

# 高效液相色谱法测定红景天提取物中 红景天苷的不确定度评定

黄成安\*, 黎小兰, 吴斯燕, 陈宏璧

(汤臣倍健股份有限公司, 珠海 519040)

**摘要:** **目的** 评定高效液相色谱法测定红景天提取物中红景天苷含量的不确定度。**方法** 根据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》, 用甲醇提取样品中的红景天苷, 在波长 275 nm 下, 用紫外检测器进行测定。通过分析影响不确定度因素的来源, 对不确定度进行量化分析, 从而得出扩展不确定度。**结果** 当置信水平为 95%, 包含因子  $k=2$  时, 其扩展不确定度为  $\pm 0.17$  g/100 g, 红景天提取物中红景天苷含量为  $(4.03 \pm 0.17)$  g/100 g。不确定度主要来源于标准曲线拟合、测量重复性和标准溶液配制。**结论** 高效液相色谱仪应定期进行校准与维护保养, 定期检查紫外灯能量和自动进样器的定量准确性, 选用高校准级别的容量瓶、高纯度的标准品。检测人员应熟练掌握样品的各项处理步骤, 以提高检测准确性。

**关键词:** 红景天; 红景天苷; 不确定度; 高效液相色谱法

## Uncertainty evaluation for determination of salidroside in *Rhodiola rosea* L. extract by high performance liquid chromatography

HUANG Cheng-An, LI Xiao-Lan, WU Si-Yan, CHEN Hong-Bi

(By-Health Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the uncertainty for the determination of salidroside in *Rhodiola rosea* L. extract by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** According to JJF 1059.1-2012 *Evaluation and expression of measurement uncertainty*, salidroside was extracted with methanol, the determination was carried out with ultraviolet (UV) detector at 275 nm. Through the analysis of the sources of influencing factors in uncertainty, the uncertainty was quantitatively analyzed to obtain the expanded uncertainty. **Results** The expanded uncertainty was  $\pm 0.17$  g/100 g when the confidence level was 95% and influencing factor was 2. The salidroside content in *Rhodiola rosea* L. extract was  $(4.03 \pm 0.17)$  g/100 g. The main sources of uncertainty were calibration curve fitting, repeatability of measurement and preparation of standard solution. **Conclusion** We should regularly calibrate and maintain the high performance liquid chromatography, regularly check the energy of UV lamp and the quantitative accuracy of automatic injector, and use the capacity bottle of high level and high purity standard. The experimenter should be skilled with the sample processing steps to improve the detection accuracy.

**KEY WORDS:** *Rhodiola rosea* L.; salidroside; uncertainty; high performance liquid chromatography

\*通讯作者: 黄成安, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 46456523@qq.com

\*Corresponding author: HUANG Cheng-An, Engineer, By-Health Co., Ltd., Zhuhai 519040, China. E-mail: 46456523@qq.com

## 1 引言

红景天具有健脾益气、清肺止咳、活血的功效,临床可用于脾气虚证,症见体倦乏力、面色萎黄、少气懒言等<sup>[1-3]</sup>。现代研究表明,红景天中的主要活性成分红景天苷,具有抗疲劳作用,能够抑制肥胖、抗糖尿病和糖尿病并发症以及抗衰老的作用<sup>[4]</sup>,还能够改善心脑血管疾病<sup>[5,6]</sup>、改善学习记忆能力等<sup>[7]</sup>。目前红景天苷的检测方法主要有高效液相色谱法<sup>[8-13]</sup>、超高效液相色谱-质谱联用法<sup>[14,15]</sup>。本研究通过高效液相色谱法对红景天苷进行含量测定,根据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[16]</sup>,并参考 JJG 196-2006《常用玻璃量器检定规程》<sup>[17]</sup>,对红景天苷含量的测定进行不确定度评估,找出不确定度主要来源,为方法的优化和评定测量结果提供参考依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

红景天苷对照品(纯度: 98.1%, 批号: 19101831, 上海同田生物技术有限公司); 甲醇(色谱纯, 上海安普实验科技股份有限公司); 红景天提取物(批号 190501, 汤臣倍健股份有限公司提供); 一级水(汤臣倍健股份有限公司检测中心提供)。

