

# 超高效液相色谱-串联质谱法检测牛奶中双酚 A

张建莹, 杨修斌, 罗耀, 金晓蕾, 岳振峰\*, 陈波

(深圳出入境检验检疫局食品检验检疫技术中心 深圳市食品安全检测技术研发重点实验室, 深圳 518045)

**摘要:** **目的** 通过优化牛奶中双酚 A 提取纯化和测定条件, 建立牛奶中双酚 A(bisphenol A, BPA)的超高效液相色谱-串联质谱(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)定量检测方法。**方法** 采用乙腈作为提取剂和蛋白质沉淀剂, 混合型阴离子固相萃取柱净化, 采用 UPLC-MS/MS 在负离子模式下检测, 内标法定量。**结果** 该方法在 1~100  $\mu\text{g/L}$  范围内有良好的线性关系, 相关系数  $r^2 > 0.990$ , 在空白牛奶基质中, 不同添加水平下方法的平均回收率范围为 92%~115%, 相对标准偏差为 3.7%~6.6%; 测定下限为 1  $\mu\text{g/kg}$ 。**结论** 此方法灵敏度高、准确、重现性好, 适用于牛奶样品中双酚 A 的检测。

**关键词:** 双酚 A; 超高效液相色谱-串联质谱法; 固相萃取; 牛奶

## Determination of bisphenol A residues in milk by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

ZHANG Jian-Ying, YANG Xiu-Bin, LUO Yao, JIN Xiao-Lei, YUE Zhen-Feng\*, Chen Bo

(Shenzhen Key Laboratory of Detection Technology R & D on Food Safety, Food Inspection and Quarantine Center, Shenzhen Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shenzhen 518045, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the determination of bisphenol A (BPA) in milk. **Methods** The residues of bisphenol in the test samples were extracted with acetonitrile. After being cleaned up with mixed anion exchange solid-phase extraction column, the residues were detected by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry under multiple reactions monitoring (MRM) mode via negative-ion mode and quantified by an internal standard method. **Results** The method showed a good linearity over the range of 1~100  $\mu\text{g/L}$  for bisphenol A with  $r^2 > 0.990$ . The average recoveries were 92%~115% at three spiked levels in milk and the relative standard deviations were 3.7%~6.6%. The limit of quantitation was 1  $\mu\text{g/kg}$ . **Conclusion** This method is highly sensitive, accurate and reproducible, and it can be suitable for the detection of bisphenol A in milk.

**KEY WORDS:** bisphenol A; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; solid phase extraction; milk

## 1 引言

双酚 A(bisphenol A, BPA)可用作食品包装材料、

容器内壁涂料, 起到防止酸性蔬菜和水果从内部侵蚀金属容器的作用。BPA 是雌激素的一种, 可引起雄性哺乳动物性腺发育不良、精子数量减少等, 引起雌

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2011K235)、国家科技支撑计划课题(2012BAK08B01)

**Fund:** Supported by the Scientific and Technological Project of the General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (2011K235) and the National Key Technology R & D Program (2012BAK08B01)

\*通讯作者: 岳振峰, 男, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: yuezhenfeng@163.com

\*Corresponding author: YUE Zhen-Feng, Professor, Food Inspection and Quarantine Center, Shenzhen Exit-Entry Inspection and Quarantine Bureau, Shenzhen 518045, China. E-mail: yuezhenfeng@163.com

性哺乳动物阴道、子宫、卵巢等形态及功能上的改变; BPA 长期少量的摄入, 亦有可能对机体的遗传物质(DNA、染色体、基因)造成损坏, 导致“致突变、致畸形和致癌(三致)”等遗传毒理效应<sup>[1,2]</sup>。因此, BPA 在食品塑料容器中残留均可能对动物和人的生殖系统、免疫系统造成危害<sup>[3,4]</sup>。牛奶在生产过程中, 由于设备的原因可能会接触到塑料制品, 成品奶的很多包装材料中也可能含有 BPA。因此, BPA 可以通过各种途径进入牛奶中, 危害人体健康。加拿大是发出 BPA 禁令的第 1 个国家, 丹麦也禁止对 3 岁及以下婴幼儿的食品容器使用 BPA<sup>[5]</sup>。英国、美国和意大利的专家正在寻求对婴儿产品及塑料包装禁止使用 BPA 的禁令<sup>[6]</sup>。我国目前没有食品中 BPA 相关的限量法规与标准检测方法。

