

高效液相色谱法测定纸质食品接触材料中双酚A和双酚S的含量

杨永超, 杜宇, 于艳军, 韩伟, 李宁涛, 熊中强, 何成, 王利兵*

(天津海关工业产品安全技术中心, 天津 300308)

摘要: 该文建立一种测定纸质食品接触材料中双酚A和双酚S含量的高效液相色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC) 法。方法分析采用 Thermal Ultimate 3000SD 液相色谱仪, ZORBAX Eclipse XDB-CN (250 mm×4.6 mm, 5 μm) 反相柱。流动相为甲醇/水 (体积比 1:1), 等度洗脱, 流速 0.8 mL/min; 二极管阵列 (diode array detector, DAD) 检测器, 检测波长 280 nm 和 259 nm。结果表明, 在 1 mg/L~50 mg/L 浓度范围内, 双酚A和双酚S的浓度与峰面积呈现良好的线性关系, 相应的线性相关系数均 ≥ 0.9998 , 双酚A和双酚S的检出限和定量限分别为 0.10、0.02 mg/L 和 0.50、0.10 mg/L。方法验证过程中做了低、中、高 3 个水平的添加回收, 平均回收率为 85.2%~103.0%, 相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD) 均小于 5%。

关键词: 纸质食品接触材料; 双酚A; 双酚S; 高效液相色谱; 等度洗脱

Quantitative Detection of Bisphenol A and Bisphenol S in Food Packaging Papers by High Performance Liquid Chromatography

YANG Yong-chao, DU Yu, YU Yan-jun, HAN Wei, LI Ning-tao,

XIONG Zhong-qiang, HE Cheng, WANG Li-bing*

(Technical Center for Safety of Industrial Products, Tianjin Customs, Tianjin 300308, China)

Abstract: A sensitive and rapid method was developed for detection of bisphenol A (BPA) and bisphenol S (BPS) in food packaging papers using high performance liquid chromatography (HPLC). The procedure was performed with a Thermal Ultimate 3000SD equipped with a ZORBAX Eclipse XDB-CN reversed-phase column (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) using a methanol and water (volume ratio 1:1) isocratic elution. BPA and BPS were detected with a diode array detector (DAD) set at 280 nm and 259 nm. Flow rate was 0.8 mL/min. BPA and BPS were detected with good linearity within the concentration range of 1 mg/L~50 mg/L. The corresponding linear correlation coefficients were all equal to or greater than 0.9998. Limits of detection (LOD) and limits of quantification and (LOQ) for BPA and BPS were 0.10 mg/L and 0.02 mg/L, and 0.50 mg/L and 0.10 mg/L respectively. Recovery experiments were carried out at 3 levels using low, medium, and high concentrations. Average recoveries were 85.2%~103.0% and relative standard deviations (RSD) were all below 5%.

Key words: food packaging papers; bisphenol A; bisphenol S; high performance liquid chromatography (HPLC); isocratic elution

引文格式:

杨永超, 杜宇, 于艳军, 等. 高效液相色谱法测定纸质食品接触材料中双酚A和双酚S的含量[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 137-142.

YANG Yongchao, DU Yu, YU Yanjun, et al. Quantitative Detection of Bisphenol A and Bisphenol S in Food Packaging Papers by High Performance Liquid Chromatography[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 137-142.

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC0810902、2018YFC0809104、2018YFC0809101); 天津海关科研项目(2020THK011)

作者简介: 杨永超(1985—), 男(汉), 工程师, 博士, 研究方向: 消费品安全检测。

* 通信作者: 王利兵, 男, 研究员, 博士, 主要从事食品安全与化学品研究。

双酚 A (bisphenol A, BPA) 是聚碳酸酯、环氧树脂以及阻燃剂生产过程中经常用到的化学物质。近年来, 由于 BPA 的广泛生产以及在食品接触材料 (food contact materials, FCMs) 和食品容器中的大量应用, 引起了人们极大关注。试验证明, 食品接触材料中的 BPA 会迁移到食物中, 迁移速度与食物的温度、加热时间及其理化特性相关^[1-3]。BPA 具有雌激素的特性, 由于其结构与人体内雌二醇相似, 故又称雌激素或内分泌干扰物^[4], 接触 BPA 会导致一些疾病的发生, 如生殖和生育能力方面疾病、肥胖和 2 型糖尿病等^[5-7]。