P180H 超声波清洗器(德国 Elma 公司); U3000 高效液相色谱仪(美国赛默飞世尔公司); XS205DU 电子天平(感量 0.01 mg, 瑞士梅特勒-托利多科学仪器有限公司); TGL-10C 高速离心机(上海安亭科学仪器厂)。

### 2.2 色谱条件

流动相: 甲醇:水=15:85(V/V); 流速:1.0 mL/min; 色谱柱 C<sub>18</sub>(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 柱温: 40 °C; 检测波长: 275 nm。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 标准溶液的配制

精密称取红景天苷对照品 9.65 mg, 置于 50 mL 容量瓶中, 加甲醇超声溶解, 定容, 即得标准溶液。

#### 2.3.2 供试品溶液的配制

精密称取试样 0.1000 g, 置于 50 mL 容量瓶中, 加入适量甲醇, 超声提取 30 min, 放冷, 用甲醇定容至刻度, 摇匀, 离心, 过滤, 即得供试品溶液。

### 2.3.3 数学模型

样品中红景天苷的含量:

$$X = \frac{C \times V \times k}{M}$$

式中: X—样品中红景天苷的含量, g/100 g;

M—样品的质量, g;

V—样品的定容体积, mL;

C—样品溶液中红景天苷的浓度, mg/mL;

k—单位转换系数, k=0.1。

由实验步骤和数学模型可以看出, 影响红景天苷测定结果的不确定度因素中, 除了样品的质量, 样品的稀释倍数, 样品溶液中红景天苷的浓度之外, 还有标准品和检测仪器方面的因素。故不确定度的来源可以归纳为以下几个方面:

(1)试样重复测定时, 总重复性引起的标准不确定度  $u_r(x_1)$ ; (2)标准物质称量及标准溶液配制引起的标准不确定度  $u_r(x_2)$ ; (3)样品称量及样品溶液配制引起的标准不确定度  $u_r(x_3)$ ; (4)高效液相色谱仪引起的标准不确定度  $u_r(x_4)$ ; (5)标准曲线拟合引起的标准不确定度  $u_r(x_5)$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 不确定度传播律

不确定度传播律采用相对不确定度合成公式:

$$u_{cr}(x) = \sqrt{u_r(x_1)^2 + u_r(x_2)^2 + u_r(x_3)^2 + u_r(x_4)^2 + u_r(x_5)^2}$$

### 3.2 标准不确定度各分量的评定

#### 3.2.1 测量重复性引入的相对标准不确定度 $u_r(x_1)$

按照《中华人民共和国药典》2015 年版一部 红景天苷含量测定方法对样品的红景天苷含量进行 12 次平行测定, 数据见表 1。重复测量的不确定度属于 A 类不确定度。

红景天苷含量测量单次的标准偏差为:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.071 \text{ g/100 g}$$

在实际工作过程中, 当测定某样品中红景天苷含量 2 次时, 取其算术平均值作为测量结果, 故测定重复性引起的标准不确定度分量为:

$$\text{标准不确定度: } u_r(x_{3.2.1}) = \frac{S_1}{\sqrt{2}} = \frac{0.071}{\sqrt{2}} = 0.050 \text{ g/100 g}$$

$$\text{相对标准不确定度: } u_r(x_1) = \frac{u_r(x_{3.2.1})}{x} = \frac{0.050}{4.03} = 0.012$$

表 1 红景天提取物中红景天苷的含量测定结果(n=12)

Table 1 Determination of salidroside in *Rhodiola rosea* L. extract (n=12)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
含量/(g/100 g)	4.10	4.10	3.95	4.11	3.99	3.98	3.93	4.12	4.01	3.95	4.08	3.99	4.03

3.2.2 标准物质称量及标准溶液配制引起的标准不确定度  $u_r(x_2)$

3.2.2.1 标准物质含量引入的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.2.1})$

根据红景天苷标准物质证书中提供的信息, 红景天苷的纯度为(98.1±1)% , 取红景天苷标准物质区间的半宽度  $\alpha$  为 0.01, 按均匀分布处理, 包含因子  $k=\sqrt{3}$  , 属于 B 类评定。则有:

$$u_r(x_{3.2.2.1}) = \frac{U}{k} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058。$$

