

亚临界水萃取-高效液相色谱法测定聚碳酸酯水杯中 双酚 A 和苯酚的迁移量

白玮玮, 刘书慧*, 曹江平, 范盈盈, 解启龙

(西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 建立了亚临界水萃取-高效液相色谱同时测定聚碳酸酯(PC) 水杯中双酚 A 和苯酚迁移量的方法。选择萃取温度 120 °C、萃取压力 6.89 MPa(1 000 psi)、静态萃取时间 1 h、萃取 1 次对 11 种样品进行测定。双酚 A 的迁移量为 6.81 ~ 11.16 $\mu\text{g/g}$ 。5 种样品中未检出苯酚, 其余样品中苯酚迁移量为 3.25 ~ 6.08 $\mu\text{g/g}$ 。在优化的测定条件下, 双酚 A 和苯酚在 8 min 内达到基线分离。双酚 A 和苯酚分别在 0.05 ~ 20 mg/L 和 0.02 ~ 20 mg/L 范围内线性关系良好, 相关系数(r)均大于 0.9997。检出限分别为 7.6 $\mu\text{g/L}$ 和 2.0 $\mu\text{g/L}$ 。日内及日间的重复性(以 RSD 计)分别小于 5.21% 及 11.63%。传统的浸提法结果表明长时间浸提会使 PC 材料发生微弱水解。相比传统的浸提法, 该方法的萃取效率提高了 49 ~ 106 倍。该方法简便、快速、环保, 可用来测定 PC 水杯中双酚 A 和苯酚的迁移量。

关键词: 亚临界水萃取; 高效液相色谱; 双酚 A; 苯酚; 聚碳酸酯水杯

中图分类号: O658 文献标识码: A 文章编号: 1000-8713(2013)03-0254-06

Simultaneous determination of the migrations of bisphenol A and phenol in polycarbonate bottles based on subcritical water extraction and high performance liquid chromatography

BAI Weiwei, LIU Shuhui*, CAO Jiangping, FAN Yingying, XIE Qilong

(College of Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: A new method was established for the simultaneous determination of the migration amounts of bisphenol A (BPA) and phenol from polycarbonate (PC) bottles based on subcritical water extraction (SWE) and high performance liquid chromatography. The optimum extraction conditions included an extraction temperature of 120 °C, a pressure of 6.89 MPa (1 000 psi), a static extraction time of 1 h and one cycle. Under the conditions, the migration amounts of the BPA ranged from 6.81 to 11.16 $\mu\text{g/g}$ in 11 samples. Phenol was not detectable in 5 samples, and in other ones the migration amounts of phenol varied in the range of 3.25 – 6.08 $\mu\text{g/g}$. The traditional soaking extraction experiments showed that PC was subjected to weak hydrolysis after long-time leaching. The BPA and phenol were separated in 8 min. Good linearities were obtained in the range of 0.05 – 20 mg/L for BPA and 0.02 – 20 mg/L for phenol ($r > 0.9997$). The limits of detection were 7.6 $\mu\text{g/L}$ for BPA and 2.0 $\mu\text{g/L}$ for phenol. Intra-day and inter-day repeatabilities (expressed as RSD) were less than 5.21% and 11.63%, respectively. Compared with traditional water soaking extraction, the extraction efficiencies increased 49 – 106 times using this developed SWE method. The procedure is simple, rapid and environment friendly, and can be utilized to determine the migration amounts of BPA and phenol in PC bottles.

Key words: subcritical water extraction (SWE); high performance liquid chromatography (HPLC); bisphenol A; phenol; polycarbonate (PC) bottles

* 通讯联系人. E-mail: shliu815@126.com.

基金项目: 西北农林科技大学人才专项项目(Z111021005).

