

# 气相色谱-串联质谱法测定婴幼儿配方乳粉中的 丙烯酰胺

陈克云, 李海霞, 鞠 香, 陈倩倩, 田其燕, 王艳丽, 张 卉, 徐大玮, 刘艳明\*, 胡 梅  
(山东省食品药品检验研究院, 山东省食品药品安全检测工程技术研究中心, 山东省特殊医学用途配方食品质量控制工程技术研究中心, 济南 250101)

**摘 要:** **目的** 建立气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)测定婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺。**方法** 样品经水溶解后, 用乙酸锌、亚铁氰化钾沉淀蛋白, 离心, 上清液经溴化衍生, 乙酸乙酯提取, 采用气相色谱-串联质谱法进行检测, 内标法定量。**结果** 丙烯酰胺在 5~500 ng/mL 范围内线性良好( $r > 0.999$ ), 在 10、20、40  $\mu\text{g}/\text{kg}$  加标浓度水平下的回收率为 89.4%~107.2%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 3.3%~7.1% ( $n=6$ ), 检出限为 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 定量限为 0.75  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。**结论** 该方法前处理操作简便、线性良好、灵敏度高、准确度高, 抗干扰能力强, 适合婴幼儿配方乳粉中痕量丙烯酰胺的测定。**关键词:** 婴幼儿配方乳粉; 丙烯酰胺; 气相色谱-串联质谱法

## Determination of acrylamide in infant formula milk powder by gas chromatography-tandem mass spectrometry

CHEN Ke-Yun, LI Hai-Xia, JU Xiang, CHEN Qian-Qian, TIAN Qi-Yan, WANG Yan-Li,  
ZHANG Hui, XU Da-Wei, LIU Yan-Ming\*, HU Mei

(Shandong Institute for Food and Drug Control, Shandong Research Center of Engineering and Technology for Safety Inspection of Food and Drug, Shandong Research Center of Engineering and Technology for Quality Control of Food for Special Medical, Jinan 250101, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an analytical method for the determination of acrylamide in infant formula milk powder by gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS). **Methods** The samples were dissolved in water, after the proteins were precipitated with zinc acetate and potassium ferrocyanide, centrifuged, the supernatant was brominated and then extracted with ethyl acetate, the detection was carried out by gas chromatography-tandem mass spectrometry, and the internal standard method was used for quantification. **Results** The linearity of acrylamide was good at 5–500 ng/mL ( $r > 0.999$ ). The recoveries were 89.4%–107.2% at the standard addition levels of 10, 20 and 40  $\mu\text{g}/\text{kg}$  with the relative standard deviations (RSDs) in the range of 3.3%–7.1% ( $n=6$ ). The limit of detection was 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , and the limit of quantification was 0.75  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . **Conclusion** The method has the advantages of simple pretreatment, good linearity, high sensitivity, high accuracy and strong anti-interference ability. It is suitable for the determination of trace acrylamide in infant formula milk powder.

**KEY WORDS:** infant formula milk powder; acrylamide; gas chromatography-tandem mass spectrometry

\*通信作者: 刘艳明, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测与科研。E-mail: msymliu@163.com

\*Corresponding author: LIU Yan-Ming, Ph.D, Professor, Shandong Institute of Food and Drug Control, No.99, Tianluo Road, Gaoxin District, Jinan 250101, China. E-mail: msymliu@163.com

## 0 引言

丙烯酰胺(acrylamide, AA)是食品在高温条件下(高于 120 °C)产生的一种内源性化学污染物,早在 2005 年就被世界卫生组织列为 2A 类致癌物,对公共健康存在着潜在危害<sup>[1-2]</sup>。丙烯酰胺对人和动物具有神经毒性,能影响胎儿的神经系统,胎儿期、胚胎期、儿童期是对化学暴露特别敏感的主要窗口期<sup>[3-4]</sup>,目前已在母乳中检测到<sup>[5-6]</sup>。此外,丙烯酰胺还具有一定的致突变性和生殖毒性<sup>[7-8]</sup>。