目前, 国内外奶和奶制品双酚 A 的检测方法主要有电化学法、液相色谱法和液-质联用法<sup>[5-12]</sup>、气相色谱法和气-质联用法。化学发光法可以定性检测, 但无法定量; 液相色谱法只能依靠化合物的保留时间和光谱定性, 易受杂质干扰。液-质联用法采用保留时间与特征离子对比比例对已知目标物进行定性和定量分析, 准确性和灵敏度优势明显。根据文献调研统计, 牛奶中双酚 A 的液相和液质联用测定方法的前处理方式大致可分为直接提取、固相萃取(solid phase extraction, SPE)及微萃取方式<sup>[9]</sup>。直接提取法一般采用溶剂提取并离心的方法, 操作简便、省时, 同时具有良好的提取率。为了更好地评价 BPA 在食品中的含量, 建立食品中快速、灵敏和高效的分析方法就显得比较重要。本研究比较了不同的萃取溶剂及 SPE 柱对萃取效果的影响, 以乙腈为提取溶剂, 混合阴离子萃取柱作为固相萃取柱, 优化了前处理条件和仪器条件, 建立了 UPLC-MS/MS 检测牛奶中双酚 A 浓度的方法, 将该方法应用于实际牛奶样品的检测。

## 2 材料与amp;方法

### 2.1 仪器和试剂

Waters XEVO TQS 型超高效液相色谱串联四极杆质谱仪, 配电喷雾离子源(美国 Waters 公司), 配 Waters 超高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); Waters Oasis MAX 混合型阴离子固相萃取小柱(美国 Waters 公司); 离心机(德国 Sigma 公司); 固相萃取真空装置

(美国 Agilent 公司); 氮吹浓缩仪(美国 Caliper 公司)。

标准物质: 双酚 A(DE.R 公司), 纯度 $\geq 97\%$ ; 氘代双酚 A-D16(Bisphenol A-D16, BPA-D16, 内标物, 购自 DE.R 公司)。乙腈、甲醇(Merck 公司)、乙酸铵(Sigma 公司)为色谱纯; 氯化钠、氨水为分析纯。

0.1%氨水溶液: 吸取 0.10 mL 氨水, 加入 100 mL 去离子水中, 混匀。2.0% 氨水-甲醇溶液: 吸取 2 mL 氨水, 加入 98 mL 甲醇中, 混匀。60% 甲醇-水溶液: 量取 60 mL 甲醇, 加入 40 mL 去离子水中, 混匀。

标准储备溶液: 准确称取适量的双酚 A 和氘代双酚 A-D16(BPA-D16), 分别用甲醇配制成浓度为 1.0 mg/L 和 0.10 mg/L 的标准储备溶液, 避光 4 °C 保存。

标准曲线系列溶液: 分别吸取适量的双酚 A 和氘代双酚 A-D16(BPA-D16)标准储备溶液, 用 60% 甲醇水配制成双酚 A 浓度为 0、1、5、10、25、50 和 100  $\mu\text{g/L}$ , 内标物浓度为 25  $\mu\text{g/L}$  的基质混合标准工作溶液。当天配制。

市售盒装牛奶。

### 2.2 超高效液相色谱与质谱条件

色谱柱: Waters UPLC BEH C<sub>18</sub>(1.7  $\mu\text{m}$ , 50 mm $\times$ 2.1 mm)。流动相 A: 水; 流动相 B: 甲醇; 梯度洗脱程序: 0~2 min, 流动相 B 从 5.0% 线性增至 35.0%; 2~4 min, 流动相 B 线性增至 95.0%; 4~5 min, 流动相 B 线性降至 5%, 并保持 4 min。流速为 0.3  $\mu\text{L/min}$ 。柱温 40 °C, 进样量 5  $\mu\text{L}$ 。

