

广州市成年居民邻苯二甲酸酯内暴露水平及影响因素研究

宋韶芳, 周金华, 李琴, 黎晓彤, 石同幸

广州市疾病预防控制中心 食源性疾病与食品安全风险监测部, 广东 广州 510440

摘要: **目的** 分析广州市成年居民邻苯二甲酸酯(phthalic acid esters, PAEs)内暴露水平及其影响因素。 **方法** 2020 年在广州市抽取 310 名 18 岁及以上常住居民进行问卷调查,并收集其尿样。应用固相萃取-高效液相色谱串联质谱技术检测尿液中 PAEs 的代谢物—7 种邻苯二甲酸单酯的含量,包括邻苯二甲酸单甲酯(monomethyl phthalate, mMP)、邻苯二甲酸单乙酯(monoethyl phthalate, mEP)、邻苯二甲酸单正丁酯(monobutyl phthalate, mBP)、邻苯二甲酸单异丁酯(monoisobutyl phthalate, miBP)、邻苯二甲酸单(2-乙基-5-氧己基)酯[mmono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, mEOHP]、邻苯二甲酸(乙基羟基己基)单酯[mono(2-ethyl-5-hydroxohexyl) phthalate, mEHHP]和邻苯二甲酸-单-乙基己基酯(mono-ethylhexyl phthalate, mEHP)。采用单因素分析和多因素 logistic 回归分析居民邻苯二甲酸单酯水平的影响因素。 **结果** 尿样中 7 种邻苯二甲酸单酯 mMP、mEP、mBP、miBP、mEOHP、mEHHP 和 mEHP 的浓度中位数分别为 6.148、9.956、240.121、37.632、12.386、16.985、13.674 ng/ml;计算出对应的 PAEs 日暴露量分别为 0.346、0.603、15.689、2.459、5.493、5.486、11.301 ng/(g·d),其中 mBP 的日暴露量高于容许参考暴露量,是广州市居民暴露最主要的 PAEs。多因素 logistic 回归分析结果显示:随着文化程度的提高,尿液中 mBP 含量呈下降趋势,学历为高中/中专、大专及以上 *OR*(95%*CI*)值分别为 0.454(0.219~0.940)、0.449(0.216~0.934);烫/染头发与尿液中 mBP 含量的增加有关,烫/染头发一年 1 次、一年 2 次以上的 *OR*(95%*CI*)值分别为 1.770(1.051~3.233)、2.113(1.156~3.865);24 h 内食用水产品会使尿液中 mBP 的含量增加,*OR*(95%*CI*)值为 2.751(1.018~4.048);每周进食 2 次以上油炸类食品会使尿液中 mBP 的含量增加,*OR*(95%*CI*)值为 1.255(1.007~2.882)。 **结论** 广州市成年居民普遍暴露于 PAEs,mBP 的日暴露量存在健康风险,mBP 内暴露水平与多种因素存在关联性。

关键词: 邻苯二甲酸酯;内暴露水平;日暴露量;影响因素

中图分类号:R155.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-3110(2023)02-0156-05 **DOI:**10.3969/j.issn.1006-3110.2023.02.007

Internal exposure levels of phthalic acid esters and their influencing factors among adult residents in Guangzhou City

SONG Shao-fang, ZHOU Jin-hua, LI Qin, LI Xiao-dong, SHI Tong-xing

基金项目:广州市卫生健康科技项目(20201A011063);广州市科技计划项目(202102080205);广东省基础与应用基础研究基金项目(2021A1515110611)

