

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20150504002

刘薇薇, 塔娜, 赵星华, 等. 内蒙古呼和浩特市大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 的健康风险评估[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(6): 154-158

Liu W W, Tana, Zhao X H, et al. Health risk assessment of PAHs in atmospheric TSP and PM₁₀ of Hohhot of Inner Mongolia [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2015, 10(6): 154-158 (in Chinese)

内蒙古呼和浩特市大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 的健康风险评估

刘薇薇, 塔娜*, 赵星华, 韩春霞

内蒙古师范大学化学与环境科学学院 内蒙古绿色催化重点实验室, 呼和浩特 010022

收稿日期: 2015-05-04 录用日期: 2015-07-20

摘要: 于 2012—2013 年 6 月和 12 月采集了内蒙古呼和浩特市大气颗粒物样品, 用 GC-MS 分析测定其中 16 种 PAHs 的浓度, 并用苯并(a)芘(BaP)致癌、致突变等效浓度、终身致癌超额危险度和预期寿命损失 3 个指标评价了内蒙古呼和浩特市大气颗粒物 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 的人群健康风险。结果显示: 内蒙古呼和浩特市大气颗粒物 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 对成人、儿童的日均暴露剂量范围分别为 $0.71 \times 10^{-6} \sim 2.01 \times 10^{-6}$ 、 $0.45 \times 10^{-6} \sim 1.28 \times 10^{-6}$ 和 $0.31 \times 10^{-6} \sim 2.41 \times 10^{-6}$ 、 $0.19 \times 10^{-6} \sim 1.15 \times 10^{-6}$ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 对成人和儿童的终身致癌超额危险度范围分别为 $2.21 \times 10^{-6} \sim 6.24 \times 10^{-6}$ 、 $1.41 \times 10^{-6} \sim 3.97 \times 10^{-6}$ 和 $0.95 \times 10^{-6} \sim 7.47 \times 10^{-6}$ 、 $0.60 \times 10^{-6} \sim 4.75 \times 10^{-6}$, 终身致癌超额危险度均处于可接受水平范围内($10^{-4} \sim 10^{-6}$)。TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 对成人和儿童的预期寿命损失范围分别为 13.74~38.78、8.752~24.70 和 5.88~46.39、3.74~29.54 min。

关键词: 多环芳烃; 健康风险评估; 内蒙古; 模型

文章编号: 1673-5897(2015)6-154-05 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Health Risk Assessment of PAHs in Atmospheric TSP and PM₁₀ of Hohhot of Inner Mongolia

Liu Weiwei, Tana*, Zhao Xinghua, Han Chunxia

Inner Mongolia Key Laboratory of Green Catalysis, College of Chemistry and Environmental Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Received 4 May 2015 accepted 20 July 2015

Abstract: During June and December of 2012 and 2013, the atmospheric particulate samples were collected from Hohhot City, Inner Mongolia and among which, 16 kinds of PAHs were detected by GC-MS. Furthermore, health risks to the local population induced by PAHs in TSP and PM₁₀ were assessed by applying carcinogenic, mutagenic equivalents of benzo (a) pyrene (BaP), the average lifelong risk of cancer and loss of life expectancy. The results showed that range of average daily exposure dose of PAHs for adults and children in TSP were $0.73 \times 10^{-6} \sim 2.01 \times 10^{-6}$, $0.45 \times 10^{-6} \sim 1.28 \times 10^{-6}$ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, and in PM₁₀ were $0.31 \times 10^{-6} \sim 2.41 \times 10^{-6}$, $0.194 \times 10^{-6} \sim 1.15 \times 10^{-6}$ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ respectively. The excess risks for lifelong carcinogenic disease of adults and children were $2.21 \times 10^{-6} \sim 6.24 \times 10^{-6}$

基金项目: 国家自然科学基金项目(21167012); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY11038); 内蒙古自治区科技计划项目

作者简介: 刘薇薇(1990-), 女, 硕士生, 研究方向为大气中典型持久性有机物, E-mail: 1245468182@qq.com;

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: tnbynwu@126.com

and $1.41 \times 10^{-6} \sim 3.97 \times 10^{-6}$ in TSP, $0.95 \times 10^{-6} \sim 7.46 \times 10^{-6}$ and $0.60 \times 10^{-6} \sim 4.75 \times 10^{-6}$ in PM₁₀, which were possibly in the acceptable range levels. The expected loss of life time of PAHs for adults and children in TSP were 13.74~38.78 min, 8.75~24.70 min, and in PM₁₀ were 5.88~46.39 min and 3.74~29.54 min respectively.