食品中的丙烯酰胺是由天门冬氨酸和还原糖在高温下发生美拉德反应生成的。婴幼儿配方乳粉中含有乳糖、葡萄糖、氨基酸等易于形成丙烯酰胺的物质,加工过程中存在喷雾干燥等加热过程,故婴幼儿配方乳粉较易受到丙烯酰胺污染。有报道称在婴儿食品中发现较高含量的丙烯酰胺<sup>[9]</sup>, (EU)2017/2158 规定婴儿食品中丙烯酰胺的基准水平值为 40 μg/kg; 韩国食品药品安全部(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)设定婴幼儿食品中丙烯酰胺的建议限量为 0.3 mg/kg; 我国国家食品药品监督管理总局于 2007 年底新增乳粉中的丙烯酰胺风险监测项目,但目前还未制定食品中丙烯酰胺的限量要求。

目前国内外检测丙烯酰胺最常用的分析方法有气相色谱法<sup>[10]</sup>、液相色谱法<sup>[11]</sup>、气相色谱-串联质谱法<sup>[12-13]</sup>、液相色谱-串联质谱法<sup>[14-15]</sup>。此外,还有免疫分析法<sup>[16]</sup>、电化学法<sup>[17]</sup>等一些非常规检测方法。其中,液相色谱法和气相色谱法存在假阳性、检出限高等缺点。液相色谱-串联质谱法操作相对简便,但由于丙烯酰胺分子量较低,婴幼儿配方乳粉基质复杂,色谱对痕量的丙烯酰胺保留较弱,存在基质干扰等问题。GB 5009.204—2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》第二法为溴衍生的方法,该法操作步骤烦琐且目标物易损失,不适用于婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的检测,故为满足日趋严格的监管需求,保障广大婴幼儿的身体健康,亟需一种准确、高效、高灵敏度的婴幼儿乳粉中丙烯酰胺的检测方法。

丙烯酰胺碳链较短、极性高,故色谱保留能力较弱,经溴加成衍生化再用气相色谱-质谱检测可克服以上不足。衍生化产物的相对分子质量增大,色谱检测时可降低背景噪音,同时,增加其挥发性和电负性,实现高灵敏度检测,更利于质谱定性分析。鉴于丙烯酰胺具有极性大、热不稳定性等特点,针对婴幼儿配方乳粉基质复杂、丙烯酰胺含量低的特点,结合乳粉基质的水溶性、高蛋白等特点,本研究采用无机溶剂法沉淀乳粉中的蛋白,通过溴化衍生,采用气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)进行检测,内标法定量。以期建立一种高准确性、高灵敏度的检测婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的方法,为婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺检测标准的制修订提供参考依据,为婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的

风险监测和风险评估提供技术支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 仪器与amp;材料

#### 1.1.1 实验仪器

8890+7010B 气相色谱-串联质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司); SQP 电子分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司); Mili-QIQ7000 超纯水机(密理博中国有限公司); UMV-2 涡旋混合器(山东青云实验耗材有限公司); 3-18KS 高速离心机(美国 Sigma 公司)。

#### 1.1.2 试剂与amp;样品

丙烯酰胺标准品(纯度 99.7%)、<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺标准品(1000 μg/mL, 北京曼哈格生物科技有限公司); 乙酸乙酯(色谱纯, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); 硫代硫酸钠、溴化钾、溴水、氢溴酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 婴儿食品中的丙烯酰胺质控样(编号: T30102QC, 英国 FAPAS 公司)。

实验所用样品均来源于市售。

### 1.2 标准溶液的配制

丙烯酰胺标准储备溶液(1000 mg/L): 准确称取丙烯酰胺标准品, 用甲醇溶解并定容, 使丙烯酰胺质量浓度为 1000 mg/L, 置-20 °C冰箱中保存。

丙烯酰胺工作溶液 I (10 mg/L)和 II (1 mg/L): 移取丙烯酰胺储备溶液 100 μL, 用甲醇稀释至 10 mL, 为丙烯酰胺工作溶液 I; 移取丙烯酰胺工作溶液 I 1 mL, 用甲醇稀释至 10 mL, 使丙烯酰胺浓度为 1 mg/L, 作为丙烯酰胺工作溶液 II, 临用时配制。

<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺内标溶液(10 mg/L): 准确移取 100 μL <sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺标准品(1000 mg/L)于 10 mL 容量瓶中, 用甲醇定容至刻度, 置于-20 °C冰箱保存。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 前处理方法

称取 1 g(精确至 0.01 g)乳粉试样于 50 mL 离心管中, 加入 10 mg/L <sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺内标溶液 50 μL, 再加入超纯水 20 mL, 涡旋混匀 2 min。分别加入 0.5 mL 亚铁氰化钾溶液和乙酸锌溶液, 涡旋混匀后静置 10 min。于 4000 r/min 离心 2 min 后用滤纸过滤。

