DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250911004
引用格式: 樊继彩, 何华丽, 边天斌, 等. 市售酒中邻苯二甲酸酯类塑化剂含量水平分析及风险暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 340–346.
FAN JC, HE HL, BIAN TB, *et al*. Analysis of phthalate esters plasticizers in marketed liquors and assessment of exposure risks [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 340–346. (in Chinese with English abstract).

市售酒中邻苯二甲酸酯类塑化剂含量水平分析及风险暴露评估

樊继彩, 何华丽, 边天斌, 任 韧*

[杭州市疾病预防控制中心(杭州市卫生监督所),
浙江省感染与免疫多组学重点实验室, 杭州 310021]

摘 要: 目的 了解杭州市售酒中邻苯二甲酸酯类(phthalate esters, PAEs)塑化剂的污染水平; 对比不同类型酒类样品以及不同采样环节采集样品中 PAEs 含量的不同; 评估杭州市民 PAEs 的暴露风险。**方法** 采用气相色谱-串联质谱法(gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)对市售 97 份酒类样品中 PAEs 的污染状况进行调查; 利用点评估法对杭州市民摄入的 PAEs 进行膳食暴露评估。**结果** 酒中共有邻苯二甲酸二甲酯(dimethyl phthalate, DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(diethyl phthalate, DEP)、邻苯二甲酸二异丁酯(diisobutyl phthalate, DIBP)、邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)、邻苯二甲酸双-2-乙氧基乙酯[bis(2-ethoxyethyl) phthalate, DEEP]、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯[bis(2-ethylexyl) phthalate, DEHP]和对苯二甲酸二(2-乙基)己酯[bis(2-ethylhexyl) terephthalate, DOTP] 7 种塑化剂被检出, DBP 的检出率最高, 为 67.0%, DEEP 和 DOTP 的检出率仅为 3.1%和 1.0%。DEP、DEEP 和 DOTP 平均浓度值均小于检出限(limit of detection, LOD)。有 5 份样品 DBP 含量超出国家标准限量值。6 个类别酒中, PAEs 的检出种类、检出率及检出浓度均不同; 3 种不同采样环节采集样本中, PAEs 的检出率和检出浓度也不相同。DMP、DIBP、DBP 和 DEHP 的膳食暴露量分别为 0.01、0.02、0.08 和 0.006 μg/(kg bw • d), 危害指数(hazard index, HI)为 1.2×10^{-3}。**结论** 酒中 DIBP、DBP 和 DEHP 最大值的膳食暴露量分别为 0.1、0.9 和 0.1 μg/(kg bw • d), 均小于每日耐受摄入量(tolerable daily intake, TDI), HI 远小于 1, 由饮酒造成的 PAEs 健康风险较低。

关键词: 酒; 邻苯二甲酸酯类塑化剂; 膳食暴露评估

收稿日期: 2025-09-11
基金项目: 2024 年度杭州市农业与社会发展领域公益性科研引导项目(20241029Y082); 浙江省重点实验室建设项目(2024ZY01026); 杭州市医学重点学科建设项目(2025HZGF13)

第一作者: 樊继彩(1981—), 女, 博士, 主任技师, 主要研究方向为理化分析。E-mail: fanjc224@163.com
***通信作者:** 任韧(1974—), 女, 主任技师, 主要研究方向为理化分析。E-mail: hzrren@sina.com

Analysis of phthalate esters plasticizers in marketed liquors and assessment of exposure risks

FAN Ji-Cai, HE Hua-Li, BIAN Tian-Bin, REN Ren*

[*Hangzhou Center for Disease Control and Prevention* (*Hangzhou Health Supervision Institution*), *Zhejiang Key Laboratory of Multi-omics in Infection and Immunity*, *Hangzhou* 310021, *China*]

ABSTRACT: Objective　To investigate the contamination level of phthalate esters (PAEs) plasticizers in marketed liquors, compare the content of PAEs in different types of alcohol samples and samples collected from different sampling links, evaluate the exposure risk of citizens of Hanghzou. **Methods**　The contamination status of PAEs in 97 marketed liquors samples was investigated using gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS), and a point estimate method was applied to assess the dietary exposure of Hangzhou residents to PAEs. **Results**　The 7 kinds of plasticizers including dimethyl phthalate (DMP), diethyl phthalate (DEP), diisobutyl phthalate (DIBP), dibutyl phthalate (DBP), bis(2-ethoxyethyl) phthalate (DEEP), bis(2-ethylexyl) phthalate (DEHP) and bis(2-ethylhexyl) terephthalate (DOTP) were detected in liquors, the detection rates of DBP was the highest, it was 67.0%, but the detection rates of DEEP and DOTP were only 3.1% and 1.0%. The mean concentration values of DEP, DEEP and DOTP were blow the limit of detection (LOD). The 5 sample was detected above the limit value of DBP. The types, detection rate and concentration of the detected PAEs were different among the 6 kinds of liquors; meanwhile, the detection rate and concentration of PAEs were also different among the samples collected from the 3 kinds of different sampling links. The mean dietary exposure values for DMP, DIBP, DBP and DEHP were 0.01, 0.02, 0.08 and 0.006 μg/(kg bw • d),　hazard index (HI) was 1.2×10^{-3}. **Conclusion**　The max exposure values of DIBP, DBP and DEHP in liquors are 0.1, 0.9 and 0.1 μg/(kg bw • d), respectively, all of which are less than the tolerable daily intake (TDI), HI is far less than 1 and the health risk of PAEs caused to drinking is low.

