

金属包装罐双酚 S 迁移量测量不确定度评定

白泽清^{1,2,3}

- (1.厦门市产品质量监督检验院, 福建 厦门 361004;
2.国家物流包装产品质量监督检验中心(福建), 福建 厦门 361004;
3.厦门市食品包装材料安全评价及检测重点实验室, 福建 厦门 361004)

摘要: **目的** 为提高金属包装罐双酚 S 迁移量测定的实验过程管理和报告评估水平, 建立双酚 S 迁移量测量的不确定度评定方法。**方法** 采用高效液相色谱-串联质谱法检测双酚 S 在体积分数为 4% 乙酸食品模拟物中的迁移量, 结合 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》规定的方法和步骤, 建立不确定度评定的数学模型。根据测量模型, 分析影响测量不确定度的主要输入量, 对各不确定度分量的数值进行计算, 对测量结果进行评估。**结果** 实验中金属包装罐双酚 S 迁移量测量不确定度报告结果为 $(2.25 \pm 0.302) \text{mg/g}$, $k=2$ 。**结论** 不确定度评估分析表明, 检测仪器分量、校准曲线拟合分量和标准溶液分量是最主要影响因素。

关键词: 不确定度; 双酚 S; 迁移量; 高效液相色谱-串联质谱法; 金属罐

中图分类号: TB489; TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)03-0116-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.03.016

Uncertainty Evaluation for the Determination of Bisphenol S Migration in Can Linings

BAI Ze-qing^{1,2,3}

- (1.Xiamen Products Quality Supervision & Inspection Institute, Xiamen 361004, China;
2.National Testing Center for Logistics Packaging Products (Fujian), Xiamen 361004, China;
3.Xiamen Key Laboratory of Food Packing Material Safety Evaluation and Testing, Xiamen 361004, China)

ABSTRACT: The work aims to establish the uncertainty evaluation method for the determination of bisphenol S migration, so as to improve the experimental process management and reporting level of bisphenol S migration determination in can linings. High-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS) was used to detect the migration of bisphenol S in 4% acetic acid food simulants. According to the methods and steps in JJF 1059.1—2012 "Evaluation and Representation of Determination Uncertainty", the model for assessing the uncertainty was established. Based on the model, the main input variables affecting the determination uncertainty were analyzed to calculate the uncertainty components and evaluate the determination results. In this experiment, the determination uncertainty of bisphenol S migration in can linings was $(2.25 \pm 0.302) \text{mg/g}$, $k=2$. Uncertainty evaluation and analysis show that in this experiment, the measuring instrument component, calibration curve fitting component and standard solution component are the most important influencing factors.

KEY WORDS: uncertainty evaluation; bisphenol S; migration; HPLC-MS/MS; can linings

收稿日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(21706222); 国家市场监督管理总局科技计划(2019MK081)

作者简介: 白泽清(1987—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为包装材料安全。

测量不确定度评定是指按照实际检测过程及相关因素对检测结果的离散性进行评估^[1], 是检验测量值是否准确的重要标志, 常被用以衡量检测结果的可行性、可比性和可接受性^[2-4]。在日常检验检测工作中, 经常需要使用不确定度评定来解决测定值与合格临界值接近时的判定问题^[5-7]。双酚 S 是一种应用于涂层和涂料领域的重要工业原料, 具有一定的生殖毒性^[8-10]。根据 GB 9685—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准》中规定, 涂层、涂料中双酚 S 特定迁移量的指标限量值为 0.05 mg/kg。该限量值较小, 在实际检测工作中有可能面临测量值与限量值接近的情况, 此时就需要使用测量不确定度评定来进行检验结果的合格性判定。

文中实验采用 DB35/T 1851—2019《金属食品罐内涂层中双酚 S 迁移量的测定 高效液相色谱-串联质谱法》检测金属食品罐在体积分数为 4% 乙酸溶液中双酚 S 的迁移量, 根据不确定度评估规范, 建立测量模型, 对各不确定度分量的数值进行计算评估, 为检验报告的结果判定提供参考。

