

厦门市大气 PM₁₀ 中 PAHs 的健康风险评估 — BEQ 评估*

印红玲 洪华生** 叶翠杏 王新红

(厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学环境科学研究中心, 厦门, 361005)

摘 要 通过比较城市大气 PM₁₀ 中优控 PAHs 的总量、苯并 (a) 芘 (BaP) 的浓度水平和 BaP 的等效致癌毒性 (BEQ), 评估厦门市大气有机污染的程度及其对人体的健康风险. 结果表明, 厦门市 15 种优控 PAHs 年平均浓度为 16.08 ng·m⁻³, BaP 年平均浓度为 0.70 ng·m⁻³, BEQ 为 1.58.

关键词 多环芳烃, 大气颗粒物, 等效致癌毒性.

大气中颗粒物的浓度及其负载的有毒有机污染物质与人体健康有明显的正相关关系. 而其负载的多环芳烃 (PAHs) 由于具有强致癌毒性而受到广泛关注. 目前, 国内外学者多以具有强致癌毒性的苯并 (a) 芘 (BaP) 作为 PAHs 的代表物进行健康风险评估, 九十年代起, 人们提出了用毒性等效因子 (TEFs) 来评价多种 PAHs 对人类健康威胁的辅助作用, 并得到了较广泛的认可^[1-3]. 这对于进一步确切建立 PAHs 对人类的健康风险评估模型打下了良好的基础.

本文通过比较城市大气 PM₁₀ 中 15 种优控 PAHs 总量及 BaP 的浓度水平, 计算 BaP 等效致癌毒性 (BEQ), 结合各种 PAHs 的分布特征及其对 BEQ 贡献的优势物种, 初步评估了厦门市大气中 PAHs 类物质的有机污染程度、来源及其对人体健康造成的影响.

1 厦门市大气 PM₁₀ 中 PAHs 及 BaP 的浓度水平

于 2004 年 12 月和 2005 年 3 月、7 月、10 月分别在厦门市各功能区采样点采集大气 PM₁₀ 样品, 分析其所含 15 种优控 PAHs 的浓度, 并将其与全国各大城市相比, 结果见表 1. 由表 1 可知, 厦门市 2004—2005 年度大气 PM₁₀ 中 PAHs 的平均浓度水平为 16.08 ng·m⁻³, 在全国范围内处于较低水平. 这是因为厦门市燃煤取暖少、相对较强的光照使 PAHs 的光降解速率增强, 加上海洋对城市气候的调节使大气边界层厚度较高, 污染物在海洋和城市间的大气中扩散稀释程度较好而使其在局部地区浓度较低.

表 1 中国部分城市大气颗粒物中 Σ PAHs 的污染水平

Table 1 Concentration of Σ PAHs in particulates from cities in China

城市	PAHs 数目	总 PAHs 浓度 /ng·m ⁻³	平均值 /ng·m ⁻³	文献	城市	PAHs 数目	总 PAHs 浓度 /ng·m ⁻³	平均值 /ng·m ⁻³	文献
北京	14	1.96—632.13	109.98	[4]	香港	16	4.67—38.63	21.65	[8]
上海	16	24.30—245.52	87.35	[5]	青岛	16	1.11—3.74	2.29	[9]
太原	8	696.60—2765.40	1504.73	[6]	澳门	15	13.69—89.87	50.96	[10]
广州	16	11.86—55.49	33.675	[7]	厦门	15	3.70—32.64	16.08	本实验

BaP 作为 PAHs 的代表物被世界各国环保署列为大气污染控制项目, 其国际标准为 WHO 公布的 1 ng·m⁻³, 国内标准为 10 ng·m⁻³^[11]. 厦门市 2004—2005 年 BaP 浓度为 0.06—1.35 ng·m⁻³, 平均值为 0.70 ng·m⁻³, 在国内各大城市中处于较低水平 (表 2), 且远低于中国国家二级标准值, 这是因为厦门地处亚热带, 基本在冬季无燃煤取暖, 再加上海洋对气候的调节和海风对污染物质的稀释传输, 使大气中 BaP 浓度较低.