取 10 mL 滤液, 加入 2.5 g 溴化钾, 摇匀。用氢溴酸调 pH 至 1~3, 加入 2 mL 溴水, 4 °C 放置 90 min, 加入 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液约 100 μL, 涡旋振荡至黄色消失。加入 20 mL 乙酸乙酯提取, 涡旋 2 min, 吸取上层有机相氮吹至尽干, 加 1 mL 乙酸乙酯复溶, 上机检测。

标准系列溶液的衍生: 分别移取 5、10、50 μL 丙烯酰胺工作溶液 II, 20、50 μL 丙烯酰胺工作溶液 I, 加 10 mL 水, 按照上述试样衍生方法同步操作。

### 1.3.2 仪器条件

气相色谱条件: 色谱柱: HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 250 μm); 进样口温度: 250 °C; 进样模式: 不分流; 载气: 氦气, 流速: 1 mL/min; 程序温度: 65 °C保持1 min, 15 °C/min 升温至 200 °C, 40 °C/min 升温至 290 °C;

质谱条件: 离子化模式: 电子轰击离子源(electron impact ion source, EI), 70 eV; 采集模式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM), 离子扫描模式: 产物离子扫描。离子源温度: 230 °C; 四极杆温度: 150 °C; 传输线温度: 280 °C; 溶剂延迟: 5 min。

## 1.4 基质效应评价

采用基质匹配标准曲线的斜率与溶剂标准曲线的斜率的比值, 来定量评价丙烯酰胺的基质效应(matrix effects, ME)。ME=[基质匹配标准曲线的斜率/溶剂标准曲线的斜率-1]×100%。ME 为 0 表示无基质效应, 绝对值越大表明基质效应越强, 在-15%~15%之间, 表示基质效应影响不明显。

## 2 结果与分析

### 2.1 前处理条件的优化

#### 2.1.1 净化条件的选择

婴幼儿配方乳粉成分复杂, 含有大量的蛋白质、脂溶性营养成分<sup>[18]</sup>。以水为提取剂时脂溶性成分不溶于水, 因此高效地去除乳粉基质中的蛋白是前处理的关键步骤。丙烯酰胺是一种不饱和酰胺, 在酸碱环境中不稳定、可水解成丙烯酸。因此, 酸法沉淀和等电点沉淀法这 2 种沉淀方式不适用于婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的测定。结合已发表的文献及标准<sup>[19-20]</sup>, 本研究考察了有机溶剂沉淀法(乙醇)、无机溶剂沉淀法(亚铁氰化钾-乙酸锌溶液)2 种沉淀方式对婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的沉淀效果。

研究表明, 乙醇沉淀蛋白质缓慢, 沉降不完全, 许多样品高速离心后仍不澄清, 而利用亚铁氰化钾-乙酸锌溶液作为蛋白质沉淀剂, 操作简单、试剂用量少, 经离心后上清液澄清透明, 回收率均在 89.4%~107.2%之间, 精密度在 3.3%~7.1%之间, 证明该无机溶剂沉淀法满足方法的准确度和精密度要求, 故选择亚铁氰化钾-乙酸锌作为蛋白沉淀剂。

#### 2.1.2 衍生条件的考察

##### (1) 衍生温度的考察

将 500 ng/mL 标准溶液分别在 4 °C 和室温(25 °C)下衍生 90 min, 用 2,3-二溴丙酰胺的标准溶液定量。结果显示, 室温下衍生丙烯酰胺的响应为 4 °C 条件下衍生的 1.3 倍, 但 4 °C 条件下, 丙烯酰胺的基质效应为 2.6%, 室温下衍生的基质效应为 27.9%。从延长色谱柱及质谱使用寿命出发, 选择最佳衍生温度为 4 °C。

##### (2) 衍生时间的考察

对 500 ng/mL 标准溶液在 4 °C 分别衍生 30、60、90、

120 min 和 6 h 时的丙烯酰胺的回收率进行测定。结果显示, 反应时间从 30 min 增加到 90 min 时, 衍生反应快速进行, 目标物的回收率由 71.3% 上升为 103.2%, 90 min 以后衍生反应到达平台期, 目标物的回收率基本保持不变。因此, 以 90 min 为衍生化步骤的最佳时间。