1 实验

1.1 主要试剂与仪器

主要试剂和材料: 双酚 S 标准品, 纯度为 99.3%, Dr. Ehrenstorfer GmbH; 甲醇, 分析纯, 厦门市绿茵试剂玻仪有限公司; 乙酸, 分析纯, 厦门市绿茵试剂玻仪有限公司; 实验用水为 GB/T 6682 规定的一级水; 金属罐空罐样品, 两片罐, 直径为 6.4 cm, 高为 9.0 cm, 容积为 250 mL, 中国食品发酵工业研究院。

主要仪器设备: Triple Quad 5500 液相色谱串联质谱仪, 美国 Sciex 公司; Milli-Q 超纯水系统, 美国密理博公司; DKN612C 恒温箱, 日本 Yamato 公司; SK 8210HP 超声波清洗器, 上海科导超声仪器有限公司; BSA224S-CW 电子天平, 德国赛多利斯公司。

1.2 标准溶液的配制

标准储备溶液 (100 mg/L): 称取 100 mg (精确至 0.1 mg) 标准品于 1000 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解并定容, 置于 -20 °C 冰箱中保存, 有效期 12 个月。

中间浓度标准溶液 (100 μg/L): 准确吸取 0.1 mL 双酚 S 标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇定容, 置于 4 °C 冰箱中保存, 有效期 3 个月。

标准工作溶液的制备: 准确移取浓度为 100 μg/L 的双酚 S 标准品溶液 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 mL 于 10 mL 容量瓶中, 用体积分数为 4% 的乙酸溶液定容, 得到浓度分别为 2, 5, 10, 20, 50 μg/L 的双酚 S 标准工作溶液。

1.3 样品处理与检测

取金属空罐用自来水冲洗, 超纯水淋洗, 置于烘箱中, 在 40 °C 条件下过夜烘干。按空心有规格制品对空罐进行食品模拟液罐装, 罐装体积为 250 mL, 接触面积 (底面+侧面) 为 2.13 dm²。具体操作步骤为: 往空罐中加入 250 mL 体积分数为 4% 的乙酸溶液 (模拟酸性食品), 用锡箔纸封紧罐口, 置于烘箱中, 在 60 °C 条件下保存 10 d。浸泡结束后, 首先将金属罐取出, 在自然条件下冷却至室温, 随后用玻璃注射器取 1 mL 浸泡液, 经孔径为 0.22 μm 的 PEFT 微孔滤膜过滤后, 再用液相色谱-串联质谱仪进样分析滤液。

1.4 仪器分析条件

1) 液相色谱条件。色谱柱, Waters Acquity UPLC BEH C18, 1.7 μm, 100 mm×2.1 mm; 柱温, 35 °C; 流速, 0.2 mL/min; 进样体积, 2 μL; 流动相, A 为水, B 为甲醇, 梯度洗脱程序为 0 min, A (体积分数 65%); 2.0 min, A (体积分数 10%); 4 min, A (体积分数 0%), 5 min, A (体积分数 0%); 5.1 min, A (体积分数 65%); 8 min, A (体积分数 65%)。

2) 质谱条件。离子源, 电喷雾离子源 (ESI); 扫描方式, 负离子扫描; 检测方式, 多反应监测 (MRM); 电喷雾电压, -5500 V; 离子源温度, 550 °C; 气帘气压力, 275.6 kPa; 雾化气压力, 379.0 kPa; 辅助气压力, 413.4 kPa; 驻留时间, 100 ms; 待测物的母离子、子离子、去簇电压 (DP) 和碰撞能量 (CE) 见表 1。

表 1 双酚 S 的母离子、子离子、去簇电压和碰撞能量参数

Tab.1 Precursor ions, product ions, declustering potentials and collision energies of bisphenol S

化合物	母离子 (<i>m/z</i>)	子离子 (<i>m/z</i>)	DP/eV	CE/eV
双酚 S	249.0	108.0	80	-25
		156.0	80	-20

