

高效液相色谱-串联质谱法测定红酒中安赛蜜含量的不确定度评定

陈梦*, 卢光英, 王伟影, 范蕾, 姜川, 陈卫平
(丽水市食品药品与质量技术检验检测院, 丽水 323000)

摘要: **目的** 评定高效液相色谱-串联质谱法测定红酒中安赛蜜含量的不确定度评定。**方法** 根据 SN/T 3538-2013《出口食品中六种合成甜味剂的检测方法 液相色谱-质谱/质谱法》, 建立数学模型, 并对测量结果的各不确定度来源进行分析和评定, 从而得出合成不确定度和扩展不确定度。**结果** 当红酒中安赛蜜的含量为 0.968 mg/kg 时, 其扩展不确定度为 0.0616 mg/kg ($P=95\%$, $k=2$)。**结论** 影响检测结果的不确定度主要来源于样品回收率、重复性测定及标准工作溶液的配制。

关键词: 红酒; 安赛蜜; 不确定度; 高效液相色谱-串联质谱法

Uncertainty evaluation for the determination of acesulfame in red wine by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

CHEN Meng*, LU Guang-Ying, WANG Wei-Ying, FAN Lei, JIANG Chuan, CHEN Wei-Ping
(Lishui Institute for Food and Drug & Quality and Technical Inspection, Lishui 323000, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the uncertainty of the determination of acesulfame in red wine by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry(HPLC-MS/MS). **Methods** The evaluation model was established according to SN/T 3538-2013 *Determination of six kinds of artificial sweeteners in foodstuffs for export-LC-MS/MS method*. The main sources of uncertainty resulted from the determination process were discussed and calculated to get the composite uncertainty and extended uncertainty. **Results** When the acesulfame content was 0.968 mg/kg in red wine, its extended relative uncertainty was 0.0616 mg/kg ($P=95\%$, $k=2$). **Conclusion** The uncertainties of the experiments are mainly derived from the recovery rate, repeatability tests and preparation of standard solutions.

KEY WORDS: red wine; acesulfame; uncertainty; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

1 引言

安赛蜜(AK 糖)具有价格便宜、稳定性好、易溶解等优点, 是食品中常用的甜味剂, 但摄入过量时, 会影响肠胃消化酶的活性及肠道功能, 伤害人体的肝脏和神经系统^[1,2]。GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用

标准》^[3]明确规定了食品中安赛蜜的使用范围和最大使用量, 红酒中不得添加安赛蜜, 但仍有部分企业为了改善红酒的口感, 违法添加安赛蜜。现阶段食品中安赛蜜的检测方法主要有离子色谱法^[4]、紫外分光光度法^[5]、毛细管电泳法^[6]、高效液相色谱法^[7,8]和高效液相色谱-串联质谱法^[9,10]等, 在众多方法中, 高效液相色谱-串联质谱法

*通讯作者: 陈梦, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品检测与食品安全。E-mail: 514916479@qq.com

*Corresponding author: CHEN Meng, Master, Engineer, Lishui Institute for Food and Drug & Quality and Technical Inspection, Lishui 323000, China. E-mail: 514916479@qq.com

具有检测灵敏度低, 准确度高, 方法适用范围广的特点, 因而被广泛使用。

完整的检测结果应包含测量估计值及测量不确定度, 目前尚未见到红酒中安赛蜜含量的不确定度评定报道。国家标准 GB/T 27025-2008《检验和校准实验室能力的通用要求》^[11]中明确规定, 检测实验室应具有并应用评定测定不确定度的程序。作为一个检测结果, 当不确定度影响到检测结果对规范限度的符合性时, 检测报告中还应包含有关不确定度的信息。因此, 本文根据 CNAS-GL006-2019《化学分析中不确定度的评估指南》^[12]和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》^[13], 对 SN/T 3538-2013^[14]中采用的高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)测定红酒中安赛蜜含量的不确定度来源进行分析和量化, 计算不确定度, 报告标准测定下限 1.0 mg/kg 的检测结果, 确保检验结果的有效性和合理性, 并对影响不确定度的因素进行分析, 找出主要因素, 以期 HPLC-MS/MS 法测定红酒中安赛蜜含量的不确定度评定提供科学依据, 为红酒产品的质量控制在提供参考。