KEY WORDS: liquors; phthalate esters plasticizers; dietary exposure assessment

0　引　言

塑化剂是在工业生产上被广泛使用的高分子材料, 普遍应用于塑料制品材料中, 为了增加塑料的可塑性和提高塑料的强度[1–3]。狭义的塑化剂主要是指邻苯二甲酸酯类(phthalate esters, PAEs), 是一类脂溶性化合物, 具有很强的雌激素生物效应, 可以导致机体内分泌紊乱, 对人体的内分泌系统造成严重的危害[4–6]。

PAEs 难溶于水, 易溶于有机溶剂, 它是否会发生迁移取决于物体本身的塑化剂含量及使用条件。酒的主要成分是乙醇, PAEs 化合物在乙醇中迁移率较高[7]。有研究显示, 在白酒的发酵、蒸馏、储藏等生产工艺过程中, 都有塑化剂迁移的可能。一旦酒与塑料制品接触, 塑化剂极有可能会从塑料制品迁移到酒中[8–13]。

酒作为一种饮品, 已经成为了人们日常生活中不可缺少的佳酿。酒的质量安全问题关系到人们的健康和酒行业的健康发展。酒中 PAEs 塑化剂的污染除了会对人群的健康产生影响, 还容易引起消费者恐慌, 造成酒企的产业动荡以及相关的食品安全事件等[14–15]。

2012 年酒鬼酒塑化剂事件后, 质检部门进行了一系列的部署, 对全国白酒生产企业进行了深入的排查。第一, 深入调查并锁定白酒中 PAEs 物质的可能引入途径; 第二, 从源头抓起, 果断采取调整工艺流程、更新生产设备、置换所有相关接触材料和包装等整改措施; 第三, 必须将排查及整改情况主动、如实地向监管部门报告。另外, 现有研究大多是针对一类酒进行了 PAEs 塑化剂残留的检测和分析, 对多种酒类的监测较少。因此, 本研究随机抽取杭州地区市售酒类样品 97 份, 测定其中 18 种塑化剂的含量, 了解生产企业调整工艺设备后, 酒中塑化剂污染状况是否得到明显改善; 同时, 对检测结果进行统计分析, 评估杭州居民通过饮用酒类产品造成的暴露风险, 以期为政府的审慎决策、部门的有效监管、风险的精准评估预警以及消费者的理性选择提供数据支撑与科学依据。

1　材料与方法

1.1　仪器与试剂

安捷伦 7890B 7000B 气相色谱串联三重四级杆质谱仪 (gas chromatography-tandem mass spectrometer, GC-MS/MS)、DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm) (美国 Agilent 公司)。

正己烷(色谱纯, 德国默克公司); 实验所用水为超纯水; PAEs 混标: 邻苯二甲酸二甲酯(dimethyl phthalate, DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(diethyl phthalate, DEP)、邻苯二甲酸二异丁酯(diisobutyl phthalate, DIBP)、邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)、邻苯二甲酸二甲氧乙酯[bis(2-methoxyethyl) phthalate, DMEP]、邻苯二甲酸双-4-甲基-2-戊酯[bis(4-methyl-2-pentyl) phthalate, BMPP]、邻苯二甲酸双-2-乙氧基乙酯[bis(2-ethoxyethyl) phthalate, DEEP]、邻苯二甲酸二戊酯(dipentyl phthalate, DPP)、邻苯二甲酸二己酯(di-n-hexyl phthalate, DHXP)、邻苯二甲酸丁基苄基酯(butyl benzyl phthalate, BBP)、邻苯二甲酸二丁氧基乙酯[bis(2-n-butoxyethyl) phthalate, DBEP]、邻苯二甲酸二环己酯(dicyclohexyl phthalate, DCHP)、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯[bis(2-ethylexyl) phthalate, DEHP]、邻苯二甲酸二苯酯(diphenyl phthalate, DPhP)、邻苯二甲酸二正辛酯(di-n-octyl phthalate, DNOP)、邻苯二甲酸二壬酯(dinonyl phthalate, DNP)、16 种内标(D_4-DMP、D_4-DEP、D_4-DIBP、D_4-DBP、D_4-DMEP、D_4-BMPP、D_4-DEEP、D_4-DPP、D_4-DHXP、D_4-BBP、D_4-DBEP、D_4-DCHP、D_4-DEHP、D_4-DPhP、D_4-DNOP、D_4-DNP)(质量浓度 1000 mg/L, 北京坛墨质检科技有限公司); 间苯二甲酸二(2-乙基)己酯[di(2-ethylhexyl) isophthalate, DOIP]、对苯二甲酸二(2-乙基)己酯[bis(2-ethylhexyl) terephthalate, DOTP] (250 mg, 纯度 99.9%, 北京曼哈格生物科技有限公司)。