2 结果与分析

2.1 不确定度来源分析

2.1.1 测量模型

对金属包装罐中双酚 S 迁移量的实验过程进行分析, 研究影响双酚 S 迁移量测定的各种因素^[11-15], 建立测量结果与测量中涉及输入量的数学模型。测量结果为 Y , 输入量分别为 V , c , L , R_{ep} , R_{cc} , I , 测量函数为 f , 金属包装罐中双酚 S 迁移量测量模型函数关系见式 (1)。

$$Y = f(V, c, L, R_{cp}, R_{cc}, I) \quad (1)$$

式中: Y 为金属包装罐中双酚 S 的迁移量; 输入量 $V, c, L, R_{cp}, R_{cc}, I$ 分别表示食品模拟液溶液体积、标准溶液浓度、标准曲线线性拟合、测量重复性、加标回收率和仪器设备。

2.1.2 不确定度来源

结合检测过程和测量模型可知, 金属包装罐中双酚 S 迁移量测定的不确定度来源主要有食品模拟液体积、标准溶液配制、标准曲线拟合、测量结果重复性、加标回收率、液相色谱-串联质谱仪。

2.2 不确定度评定

2.2.1 食品模拟液体积引入的不确定度

食品模拟液体积由量筒量取, 再倒入空罐中进行迁移实验。根据 JJG 196—2006《常用玻璃量器检定规程》, $V=250$ mL 玻璃量筒(量出式)最大允许差为 ± 2.0 mL。按照均匀分布($k=\sqrt{3}$)处理, 食品模拟液体积引入的标准不确定度 $\mu(V)$ 为:

$$\mu(V) = \sqrt{\mu^2(V_A) + \mu^2(V_B)} \quad (2)$$

式中: $\mu(V_A)$ 为量筒引入的不确定度分量, 数值为最大允许差与 k 值之比, 即 1.15 mL; $\mu(V_B)$ 为温度变化产生的不确定度分量, 温度在 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 下, 水的体积膨胀系数为 $2.1 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\mu(V_B)$ 为 0.080 mL。

将 $\mu(V_A)$ 与 $\mu(V_B)$ 加权平均后, 得到体积因素引入的不确定度 $\mu(V)$ 为 1.15 mL。

相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(V)$ 为:

$$\mu_{\text{rel}}(V) = \frac{\mu(V)}{250} \times 100\% = 0.460\%$$

2.2.2 标准溶液引入的不确定度

标准溶液配制过程中使用到标准物质、天平以及玻璃量具, 这些是引入不确定度的主要因素。

2.2.2.1 标准物质不确定度

双酚 S 标准物质证书上标示的相对不确定度

$U=1.02\%$, $k=2$, 其相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(S)$ 为 0.51%。

2.2.2.2 天平称量引入的不确定度

标准物质称量使用十万分之一(0.01 mg)天平, 偏载误差为 ± 0.1 mg。按照均匀分布 $k=\sqrt{3}$, 天平称量引入的不确定度 $\mu(m)$ 为 0.058 mg。

称量 100 mg 标准品时, 相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(m)$ 为 0.058%。

2.2.2.3 标准溶液配制过程引入的不确定度

标准溶液配制需要用玻璃量器进行逐级稀释, 此过程引入的不确定度为玻璃量器的不确定度。在标准溶液配制步骤中, 用到 1000 mL 和 100 mL 容量瓶各 1 次, 10 mL 容量瓶 5 次, 移取标准储备液使用了 1 mL 分度吸量管(吹出式) 3 次, 2 mL 分度吸量管(吹出式) 1 次和 5 mL 分度吸量管(吹出式) 1 次。根据 JJG 196—2006《常用玻璃量器检定规程》, 按照均匀分布 $k=\sqrt{3}$, 分别计算标准溶液配制过程中各种玻璃量器所引入的标准不确定度和相对标准不确定度, 结果具体见表 2。

综上分析, 将各相对标准不确定度数值进行加权平均后, 得到玻璃量器引入的相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(c)$ 为 2.57%。

2.2.3 标准曲线拟合引入的不确定度

标准曲线的系列质量浓度为 2, 5, 10, 20, 50 $\mu\text{g/L}$ 。各浓度标准溶液(c)上机检测后, 根据各浓度点的峰面积(A), 拟合得到标准曲线方程 $A=1.88 \times 10^5 c - 2.13 \times 10^5$, 线性相关系数 $r=0.9997$, 斜率为 1.88×10^5 , 截距为 -2.13×10^5 , 方法定量限为 2.0 $\mu\text{g/L}$ 。