#### 2.1.3 萃取条件的考察

##### (1) 萃取溶剂的选择

考察乙酸乙酯、正己烷、乙酸乙酯:正己烷 (1:4, V:V) 3 种溶剂对丙烯酰胺衍生产物的提取效果。结果显示, 正己烷和乙酸乙酯:正己烷(1:4, V:V) 的提取效率分别为 21.6%、84.3%, 而等量乙酸乙酯的提取效率为 99.6%。因此选择乙酸乙酯作为提取溶剂。

##### (2) 萃取体积的选择

考察不同萃取体积对萃取效果的影响。500 ng/mL 的标准样品溶液经衍生后, 分别用 5、10、20、30、40 mL 的乙酸乙酯提取, 平行测定 6 次。结果显示, 萃取体积为 20 mL 时回收率最高, 且质控样的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 2.1%, 更加接近于真值。因此萃取体积选择 20 mL。

## 2.2 质谱方法的建立

选用 500 ng/mL 的标准样品溶液, 按照 1.3.1 步骤进行衍生后, 利用仪器自带的 GC/TQ 优化器, 通过识别前级离子扫描、识别产物离子扫描、优化碰撞能量, 建立测定 2,3-二溴丙酰胺及其同位素内标的 MRM 方法。结果见表 1。二级质谱采用多反应监测模式, 能最大程度的排除基质干扰, 提高选择性和灵敏度, 比单离子检测扫描(single ion monitoring, SIM)模式具有更强的降噪性能。

表 1 MRM 监测模式下的参数  
Table 1 Parameters in MRM mode

| 化合物名称                     | 保留时间<br>/min | 定量离子对<br>(碰撞电压/V) | 定性离子对<br>(碰撞电压/V)              |
|---------------------------|--------------|-------------------|--------------------------------|
| 2,3-二溴丙酰胺                 | 8.062        | 150>133 (10)      | 150>133 (10)<br>152>134.9 (10) |
| <sup>13</sup> C-2,3-二溴丙酰胺 | 8.062        | 153>135.9 (10)    | 153>106.9 (30)                 |

### 2.3 定量方式评价结果

考察婴幼儿配方乳粉样品的基质效应, 结果表明, ME 为 43%, 存在基质增强效应的影响。由于同位素内标与目标物具有相同的化学性质与保留时间, 是质谱技术中消除基质干扰、提高定量准确度最有效的方法。因此, 本方法采用同位素内标-溶剂标曲定量。

### 2.4 方法学考察

#### 2.4.1 标准曲线

移取系列浓度为 5、10、50、200、500 ng/mL 的丙烯

酰胺标准溶液, 加 10 mL 水, 按照方法 1.3.1 的前处理条件处理, 采用气相色谱-串联质谱法进行分析。以各标准溶液中丙烯酰胺与内标溶液的质量浓度比为横坐标(X), 以丙烯酰胺与内标溶液的相对响应为纵坐标(Y), 绘制标准曲线。结果表明, 在 5~500 ng/mL 范围内丙烯酰胺线性关系良好, 符合定量要求。其标准曲线的线性方程为  $Y=1.099131X+0.006792$ , 相关系数  $r^2$  为 0.9998。

#### 2.4.2 方法检出限与定量限

在婴幼儿配方乳粉空白样品中添加 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的丙烯酰胺标准溶液, 采用气相色谱-串联质谱测定, 以 3 倍信噪比计算检出限、以 10 倍信噪比计算其定量限, 得出检出限(limit of detection, LOD)为 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 定量限(limit of quantitation, LOQ)为 0.75  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。本方法的定量限远低于 GB 5009.204—2016 中的定量限(10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )。标准溶液的典型色谱图见图 1。

#### 2.4.3 精密度和准确性

在最佳样品提取条件和色谱条件下, 对丙烯酰胺阴性样品进行加标回收实验。称取空白样品, 分别添加 3 个水平(10、20、40  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的丙烯酰胺标准溶液, 按照所建立方法的分析条件进行测定。每份样品进行 6 次平行测定, 考察方法的回收率和精密度。结果表明, 阴性样品中丙烯酰胺的加标回收率在 89.4%~107.2%之间, 满足 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》要求。RSD 在 3.3%~7.1%之间, 表明本方法重复性好。