收稿日期: 2012-10-26

双酚A是一种环境雌激素,影响人体神经系统和生殖系统的发育,可导致内分泌紊乱、诱发少女青春提前、降低男性精子活性^[1]。研究表明苯酚对人体皮肤、黏膜有强烈的刺激腐蚀作用,会损害胃肠、肝脏、肾脏等器官的功能^[2];饮用苯酚污染的水会增加人体腹泻、口腔溃疡的发病率^[3]。

双酚A是生产聚碳酸酯(PC)的原料,而苯酚是合成PC时产生的主要中间体,因此商品化的PC成品难免会残留酚类杂质,加之PC水杯长期与热水接触也易水解生成双酚A,可见使用PC水杯安全隐患很大。鉴于双酚A和苯酚可能产生的潜在危害,自2008年起,加拿大、欧盟、美国等国家和组织先后宣布禁止进口和销售PC奶瓶。美国环境保护署(EPA)规定双酚A每日的容许摄入量为0.05 mg/kg^[4],欧盟食品科学委员会(SCF)限定每日容许摄入量为0.01 mg/kg^[5],欧盟现行法规2004/19/EC规定食品中双酚A的迁移限量为0.6 mg/kg^[6],日本《食品卫生法》规定聚碳酸酯容器中双酚A的迁移限量为2.5 mg/kg,我国国家标准《食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准》(GB 9685-2008)规定涂料、塑料及粘合剂中双酚A的特定迁移量不得超过0.6 mg/kg^[7]。世界卫生组织(WHO)规定饮用水中苯酚的含量不得超过0.001 mg/L^[8],美国EPA规定饮用水中不得检出苯酚^[9],我国国家标准GB 5749-1985规定生活饮用水中挥发酚类的限量为0.002 mg/L^[10]。

测定塑料中双酚A迁移量的检测方法主要有酶联免疫吸附法^[11,12]、高效液相色谱-荧光检测法^[13]、气相色谱-质谱联用法^[14-18]等。样品前处理主要采用溶剂浸提^[13]、固相萃取^[14,15]、微波加热^[15]、液-液萃取^[16]等技术,这些方法存在耗时长、样品处理复杂、检测成本高、污染环境等缺点,检测的样品主要是奶瓶^[11-19],而对PC水杯中双酚A迁移量的报道较少,且对苯酚的测定尚未见诸报道。因此,建立一种简便、快捷测定PC水杯中的双酚A和苯酚的分析方法,鉴别奶瓶是否为PC材质很有必要。

亚临界水萃取(subcritical water extraction, SWE)技术是近年来发展起来的一种绿色萃取技术,因其具有操作简便、快速、环保等优点,现已成为样品前处理的研究热点之一^[20,21]。该研究采用SWE法萃取PC水杯中的双酚A和苯酚,提高了萃取效率,无需富集浓缩可直接利用高效液相色谱进行测定。该方法样品前处理简便、快速,无污染,检出限低,精密度高,能够满足实际样品测定的要求。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

LC-20AT 高效液相色谱仪(日本岛津公司); ASE200 加速溶剂萃取仪(美国戴安公司); DHG-9140A 型干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); KQ-5200E 型超声波清洗器(昆山市超声波仪器有限公司); HC-2518 高速离心机(中科中佳公司); BT25S 型电子天平(德国 Sartorius 公司); Direct-Q3 System 纯水仪(美国 Millipore 公司)。

双酚A、苯酚标准品(纯度 $\geq 99\%$,上海阿拉丁公司);甲醇(色谱纯,天津科密欧公司);其他试剂均为分析纯;实验用水均为超纯水。

1.2 实验过程

1.2.1 色谱条件

Inertsil C18 色谱柱(150 mm \times 4.6 mm, 5 μ m; 日本岛津公司);流动相:甲醇-水(65:35, v/v);流速:1.0 mL/min;检测波长:214 nm;进样量:20 μ L。

1.2.2 样品处理

PC 水杯样品全部购自陕西省杨凌的专卖店、超市和小卖部,共20种,其中9种样品用于考察亚临界水萃取条件,编号为A1~A9;其余11种用于亚临界水萃取法与传统浸提法的比较,编号为B1~B11。

