

ID-MSPD-UHPLC-MS/MS 检测烘焙食品及原料中的 8 种酚类污染物

王斌, 梁明, 陈杰峰, 王莉, 冼燕萍, 吴玉奎, 郭新东

(广州质量监督检测研究院, 广州市食品安全风险动态监测与预警研究中心, 广州市食品安全检测技术重点实验室, 广东广州 510447)

摘要: 建立了同位素稀释 (isotope dilution, ID), 基质分散固相萃取 (dispersive solid phase extraction, DSPE) 结合液相色谱串联质谱 (UHPLC-MS/MS) 检测烘焙食品及原料 (面粉、面粉改良剂、蛋黄馅等) 中双酚类污染物 (双酚 A、双酚 B、双酚 C、双酚 F、双酚 S、双酚 AF)、紫外吸收剂 UV-0 和抗氧化剂 TH1790 的方法。样品经乙腈提取, C_{18} 分散吸附剂净化 (蛋黄馅料等油脂含量高的样品先用正己烷出去油脂) 后, 采用 C_{18} 色谱柱、乙腈-氨水为流动相梯度洗脱分离, 以负离子 (ESI-) 多方反应监测模式 (schedule MRM) 进行检测, 内标法定量。8 种酚类污染物在 1.0~200.0 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性良好, 相关系数 (R^2) 在 0.999 以上。仪器检出限 (LODs) 0.5~5.0 $\mu\text{g/L}$, 加标回收率 82.10%~113.20%, 相对标准偏差为 2.70%~9.50%。方法前处理简单, 选择性强, 灵敏度高, 可满足烘焙食品及其原料中 8 种酚类污染物的检测。

关键词: 烘焙食品; 酚类污染物; 同位素稀释; 基质分散固相萃取; 超高效液相色谱串联质谱

文章编号: 1673-9078(2019)07-261-266

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.036

Determination of 8 Phenols in Bakery Food and Raw Material by Isotope Dilution - Dispersive Solid Phase Extraction Couple with UHPLC-MS/MS

WANG Bin, LIANG Ming, CHEN Jie-feng, WANG Li, XIAN Yan-ping, WU Yu-luan, GUO Xin-dong

(Guangzhou Quality Supervision and Testing Institute, Guangzhou Research Center for Food Safety Risk Monitoring and Rapid Alert, Guangzhou Key Laboratory of Testing Technology for Food Safety, Guangzhou 510447, China)

Abstract: A method based on isotope dilution (ID), dispersive solid phase extraction (DSPE) couple with UHPLC-MS/MS was presented for determination of 8 phenols, including 4,4'-Isopropylidenediphenol (BPA), 4, 4'-(1-methylpropylidene) bisphenol (BPB), 4,4'-(2,2-Dichlorovinylidene) bisphenol (BPC), 4, 4'-methylene diphenol (BPF), 4, 4'-Sulfonyldiphenol (BPS), 4,4'-(Hexafluoroisopropylidene) diphenol (BPAF), 2,4-Dihydroxybenzophenone (UV-0) and 2,4-Dihydroxybenzophenone (TH1790) in bakery food and raw material (Flour, Flour-improving Agent, Egg Yolk filling et al.). Target compound was extracted by acetonitrile, and purified by C_{18} dispersion adsorbent (for high oil content such as egg yolk filling, extra fats were removed beforehand by hexane). A total of 8 targets were separated on a C_{18} column by gradient elution with acetonitrile-ammonium hydroxide as mobile phase, ionized with negative electrospray ionization (ESI-), detected under the schedule of multiple reaction monitoring (schedule-MRM) mode, and quantified with internal standard method. A favorable linearity was acquired in the concentration range of 1.0~200.0 $\mu\text{g/L}$ with the correlation coefficients (R^2) better than 0.999, and the limits of detection (LODs) were ranged from 0.5 to 5.0 $\mu\text{g/L}$. The spiked average recoveries presented 82.10%~113.20%, with the relative standard deviation (RSD, $n=6$) of 2.70%~9.50%. These methods are rapid, sensitive and suitable for the determination of 8 Phenols in bakery food and raw material.