对样品进行 2 次平行测定, 得到平均响应值峰面积和平均试样浓度分别为 2.02×10^5 和 2.21 $\mu\text{g/L}$ 。标准曲线剩余标准差 $s(y)$ 为:

$$s(y) = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \sum_{i=1}^n (A_i - A_j)^2} \quad (3)$$

表 2 玻璃量器引入的不确定度
Tab.2 Uncertainty introduced by volumetric glass

A 级玻璃量具	容量允许偏差/mL	量取体积/mL	标准不确定度/mL	相对标准不确定度/%
10 mL 容量瓶	± 0.020	10	0.012	0.12
100 mL 容量瓶	± 0.10	100	0.058	0.058
1000 mL 容量瓶	± 0.40	1000	0.23	0.023
1 mL 分度吸量管	± 0.008	0.2	0.0046	2.30
1 mL 分度吸量管	± 0.008	0.5	0.0046	0.92
1 mL 分度吸量管	± 0.008	1	0.0046	0.46
2 mL 分度吸量管	± 0.012	2	0.0069	0.35
5 mL 分度吸量管	± 0.025	5	0.014	0.28

式中: A_i 为标准溶液各浓度点对应的峰面积; A_j 为由拟合曲线计算得到的理论响应峰面积; n 为标准曲线的点数。数值带入后, $s(y)$ 计算值为 1.59×10^4 。

标准曲线拟合引入的标准不确定度 $\mu(L)$ 为:

$$\mu(L) = \frac{s(y)}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(c_d - c_i)^2}{\sum_{i=1}^n (c_j - c_i)^2}} \quad (4)$$

式中: b 为拟合标准曲线斜率; p 为单一样品溶液的检测次数; n 为标准曲线的点数; c_d 为单一样品溶液浓度的平均值 ($\mu\text{g/L}$); c_i 为标准溶液各点浓度测定平均值 ($\mu\text{g/L}$); c_j 为标准曲线各点浓度理论值 ($\mu\text{g/L}$)。数值带入后, $\mu(L)$ 计算值为 0.0756。

标准曲线拟合引入的相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(L)$ 为:

$$\mu_{\text{rel}}(L) = \frac{\mu(L)}{c_d} \times 100\% = 3.42\%$$

2.2.4 重复性测量引入的标准不确定度

取 6 个金属空罐, 按 1.3 步骤, 进行双酚 S 迁移量平行检测。检测结果分别为 2.19, 2.30, 2.18, 2.10, 2.38, 2.33 $\mu\text{g/L}$, 平均值 \bar{x} 为 2.25 $\mu\text{g/L}$, 标准偏差 $s(R_{\text{ep}})$ 为 0.0974 $\mu\text{g/L}$ 。

重复性测量引入的标准不确定度 $\mu(R_{\text{ep}})$ 为:

$$\mu(R_{\text{ep}}) = \frac{s(R_{\text{ep}})}{\sqrt{n}} = 0.0398$$

重复性测量引入的相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(R_{\text{ep}})$ 为:

$$\mu_{\text{rel}}(R_{\text{ep}}) = \frac{\mu(R_{\text{ep}})}{\bar{x}} \times 100\% = 1.77\%$$

2.2.5 加标回收率引入的标准不确定度

取同一批次金属空罐 6 个, 分别添加质量浓度为 100 mg/L 的标准溶液各 5 μL , 此时加标水平为 2.00 $\mu\text{g/L}$ 。按 1.3 步骤进行迁移实验, 随后用液相色谱-串联质谱法检测迁移液中双酚 S 浓度, 测得 6 份样品中双酚 S 的加标回收率分别为 106.5%, 100.5%, 110.0%, 109.5%, 115.0%, 109.0%, 平均回收率 $\overline{R_{\text{cc}}}$ 为 108.4%, 标准偏差 $s(R_{\text{cc}})$ 为 4.77%。