传统的浸提法(TSE):根据国家标准 GB/T 23296.1-2009^[22]将PC水杯剪成5 cm \times 2 cm 长条,按照2 mL/cm²的浸泡标准称取5块样品于带盖玻璃瓶中,加入200 mL 超纯水,拧紧瓶盖,放入100 $^{\circ}$ C 精密烘箱中,于48 h后取样0.2 mL,以后每隔24 h 取一次样,连续测定两周。

SWE 法:称取1 g(精确到0.01 g)PC 水杯碎片,与3 g 硅藻土混匀后,装入11 mL 不锈钢萃取池,以超纯水为萃取溶剂,设定在萃取温度120 $^{\circ}$ C,萃取时间1 h,压力6.89 MPa(1 000 psi)静态萃取1次,冲洗体积100%萃取池体积,吹扫时间60 s 条件下进行萃取。收集萃取液,将萃取液转移至25 mL 容量瓶中,用水定容,混匀后取10 mL 离心(10 000 r/min, 8 min)吸取上清液待测。

1.2.3 标准工作曲线

准确称取双酚A、苯酚标准品各10 mg(精确到0.1 mg),以甲醇配成1.0 g/L 的单标准储备溶液,于-20 $^{\circ}$ C 避光储存。使用前,用水稀释成合适浓度的中间混合标准溶液,再逐级稀释成系列浓度的工作液,现用现配。

2 结果与讨论

2.1 SWE 条件的考察

2.1.1 萃取温度的影响

SWE 是一种使用水作为萃取剂的绿色萃取方法。在一定压力下,将加热到 100 °C 以上、临界温度以下的液体状态的水称为亚临界水。通过对亚临界水温度的控制可以改变水的极性、表面张力和黏度;温度升高,亚临界水的极性降低,对有机物的溶解能力增加。利用亚临界水萃取 PC 材料中的酚类残留时,一方面需借助温度、压力等条件的控制加快目标物在 PC 高分子链中的迁移速度来提高萃取效率;另一方面要防止 PC 材料发生水解,导致酚类化合物的萃取量不能代表 PC 材料中真实的残留量。

萃取温度(*T*)是影响亚临界水萃取效率的最主要因素。本研究选取 9 种样品(A1~A9)参考 PC 水杯标注的安全使用温度(-20~120 °C)和 PC 的玻璃化温度(140~150 °C),考察了不同萃取温度(100、

120、130、150 °C,萃取 1 h)对萃取效率的影响,结果见表 1。从表 1 中可以看出,随着萃取温度的升高,双酚 A 和苯酚的萃取量相应提高,且双酚 A 的萃取量随温度的变化更加明显。这是因为双酚 A 的极性比苯酚小,因而在亚临界水条件下更容易迁移出来。分别以不同温度下双酚 A 和苯酚萃取量(*E*)的对数为纵坐标,以 1/*T* 为横坐标作图,结果发现 9 种样品的 ln *E* 与 1/*T* 均线性相关,双酚 A 的相关系数大于 0.992 7,苯酚的相关系数大于 0.983 2(见表 1),该拟合结果符合固体中扩散系数(*D*)与温度(*T*)的关系,即: $\ln D = \ln D_0 - E_0 / (RT)$, 式中 *D*₀ 为常数, *E*₀ 为活化能, *R* 为理想气体常数, *T* 为温度(K)。该实验结果表明,在 150 °C 范围内,萃取 1 h,双酚 A 和苯酚的萃取量主要来源于 PC 材料中二者的残留。

表 1 不同温度下 PC 样品中双酚 A 和苯酚的萃取量(*E*)及其对数(ln *E*)与 1/*T* 的线性相关系数
Table 1 Amounts (*E*) of BPA and phenol in PC samples extracted at different temperatures and the correlation coefficients (*r*) of the ln *E* vs 1/*T*

