

塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的含量分析

李荔群¹, 陈蓉芳², 高强¹, 厉曙光¹

摘要: [目的] 了解塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯类(phthalates)化合物的污染水平及其影响因素。[方法] 随机购买市售49种不同品牌的饮料作为研究对象,采用气相色谱法检测饮料中的邻苯二甲酸酯含量。[结果] 饮料中的邻苯二甲酸二丁酯(di-butyl phthalate, DBP)和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯[di-(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP]的检出率分别为98.0%和100.0%,平均含量分别为0.038 mg/L和0.071 mg/L,邻苯二甲酸二乙酯(di-ethyl phthalate, DEP)未检出;其中,茶饮料中DBP和DEHP的检出浓度范围分别为0~0.047 mg/L和0.045~0.146 mg/L;果汁饮料中DBP的最高检出浓度达0.127 mg/L,DEHP的检出浓度范围为0.060~0.371 mg/L;咖啡乳饮料中检出DBP和DEHP的最大值分别为0.081 mg/L和0.089 mg/L,最小值分别为0.032 mg/L和0.033 mg/L。果汁饮料和咖啡乳类饮料中DBP的含量均高于茶饮料($P=0.003$ 和 $P=0.002$),果汁饮料中DEHP的含量高于茶饮料和咖啡乳类饮料($P=0.001$ 和 $P=0.002$);拟合的线性回归模型结果显示,与茶饮料相比,果汁饮料和咖啡乳饮料中DBP浓度的对数值分别高出0.36个单位和0.50个单位;果汁饮料中DEHP浓度的对数值高于茶饮料0.47个单位,酸性组饮料中DEHP浓度的对数值比弱酸性组饮料高0.30个单位。[结论] 塑料瓶装饮料中DBP、DEHP检出率均很高,不同种类饮料中其含量差异有统计学意义,饮料中邻苯二甲酸酯均在国家规定限值内;但在饮料种类和存储时间固定的条件下,饮料中DEHP含量水平随着pH值变小而增大。

关键词: 邻苯二甲酸酯类; 塑料瓶装饮料; 气相色谱法

Analysis of Phthalic Acid Esters in Plastic Bottled Beverages LI Li-qun¹, CHEN Rong-fang², GAO Qiang¹, LI Shu-guang¹ (1. Department of Nutrition and Food Hygiene, Key Laboratory of Public Health Safety, Ministry of Education, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Shanghai Food and Drug Administration, Shanghai 200042, China). Address correspondence to LI Shu-guang, E-mail: leeshuguang@fudan.edu.cn

Abstract: [Objective] To determine the concentrations of di-ethyl phthalate (DEP), di-n-butyl phthalate (DBP) and di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in beverages bottled in plastic containers and to analyze the effect of some factors on the concentration of phthalates. [Methods] Forty-nine different brands of beverage were selected from the market and gas chromatography was applied to determine the level of phthalates in the beverage. The differences between three sorts of beverages (tea, juice, and dairy drinks) were tested by ANOVA and the effects of storage time and pH value on the concentration of phthalates in beverage were analyzed using Linear Regression Model. [Results] DEP wasn't found while the detection rates of DBP and DEHP in samples were 98.0% and 100% respectively with the average concentrations of 0.038 mg/L and 0.071 mg/L respectively. The detection range of DBP and DEHP in tea drinks were 0~0.047 mg/L and 0.045~0.146 mg/L respectively. The highest detection level of DBP in juice drinks was 0.127 mg/L, and DEHP was found in the range from 0.060 mg/L to 0.371 mg/L. The maximum concentrations of DBP and DEHP in dairy drinks were 0.081 mg/L and 0.089 mg/L respectively, and the minimum concentrations were 0.032 mg/L and 0.033 mg/L respectively. The levels of DBP in juice and dairy drinks were significantly higher than those in tea drinks ($P=0.003$ and $P=0.002$). The levels of DEHP in juice drinks were higher than those in tea and dairy drinks ($P=0.001$ and $P=0.002$). The fixed multivariate linear model showed that, the logarithms of DBP concentrations of juice and dairy drinks were 0.36 and 0.50 units higher than that of tea drinks, the logarithm of DEHP concentration of juice drinks was 0.47 units higher than that of tea drinks, and the logarithm of DEHP concentration of acid drinks was 0.30 units higher than that of weak acid drinks. [Conclusion] It can be concluded that the detection rates of DBP and DEHP in plastic bottled beverages were fairly high and their levels varied from the different kinds of drinks. However, the concentrations of phthalates meet the national prescribed standards. The major sources of phthalates in drinks are residues in raw material and migration from plastic bottles. Besides, the level of DEHP would increase with the pH value of drinks decreased.