2 厦门市大气 PM₁₀ 中 PAHs 的苯并 (a) 芘等效毒性

苯并 (a) 芘等效毒性 (BEQ) 的定义为: BEQ = Σ(组分 i 的浓度) × (组分 i 的等效毒性 TEF). 由

* 国家自然科学基金 (40476048, 40106012) 资助项目. ** 联系人 hshong@xmu.edu.cn

文献 [1] 总结的部分主要致癌 PAHs 的 TEF, 计算厦门市大气 PM₁₀ 中 BaP 的等效毒性及各种 PAHs 对 BEQ 的贡献率, 结果见表 3 并与国内外部分城市大气 PAHs 的 BEQ 值相比, 结果见表 4

表 2 中国部分城市大气中 BaP 的含量水平 (ng·m⁻³)

Table 2 Concentration of BaP in particulates from cities in China (ng·m⁻³)

	北京 ^[12]	北京 ^[4]	呼和浩特 ^[13]	上海 ^[5]	太原 ^[6]	广州 ^[7]	香港 ^[8]	厦门
采暖期	18.00—182.00	13.26—48.89	76.10—330.80	32.98	—	7.07	—	—
非采暖期	n. d.—23.00	0.09—5.98	2.1—4.5	2.19	—	0.88	—	—
平均值	95.81	8.59	84.36	9.89	74.68	3.98	0.42	0.70

表 3 厦门市大气 PM₁₀ 中 PAHs 的 BEQ 水平及其贡献率

Table 3 BEQ level and its contribution in PM₁₀ in Xiamen city

化合物	TEF %	春		夏		秋		冬	
		BEQ	贡献率 %	BEQ	贡献率 %	BEQ	贡献率 %	BEQ	贡献率 %
苯并 (a) 芘	100	0.99	49.24	0.06	19.09	1.35	42.98	0.42	49.73
蒽	0.2	0.23	0.02	0.22	0.14	0.61	0.04	0.31	0.07
苯并 (a) 蒽	12	0.64	3.78	0.41	14.85	3.65	13.97	0.25	3.47
菲	2.8	4.52	6.27	0.63	5.34	6.90	6.16	4.84	15.91
荧蒽	3.3	1.20	1.96	0.70	7.07	6.86	7.22	0.44	1.71
苯并 (b) 荧蒽	15	0.70	5.18	0.34	15.30	2.12	10.15	0.20	3.56
芘	4.6	3.51	7.99	0.38	5.35	4.85	7.12	1.24	6.72
蒽	25	2.06	25.55	0.43	32.86	1.55	12.37	0.64	18.82
BEQ 平均值		2.02		0.33		3.14		0.85	

表 4 国内外各大城市大气 BEQ 及其贡献率

Table 4 BEQ level and its contribution in different cities in China and abroad

	北京 ^[4]	南京 ^[14]	上海 ^[5]	澳门 ^[10]	广州 ^[15]	青岛 ^[4]	香港 ^[8]	厦门
BEQ	16.19	7.12	15.77	7.51	4.10	0.15	1.99	1.58
其它 PAHs 贡献率 (%)	46.94	25.90	37.30	29.60	44.00	100.00	55.58	55.06
	富士 ^[16]	伦敦 ^[17]	斯蒂文 ^[17]	曼彻斯特 ^[17]	卡多夫 ^[17]	伯明翰 ^[18]		
BEQ	1.91	3.71	2.70	2.88	2.06	0.99		
其它 PAHs 贡献率 (%)	67.16	84.92	76.63	58.40	71.81	51.52		

厦门市四季 BEQ 值分别为 2.02、0.33、3.14 和 0.85, 平均值为 1.58。与国内外各大城市相比, 厦门市 BEQ 值在国内处于较低水平, 仅为北京、上海等城市的 1/10。与国外各城市基本持平。国外城市的 BEQ 普遍比国内城市相对较低, 说明中国城市大气对人体健康的威胁较国外城市更严重一些。

比较厦门市四季大气 PM₁₀ 中各种 PAHs 对 BEQ 的贡献率, 发现除夏季外, BaP 对 BEQ 的贡献率都最高 (19.09%—49.73%), 基本占据了一半的毒性贡献。而除 BaP 外的其它贡献者主要有三环的菲 (5.34%—15.91%), 四环的蒽 (12.37—32.86)、芘 (5.35%—7.99%) 和苯并 (a) 蒽 (3.47%—14.85%), 五环的苯并 (b) 荧蒽 (3.56%—15.30%)。其中蒽在夏季比 BaP 的贡献率高近一倍。由于气候及 PAHs 物质本身各种化学性质差别等原因, 四季中各 PAHs 组分的分配及对 BEQ 贡献较大的优势物种有一定区别, 其中夏季由于气温高、光照强, 造成部分 PAHs 光降解强烈, 而使夏季较其它季节大气污染物组成与含量差别大。

比较各种 PAHs 对 BEQ 的贡献率可以发现, 国内外城市大气中对 BEQ 贡献大的优势物种有较大不同。总的来说, 在国内各大城市中, BaP 基本占据了大气气溶胶致癌毒性贡献的一半以上, 青岛由于没有检出 BaP 造成其它 PAHs 对 BEQ 的贡献率为 100%。国外城市中除 BaP 外其它 PAHs 对 BEQ 的贡献相对更大。

综上所述, 厦门市大气 PM₁₀ 中 PAHs 平均浓度为 16.08 ng·m⁻³, BaP 为 0.70 ng·m⁻³, 远低于国

家二级标准值, 无超标现象. BEQ 值为 1.58 是北京、上海等中国最发达大城市 BEQ 值的 1/10 与国内外城市相比, 厦门市大气有机污染 (PAHs) 水平较低, 未达到人体健康接触限值.

