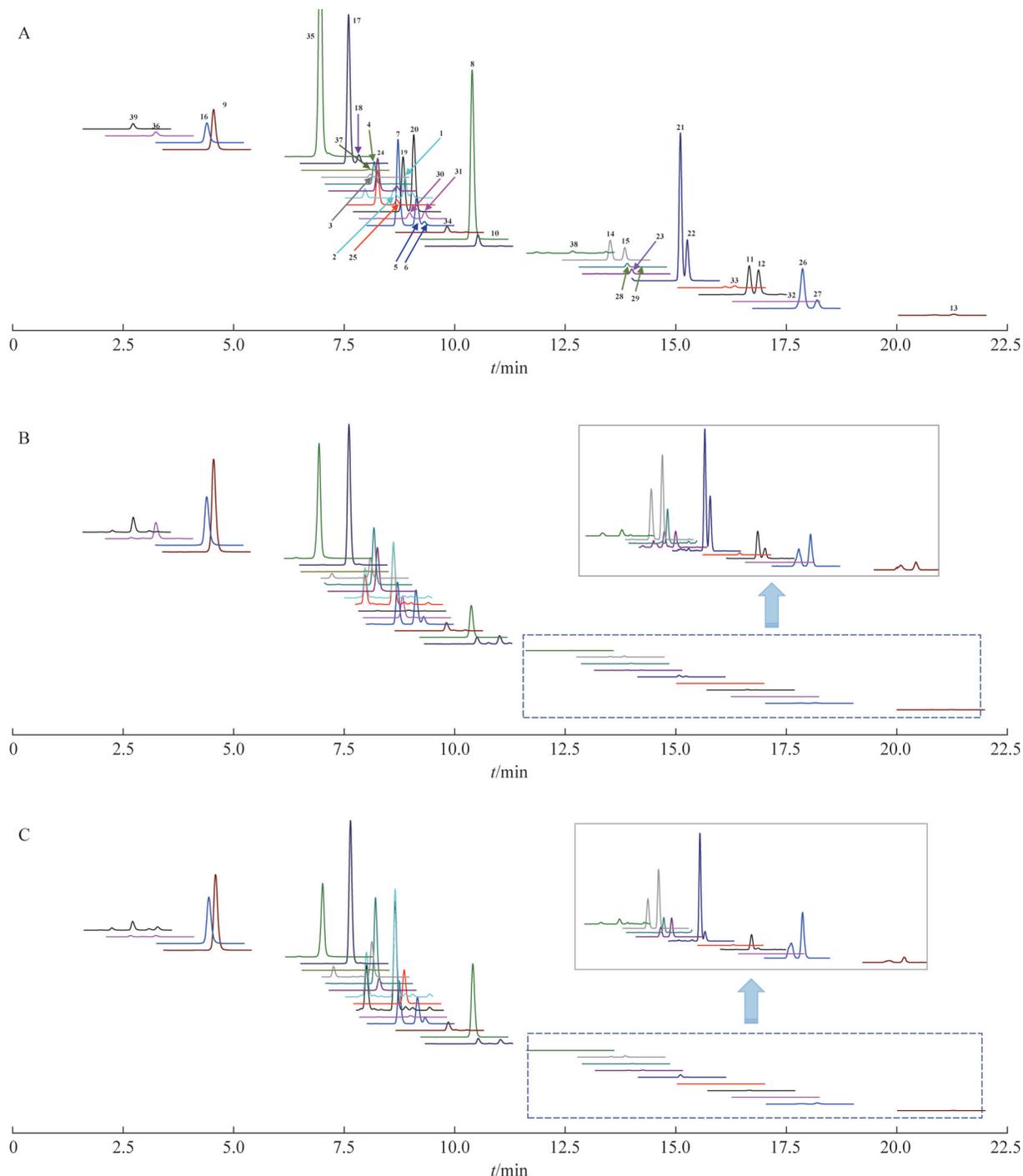
基于本课题组前期对人参皂苷UFLC-MS/MS条件的研究<sup>[18,23]</sup>,将流动相确定为乙腈和0.5 mmol·L<sup>-1</sup>甲酸铵水溶液,在保留时间( $t_r$ )30 min内,所有分析物(包括11对同分异构体)于负离子模式下得到完全分离,39个人参皂苷混合对照品及样品的MRM叠加色谱图见图1。其中,[M+HCOO]<sup>-</sup>作为G- $Rg_6$ 、G- $F_4$ 、G- $Rk_3$ 和G- $Rh_4$ 的母离子,因为其灵敏度和离子强度均高于相应的去质子化离子[M-H]<sup>-</sup>,

而其他分析物则选择加合离子 $[M - H]^-$ 更合适。各人参皂苷分析物的 $t_R$ 、母离子、离子对信息、1极预偏置电压(Q1)、3极预偏置电压(Q3)、碰撞能量(CE)及滞留时间(DT)的优化参数见表1。