3.2.2.2 标准物质称量引入的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.2.2})$

用电子天平进行称量, 红景天苷标准物质重量  $m=9.65$  mg。根据天平的校准证书, 当载荷为 10 mg 时, 允许误差为±0.00005 g, 按均匀分布处理, 包含因子  $k=\sqrt{3}$  , 属于 B 类评定。则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.2.2}) = \frac{U}{k} = \frac{0.00005 \text{ g}}{\sqrt{3}} = 0.000029 \text{ g};$$

标准品称量时的相对标准不确定度:

$$u_r(x_{3.2.2.2}) = \frac{u(x_{3.2.2.2})}{m} = \frac{0.000029}{0.00965} = 0.0030。$$

3.2.2.3 标准溶液稀释和定容过程引起的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.2.3})$

标准溶液稀释定容过程引起的不确定度主要由 50 mL 容量瓶引入。

3.2.2.3.1 50 mL 容量瓶产生的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.2.3.1})$

由 50 mL 容量瓶的校准证书可知, 实验中所用的该 50 mL 容量瓶属于 A 级, 测量结果的允许误差为 0.01 mL, 按三角分布处理, 包含因子  $k=\sqrt{6}$  , 属于 B 类评定。则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.2.3.1}) = \frac{U}{k} = \frac{0.01 \text{ mL}}{\sqrt{6}} =$$

0.0041 mL;

$$\text{相对标准不确定度: } u_r(x_{3.2.2.3.1}) = \frac{0.0041 \text{ mL}}{50 \text{ mL}}$$

=0.000082。

3.2.2.3.2 溶液温度与校准温度不同产生的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.2.3.2})$

由于本实验室温度在(20±5) °C 的范围内波动, 假设温度变化为 5 °C, 该温度引起的不确定度可通过估算温度范围和体积膨胀系数计算, 液体的体积膨胀明显大于容量瓶的体积膨胀, 故只考虑前者即可。所使用的容量瓶体积为 50 mL, 甲醇的体积膨胀系数为  $1.18 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ , 按矩形分布, 取  $k=\sqrt{3}$  , 则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.2.3.2}) = 50 \times 5 \times 1.18 \times 10^{-3} / \sqrt{3} = 0.17 \text{ mL};$$

$$\text{相对标准不确定度: } u_r(x_{3.2.2.3.2}) = \frac{0.17}{50} = 0.0034。$$

则 50 mL 容量瓶所产生的相对合成标准不确定度为:

$$u_r(x_{3.2.2.3}) = \sqrt{u_r(x_{3.2.2.3.1})^2 + u_r(x_{3.2.2.3.2})^2} \\ = \sqrt{0.000082^2 + 0.0034^2} = 0.0034。$$

由上面分析可得, 红景天苷标准物质引起的相对标准不确定度为:

$$u_r(x_2) = \sqrt{u_r(x_{3.2.2.1})^2 + u_r(x_{3.2.2.2})^2 + u_r(x_{3.2.2.3})^2} \\ = \sqrt{0.0058^2 + 0.0030^2 + 0.0034^2} = 0.0074。$$

3.2.3 红景天苷样品处理所引起的相对标准不确定度  $u_r(x_3)$

3.2.3.1 样品称量引起的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.3.1})$

用电子天平进行样品称量, 样品重量  $m=0.1$  g。根据天平的校准证书, 当载荷为 0.1 g 时, 允许误差为±0.00005 g, 按均匀分布处理, 包含因子  $k=\sqrt{3}$  , 属于 B 类评定。则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.3.1}) = \frac{U}{k} = \frac{0.00005 \text{ g}}{\sqrt{3}} = 0.000029 \text{ g};$$

样品称量时的相对标准不确定度:

$$u_r(x_{3.2.3.1}) = \frac{u(x_{3.2.3.1})}{m} = \frac{0.000029}{0.1} = 0.00029。$$

3.2.3.2 样品定容引起的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.3.2})$

样品溶液稀释定容过程引起的不确定度主要由 50 mL 容量瓶引入。

3.2.3.2.1 50 mL 容量瓶产生的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.3.2.1})$