作者简介:宋韶芳(1977-),女,硕士研究生,副主任医师,主要从事疾病控制工作。

通信作者:石同幸,E-mail:398057348@qq.com。

- [9] Birbo B, Madu EE, Madu CO, et al. Role of HSP90 in cancer[J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(19):10317.
- [10] Ikwegbue PC, Masamba P, Oyinloye BE, et al. Roles of heat shock proteins in apoptosis, oxidative stress, human inflammatory diseases, and cancer[J]. Pharmaceuticals (Basel), 2017, 11(1):2.
- [11] 林晶晶,张倍宁,姜楠,等. 热休克蛋白在创伤愈合过程中的作用研究进展[J]. 中华卫生应急电子杂志, 2017, 3(6):375-377.
- [12] 马庆荣,余佩芝,张帆,等. 热疗中热休克蛋白 90 对 26S 蛋白酶体的调控机制[J]. 南方医科大学学报, 2017, 37(4):537-541.
- [13] 刘谦,路名芝,刘勇. 细胞周期标记物在肿瘤中的应用[J]. 临床与实验病理学杂志, 2012, 28(2):192-196.
- [14] 李武杰,李勇强,张樊苹,等. Claudin-1 与 cyclinB1 在下咽鳞状细胞癌中的表达及其临床意义[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2020, 26(5):537-543.
- [15] 林万尊. 靶向阻断 cyclinB1 对鼻咽癌细胞自噬的影响及其分子机制研究[D]. 福州:福建医科大学, 2019.
- [16] 陈雪梅,戴沛娟,段丹萍,等. 人肝癌细胞氧化应激模型中热休克蛋白 90 α 对 20S 蛋白酶体功能的影响[J]. 临床医学工程, 2012, 19(7):1056-1058.
- [17] Zuo L, Zhou T, Pannell BK, et al. Biological and physiological role of reactive oxygen species—the good, the bad and the ugly[J]. Acta Physiol (Oxf), 2015, 214(3):329-348.
- [18] Sadasivam N, Kim YJ, Radhakrishnan K, et al. Oxidative stress, genomic integrity, and liver diseases[J]. Molecules, 2022, 27(10):3159.
- [19] Padmini E, Usha Rani M. Heat-shock protein 90 alpha (HSP90 α) modulates signaling pathways towards tolerance of oxidative stress and enhanced survival of hepatocytes of Mugil cephalus[J]. Cell Stress Chaperones, 2011, 16(4):411-425.
- [20] Sarvani C, Sireesh D, Ramkumar KM. Unraveling the role of ER stress inhibitors in the context of metabolic diseases[J]. Pharmacol Res, 2017, 119:412-421.
- [21] Oroz J, Kim JH, Chang BJ, et al. Mechanistic basis for the recognition of a misfolded protein by the molecular chaperone Hsp90[J]. Nat Struct Mol Biol, 2017, 24(4):407-413.

收稿日期:2022-02-27

Department for Foodborne Disease and Food Safety Surveillance, Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 510440, China