按 1.3.1、1.3.2 方法对 FAPAS 质控样品进行了丙烯酰胺的检测。FAPAS 质控样品中位值为 196  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 测定值为 202  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 相对标准偏差为 2.1%, 检测结果符合要求, 说明本方法准确度高、适用于婴幼儿食品中丙烯酰胺的测定。

## 2.5 实际样品的测定

按实验方法对市售 28 批次婴幼儿配方乳粉开展了丙烯酰胺的检测, 其中有 2 个样品检出丙烯酰胺, 检出浓度为 4.6、6.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 远低于欧盟建议的丙烯酰胺在婴儿食品中的基准水平值, 从一定程度上说明我国婴幼儿配方乳粉处于相对安全的水平。

## 3 结论与讨论

本研究建立了有效的前处理方法, 采用的溴化衍生法经济简便, 生成的 2,3-二溴丙酰胺热稳定性高, 更容易气化, 由于其分子中含有两个溴原子, 质谱图特征性强, 能提高分析检测的灵敏度和质谱定性和定量分析的准确性。本方法检出限为 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 定量限 0.75  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 灵敏度高, 且该方法操作特异性好、精密度高、准确性好, 满足国际上关于婴幼儿食品中丙烯酰胺的建议限量规定, 能更准确、高效地监测婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的使用情况, 为婴幼儿配方乳粉中丙烯酰胺的风险监测和风险评估提供了技术支持, 避免食品安全事件的发生。

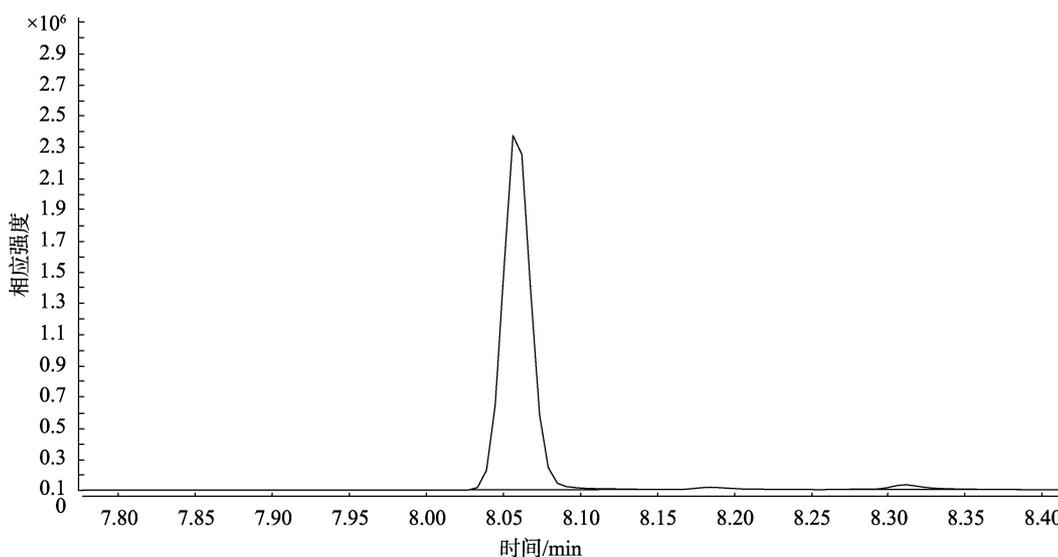


图 1 标准溶液的总离子流图(50 ng/mL)

Fig.1 Total ion flow diagram of standard solution (50 ng/mL)

## 参考文献

- [1] BIRGITTA KA, THOMAS SB, URSULA SC, *et al.* Acrylamide as environmental noxious agent [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2009, 212(5): 470-480.
- [2] European Food Safety Authority. Scientific opinion on acrylamide in food [DB/OL]. [2021-07-15]. <https://www.cabdirect.org/?target=%2fcabdirect%2fabstract%2f20153248588>.
- [3] GRANDJEAN P, LANDRIGAN PJ. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals [J]. *Lancet*, 2006, 368(9553): 2167-2178.