Key words: bakery food; bisphenols; isotope dilution; dispersive solid phase extraction; UHPLC-MS/MS

烘焙食品是以谷物为基础原料、采用焙烤加工工艺定型和成熟的一大类食品^[1], 原料包括谷物粉、油

收稿日期: 2019-02-18

基金项目: 广州市科技计划项目 (201604020035)

作者简介: 王斌 (1987-), 男, 工程师, 研究方向: 食品质量安全检测

通讯作者: 吴玉奎 (1965-), 女, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向: 食品质量安全检测

脂、糖类、乳制品等, 在生产过程中还加入一些添加剂及辅料。烘焙食品质量安全除了受原料影响外, 还易在生产和储运过程中引入有害物质, 包括: 塑化剂^[2]、反式脂肪酸^[3]、丙烯酰胺^[4]和偶氮甲酰胺^[5]等。双酚类化合物具有良好的延展性, 酚类紫外吸收剂和抗氧化剂能提高材料的使用寿命, 广泛用于塑料工业生产, 但由于大量使用, 对环境造成一定的污染, 成为

典型的环境污染物。在高油脂的样品如午餐肉^[6]、沙丁鱼^[7]和婴幼儿辅食^[8]中检出双酚 A, 在常见的塑料包装中也检出含有紫外吸收剂 UV-0 和抗氧化剂 TH1790^[9]。双酚类化合物对人体有潜在的内分泌干扰和毒效应^[10-12], 酚类紫外吸收剂和抗氧化剂对人体也有刺激作用, 而烘焙食品配方复杂, 有些产品(如曲奇、月饼等)含有较高含量的油脂, 可能存在酚类化合物污染的风险。随着烘焙食品消费量和消费人群的日益增长, 开展烘焙食品中酚类污染物的检测研究具有积极和重要意义。

现有针对饮用水、乳制品、食品接触材料中双酚 A 等 8 种酚类化合物的液相色谱法、气相色谱质谱法和液相色谱串联质谱法的检测方法研究。郑赛^[13]等采用固相萃取柱富集饮用水中的双酚 A 和双酚 F, 样品浓缩 500 倍后经液质联用仪检测; 洗燕萍^[14]等用二氯甲烷提取奶瓶中的双酚 A 等化合物, 采用液相色谱荧光检测器检测; 梁锡镇^[15]等选用多种食品模拟物, 经迁移实验获得双酚 A、双酚 F 和双酚 S 提取液, 采用液质联用仪检测。但烘焙食品及其辅料中同时检测 8 种酚类化合物的检测方法研究鲜有报道。

本研究采用同位素稀释, 基质分散固相萃取结合液相色谱串联质谱检测烘焙食品及原料(面粉、面粉改良剂、馅料等)中的双酚 A、双酚 B、双酚 C、双酚 F、双酚 S、双酚 AF、UV-0 和 TH1790。本方法前处理简单, 灵敏度高, 适用于面粉、面粉改良剂、馅料中 8 种酚类化合物的检测。

1 材料与方法

1.1 主要试验仪器与试剂

AB5500 超高效液相色谱串联质谱仪, 美国爱博才思公司; 涡旋混匀器, 德国 IKA 公司; 高速离心机(最高转速 15000 r/min), 德国艾本德公司; 低速离心机(最高转速 4000 r/min), 科大中佳公司。双酚 A、双酚 A-d4 内标、双酚 B、双酚 C、双酚 F、双酚 S、双酚 AF、UV-0 和 TH1790 标准品, 纯度均大于 99%, 购自德国 Dr. Ehrenstorfer 公司; C18 分散吸附剂(分析纯), 安谱公司; 乙腈(色谱纯), 美国 Fisher 公司; 正己烷(分析纯、广州化学试剂厂)超纯水(18.2 MΩ)。