双酚 S 即 4,4'-二羟基二苯砵 (bisphenol S, BPS), 是 BPA 的等价物质。作为 BPA 的代用品, BPS 通常用于生产环氧树脂、聚碳酸酯、酚醛树脂等物质, 同时也用于生产医用高分子材料、彩色摄影材料, 也可作为固色剂、皮革鞣剂、染料的中间体以及阻燃剂等被广泛用于食品接触材料中^[8-10]。研究表明, BPS 同样具有生物毒性, 是一种内分泌干扰素 (环境荷尔蒙), 过量摄入会导致人和动物的内分泌、代谢和神经系统异常, 可对人和动物生殖系统造成严重损伤, 还可致癌、致畸和致突变^[11-12]。

人类接触 BPA 的主要途径是食用含有 BPA 的包装材料包装的食品, 通过皮肤或呼吸方式接触富含 BPA 的物质^[4, 13-14]。BPS 有很强的皮肤渗透性和吸收率^[12], 皮肤接触后更容易进入人体。因此, 各国纷纷立法对食品接触材料中这 2 种物质迁移量进行了限制。根据欧盟第 10/2011 号法规^[15], BPA 对食品的特定迁移限制 (specific migration limit, SML) 为 0.6 mg/kg, BPS 为 0.05 mg/kg。我国国家标准 GB 4806.6—2016《食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂》^[16] 规定了双酚 S 特定迁移限量为 0.05 mg/kg, 双酚 A 特定迁移限量为 0.6 mg/kg。但这些法规都是针对塑料材质, 未对纸质食品接触材料进行限制。

我国针对纸质食品接触材料的标准 GB 4806.8—2016《食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品》^[17] 中未对 BPA 和 BPS 的含量以及迁移量做出具体规定。然而, 据报道在欧洲的纸质食品包装材料中发现了 BPA, 在回收用于造纸的纤维样品中也发现了 BPS^[18], 证明风险确实存在。

目前, 对 BPA 和 BPS 的检测, 基质多集中在水^[19-20]、热敏纸^[21]、纺织品^[22]、食品^[22-23]以及食品包装材料^[24-25], 但是对于纸质食品接触材料中的 BPA 和 BPS 的检测则鲜有报道。因此, 开发同时检测纸质食品接触材料中 BPA 和 BPS 的方法具有重要意义。在此基础上, 本文以高效液相色谱-二极管阵列 (high performance liq-

uid chromatography-diode array detector, HPLC-DAD) 为检测仪器, 建立了同时测定纸质食品接触材料中 BPA 和 BPS 的方法, 为后期市场的监管提供技术支持和保障。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与试剂

Ultimate 3000SD 高效液相色谱仪 [配置二极管阵列检测器 (diode array detector, DAD)]; 美国 Thermal 公司; KQ-800KDE 高功率数控超声清洗器: 中国昆山市超声仪器有限公司。

双酚 A 标准物质 [4,4'-二羟基二苯丙烷 (bisphenol A, BPA)] (纯度 $\geq 99.0\%$)、双酚 S 标准物质 [4,4'-二羟基二苯砵 (bisphenol S, BPS)] (纯度 $\geq 99.0\%$): 德国 Dr. Ehrenstorfer 公司; 甲醇 (色谱纯): 德国 merk 公司。

1.2 方法

1.2.1 HPLC 条件

色谱柱: ZORBAX Eclipse XDB-CN (C₁₈) (250 mm × 4.6 mm, 5 μm); 流速为 0.8 mL/min。柱温: 室温 25 °C; 检测波长: BPA 为 280 nm, BPS 为 259 nm; 进样体积 5.0 μL。流动相为甲醇/水 (体积比 1:1) 等度洗脱。

1.2.2 标准储备液配制

准确称取 BPA 和 BPS 各 50 mg (精确至 0.1 mg) 分别置于 50 mL 容量瓶中, 以甲醇定容, 配成质量浓度为 1 000 mg/L 的标准溶液; 分别移取两种标准溶液 5.0 mL 至 50 mL 容量瓶, 定容, 得浓度为 100 mg/L 的 BPA 和 BPS 的混合标准储备液。