### 3.2 方法学考察结果

在各自线性质量浓度范围内, 39个人参皂苷以

质量浓度为横坐标( $X$ ), 峰面积为纵坐标( $Y$ ),  $r$ 为0.999 0~0.999 9, LLOD为0.10~2.58  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , LLOQ为0.33~7.87  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (表2); 日内和日间精密度RSD分别为0.69%~4.40%和0.74%~3.85%, 表明仪器精密度良好; 各分析物的重复性试验含量的RSD为1.15%~3.83%, 稳定性试验峰面积RSD为1.03%~4.29%, 表明方法重复性及所有分析物的稳



注: A. 39个人参皂苷对照品溶液; B. 鲜人参样品溶液; C. 林下山参样品溶液。

图1 人参皂苷混合对照品和样品的MRM叠加色谱图

表1 39个人参皂苷分析物的 $t_R$ 及MRM优化参数

编号	化合物	$t_R$ /min	母离子	MRM离子对	DT/ms	Q1/V	Q3/V	CE/eV
1	G-Ra <sub>1</sub>	8.89	[M-H] <sup>-</sup>	1 209.6→1 077.5	30	5	39	49
2	G-Ra <sub>2</sub>	8.64	[M-H] <sup>-</sup>	1 209.6→1 077.5	30	5	39	49
3	G-Ra <sub>3</sub>	8.11	[M-H] <sup>-</sup>	1 239.6→1 107.5	30	37	41	51
4	G-Rb <sub>1</sub>	8.19	[M-H] <sup>-</sup>	1 107.6→945.5	28	10	34	46
5	G-Rb <sub>2</sub>	9.17	[M-H] <sup>-</sup>	1 077.6→783.5	28	32	40	47
6	G-Rb <sub>3</sub>	9.33	[M-H] <sup>-</sup>	1 077.6→783.5	28	32	40	47
7	G-Rc	8.73	[M-H] <sup>-</sup>	1 077.6→945.5	26	10	34	45
8	G-Rd	10.39	[M-H] <sup>-</sup>	945.6→783.4	30	5	39	38
9	G-Re	4.58	[M-H] <sup>-</sup>	945.5→637.4	26	20	32	40
10	G-Rs <sub>1</sub>	10.52	[M-H] <sup>-</sup>	1 119.6→1 077.5	30	34	40	40
11	S-Rs <sub>3</sub>	16.69	[M-H] <sup>-</sup>	825.5→783.4	30	5	39	29
12	R-Rs <sub>3</sub>	16.90	[M-H] <sup>-</sup>	825.5→783.4	30	5	39	29
13	G-Rs <sub>4</sub>	21.33	[M-H] <sup>-</sup>	807.5→765.5	30	15	27	29
14	G-Rg <sub>6</sub>	13.54	[M+HCOO] <sup>-</sup>	811.5→765.4	28	22	28	21
15	G-F <sub>4</sub>	13.88	[M+HCOO] <sup>-</sup>	811.5→765.4	30	22	28	23
16	G-Rg <sub>1</sub>	4.42	[M-H] <sup>-</sup>	799.5→637.4	29	23	31	25
17	S-Rf	7.62	[M-H] <sup>-</sup>	799.5→475.4	30	24	23	42
18	R-Rf	7.85	[M-H] <sup>-</sup>	799.5→475.4	30	24	23	42
19	S-Rg <sub>2</sub>	8.86	[M-H] <sup>-</sup>	783.5→475.4	30	10	32	39
20	R-Rg <sub>2</sub>	9.10	[M-H] <sup>-</sup>	783.5→475.4	30	10	32	39
21	S-Rg <sub>3</sub>	15.13	[M-H] <sup>-</sup>	783.4→621.3	30	24	30	32
22	R-Rg <sub>3</sub>	15.28	[M-H] <sup>-</sup>	783.4→621.3	30	24	30	32
23	G-F <sub>2</sub>	14.03	[M-H] <sup>-</sup>	783.5→621.4	30	24	30	32
24	S-NG-R <sub>2</sub>	8.27	[M-H] <sup>-</sup>	769.5→475.4	28	10	32	38
25	R-NG-R <sub>2</sub>	8.71	[M-H] <sup>-</sup>	769.5→475.4	28	10	32	38
26	G-Rk <sub>1</sub>	17.90	[M-H] <sup>-</sup>	765.5→603.4	30	23	29	30
27	G-Rg <sub>5</sub>	18.23	[M-H] <sup>-</sup>	765.5→603.4	30	23	29	30
28	G-Rh <sub>4</sub>	13.93	[M+HCOO] <sup>-</sup>	665.4→619.4	26	30	22	20
29	G-Rk <sub>3</sub>	14.26	[M+HCOO] <sup>-</sup>	665.4→619.4	26	32	22	20
30	S-Rh <sub>1</sub>	9.00	[M-H] <sup>-</sup>	637.4→475.3	29	19	33	24
31	R-Rh <sub>1</sub>	9.35	[M-H] <sup>-</sup>	637.4→475.3	29	19	33	24
35	G-Rh <sub>2</sub>	17.61	[M-H] <sup>-</sup>	621.4→459.3	30	24	32	25
33	S-PPT	16.14	[M-H] <sup>-</sup>	475.4→391.3	30	10	43	30
34	Q-R <sub>1</sub>	9.85	[M-H] <sup>-</sup>	1 149.6→1 107.5	27	5	41	43
35	G-Ro	6.98	[M-H] <sup>-</sup>	955.5→793.4	30	10	40	46
36	NG-R <sub>1</sub>	3.26	[M-H] <sup>-</sup>	931.5→637.4	30	22	32	39
37	CS-IVa	8.10	[M-H] <sup>-</sup>	793.5→631.4	30	10	31	42
38	G-Rg <sub>9</sub>	12.69	[M-H] <sup>-</sup>	781.5→619.4	30	23	31	30
39	20-glu-Rf	2.73	[M-H] <sup>-</sup>	961.6→637.4	28	10	31	41