面粉, 面粉改良剂, 蛋糕和蛋黄馅等样品采购于广州当地市场。

1.2 试验方法

1.2.1 标准溶液的配制

称取适量双酚 A、双酚 B、双酚 C、双酚 F、双

酚 S、双酚 AF、UV-0 和 TH1790 标准品, 用乙腈溶解定容, 制成浓度为 500.0 mg/L 标准储备液。分别吸取适量的 8 种化合物标准储备液, 用乙腈配制成浓度为 50 mg/L 的混合标准溶液。均置于 -4 °C 保存。临用前, 用乙腈逐级稀释成所需浓度的系列标准工作溶液。

取适量双酚 A-d4 内标标准品, 用乙腈定容, 配制成浓度为 1 mg/L 的内标工作液。

1.2.2 试样的提取

1.2.2.1 面粉和面粉改良剂

称取试样 1.0 g(精确至 0.01 g)于 15 mL 具塞塑料离心管中, 加入 50 μL 内标工作液, 再加入 5.0 mL 乙腈, 涡旋振荡 5 min, 静置后取 1 mL 上清液 15000 r/min 离心 5 min。吸取上清液, 待测定。

1.2.2.2 蛋糕和蛋黄馅等高油脂馅料

称取试样 1.0 g(精确至 0.01 g)于 15 mL 具塞塑料离心管中, 加入 50 μL 内标工作液, 再加入 5.0 mL 乙腈后混匀; 加入正己烷 5 mL, 涡旋振荡 5 min, 3000 r/min 离心 2 min, 弃去上层溶液。取下层溶液, 加入 100 mg C18 填料, 涡旋 5 min, 15000 r/min 离心 5 min。吸取上清液, 待测定。

1.2.3 色谱条件

色谱柱: BEH C18 柱 (2.1 μm×100 mm×1.7 μm), 柱温 40 °C, 进样量: 1.0 μL; 流速: 0.25 mL/min。流动相: A 为 0.1% 胺水, B 为乙腈; 流动相梯度: 0~1.5 min, 40%~60% B; 1.5~6.0 min, 60%~80% B; 6.5~6.6 min, 80%~40% B; 6.6~8.0 min, 40% B。8 种酚类化合物的总离子流色谱图见图 1。

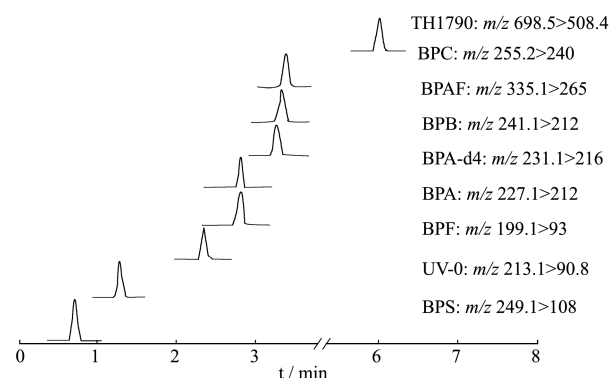


图 1 8 种酚类化合物的提取离子色谱图

Fig.1 EIC of 8 phenols

1.2.4 质谱条件

离子源: 电喷雾离子源; 负离子 (ESI-) 模式; 扫描方式: 多反应监测 (MRM) 模式; 毛细管电压 4.5 kV; 离子源温度 500 °C; 雾化气: 20 psi; 辅助气: 10 psi; 气帘气: 25 psi。8 种酚类化合物色谱保留时间, 离子对和碰撞能见表 1。