由 50 mL 容量瓶的校准证书可知, 实验中所用的该 50 mL 容量瓶属于 A 级, 测量结果的允许误差为 0.01 mL, 按三角分布处理, 包含因子  $k=\sqrt{6}$  , 属于 B 类评定。则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.3.2.1}) = \frac{U}{k} = \frac{0.01 \text{ mL}}{\sqrt{6}} = 0.0041 \text{ mL};$$

$$\text{相对标准不确定度: } u_r(x_{3.2.3.2.1}) = \frac{0.0041 \text{ mL}}{50 \text{ mL}}$$

=0.000082。

3.2.3.2.2 溶液温度与校准温度不同产生的相对标准不确定度  $u_r(x_{3.2.3.2.2})$

由于本实验室温度在(20±5) °C 的范围内波动, 假设温度变化为 5 °C, 该温度引起的不确定度可通过估算温度范围和体积膨胀系数计算, 液体的体积膨胀明显大于容量瓶的体积膨胀, 故只考虑前者即可。所使用的容量瓶体积为 50 mL, 甲醇的体积膨胀系数为  $1.18 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ , 按矩形分布, 取  $k=\sqrt{3}$  , 则有:

$$\text{标准不确定度: } u(x_{3.2.3.2.2}) = 50 \times 5 \times 1.18 \times 10^{-3} / \sqrt{3} = 0.17 \text{ mL};$$

$$\text{相对标准不确定度: } u_r(x_{3.2.3.2.2}) = \frac{0.17}{50} = 0.0034。$$

则 50 mL 容量瓶所产生的合成标准不确定度:

$$u_r(x_{3.2.3.2}) = \sqrt{u_r(x_{3.2.3.2.1})^2 + u_r(x_{3.2.3.2.2})^2} \\ = \sqrt{0.000082^2 + 0.0034^2} = 0.0034。$$

由上面分析可得, 红景天昔样品引起的相对标准不确定度:

$$u_r(x_3) = \sqrt{u_r(x_{3.2.3.1})^2 + u_r(x_{3.2.3.2})^2} = \sqrt{0.00029^2 + 0.0034^2} \\ = 0.0034。$$

### 3.2.4 高效液相色谱仪引入的相对标准不确定度 $u_r(x_4)$

由高效液相色谱仪的说明书可知, 该仪器检测浓度的允许误差为 1%, 按均匀分布处理, 包含因子  $k = \sqrt{3}$ , 属于 B 类评定。则有:

$$u_r(x_4) = \frac{U}{k} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.0058。$$

### 3.2.5 标准曲线拟合引入的相对标准不确定度 $u_r(x_5)$

标准曲线取 5 个不同浓度点, 每个浓度点平行检测 3 次, 取平均峰面积, 实验数据见表 2。

表 2 标准曲线( $n=3$ )  
Table 2 Standard curve ( $n=3$ )

标准序号	浓度 C/(mg/mL)	峰面积
1	0.0189333	10.3583
2	0.0473332	18.9000
3	0.0946665	42.5795
4	0.1893330	89.4748
5	0.3786660	181.4124
线性方程	$Y=480.44096X-1.24731$	
相关系数( $r$ )	0.999621	

由标准曲线引起被测量的浓度  $x$  的变化的不确定度可用以下公式计算

$$u(x_5) = \frac{s_R}{b} \sqrt{\frac{1}{P} + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{c})^2}}; s_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [A_i - (a + bx_i)]^2}{n-2}}$$

式中:

$P$ -样品液测量的次数, 5;

$n$ -标准液测量的次数, 15;

$x$ -样品测得的平均浓度, 0.09092 mg/mL;

$\bar{c}$ -标准液的平均浓度, 0.1458 mg/mL;

$b$ -工作曲线斜率, 480.44096;

$a$ -工作曲线截距, -1.24731;

$s_R$ -工作曲线标准差;

$x_i$ -第  $i$  次测量时标准液的浓度, mg/mL;

$A_i$ -第  $i$  次测量时标准液的峰面积;

$$s_R = \sqrt{\frac{16.35}{13}} = 1.12 (x - \bar{c})^2 = 0.0030118;$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{c})^2 = 0.084527;$$

$$u(x_5) = 0.00128。$$

由标准曲线拟合引入的相对标准不确定度:

$$u_r(x_5) = \frac{u(x_5)}{x} = \frac{0.00128}{0.09092} = 0.014。$$

## 3.3 合成标准不确定度评定

由表 3 各不确定度分量, 合成标准不确定度:

$$u_c(x) = \sqrt{u_r(x_1)^2 + u_r(x_2)^2 + u_r(x_3)^2 + u_r(x_4)^2 + u_r(x_5)^2} \\ = \sqrt{0.012^2 + 0.0074^2 + 0.0034^2 + 0.0058^2 + 0.014^2} = 0.021。$$