1.2 样品来源

随机抽取商店、农贸市场和线上网店销售的保质期内的含酒精类样品, 其中白酒 36 份, 啤酒 19 份, 葡萄酒 17 份, 配制酒 10 份, 黄酒 9 份, 威士忌 6 份, 共计 97 份。

1.3 实验方法

按照 GB 5009.271—2016《食品安全国家标准 食品中邻苯二甲酸酯的测定》中液态试样 A 的处理方法进行样品前处理。

1.4 实验环境本底分析

PAEs 塑化剂分析的主要问题是污染, 且污染的风险存在于整个分析过程中[16]。因此, 所有玻璃器皿使用超纯水淋洗 3 次, 在 400 ℃烘烤 4 h, 然后用丙酮浸泡 0.5 h, 晾干后备用。同时, 做空白实验。空白本底值为: DBP 6.1 μg/kg, 其他 17 种塑化剂本底均低于检出限(limit of detection, LOD)。

1.5 仪器条件

1.5.1 色谱条件

色谱柱: DB-5MS (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)毛细管柱; 柱温: 初始柱温 60 ℃, 保持 1 min; 以 20 ℃/min 升温至 220 ℃, 保持 1 min; 再以 5 ℃/min 升温至 250 ℃, 保持 1 min; 再以 20 ℃/min 升温至 290 ℃, 保持 7.5 min; 流速: 1.0 mL/min, 恒流模式; 进样口温度: 260 ℃; 进样模式: 不分流进样; 进样量: 1 μL。

1.5.2 质谱条件:

电离方式: 电子轰击电离源(electron ionization source, EI); 电离能量: 70 eV; 传输线温度: 280 ℃; 离子源温度: 230 ℃; 监测方式: 选择离子扫描(selected ion monitoring, SIM), 具体监测条件见表 1。

表 1 PAEs 及其内标的监测条件

Table 1 Monitoring conditions for PAEs and their internal standards

名称	保留时间/min	定量离子(*m*/*z*)	定性离子(*m*/*z*)
DMP	7.795	163	77, 194, 133
D_4-DMP	7.787	167	137, 198
DEP	8.664	149	177, 105, 222
D_4-DEP	8.652	153	181, 109
DIBP	10.427	149	223, 104, 167
D_4-DIBP	10.413	153	227, 108
DBP	11.203	149	223, 205, 104
D_4-DBP	11.184	153	209, 227
DMEP	11.519	149	59, 104, 176
D_4-DMEP	11.500	153	76, 108
BMPP	12.181	149	167, 251
D_4-BMPP	12.162	153	171, 255
DEEP	12.606	149	104, 193
D_4-DEEP	12.587	153	108, 197
DPP	13.031	149,	237, 219, 104
D_4-DPP	13.012	153	241, 223, 108
DHXP	15.246	149	251, 104, 233
D_4-DHXP	15.223	153	255, 108
BBP	15.246	149	104, 206, 132
D_4-BBP	15.223	153	210, 136
DBEP	16.902	149	101, 85, 193
D_4-DBEP	16.878	153	105, 197
DCHP	17.585	149	167, 249, 104
D_4-DCHP	17.566	153	171, 253
DEHP	17.736	149	167, 279
D_4-DEHP	17.712	153	171, 283
DPhP	17.887	225	104, 153
D_4-DPhP	17.868	229	108, 157
DOIP	19.050	261	149, 167, 279
DNOP	19.446	279	104, 261, 149
D_4-DNOP	19.432	153	283, 108
DOTP	19.536	261	149, 167, 279
DNP	20.869	149	293, 167, 275
D_4-DNP	20.855	153	297, 171

1.6　低水平数据处理

依据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)关于低水平污染物数据处理的指南, 对于检测结果低于方法 LOD 且未检出率不超过 60%的样品, 采用以 1/2LOD 值进行赋值的方式进行后续统计分析, 未检出率大于 60%的样品以“0”进行统计分析[17]。

1.7　塑化剂膳食暴露水平评估

采用点评估法[18], 基于样品中测得的 PAEs 含量, 结合酒类食品的平均消费量数据, 估算该物质的每日人均膳食暴露量。计算如公式(1):

$$EXP_i = C \times F / BW \quad (1)$$

式中: EXP_i为每人每天某种PAEs的膳食暴露量, μg/(kg bw • d); C 为酒类样品中 PAEs 含量的平均值, mg/kg; F 为酒类食品的人均日消费量, g/d; BW 为平均体重, kg。