电喷雾电离负离子模式(electron spray ionization, ESI), 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 离子源离子喷雾电压: -3000 V; 辅助气流速: 800 L/h; 碰撞气: 氩气; 幕帘气流速: 50 L/h; 离子源温度: 110 °C; 辅助气温度: 350 °C; 双酚 A 测定的其他质谱参数见表 1。

### 2.3 样品前处理

#### 2.3.1 样品提取

称取均质试样 5 g(精确到 0.01 g), 置于 50 mL 具塞玻璃离心管中, 加入内标液(1 mg/L) 62.5  $\mu\text{L}$ , 再加入 2 g 氯化钠, 25 mL 乙腈超声提取 30 min, 9500 r/min 离心 10 min。吸取 10 mL 上清液于 15 mL 的具塞玻璃离心管中, 45 °C 水浴中氮气吹至约 0.2 mL, 加入 5 mL 0.1% 氨水溶液, 振荡混匀。

表 1 双酚 A 测定的质谱参数  
Table 1 Agent parameters of mass spectrometry for the determination of bisphenol A

化合物名称	参考保留时间(min)	碎片离子对( $m/z$ )	定量离子对( $m/z$ )	采集时间(s)	碰撞气能量(eV)	锥孔电压(V)
BPA	3.77	227.2>212	227.2>212	0.1	20	49
		227.2>133			26	
BPA-D16	3.74	241.2>223	241.2>223	0.1	17	49
		241.2>142			25	

### 2.3.2 固相萃取净化

吸取所有混合溶液于使用前依次用 3 mL 甲醇、3 mL 水活化处理过的弱阴离子固相萃取柱中, 待样液以低于 1 mL/min 的流速全部通过固相萃取柱; 再吸取 5 mL 0.1% 氨水淋洗管子并加到固相萃取柱中, 待溶液完全通过小柱后抽干 10 min; 最后用 10 mL 2.0 % 氨水-甲醇溶液洗脱, 收集洗脱液于 50 °C 水浴中氮吹至近干, 用 60% 甲醇-水溶液定容至 1 mL, 漩涡混匀 1 min, 上机测定。

## 3 结果

### 3.1 提取溶剂的选择

双酚 A 溶于乙醇、丙酮、乙醚、苯及稀碱液等, 微溶于四氯化碳, 几乎不溶于水。牛奶中含有大量的蛋白质和糖类。根据相似相溶的原理, 实验选取弱极性的溶剂作为提取溶剂。考察了二氯甲烷、乙腈、乙酸乙酯及丙酮作为提取溶剂对双酚 A 的提取效率, 结果表明, 采用二氯甲烷、乙腈, 可以得到较高的提取效率, 其提取率在 80% 以上。用甲醇、二氯甲烷、丙酮和乙酸乙酯做提取溶剂时, 共提物较多, 特别是糖类及酯溶性成分易被提取出来, 影响下一步的净化以及最终检测的灵敏度。乙腈一方面能沉淀蛋白质而脂肪提出又很少, 又有利于后续的盐析和净化。选用乙腈作为提取溶剂, 既可以保证提取效率, 又可以避免从样品中提出大量干扰物质。本实验采用乙腈作为提取溶剂。

### 3.2 净化条件的选择

乙腈能够将样品中的双酚 A 提取出来, 可以使样品中的蛋白失活沉淀, 但同时容易将一些脂溶性杂质提取出来, 因此在测定前需对提取液进行净化。本方法测定的双酚 A 的结构中存在两个羟基, 在碱性环境下以阴离子的形式存在于溶液中, 本实验选择使用 Waters Oasis MAX 混合型阴离子固相萃取小

柱进行净化。

通过试验不同比例的氨水-甲醇溶剂的洗脱效果, 结果表明, 采用 2 % 氨水-甲醇溶液, 双酚 A 能够得到较好的洗脱, 故实验选择 2 % 氨水-甲醇溶液。试验比较了不同淋洗体积(3、5、8、10 mL)后发现, 随洗脱剂体积增大到 8 mL 后, 被测物及内标物的回收率已基本达到稳定值, 如洗脱体积过大会使下一步的浓缩时间延长, 为避免浓缩时间过长造成损失及节省试剂, 最终选择洗脱体积为 10 mL。洗脱溶液的洗脱曲线见图 1。