2 材料与方 法

2.1 仪器与材料

Waters TQ Detector 高效液相色谱-串联质谱仪, 配有电喷雾离子源(ESI)(美国 Waters 公司); XPE105 电子天平(瑞士 Mettler-Toledo 公司); 超纯水发生器(美国 Think-lab 公司); KQ-250DE 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); 0.22 μm 有机相滤膜(天津津腾公司)。

安赛蜜标准品(含量: 99.40%, 不确定度: 1.00%, 德国 Dr.Ehrenstorfer GmbH 公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸(色谱纯, 德国 CNW 公司); 甲酸铵(色谱纯, 德国 Fisher 公司); 红酒采购于本地市场。

2.2 实验方法

2.2.1 样品前处理

红酒样品混匀, 取适量样品, 超声脱气 20 min, 恢复至室温后, 准确称取试样 2 g(精确至 0.1 mg)于 100 mL 容量瓶中, 超声 5 min, 恢复至室温后, 用水稀释定容至刻度线, 混匀, 用 0.22 μm 有机相滤膜过滤, 供高效液相色谱-串联质谱仪测定。

2.2.2 标准溶液的配制

准确称取安赛蜜标准品 10 mg(精确至 0.01 mg), 加入 50 mL 水超声溶解, 冷却至室温后, 于 100 mL 容量瓶中定容至刻度线, 摇匀, 作为标准储备液。准确吸取 1.0 mL 标准储备液于 100 mL 容量瓶中, 用水稀释定容至刻度线, 得到标准测定溶液, 逐步稀释得到标准工作溶液 20、50、100、250、500 ng/mL。

2.2.3 仪器条件

(1) 色谱条件

色谱柱: Waters Atlantis T3 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm); 流速: 0.2 mL/min; 柱温: 35 °C; 进样量: 10 μL; 流动相: A 为乙腈, B 为 0.1%(体积分数, 下文同)甲酸-5 mmol/L 甲酸铵溶液; 梯度洗脱程序: 5%~10%A(0~3 min), 10%~70%A(3~4 min), 70%A(4~5 min), 70%~5%A(5~5.1 min), 5%A(5.1~8 min)。

(2) 质谱条件

离子源: 电喷雾离子源; 扫描方式: 负离子; 载气: 高纯氮气; 碰撞气: 高纯氩气; 离子源温度: 150 °C; 脱溶剂气温度 500 °C; 毛细管电压: 3.0 kV; 锥孔电压: 30 V; 检测方式: 多反应监测; 监测离子为: 安赛蜜 161.8/82 (碰撞能: 15 eV, 定量离子), 161.8/78(碰撞能: 25 eV, 定性离子)。

2.2.4 不确定度数学模型建立

$$\text{红酒中安赛蜜含量计算公式: } X = \frac{A \times C_s \times V}{m \times A_s}$$

X: 供试样品中安赛蜜的含量, mg/kg; m: 样品质量, g; A_s : 对照品溶液中安赛蜜的峰面积; A: 试样溶液中安赛蜜的峰面积; V: 试样最终的定容体积, mL; C_s : 对照品溶液中安赛蜜的浓度, μg/mL。

3 结果与分析

3.1 不确定度来源分析

根据检测方法以及数学模型, 不确定度分量的主要来源为: $U_{\text{rel}}(1)$, 样品质量的不确定度; $U_{\text{rel}}(2)$, 样品定容体积引入的不确定度; $U_{\text{rel}}(3)$, 标准溶液引入的不确定度; $U_{\text{rel}}(4)$ 回收率引入的不确定度; $U_{\text{rel}}(5)$, 测试重复性引入的不确定度;