定性良好；39个分析物的平均回收率为92.38%~103.73%，RSD为0.41%~4.74%，具体结果见表3。分析方法经方法学验证符合分析物的定量分析要求。

### 3.3 样品中人参皂苷的含量测定

按2.3项下方法制备5批样品的供试品溶液，每

批重复3次，按2.1项下条件测定，记录各分析物峰面积，以外标对照品法计算含量，结果见表4。

林下山参和鲜人参晶中的总人参皂苷质量分数分别为27.59~52.63、52.26 mg·g<sup>-1</sup> (表4)。本课题组前期研究显示，栽培人参根和根茎中总人参皂苷质量分数为8.37~35.44 mg·g<sup>-1</sup> [23-24]，15~30年林下

表2 人参中39个人参皂苷的标准曲线、线性范围、LLOD和LLOQ

编号	化合物	线性方程	<i>r</i>	线性范围/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	LLOD/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	LLOQ/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
1	G-Ra <sub>1</sub>	$Y=1\ 989.90X+78.544\ 8$	0.999 6	0.51~64.38	0.10	0.51
2	G-Ra <sub>2</sub>	$Y=260.735X+531.663$	0.999 5	16.25~8 320.00	1.04	3.17
3	G-Ra <sub>3</sub>	$Y=25.689\ 6X-88.467\ 4$	0.999 7	25.20~12 900.00	2.58	7.87
4	G-Rb <sub>1</sub>	$Y=190.106X+20\ 039.3$	0.999 3	19.73~10 100.00	0.30	1.01
5	G-Rb <sub>2</sub>	$Y=104.743X+17\ 192.0$	0.999 0	13.08~6 700.00	0.54	1.65
6	G-Rb <sub>3</sub>	$Y=15.816\ 6X+73.255\ 5$	0.999 9	23.24~5 950.00	0.80	2.32
7	G-Rc	$Y=169.280X+3\ 963.76$	0.999 9	13.43~6 875.00	0.06	0.17
8	G-Rd	$Y=554.567X+22\ 300.3$	0.999 6	66.02~4 225.00	0.10	0.30
9	G-Re	$Y=250.073X+38\ 754.6$	0.999 7	37.89~9 700.00	0.10	0.30
10	G-Rs <sub>1</sub>	$Y=1\ 007.75X+2\ 464.27$	0.999 6	4.73~302.50	0.39	1.18
11	S-Rs <sub>3</sub>	$Y=2\ 135.32X+371.416$	0.999 0	0.39~96.88	0.04	0.12
12	R-Rs <sub>3</sub>	$Y=2\ 612.26X+125.323$	0.999 7	0.15~57.00	0.03	0.09
13	G-Rs <sub>4</sub>	$Y=158.983X-89.903\ 6$	0.999 4	1.04~132.50	0.30	1.04
14	G-Rg <sub>6</sub>	$Y=2\ 152.11X+435.115$	0.999 6	0.27~16.56	0.05	0.20
15	G-F <sub>4</sub>	$Y=258.894X-126.593$	0.999 5	4.30~275.00	0.22	0.67
16	G-Rg <sub>1</sub>	$Y=154.453X+24\ 855.8$	0.999 3	32.81~8 400.00	0.10	0.32
17	S-Rf	$Y=14\ 729.6X+19\ 506.7$	0.999 9	1.93~495.00	0.20	0.61
18	R-Rf	$Y=1\ 453.49X+465.877$	0.999 6	1.05~67.50	0.27	0.82
19	S-Rg <sub>2</sub>	$Y=568.165X+4\ 933.27$	0.999 6	5.08~1 300.00	0.20	0.50
20	R-Rg <sub>2</sub>	$Y=3\ 787.63X+737.118$	0.999 7	0.32~98.75	0.30	0.90
21	S-Rg <sub>3</sub>	$Y=1\ 299.77X+5\ 613.27$	0.999 6	1.26~206.00	0.20	0.60
22	R-Rg <sub>3</sub>	$Y=225.657X+910.639$	0.999 5	0.29~286.00	0.30	0.90
23	G-F <sub>2</sub>	$Y=280.630X+240.110$	0.999 4	2.80~1 400.00	0.90	2.80
24	S-NG-R <sub>2</sub>	$Y=1\ 844.43X+19\ 761.5$	0.999 7	3.20~820.00	0.10	0.32
25	R-NG-R <sub>2</sub>	$Y=462.184X+188.385$	0.999 1	0.57~146.25	0.15	0.57
26	G-Rk <sub>1</sub>	$Y=512.801X+1\ 874.64$	0.999 5	0.22~87.50	0.05	0.22
27	G-Rg <sub>5</sub>	$Y=77.862\ 6X+244.148$	0.999 4	2.72~425.00	0.90	2.72
28	G-Rh <sub>4</sub>	$Y=8.872\ 55X+2.170\ 17$	0.999 5	1.18~151.25	0.35	1.18
29	G-Rk <sub>3</sub>	$Y=241.678X-181.994$	0.999 8	1.36~340.00	0.45	1.36
30	S-Rh <sub>1</sub>	$Y=707.287X-120.587$	0.999 2	0.54~133.75	0.15	0.54
31	R-Rh <sub>1</sub>	$Y=805.636X+246.595$	0.999 2	0.62~124.00	0.30	0.62
32	G-Rh <sub>2</sub>	$Y=11.933\ 5X-4.570\ 05$	0.999 4	1.05~135.00	0.35	1.05
33	S-PPT	$Y=116.930X-16.612$	0.999 2	0.98~31.25	0.30	0.98
34	Q-R <sub>1</sub>	$Y=650.702X+1\ 478.10$	0.999 6	1.93~495.00	0.60	1.93
35	G-Ro	$Y=594.082X+24\ 454.8$	0.999 5	25.10~3 212.00	0.20	0.78
36	NG-R <sub>1</sub>	$Y=436.743X+4\ 358.04$	0.999 5	1.01~1 030.00	0.30	1.01
37	CS-IVa	$Y=17.412\ 9X+53.089\ 0$	0.999 6	16.60~2 125.00	0.70	2.07
38	G-Rg <sub>9</sub>	$Y=221.066X-79.642\ 5$	0.999 6	0.98~156.25	0.30	0.98
39	20-glu-Rf	$Y=223.517X+5\ 214.07$	0.999 4	2.29~1 170.00	0.50	1.15