Key Words: phthalates; plastic bottled beverage; gas chromatography

[基金项目] 2010 年上海市食品安全风险评估项目(编号: RA2010-12)

[作者简介] 李荔群(1987—),女,硕士生;研究方向:食品卫生;E-mail: 09211020026@fudan.edu.cn

[通信作者] 厉曙光教授; E-mail: leeshuguang@fudan.edu.cn

[作者单位] 1. 复旦大学公共卫生学院营养与食品卫生学教研室, 公共卫生安全教育部重点实验室, 上海 200032; 2. 上海市食品药品监督所, 上海 200042

起自2011年7月份,全球最大的塑化剂污染饮料事件——台湾的“起云剂”风波引起各方关注,其主要污染物是邻苯二甲酸酯类(phthalates)化合物的重要成员。邻苯二甲酸酯类化合物,其化学结构通常是由1个刚性平面芳烃和2个可塑的非线性脂肪侧链组成(见图1),在塑料中以氢键或范德华力与聚烯烃类塑料分子连接,彼此保留各自独立的化学性质,因而当接触包装食品中所含的水、油脂等物质时,邻苯二甲酸酯便会从塑料包装中迁移到食品中造成污染^[1]。动物实验表明,有些邻苯二甲酸酯具有肝、肾、肺、心脏及生殖等多组织系统的毒性^[2],其中以雄性生殖系统损害最为明显^[3-5]。此外,对女性生殖发育方面可能也存在着不同程度的影响。国内外研究提示血液中邻苯二甲酸酯的水平与女孩乳房过早发育、女性子宫内膜异位症等有关^[6-7]。邻苯二甲酸酯广泛存在于环境中,可以通过食物摄入、呼吸和皮肤接触等途径进入人体。据估计^[8],人体每天摄入的邻苯二甲酸酯约为30 μg/kg(按体重计),其中主要来源是摄入含有该物质残留的食品。郑仲等^[9]对塑料包装袋中的邻苯二甲酸酯含量进行分析,结果发现97%的塑料袋含有邻苯二甲酸酯,检出率较高的有邻苯二甲酸二丁酯(di-butyl phthalate, DBP)、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯[di-(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP]两种物质,杨科峰等^[10]通过检测食用油中邻苯二甲酸酯的含量,发现使用铁油桶的食用油邻苯二甲酸酯含量明显低于使用塑料容器。本研究拟通过测定市场上较常见的3类塑料瓶装饮料中DBP、DEHP和邻苯二甲酸二乙酯(di-ethyl phthalate, DEP)的含量,了解国内市场塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的污染水平,并分析塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯含量的各种影响因素,为塑料瓶装饮料安全的风险评估提供依据。

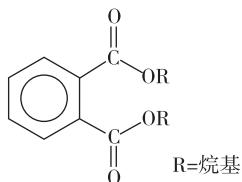


图1 邻苯二甲酸酯分子结构图

Figure 1 Phthalates structure

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

岛津GC2010气相色谱仪(日本岛津公司);TGML-16G高速冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂);涡旋混匀器(上海医大仪器厂);TJ-360超声波发生器(上海生源超声波仪器厂);ANPEL DC12氮吹仪(上海安普科学仪器有限公司);Mettle分析天平(梅特勒-托利多仪器公司)。

1.2 材料与试剂

邻苯二甲酸酯标准品:DEP(CAS No. 84-66-2, CP, ≥99.5%)、DBP(CAS No. 84-74-2, AR, ≥99.5%)、DEHP(CAS No. 117-81-7, CP, ≥99.0%),均为化学纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

正己烷(CAS No. 110-54-3, AR, ≥97.0%),分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司,使用前均经蒸馏纯化;高纯氮(上海比欧西,纯度为99.999%)。

1.3 样品采集与处理

样品:超市购49种塑料瓶装饮料,种类包括茶饮料、果汁饮料和咖啡奶类饮料等;检测样品覆盖国内各大知名饮料品牌。

准确吸取5 mL样品于30 mL玻璃管中,加入5 mL正己烷,涡旋混匀2 min,转移至10 mL具塞玻璃离心管中,超声振荡提取20 min后,以4 000 r/min离心10 min($r=13.0\text{ cm}$),吸取上清液于10 mL洁净玻璃管中。再以5 mL正己烷重复提取一次,合并提取液经0.22 μm微孔滤膜过滤后,45 ℃氮吹浓缩至干,加正己烷定容到200 μL,转入气相色谱专用样品管待测。