PAEs物质的风险评估采用危害指数(hazard index, HI)法, 考虑多种 PAEs 共同作用的累积暴露风险。HI 在本研究中指有检出且含量的平均值大于 LOD 的 PAEs (DMP、DIBP、DBP 和 DEHP)暴露水平与其参考限值的比值之和, 即危害商(hazard quotient, HQ)之和[19], 计算如公式(2):

$$HI = \sum HQ = \sum \frac{EXP_i}{RV_i} \quad (2)$$

式中: HI 为各 PAEs 的危害商之和; RV_i(参考值, reference value)为某种 PAEs 的每日允许摄入量参考限值; HQ 为某种 PAEs 每日暴露量。当 HI<1 时, 认为 PAEs 的累积暴露风险可被接受; 当 HI≥1 时, 认为 PAEs 的累积暴露可能对健康造成危害。鉴于我国尚未建立 PAEs 塑化剂暴露限值的相关标准, 本研究援引美国环境保护署提出的经口摄入参考剂量, 针对 DMP、DIBP、DBP 和 DEHP 计算其 HI, 4 种塑化剂的 RV 分别为 1070、200、100 和 20 μg/(kg bw • d)[20–23]。

1.8　数据处理

采用 Agilent MassHunter 软件进行原始数据处理, Microsoft Excel 2007 进行数据统计, 采用 Origin pro8 进行统计学数据处理分析。

2　结果与分析

2.1　含酒精样品中 PAEs 塑化剂总体污染状况

本方法中, 18 种目标 PAEs 塑化剂的 LOD 为 5.0 μg/kg, 定量限(limit of quantitation, LOQ)为 20.0 μg/kg。在采集的 97 份样品中, 共有 87 份检出 PAEs 物质, 总检出率为 89.7%。所检测的 18 种目标物中, 实际检出的有 7 种, 分别为 DMP、DEP、DIBP、DBP、DEEP、DEHP 和 DOTP。DBP 的检出率最高, 为 67.0%, 其次为 DMP 和 DIBP, 检出率分别为 56.7%和 46.4%; DEEP 和 DOTP 的检出率仅为 3.1%和 1.0%, 仅有 2 份啤酒和 1 份威士忌中检出有 DEEP ; 1 份白酒中检出 DOTP。7 种 PAEs 中, DMP 和 DEP 有内脏毒性, 但毒性较低; DIBP、DBP 和 DEHP 具有生殖毒性和发育毒性; DEEP 具有潜在的生殖发育毒性; DOTP 是 DEHP 的同分异构体, 毒性较 DEHP 小, 但 DOTP 可能影响内分泌, 可能引起育龄妇女子宫肌瘤[24–27]。DMP、DEP、DIBP、DBP、DEEP 和 DEHP 是塑料制品中常用的几种增塑料, 本课题组以往的研究[28]也发现不同类型的食品包装材料中基本都会检出这几种塑化剂, 另外, DOTP 是目前公认的环保、低毒增塑剂, 是替代DEHP等有毒PAEs的优秀选择, 在塑料制品中的应用越来越多, 因此检出率也越来越高[27]。有检出的 7 种 PAEs 中, DEP、DEEP 和 DOTP 平均浓度均小于 LOD, 只有 DMP 和 DBP 的中位值大于 LOD。DBP 检出最高浓度为 872.4 μg/kg, 有 5 份样品超出 GB 9685—2008《食品容器、包装材料用添加剂使用卫生标准》的限量值(0.3 mg/kg), DEHP 最高检测浓度为 108.4 μg/kg, 均未超过国家标准限量值(1.5 mg/kg)。根据 GB 5009.271—2016 中针对 DBP 的限量值(0.3 mg/kg), DBP 的超标率为 5.2%, 其余 PAEs 均符合限量要求。此外, 参考国家卫生和计划生育委员会在《白酒产品中塑化剂风险评估结果解读》中提出的健康指导值(DEHP≤5.0 mg/kg、DBP≤1.0 mg/kg), 所有样品中 DEHP 与 DBP 的检出含量均低于此指导阈值。具体结果见表 2。

2.2　不同类别样品中 PAEs 塑化剂污染状况

本次采集样品共分为白酒、黄酒、配制酒、啤酒、葡萄酒和威士忌 6 个类别。白酒和威士忌中均有 3 种塑化剂

表 2　含酒精样品中 PAEs 测定结果

Table 2　Determination results of PAEs in alcoholic samples

PAEs	检出率/%	平均值/(μg/kg)	P_{mix}/(μg/kg)	P_{10}/(μg/kg)	P_{50}/(μg/kg)	P_{90}/(μg/kg)	P_{max}/(μg/kg)
DMP	56.7	11.9	<5.0	<5.0	5.6	27.6	135.1
DEP	16.5	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	13.5	110.5
DIBP	46.4	16.9	<5.0	<5.0	<5.0	41.3	129.3
DBP	67.0	77.1	<5.0	<5.0	45.4	155.3	872.4
DEEP	3.1	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	26.5
DEHP	32.0	5.3	<5.0	<5.0	<5.0	12.8	108.4
DOTP	1.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	286.5

注: P_{mix} 表示污染水平的最小值; P_{max} 表示污染水平的最大值; P_{10} 表示第 10 百分位数; P_{50} 表示第 50 百分位数; P_{90} 表示第 90 百分位数。

含量大于中位值，但塑化剂的种类不同，其余 4 类样品中均只有 1 种塑化剂含量大于中位值。除黄酒和啤酒外，其余 4 类样品中 DBP 的含量均大于中位值，同时，白酒中 DBP 含量最高，其余 3 类样品中的含量差别不大。白酒、黄酒和啤酒中 DMP 含量的中位值均大于 LOD，其中黄酒中含量最高，白酒和啤酒中基本相同(图 1)。