Sample	Extracted amounts/(μg/g)								<i>r</i>	
	100 °C		120 °C		130 °C		150 °C			
	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol
A1	1.68	2.21	8.14	5.49	21.10	12.45	52.93	54.67	0.9928	0.9845
A2	2.12	2.73	8.41	4.84	16.75	9.66	48.71	39.19	0.9992	0.9832
A3	1.77	1.49	8.71	5.04	17.57	11.36	41.80	37.30	0.9930	0.9974
A4	1.21	1.95	8.52	5.42	18.30	8.97	58.68	43.19	0.9954	0.9859
A5	1.04	2.98	5.13	4.77	9.22	8.58	62.01	45.88	0.9988	0.9846
A6	0.63	ND*	5.03	ND*	11.29	ND*	39.07	3.24	0.9953	-
A7	0.79	2.95	5.82	6.47	14.36	13.07	47.51	48.61	0.9953	0.9834
A8	0.62	1.81	6.38	5.78	11.61	8.98	45.61	38.23	0.9927	0.9931
A9	1.07	0.43	4.22	0.82	7.19	1.74	26.27	7.64	0.9994	1.0000

* ND: not detected.

选取 A3 和 A8 两种样品,继续提高温度(160、180 °C)进行萃取,结果见表 2。文献^[23-25]报道 PC 瓶中 BPA 残留量为 4.8~91.5 μg/g。可以看出 160 °C 时双酚 A 的萃取量已经接近残留量,180 °C 时已经超过残留量的最大值。这可能是因为温度超过 160 °C 时,PC 材料可能发生了微弱的水解。

表 2 高温下 PC 样品中双酚 A 和苯酚的萃取量
Table 2 Amounts of BPA and phenol in PC samples extracted at high temperatures

Sample	Extracted amounts/(μg/g)			
	160 °C		180 °C	
	BPA	Phenol	BPA	Phenol
A3	78.12	52.72	120.24	85.71
A8	68.97	58.47	102.43	94.33

2.1.2 萃取时间和萃取次数的影响

由于 PC 是高分子聚合物,双酚 A 和苯酚包埋于高分子链中不易迁移出来,延长静态萃取时间可使目标分析物充分扩散到萃取剂中。本研究考察了

萃取温度为 130 °C 时不同萃取时间(30、60 和 90 min)对萃取效率的影响。实验结果表明,随着萃取时间的增加,双酚 A 和苯酚的萃取量都线性增加。

选取样品 A3 和 A8,在 130 °C 下,静态萃取 1.5 h,萃取 8 次,结果见图 1。由图 1 可知,随着萃取次数的增加,双酚 A 和苯酚的萃取量都在减少,而且前 4 次萃取时,分析物的萃取量减少显著;萃取 4 次之后,其萃取量减少的程度非常缓慢,趋于平稳。开始萃取时,残留在 PC 样品表面的双酚 A 和苯酚容易迁移出来,因而萃取量较大;之后,以包埋于 PC 高分子链内部的目标分析物为主,迁移较慢,故萃取量变小。另外一方面,长时间对 PC 材料进行萃取时,该材料可能发生了微弱的水解,这可能是萃取量在多次萃取后趋于平稳的原因之一。

综上所述可知,萃取温度越高,萃取时间越长或萃取次数越多,PC 水解的可能性就越大。为了保证 PC 材料不发生水解,本研究最终选取的萃取条件是

萃取温度 120 °C,萃取时间 1 h,萃取 1 次。

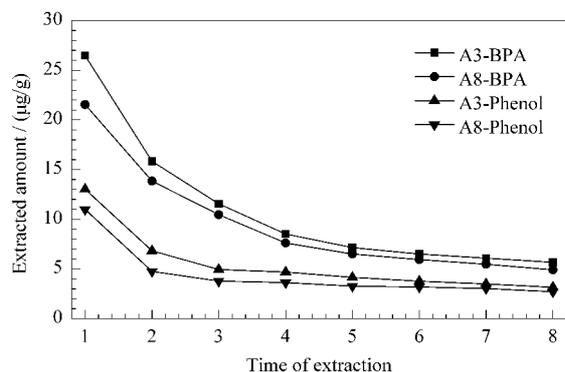


图 1 萃取次数对双酚 A 和苯酚萃取量的影响
Fig. 1 Effect of the time of extraction on the extracted amounts of BPA and phenol in PC samples