本实验过程中禁止使用塑料制品。

1.4 气相色谱分析条件

载气: N₂; 总流量: 74.8 mL/min; 柱流量: 2.32 mL/min; 色谱柱: HP-5 MS毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 进样方式: 自动,不分流; 进样量: 1 μL; 进样口温度: 280 ℃; 检测器: 氢火焰离子化检测器(FID); 检测器温度: 330 ℃; 柱温程序: 采用程序升温法,初温150 ℃,2 min后以20 ℃/min升温至300 ℃,保持5 min; 离子化方式: 氢火焰离子化(FI); 信号采集: 采样速度40 m/s。

1.5 标准曲线、回收率与精密度试验

标准曲线:分别准确吸取一定量的DEP、DBP和DEHP混合标准储备液,用正己烷配制一系列混合标准溶液,分别为0.5、1.0、5.0、10.0、20.0 mg/L,自动进样量为每次1 μL,反复测定6次,以峰面积对溶液浓度做线性回归分析。结果,3种邻苯二甲酸酯在0.5~20.0 mg/L浓度范围内线性关系良好,其相关系数均大于0.999。

回收率与精密度试验:随机选取10个不同品种的饮料,在3个浓度水平进行加标回收试验,由结果可知,当添加水平为0.02~0.20 mg/L时,平均加标回收率为81.4%~106.3%,相对标准偏差为2.5%~8.3%,可满足塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的分析要求。饮料中加DEP、DBP、DEHP标准品的色谱图如图2所示。

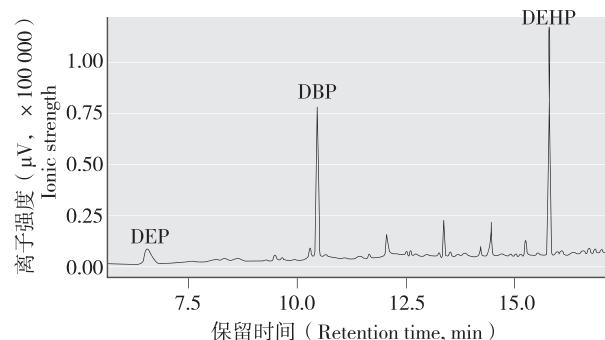


图2 饮料中加入DEP、DBP和DEHP标准品的色谱图

Figure 2 Chromatogram of DEP, DBP and DEHP in beverages with standards added

1.6 统计学分析

使用SPSS 16.0软件进行分析,由于饮料中DBP和DEHP含量呈偏态分布,数据经自然对数转换后进行分析,用几何均数(GM)进行描述;单因素分析采用方差分析、t检验等;利用线性回归模型做多因素分析。

2 结果

2.1 塑料瓶装饮料中 DBP 和 DEHP 的检出率及含量分布

49 种瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的检测结果(表 1)表明, 由于 DEP 检出率为 0, 故未对其进行进一步分析。饮料中 DBP、DEHP 的含量经正态性检验均呈偏态分布, 经对数转换后呈正态分布, 采用几何均数(GM)表示平均含量。结果显示 DBP、DEHP 的检出率较高, 平均浓度分别为 0.038 mg/L(95% 可信区间为 0.021~0.089 mg/L) 和 0.071 mg/L(95% 可信区间为 0.046~0.245 mg/L)。茶饮料中 DBP 和 DEHP 的检出浓度范围分别为 0~0.047 mg/L 和 0.045~0.146 mg/L。果汁饮料中 DBP 的最高检出浓度达 0.127 mg/L, DEHP 的检出范围为 0.060~0.371 mg/L; 咖啡乳饮料中检出 DBP 和 DEHP 的最大值分别为 0.081 mg/L 和 0.089 mg/L, 最小值分别为 0.032 mg/L 和 0.033 mg/L。

表 1 饮料中 DBP 和 DEHP 的检出率和含量分布($n=49$)

Table 1 The detection rates and distributions of DBP and DEHP in beverage

Phthalates	检出例数 Cases detected	检出率 Detection rate (%)	GM (mg/L)	含量分布 Distribution of concentration(mg/L)				
				P_5	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{95}
DBP	48	98.0	0.038	0.021	0.029	0.034	0.045	0.089
DEHP	49	100.0	0.071	0.046	0.056	0.070	0.090	0.245