参 考 文 献

- [1] Robert E A M, Brian G B, Josephy P D et al., Comparison of the Ames Salmonella Assay and Mutatox Genotoxicity Assay for Assessing the Mutagenicity of Polycyclic Aromatic Compounds in Potable Water from Athabasca Oil Sands Mature Fine Tailings. *Environmental Science Technology*, 1999, **33**: 2510—2516
- [2] Pety T, Schmid P, Schlatter C, The Use of Toxic Equivalency Factors in Assessing Occupational and Environmental Health Risk Associated with Exposure to Airborne Mixtures of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Chemosphere*, 1996, **32**: 639—648
- [3] Nisbet C, LaGoy P, Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1992, **16**: 290—300
- [4] 曾凡刚, 王关玉, 田健等, 北京市部分地区大气气溶胶中多环芳烃污染特征及污染源探讨. *环境科学学报*, 2002, **22** (3): 284—288
- [5] 郭红连, 陆晨刚, 余琦等, 上海大气可吸入颗粒物中多环芳烃 (PAHs) 的污染特征研究. *复旦学报 (自然科学版)*, 2004, **43** (6): 1107—1112
- [6] 彭林, 曾凡刚, 陈名等, 太原市大气总悬浮颗粒物中正构烷烃和多环芳烃空间分布及来源分析. *岩矿测试*, 2003, **22** (9): 206—210
- [7] 祁士华, 王新明, 傅家谟等, 珠江三角洲经济区主要城市不同功能区大气气溶胶中优控多环芳烃污染评价. *地球化学*, 2000, **29** (4): 337—341
- [8] Guo H, Lee S C, Ho K F et al., Particle Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**: 5307—5317
- [9] 潘静, 周成, 邹宁等, 青岛地区大气气溶胶中多环芳烃的 GC/MS 分析. *环境化学*, 2003, **22** (3): 311—312
- [10] 祁士华, 盛国英, 傅家谟等, 澳门大气气溶胶中多环芳烃的源解析尝试. *中国环境科学*, 2002, **22** (2): 118—122
- [11] 王瑞斌, 王明霞, 安华, 我国环境空气质量标准与国外相应标准的比较. *环境科学研究*, 1997, **10** (6): 35—39
- [12] 赵振华, 全文熠, 田德海, 北京市空气中气相与颗粒物上多环芳烃的分析. *环境科学学报*, 1991, **11** (2): 216—222
- [13] 高春梅, 阮玉英, 冯沈迎等, 呼和浩特市大气中多环芳烃的分布规律. *环境科学*, 1993, **14** (5): 79—81
- [14] 黄鹂鸣, 南京市大气气溶胶 (PM₁₀, PM_{2.5}) 污染水平调查及对其中部分有机物的分析研究. 南京大学硕士学位论文, 2002
- [15] 李军, 张干, 祁士华等, 广州市大气中颗粒态多环芳烃 (PAHs) 的主要污染源. *环境科学学报*, 2004, **24** (4): 661—666
- [16] Takeshi O, Takashi A, Masahiro F et al., Spatial Distributions and Profiles of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Two Industrial Cities in Japan. *Environmental Science Technology*, 2004, **38**: 49—55
- [17] Halsall C J, Coleman P J, Davis B J et al., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in U.K. Urban Air. *Environmental Science Technology*, 1994, **28**: 2380—2386
- [18] Smith D J T, Harrison R M, Concentrations, Trends and Vehicle Source Profile of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the U.K. Atmosphere. *Atmospheric Environment*, 1996, **30** (14): 2513—2525

HEALTH RISK ASSESSMENT OF PRIORITY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN PM₁₀ IN XIAMEN CITY——BEQ EVALUATION

YN Hong-ling HONG Hua-sheng YE Cui-xing WANG Xin-hong

(State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

ABSTRACT

The concentration and distribution character of priority PAHs in PM₁₀ at different function areas of Xiamen city were studied and BEQ was calculated. When comparing with other big cities in China, the concentrations and pollution level (BEQ) of priority PAHs in Xiamen city were lower, with PAHs annual concentration of 16.08 ng·m⁻³, BaP 0.70 ng·m⁻³ and BEQ 1.58. It was suggested that monitoring organic toxic pollutants and control must be enhanced based on the evaluation of health risk from PAHs, particularly in those big cities with PAHs concentrations and BEQ higher than the acceptable level.

Keywords polycyclic aromatic hydrocarbons, atmospheric particle, BEQ.