1.2.3 样品处理

将纸质食品包装材料裁剪成 5 mm × 5 mm 的小片, 混合均匀。精确称取 0.100 0 g 样品置于 50 mL 的锥形瓶中, 加入 10 mL 甲醇, 在 50 °C 恒温振荡水浴中提取 50 min 后取出, 氮吹浓缩至 5 mL 以下, 待溶液冷却至室温 (25 °C) 后定容至 10 mL, 经 0.45 μm 滤膜过滤, 滤液备用。

样品处理方法参照文献 [26], 并在此基础上进行改进。因为塑料制品耗材中可能存在 BPA 和 BPS, 为避免干扰, 样品处理过程中均用玻璃制品。

1.2.4 阳性样品制备

将阴性样品糖炒栗子包装袋裁剪成 5 mm × 5 mm 的小片, 混合均匀, 精确称取 0.100 0 g 于 50 mL 的锥形瓶中, 加入定量的混合标准储备液, 之后加入适量甲醇, 润湿全部样品, 最后自然挥发至干得阳性样品, 用于添加回收试验。

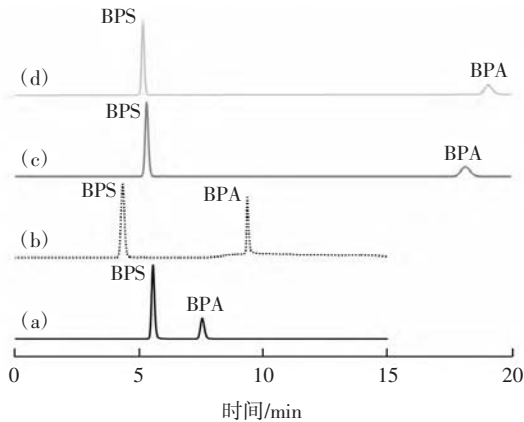
2 结果与分析

2.1 检测波长的确定

在 190 nm~700 nm 范围内,测定双酚 A(BPA)和双酚 S(BPS)标准溶液紫外-可见吸收光谱,结果表明,BPA 的两个吸收峰波长为 228 nm 和 280 nm,BPS 的最大吸收峰波长为 259 nm。根据相关文献报道^[11,22-23]及为了避免在 200 nm 左右的溶剂和杂质峰的干扰,方法选择 BPA 的检测波长为 280 nm,BPS 为 259 nm。

2.2 色谱柱的选择

试验考察了 Acclaim 120-C18、InertSustain C18 和 ZORBAX Eclipse XDB-CN(规格均为 250 mm×4.6 mm, 5 μm)反相柱分离效果,结果见图 1。



(a) ZORBAX Eclipse XDB-CN 柱等度洗脱效果; (b) ZORBAX Eclipse XDB-CN 柱梯度洗脱效果; (c) InertSustain C18 柱等度洗脱效果; (d) Acclaim 120-C18 柱等度洗脱效果。

图 1 不同色谱柱对分离效果的影响(280 nm)

Fig.1 Effects of different chromatographic columns on separation efficiency (280 nm)

结果表明 Acclaim 120-C18 和 InertSustain C18 柱 BPS 出峰较早,BPA 出峰过晚[图 1(d)和图 1(c)]。梯度洗脱可缩短洗脱时间,但容易造成基线不稳,同时消耗更多的有机相[图 1(b)]。ZORBAX Eclipse XDB-CN 柱则可通过调整流动相等度洗脱,10 min 内可完成洗脱,且峰形尖锐对称,因此,选择 ZORBAX Eclipse XDB-CN 柱进行等度洗脱。

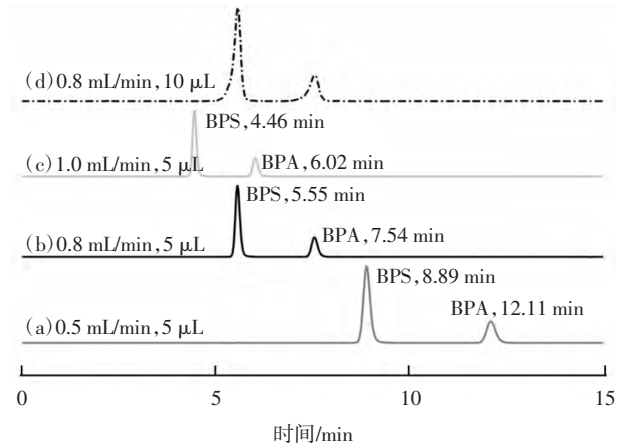
2.3 流动相、流速及进样体积的选择

试验考察了乙腈/水、甲醇/水作流动相对 BPA 和 BPS 分离效果的影响,结果表明,使用乙腈/水时,BPS 的峰出现拖尾现象;当使用甲醇/水时,BPA、BPS 完全分离,峰形尖锐,对称性好,因此,选择甲醇/水作为流动相。