山参总人参皂苷质量分数为26.50~38.55  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ <sup>[17]</sup>, 红参与白参中总人参皂苷质量分数分别为24.14~35.33、17.54~26.76  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ <sup>[18]</sup>。结果显示, 所测的鲜人参晶中总人参皂苷含量远高于栽培人参, 甚至高于红参, 一定程度上说明经过特殊的高压、研磨

技术及先进的冻干技术, 促使鲜人参晶中溶出大量的人参皂苷活性成分; 林下山参中的总人参皂苷则因采集时间、地点等原因呈现不同的含量差异。因此, 种植环境、采集、保存时间和加工可能是影响人参皂苷含量的重要因素。

表3 39个人参皂苷含量测定的日内及日间精密度、稳定性、重复性和回收率

%

编号	化合物	日内精密度 RSD	日间精密度 RSD	稳定性 RSD	重复性 RSD	低质量浓度		中质量浓度		高质量浓度	
						回收率	RSD	回收率	RSD	回收率	RSD
1	G-Ra <sub>1</sub>	1.91	3.60	4.29	1.37	103.20	3.32	98.43	0.70	97.63	0.41
2	G-Ra <sub>2</sub>	2.30	3.78	3.98	2.28	97.71	1.61	100.38	1.08	92.88	0.99
3	G-Ra <sub>3</sub>	3.23	3.61	3.22	3.19	94.08	2.22	98.66	2.91	102.37	2.10
4	G-Rb <sub>1</sub>	2.48	3.10	2.79	1.78	101.65	2.39	100.82	1.19	100.67	1.10
5	G-Rb <sub>2</sub>	1.23	1.42	2.98	3.33	103.35	1.92	97.48	1.61	101.45	0.77
6	G-Rb <sub>3</sub>	3.31	3.14	1.03	2.53	98.86	1.57	101.82	2.45	100.04	1.16
7	G-Rc	2.10	2.05	2.66	2.77	94.02	2.52	95.14	1.75	92.99	1.78
8	G-Rd	1.80	3.02	3.06	2.84	101.57	0.59	102.29	1.15	98.96	0.47
9	G-Re	1.08	1.43	1.51	1.97	101.25	1.24	100.97	1.72	99.44	2.03
10	G-Rs <sub>1</sub>	2.77	1.52	2.92	3.46	92.38	2.67	100.07	1.90	99.54	0.71
11	S-Rs <sub>3</sub>	1.28	2.21	2.31	1.62	96.67	3.22	103.73	0.72	100.20	1.99
12	R-Rs <sub>3</sub>	0.83	2.21	3.86	2.58	95.22	3.54	102.15	1.24	103.54	1.27
13	G-Rs <sub>4</sub>	4.40	3.79	4.12	3.44	94.89	3.00	97.26	2.92	96.32	1.73
14	G-Rg <sub>6</sub>	3.00	1.85	3.30	3.51	96.68	2.10	99.43	2.26	99.62	1.01
15	G-F <sub>4</sub>	1.88	1.10	3.99	2.29	101.07	2.91	95.63	2.54	100.67	1.90
16	G-Rg <sub>1</sub>	3.34	2.08	3.08	2.37	96.29	1.70	98.77	3.44	100.59	1.45
17	S-Rf	0.83	1.51	2.73	1.78	99.85	2.47	100.74	0.95	97.35	1.29
18	R-Rf	3.02	2.45	2.77	2.43	101.33	1.58	96.67	2.41	98.78	2.16
19	S-Rg <sub>2</sub>	0.85	1.78	2.05	1.44	95.17	2.15	97.22	1.18	99.58	1.38
20	R-Rg <sub>2</sub>	0.73	0.74	3.90	2.48	102.33	2.87	98.83	0.79	95.36	1.30
21	S-Rg <sub>3</sub>	0.69	0.77	2.99	3.51	93.79	1.25	96.98	0.73	101.32	1.59