方差合成:

$$U_{\text{rel}} = \sqrt{U_{\text{rel}}^2(1) + U_{\text{rel}}^2(2) + U_{\text{rel}}^2(3) + U_{\text{rel}}^2(4) + U_{\text{rel}}^2(5)}$$

3.2 不确定度分量的评定

3.2.1 样品称量引入的不确定度

该方法用万分之一天平称量样品, 电子天平的检定证书提供的允许误差为±0.1 mg, 假定均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $U_{(1.1)} = \frac{0.0001}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5}$ g。称样量为 2 g,

$$\text{相对标准不确定度为: } U_{\text{rel}}(1) = \frac{5.77 \times 10^{-5}}{2} = 2.88 \times 10^{-5}。$$

3.2.2 样品定容引入的不确定度

(1)容量瓶校准引入的不确定度: 样品称量后用 100 mL A 级容量瓶定容, 依据 JJG 196-2006《常用玻璃量器检定规程》^[15], 其最大允许误差为±0.1 mL, 按矩形分布, $k=\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $U_{(2.1)} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577$ mL, 容量瓶校

准引入的相对标准不确定度为: $U_{(2,2)}=0.0577/100=5.77\times 10^{-4}$ 。

(2)温度引入的不确定度: 容量瓶的校准温度为 20 °C, 实验室温度范围是(20±2) °C, 温度变化引入的不确定度可以通过液体的体积膨胀系数来计算, 水的膨胀系数为 2.1×10^{-4} 。假设温度变化按矩形分布, $k=\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $U_{(2,3)}=\frac{100\times 2\times 2.1\times 10^{-4}}{\sqrt{3}}=0.0242\text{ mL}$, 温度变化引入的相对标准不确定度为: $U_{(2,4)}=0.0242/100=2.42\times 10^{-4}$ 。

因此样品定容引入的相对标准不确定度为:

$$U_{rel}(2)=\sqrt{0.000577^2+0.000242^2}=6.26\times 10^{-4}$$

3.2.3 标准溶液引入的不确定度

(1)标准物质引入的不确定度: 根据标准物质证书, 安赛蜜标准品纯度为 99.40%, 不确定度为 1.00%($k=2$), 假定均匀分布, 则相对标准不确定度为: $U_{(3,1)}=1.00\%/2=0.00500$ 。

(2)标准物质称量引入的不确定度: 十万分之一天平, 电子天平的检定证书提供的允许误差为±0.01 mg, 假设按矩形分布, $k=\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $U_{(3,2)}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.00577\text{ mg}$ 。

标准品称样量为 10 mg, 相对标准不确定度为: $U_{(3,3)}=0.00577/10=5.77\times 10^{-4}$ 。

(3)标准储备液定容产生的不确定度: 标准品称量后用 100 mL A 级容量瓶定容, 根据玻璃量器检定规程, 允许误差为±0.1 mL, 按矩形分布, $k=\sqrt{3}$, 标准不确定度为: $U_{(3,4)}=0.1/\sqrt{3}=0.0577\text{ mL}$ 。实验室的温度变化范围是(20±2) °C, 水的膨胀系数为 2.1×10^{-4} , 按矩形分布计算, 标准不确定度为: $U_{(3,5)}=\frac{100\times 2\times 2.1\times 10^{-4}}{\sqrt{3}}=0.0242\text{ mL}$ 。将不确定度进行合成, 则标准储备液定容产生的相对标准不确定度为 $U_{(3,6)}=\sqrt{0.0577^2+0.0242^2}/100=6.26\times 10^{-4}$ 。

(4)标准储备液稀释过程引入的不确定度: 根据玻璃量器检定规程, 1 mL 刻度移液管的允许误差为±0.008 mL, 按矩形分布, 移液管的标准不确定度为:

$U_{(3,7)}=0.008/\sqrt{3}=0.00462\text{ mL}$, 实验室的温度变化范围是(20±2) °C, 水的膨胀系数为 2.1×10^{-4} , 按矩形分布计算, 移液管的标准不确定度为:

$$U_{(3,8)}=\frac{1\times 2\times 2.1\times 10^{-4}}{\sqrt{3}}=0.000242\text{ mL}$$

则移液管的合成不确定度为: $U_{(3,9)}=\sqrt{0.00462^2+0.000242^2}/1=0.00463$ 。100 mL A 级容量瓶定容产生的不确定度同标准储备液定容产生的不确定度 $U_{(3,6)}=6.26\times 10^{-4}$ 。将移液管和容量瓶的不确定度进行合成, 则标准储备液稀释过程产生的相对标准不确定度为

$$U_{(3,10)}=\sqrt{0.00463^2+(6.26\times 10^{-4})^2}=0.00467$$

(5)标准工作曲线配制过程引入的不确定度: 移取 0.5 mL 标准储备液至 100 mL 容量瓶, 分别移取 2.5、1.0、0.5、1.0 标准中间液至 10、10、10、50 mL 容量瓶, 用水定容至刻度后得到标准工作曲线。稀释过程由刻度误差和温度误差引入的不确定度见表 1, 对各稀释步骤的不确定度进行合成, 得到相对不确定度为:

$$U_{(3,11)}=\sqrt{2\times 0.00924^2+2\times 0.00405^2+0.00576^2+\sqrt{0.0006272+3\times 0.001572+0.0006272}}=0.0156$$

(6)标准曲线拟合引入的不确定度: 标准曲线采用最小二乘法对标准曲线进行拟合, 得到线性回归方程: $Y=1.8983X+33.804$, 相关系数: $r^2=0.9962$, 标准溶液峰面积

$$\text{的残差标准差: } S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 [y_i - (ax_i + b)]^2}{n-2}}=4.46\text{ ng/mL}$$

, 样品测定次数 $p=6$, 平均浓度 $\bar{X}=19.36\text{ ng/mL}$, 标准工作曲线拟合引入的不确定度为:

$$U_{(3,12)}=\frac{s}{\bar{x}a}\sqrt{\frac{1}{n}+\frac{1}{p}+\frac{(\bar{X}-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^5 (x_i-\bar{x})^2}}=0.00672$$

表 1 标准曲线溶液配制引入的不确定度

Table 1 Uncertainty introduced by standard solution preparation

不确定度来源	项目	A 级 1 mL 刻度移液管	A 级 1 mL 单标线移液管	A 级 5 mL 刻度移液管	A 级 50 mL 单标线容量瓶	A 级 10 mL 单标线容量瓶	A 级 100 mL 单标线容量瓶
刻度误差	允许误差/mL	±0.008	±0.007	±0.025mL	±0.05	±0.020	±0.10
	移取体积/mL	0.5	1	2.5	50	10	100
	不确定度	0.00462	0.00404	0.0144	0.0289	0.0115	0.0577
温度误差	温度误差/°C	±2	±2	±2	±2	±2	±2
	膨胀系数/°C ⁻¹	2.1×10^{-4}					
	不确定度	0.000121	0.000242	0.000606	0.0121	0.00242	0.0242
相对不确定度		0.00924	0.00405	0.00576	0.000627	0.00157	0.000627
使用次数		2	2	1	1	3	1

因此标准溶液引入的相对标准不确定度为：

$$U_{\text{rel}(3)} = \sqrt{\frac{0.00500^2 + 0.000577^2 + 0.000626^2 + 0.00467^2 + 0.0156^2 + 0.00672^2}{0.0183^2}} = 0.0183。$$