两种物质在甲醇/水等度洗脱过程中,可实现完全分离。等度洗脱过程中,最终确定流动相比例为甲醇/

水体积比 1:1,该条件下,BPA 和 BPS 分离度好,BPS 出峰时间大于 5 min,可避免一些杂质峰的影响,且整体洗脱时间可控制在 10 min 之内。

流动相流速对分离效果的影响见图 2。



(a) 甲醇/水体积比 1:1 时,0.5 mL/min 流速分离效果; (b) 甲醇/水体积比 1:1 时,0.8 mL/min 流速分离效果; (c) 甲醇/水体积比 1:1 时,1.0 mL/min 流速分离效果; (d) 甲醇/水体积比 1:1 时,0.8 mL/min 流速,10 μL 进样体积分离效果。

图 2 流动相和流速对分离效果的影响(280 nm)

Fig.2 Influence of flow phase and velocity on separation effect (280 nm)

由图 2(a)~图 2(c)可知,流速为 0.5 mL/min 时,洗脱时间大于 12 min,且峰形展宽;流速为 1.0 mL/min 时,BPS 出峰时间小于 5 min,可能会有基质中的杂质峰干扰。综合考虑,试验最终选定流速为 0.8 mL/min。

进样量为 10 μL 时[图 2(d)],峰形前沿,进样量为 5 μL 时[图 2(b)],色谱峰恢复正常,说明这种情况可能是由色谱柱过载造成的,因此,试验最终选定进样量为 5 μL。