2.1.3 其他条件的影响

选取 A3 和 A8 两种样品,在 120 °C、萃取 1 h 条件下分别考察了压力和冲洗体积的影响,结果表明,压力对萃取效率的影响不大,冲洗体积为 100% 时萃取效率更高(见表 3)。

2.2 样品测定

2.2.1 SWE 法

在选定的萃取条件下对 11 种样品(B1 ~ B11)进行萃取,结果见表 4。从表 4 可以看出,11 种样品中双酚 A 的萃取量为 6.81 ~ 11.16 µg/g; B1 ~ B5 号样品中未检出苯酚,B6 ~ B11 号样品中苯酚的萃取量为 3.25 ~ 6.08 µg/g。B2、B3 和 B4 样品中的双酚 A 含量较低,且未检出苯酚;而 B6 和 B8 样品

中双酚 A 的含量最高,苯酚的含量也较高。这说明 PC 水杯的质量存在一定的差异。双酚 A 和苯酚混合标准溶液及采用不同萃取方法处理样品得到的色谱图见图 2。

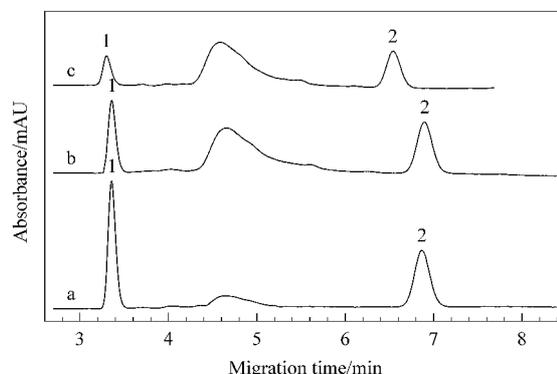


图 2 (a) 双酚 A 和苯酚混合标准溶液(0.5 mg/L)、(b) 采用 TSE 法萃取样品和 (c) 采用 SWE 法萃取样品的色谱图

Fig. 2 Chromatograms of (a) a mixed solution of BPA and phenol standards at 0.5 mg/L and a sample extracted by (b) the traditional soaking extraction and (c) the subcritical water extraction
Peaks: 1. phenol; 2. BPA.

2.2.2 TSE 法

浸提实验结果见图 3。图 3 表明,11 种样品的双酚 A 和苯酚的萃取量都随时间的延长而增加,但变化趋势不同。图 3a 中,样品 B1、B5、B6 及 B8 在萃取 8 d 后,双酚 A 的萃取速率明显增大,这可能是因为这些 PC 样品长时间浸泡于水中导致水解生成

表 3 压力和冲洗体积对 PC 样品中双酚 A 和苯酚萃取量的影响

Table 3 Effects of pressure and washing volume on the extracted amounts of BPA and phenol in PC samples

Sample	Extracted amounts/(µg/g)									
	3.45 MPa (500 psi)		6.89 MPa (1000 psi)		10.34 MPa (1500 psi)		30% Washing volume		100% Washing volume	
	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol
A3	8.48	5.34	8.83	4.89	8.66	4.79	6.81	4.57	8.75	4.96
A8	6.34	5.29	6.81	6.04	6.11	5.23	5.79	5.13	7.17	5.64

表 4 两种萃取方法测定 PC 样品中双酚 A 和苯酚结果的比较

Table 4 Comparison of the two extraction methods for the determination of BPA and phenol in PC samples