Corresponding author: SHI Tong-xing, E-mail: 398057348@qq.com

Abstract: Objective To investigate the internal exposure levels of phthalic acid esters (PAEs) and their influencing factors amongst adult residents in Guangzhou City. **Methods** Three hundred and ten permanent residents aged ≥ 18 years were selected for a questionnaire survey in Guangzhou City in 2020, and their urine samples were collected. High-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry method was used to determine the concentration of 7 phthalate monoesters in each urine sample, including monomethyl phthalate (mMP), monoethyl phthalate (mEP), monobutyl phthalate (mBP), monoisobutyl phthalate (miBP), mono (2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate (mEOHP), mono (2-ethyl-5-hydroxohexyl) phthalate (mEHHP), and mono-ethylhexyl phthalate (mEHP). Univariate analysis and multivariate logistic regression analysis were used to identify the factors affecting the phthalate monoester levels among the residents. **Results** The medians of mMP, mEP, mBP, miBP, mEOHP, mEHHP and mEHP concentration in the 310 urine samples were 6.148 ng/ml, 9.956 ng/ml, 240.121 ng/ml, 37.632 ng/ml, 12.386 ng/ml, 16.985 ng/ml and 13.674 ng/ml, respectively. And the daily exposure was 0.346 ng/(g·d), 0.603 ng/(g·d), 15.689 ng/(g·d), 2.459 ng/(g·d), 5.493 ng/(g·d), 5.486 ng/(g·d) and 11.301 ng/(g·d), respectively. The daily exposure of mBP was higher than the allowable reference exposure, and it was the most important PAEs exposure among residents in Guangzhou. The results of multivariate logistic regression analysis indicated that the urinary concentration of mBP showed a decreasing trend with the improvement of education level, the *OR* (95% *CI*) of high school/vocational high school education was 0.454 (0.219–0.940), and the *OR* (95% *CI*) of junior college or above was 0.449 (0.216–0.934). Participants who had their hair permed and dyed had higher urinary level of mBP, the *OR* (95% *CI*) annually was 1.770 (1.051–3.233), and the *OR* (95% *CI*) biannual was 2.113 (1.156–3.865). Participants who ate aquatic products in 24 hours had higher urinary level of mBP, and the *OR* (95% *CI*) was 2.751 (1.018–4.048). Participants who ate fried food more than twice a week had higher urinary level of mBP, and the *OR* (95% *CI*) was 1.255 (1.007–2.882). **Conclusion** Adult residents in Guangzhou are generally exposed to phthalate, and mBP exposure per day is a health risk. The internal exposure level of mBP is associated with most measured factors.

Keywords: phthalic acid esters; internal exposure level; daily exposure; influencing factor

邻苯二甲酸酯(phthalic acid esters, PAEs)是邻苯二甲酸酐与醇类化合反应的产物,能增强塑料制品的弹性和稳定性,作为塑化剂广泛应用于工业中。由于PAEs与塑料的非共价键结合并不紧密,PAEs易从塑料中析出释放到环境中,对水、空气、土壤等造成污染,并迁移进入各类食材^[1]。人群主要通过膳食途径暴露于PAEs^[2]。PAEs进入人体后生成各种代谢物(邻苯二甲酸单酯),通过尿液和粪便排出体外,尿液中PAEs代谢物含量可以真实反映人体内PAEs的暴露水平。部分代谢物结构与内源性雌激素有一定相似性,具有内分泌干扰特性和生殖毒性^[3],会增加甲状腺功能受损、糖尿病、卵巢癌、乳腺癌等疾病的发生风险^[4-8]。从广州市近期的疾病监测系统发现慢性疾病如内分泌代谢性疾病、恶性肿瘤等有持续上升趋势,有必要进行相关影响因素调查。

要全面、科学评估广州市PAEs暴露风险,不能缺少人体内暴露的参考数据。因此本研究以广州市成年居民为研究对象,以优先管控的5种PAE即邻苯二甲酸二甲酯(dimethyl phthalate, DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(diethyl phthalate, DEP)、邻苯二甲酸二正丁酯

(dibutyl phthalate, DBP)、邻苯二甲酸二异丁酯(diisobutyl phthalate, DIBP)和邻苯二甲邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯[bis(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP]^[3]在体内生成的代谢物(7种邻苯二甲酸单酯)为目标物质:邻苯二甲酸单甲酯(monomethyl phthalate, mMP)、邻苯二甲酸单乙酯(monoethyl phthalate, mEP)、邻苯二甲酸单正丁酯(monobutyl phthalate, mBP)、邻苯二甲酸单异丁酯(monoisobutyl phthalate, miBP)、邻苯二甲酸单(2-乙基-5-氧己基)酯[mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, mEOHP]、邻苯二甲酸(乙基羟基己基)单酯[mono(2-ethyl-5-hydroxohexyl) phthalate, mEHHP]和邻苯二甲酸-单-乙基己基酯(mono-ethylhexyl phthalate, mEHP),检测其在尿液中的浓度,结合调查问卷的信息,对PAEs内暴露水平进行监测和健康风险评估;并对具有潜在健康风险的PAEs进行影响因素分析,为减少和控制PAEs的危害制定相应的措施提供参考依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 2020年8—9月,采取分层抽样的方

