

气相色谱法测定白酒中氰化物的不确定度评定

熊含鸿, 李 南, 何海茵, 洪泽淳, 陈思敏, 孙明蔚, 郑悦珊, 简德威, 梁旭霞*

(广东省食品检验所, 广州 510435)

摘 要: **目的** 评定气相色谱法测定白酒中氰化物的不确定度。**方法** 分析气相色谱法测定白酒中氰化物的全过程, 确认不确定度的来源和大小, 合成不确定度, 计算扩展不确定度并报出结果。**结果** 白酒中氰化物的含量为 13.8 mg/L, 扩展不确定度为 1.0 mg/L ($P=95\%$, $k=2$)。**结论** 通过对不确定度的来源分析及各分量的量化评定, 回收率与标准曲线拟合对不确定度的影响较大, 标准溶液、样品制备和测量重复性对不确定度的影响较小。

关键词: 气相色谱法; 白酒; 氰化物; 不确定度

Evaluation of uncertainty in determination of cyanide in liquor by gas chromatography

XIONG Han-Hong, LI Nan, HE Hai-Yin, HONG Ze-Chun, CHEN Si-Min, SUN Ming-Wei, ZHENG Yue-Shan, JIAN De-Wei, LIANG Xu-Xia*

(Guangdong Institute for Food Inspection, Guangzhou 510435, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the uncertainty in determination of cyanide in liquor by gas chromatography. **Methods** The whole process of determination of cyanide in liquor was analyzed by gas chromatography, the source and value of uncertainty were confirmed, calculated the synthetic uncertainty was synthesized, and the extended uncertainty was calculated and the results were reported. **Results** The content of cyanide in liquor was 13.8 mg/L, and the expansion of uncertainty was 1.0 mg/L ($P=95\%$, $k=2$). **Conclusion** Through the analysis of the source of uncertainty and the quantitative evaluation of each component, the recovery rate and the standard curve fitting have a great influence on the uncertainty. The standard solution, sample preparation and measurement repeatability have little effects on the uncertainty.

KEY WORDS: gas chromatography; liquor; cyanide; uncertainty

1 引 言

氰化物是一类带有氰基(CN^-)的剧毒化合物, 拥有令人畏的毒性, 广泛存在于自然界多种植物中。在植物中, 氰化物通常与糖分子结合, 并以含氰糖苷(cyanogenic glycoside)形式存在。比如, 木薯块根、茎叶各部分均含有亚

麻苦苷, 即氰苷(linamarin)。当氰苷进入人畜体内后, 可被水解为有毒的氢氰酸, 使组织细胞窒息中毒^[1]。水果的核中通常含有氰化物或含氰糖苷。如杏仁中含有的苦杏仁苷, 就是一种含氰糖苷, 故食用杏仁前通常用温水浸泡以去毒。

目前, 检测氰化物的方法主要有分光光度法^[2-3]、气相色谱法^[4-6]、离子色谱法^[7]、气相色谱-质谱法^[8]等。在 2016 年

基金项目: 食品安全国家标准制定、修订项目(spaq-2018-039)

Fund: Supported by National Food Safety Standards Development and Revision Project (spa-2018-039)

*通讯作者: 梁旭霞, 博士, 主任技师, 主要研究方向为食品理化检测与食品安全。E-mail: liangxuxia@126.com

*Corresponding author: LIANG Xu-Xia, Ph.D, Chief Technician, Guangdong Institute of Food Inspection, No.1103 Zengcha Road, Baiyun District, Guangzhou 510435, China. E-mail: liangxuxia@126.com

12 月 23 日发布的 GB 5009.36-2016 《食品安全国家标准 食品中氰化物的测定》^[9]中, 新的标准中重新归纳了分光光度法、气相色谱法及定性法, 适用于蒸馏酒及其配制酒、木薯、包装饮用水、矿泉水中氰化物的检测。但是在日常检测中发现 GB 5009.36-2016 第二法气相色谱法对蒸馏酒及配制酒无法做到良好的加标回收。而气相色谱法能够简便快速得到结果, 可结果与分光光度法存在较大差异且回收率较差^[10]。