Sample	Sample amounts/g		Extracted amounts of BPA			Extracted amounts of phenol		
	SWE	TSE	SWE/(µg/g)	TSE/(µg/g)	RSD/%	SWE/(µg/g)	TSE/(µg/g)	RSD/%
B1	1.00	7.80	9.15	9.42	2.04	ND	ND	-
B2	1.00	11.79	8.32	8.12	1.73	ND	ND	-
B3	1.00	6.21	7.19	6.97	2.15	ND	ND	-
B4	1.00	7.65	6.81	4.64	26.83	ND	ND	-
B5	1.00	8.65	9.07	10.63	11.18	ND	ND	-
B6	1.00	7.18	11.16	16.15	25.84	6.08	6.27	2.16
B7	1.00	7.34	7.00	5.67	14.90	3.29	3.28	0.22
B8	1.00	6.77	10.55	12.73	13.25	4.41	5.24	12.16
B9	1.00	9.03	8.41	8.20	1.80	3.25	3.30	1.11
B10	1.00	7.30	8.05	7.56	4.43	4.27	4.85	8.96
B11	1.00	5.78	9.76	8.75	7.74	5.66	7.83	22.75

SWE: subcritical water extraction at 120 °C; TSE: traditional soaking extraction for 3 days; ND: not detected.

了双酚 A 的缘故;其余样品在 14 d 内的萃取速率基本保持不变,说明这些样品比较稳定,不易水解。萃取第 14 天时,不同 PC 样品之间双酚 A 萃取量的差距更加明显,其中, B6 样品中双酚 A 的质量浓度 (9.58 mg/L) 是 B4 样品中双酚 A 质量浓度 (1.40

mg/L) 的 6.8 倍。B1 ~ B5 样品中未检出苯酚,且随着浸提时间的延长,苯酚的萃取量并未增加;其他样品中苯酚的萃取量随着时间的延长而线性增加 (见图 3b)。图 3 充分说明 PC 样品间的稳定性相差很大。

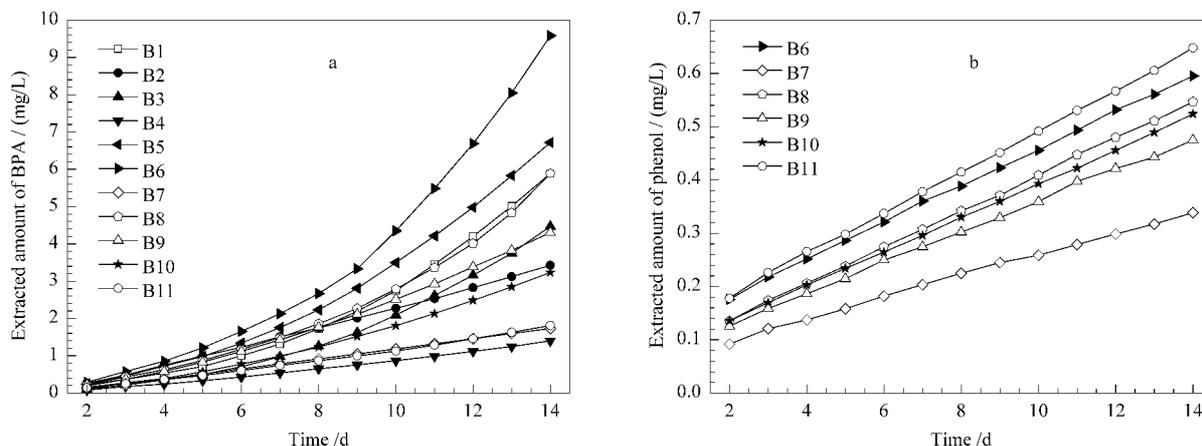


图 3 浸提时间对 PC 样品中 (a) 双酚 A 和 (b) 苯酚萃取浓度的影响
Fig. 3 Effect of soaking time on the extracted amounts of (a) BPA and (b) phenol