式,在广州市中心城区、郊区各抽取 2 个街道或乡镇,每个街道或乡镇抽取 50 户进行调查。调查对象是广州市健康状况良好的常住居民(指过去一年连续或累计在该地居住满 6 个月以上的居民),经知情同意后,有 310 名成年居民进行问卷调查和尿样采集。

1.2 问卷调查 采用自制调查问卷收集研究对象的年龄、性别、学历等人口学资料;吸烟、饮酒、24 h 饮食等相关生活饮食习惯,用于影响因素分析。

1.3 PAEs 代谢物的测定 PAEs 进入人体后可在短时间内发生代谢反应,其代谢物经尿液大量排出体外,因此,尿液是人体 PAEs 暴露研究中最常用的体液。尿液样品的前处理参照文献^[9]方法,然后采用固相萃取-高效液相色谱串联质谱技术进行分析。在确定的色谱和质谱分析条件下,分别对试样和标准系列溶液进行分析,测得相应峰面积和内标物峰面积,根据标准曲线得到试样待测液中 PAEs 代谢物的浓度。

1.4 统计学分析 使用 Epi Data 3.0 软件,对问卷进行双录入,建立数据库,应用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。

1.4.1 PAEs 的健康风险评估 根据尿液中 PAEs 代谢物的浓度计算相应的暴露量,进行健康风险评估。

1.4.2 对具有潜在健康风险的 PAEs 进行影响因素分析 单因素分析是依据 PAEs 代谢物的中位数(M),将 310 名居民分为低暴露组(C_L)和高暴露组(C_H),分析人口特征、生活饮食习惯等因素在两组之间的差异,连续性变量采用 t 检验或方差分析,分类变量采用 χ^2 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。将有统计学意义的因素作为自变量纳入多因素 logistic 回归分析。

2 结果

2.1 基本情况 本研究共调查 178 户 310 名 ≥ 18 岁广州市居民,其中男性、女性均为 155 人。调查对象年龄为 18~78 岁,平均年龄为 48.48 岁,其中 18~35 岁 80 人,占 25.81%;36~60 岁 134 人,占 43.23%; >60 岁 96 人,占 30.97%。

2.2 PAEs 代谢物的含量 5 种 PAEs 在体内生成的代谢物即 7 种邻苯二甲酸单酯在尿液中的检测浓度见表 1。其中 mBP 的浓度最高,中位数为 240.121 ng/ml;其次为 miBP,中位数为 37.632 ng/ml。

表 1 广州市成年居民尿液中 PAEs 代谢物的浓度 (ng/ml)

PAEs	PAEs 的代谢物	中位数(M)	四分位间距($P_{25}-P_{75}$)
DMP	mMP	6.148	2.140-9.413
DEP	mEP	9.956	3.930-28.823

续表 1

PAEs	PAEs 的代谢物	中位数(M)	四分位间距($P_{25}-P_{75}$)
DBP	mBP	240.121	127.793-420.338
DIBP	miBP	37.632	18.127-101.541
DEHP	mEOHP	12.386	7.185-19.045
DEHP	mEHHP	16.985	6.659-30.413
DEHP	mEHP	13.674	6.705-19.982

2.3 PAEs 暴露风险 以尿液中 PAEs 代谢物的浓度为基础计算 PAEs 日暴露量。人体中 PAEs 日暴露量(estimated daily intake, EDI)的计算方法如公式所示:

$$EDI = CV \times \frac{M1}{M2} \times \frac{1}{f} \times \frac{1}{W}$$

其中, C 为尿液中 PAEs 代谢物的浓度 (ng/ml); V 为人体尿液的日排泄量 (ml/d); W 为体重 (kg);成年男性和女性尿液的日排泄量分别为 2 549 ml/d 和 2 148 ml/d^[10];18 岁及以上居民男性和女性的平均体重分别为 69.6 kg 和 59.0 kg^[11], $M1$ 为各代谢物对应的母体 PAEs 的分子量 (g/mol); $M2$ 为 PAEs 代谢物的分子量 (g/mol); f 为 PAEs 在人体中摄入与排泄的摩尔分数。