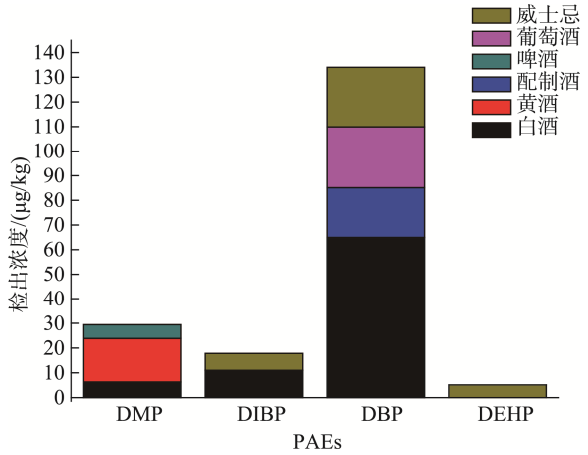

图 1 不同类别酒中 PAEs 检出浓度(P_{50})

Fig.1 Detected concentration of PAEs in different kind of liquors (P_{50})

2.3 不同采样环节样品中 PAEs 塑化剂污染状况

本次的 97 份样品分别采自商店(53 份)、农贸市场(10 份)和网店(34 份)。3 份检出 DEEP 的样品均采购于网店，1 份检出 DOTP 的样品购于商店。在 3 种采样环节中都有检出的 5 种塑化剂中，除 DEP 外，其余 4 种均为农贸市场采集的样本中的检出率最高(图 2)，但 DEP 检出浓度最高(110.5 μg/kg)的样本采自农贸市场，为塑料桶装的白酒，其中 DBP 的含量(860.9 μg/kg)超过国家标准限值，且仅略低于所有检测样本中含量最高(872.4 μg/kg)的样本。样品谱图见图 3。

从检出浓度的中位值来看(图 4)，3 种采样环节采集的样本中，DBP 的中位值均大于 LOD，且农贸市场的浓度最高。另外，农贸市场采集样本中，DMP、DIBP、DBP 以及 DEHP 的中位值均大于 LOD，而另外 2 种环节采集的样本，只有商店的样本中，DMP 含量的中位值大于 LOD，其他均低于 LOD。这可能和农贸市场采集样本多为散装称重及塑料瓶装，随着时间的延长、温度的变化，最终将塑料瓶中 PAEs 溶解到酒中有关。孙文佳等[29]调查了 2018 年广东省酒类中 3 种 PAEs 的污染状况，结果发现，农贸市场的酒样 PAEs 超标率约为总体 PAEs 超标率的 4 倍，主要不合格类别是散装白酒，和本研究结果一致。

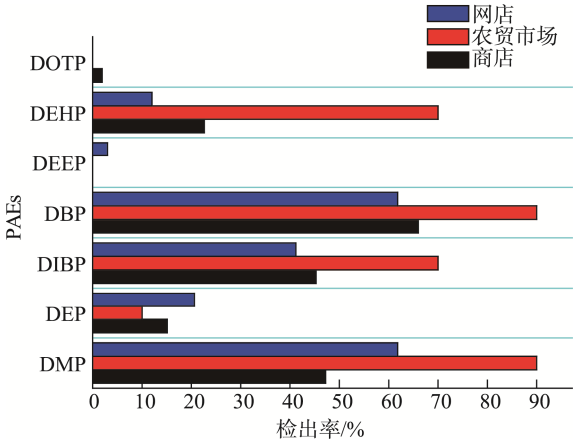

图 2 不同采样环节样品中 PAEs 检出率

Fig.2 Detection rate of PAEs in samples collected from different sampling links

2.4 塑化剂暴露风险评估

基于第 5 次中国总膳食研究[30]，浙江省公民每天消费 69.16 g 酒类食品，包括啤酒、黄酒、白酒和葡萄酒。根据 2019 年杭州市民体质测试数据分析报告，共测试了 23868 名