3.2.4 回收率引入的不确定度

红酒中安赛蜜的测定低限为 1.0 mg/kg, 故在检测低限进行加标回收, 保证标准要求临界值数据的有效性和合理性, 在 2 g 空白红酒样品中添加 2 μg 安赛蜜标准品, 按样品前处理步骤平行加标 6 份, 测得回收率见表 2, 对回收率进行显著性检验分析, $t = \frac{|100\% - \bar{R}|}{U_{\text{rel}(4)}} = 3.454$, 当自由度 $f=4$ 时, 查 t 临界值分布表, $t_{(0.05,4)}=2.776$, $t > t_{(0.05,4)}$, 回收率与 100% 具有显著性, 因此, 应考虑平均回收率引入的不确定度。

表 2 样品回收率
Table 2 Sample recovery rate

实验次数	1	2	3	4	5	6
回收率/%	91.79	88.43	93.05	101.98	89.54	90.01

$$\text{回收率平均值为: } \bar{X} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 X_i = 92.47\%$$

$$\text{标准偏差为: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (X_i - \bar{X})^2}{6-1}} = 0.0494$$

相对标准不确定度为：

$$U_{\text{rel}(4)} = \frac{S}{\bar{R} \times \sqrt{n}} = \frac{0.0494}{0.9247 \times \sqrt{6}} = 0.0218$$

3.2.5 测试重复性引入的不确定度

在 2 g 空白红酒样品中添加 2 μg 安赛蜜标准品, 按 2.2.1 中处理方法平行处理 6 份, 测得结果见表 3。

表 3 样品重复测定结果
Table 3 The results of sample repeated measurement

测定次数	1	2	3	4	5	6
含量/(mg/kg)	0.952	1.014	0.923	0.970	0.982	0.946

$$\text{安赛蜜含量平均值为: } \bar{X} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 X_i = 0.968 \text{ mg/kg}$$

$$\text{标准偏差为: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (X_i - \bar{X})^2}{6-1}} = 0.0339$$

相对标准不确定度为：

$$U_{\text{rel}(5)} = \frac{S}{\bar{X} \times \sqrt{6}} = \frac{0.0339}{0.968 \times \sqrt{6}} = 0.0143$$

3.3 合成标准不确定度评定

由上述各相对不确定度合成红酒中安赛蜜含量测定结果的相对标准不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = \sqrt{U_{\text{rel}(1)}^2 + U_{\text{rel}(2)}^2 + U_{\text{rel}(3)}^2 + U_{\text{rel}(4)}^2 + U_{\text{rel}(5)}^2} = \sqrt{0.0000288^2 + 0.000626^2 + 0.0183^2 + 0.0218^2 + 0.0143^2} = 0.0318$$

假定置信概率 P 为 95%, 取包含因子 $k=2$, 安赛蜜含量的扩展不确定度为：

$$U = U_{\text{rel}} \times \bar{X} \times 2 = 0.0318 \times 0.968 \times 2 = 0.0616 \text{ mg/kg}, \text{测定结果表示为: } X = (0.968 \pm 0.0616) \text{ mg/kg} (P=95\%, k=2)。$$

4 结论与讨论

本文从试样称量、试样定容、重复性实验、回收率、标准工作溶液配制及标准曲线拟合方面对实验过程中的不确定度进行评定, SN/T 3538-2013 法测定红酒中安赛蜜含量的不确定度主要来源于样品的回收率、重复性测定和标准溶液的配制。因此, 在实际检测工作中, 需要提升操作的规范性和稳定性, 注意标准溶液的逐级稀释配制, 增加平行样测定次数, 掌握检测方法的关键控制因素, 从而减小结果的不确定度, 提高检测结果的准确性。