22	R-Rg <sub>3</sub>	1.65	1.52	3.32	2.85	94.80	1.01	102.46	1.24	99.85	0.73
23	G-F <sub>2</sub>	3.45	2.69	3.59	3.11	102.35	1.73	97.62	1.17	100.83	1.13
24	S-NG-R <sub>2</sub>	2.18	2.54	3.77	2.51	98.07	1.70	100.22	1.09	98.64	1.85
25	R-NG-R <sub>2</sub>	1.94	2.95	3.91	2.93	95.11	2.20	100.57	2.47	97.47	2.05
26	G-Rk <sub>1</sub>	1.45	1.22	2.81	2.54	95.22	2.77	103.45	1.75	98.40	0.74
27	G-Rg <sub>5</sub>	1.68	1.30	2.47	3.54	96.00	2.96	98.17	1.46	102.67	0.98
28	G-Rh <sub>4</sub>	3.56	2.42	2.70	2.36	103.32	4.65	98.70	3.44	101.42	2.46
29	G-Rk <sub>3</sub>	0.99	1.27	3.87	2.18	94.68	3.44	101.50	2.06	97.27	0.51
30	S-Rh <sub>1</sub>	2.73	3.33	3.53	3.52	101.45	1.86	97.38	2.43	99.64	1.39
31	R-Rh <sub>1</sub>	0.77	1.60	2.36	3.83	96.78	1.19	98.64	0.72	99.71	1.29
32	G-Rh <sub>2</sub>	2.85	3.85	1.62	1.99	96.54	2.67	100.57	2.65	100.93	1.94
33	S-PPT	3.13	2.00	2.24	1.20	95.43	4.74	101.25	2.12	99.64	1.89
34	Q-R <sub>1</sub>	2.55	1.45	2.89	3.71	96.28	3.66	99.16	2.10	101.26	2.29
35	G-Ro	1.60	1.05	1.99	1.15	94.56	2.58	103.01	0.73	100.63	0.62
36	NG-R <sub>1</sub>	1.44	1.13	1.76	1.15	95.34	3.75	98.99	2.16	97.89	2.34
37	CS-IVa	3.25	2.75	2.44	2.66	97.17	1.59	99.17	1.50	100.14	1.41
38	G-Rg <sub>9</sub>	2.05	3.78	1.83	2.34	101.23	1.38	101.45	2.66	98.48	1.71
39	20-glu-Rf	1.50	2.90	1.90	3.61	98.76	1.39	100.57	1.28	97.98	1.15

#### 4 讨论

G-Rb<sub>1</sub>、G-Re 和 G-Rg<sub>1</sub> 是人参药材中的代表性指标成分,用于评价人参是否合格。《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)2020年版中规定:本品按干燥品计算,含 G-Rg<sub>1</sub> (C<sub>42</sub>H<sub>72</sub>O<sub>14</sub>) 和 G-Re

(C<sub>48</sub>H<sub>82</sub>O<sub>18</sub>) 的总量不得少于0.30%, G-Rb<sub>1</sub> (C<sub>54</sub>H<sub>92</sub>O<sub>23</sub>) 不得少于0.20%<sup>[1]</sup>。据表4计算可得,林下山参中 G-Rb<sub>1</sub> 质量分数为0.24%~0.53%, G-Rg<sub>1</sub> 和 G-Re 的总质量分数为0.72%~0.94%;鲜人参晶中 G-Rb<sub>1</sub> 质量分数为0.43%, G-Rg<sub>1</sub> 和 G-Re 的总质量分数为1.21%。上述结果表明,林下山参与鲜人参晶均符

表4 鲜人参晶和林下山参样品中人参皂苷质量分数 ( $\bar{x} \pm s, n=5$ ) $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 