DBP、DEP、DEHP 和 DIBP 的人体内容许参考暴露量分别为 10、10、50 和 200 ng/(g·d)^[12-14]。计算出广州市成年居民的 DBP 日暴露量为 15.689 ng/(g·d),高于其他 PAEs 的日暴露量,并且高于容许参考暴露量,而 DEP、DIBP 和 DEHP 的日暴露量均低于容许参考暴露量,见表 2。

表 2 广州市成年居民尿液中 PAEs 的日暴露量 [ng/(g·d)]

PAEs	分子量 ($M1$, g/mol)	代谢物	分子量 ($M2$, g/mol)	f 值	代谢物浓度 (C , ng/ml)	日暴露量 [EDI , ng/(g·d)]
DMP	194	mMP	180	0.70	6.148	0.346
DEP	222	mEP	194	0.69	9.956	0.603
DBP	278	mBP	222	0.70	240.121	15.689
DIBP	278	miBP	222	0.70	37.632	2.459
DEHP	390	mEOHP	292	0.11	12.386	5.493
DEHP	390	mEHHP	294	0.15	16.985	5.486
DEHP	390	mEHP	278	0.06	13.674	11.301

2.4 居民尿液中 mBP 含量的影响因素分析 不同文化程度、烫/染头发及其频率、平时食用油炸类食品的频次、24 h 内食用水产品情况在低暴露组(浓度 $\leq M$)和高暴露组(浓度 $> M$)的分布差异有统计学意义($P<0.05$),其他影响因素在两组间差异无统计学意义,见表 3。

表 3 广州市成年居民尿液中不同 mBP 含量的影响因素分析(*n*, %)

影响因素	<i>C_L</i>	<i>C_H</i>	χ^2 值	<i>P</i> 值	影响因素	<i>C_L</i>	<i>C_H</i>	χ^2 值	<i>P</i> 值
性别			0. 127	0. 721	粗粮(24 h)			0. 001	0. 977
男	75(48. 39)	80(51. 61)			否	120(77. 42)	106(68. 39)		
女	80(51. 61)	75(48. 39)			是	35(22. 58)	49(31. 61)		
文化程度			11. 390	0. 043	蛋类(24 h)			0. 390	0. 532
小学及以下	45(29. 03)	54(34. 84)			否	68(43. 87)	62(40. 00)		
初中	51(32. 90)	53(34. 19)			是	87(56. 12)	93(60. 00)		
高中/中专	27(17. 42)	32(20. 65)			肉类(24 h)			0. 297	0. 586
大专及以上	32(20. 65)	16(10. 32)			否	15(9. 67)	12(7. 74)		
吸烟			0. 806	0. 369	是	140(90. 32)	143(92. 26)		
否	117(75. 48)	110(70. 97)			水产品(24 h)			3. 073	0. 043
是	38(24. 52)	45(29. 03)			否	91(58. 70)	74(47. 74)		
油炸类食品			10. 235	0. 017	是	64(41. 29)	81(52. 25)		
从不吃	20(12. 90)	25(16. 13)			蔬菜(24 h)			0. 286	0. 593
每周 1 次	95(61. 29)	74(47. 74)			否	8(5. 16)	10(6. 45)		
每周≥2 次	40(25. 81)	56(36. 13)			是	147(94. 84)	145(93. 55)		
烧烤类食品			3. 982	0. 263	水果(24 h)			0. 683	0. 409
从不吃	49(31. 61)	55(35. 48)			否	38(24. 52)	28(18. 06)		
每周 1 次	89(57. 42)	94(60. 65)			是	117(75. 48)	127(81. 94)		
每周≥2 次	17(10. 97)	6(3. 87)			奶及奶制品(24 h)			0. 267	0. 605
外卖食品			0. 767	0. 857	否	44(28. 39)	49(31. 61)		
从不吃	89(57. 42)	92(59. 35)			是	111(71. 61)	106(68. 39)		
每周 1 次	46(29. 67)	45(29. 03)			豆及豆制品(24 h)			0. 119	0. 730
每周≥2 次	20(12. 91)	18(11. 62)			否	117(75. 48)	115(74. 19)		
烫/染头发			5. 614	0. 018	是	38(24. 52)	40(25. 81)		
否	108(69. 68)	87(56. 13)			咸菜腌菜(24 h)			0. 890	0. 345
是	47(30. 32)	68(43. 87)			否	141(90. 97)	135(87. 10)		
烫/染头发频次			7. 827	0. 050	是	14(9. 03)	20(12. 90)		
不染/烫	108(69. 68)	87(56. 13)			熏肉制品(24 h)			0. 059	0. 809
一年 1 次	19(12. 26)	33(21. 29)			否	148(95. 48)	147(94. 84)		
一年≥2 次	28(18. 06)	35(22. 58)			是	7(4. 52)	8(5. 16)		
					饮酒(24 h)			0. 424	0. 515
					否	104(67. 10)	98(63. 23)		
					是	51(32. 90)	57(36. 77)		