表 1 8 种酚类化合物色谱保留时间、监测离子对和碰撞能

Table 1 Retention time, monitoring ion pair and collision energy of 6 bisphenols				
Compound Name	Retention Time/min	Parent Ion/(m/z)	Product Ion/(m/z)	Collision Energy/V
BPS	0.8	249.1	108*	-20
			155.9	-20
UV-0	1.31	213.1	90.8*	-20
			134.9	-5
BPF	2.57	199.1	93*	-30
			105.1	-28
BPA	3.03	227.1	212*	-34
			133	-25
BPA-d4	3.03	231.1	216	-34
BPB	3.30	241.1	212*	-26
			147	-38
BPAF	3.43	335.1	265*	-15
			315	-30
BPC	3.54	255.2	240*	-27
			147	-38
TH1790	6.02	698.5	508.4*	-15
			318.3	-35

注：“*”为定量离子对。

2 结果与讨论

2.1 色谱条件的优化

2.1.1 流动相的优化

实验比较了 3 种流动相体系（乙腈-水、乙腈-10 mmol 乙酸铵、乙腈-0.1%氨水）对 8 种酚类目标物分离效果和质谱响应的影响。结果显示，在负离子模式下，乙酸铵和氨水会抑制 BPS 的电离，采用乙腈-乙酸铵体系和乙腈-氨水体系，BPS 响应分别降低 25% 和 13%，但 UV-0 和 TH1790 在乙腈-水体系中峰型展宽，在乙腈-氨水体系中峰型尖锐。所以综合考虑，选择乙腈-氨水作为流动相体系。

2.2 前处理条件的优化

2.2.1 面粉和面粉改良剂

比较了乙腈、甲醇、40%乙腈水溶液、40%甲醇水溶液、40%乙腈水（0.1%甲酸）溶液和 40%甲醇水（0.1%甲酸）溶液对 8 种酚类化合物的提取效果。以面粉为例，6 种提取溶剂对待测物的提取回收率见图 2。结果显示，采用乙腈为提取溶剂时，8 种酚类化合物的回收率范围为 93%~110%，所以选择乙腈为面粉和面粉改良剂的提取溶剂。

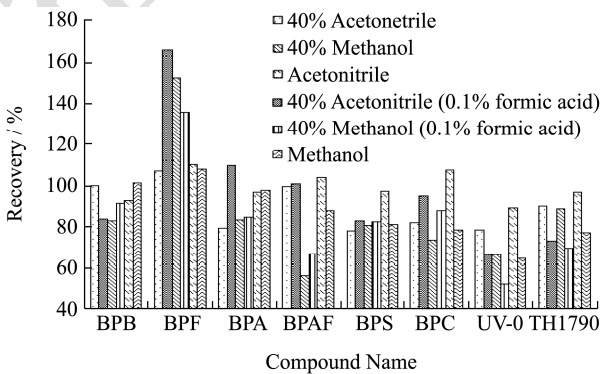


图 2 面粉提取溶剂的优化

Fig.2 Optimization of extraction solvent for flour

2.2.2 蛋糕和蛋黄馅等高油脂馅料

蛋糕和蛋黄馅中含有较高油脂成分，须先去除。C18 吸附剂是硅胶中键合 18 烷基碳链的粉末状固体，C18 吸附剂碳含量较高，可通过疏水作用，对非极性组分有较好吸附效果^[16]。由于馅料中油脂含量高，粘度大，使 C18 粉末无法有效分散，影响除脂效果。先加入 5 mL 正己烷，除去油脂馅料中绝大部分的油脂成分，再采用 C18 分散吸附剂除去剩余的油脂。以蛋黄馅为例，考察了 C18 填料使用量为 50 mg、100 mg、200 mg 和 400 mg 时 8 种酚类化合物的加标回收率的影响。图 3 表明，先加入 5 mL 正己烷，再采用 100 mg C18 吸附剂净化，8 种酚类化合物可获得良好回收率。