样品编号	G-Ra <sub>1</sub>	G-Ra <sub>2</sub>	G-Ra <sub>3</sub>	G-Rb <sub>1</sub>	G-Rb <sub>2</sub>	G-Rb <sub>3</sub>	G-Rc
1	14.51±0.71	3 511.43±75.08	10 646.64±253.28	4 281.23±77.12	4 509.57±40.17	5 965.19±58.14	3 774.51±53.60
2	0.24±0.01	24.15±0.95	92.80±2.77	2 432.75±59.29	3 413.73±71.95	4 144.78±42.07	2 417.98±51.34
3	18.69±0.85	5 616.34±66.10	16 055.04±445.15	5 180.33±36.51	3 037.14±51.48	4 315.71±41.88	3 226.92±59.25
4	15.35±0.54	4 295.65±44.42	9 079.86±156.75	2 735.13±34.87	1 933.43±40.36	3 198.93±51.50	2 178.33±16.26
5	0.66±0.02	44.18±1.38	135.75±3.52	5 228.01±107.60	7 584.86±82.81	8 279.99±89.74	5 191.87±69.76
样品编号	G-Rd	G-Re	G-Rs <sub>1</sub>	S-Rs <sub>3</sub>	R-Rs <sub>3</sub>	G-Rs <sub>4</sub>	*G-Rg <sub>6</sub>
1	822.34±22.61	6 266.30±41.84	94.39±3.59	2.40±0.10	0.68±0.02	13.58±0.59	4.47±0.22
2	893.04±24.53	2 893.07±45.94	16.96±0.56	ND	ND	ND	0.15±0
3	1 703.35±27.78	4 493.81±77.00	56.11±2.16	2.08±0.04	0.13±0.01	12.66±0.31	3.81±0.17
4	701.01 ± 20.83	4 632.48±57.67	52.10±1.86	1.37±0.04	0.07±0.00	8.91±0.43	3.06±0.12
5	1 112.64±25.68	3 218.34±61.84	141.58±3.76	3.42±0.10	0.34±0.02	24.64±0.77	3.34±0.11
样品编号	*G-F <sub>4</sub>	G-Rg <sub>1</sub>	S-Rf	R-Rf	S-Rg <sub>2</sub>	R-Rg <sub>2</sub>	*S-Rg <sub>3</sub>
1	58.13±2.83	5 789.48±56.49	121.84±2.93	9.15±0.41	812.67±23.12	2.46±0.11	13.46 ± 0.47
2	5.55±0.22	4 581.65±46.69	56.43±1.71	3.53±0.09	104.86±2.35	0.31±0.01	1.85 ± 0.05
3	60.39±1.70	4 872.95±38.88	109.07±1.30	6.18±0.10	711.82±24.04	1.06±0.02	20.90 ± 0.58
4	49.98±1.81	2 553.00±37.36	46.57±0.25	2.53±0.09	576.32±19.16	1.32±0.04	9.69 ± 0.20
5	51.31±1.92	5 288.87±106.08	110.89±1.01	7.05±0.24	138.6±5.00	0.64±0.03	21.38 ± 0.72
样品编号	*R-Rg <sub>3</sub>	G-F <sub>2</sub>	S-NG-R <sub>2</sub>	R-NG-R <sub>2</sub>	*G-Rk <sub>1</sub>	*G-Rg <sub>5</sub>	*G-Rh <sub>4</sub>
1	32.81±0.76	18.27±0.69	323.57±5.53	10.07±0.36	8.17±0.29	118.95±5.30	56.20±2.26
2	1.04±0.04	1 128.27±54.61	558.66±11.25	9.17±0.25	0.77±0.04	3.49±0.17	2.81±0.11
3	8.16±0.26	11.41±0.27	74.55±1.62	0.95±0.01	14.10±0.45	209.12±4.42	71.03±3.15
4	3.13±0.10	3.42±0.15	361.41±13.51	11.24±0.50	6.38±0.27	110.61±4.80	23.57±0.37
5	8.94±0.28	8.89±0.40	81.19±1.88	1.08±0.03	14.78±0.29	183.24±4.61	81.77±3.37
样品编号	*G-Rk <sub>3</sub>	*S-Rh <sub>1</sub>	*R-Rh <sub>1</sub>	*G-Rh <sub>2</sub>	*S-PPT	Q-R <sub>1</sub>	G-Ro
1	12.49±0.44	23.67±0.90	3.88±0.14	ND	2.73±0.05	193.06±8.96	2 747.50±71.29
2	2.05±0.09	117.71±3.04	0.52±0.02	61.43±2.67	11.18±0.30	36.96±1.81	1 611.75±49.68
3	11.47±0.40	26.29±0.25	2.53±0.12	ND	1.38±0.05	152.05±6.30	1 499.04±27.17
4	6.20±0.28	7.95±0.21	0.53±0.02	ND	1.41±0.05	119.58±1.73	1 067.25±43.52
5	16.49±0.34	24.22±0.95	2.84±0.12	ND	2.80±0.10	261.94±8.49	1 527.16±45.07
样品编号	NG-R <sub>1</sub>	CS-IV a	G-Rg <sub>6</sub>	20-glu-Rf	总人参皂苷	稀有人参皂苷	
1	595.15±7.65	504.42±14.09	6.57±0.23	885.61±7.95	52 257.55	334.95	
2	1 210.60±24.73	1 131.86±37.12	1.09±0.03	616.48±14.11	27 589.69	208.55	
3	37.40±1.28	522.64±10.98	8.64±0.24	476.00±5.71	52 631.27	429.19	
4	740.66±23.79	207.12±7.83	4.47±0.21	404.81±11.69	35 154.86	222.52	
5	84.26±2.01	299.84±13.15	15.32±0.32	994.62±7.56	40 197.74	411.10	