2.4 提取剂的选择

试验考察了甲醇、正己烷、乙腈和水的提取效率,结果见图 3。

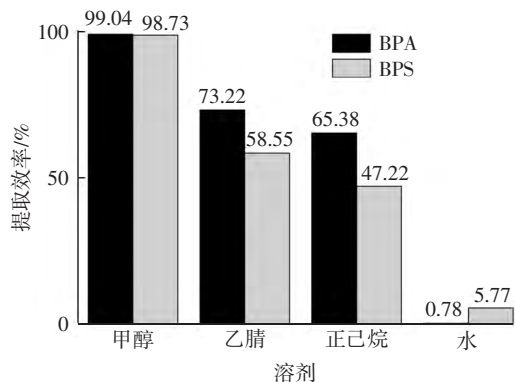


图 3 不同溶剂对于 BPA 和 BPS 的提取效率的影响

Fig.3 The efficiencies of different solvents for BPA and BPS

结果表明,对于 BPA 和 BPS 的提取,甲醇的提取效率>98%,其它溶剂的提取效率均<80%,因此,方法最终选择甲醇为提取剂。

2.5 提取温度和时间的确定

甲醇作为萃取剂,研究最佳的提取温度和提取时间对提取效率的影响,结果见图 4。

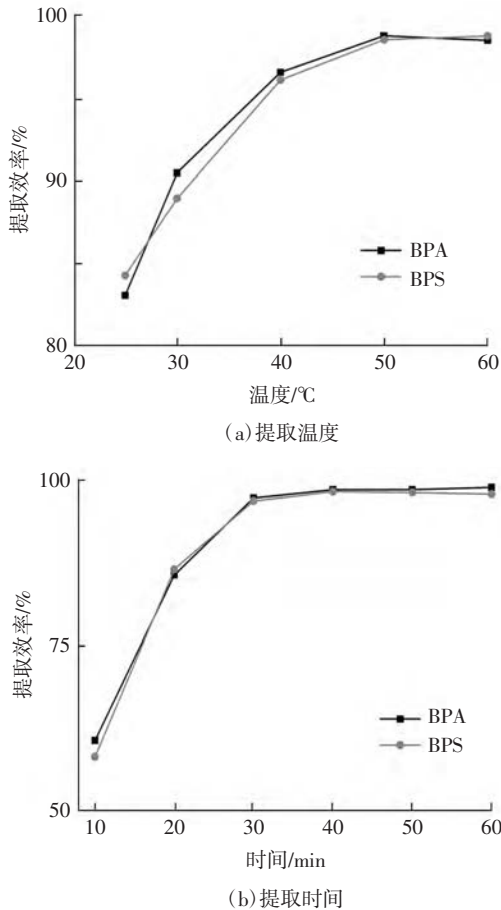


图 4 提取温度和提取时间对提取效率的影响

Fig.4 The effect of extraction time and temperature on extraction efficiencies

从图 4(a)中可以看出,随着温度的增加,BPA 和 BPS 的提取效率增加,50 °C时达到最高,60 °C与 50 °C时基本持平,从能源节省和减少甲醇挥发方面考虑,方法选择的提取温度为 50 °C。

如图 4(b)所示,提取时间为 30 min 时,提取接近完全,40 min~60 min 变化不明显,考虑到分析物尽可能提取完全和节省资源,方法最终选择提取时间为 40 min。

2.6 线性范围和检测限(limit of detection, LOD)、定量限(limit of quantification, LOQ)

精密量取 1.2.2 混合标准储备液,以甲醇稀释,得到 BPA 和 BPS 浓度为 1、5、10、25、50 mg/L 的系列混合标准溶液。上机测试,记录 BPA 和 BPS 的峰面积,每

个浓度点测试 3 次,取平均值。以浓度(mg/L)为横坐标 x ,峰面积为纵坐标 y ,进行线性回归。得到的回归方程如表 1 所示,结果显示,在 1 mg/L~50 mg/L 范围内,BPA 和 BPS 线性良好,相关系数均 $\geq 0.999 8$ 。

表 1 BPS 和 BPS 的线性回归方程、相关系数和检测限、定量限
Table 1 Regression equations, correlation coefficients, the limit of detection and quantification (LOD and LOQ) for BPA and BPS

化合物	回归方程	相关系数/ r	检测限/ (mg/L)	定量限/ (mg/L)
BPA	$y=4.093 6x+0.655 7$	1.000 0	0.10	0.50
BPS	$y=24.027x + 7.937 5$	0.999 8	0.02	0.10

采用逐级稀释标准溶液方法进样,信噪比(S/N)为 3 时的样品浓度即为检测限浓度 (LOD);S/N 为 10 的样品的浓度即为定量限浓度 (LOQ)。如表 1 所示,BPA、BPS 的 LOD 和 LOQ 分别为 0.10、0.02 mg/L 和 0.50、0.10 mg/L。

2.7 回收率和精密度试验

按 1.2.4 方法制备低、中、高 3 个浓度水平阳性样品,测试添加回收率,每个浓度点平行 6 份,结果见表 2。参考标准 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》^[27]对该方法进行评价,试验三水平添加回收率在 85.2%~103.0%之间,表明加标回收试验结果良好。相应测定结果的相对标准偏差在 1.26%~4.90%之间,证明该方法准确度和精密度良好。

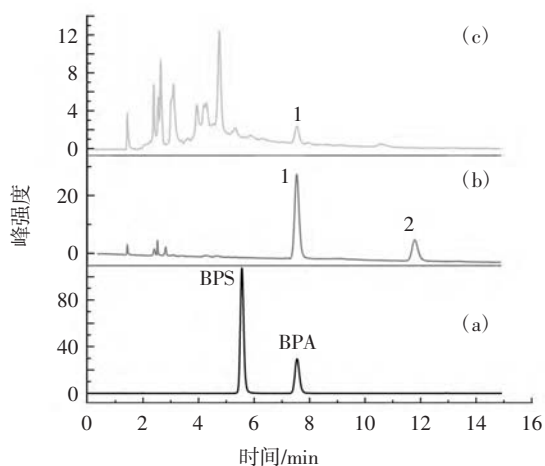
表 2 BPA 和 BPS 低、中、高 3 浓度水平添加回收试验(n=6)
Table 2 Recovery results of BPA and BPS at 3 levels with low, medium and high concentrations (n=6)