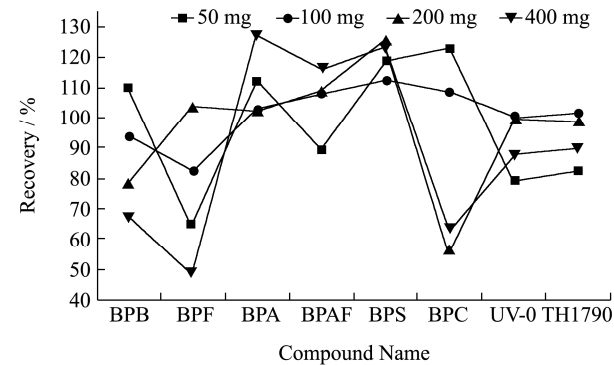


图3 C18 分散吸附剂的优化

Fig.3 Optimization of C18 dispersion adsorbent

2.2.3 前处理方法的基质效应

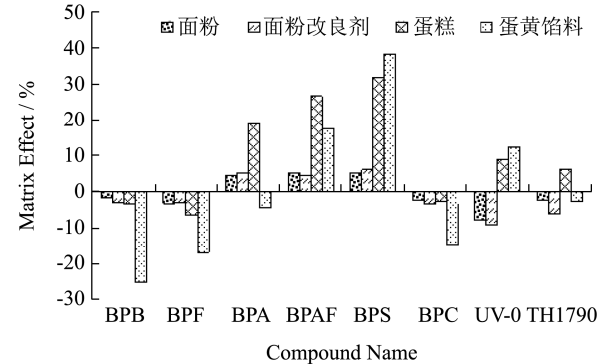


图4 前处理方法的基质效应

Fig.4 Matrix effect of sample preparation method

基质效应是样品中被分析物以外的组分，常对分析物有显著干扰，LC-MS/MS 中的基质效应由分析物共流出组分影响电喷雾接口离子化效率所致^[17]。考察了优化后的两种前处理方法对面粉、面粉改良剂、蛋糕和蛋黄馅的基质效应。结果见图 4。结果表明，采用乙腈提取面粉和面粉改良剂，基质效应不显著；采用 C18 净化剂净化后的蛋糕提取液，双酚 B、双酚 F、UV-0、TH1790 和双酚 C 基质效应不显著；但双酚 A、双酚 AF、双酚 S 有较强的基质增强效应；蛋黄提取液对双酚 B、双酚 F、双酚 C 和 TH1790 有较强的基质抑制效应，对双酚 AF 和双酚 S 有较强的基质增强

效应。综合考虑，分析时采用基质校准溶液配制标准曲线，消除基质效应对定量准确性的影响。

2.3 线性关系和检出限

取空白试样，除不加入内标溶液外，按优化后的前处理方法，制得样品基质溶液。用基质溶液配制浓度为 1.0、5.0、20.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{g/L}$ (BP S 和 BPAF) 和 5.0、20.0、50.0、100.0、200.0 $\mu\text{g/L}$ (BPF、BPA、BPB、BPC、UV-0 和 TH1790) 的基质匹配标准溶液，内标浓度均为 10 $\mu\text{g/L}$ 按照优化后的仪器方法检测，以 8 种酚类化合物的色谱响应值与同位素内标的色谱响应值比值(y)为纵坐标，相应的浓度为(x)绘制线性回归曲线，得到各待测物的线性方程。8 种酚类化合物的线性回归方程、相关系数和线性范围见表 2。

2.4 回收率和精密度

选取阴性面粉、面粉改良剂、蛋糕、蛋黄馅样品进行加标实验，分别按信噪比 (S/N) 为 3 和 10 计算检出限 (MDL) 和定量下限 (MLOQ)。通过实验计算可得，面粉、面粉改良剂、蛋糕、蛋黄馅中 BPS、BPB、BPAF 和 TH1790 的 MDL 均为 2.5 $\mu\text{g/kg}$ ，MLOQ 均为 8.0 $\mu\text{g/kg}$ ；BPF、BPA、BPC 和 UV-0 的 MDL 均为 25.0 $\mu\text{g/kg}$ ，MLOQ 均为 80.0 $\mu\text{g/kg}$ 。按本方法进行 3 个水平(1×MLOQ, 2×MLOQ 和 10×MLOQ)的加标回收实验，每个水平平行测定 6 次，回收率和标准偏差 (RSD) 见表 3。