误差理论的应用与研究已经历了 200 多年的历史, 总体上可分为经典误差理论和现代误差理论 2 个阶段^[11]。20 世纪中叶, 误差转化的概念被提出。即认为在一定条件下, 某些随机误差和系统误差可以互相转化, 其中特别是将系统误差进一步分为已定系统误差和未定系统误差两类, 并给出了相应的处理方法。即对已定系统误差进行修正, 而对未定系统误差则计人测量结果的精度评定。由此提出了误差合成的问题。为了避免用“误差”的概念表示测量结果可能引起的问题, 国际上许多专家学者和国际组织提出采用“测量不确定度”取代传统的误差表示体系, 对测量结果的精度进行评定, 并提出了几种测量不确定度评定模型^[12,13]。目前检测实验室对不确定度的应用一般用于检测结果的符合性判定^[14,15]、反映测量过程中所有误差对测量结果的影响, 提高试验过程检测的精准度^[16]、分析检测中不确定度分量的主要来源等^[17]。

对于 GB 5009.36-2016《食品安全国家标准 食品中氰化物的测定》, 第二法顶空气相色谱法的检测结果与第一法存在差异, 因此可以针对不确定度的评定过程来减小可能产生差异的因素。本研究对 GB 5009.36-2016 第二法顶空气相色谱法检测氰化物的方法进行了不确定度的评定, 识别实验过程中不确定度的来源, 量化各分量的不确定度, 分析各分量的不确定度对检测结果的影响, 以期优化检测过程, 减少检测结果的误差, 保证检测结果的准确性。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

Agilent7890B 气相色谱仪(美国安捷伦公司); DANI HSS 86.50 顶空进样器(意大利丹尼公司); Mili-Q Reference 超纯水系统(德国默克公司); IKA Vortex Genius 3 涡旋振荡器(德国艾卡公司)。

氰胺 T(分析纯, 天津市福晨化学试剂厂); 磷酸、氢氧化钠(分析纯, 广州化学试剂厂); 水中氰成分分析标准标准物质(50 μg/mL, GBW(E)080115, 中国计量科学研究院)。

2.2 试验方法

2.2.1 标准使用液溶液溶液配制

取 50.0 μg/mL 水中氰成分分析标准物质(GBW(E) 080115)2 mL 于 10 mL 容量瓶中, 用 0.1%NaOH 溶液稀释到刻度, 得到 10.0 μg/mL 使用液。

2.2.2 标准曲线配制

移取适量氰化物标准使用液至 20 mL 顶空瓶中, 加入适量超纯水, 配制成浓度为 0、0.010、0.050、0.100、0.200、0.500 μg/mL 的工作溶液, 加入 0.2 mL 磷酸溶液, 涡旋混合, 然后加入 0.2 mL 氰胺 T 溶液, 立即加盖密封, 涡旋混合, 待测。标准曲线的配制见表 1。

表 1 标准曲线的配制
Table 1 Formulation of standard curve

序号	1	2	3	4	5	6
配制浓度/(μg/mL)	0	0.010	0.050	0.100	0.200	0.500
标准使用液浓度/(μg/mL)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
移取使用液体积/mL	0	0.01	0.05	0.10	0.20	0.50
移取水体积/mL	10.00	9.99	9.95	9.90	9.80	9.50

2.2.3 样品测定

准确移取 0.2 mL 试样于顶空瓶中, 加入 0.3 mL 0.1%NaOH 溶液静置 5 min, 加入 9.5 mL 超纯水, 加入 0.2 mL 磷酸溶液, 涡旋混合, 然后加入 0.2 mL 氰胺 T 溶液, 立即加盖密封, 涡旋混合, 待测。

2.2.4 仪器条件

顶空分析条件: 顶空平衡温度: 50 °C; 取样针温度: 55 °C; 传输线温度: 100 °C; 顶空加热时间: 30 min; 进样间隔: 16 min。