表 4 广州市成年居民尿液中 mBP 含量影响因素 logistic 回归分析

变量	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>Wald</i> χ^2 值	<i>P</i> 值	<i>OR</i> 值	<i>OR</i> 值 95% <i>CI</i>	
						下限	上限
文化程度							
小学及以下					1		
初中	-0. 659	0. 413	2. 542	0. 111	0. 517	0. 230	1. 163
高中/中专	-0. 790	0. 372	4. 522	0. 033	0. 454	0. 219	0. 940
大专及以上	-0. 801	0. 374	4. 588	0. 032	0. 449	0. 216	0. 934
油炸类食品							
从不吃					1		
每周 1 次	0. 167	0. 363	2. 023	0. 102	1. 182	0. 340	1. 691
每周≥2 次	0. 227	0. 247	3. 344	0. 048	1. 255	1. 007	2. 882
染\烫头发							
不染/烫					1		
一年 1 次	0. 572	0. 259	4. 371	0. 041	1. 770	1. 051	3. 233
一年≥2 次	0. 748	0. 308	5. 901	0. 015	2. 113	1. 156	3. 865
水产品(24 h)							
否					1		
是	1. 012	0. 290	4. 073	0. 043	2. 751	1. 018	4. 048

根据相关研究及专业知识,以 mBP 含量为因变量(低暴露 = 1, 高暴露 = 2), 选取文化程度(小学及以下 = 0, 初中 = 1, 高中/中专 = 2, 大专及以上 = 3)、平时食用油炸类食品(从不吃 = 0, 每周 1 次 = 1, 每周 2 次及以上 = 2)、染\烫头发(不染/烫 = 0, 一年 1 次 = 1,

一年2 次及以上 = 2)、24 h 内食用水产品(否 = 0, 是 = 1)等为自变量, 性别为协变量, 进行多因素 logistic 回归分析。结果显示, 随着文化程度的提高, 尿液中 mBP 含量呈下降的趋势, 学历为高中/中专、大专及以上 *OR* (95% *CI*) 值分别为 0. 454 (0. 219 ~ 0. 940)、0. 449 (0. 216 ~ 0. 934)。每周进食 2 次及以上油炸类食品会使尿液中 mBP 的含量增加, *OR* (95% *CI*) 值为 1. 255 (1. 007 ~ 2. 682)。烫/染头发与尿液中 mBP 含量的增加有关, 烫/染头发一年 1 次、一年 2 次及以上 *OR* (95% *CI*) 值分别为 1. 770 (1. 051 ~ 3. 233)、2. 113 (1. 156 ~ 3. 865)。24 h 内食用水产品会使尿液中 mBP 的含量增加, *OR* (95% *CI*) 值为 2. 751 (1. 018 ~ 4. 048), 见表 4。