2.5 实际样品检测

随机抽取市售的 20 个烘焙食品，其中面粉 7 个，面粉改良剂 5 个，蛋糕 6 个，蛋黄馅 2 个，按本方法进行检测，20 个烘焙食品均未检出 8 种酚类化合物。其中面粉和蛋黄馅检出 TH1790 含量分别为 6.2 $\mu\text{g/kg}$ 、和 7.4 $\mu\text{g/kg}$ 。

表 2 8 种酚类化合物的线性范围、线性方程和线性关系

Table 2 Linear equation, linear coefficient linear range and LODs of 8 phenols

Compound Name	Linear Equation	Linear Coefficient(R^2)	Linear Range/ $(\mu\text{g/L})$	LOD/ $(\mu\text{g/L})$
BPS	$y = 0.6512x - 0.2294$	0.9997	1.0~200.0	0.5
BPF	$y = 0.1056x + 0.124$	0.9994	5.0~200.0	5.0
BPA	$y = 0.0648x + 0.026$	0.9992	5.0~200.0	5.0
BPB	$y = 0.041x + 0.0026$	0.9990	1.0~200.0	0.5
BPAF	$y = 0.6874x - 0.4941$	0.9997	1.0~200.0	0.5
BPC	$y = 0.0397x - 0.0007$	0.9996	5.0~200.0	5.0
UV-0	$y = 0.0533x + 0.096$	0.9990	5.0~200.0	5.0
TH1790	$y = 0.347x - 0.3422$	0.9997	1.0~200.0	0.5

表3 回收率和精密度

Table 3 Spiked level recoveries and RSDs of 8 phenols

Matrix Type	Compound Name	Spiked Level/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Mean Recoveries/(%, n=6)	RSDs/(%, n=6)
Flour	BPS	8.0, 18.0, 80.0	97.4, 95.7, 96.1	3.2, 4.1, 3.7
	BPF	80.0, 180.0, 800.0	108.6, 107.7, 110.1	4.4, 5.3, 5.7
	BPA	80.0, 180.0, 800.0	96.8, 97.1, 96.2	6.4, 5.1, 6.6
	BPB	8.0, 18.0, 80.0	92.6, 93.5, 96.7	3.8, 4.6, 4.8
	BPAF	8.0, 18.0, 80.0	104.3, 105.3, 106.1	5.5, 4.8, 7.2
	BPC	80.0, 180.0, 800.0	107.6, 106.2, 105.5	8.3, 7.1, 6.7
	UV-0	80.0, 180.0, 800.0	90.6, 91.7, 90.6	8.6, 5.5, 7.3
	TH1790	8.0, 18.0, 80.0	97.1, 96.9, 97.8	5.1, 3.2, 4.9
Flour-Improving Agent	BPS	8.0, 18.0, 80.0	97.7, 97.5, 96.1	4.8, 4.1, 5.2
	BPF	80.0, 180.0, 800.0	107.4, 106.3, 108.4	6.7, 5.8, 3.3
	BPA	80.0, 180.0, 800.0	97.2, 96.8, 96.6	5.9, 5.7, 4.2
	BPB	8.0, 18.0, 80.0	93.2, 94.1, 93.7	3.7, 4.6, 5.1
	BPAF	8.0, 18.0, 80.0	105.7, 104.5, 105.1	2.5, 3.6, 4.7
	BPC	80.0, 180.0, 800.0	106.7, 107.1, 105.6	4.9, 5.8, 4.3
	UV-0	80.0, 180.0, 800.0	89.1, 88.7, 90.4	8.9, 9.5, 7.6
	TH1790	8.0, 18.0, 80.0	95.1, 96.4, 94.9	5.6, 6.8, 7.1
Cake	BPS	8.0, 18.0, 80.0	108.9, 109.3, 111.0	5.3, 5.7, 4.1
	BPF	80.0, 180.0, 800.0	86.4, 85.7, 87.6	5.6, 7.1, 4.8
	BPA	80.0, 180.0, 800.0	104.2, 103.7, 105.2	4.7, 5.9, 4.1
	BPB	8.0, 18.0, 80.0	93.3, 94.1, 94.9	3.4, 4.4, 4.3
	BPAF	8.0, 18.0, 80.0	106.3, 105.7, 106.6	2.7, 5.0, 4.1
	BPC	80.0, 180.0, 800.0	109.4, 108.4, 107.7	6.3, 4.7, 5.2
	UV-0	80.0, 180.0, 800.0	101.2, 100.7, 103.5	2.8, 3.8, 5.7
	TH1790	8.0, 18.0, 80.0	98.9, 99.6, 100.6	7.5, 6.8, 4.9
Egg Yolk Filling	BPS	8.0, 18.0, 80.0	101.3, 102.4, 100.4	5.9, 6.3, 7.9
	BPF	80.0, 180.0, 800.0	82.1, 83.6, 83.7	2.8, 4.3, 5.3
	BPA	80.0, 180.0, 800.0	103.0, 102.4, 103.7	5.7, 6.8, 5.5
	BPB	8.0, 18.0, 80.0	93.8, 94.0, 94.1	4.1, 6.7, 6.1
	BPAF	8.0, 18.0, 80.0	107.9, 108.1, 107.2	5.9, 7.4, 5.5
	BPC	80.0, 180.0, 800.0	109.1, 108.8, 109.6	6.1, 4.9, 3.9
	UV-0	80.0, 180.0, 800.0	100.9, 99.8, 100.2	5.5, 6.7, 7.5
	TH1790	8.0, 18.0, 80.0	112.3, 113.2, 111.7	3.8, 4.6, 3.7