气相色谱分析条件: 色谱柱: CP-WAX 57CB 毛细管柱(50 m×0.25 mm, 0.25μm); 色谱柱流量: 2 mL/min; 色谱柱温度: 40.0 °C; 温度程序: 40 °C保持 5 min, 以 50 °C/min 速率升到 200 °C, 保持 2 min; 检测器: ECD; 检测器温度: 260 °C; 尾吹气: N₂; 尾吹流量: 25 mL/min; 进样模式: 分流(5:1); 进样口温度: 200 °C; 载气: N₂; 吹扫流量: 3.0 mL/min。

3 不确定度分量的来源分析

3.1 数学模型

样品中氰化物含量(以 CN⁻计) $X(\text{mg/L})$ 表示为:

$$X = \frac{\rho}{V} \times 10$$

式中:

X —试样中氰化物含量(以 CN⁻计), mg/L;

ρ —由标准曲线得到的样液中氰化物的浓度, mg/L;

V —样品体积, mL;

10—加酸衍生前顶空瓶中溶液体积, mL。

3.2 不确定度分量

根据数学模型及测量过程, 测定结果的不确定度分量主要来自氰化物标准溶液、样品制备、工作曲线拟合、样品测量重复性、回收率等方面。不确定度因果图见图 1。

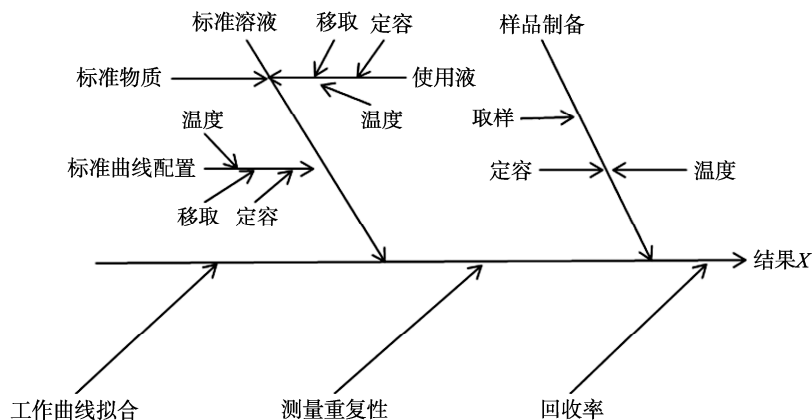


图 1 不确定度因果图

Fig.1 Cause and effect diagram of uncertainty

4 不确定度评定

4.1 标准溶液引入的不确定度

4.1.1 标准物质引入的不确定度

使用的标准物质为国家标准物质研究中心的水中氰成分分析标准物质,标准物质编号 GBW(E)080115,查标准物质证书,标准物质浓度为 $50 \mu\text{g/mL}$,不确定度为 1% ,按正态分布,取 $k=2$,则标准物质引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(c) = \frac{U(c)}{k} = 0.005。$$

4.1.2 标准使用液引入的不确定度

使用 5 mL 可调移液器移取 2 mL 标准物质,定容至 10 mL 容量瓶中,环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$,查校准证书, 5 mL 可调移液器不确定度为 $U=0.2\%$, $k=2$, 10 mL 容量瓶不确定度为 $U=0.015 \text{ mL}$, $k=2$;水的膨胀系数为 $2.1 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 。各分量的不确定度为:

a) 5 mL 可调移液器的相对标准不确定度为:

$$u_{2\text{rel}}(\text{移}) = \frac{U(\text{移})}{k} = 0.001;$$

b) 10 mL 容量瓶的相对标准不确定度为:

$$u_{2\text{rel}}(\text{容}) = \frac{U(\text{容})}{k \times 10} = 0.00075;$$

c) 环境温度变化的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(t) = \frac{2.1 \times 10^{-4} \times 5}{\sqrt{3}} = 0.000606;$$

由以上不确定度分量可得,标准使用液引入的相对标准不确定度为:

$$u_{2\text{rel}}(c) = \sqrt{u_{2\text{rel}}^2(\text{移}) + u_{2\text{rel}}^2(\text{容}) + u_{\text{rel}}^2(t)} = 0.00139。$$