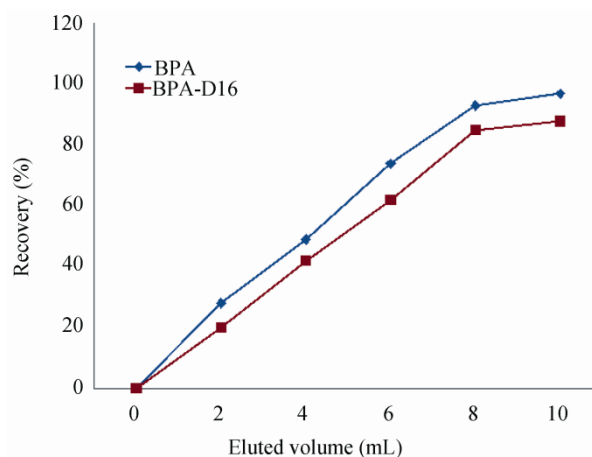


图 1 洗脱溶液的洗脱曲线图

Fig. 1 Effects of eluted solution volumes on BPA and BPA-D16

### 3.3 色谱分离条件研究

为了优化流动相, 对比了甲醇-5 mmol/L 乙酸铵水溶液(pH 6.4)、乙腈-5 mmol/L 乙酸铵水溶液(pH 6.4)、甲醇-水溶液、乙腈-水溶液做流动相的色谱效果。试验表明: 采用甲醇-5 mmol/L 乙酸铵水溶液(pH 6.4)、乙腈-乙酸铵水溶液(pH 6.4)这两种流动相, 双酚 A 的峰形不好且灵敏度不高; 乙腈-水溶液和甲醇-水做流动相药物的峰型都很高, 但甲醇-水做为流

动相待测物的响应值更高, 因此采用甲醇-水做为流动相。通过优化梯度洗脱程序, 双酚 A 获得了较好的灵敏度和较好的峰型。

### 3.4 质谱测定条件的优化

分别取浓度为 5 mg/L 的双酚 A 和双酚 A-D16 标准溶液, 采用流动注射进样的方式, 以 30  $\mu\text{L}/\text{min}$  流速分别将标准溶液注入离子源。在负离子检测方式

下分别对其进行母离子扫描得到分子离子峰[M-H]。再对其母离子进行子离子扫描, 得到两个子离子, 双酚 A 和双酚 A-D16 的二级质谱见图 2, 3。然后分别对锥孔电压及碰撞能量等参数进行优化, 使母离子与选取的子离子强度达到最大; 继续优化电喷雾电压、去溶剂气流速、去溶剂气温度、离子源温度, 使离子化效率达到最佳。