分析物	低浓度(1 mg/L)			中浓度(10 mg/L)			高浓度(25 mg/L)		
	结果/ (mg/L)	回收 率/%	相对 标准 偏差/ %	结果/ (mg/L)	回收 率/%	相对 标准 偏差/ %	结果/ (mg/L)	回收 率/%	相对 标准 偏差/ %
BPA	0.852	85.2	4.90	10.30	103.0	3.18	24.90	99.6	1.26
BPS	0.897	89.7	4.29	9.81	98.1	1.99	25.07	100.3	0.70

2.8 样品检测

取市场上 30 个纸质食品接触材料样品,按 1.2.3 所述方法制备样品上机测试,测试结果显示,2 个样品检出 BPA,编号 1# 和 2#,结果见图 5。

由图 5 可知,1# 样品检出少量 BPA,同时样品 5 min 以前出现很多杂质峰。该方法 BPA 的出峰时间大于 5 min,可有效避免大部分杂质干扰。2# 样品除了检出较高浓度的 BPA[图 5(b)峰 1],在 12 min 左右出现峰 2,查看其后台紫外吸收图谱,基本与 BPA 紫外图谱一致,推测为 BPA 的衍生物或同系物,后续工作将对该物质展开研究。



(a) 标准溶液; (b) 2# 样品; (c) 1# 样品。

图5 市场实际样品检测图谱(280 nm)

Fig.5 The spectra of actual samples in market (280 nm)

3 结论

本文建立了纸质食品包装材料中BPA和BPS含量测定的高效液相色谱法。方法中BPA和BPS的最低检出限可达0.10 mg/L和0.02 mg/L,加标回收率在85.2%~103.0%,相对标准偏差小于5%。该方法具有前处理简单、稳定性好、回收率高等优点,检测结果准确可靠,可应用于市场上纸质食品接触材料制品中BPA和BPS的测定,为食品包装材料的安全监管和风险评估提供技术支持和保障。

参考文献:

- [1] CAO X L, PEREZ-LOCAS C, DUFRESNE G, et al. Concentrations of bisphenol A in the composite food samples from the 2008 Canadian total diet study in Quebec City and dietary intake estimates[J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2011, 28(6): 791-798.
- [2] KANG J H, KONDO F. Determination of bisphenol A in milk and dairy products by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(8): 1439-1443.
- [3] GRUMETTO L, GENNARI O, MONTESANO D, et al. Determination of five bisphenols in commercial milk samples by liquid chromatography coupled to fluorescence detection[J]. Journal of Food Protection, 2013, 76(9): 1590-1596.
- [4] VANDENBERG L N, HAUSER R, MARCUS M, et al. Human exposure to bisphenol A (BPA)[J]. Reproductive Toxicology (Elmsford, N Y), 2007, 24(2): 139-177.
- [5] ZIV-GAL A, FLAWS J A. Evidence for bisphenol A-induced female infertility: A review (2007-2016)[J]. Fertility and Sterility, 2016, 106(4): 827-856.
- [6] TAI X, CHEN Y. Urinary bisphenol A concentrations positively as-

sociated with glycated hemoglobin and other indicators of diabetes in Canadian men[J]. Environmental Research, 2016, 147: 172-178.

- [7] ANDRA S S, CHARISIADIS P, ARORA M, et al. Biomonitoring of human exposures to chlorinated derivatives and structural analogs of bisphenol A[J]. Environment International, 2015, 85: 352-379.
- [8] LIAO C Y, LIU F, KANNAN K. Bisphenol S, a new bisphenol analogue, in paper products and currency bills and its association with bisphenol A residues[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(12): 6515-6522.
- [9] BJÖRNSDOTTER M K, DE BOER J, BALLESTEROS-CÓMEZ A. Bisphenol A and replacements in thermal paper: A review [J]. Chemosphere, 2017, 182: 691-706.
- [10] MOLINA-MOLINA J M, AMAYA E, GRIMALDI M, et al. *In vitro* study on the agonistic and antagonistic activities of bisphenol-S and other bisphenol-A congeners and derivatives via nuclear receptors [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2013, 272(1): 127-136.
- [11] 冯文燕, 仝亚男, 王淞, 等. 高效液相色谱法测定热敏纸中的双酚S含量[J]. 造纸科学与技术, 2018, 37(2): 76-78.
FENG Wenyang, TONG Yanan, WANG Song, et al. Determination of bisphenol S in thermal paper by HPLC method[J]. Paper Science & Technology, 2018, 37(2): 76-78.
- [12] 刘丽艳, 白洁, 王亚文, 等. 高效液相色谱法测定厨房用纸中双酚S[J]. 理化检验-化学分册, 2019, 55(5): 584-590.
LIU Liyan, BAI Jie, WANG Yawen, et al. HPLC determination of bisphenol S in kitchen papers[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis), 2019, 55(5): 584-590.
- [13] VÖLKE W, COLNOT T, CSANÁDY G A, et al. Metabolism and kinetics of bisphenol A in humans at low doses following oral administration[J]. Chemical Research in Toxicology, 2002, 15(10): 1281-1287.
- [14] LIAO C Y, LIU F, GUO Y, et al. Occurrence of eight bisphenol analogues in indoor dust from the United States and several Asian countries: Implications for human exposure[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(16): 9138-9145.
- [15] European Union. Commission Regulation (EU) No. 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food [EB/OL]. (2011-01-14)[2020-11-25]. <http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/10/oj>.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品接触用塑料树脂: GB 4806.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China. National standards for food safety Plastic resins for food contact: GB 4806.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品: GB 4806.8—2016[S].北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health Commission of the People's Republic of China. National standards for food safety Hygienic standard of paper used for food packaging: GB 4806.8—2016[S]. Beijing: Standards Press of