4.1.3 标准曲线配制引入的不确定度

使用 $300 \mu\text{L}$ 、 $1000 \mu\text{L}$ 可调移液器移取相应体积的标准使用液,以 10 mL 可调移液器加入适量的超纯水至 20 mL 顶空瓶中,环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$,查校准证书, $300 \mu\text{L}$ 可

调移液器不确定度为 $U=0.8\%$, $k=2$, $1000 \mu\text{L}$ 可调移液器不确定度为 $U=0.8\%$, $k=2$, 10 mL 可调移液器不确定度为 $U=0.2\%$, $k=2$;水的膨胀系数为 $2.1 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 。各分量的不确定度为:

a) $300 \mu\text{L}$ 可调移液器的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(300) = \frac{U(300)}{k} = 0.004;$$

b) $1000 \mu\text{L}$ 可调移液器的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(1000) = \frac{U(1000)}{k} = 0.004;$$

c) 10 mL 可调移液器的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(10) = \frac{U(10)}{k} = 0.001;$$

d) 由上文可知,环境温度变化的相对标准不确定度为 0.000606 ;

配制 $0.010 \mu\text{g/mL}$ 的标准曲线使用 $300 \mu\text{L}$ 可调移液器移取标准使用液,配制其余 4 点标准曲线使用 $1000 \mu\text{L}$ 可调移液器移取标准使用液,由以上不确定度分量可得,标准曲线配制引入的相对不确定度为:

$$u_{3\text{rel}}(c) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(300) + u_{\text{rel}}^2(1000) \times 4 + u_{\text{rel}}^2(10) \times 5 + u_{\text{rel}}^2(t)} = 0.00833。$$

4.1.4 标准溶液引入的相对不确定度

综合以上 3 个分量的不确定度,标准溶液引入的相对不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(c) = \sqrt{u_{2\text{rel}}^2(c) + u_{2\text{rel}}^2(c) + u_{3\text{rel}}^2(c)} = 0.00981。$$

4.2 样品制备引入的不确定度

样品制备过程为使用 $300 \mu\text{L}$ 可调移液器移取 0.2 mL 试样于顶空瓶中,加入 0.3 mL $0.1\% \text{ NaOH}$ 溶液静置 5 min ,使用 10 mL 可调移液器加入 9.5 mL 超纯水,使用 $300 \mu\text{L}$ 可调移液器加入 0.2 mL 磷酸溶液,涡旋混合,然后加入

0.2 mL 氯胺 T 溶液, 立即加盖密封, 涡旋混合, 待测, 环境温度为(20±5) °C。查校准证书, 300 μL 可调移液器不确定度为 $U=0.8\%$, $k=2$, 10 mL 可调移液器不确定度为 $U=0.2\%$, $k=2$; 水的膨胀系数为 $2.1\times10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。由上文可知, 300 μL 可调移液器的相对不确定度为 0.004, 10 mL 可调移液器的相对不确定度为 0.001, 环境温度变化的相对标准不确定度为 0.000606, 综合以上 3 个分量, 样品制备引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(V)=\sqrt{u_{\text{rel}}^2(300)\times4+u_{\text{rel}}^2(10)+u_{\text{rel}}^2(t)}=0.00809。$$

4.3 工作曲线拟合引入的不确定度

将 2.2 中配制好的标准曲线溶液进气相色谱仪检测, 仪器按最小二乘法拟合工作曲线, 仪器读数及方程见表 2。

标准曲线标准差:
$$s_A=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n[y_i-(a+bci)]^2}{n-2}};$$