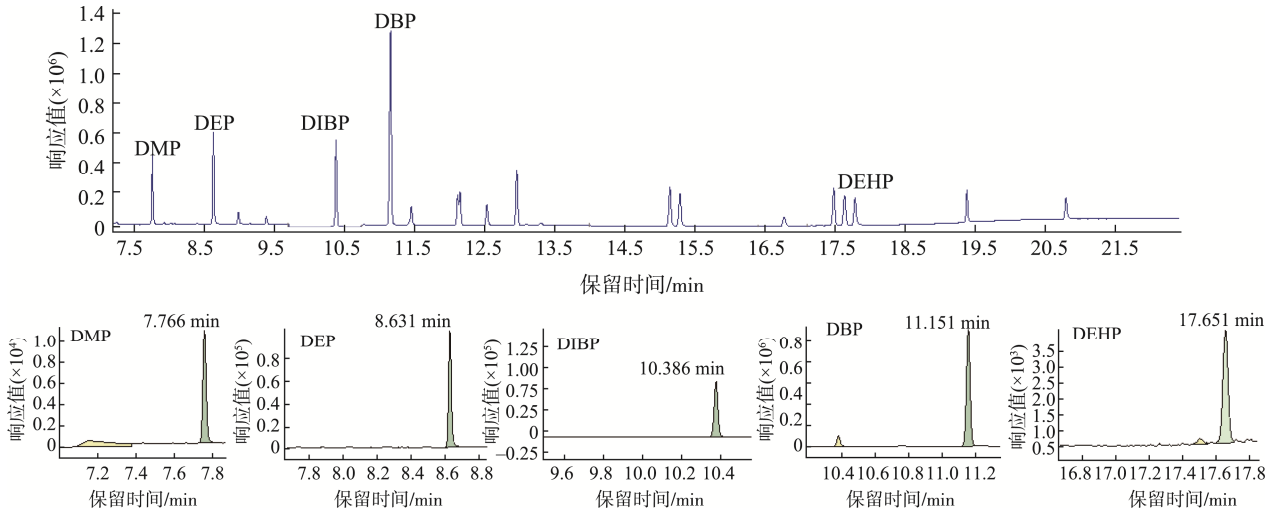

图 3 典型样品色谱图

Fig.3 Chromatograms of the typical samples

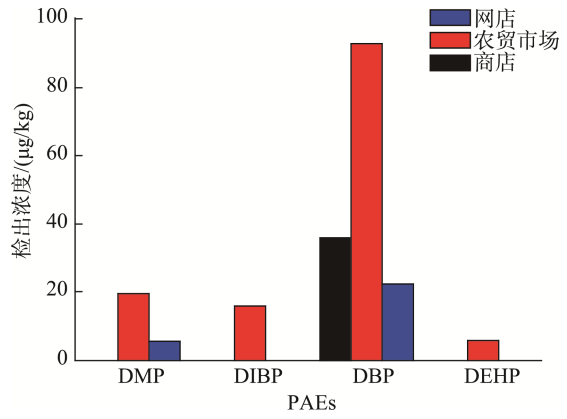

图 4　不同采样环节样品中 PAEs 检出浓度(P_{50})

Fig.4　Detected concentration of PAEs in samples collected from different sampling links (P_{50})

20~59 岁的杭州市民, 平均体重为 64.36 kg。本研究显示, DMP、DIBP、DBP 和 DEHP 平均值的膳食暴露量分别为 0.01、0.02、0.08 和 0.006 μg/(kg bw • d), HI 为 1.2×10^{-3}, 远小于 1; DIBP、DBP 和 DEHP 最大值的膳食暴露量分别为 0.1、0.9 和 0.1 μg/(kg bw • d), 均低于我国国家食品安全风险评估中心提出的 DIBP 的每日可耐受摄入量[tolerable daily intake, TDI, 30 μg/(kg bw • d)];欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)根据大鼠发育毒性实验研究提出的 DBP 的 TDI [10 μg/(kg bw • d)]和基于 DEHP 的生殖毒性提出的 DEHP 的 TDI [50 μg/(kg bw • d)][31]。由此推断, 杭州市民由饮酒造成的 PAEs 暴露量处于可接受水平。

3　讨论与结论

本次检测结果依据卫办监督函[2011]551 号通告[32]中规定的 PAEs 物质最大残留限量标准(DEHP: 1.5 mg/kg、DINP: 9.0 mg/kg、DBP: 0.3 mg/kg)进行判定。97 件样品中, 共 5 件样品的 DBP 含量超过 0.3 mg/kg, 超标率为 5.2%。其余 PAEs 物质未出现超标情况。此外, 参考国家卫生和计划生育委员会发布的《白酒产品中塑化剂风险评估结果解读》中提出的健康指导值(DEHP≤5.0 mg/kg、DBP≤1.0 mg/kg), 所有样品中 DEHP 和 DBP 含量均低于该建议阈值, 表明其对饮酒者构成的健康风险处于可接受水平。因此, 样品中 PAEs 塑化剂的含量为人为添加的可能性很低。2015 年罗苹等[33]对湖北地区市售白酒中塑化剂的监测结果发现: 89 份样品中, DIBP 的检出率为 85.4%, 最高检出浓度为 10.74 mg/kg; DBP 的检出率为 84.3%, 超标率为 29.2%, 最高浓度高达 23.48 mg/kg; 王阳等[34]对辽宁省市售白酒中塑化剂的检测结果显示: 60 份样品中, 63.3%的样品检出 DBP, 个别样品含量高达 9.82 mg/kg。和以往的检查结果对比发现, 无论从检出浓度还是超标率来看, 均有下降, 说明酒鬼酒塑化剂事件后, 相关部门对酒类生产企业的整改起到了作用。另外, 许多大型酒企已通过自建酿酒专用粮食生产基地, 强化对作物生长全过程及产地环境的管控。此举在降低原粮采购成本的同时, 更从源头有效防范了塑化剂等污染风险, 保障了酿酒原料的安全与品质[35]。

膳食暴露水平评估结果显示, HI 远远小于 1, 因此杭州市民通过酒类摄入塑化剂的量处于安全水平, 引起健康危害的风险较低, 但由于 PAEs 塑化剂广泛存在于多种食物中, 因此塑化剂的膳食摄入不容忽视。

参考文献

[1] AlP A, YERLIKAYA P. Phthalate ester migration into food: Effect of packaging material and time [J]. European Food Research and Technology, 2020, 246(3): 425.