注: ND. 未检出; \*表示稀有人参皂苷或昔元。

合《中国药典》2020年版标准中的含量规定,且鲜人参晶G-Rg<sub>1</sub>和G-Re的总含量远高于《中国药典》2020年版的含量要求,因此,其内在质量具有较好的保证。

随着现代科技的发展和人参深入系统的研究,研究者发现人参皂苷是人参发挥药理活性的物质基础,已有大量研究报道了人参皂苷具有抗肿瘤、抗衰老、降血糖、保护神经系统及调节心脑血管系统

的作用<sup>[25-27]</sup>,尤其是稀有人参皂苷,如G-Rg<sub>5</sub>、G-Rg<sub>3</sub>、G-Rk<sub>1</sub>、G-Rh<sub>1</sub>、G-Rh<sub>2</sub>及G-Rh<sub>4</sub>等<sup>[28-30]</sup>。由于野生人参濒临灭绝,目前长白山区系大力发展在天然林原始生境中直播人参的方式(原生态模式)生产的野山参(林下山参,暂定名为*Panax ginseng* C. A. Mey. cv. 'Silvaticus')其“五形六体”与野生人参相当或一致<sup>[31]</sup>。表4结果显示,林下山参和鲜人参晶中稀有人参皂苷(G-Rg<sub>6</sub>、G-F<sub>4</sub>、S-Rg<sub>3</sub>、R-Rg<sub>3</sub>、

G-Rg<sub>5</sub>、G-Rk<sub>1</sub>、G-Rh<sub>4</sub>、G-Rk<sub>3</sub>、S-Rh<sub>1</sub>、R-Rh<sub>1</sub>、G-Rh<sub>2</sub>、S-PPT)总质量分数分别为208.55~429.19、334.95 μg·g<sup>-1</sup>,提示鲜人参晶可能具有较高的生物活性,有广阔的开发利用前景。

除稀有人参皂苷以外,人参中含有丰富的常见人参皂苷,如G-Ra<sub>3</sub>、G-Rb<sub>2</sub>、G-Rc、G-Rd和G-Ro等,含量之和约占总人参皂苷的90%以上<sup>[8]</sup>,本研究从5批样品中检测到的常见人参皂苷总含量占比均高达95%以上。另外,单个人参皂苷在不同批次中各有差异,其中鲜人参晶中含量最高的人参皂苷个数为11个,分别是G-Re、R-Rs<sub>3</sub>、G-Rg<sub>6</sub>、G-Rg<sub>1</sub>、S/R-Rf、S/R-Rg<sub>2</sub>、R-Rg<sub>3</sub>、R-Rh<sub>1</sub>及G-Ro,其余则分布在林下山参的不同批次中,其中LXS-202003样品中分布的个数高达12个,LXS-201308、LXS-202001、LXS-202002样品中含量最高的化合物分别为7、6、1个。值得注意的是,批次为LXS-201308的样品中不含S/R-Rs<sub>3</sub>和G-Rs<sub>4</sub>,且G-Rh<sub>2</sub>只存在于该批样品中,有可能受采集时间和地点的影响。

本研究建立了同时测定39个人参皂苷的UFLC-MS/MS分析方法,含量检测结果在一定程度上说明,采用现代工艺技术开发的鲜人参晶,确实能溶出并较好地保存人参皂苷活性成分,充分保留了人参精华成分,从而发挥其营养价值和保健功能。其与林下山参比较,尽管人参皂苷含量有一定差异,但种类几乎无变化。为进一步评估并确保鲜人参晶的质量与功效,有必要对更多批次的鲜人参晶样品进行含量测定及分析研究。