表 2 标准曲线拟合引入的不确定度
Table 2 Uncertainty introduced by the standard curve

标准曲线浓度 $c/(\mu\text{g/mL})$	0	0.01	0.05	0.10	0.20	0.50
峰面积 Y_i	927	52942	286692	562717	1218462	3138055
计算值 $a+bc_i$	-26489	36519	288553	603596	1233680	3123934
残差 $Y_i-(a+bc_i)$	27416	16423	-1816	-40879	-15218	14121
曲线拟合公式	$Y=6300846X-26489$					
曲线相关系数	$r=0.9998$					
标准曲线浓度平均值 $\bar{c}$ ($\mu\text{g/mL}$)	0.143					

计算得: $S_A=27959$ 。
式中, S_A —标准曲线的标准差; y_i —第 i 次测量的峰面积; c_i —第 i 次测量的标准曲线浓度, $\mu\text{g/mL}$; n —测量标准溶液的
次数。
平行测量样品 2 次, 以此标准曲线校准, 测得样品浓度平均值为 $c_1=0.276 \mu\text{g/mL}$, 则工作曲线拟合的不确定度为:

$$u(Q)=\frac{s_A}{b}\sqrt{\frac{1}{p}+\frac{1}{n}+\frac{(c_1-\bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n(c_i-\bar{c})^2}};$$

计算得 $u(Q)=0.00388$ 。
式中, S_A —标准曲线的标准差; p —样品的测定次数($p=2$); n —标准溶液的测定总次数($n=6$); b —标准曲线的斜率; c_1 —由标准曲线求得的样品溶液浓度, $\mu\text{g/mL}$; $\bar{c}$ —各标准溶液浓度的平均值, $\mu\text{g/mL}$; c_i —第 i 次测量的标准曲线浓度, $\mu\text{g/mL}$ 。
工作曲线拟合引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(Q)=\frac{u(Q)}{c_1}=0.0141。$$

4.4 测量重复性引入的不确定度

按照 2.3 过程, 取白酒样品重复测量 6 次, 测试结果及标准偏差见表 3。
测量重复性的标准不确定度为:

$$u(rep)=\frac{s(x)}{\sqrt{n}}=0.0792;$$

则测量重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(rep)=\frac{u(rep)}{c}=0.00579。$$

表 3 重复测量的结果及标准偏差($n=6$)
Table 3 Results and standard deviation of repeated measurement ($n=6$)

测量次数	1	2	3	4	5	6
测量值/(mg/L)	13.86	13.57	13.60	13.60	13.44	13.95
平均值 $\bar{c}$ /(mg/L)	13.67					
标准偏差 $s(x)$	0.194					

4.5 回收率引入的不确定度

在样品中分别加入标准物质浓度 5.00、10.00、15.00 mg/L, 测量结果见表 4。

表 4 加标回收率的结果及标准偏差
Table 4 Results and standard deviation of spike recovery

	1	2	3	4	5	6
加标浓度/(mg/L)	5.00	5.00	10.00	10.00	15.00	15.00
测量结果/(mg/L)	18.58	18.96	25.05	25.72	30.29	29.25
样品本底/(mg/L)	13.80					
回收率 $R/\%$	95.70	103.38	112.55	119.26	109.94	103.03
回收率平均值 $\bar{R}/\%$	107.31					
回收率标准偏差 $s/\%$	8.31					

回收率标准不确定度为:

$$u(R)=\frac{s(R)}{\sqrt{n}}=0.0339;$$

则回收率引入的相对标准不确定度为:

$$u_{rel}(R) = \frac{u(R)}{R} = 0.0316。$$

用检测统计数据 t 对平均回收率进行显著性检验, 在 95%置信概率, 自由度 $n=5$ 时的 t 分布临界值 $t_{0.95(5)}=2.57$, 即当检验值 $t \geq 2.57$ 时, 则与回收率 100%有显著性差异, 须使用回收率修正结果; 反之则无需采用回收率修正结果。

$$t = \frac{|1 - \bar{R}|}{u_{rel}(R)} = \frac{|1 - 1.0731|}{0.0316} = 2.31;$$

$t < t_{0.95(5)}$, 与回收率 100%之间无显著性差异, 无需采用回收率修正结果。

4.6 不确定度合成

根据以上不确定度评定过程, 白酒中氰化物的测定不确定度来源及数值见表 5。

表 5 白酒中氰化物的测定不确定度来源及数值
Table 5 Source and value of uncertainty for determination of cyanide in liquor