[2] TANG ZT, GONG ZG, JIA W, *et al*. Occurrence and exposure risk assessment of phthalate esters in edible plant oils with a high-frequency import rate in West China [J]. RSC Advances, 2022, 12(12): 7383–7390.

[3] LI XX, WANG Q, JIANG N, *et al*. Occurrence, source, ecological risk, and mitigation of phthalates (PAEs) in agricultural soils and the environment: A review [J]. Environmental Research, 2023, 220: 115196.

[4] YOST EE, EULING SY, WEAVER JA, *et al*. Hazards of diisobutyl phthalate (DIBP) exposure: A systematic review of animal toxicology studies [J]. Environmental International, 2019, 125(9): 579–594.

[5] ALISON EH, LINDA GK, PAM FL, *et al*. Exposure to nonpersistent chemicals in consumer products and fecundability: A systematic review [J]. Human Reproduction Update, 2019, 25(1): 51–57.

[6] SANJAY B, MRINALK D, ASIMK D. Plastics derived endocrine-disrupting compounds and their effects on early development [J]. Birth Defects Research, 2020, 112(17): 1308–1325.

[7] 史玉坤, 杨自力, 利娟, 等. 气相色谱-质谱法测定饮料中邻苯二甲酸酯类增塑剂[J]. 现代预防医学, 2011, 38(13): 2547–2549.
SHI YK, YANG ZL, LI J, *et al*. Determination of phthalates in drinks by gas chromatography mass spectrometry [J]. Modern Preventive Medicine, 2011, 38(13): 2547–2549.

[8] 刘强. 中国酒业协会声明: 白酒中基本上都含塑化剂成分[Z]. 生活晨报, 2012.
LIU Q. China Wine Industry Association statement: Liquor basically contains plasticizer components [Z]. Life Morning Post, 2012.

[9] 李楠, 李秀萍, 郑平, 等. 白酒中塑化剂产生时空关系的研究[J]. 轻工科技, 2014, 30(4): 1–2.
LI N, LI XP, ZHENG P, *et al*. Study on the spatial and temporal relationship of plasticizer production in liquor [J]. Light Industry Science and Technology, 2014, 30(4): 1–2.

[10] 刘美美, 王化斌, 马琦林. 白酒中塑化剂对人体的危害及可能来源和控制措施[J]. 酿酒, 2021, 48(2): 35–37.
LIU MM, WANG HB, MA QL. The harm and possible source and control measures of plasticizer in liquor [J]. Liquor Making, 2021, 48(2): 35–37.

[11] 苏丽华. 浅谈白酒中塑化剂的检测方法及控制策略[J]. 现代食品, 2019, 5: 167–169.
SU LH. Detection method and control strategy of plasticizer in liquor [J]. Modern Food, 2019, 5: 167–169.

[12] 韩燕, 李蓝虹, 秦德萍, 等. 白酒包装材料中塑化剂的迁移研究[J]. 应用化工, 2021, 50(4): 1151–1154.
HAN Y, LI LH, QIN DP, *et al*. Study on the migration of plasticizers in liquor packaging materials [J]. Applied Chemical Industry, 2021, 50(4):

1151–1154.

[13] 黄河, 黄婷, 王媚, 等. 白酒中邻苯二甲酸酯塑化剂问题研究进展[J]. 酿酒科技, 2022, 331(1): 97–103.
HUANG H, HUANG T, WANG M, *et al*. Progress on the problem of phthalate plasticizer in liquor [J]. Liquor Making Science & Technology, 2022, 331(1): 97–103.

[14] 安然. 塑化剂对食品安全的影响[J]. 现代食品, 2017, 2(4): 26–27.
AN R. The effect of plasticizer on food safety [J]. Modern Food, 2017, 2(4): 26–27.

[15] 张俊. 一损俱损: 食品安全、企业的社会责任及市场反应--以“塑化剂”事件为例[J]. 财经论丛(浙江财经学院学报), 2015(7): 66–74.
ZHANG J. A loss for all: Food safety, corporate social responsibility and market response: An event study of plasticizer [J]. Collected Essays on Finance and Economics, 2015(7): 66–74.

[16] WU PG, YANG DJ, ZHANG LQ, *et al*. Simultaneous determination of 17 phthalate esters in edible vegetable oils by GC-MS with silica/PSA-mixed solid-phase extraction [J]. Journal of Separation Science, 2012, 35(21): 2932–2939.

[17] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食物污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 278–279.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Food contamination monitoring of low-level data handling issues [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 36(4): 278–279.

[18] 罗祎, 吴永宁. 食品安全风险分析化学危害评估[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
LUO Y, WU YN. Food safety risk analysis chemical hazard assessment [M]. Beijing: China Standard Press, 2012.