### 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,2020:8.
- [2] 王立岩,田义新,李海涛,等. 基于益气固脱功效的人参药材质量评价的探讨[J]. 中国中药杂志,2012,37(13):2030-2033.
- [3] 杨秀伟,富力. 人参中三萜类化学成分的生物学活性和药理学作用[J]. 中国现代中药,2016,18(1):36-55.
- [4] 郭静,陈丹青,王士祥. 不同生长年份、生境人参判别方法的研究进展[J]. 中成药,2021,43(9):2457-2462.
- [5] 张艳欣. 基于LC-MS技术对林下山参鉴别及生长年限判定的研究[D]. 上海:上海中医药大学,2019.
- [6] YANG W Z, HU Y, WU W Y. Saponins in the genus *Panax* L. (Araliaceae): A systematic review of their chemical diversity[J]. *Phytochemistry*,2014,106:7-24.
- [7] RATAN Z A, HAIDERE M F, HONG Y H, et al. Pharmacological potential of ginseng and its major component ginsenosides[J]. *J Ginseng Res*,2021,45(2):199-210.
- [8] 杨秀伟. 人参中三萜类化学成分的研究[J]. 中国现代中药,2016,18(1):7-15,55.
- [9] 钟方丽,李平亚. 林下山参总皂苷含量的分析[J]. 特产研究,2007,29(2):67-69.
- [10] 张兰兰. 不同来源人参皂苷的比较及人参次苷H的研究[D]. 天津:天津大学,2010.
- [11] 陈虹宇,曹洋,杨华平. 林下山参栽培人参的应用价值剖析[J]. 中医药导报,2019,25(6):67-68.
- [12] 许玲玲,安睿,王新宏. 液质联用技术在中药分析中的应用[J]. 中成药,2006,28(2):239-246.
- [13] YANG Y G, JU Z C, YANG Y B, et al. Phytochemical analysis of *Panax* species: A review[J]. *J Ginseng Res*,2021,45(1):1-21.
- [14] WANG Y P, CHOI H K, BRINCKMANN J A, et al. Chemical analysis of *Panax quinquefolius* (North American ginseng): A review[J]. *J Chromatogr A*,2015,1426:1-15.
- [15] CHEN L H, ZHANG Y B, YANG X W, et al. Characterization and quantification of ginsenosides from the root of *Panax quinquefolius* L. by integrating untargeted metabolites and targeted analysis using UPLC-Triple TOF-MS coupled with UFLC-ESI-MS/MS[J]. *Food Chem*,2022,384:132466.
- [16] 王洪平,杨鑫宝,杨秀伟,等. 吉林人参根和根茎的化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2013,38(17):2807-2817.
- [17] WANG H P, ZHANG Y B, YANG X W, et al. Rapid characterization of ginsenosides in the roots and rhizomes of *Panax ginseng* by UPLC-DAD-QTOF-MS/MS and simultaneous determination of 19 ginsenosides by HPLC-ESI-MS[J]. *J Ginseng Res*,2016,40(4):382-394.
- [18] ZHOU Q L, ZHU D N, YANG X W, et al. Development and validation of a UFLC-MS/MS method for simultaneous quantification of sixty-six saponins and their six aglycones: Application to comparative analysis of red ginseng and white ginseng[J]. *J Pharm Biomed Anal*,2018,159:153-165.
- [19] 周琪乐,徐菟,杨秀伟. 中国红参化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2016,41(2):233-249.
- [20] ZHOU Q L, YANG X W. Four new ginsenosides from red ginseng with inhibitory activity on melanogenesis in melanoma cells[J]. *Bioorg Med Chem Lett*,2015,25(16):3112-3116.

- [21] YANG X W, MA L Y, ZHOU Q L, et al. SIRT1 activator isolated from artificial gastric juice incubate of total saponins in stems and leaves of *Panax ginseng* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2018, 28(3):240-243.
- [22] 马丽媛, 杨秀伟. 人参茎叶总皂苷酸水解产物化学成分研究[J]. *中草药*, 2015, 46(17):2522-2533.
- [23] 杨秀伟, 王洪平, 徐崑, 等. 不同产地人参根和根茎中人参皂苷的含量分析[J]. *药物分析杂志*, 2017, 37(1):30-36.
- [24] WANG H P, ZHANG Y B, YANG X W, et al. High-performance liquid chromatography with diode array detector and electrospray ionization ion trap time-of-flight tandem mass spectrometry to evaluate ginseng roots and rhizomes from different regions[J]. *Molecules*, 2016, 21(5):603.
- [25] ZHU G X, ZUO J L, XU L, et al. Ginsenosides in vascular remodeling: Cellular and molecular mechanisms of their therapeutic action[J]. *Pharmacol Res*, 2021, 169:105647.
- [26] ZARNESHAN S N, FAKHRI S, KHAN H. Targeting Akt/CREB/BDNF signaling pathway by ginsenosides in neurodegenerative diseases: A mechanistic approach[J]. *Pharmacol Res*, 2022, 177:106099.
- [27] MANCUSO C, SANTANGELO R. *Panax ginseng* and *Panax quinquefolius*: From pharmacology to toxicology[J]. *Food Chem Toxicol*, 2017, 107:362-372.
- [28] HAN Y, WANG T, LI C, et al. Ginsenoside Rg<sub>3</sub> exerts a neuroprotective effect in rotenone-induced Parkinson's disease mice *via* its anti-oxidative properties [J]. *Eur J Pharmacol*, 2021, 909:174413.
- [29] CHOI P, PARK J Y, KIM T, et al. Improved anticancer effect of ginseng extract by microwave-assisted processing through the generation of ginsenosides Rg<sub>3</sub>, Rg<sub>5</sub> and Rk<sub>1</sub>[J]. *J Funct Foods*, 2015, 14:613-622.
- [30] PENG S, WANG Y, ZHOU Y, et al. Rare ginsenosides ameliorate lipid overload-induced myocardial insulin resistance via modulating metabolic flexibility [J]. *Phytomedicine*, 2019, 58:152745.
- [31] 杨利民. 中药材生态种植理论与技术前沿[J]. *吉林农业大学学报*, 2020, 42(4):355-363.

(收稿日期: 2022-10-31 编辑: 田苗)