不确定度来源	标准溶液	样品制备	标准 曲线拟合	测量 重复性	回收率
不确定度分量	$u_{rel}(c)$	$u_{rel}(V)$	$u_{rel}(Q)$	$u_{rel}(rep)$	$u_{rel}(R)$
相对标准 不确定度	0.00981	0.00809	0.0141	0.00579	0.0316

白酒中氰化物的测定相对标准不确定度为:

$$u_{rel} = \sqrt{u_{rel}(c)^2 + u_{rel}(V)^2 + u_{rel}(Q)^2 + u_{rel}(rep)^2 + u_{rel}(R)^2} = 0.0373;$$

测量结果为 13.80 mg/L, 标准不确定度为 $u=u_{rel}c=0.515$ mg/L。

4.7 不确定度报告

在 95 %置信水平下, 取 $k=2$, 则白酒中氰化物的测定扩展不确定度为:

$$U = ku = 1.03 \text{ mg/L}$$

根据 JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示^[18], 最终报告取 1 位或 2 位有效数字, 白酒中的氰化物的检测结果为: $X=(13.8 \pm 1.0)\text{mg/L}$, $k=2$ 。

5 结 论

本文对气相色谱法测定白酒中的氰化物进行了不确定度评定, 通过对不确定度的来源分析及各分量的量化评定, 回收率的不确定度分量最大, 标准曲线拟合的不确定度分量超过最大不确定度分量的三分之一, 其余分量均小于最大分量的三分之一^[19], 因此, 回收率与标准曲线拟合对不确定度的影响较大, 标准溶液、样品制备和测量重复性对不确定度的影响较小, 在实际检验样品的过程中, 可

通过加标回收、质控样品等质控方法及选择合适的标准溶液浓度制作标准曲线等, 减小测量不确定度, 从而保证检测结果的准确性。

参考文献

[1] 韦小烨, 黄一帆, 陈桂鸾, 等. 流动注射法测定鲜木薯中氰化物[J]. 化学分析计量, 2018, 27(3): 20-23.
Wei XY, Huang YF, Chen GL, *et al.* Determination of cyanide in fresh cassava by flow injection method [J]. Chem Anal Meter, 2018, 27(3): 20-23.

[2] 刘芯韵, 张坤, 易啸, 等. 离子色谱法测定蒸馏酒中氰化物含量的方法性能分析[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(2): 94-95, 126.
Liu XY, Zhang K, Yi X, *et al.* Method performance analysis of determination of cyanide in distilled wines by ion chromatography [J]. Food Ferment Sci Technol, 2017, 53(2): 94-95, 126.

[3] 李悦, 何颖, 李彦懿, 等. 紫外-可见分光光度法测定 3 种酒中氰化物的浓度[J]. 酿酒科技, 2017, (8): 128-131.
Li Y, He Y, Li YY, *et al.* Determination of cyanides concentration in 3 kinds of alcoholic drinks by UV-Vis spectrophotometry [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2017, (8): 128-131.

[4] 杜利君, 刘晓林, 高媛惠, 等. 顶空气相色谱法快速测定酒中氰化物含量[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(11): 131-133.
Du LJ, Liu XY, Gao YH, *et al.* Determination of cyanide in wine by headspace gas chromatography [J]. Food Res Dev, 2017, 38(11): 131-133.

[5] Shigetoshi K, Takeaki N, Keiko K. Determination of cyanide and thiocyanate in blood by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chromatogr B, 1996, 675(1): 27-32.

[6] 阎冠洲, 钟其顶, 李国辉, 等. 顶空气相色谱测定白酒中氰化物方法研究[J]. 酿酒科技, 2013, (3): 89-92.
Yan GZ, Zhong QD, Li GH, *et al.* Study on the determination of cyanide content in liquor by headspace gas chromatography [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2013, (3): 89-92.