加标回收率的标准不确定度 $\mu(R_{\text{cc}})$ 为:

$$\mu(R_{\text{cc}}) = \frac{s(R_{\text{cc}})}{\sqrt{n}} = 1.95\%$$

加标回收率引入的相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(R_{\text{cc}})$ 为:

$$\mu_{\text{rel}}(R_{\text{cc}}) = \frac{\mu(R_{\text{cc}})}{\overline{R_{\text{cc}}}} \times 100\% = 1.79\%$$

2.2.6 仪器引入的标准不确定度

实验中使用液相色谱-串联质谱仪对迁移液进行检测分析, 根据仪器校准证书上给出的扩展不确定度 $U(I) = 9\%$, $k = 2$, 则相对标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(I)$ 为

4.5%。

2.2.7 扩展不确定度计算及报告结果

综合以上各不确定度分量的分析, 文中实验方法的相对合成标准不确定度 $\mu_{\text{rel}}(Y)$ 为:

$$\mu_{\text{rel}}(Y) = [\mu_{\text{rel}}^2(V) + \mu_{\text{rel}}^2(S) + \mu_{\text{rel}}^2(m) + \mu_{\text{rel}}^2(c) + \mu_{\text{rel}}^2(L) + \mu_{\text{rel}}^2(R_{\text{ep}}) + \mu_{\text{rel}}^2(R_{\text{cc}}) + \mu_{\text{rel}}^2(I)]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

将各不确定度分量数值带入式 (5) 后, 得到 $\mu_{\text{rel}}(Y)$ 为 6.73%。

食品模拟液中双酚 S 浓度的测量值平均值 \bar{x} 为 2.25 $\mu\text{g/L}$, 故合成标准不确定度 $\mu(Y)$ 为:

$$\mu(Y) = \bar{x} \mu_{\text{rel}}(Y) = 0.151 \mu\text{g/L}$$

一般情况下, 95%置信概率下取包含因子 $k = 2$, 则测量结果的扩展不确定度 $U(Y)$ 为:

$$U(Y) = k \mu(Y) = 0.302 \mu\text{g/L}$$

文中实验中双酚 S 测定浓度的测量不确定度报告结果为:

$$X = (2.25 \pm 0.302) \mu\text{g/L}, \quad k = 2$$

按 GB 5009.156 规定, 迁移量的结果表示每千克食品模拟物中迁移物质的质量, 水溶性食品的密度按 1 g/cm^3 计。经单位换算后, 文中实验中双酚 S 迁移量测量不确定度报告可进一步表示为: $Y = (2.25 \pm 0.302) \text{mg/g}$, $k=2$ 。

3 结语

采用液相色谱-串联质谱法测定金属罐中双酚 S 的迁移量, 并对检测结果进行不确定评估分析。通过建立测量模型, 对影响实验结果准确度的六类因素逐一讨论。研究发现, 文中实验中检测仪器、校准曲线拟合和标准溶液配制是引入不确定度的最主要因素, 这为今后实验过程的控制和检测报告的评估提供了数据模型参考。

参考文献:

- [1] 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].
- [2] 高龙美, 江小平, 吴雄杰, 等. 食品包装用树脂中灼烧残渣不确定度的评定[J]. 包装学报, 2017, 9(2): 39—43.
GAO Long-mei, JIANG Xiao-ping, WU Xiong-jie, et al. Evaluation of Uncertainty in Determination of Ignition Residue of Resin for Food Packaging[J]. Packaging Journal, 2017, 9(2): 39—43.
- [3] 范艳芳. 浸渍法测量高密度聚乙烯瓶密度的不确定度评定[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 15—18.