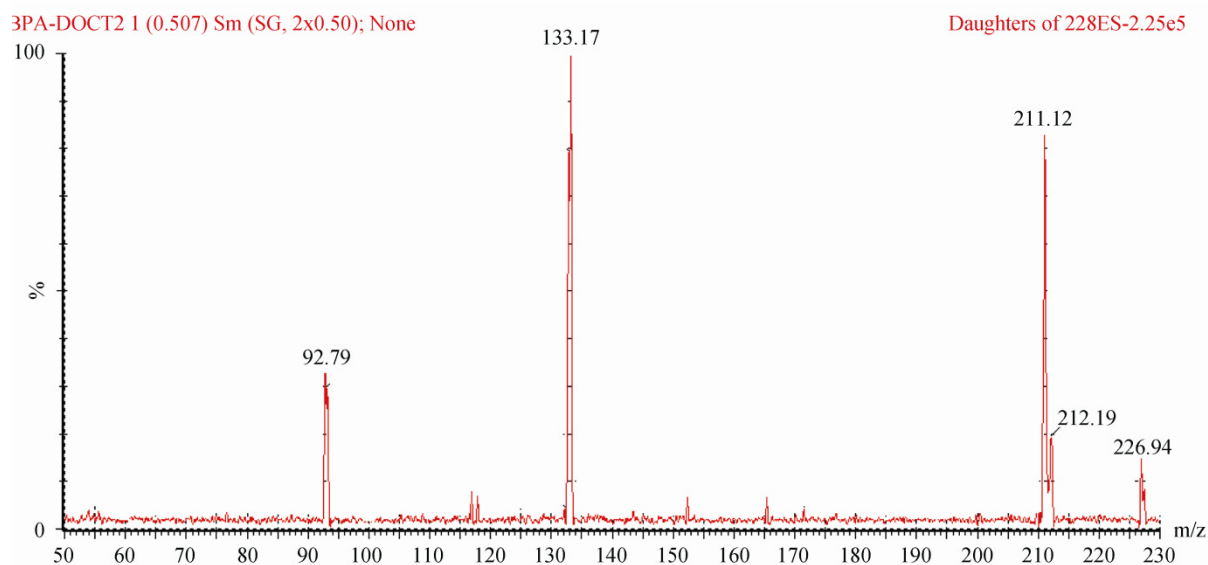


图 2 双酚 A 的二级质谱图  
Fig. 2 MS/MS spectrum of BPA

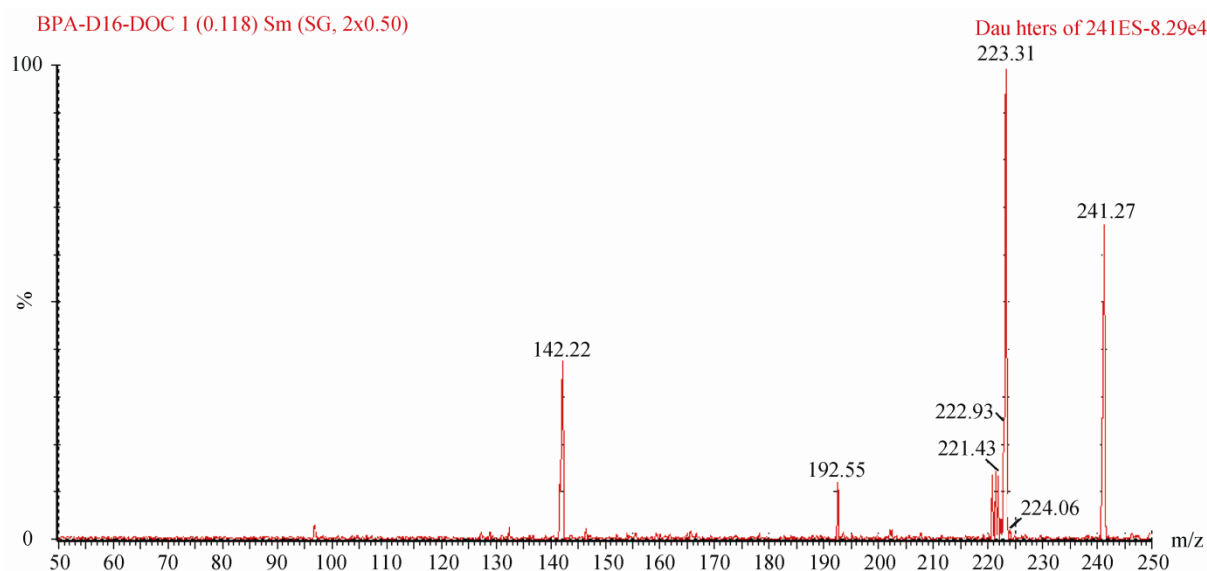


图 3 双酚 A-D16 的二级质谱图  
Fig. 3 MS/MS spectrum of BPA-D16

### 3.5 方法的检出限、线性范围及回收率

在上述优化的实验条件下, 取一系列空白样品提取液配制的标准溶液, 以双酚 A 和内标物的峰面积比(Y轴)对浓度比(X轴)绘制标准曲线, 得到线性回归方程及相关系数, 结果见表 2, 由表 2 可以看出本方法具有较宽的线性范围, 线性关系良好。经过测定方法的室内实验, 确定本方法对牛奶中双酚 A 的测定低限为 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