[7] 方诚, 凌芳, 郑琦, 等. 异烟酸-吡啶啉酮光度法测定硫酸铵中氰化物[J]. 化学试剂, 2017, 39(11): 1193-1195, 1200.
Fang C, Ling F, Zheng Q, *et al.* Isonicotinic acid-pyrazolone spectrophotometric determination of cyanide in ammonium sulfate [J]. Chem Reag, 2017, 39(11): 1193-1195, 1200.

[8] 张建, 苏利进, 李凯, 等. GC-MS 定性/HS-20 顶空结合 GC 定量测定酒中痕量氰化物[J]. 酿酒科技, 2014(07): 105-108.
Zhang J, Su LJ, Li K, *et al.* GC-MS qualitative/hs-20 headspace coupled with gc quantitativedetection of trace cyanide content in liquor [J]. Liquor-Mak Sci Technol, 2014, (7): 105-108.

[9] GB 5009.36-2016 食品安全国家标准 食品中氰化物的测定[S].
GB 5009.36-2016 National food safety standard-Determination of cyanide in food [S].

[10] 李南, 何海茵, 郑悦珊, 等. 顶空气相色谱法测定白酒中氰化物含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(1): 240-244.
Li N, He HY, Zheng YS, *et al.* Determination of cyanide content in liquor by headspace gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(1): 240-244.

[11] 费业泰. 误差理论的研究与进展[J]. 计量技术, 1998, (8): 40-41.

- Fei YT. Research and development of error theory [J]. Metrol Technol, 1998, (8): 40.
- [12] 尚德军, 王军. 测量不确定度的研究和应用进展[J]. 理化检验(化学分册), 2004, (10): 623–627.
- Shang DJ, Wang J. Research and application progress of measurement uncertainty [J]. Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2004, (10): 623–627.
- [13] 朱坚民, 王中宇, 夏新涛, 等. 测量不确定度评定的研究进展与展望[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2000, 21(2): 21–24.
- Zhu JM, Wang ZY, Xia XT, *et al.* Research progress and prospect of measurement uncertainty evaluation [J]. J Luoyang Inst Technol, 2000, 21(2): 21–24.
- [14] 安平, 刘浩峰, 华广胜. 检测实验室测量不确定度评定与应用现状[J]. 中国检验检测, 2018, 26(6): 60–63.
- An P, Liu HF, Hua GS. Evaluation and application status of measurement uncertainty in testing laboratory [J]. China Inspect Test, 2018, 26(6): 60–63.
- [15] 向德磊. 金属钢中锡的 ICP-AES 测定方法不确定度评定及在产品符合性判定中的应用[J]. 矿产与地质, 2016, 30(3): 509–512.
- Xiang DL. Evaluation of uncertainty in determination of tin in metal indium by icp-aes and its application in product conformity determination [J]. Mineral Res Geol, 2016, 30(3): 509–512.
- [16] 赵娜, 孙轶, 王奇峰, 等. 浅谈测量不确定度的评定在环境与可靠性实验室中的应用[J]. 数字通信世界, 2018, (12): 165, 169.
- Zhao N, Sun W, Wang QF, *et al.* Discussion on the application of measurement uncertainty in the environment and reliability laboratory [J]. Digit Commun World, 2018, (12): 165, 169.
- [17] 吴小松, 曹玉发, 姜雪, 等. 白酒中氰化物含量测定及其不确定度评定[J]. 中国酿造, 2013, 32(5): 82–85.
- Wu XS, Cao YF, Jiang X, *et al.* Determination of cyanide content in liquor and its uncertainty evaluation [J]. China Brew, 2013, 32(5): 82–85.
- [18] 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].
- [19] CNAS-GL 006 化学分析中不确定度的评估指南[S].
- CNAS-GL 006 Guidance on evaluating the uncertainty in chemical analysis [S].

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



熊含鸿, 工程师, 主要研究方向为食品理化检测与分析。

E-mail: 523991514@qq.com



梁旭霞, 博士, 主任技师, 研究方向为食品理化检测与食品安全。

E-mail: liangxuxia@126.com