[19] 陈浩, 张晓鹏, 贾旭东, 等. 内分泌干扰物联合作用与累积风险评估研究进展[J]. 卫生研究, 2014, 43(1): 157–161.
CHEN H, ZHANG XP, JIA XD, *et al*. Progress in the combined effects of endocrine disruptors and cumulative risk assessment [J]. Journal of Hygiene Research, 2014, 43(1): 157–161.

[20] BENSONR R. Hazard to the developing male reproductive system from cumulative exposure to phthalate esters dibutyl phthalate, diisobutyl phthalate, butylbenzyl phthalate, diethylhexyl phthalate, dipentyl phthalate and diisononyl phthalate [J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2009, 53(2): 90–101.

[21] SOEBORG T, FREDERIKSEN H, ANDERSSON AM. Cumulative risk assessment of phthalate exposure of Danish children and adolescents using the hazard index approach [J]. International Journal of Andrology, 2012, 35(3): 245–252.

[22] HARTMANN C, UHL M, WEISS S, *et al*. Human biomonitoring of phthalate exposure in Austrian children and adults and cumulative risk assessment [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2015, 218(5): 489–499.

[23] 庄群瑛, 杨月, 苏艳华, 等. 厦门市居民食品塑化剂暴露风险评估[J]. 中华预防医学杂志, 2014, 48(7): 602–606.
ZHUANG QY, YANG Y, SU YH, *et al*. Exposure risk assessment of plasticizer in dietary food in Xiamen [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2014, 48(7): 602–606

[24] 陈波, 倪静. 邻苯二甲酸酯的毒理学效应及对人体健康的影响[J]. 化工技术与开发, 2010, 39(11): 46–49.
CHEN B, NI J. Toxicological effects of phthalic acid esters on human health [J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2010, 39(11): 46–49.

[25] 谭静. 白酒中塑化剂的检测方法与调控策略[J]. 食品安全导刊, 2014(12X): 81–82.
TAN J. Testing method and regulation strategy of plasticizer in liquor [J]. China Food Safety Magazine, 2014(12X): 81–82.

[26] GRAY LE, OSTBY J, FURR J, *et al*. Perinatal exposure to the phthalates DEHP, BBP and DINP, but not DEP, DMP or DOTP, alters sexual differentiation of the malerat [J]. Toxicological Sciences, 2000, 58(2): 350–365.

[27] 刘萍, 周丽群, 臧珊珊, 等. HPLC-MS/MS 法测定塑料类食品接触材料制品中邻、间、对苯二甲酸二(2-乙基)已酯的特定迁移量[J]. 塑料科技, 2025, 53(1): 131–136.
LIU P, ZHOU LP, ZANG SS, *et al*. Determination of specific migration amounts of DEHP, DOIP and DOTP in plastic food contact material and products by HPLC-MS/MS method [J]. Plastics Science and Technology, 2025, 53(1): 131–136.

[28] 樊继彩, 何华丽, 任韧, 等. 不同采样环节采集食品包装材料中 20 种邻苯二甲酸酯类塑化剂污染状况调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2020, 30(12): 1520–1522.
FAN JC, HE HL, REN R, *et al*. Determination of 20 phthalate esters in food packaging materials from different kind of sampling links [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2020, 30(12): 1520–1522.

[29] 孙文佳, 杨中花, 刘嘉飞, 等. 2018 年广东省酒类中三种邻苯二甲酸酯类的污染状况调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 643–647.
SUN WJ, YANG ZH, LIU JF, *et al*. Investigation on the contamination status of 3 kinds of phthalates esters in alcoholic drinks in Guangdong province in 2018 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(2): 643–647.

[30] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
WU YN, ZHAO YF, LI JG. The fifth China general dietary study [M]. Beijing: Science Press, 2018.

[31] 李敬光, 吕冰, 邱楠楠, 等. 第六次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2025.
LI JG, LV B, QIU NN, *et al*. The sixth Chinese general dietary study [M]. Beijing: Science Press, 2025.

[32] 中华人民共和国卫生部. 卫生部办公厅关于通报食品及食品添加剂中邻苯二甲酸酯类物质最大残留量的函(卫办监督函〔2011〕551 号) [Z].
Ministry of Health of the People’s Republic of China. Letter of the general office of the ministry of health on reporting the maximum residue of phthalates in food and food additives (No.551 [2011] of the Ministry of Health) [Z].

[33] 罗苹, 李永刚, 陈明, 等. 湖北地区市售白酒中邻苯二甲酸酯类物质的监测结果及分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 350–354.
LUO P, LI YG, CHEN M, *et al*. Monitoring results and analysis of phthalates contamination in marketed liquors of Hubei Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(1): 350–354.

[34] 王阳, 赵婉婧, 曹忠波, 等. 辽宁省市售白酒中邻苯二甲酸酯类塑化剂的检测及结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 15(23): 3133–3134.
WANG Y, ZHAO WJ, CAO ZB, *et al*. Determination and analysis of phthalates plasticizer in liquor in Liaoning Province [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2013, 15(23): 3133–3134.

[35] 刘仁绿, 连宾. 白酒塑化剂及食品安全分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(5): 220–226.
LIU RL, LIAN B. Analysis of liquor plasticizers and food safety [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(5): 220–226.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)