3 结论

本方法建立了基质分散固相萃取结合液相色谱串联质谱检测烘焙食品及其制品、原辅料（面粉、面粉改良剂、馅料等）中8种酚类（双酚A、双酚B、双酚C、双酚F、双酚S、双酚AF、UV-0和TH1790）的方法。样品经乙腈提取，C18基质分散净化后采用超高效液相色谱串联质谱检测。本方法前处理简单，灵敏度高，适用于面粉、面粉改良剂、蛋糕、蛋黄馅料中8种酚类化合物的检测。

参考文献

- [1] 段文锋,彭亚峰,林毅侃.我国焙烤食品安全管理现状与建议[J].食品科学,2011,32(21):311-317
DUAN Wen-feng, PENG Ya-feng, LIN Yi-kan. Current situation and suggestions for the management of baked food safety in China [J]. Journal of Food Science, 2011, 32(21): 311-317
- [2] 王莉,王斌,董浩,等.GC-MS/MS法对焙烤食品及其塑料包装材料中25种磷酸三酯类与邻苯二甲酸酯类化合物的同

- 时测定[J].分析测试学报,2017,11:13-21
- WANG Li, WANG Bin, DONG Hao, et al. Simultaneous determination of 25 Organophosphate esters and phthalate esters compounds in baked food and plastic packing materials by GC-MS/MS [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 11: 13-21
- [3] 陈月晓,唐凌轩,李全霞,等.食品中 17 种反式脂肪酸的气相色谱测定方法[J].食品工业科技,2016,37(17):292-296
- CHEN Yue-xiao, TANG Lin-xuan, LI Quan-xia, et al. Determination of trans fatty acids in food by gas chromatography [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(17): 292-296
- [4] 黄伟雄,吴西梅,李敏,等.广东省油炸和焙烤食品的丙烯酸胺污染监测与影响因素分析[J].中国预防医学杂志,2010,11:1088-1091
- HUANG Wei-xiong, WU Xi-mei, LI Min, et al. Acrylamide in fried and baked food in Guangdong province [J]. Chinese Preventive Medicine, 2010, 11: 1088-1091
- [5] 吴正双,梁焱琼,钟海娟,等.超高效液相色谱-串联质谱法测定面粉中的偶氮甲酰胺[J].现代食品科技,2012,9:1239-1242
- WU Zheng-shuang, LIANG Chi-qiong, ZHONG Hai-juan, et al. Determination of azodicarbonamide in flour by UPLC-MS/MS [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 9: 1239-1242
- [6] 肖晶,邵兵,吴永宁,等.用高压液相色谱法检测罐装食品中类雌激素双酚 A 和烷基酚[J].中华预防医学杂志,2007,41(6):449-452
- XIAO Jing, SHAO Bing, WU Yong-ning, et al. Determination of bisphenol A and alkyl phenols in canned food with performance liquid chromatography-fluorescence [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2007, 41(6): 449-452
- [7] 方晓明,周浩,冯春野,等.高效液相色谱/荧光法测定罐头食品中双酚 A 类物质的研究[J].分析测试学报,2014,33(12):1393-1398