参考文献

- 王凯, 邱宇, 王亮亮, 等. 液相色谱-串联质谱法测定白酒中甜蜜素的不确定度评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(6): 1449-1454.
Wang K, Qiu Y, Wang LL, et al. Uncertainty evaluation of the determination of sodium cyclamate in liquor by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(6): 1449-1454.
- 杜淑霞. 高效液相色谱法测定含乳饮料中安赛蜜含量的不确定度评价[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 142-146.
Du SX. Uncertainty evaluation for the determination results of acesulfame-K in milk beverage by HPLC [J]. Food Res Dev, 2010, 31(2): 142-146.
- GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard for use of food additives [S].
- 赵士权, 查河霞. 离子色谱法测定食品中的安赛蜜含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5): 1840-1843.
Zhao SQ, Zha HX. Determination of acesulfame potassium in foodstuffs by ion chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(5): 1840-1843.
- 叶姗, 倪永年, 邱萍. 主成分回归-紫外光度法同时测定甜味剂安赛蜜、阿斯巴甜和糖精[J]. 南昌大学学报(理科版), 2007, 31(2): 132-134.
Ye S, Ni YN, Qiu P. Principal components regression-ultraviolet spectrophotometry method to determination of acesulfame, aspartame and sodium saccharin [J]. J Nanchang Univ (Nat Sci), 2007, 31(2): 132-134.
- 张静, 杨鸿斌, 谢娟, 等. 毛细管电泳法同时测定饮料中的阿斯巴甜、糖精钠和安赛蜜[J]. 现代预防医学, 2014, 41(20): 3768-3770.
Zhang J, Yang HB, Xie J, et al. Simultaneous determination of aspartame, sodium saccharin and acesulfame in drinks by capillary electrophoresis [J]. Mod Prev Med, 2014, 41(20): 3768-3770.
- 曹瑛瑛, 文开勇, 孙国政, 等. HPLC 法检测馒头中苯甲酸、山梨酸、糖精钠及安赛蜜[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(5): 97-101.
Cao YY, Wen KY, Sun GZ, et al. Detection of benzoic acid, sorbic acid, saccharin sodium and acesulfame in steamed bread by HPLC [J]. Food

- Ferment Technol, 2019, 55(5): 97–101.
- [8] 李碧波, 鄢兵华, 荣汝繁. 富硒豆豉中安赛蜜、苯甲酸、山梨酸、糖精钠、脱氢乙酸的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 521–526. Li BB, Yan BH, Rong RF. Determination of acesulfame potassium, benzoic acid, sorbic acid, saccharin sodium dihydrate and dehydroacetic acid in Se-enriched and fermented soyabeans [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(2): 521–526.
- [9] 陈丽娟, 费晓庆, 谭梦茹, 等. 超高效液相色谱-高分辨质谱法测定蜂蜜中的苯甲酸、山梨酸、安赛蜜与糖精钠[J]. 分析测试学报, 2016, 35(9): 1142–1146. Chen LJ, Fei XQ, Tan MR, *et al.* Determination of benzoic acid, sorbic acid, acesulfame K and saccharin sodium in honey by ultra high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry [J]. J Instrum Anal, 2016, 35(9): 1142–1146.
- [10] 曾绍东, 杜海群, 郭宏斌, 等. 超高压液相色谱-质谱法测定水果中添加的 3 种人工合成甜味剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(1): 239–244. Zeng SD, Du HQ, Guo HB, *et al.* Determination of three synthetic sweeteners in fruits by ultra pressure liquid chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(1): 239–244.
- [11] GB/T 27025-2008 检验和校准实验室能力的通用要求[S]. GB/T 27025-2008 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories [S].
- [12] CNAS-GL006-2019 化学分析中不确定度的评估指南[S]. CNAS-GL006-2019 Guidance on quantifying uncertainty in chemical analysis [S].
- [13] 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].
- [14] SN/T 3538-2013 出口食品中六种合成甜味剂的检测方法液相色谱-质谱/质谱法[S]. SN/T 3538-2013 The determination of six kinds of artificial sweeteners in foodstuffs for export by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [S].
- [15] JJG 196-2006 常用玻璃量器检定规程[S]. JJG 196-2006 Verification regulation of working glass container [S].

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



陈 梦, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品检测与食品安全。
E-mail: 514916479@qq.com