表 2 牛奶样品基质中双酚 A 的线性关系

Table 2 Regression equation, correlation coefficient linear range of BPA

化合物	相关系数	线性方程	线性范围( $\mu\text{g}/\text{L}$ )
BPA	0.9923	$Y=1.10\times 10^4 X+5.0\times 10^3$	1~100

对牛奶样品分别进行 3 个浓度水平的空白加标回收率实验, 每个浓度水平进行 6 次平行测试, 测得双酚 A 的平均回收率和精密度见表 3。不同的添加水平下方法的平均回收率范围为 92%~115%, 相对标准偏差为 3.7%~6.6%。

表 3 双酚 A 的回收率及相对标准偏差

Table 3 Recoveries and relative standard deviations of BPA ( $n=6$ )

样品基质	化合物	添加浓度( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	平均回收率(%)	相对标准偏差(%)
双酚 A	牛奶	1.00, 10.0, 100	92, 115, 108	6.6, 3.7, 6.2

### 3.6 方法的特异性

采用本方法对空白和加标牛奶进行分析, 在目标化合物出峰位置没有杂质峰干扰测定, 方法的特异性可以满足检测要求。图 4 为 BPA 和 BPA-D16 在空白牛奶样品中加标量为 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的多反应监测(MRM)色谱图。