表 3 相对标准不确定度一览表  
Table 3 List of relative standard uncertainty

名称	不确定度来源	类型	相对标准不确定度值
$u_r(x_1)$	测量重复性	A	0.012
$u_r(x_2)$	标准溶液配制	B	0.0074
$u_r(x_3)$	样品处理	B	0.0034
$u_r(x_4)$	高效液相色谱仪	B	0.0058
$u_r(x_5)$	标准曲线拟合	A	0.014

样品测定的平均值为 4.03 g/100 g, 则红景天提取物中红景天昔测定的不确定度:

$$u_{cr}(x) = x \times u_r(x) = 4.03 \times 0.021 = 0.085 \text{ g/100 g}。$$

## 3.4 扩展不确定度

测定结果按置信水平为 95% 时, 包含因子  $k=2$ , 扩展不确定度可由合成标准不确定度乘以包含因子获得。此时红景天昔含量测定的扩展不确定度:

$$U = k \times u_{cr}(x) = 2 \times 0.085 = 0.17 \text{ g/100 g}。$$

本次测定的红景天提取物中红景天昔含量为 (4.03±0.17) g/100 g。

## 4 结论

本研究采用高效液相色谱法测定红景天提取物中红景天昔的含量, 据测量不确定度的评定方法并参考其他有关不确定度的评定和分析过程, 建立数学模型, 分析整个测定过程的不确定度来源及其对分析结果的影响, 为高效液相色谱法测量不确定度评定方法提供参考。从不确定度评定过程可以看出, 测量不确定度主要来源于标准曲线拟合, 其次是测量重复性和标准溶液配制。提示在今后的含量检测过程中, 高效液相色谱仪应定期进行校准与维护保养, 定期检查紫外灯能量和自动进样器的定量准确性, 而且要求选用高校准级别的容量瓶, 高纯度的标准品, 减少实验过程中的温度波动, 检测人员要熟悉检测过程与注意事项, 以提高检测准确性。