- China, 2017.
- [18] BINDERUP M L, PEDERSEN G A, VINGGAARD A M, et al. Toxicity testing and chemical analyses of recycled fibre-based paper for food contact[J]. *Food Additives & Contaminants*, 2002, 19(sup1): 13-28.
- [19] 华永有, 林麒, 林溢, 等. 超高效液相色谱-荧光检测法测定水中七种双酚类和烷基酚类化合物[J]. *现代预防医学*, 2018, 45(7): 1264-1267.
- HUA Yongyou, LIN Qi, LIN Yi, et al. Determination of seven bisphenols and alkyl phenols in water by ultraperformance liquid chromatography with fluorescence detection[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2018, 45(7): 1264-1267.
- [20] 杨金泉, 贺小敏, 施敏芳, 等. 固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法测定饮用水中双酚 A 和双酚 S[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 332-337.
- YANG Jinquan, HE Xiaomin, SHI Minfang, et al. Determination of bisphenol A and bisphenol S in drinking water by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with solid-phase extraction[J]. *Food Science*, 2019, 40(20): 332-337.
- [21] 吴泽颖, 罗世鹏, 朱焯, 等. 纺织品中双酚 S 的高效液相色谱法测定[J]. *印染*, 2015, 41(2): 39-41.
- WU Zeying, LUO Shipeng, ZHU Ye, et al. Determination of bisphenol S in textiles by HPLC method[J]. *Dyeing and Finishing*, 2015, 41(2): 39-41.
- [22] XIE Q, XIA M, LU H, et al. Deep eutectic solvent-based liquid-liquid microextraction for the HPLC-DAD analysis of bisphenol A in edible oils[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 306: 112881-112885.
- [23] 韩明均, 覃荣周, 程敏, 等. 高效液相色谱法检测运动饮料中双酚 A 的残留[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(8): 149-152.
- HAN Mingjun, QIN Rongzhou, CHENG Min, et al. Determination of BPA in sports drink by HPLC[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(8): 149-152.
- [24] 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 sulfone in plastic food contact materials by HPLC[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis)*, 2017, 53(12): 1398-1402.
- [25] 于杰, 周静, 江澜, 等. 高效液相色谱荧光法测定食品包装材料中双酚 A 及双酚 S 的迁移量[J]. *粮食与食品工业*, 2017, 24(3): 61-64, 70.
- YU Jie, ZHOU Jing, JIANG Lan, et al. Determination of bisphenol A and bisphenol S in food packaging materials by high performance liquid chromatography with fluorescence spectrometry[J]. *Cereal & Food Industry*, 2017, 24(3): 61-64, 70.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纸、纸板和纸浆 2,2-二(4-羟基苯基)丙烷: GB/T 34455-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of 2,2-bis(4-hydroxyphenyl) propane (bisphenol A)-liquid chromatography: GB/T 34455-2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 实验室质量控制规范 食品理化检测: GB/T 27404-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Criterion on quality control of laboratories Chemical testing of food: GB/T 27404-2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

加工编辑:张璐

收稿日期:2020-11-25