## 4 方法的应用

为了考察本方法的适用性, 采用本方法对深圳市场销售的部分成品盒装牛奶中的双酚 A 进行了检测, 检测结果见表 4。据表 4 可知, 所抽检的盒装牛

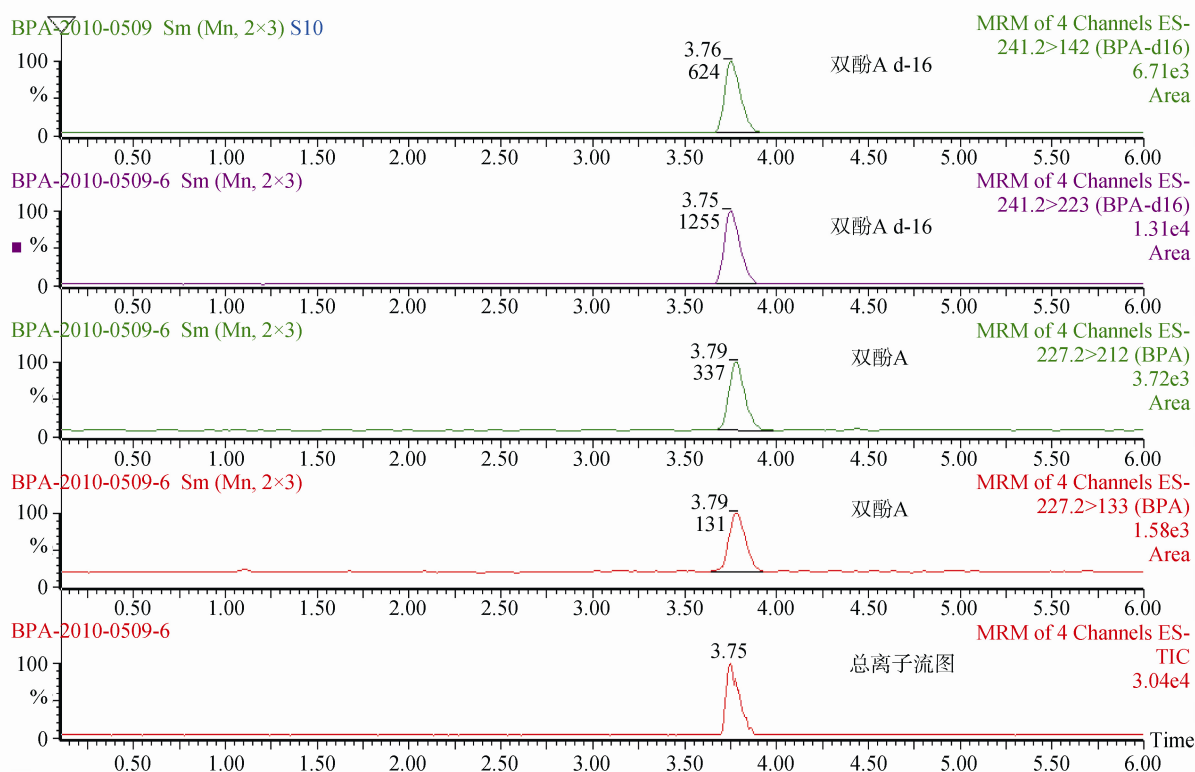


图 4 加标牛奶样品的多反应监测(MRM)色谱图(加标浓度 10.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

Fig. 4 MRM chromatogram of spiked milk sample

表 4 抽查牛奶样品信息和双酚 A 测定结果  
Table 4 Determination results of spot milk sample information and bisphenol A

序号	样品名称	双酚 A 含量 $\mu\text{g}/\text{kg}$
1	复原乳牛奶	未检出
2	朱古力牛奶	5.6
3	朱古力牛奶	4.3
4	纯牛奶	未检出
5	酸酸乳	3.2
6	原麦早餐奶	未检出
7	纯牛奶	未检出
8	优酸乳	3.6
9	乳酸奶	未检出
10	红枣枸杞牛奶	12.9
11	早餐奶	3.7

奶, 其中 5 份样品未检出 BPA, 6 份样品中 BPA 含量大于定量限  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 其中一份红枣枸杞牛奶中 BPA 含量为  $12.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 5 结 论

本研究采用超高效液相色谱-串联质谱法建立了牛奶样品中双酚 A 的定量测定和确证方法, 该方法采用乙腈作为提取剂、蛋白质为沉淀剂, 经混合型阴离子固相萃取柱净化, 采用 UPLC-MS/MS 在负离子模式下检测, 内标法定量。该方法在  $1\sim 100 \mu\text{g}/\text{L}$  范围内有良好的线性关系, 相关系数  $r^2 > 0.990$ , 在空白牛奶基质中, 不同添加水平下方法的平均回收率范围为  $92\%\sim 115\%$ , 相对标准偏差为  $3.7\%\sim 6.6\%$ , 测定低限为  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。以上充分说明本方法具有快速、灵敏和高效、重现性好等特点, 测定低限、回收率和精密度均符合残留分析要求。