## 参考文献

- [1] 李晶, 李瑞刚, 睢博文, 等. 红参和红景天配伍前后主要成分及抗疲劳活性的变化[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(13): 87-96.  
Li J, Li RG, Sui BW, et al. Changes in effective compounds and anti-fatigue activity before and after compatibility of *Ginseng radix et rhizoma rubra* and *Rhodiola rosea* L. [J]. Chin J Exp Tradit Med Formulae, 2020, 26(13): 87-96.
- [2] 甘昌胜, 王珊珊, 李鸿, 等. 复方红景天缓解体力疲劳活性的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(8): 134-141.  
Gan CS, Wang SS, Li H, et al. Study on the anti-fatigue activity of the compound of *Rhodiola rosea* L. [J]. J Food Sci Biotechnol, 2019, 38(8): 134-141.
- [3] 隋明, 刘根娣, 杨晨. 红景天化工生产方法及对人体免疫功能的调节作用[J]. 医药化工, 2020, 46(6): 216-217.  
Sui M, Liu GD, Yang C. Talking about the production method of *Rhodiola rosea* L. and its regulating effect on human immune function [J]. Pharm Chem, 2020, 46(6): 216-217.
- [4] 余琴, 刘迅, 邢莎莎, 等. 红景天苷在疾病中的作用及机制研究进展[J]. 中国药师, 2020, 23(3): 526-529.  
Yu Q, Liu X, Xing SS, et al. Research progress in pharmacological activities and mechanisms of salidroside in diseases [J]. Chin Pharm, 2020, 23(3): 526-529.
- [5] 刘鸿飞, 闫继春, 李海明. 红景天苷对急性肺损伤急性呼吸窘迫综合征大鼠的保护作用[J]. 中国药师, 2018, 21(2): 201-204.  
Liu HF, Yan JC, Li HM. Protective effect of salidroside on acute lung injury/acute respiratory distress syndrome in rats [J]. Chin Pharm, 2018, 21(2): 201-204.
- [6] 韩宇, 高莹莹, 金立弟. 大株红景天注射液中 5-羟甲基糠醛的限量研究[J]. 中国药品标准, 2020, 21(3): 265-268.  
Han Y, Gao YY, Jin LD. Investigation on the limit of 5-HMF in Dazhu *Rhodiola rosea* L. injection [J]. Drug Standard China, 2020, 21(3): 265-268.
- [7] 吴秀专, 毕晓华, 王燕芳, 等. 红景天苷药理作用研究进展概述[J]. 长沙医学院学报, 2019, 17(4): 29-33.  
Wu XZ, Bi XH, Wang YF, et al. New research progress in the pharmacological function of salidroside [J]. J Changsha Med Univ, 2019, 17(4): 29-33.
- [8] 吕秀梅, 范芳芳, 文检, 等. HPLC 法同时测定 3 种红景天药材中 5 种化学成分的含量[J]. 中国药房, 2018, 29(18): 2515-2519.  
Lu XM, Fan FF, Wen J, et al. Simultaneous determination of 5 chemical components in 3 kinds of *Rhodiola rosea* L. by HPLC [J]. China Pharm, 2018, 29(18): 2515-2519.
- [9] 罗晓, 杨庆雄, 刘绣华, 等. 不同产地红景天药材中红景天苷含量的测定[J]. 化学研究, 2006, 17(3): 83-84.  
Luo X, Yang QX, Liu XH, et al. Determination of salidroside in *Rhodiola rosea* L. from different district [J]. Chem Res, 2006, 17(3): 83-84.
- [10] 刘青, 杜守颖, 多吉仁青, 等. HPLC 法同时测定不同产地大花红景天中 6 种活性成分[J]. 中草药, 2015, 46(2): 276-279.  
Liu Q, Du SY, Duo JRQ, et al. Simultaneous determination of six active components in *Rhodiola rosea* L. from different habitats by HPLC [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2015, 46(2): 276-279.
- [11] 杜殷豪. HPLC 法测定中药复方保健品中红景天苷含量[J]. 云南化工, 2018, 45(11): 94-95.  
Du YH. Determination of salidroside in Chinese medicinal compound health product by HPLC [J]. Yunnan Chem Ind, 2018, 45(11): 94-95.
- [12] 魏鲜娥, 蔡伟江, 李诗华, 等. 高效液相色谱法测定咖啡因的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2281-2285.  
Wei XE, Cai WJ, Li SH, et al. Evaluation of uncertainty in the determination of caffeine by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(7): 2281-2285.
- [13] 张慧敏, 彦培傲, 徐志杰, 等. 高效液相色谱法测定化妆品中水杨酸的不确定度评定[J]. 山东化工, 2020, 49: 91-95.  
Zhang HM, Yan PA, Xu ZJ, et al. Evaluation of uncertainty in the determination of salicylic acid in cosmetics by high performance liquid chromatography [J]. Shandong Chem Ind, 2020, 49: 91-95.
- [14] 支旭然, 郭彩会, 刘洪涛, 等. UPLC-MS-MS 法测定大株红景天注射液和红景天苷和酪醇的含量[J]. 中国临床药理学杂志, 2019, 35(13): 1378-1380.  
Zhi XR, Guo CH, Liu HT, et al. Determination of the concentrations of salidroside and tyrosol in *Rhodiola rosea* L. injection by UPLC-MS/MS [J]. Chin J Clin Pharm, 2019, 35(13): 1378-1380.
- [15] 于然, 陈亮, 王晓杰. UHPLC-MS-MS 同时测定红景天中 4 种有效活性成分研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 8: 154-157.  
Yu R, Chen L, Wang XJ. Simultaneous determination of four active ingredients in *Rhodiola rosea* L. by UHPLC MS-MS [J]. China Food Addit, 2019, 8: 154-157.
- [16] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S].  
JJF 1059.1-2012 Evaluation and expression of uncertainty in measurement [S].
- [17] JJG 196-2006 常用玻璃量器检定规程[S].  
JJG 196-2006 Commonly used measuring glass verification regulations [S].

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



黄成安, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 46456523@qq.com