2.2.3 两种萃取方法的比较

比较 SWE 与 TSE 法萃取样品中双酚 A 的结果发现,除 B4 和 B6 样品外, SWE 法的萃取量与 TSE 法浸提 3 d 的萃取量很接近 (见表 4),二者测定结果的 RSD 为 1.73% ~ 14.90%。结合图 3a 可见, B4 样品中双酚 A 萃取量增加最慢;而 B6 样品中双酚 A 萃取量增加最快,且到后期发生了水解。这些特殊表现可能是造成两种萃取方法测定这两种样品中双酚 A 结果的 RSD 偏大的原因。

对比两种萃取方法萃取苯酚的萃取量发现,采用两种萃取方法均没有在 B1 ~ B5 样品中检测到苯酚;在 B6 ~ B10 样品中苯酚测定值的 RSD ≤ 12.16%。B11 样品中苯酚测定值的 RSD 达到 22.75%,而所检测的 11 个样品中 B11 的质量最小,说明该 PC 水杯偏薄,长时间的浸提对其结构产生较大的影响,这可能是造成偏差大的原因。

就萃取效率而言,所建立的 SWE 法比 TSE 法萃取双酚 A 和苯酚的效率分别提高 49 ~ 106 倍和 52 ~ 72 倍,加快了双酚 A 和苯酚的迁移,缩短了萃取时间,可用于测定 PC 材料中双酚 A 和苯酚的迁移量。

2.2.4 样品测定结果分析

根据欧盟 Commission Directive 2004/19/EC 中关于食品中双酚 A 限量的规定 (0.6 mg/kg),该 11 种样品中双酚 A 的迁移量均未超过限量。按照 SCF

关于人体每日摄入量 (0.01 mg/kg),可以估算出饮用水中双酚 A 的质量浓度限量为 0.3 mg/L (按体重为 60 kg 计,每日饮用 2 L 水)。样品 B1、B5、B6 和 B8 浸提 11 d 后双酚 A 的迁移量已经超过了该限量。含有苯酚的样品在浸提 0.5 h 后的浓度已超过了 WHO 规定的限量 (1 μg/L)。由此可见,一些 PC 水杯存在严重的安全隐患。

2.3 方法验证

2.3.1 方法的线性关系和检出限

对质量浓度分别为 0.05 ~ 20 mg/L 和 0.02 ~ 20 mg/L 的双酚 A 和苯酚标准溶液进行测定,以目标物的峰面积 (Y) 为纵坐标,质量浓度 (X) 为横坐标绘制标准曲线,线性方程分别为 $Y = 74860X + 984.7$ 和 $Y = 70756X + 513.56$,相关系数分别为 0.9998 和 0.9999。以 $S/N = 3$ 所对应的双酚 A 和苯酚的质量浓度确定 LOD,以 $S/N = 10$ 确定 LOQ,本方法中双酚 A 和苯酚的 LOD 分别为 7.6 μg/L 和 2.0 μg/L, LOQ 分别为 25.3 μg/L 和 6.0 μg/L。

2.3.2 方法的精密度和加标回收率

对 2 种样品中双酚 A 和苯酚的迁移量于同一日内重复测定 5 次, RSD < 5.21%; 隔天重复测定 5 次结果的 RSD < 11.63%。选取 3 种样品,萃取前分别加入质量浓度为 10 mg/L 双酚 A 和苯酚标准溶液 200 μL 和 400 μL 进行回收率试验,测定回收率在 95.3% ~ 102.3% 之间 (见表 5)。

表 5 3 种样品中双酚 A 和苯酚的加标回收率和精密度 (n=3)
Table 5 Recoveries and precisions of BPA and phenol spiked in three samples (n=3)

Sample	Background/($\mu\text{g/g}$)		Spiked/($\mu\text{g/g}$)		Recovery/%	
	BPA	Phenol	BPA	Phenol	BPA	Phenol
B7	7.00 (4.13%)*	3.29 (3.98%)	2.0	2.0	95.3 (3.21%)	96.6 (4.13%)
			4.0	4.0	97.8 (2.74%)	98.4 (5.28%)
B8	10.55 (2.15%)	4.41 (1.78%)	2.0	2.0	96.2 (4.31%)	96.7 (3.62%)
			4.0	4.0	99.5 (1.93%)	98.1 (2.39%)
B11	9.76 (3.56%)	5.66 (3.27%)	2.0	2.0	98.8 (2.56%)	102.3 (3.94%)
			4.0	4.0	101.6 (3.82%)	99.6 (4.21%)

* The data in the brackets are the RSD.