## 参考文献

- [1] 梁增辉, 何世华, 孙成均, 等. 引起青蛙畸形的环境内分泌干扰物的初步研究[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(6): 419-421.  
Liang ZH, He SH, Sun CJ, *et al.* Preliminary study on the environmental endocrine disruptors causing malformed frogs [J]. J Environ Health, 2002, 19(6): 419-421.
- [2] 汪莉, 刘红河, 李莉莎. 高效液相色谱法测定环境雌激素[J]. 实用预防医学, 2004, 11(2): 360-361.  
Wang L, Liu HH, Li LS. Determination of environmental estrogens by HPLC [J]. Pract Prev Med, 2004, 11(2): 360-361.
- [3] 周建科, 张前莉, 韩康, 等. 中老年奶粉中双酚 A 和己烯雌酚的反相高效液相色谱测定[J]. 食品工业科技, 2007, 28(2): 419-421.  
Zhou JK, Zhang QL, Han K *et al.* Determination of Bisphenol A and diethylstilbestrol in Milk Powder for Middle Age and the Aged by RP-HPLC [J]. Sci Technol Food Ind, 2007, 28(2): 419-421.
- [4] 杨成对, 宋莉晖. 双酚 A 残留的检测方法研究[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 316-317.  
Yang CD, Song LH. Study on determination method of bisphenol a residue [J]. Food Sci, 2008, 29(7): 316-317.
- [5] 赵艳芳, 宋吉英, 徐鲁斌, 等. 超声辅助分散液相微萃取-高效液相色谱法测定牛奶中的双酚 A[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2011, 28(2): 154-156.  
Zhao YF, Song JY, Xu LB, *et al.* Determination of bisphenol a in milk by ultrasound-assisted dispersive liquid-liquid microextraction coupled with high performance liquid chromatography [J]. J Qingdao Agr Univ: Nat Sci, 2011, 28(2): 154-156.
- [6] 田宏哲, 徐静. 高效液相色谱法测定牛奶中双酚 A[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 286-289.  
Tian HZ, Xu J. Quantitative analysis of bisphenol A in milk samples by HPLC [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(8): 286-289.
- [7] 俞晔, 周强. 液相色谱-电喷雾电离串联质谱法测定牛奶中双酚 A[J]. 粮油加工, 2010, 7: 145-147.  
Yu Y, Zhou Q. Determination of bisphenol A in milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Grain Oil Proc, 2010, 7: 145-147.
- [8] 吴新华, 丁利, 肖家勇, 等. 单分散磁性亚微米粒子固相萃取-液相色谱-串联质谱法测定牛奶中的双酚 A[J]. 色谱, 2011, 29(5): 399-403.  
Wu XH, Ding L, Xiao JY, *et al.* Determination of bisphenol A in milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with solid phase extraction of monodisperse magnetic submicron particles as adsorbent [J]. Chin J Chromatogr, 2011, 29(5): 399-403.
- [9] 陈波, 肖锋, 赵琼辉, 等. 液相色谱-串联质谱法测定乳制品中双酚 A 及其环氧衍生物[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(3): 584-594.  
Chen B, Xiao F, Zhao QH, *et al.* Determination of bisphenol A and its epoxy derivatives in dairy products by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2013, 23(3): 584-594.
- [10] Khim JS, Lee KT, Kannan K, *et al.* Trace organic contaminants

in sediment and water from Ulsan Bsy and its vicinity, Korea[J].  
Arch Environ Contam Toxicol, 2001, 40: 141-150.

[11] Heemken OP, Reincke H, Stachel B, *et al.* The occurrence of xenoestrogens in the Elbe river and the North Sea [J]. Chemosphere, 2001, 45: 245-259.

[12] Rudel RA, Brody JG, Spengler JD, *et al.* Identification of selected hormonally active agents and animal mammary carcinogens in commercial and residential air and dust samples [J]. J Air Waste Manag Assoc, 2001, 51: 499-513.

(责任编辑: 张宏梁)

## 作者简介



张建莹, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全检测。  
E-mail: zhangjianying1001@163.com



岳振峰, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品质量安全检测。  
E-mail: yuezhenfeng@163.com

---

## “现代发酵工程在食品工业中的应用”专题征稿

目前, 生物工程技术已经被人们广泛的应用在人类社会发展的过程中, 不仅给生活和工程带来了极大的便利, 同时因其具有环境保护作用, 给人们带来广阔的经济效益和良好的社会效应。发酵工程是生物技术产业化的基础, 而在食品领域发展的过程中, 现代发酵工程技术也成为其中的主要内容。

鉴于此, 本刊特别策划了“现代发酵工程在食品工业中的应用”专题, 由河南工业大学的黄继红教授担任专题主编。黄继红教授兼任中国发酵工程研究会专家组专家, 中国微生物学会理事, 河南省食品科学技术学会常务理事, 河南省生物工程学会副理事长, 河南省微生物学会理事, 国家级节能减排评估师, 国家食品生产质量安全评估师。长期从事现代发酵工程的研究。本专题主要围绕: **改造传统的食品加工工艺, 开发功能性食品, 新糖原的开发, 微生物蛋白及生物活性小分子肽的生产, 微生物油脂的生产, 发酵饮料、酒类的生产, 微生物发酵生产食品添加剂**等内容进行论述, 或您认为本领域有意义的问题展开讨论, 计划在 2014 年 12 月出版。

本刊编辑部及黄继红教授特邀请各位专家为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2014 年 12 月 10 日前通过网站在线投稿或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。也可加急, 投稿时请注明!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

E-mail: [tougao@chinafoodj.com](mailto:tougao@chinafoodj.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部