2.2 不同饮料中 DBP、DEHP 含量比较

根据文献资料, 分别对可能影响塑料瓶装饮料中 DBP、DEHP 水平的因素进行单因素分析。本研究中主要纳入饮料种类、存储时间及 pH 值 3 大因素。其中存储时间(月)表示检测日期距离生产日期的时间长短, 分别为 1.5~12 个月不等; pH 值代表检测饮料的酸碱度, 范围在 3.5~7.0 之间。将这三大影响因素分组, 比较不同组间 DBP、DEHP 水平的对数值。49 种饮料按种类分为 3 组, 采用方差分析(ANOVA)对不同种类饮料中 DBP、DEHP 含量进行均值差数检验, 由于三组饮料中 DBP、DEHP 浓度的对数值均呈方差齐性(Levene 方差齐性检验 P 值分别为 0.097 和 0.926), 两两比较采用 LSD 法。表 2 显示, 果汁饮料和咖啡乳类饮料中 DBP 的含量(分别为 $P=0.003$ 和 $P=0.002$)均高于茶饮料; 茶饮料和咖啡乳类饮料中 DEHP 的含量(分别为 $P=0.001$ 和 $P=0.002$)均低于果汁饮料。以存储时间 3 个月为分界点, 将数据转化为分类资料, 结果显示饮料中 DBP 和 DEHP 含量(分别为 $P=0.171$ 和 $P=0.240$)在不同存储时间组内差异无统计学意义。根据 pH 值将饮料分为酸性($pH \leq 4$)和弱酸性($pH > 4$), 酸性饮料组 DEHP 含量(0.079 mg/L)高于弱酸性饮料组的含量(0.058 mg/L), 差异有统计学意义($P=0.004$)。

表 2 不同饮料中 DBP 和 DEHP 含量的比较

Table 2 Comparison of the concentrations of DBP and DEHP in various drinks

因素 Factors	分类 Sorts	检测数 Number	DBP			DEHP		
			检出数 Cases detected	检出率(%) Detection rate	GM (mg/L)	检出数 Cases detected	检出率(%) Detection rate	GM (mg/L)
饮料种类 Drink type	茶饮料(Tea drinks)	20	19	95.0	0.029	20	100.0	0.061 ^b
	果汁饮料(Juice drinks)	21	21	100.0	0.042 ^a	21	100.0	0.093
	咖啡乳类(Dairy drinks)	8	8	100.0	0.049 ^a	8	100.0	0.059 ^b
存储时间(月) Storage time(Month)	≤ 3	25	25	100.0	0.040	25	100.0	0.076
	> 3	24	23	95.8	0.034	24	100.0	0.066
pH 值 pH	≤ 4	33	33	100.0	0.040	33	100.0	0.083 ^c
	> 4	16	15	93.8	0.033	16	100.0	0.058

[注]^a: 方差分析, 与茶饮料中的 DBP 含量比较(Compared with the level of DBP in tea drinks), $P<0.05$; ^b: 与果汁饮料中的 DEHP 含量比较(Compared with the level of DEHP in juice drinks), $P<0.05$; ^c: 与 pH 值 > 4 的饮料中的 DEHP 含量比较(Compared with the level of DEHP in drinks that pH value above 4), $P<0.05$ 。

2.3 饮料中 DBP、DEHP 含量影响因素分析

利用线性回归模型做多因素分析, 以 DBP、DEHP 浓度的对数值为应变量, 将饮料种类、存储时间和 pH 值等可能影响因素纳入一般线性模型中, 结果显示, 果汁饮料和咖啡乳类饮料的 DBP 含量仍显著高于茶饮料的含量($P<0.05$); 饮料中 DEHP 含量在不同酸度组中差异仍具有统计学意义($P=0.008$), 且果汁饮料中 DEHP 含量较茶饮料中高($P=0.010$); 存储时间因素未对各组间 DBP、DEHP 的含量造成影响。

分别剔除无统计学意义的因素后, 以 DBP 浓度的对数值

为应变量, 以饮料种类为自变量拟合一般线性模型, 结果如表 3 所示, 与茶饮料相比, 果汁饮料中 DBP 浓度的对数值要高出 0.36 个单位($P=0.003$), 咖啡乳饮料中 DBP 浓度的对数值要高出 0.50 个单位($P=0.002$)。