3 结论

该研究建立了亚临界水萃取-高效液相色谱同时测定 PC 水杯中双酚 A 和苯酚迁移量的方法。在优化的萃取条件下测定了 11 种实际样品,并与传统浸提法的测定结果进行了对比。结果表明 SWE 法比传统浸提法的提取效率提高了 49~106 倍。亚临界水萃取法处理样品的方法简便、自动化程度高、快速、准确、环保,可用来测定 PC 材料中双酚 A 和苯酚的迁移量,并且可据此快速鉴别出奶瓶是否为 PC 材质。

参考文献:

- [1] Vom Saal F S, Akingbemi B T, Belcher S M, et al. *Reprod Toxicol*, 2007, 24: 131
- [2] Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR): Public Health Statement for Phenol. (2008-09). <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp115-c1-b.pdf>
- [3] McCall I C, Betanzos A, Weber D A, et al. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2009, 241: 61
- [4] US Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS): Bisphenol A (CASRN 80-05-7). [2012-09-12]. <http://www.epa.gov/iris/subst/0356.htm>
- [5] European Commission Scientific Committee on Food (SCF). Opinion of the Scientific Committee on Food on Bisphenol A. [2012-09-10]. http://www.europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html
- [6] Commission Directive 2004/19/EC
- [7] GB 9685-2008
- [8] World Health Organization (WHO). *Guideline for Drinking-water Quality*. Vol. 1. 3ed. Geneva: WHO, 2004
- [9] EPA 822-R-04-005
- [10] GB 5749-2006
- [11] Cooper J E, Kendig E L, Belcher S M. *Chemosphere*, 2011, 85: 943
- [12] Le H H, Carlson E M, Chua J P, et al. *Toxicol Lett*, 2008, 176: 149
- [13] Wong K O, Leo L W, Seah H L. *Food Addit Contam*, 2005, 22 (3): 280
- [14] Li X, Ying G G, Su H C, et al. *Environ Int*, 2010, 36: 557
- [15] Ehlert K A, Beumer C W E, Groot M C E. *Food Addit Contam*, 2008, 25(7): 904
- [16] Nam S H, Seo Y M, Kim M G. *Chemosphere*, 2010, 79: 949
- [17] Kubwabo C, Kosarac I, Stewart B, et al. *Food Addit Contam*, 2009, 26(6): 928
- [18] Gao Y G, Zhang Y Y, Gao J G, et al. *Chinese Journal of Chromatography* (高永刚, 张艳艳, 高建国, 等. 色谱), 2012, 30 (10): 1017
- [19] Brem S B, Grob K, Fjeldal P. *Eur Food Res Technol*, 2008, 227: 1053
- [20] Wan H Y, Lu Y C, Chen J, et al. *J Pharmaceut Biomed*, 2012, 58: 146
- [21] Murakami J N, Thurbide K B, Lambertus G, et al. *J Chromatogr A*, 2012, 1250: 80
- [22] GB/T 23296.1-2009
- [23] Biles J E, McNeal T P, Begley T H, et al. *J Agric Food Chem*, 1997, 45: 3541
- [24] Peng Q Z, Li T, Pan S Y. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology* (彭青枝, 李涛, 潘思轶. 中国卫生检验杂志), 2009, 19(4): 798
- [25] Huang S C, Hang Y P. *Chinese Journal of Chromatography* (黄少婵, 杭义萍. 色谱), 2010, 28(9): 863