3 讨 论

本研究结果显示, 广州市成年居民尿液中均有检出 PAEs 代谢物 mMP、mEP、mBP、miBP、mEOHP、mEHHP、mEHP, 他们的浓度中位数分别为 6. 148、9. 956、240. 121、37. 632、12. 386、16. 985、13. 674 ng/ml。提示居民普遍存在 PAEs 的暴露, 但暴露于各种 PAEs

存在差异,从而导致体内代谢物浓度存在差异。Chen 等^[15]分析近 10 年的相关调查显示,环境中 PAEs 的浓度逐年升高,不同地区 PAEs 污染程度存在差异。高崇婧等^[9]研究显示中国东北地区青年人群尿液中这 7 种代谢物 mMP、mEP、mBP、miBP、mEOHP、mEHHP、mEHP 的浓度中位数分别为 39.4、54.7、60.3、50.6、9.25、13.1、0.66 ng/ml。本研究与高崇婧等^[9]结果相比,广州市居民尿液中 mBP 的浓度中位数较大,并且计算出 mBP 的日暴露量高于容许参考暴露量,说明 mBP 是广州市居民暴露最主要的 PAEs,存在健康暴露风险。其他 PAEs 日暴露量均低于容许参考暴露量,未造成健康风险。

本研究进一步分析了广州市居民 mBP 内暴露水平的影响因素。经过单因素和多因素 logistic 回归分析结果发现,居民 mBP 内暴露水平与文化程度、平时喜好吃油炸类食品(每周 ≥ 2 次)、24 h 内食用水产品、烫/染头发等多种因素存在关联。文化程度是 mBP 内暴露的保护因素,学历越高,体内 mBP 暴露水平越低,这和杨月等^[16]研究结果一致。文化程度与 PAEs 内暴露水平非因果关系,而是间接关系,可能是因为学历高者,卫生保健意识强,会减少塑料制品的使用频率,并且会更讲究饮食,通过饮食摄入 PAEs 较少。平时喜好吃油炸类食品(每周 ≥ 2 次)、24 h 内食用水产品会增加尿液中 mBP 的含量。PAEs 具有迁移性,可从受污染的环境中直接迁移进入食物;亦可从受污染的环境中经食物链或生物蓄积作用存在于多种食物,膳食暴露是人体摄入 PAEs 的最主要方式^[17]。由于 PAEs 是脂溶性物质,比较容易蓄积在脂肪含量高的食品中如油炸类食品、水产类食品等。据报道,珠江三角洲地区环境 PAEs 污染较为严重,人们日常膳食均不同程度地受到 PAEs 的污染。在香港市场上淡水鱼体内检测到 PAEs 的水平为 1 660~3 140 ng/g,海水鱼为 1 570~7 100 ng/g^[18]。在深圳地区检测到食用油和油炸类食品 PAEs 含量比其他食品高^[19]。DBP 作为添加剂,广泛用于各种化妆产品中。本研究中,染头发频率与尿液中 mBP 含量的增加有关。李洁等^[20]研究提示,使用化妆品是人群暴露于 DBP 的重要途径。如果频繁烫染头发,会增加接触 DBP 的机会。

本研究显示广州市成年居民 PAEs 内暴露水平与多种因素存在关联,但由于本研究仅进行了一次尿样收集,研究对象为成年居民,仅检测了关注度比较高的 5 种 PAEs 的代谢产物,还不足以反映广州市居民整体 PAEs 暴露风险。后续研究将纳入未成年居民,扩大检测 PAEs 代谢产物种类,使样本更具代表性,结果更