- [4] ANDERSEN HR, NIELSEN JB, GRANDJEAN P. Toxicologic evidence of developmental neurotoxicity of environmental chemicals [J]. *Toxicology*, 2000, 144(1): 121–127.
- [5] FRITZ, SRGEL, RAINER, *et al.* Acrylamide: Increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans [J]. *Chemotherapy*, 2002, 48(6): 267–274.
- [6] STEDINGK HV, VIKSTRÖM AC, RYDBERG P, *et al.* Analysis of hemoglobin adducts from acrylamide, glycidamide, and ethylene oxide in paired mother/cord blood samples from Denmark [J]. *Chem Res Toxicol*, 2011, 24(11): 1957–1965.
- [7] TAREKE E, RYDBERG P, KARLSSON P, *et al.* Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs [J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(17): 4998–5006.
- [8] World Health Organization/Food and Agriculture Organization. Health implications of acrylamide in food: Report of a joint FAO/WHO consultation, WHO Headquarters, Geneva, Switzerland, 25-27 June 2002 [J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 90(1): 116–117.
- [9] 张辉珍. 食品中丙烯酰胺等有毒有害物质检测方法建立及其应用研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2010.
- ZHANG HZ. Methods and application of detection of acrylamide and other toxic materials in food products [D]. Qingdao: Qingdao University, 2010.
- [10] 王激扬, 李常虹. 气相色谱法检测水中丙烯酰胺含量的研究[J]. *供水技术*, 2020, 14(4): 55–57.
- WANG JY, LI CH. Study on determination of acrylamide in water by gas chromatography [J]. *Water Technol*, 2020, 14(4): 55–57.
- [11] 战旭梅, 刘萍, 祁兴谱, 等. 高效液相色谱法测定高温加工食品中丙烯酰胺[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(22): 8496–8501.
- ZHAN XM, LIU P, QI XP, *et al.* Determination of acrylamide in high temperature processed food by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(22): 8496–8501.
- [12] HUANG Y, LI C, HU H, *et al.* Simultaneous determination of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in heat-processed foods employing enhanced matrix removal-lipid as a new dispersive solid-phase extraction sorbent followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(17): 5017–5025.
- [13] 刘刚, 王毅, 王鑫, 等. 液相色谱串联质谱法测定加工食品中丙烯酰胺的含量[J]. *西华大学学报(自然科学版)*, 2021, 40(2): 97–102.
- LIU G, WANG Y, WANG X, *et al.* Determination of acrylamide in processed foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Xihua Univ (Nat Sci Ed)*, 2021, 40(2): 97–102.
- [14] NEGOI M, MIHAI AL, HORNE GA, *et al.* Development of SPE clean-up procedure for acrylamide determination from potato-based products by GC-MS/MS [J]. *Open Agric*, 2020, 5(1): 305–316.
- [15] LAN L, YAN R, JIE L, *et al.* Investigation of a rapid and sensitive non-aqueous reaction system for the determination of acrylamide in processed foods by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Anal Methods*, 2016, 8(30): 5970–5977.
- [16] 师晓漫. 油炸薯片中产生的丙烯酰胺免疫分析方法的建立[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- SHI XM. Establishment of an immunoassay for acrylamide produced in fried potato chips [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [17] SILVA N, MATOS MJ, KARMALI A, *et al.* An electrochemical biosensor for acrylamide determination: Merits and limitations [J]. *Port Math Acta*, 2011, 29(5): 361–373.
- [18] 张水峰, 盛华栋, 姜侃, 等. 梯度洗脱优化-离子色谱-脉冲安培法分析婴幼儿配方乳粉中的糖和糖醇[J]. *色谱*, 2016, 34(10): 946–950.
- ZHANG SF, SHENG HD, JIANG K, *et al.* Determination of carbohydrates and sugar alcohol in infant formula by ion chromatography with pulsed amperometric detection and an optimized gradient elution [J]. *Chin J Chromatogr*, 2016, 34(10): 946–950.
- [19] CIESAROVÁ Z, BALASOVÁ V, KISS E, *et al.* Comparison of two methods for acrylamide determination and dietary intake of acrylamide from potato crisps in Slovakia [J]. *Czech J Food Sci*, 2018, 22: 251–254.
- [20] HAMLET CG, JAYARATNE SM, SADD PA. Rapid, sensitive and selective analysis of acrylamide in cereal products using bromination and GC/MS/MS [J]. *Czech J Food Sci*, 2004, 22: 290–293.

(责任编辑: 郑丽王欣)

## 作者简介



陈克云, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与科研。

E-mail: keyun2000@163.com



刘艳明, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测与科研。

E-mail: msymliu@163.com