以 DEHP 浓度的对数值为应变量, 以饮料种类、饮料 pH 值为自变量拟合一般线性模型, 结果见表 3, 与茶饮料相比, 果汁饮料中 DEHP 浓度的对数值要高出 0.47 个单位($P=0.006$); 酸性组饮料中 DEHP 浓度的对数值比弱酸性组饮料高 0.30 个单位($P=0.036$)。

表 3 饮料中 DBP、DEHP 含量影响因素分析(线性回归模型, $n=49$)Table 3 Linear regression analysis of the factor related to the level of DBP and DEHP in drinks($n=49$)

成分(Content)	因素(Factors)	比较组(Comparison group)	参照组(Reference group)	β	SE	t	P
DBP	饮料种类(Drink type)	果汁饮料(Juice drinks)	茶饮料(Tea drinks)	0.36	0.114	3.164	0.003
		咖啡乳饮料(Dairy drinks)	茶饮料(Tea drinks)	0.50	0.152	3.277	0.002
DEHP	饮料种类(Drink type)	果汁饮料(Juice drinks)	茶饮料(Tea drinks)	0.47	0.177	2.893	0.006
		咖啡乳饮料(Dairy drinks)	茶饮料(Tea drinks)	-0.031	0.191	-0.226	0.822
	饮料 pH 值(pH)	$pH \leq 4$	$pH > 4$	0.30	0.144	2.158	0.036

3 讨论

邻苯二甲酸酯作为增塑剂被广泛应用于食品包装、饮料包装等多种塑料制品中^[11], 其安全性是国内外的研究热点之一。本研究结果表明, 尽管饮料中 DBP、DEHP 含量(分别为 0.038 mg/L 和 0.071 mg/L)并未超过《食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准》(GB 9685—2008)^[12]规定的塑料食品包装材料中 DBP 和 DEHP 的特定迁移量(分别为 0.3 mg/L 和 1.5 mg/L), 但远高于“饮用水源水中有害物质最高允许浓度”中规定的 DBP、DEHP 限值(分别为 3 μg/L 和 8 μg/L)。

塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的来源可能有生产原料中残留的邻苯二甲酸酯、生产过程人为添加、生产过程接触到的塑料和包装材料中邻苯二甲酸酯的溶出。本研究结果发现, 不同饮料种类中邻苯二甲酸酯的含量差异有统计学意义。果汁饮料中 DBP、DEHP 含量显著高于茶饮料, 这可能与水果受邻苯二甲酸酯污染较严重^[13]有关。咖啡乳饮料中 DBP 含量显著高于茶饮料, 这可能与咖啡乳饮料中脂肪含量较高而增大邻苯二甲酸酯溶出有关^[14]。与台湾“塑化剂”风波中, 运动型饮料 DEHP 的检出浓度高达 30 mg/L 相比, 本实验样品中 DEHP 最高浓度仅为 0.371 mg/L, 远低于台湾受污染饮料中的 DEHP 水平, 因此人为添加增塑剂的可能性很小。

由于本研究检测的 49 种塑料瓶装饮料, 所用的塑料瓶 98% 为聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)瓶, 根据《食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准》^[12]规定, PET 塑料中 DBP、DEHP 的最大使用量分别为 10% 和 40%。虽然有报道指出, PET 材料在其生产过程中, 不需添加 DBP 和 DEHP 作为塑料助剂, 但国外研究显示 PET 包装可能溶出环境内分泌干扰物^[15], 其中包括邻苯二甲酸酯。因此塑料包装可能是饮料中 DBP、DEHP 检出率高的一个重要原因。

影响塑料包装中邻苯二甲酸酯溶出的因素有很多, 包括包装材料中邻苯二甲酸酯浓度、贮存时间、贮存温度、脂肪含量、pH 值、阳光照射等^[14]。本研究认为 pH 值可能影响塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯的溶出。有研究显示^[16], 塑料颗粒中的邻苯二甲酸酯在中性条件下的水溶液中溶出量很小, 但酸性和碱性条件下, 促进邻苯二甲酸酯水解, 溶出量显著增加。本研究结果中饮料 DEHP 水平与 pH 值呈显著负相关, 与该规律吻合。此外, 有研究提示饮料中邻苯二甲酸酯迁移量与存储时间存在相关性^[17], 该研究发现, PET 瓶包装的乳酸菌饮料中 DEHP 的迁移浓度在 25 d 内呈不断上升趋势, 存储时间 25 d 时迁移量达到总迁移水平的 80%。本次测量的 49 种塑料瓶装饮料生产日期距测量日期的时间为 1.5 个月到 12 个月, 均已超过 25 d, 所以并未观察到存储时间对 DBP 和 DEHP 水平有显著影响作用。