- FANG Xiao-ming, ZHOU Hao, FENG Chun-ye, et al. Determination of bisphenol A-type compounds in canned foods by high performance liquid chromatography with fluorescence detection [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2014, 33(12): 1393-1398
- [8] 高梦婕,邓晓军,曲栗,等.同位素稀释-固相萃取-LC/MS/MS 法测定婴幼儿配方食品中双酚类化合物[J].分析化学,2015,3:371-378
- GAO Meng-jie, DENG Xiao-jun, QU-Li, et al. Determination of bisphenol substance migration in infant food by isotope dilution-solid phase extraction-liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2015, 3: 371-378
- [9] 陈立伟,吴楚森,汪毅,等.超高效液相色谱法同时测定食品塑料包装材料中的紫外吸收剂和抗氧化剂[J].分析测试学报,2016,35(2):206-212
- CHEN Li-wei, WU Chu-sen, WANG Yi, et al. Determination of ultraviolet absorbers and antioxidants in plastic food packing material by ultra high performance liquid chromatography [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2016, 35(2): 206-212
- [10] 国先芬,王贻鑫,耿存珍,等.环境激素双酚 A 的毒理学研究进展[J].环境科学与技术,2013,2:86-92
- GUO Xian-fen, WANG Yi-xin, GENG Cun-zhen, et al. Progress on toxicological effect of environmental endocrine bisphenol A [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 2: 86-92
- [11] 宋淑玲,马生明.双酚 S 毒理学、人体暴露水平与健康效应研究进展[J].环境化学,2018,2:200-208
- SONG Shu-ling, MA Sheng-ming. Toxocology, human exposure and health effects of bisphenol S [J]. Environmental Chemistry, 2018, 2: 200-208
- [12] 杨倩,杨先海,刘济宁,等.双酚 A 替代物对雄性斑马鱼性激素及卵黄蛋白原水平的影响[J].南京工业大学学报(自然科学版),2018,40(5):6-13
- YANG Qian, YANG Xian-hai, LIU Ji-ning, et al. Effects of bisphenol A and its substitutes on levels of steroid hormone and vitellogenin in adult male zebrafish [J]. Journal of Nanjing Tech University(Natural Science Edition), 2018, 40(5): 6-13
- [13] 郑赛,杨蕴嘉,张昕,等.超高效液相色谱-四级杆串联质谱法检测饮用水中双酚 A 和双酚 F 及其氯化消毒副产物[J].中国食品卫生杂志,2017,29(2):155-159
- ZHENG Sai, YANG Yun-jia, ZHANG Xi, et al. Simultaneous determination of bisphenol A, bisphenol F and their chlorinated byproducts in drinking water by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2017, 29(2): 155-159

(下转第 98 页)