具有参考价值。

参考文献

- [1] Giuliani A, Zuccarini M, Cichelli A, et al. Critical review on the presence of phthalates in food and evidence of their biological impact [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(16):5655.
- [2] 高海涛,李瑞仙,邸倩南. 我国人群邻苯二甲酸酯类的暴露水平及风险[J]. *癌变·畸变·突变*, 2017, 29(6):471-475.
- [3] 谢沁珊,王彬彬,蔡风云,等. 塑料增塑剂环境污染水平,人体负荷及生物毒性的初步研究[J]. *公共卫生与预防医学*, 2019, 21(5):19-22.
- [4] Wu MT, Wu CF, Chen BH, et al. Intake of phthalate-tainted foods alters thyroid functions in Taiwanese children[J]. *PLoS One*, 2013, 8(1):e55005.
- [5] 杨伟浩,王艳梅,徐宁,等. 邻苯二甲酸酯暴露与血脂异常的关系研究[J]. *中国工业医学杂志*, 2017, 30(1):9-13.
- [6] 王雪全,周云清,罗湘闽,等. 邻苯二甲酸二丁酯对大鼠卵巢颗粒细胞中细胞凋亡因子 Bcl-2、Bax 表达的影响[J]. *实用预防医学*, 2015, 22(2):155-158.
- [7] 刘明奇,赵跃,慕天,等. 邻苯二甲酸酯与乳腺癌关系的病例对照研究[J]. *环境与职业医学*, 2018, 35(3):218-224.
- [8] Wu AH, Franke AA, Wilkens LR, et al. Urinary phthalate exposures and risk of breast cancer: the Multiethnic Cohort study [J]. *Breast Cancer Res*, 2021, 23(1):44.
- [9] 高崇婧,刘丽艳,马万里,等. 东北地区青年人群尿液中邻苯二甲酸酯代谢物的残留和健康风险评估[J]. *黑龙江大学自然科学学报*, 2015, 32(5):654-660.
- [10] 赵秀阁,段小丽. 中国人群暴露参数手册(成人卷)[M]. 北京:中国环境出版社, 2014:87-99.
- [11] 国务院新闻办公室. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)[R/OL]. (2020-12-23) [2022-04-05]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-12/24/content_5572983.htm.
- [12] European Food Safety Authorities (EFSA). Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the commission related to bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) for use in food contact materials[J]. *EFSA J*, 2005, 243:1-20.
- [13] European Food Safety Authorities (EFSA). Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids and material in contact with food(AFC) on a request from the commission related to di-n-butylphthalate (DBP) for use in food contact materials[J]. *EFSA J*, 2005, 242:1-17.
- [14] European Food Safety Authorities (EFSA). Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food(AFC) on a request from the commission related to diisobutylphthalate (DIBP) for use in food contact materials[J]. *EFSA J*, 2005, 241:1-14.
- [15] Chen L, Zhao Y, Li L, et al. Exposure assessment of phthalates in non-occupational populations in China [J]. *Sci Total Environ*, 2012, 427-428:60-69.
- [16] 杨月,施明明,陈碧钦,等. 孕妇邻苯二甲酸酯内暴露水平及影响因素研究[J]. *中华预防医学杂志*, 2015, 49(11):1000-1006.
- [17] 张蕴晖,林玲,阚海东,等. 邻苯二甲酸二丁酯的人群综合暴露评估[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(5):651-656.
- [18] Cheng Z, Nie XP, Wang HS, et al. Risk assessments of human exposure to bioaccessible phthalate esters through market fish consumption[J]. *Environ Int*, 2013, 57-58:75-80.
- [19] 刘辉,王舟,张燕,等. 深圳市总膳食中 16 种邻苯二甲酸酯的污染分布[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(3):250-259.
- [20] 李洁,郑和辉,柳玉红. 化妆品中检出邻苯二甲酸酯情况的调查[J]. *首都公共卫生*, 2010, 4(1):39-40.

收稿日期:2022-03-29