- FAN Yan-fang. Uncertainty Evaluation in the Density Determination of HDPE Bottles for Oral Solid Preparation by Impregnation Method[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(1): 15—18.
- [4] 李志平, 吴雄杰, 汪佳, 等. 塑料复合膜、袋溶剂残留量不确定度评估[J]. *包装工程*, 2016, 37(17): 48—53.
- LI Zhi-ping, WU Xiong-jie, WANG Jia, et al. Evaluation on Uncertainty of Determination of Solvent Residues in Plastic Laminated Films and Pouches[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(17): 48—53.
- [5] 刘建坤, 朱家平, 郑荣华. 测量不确定度评定研究现状及进展[J]. *现代科学仪器*, 2013(5): 12—17.
- LIU Jian-kun, ZHU Jia-ping, ZHENG Rong-hua. Status and Progress of Measurement Uncertainty Evaluation Research[J]. *Modern Scientific Instruments*, 2013(5): 12—17.
- [6] 孔祥威. 食品包装复合膜中溶剂残留的不确定度评定[J]. *现代测量与实验室管理*, 2012, 20(1): 27—28.
- KONG Xiang-wei. Evaluation on Uncertainty of Determination of Solvent Residues in Plastic Laminated Films[J]. *Advanced Measurement and Laboratory Management*, 2012, 20(1): 27—28.
- [7] 张艳云. 误差与测量不确定度分析在长度计量检定与校准中的应用[J]. *仪器仪表标准化与计量*, 2018(5): 36—37.
- ZHANG Yan-yun. Application of Error and Measurement Uncertainty Analysis in Length Measurement Verification and Calibration[J]. *Instrument and Meter Standardization Quantity*, 2018(5): 36—37.
- [8] JI K, HONG S, KHO Y, et al. Effects of Bisphenol S Exposure on Endocrine Functions and Reproduction of Zebrafish[J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(15): 8793—8800.
- [9] 余建龙, 李明, 陈红兵, 等. 双酚 S 在 T47D 乳腺癌细胞中雌激素活性的研究[J]. *毒理学杂志*, 2014, 28(2): 112—116.
- YU Jian-long, LI Ming, CHEN Hong-bing, et al. Estrogenic Activity of Bisphenol S in T47D Human Breast Cancer Cell Line[J]. *Journal of Toxicology*, 2014, 28(2): 112—116.
- [10] VINA R, WATSON C S. Bisphenol S Disrupts Estradiol Induced Nongenomic Signaling in a Rat Pituitary Cell Line: Effects on Cell Functions[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(3): 352—358.
- [11] BECERRA V, ODERMATT J. Detection and Quantification of Traces of Bisphenol A and Bisphenol S in Paper Using Analytical Pyrolysis-GC/MS[J]. *Analyst*, 2012, 137(9): 2250—2259.
- [12] 王涛, 马明, 邵敏, 等. 高效液相色谱法同时测定塑料食品接触材料中双酚 S、双酚 A 和 4,4'-二氯二苯砜的迁移量[J]. *理化检验(化学分册)*, 2017, 53(12): 1398—1402.
- WANG Tao, MA Ming, SHAO Min, et al. Simultaneous Determination of Migration of Bisphenol S, Bisphenol A and 4,4'-Dichlorodiphenyl Sulfo[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis)*, 2017, 53(12): 1398—1402.
- [13] 曹晨, 李文斌, 宋青, 等. 采用固相萃取/高效液相色谱法测定保健食品中 12 种双酚类化合物的迁移量[J]. *首都公共卫生*, 2017, 11(6): 267—271.
- CAO Chen, LI Wen-bin, SONG Qing, et al. Determination of 12 Bisphenol Compounds in Health Food by SPE/HPLC[J]. *Beijing Public Health*, 2017, 11(6): 267—271.
- [14] 罗世鹏, 吴泽颖, 商贵芹, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品包装材料中双酚 S 含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(11): 3576—3579.
- LUO Shi-peng, WU Ze-ying, SHANG Gui-qin, et al. Determination of Bisphenol S in Food Contact Materials by Ultra Performance Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2014, 5(11): 3576—3579.
- [15] 李灿明, 柏建国, 孙丽鹏, 等. 高效液相色谱法测定金属涂层罐中 9 种双酚类环氧衍生物的迁移量[J]. *化学分析计量*, 2018, 27(5): 54—58.
- LI Can-ming, BAI Jian-guo, SUN Li-peng, et al. Determination of the Migration of 9 Bisphenol Epoxy Derivatives in Metal Coated Cans by HPLC[J]. *Chemical Analysis and Metrology*, 2018, 27(5): 54—58.