因此, 本研究认为饮料中邻苯二甲酸酯主要来源于饮料生产原料中邻苯二甲酸酯的少量残留以及生产过程接触到的塑料或包装中邻苯二甲酸酯的少量溶出, 其水平远低于世界卫生组织推荐的 DEHP 成人每日允许摄入量 25 μg/kg(按体重计), 不会对人体造成损伤。

本研究提示, PET 是目前国内瓶装饮料的主要包装材料, 其塑料瓶装饮料中邻苯二甲酸酯检出率较高, 但检出浓度均在国家规定限值以内, 因此塑料瓶装饮料中含有的微量 DBP 和 DEHP 等是正常的迁移现象。今后应该研究在增大样本量的同

时, 可以对饮料的基本营养成分进行分析, 如脂肪含量等, 以进一步探讨可能影响饮料中邻苯二甲酸酯水平的因素。

参考文献:

- [1] 崔学慧, 李炳华, 陈鸿汉, 等. 中国土壤与沉积物中邻苯二甲酸酯污染水平及其吸附研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 472-479.
- [2] 厉曙光, 赵文红, 金泰廙. 邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯对小鼠脏器损伤作用[J]. 中国公共卫生, 2006, 22(5): 589-591.
- [3] 王炜, 魏光辉, 邓永继, 等. 邻苯二甲酸二-(2-乙基己基)己酯致小鼠隐睾症和附睾的组织病理学改变[J]. 中华男科学杂志, 2004, 10(11): 807-814.
- [4] HAUSER R, MEEKER JD, DUTY S, et al. Altered semen quality in relation to urinary concentrations of phthalate monoester and oxidative metabolites[J]. Epidemiology, 2006, 17(6): 682-691.
- [5] LI S, DAI J, ZHANG L, et al. An association of elevated serum prolactin with phthalate exposure in adult men[J]. Biomed Environ Sci, 2011, 24(1): 31-39.
- [6] COLÓN I, CARO D, BOURDONY CJ, et al. Identification of phthalate esters in the serum of young Puerto Rican girls with premature breast development[J]. Environ Health Perspect, 2000, 108(9): 895-900.
- [7] 乔丽丽, 郑力行, 蔡德培. 上海市女童血清中邻苯二甲酸二丁酯和邻苯二甲酸-2-乙基己酯水平与性早熟关系研究[J]. 卫生研究, 2007, 36(1): 93-95.
- [8] DOULL J, CATTLEY R, ELCOMBE C, et al. A cancer risk assessment of di(2-ethylhexyl)phthalate: application of the new U.S. EPA Risk Assessment Guidelines[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 1999, 29(3): 327-357.
- [9] 郑仲, 何品晶, 邵立明. 塑料包装物中邻苯二甲酸酯的分布统计分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 637-640.
- [10] 杨科峰, 厉曙光, 蔡智鸣. 食用油及其加热产物中酞酸酯类增塑剂的分析[J]. 环境与职业医学, 2002, 19(1): 37-39.
- [11] 刘丽, 牟峻, 杨左军, 等. 聚氯乙烯塑料中增塑剂的气相色谱/质谱法分析[J]. 分析化学, 2002, 30(3): 289-291.
- [12] 中华人民共和国卫生部标准化管理委员会. GB 9685—2008 食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 蔡智鸣, 史馨, 毛枫华, 等. 食品中酞酸酯类环境污染物的 GC-MS 测定[J]. 同济大学学报: 医学版, 2005, 26(3): 1-3.
- [14] 姚卫蓉. 食品中酞酸酯类污染物的研究概况[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(6): 21-23.
- [15] SAX L. Polyethylene terephthalate may yield endocrine disruptors[J]. Environ Health Perspect, 2010, 118(4): 445-448.
- [16] 郑文芝, 周勇强, 张霖霖. PVC 塑料制品中增塑剂 PAEs 在水环境中迁移规律的研究[J]. 广东化工, 2006, 33(155): 29-30.
- [17] FARHOODI M, EMAM-DJOMEH Z, EHSANI MR, et al. Effect of environmental conditions on the migration of di(2-ethylhexyl)phthalate from PET bottles into yogurt drinks: influence of time, temperature, and food simulant[J]. Arabian J Sci Eng, 2008, 33(2B): 279-287.

(收稿日期: 2011-06-12)

(英文编审: 黄建权; 编辑: 张晶; 校对: 洪琪)