Keywords: PAHs; health risk assessment; Inner Mongolia; model

多环芳烃类化合物(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是指含 2 个或 2 个以上苯环的半挥发性有毒有害有机物^[1],美国环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)已将 16 种 PAHs 列为优先控制污染物,其中苯并(a)芘(BaP)致癌强度比较高^[2],通常将其作为所有致癌性 PAHs 的指示物^[3]。根据流行病学相关报道,PAHs 高暴露性与肺癌、膀胱癌和皮肤癌等发生有关^[4]。国内外展开了大量健康风险研究,孟川平等^[5]对济南冬春季室内空气 PM_{2.5} 中 PAHs 污染特征及健康风险进行评价,采用终身致癌健康风险模型,经计算餐厅、超市和办公室都超过了世界卫生组织(WHO)标准。伯鑫等^[6]对焦炉排放 PAHs 的特征进行了研究,并对焦炉排放 PAHs 的健康风险进行了定量评价,认为其 PAHs 总致癌风险值最大达到 2.7×10^{-6} ,超过 US EPA(10^{-6})标准,对当地居民的人体健康可能存在一定的影响。Gaga 等^[7]对土耳其科喀艾里工业城市大气中 PAHs 进行健康风险评估,其风险值在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$,也超出 US EPA(10^{-6})的标准,结果还显示供暖期和非供暖期 PAHs 对人体健康差异明显。现阶段研究者对内蒙古地区大气颗粒物中 PAHs 的健康风险评价鲜有报道,笔者在正常天气条件下以 BaP 致癌、致突变等效浓度、终身致癌超额危险度和预期寿命损失 3 个指标对内蒙古呼和浩特市大气颗粒物 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 的健康风险进行了评估。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 样品采集

2012 年 6 月 30—7 月 6 日和 2012 年 12 月 26 日—2013 年 1 月 2 日,于呼和浩特市某化肥厂生活区和内蒙古师范大学化学楼 2 个采样点分别采样,采样点高度约 2 m,采用大气综合采样器(KC-6120 型青岛崂山)和玻璃纤维滤膜(90 mm,天津中天大环保科技发展有限公司,中国),连续采样 7 d,每个样品从早 8:00 至晚 8:00,每天采样 12 h,采样流量控制在 $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.2 样品分析测定

样品滤膜剪小片,加入 100 mL 丙酮/正己烷混合液(1:1,体积比)在 70 °C 索氏萃取 12 h,转移至旋

转蒸发瓶中,将提取液在旋转蒸发仪上 50 °C 条件下浓缩至约 1 mL,将约 1 mL 预处理好的样品溶液移入已活化的硅胶柱中,用 4×5 mL 正己烷/二氯甲烷的混合溶剂(1:1,体积比)淋洗,将淋洗液用氮气缓慢吹干,加入 PCNB(pentachloronitrobenzene)后,定容成 1 mL,用气相色谱-质谱联用仪(GC-DSQ II, Thermo 公司,美国)测定萘(Nap)、蒎(Ace)、蒎烯(Acp)、芴(Flu)、菲(Phe)、蒽(Ant)、荧蒽(Fla)、芘(Pyr)、苯并[a]蒽(BaA)、蒽(Chr)、苯并[b]荧蒽(BbF)、苯并[k]荧蒽(BkF)、苯并[a]芘(BaP)、二苯并[ah]蒽(DBah)、苯并[ghi]芘(BghiP)和茚并[1,2,3-cd]芘(InP)等 US EPA 列出的 16 种优先控制 PAHs。

1.3 质量保证与控制(QA/QC):

在本研究的全过程中,QA/QC 方法主要包括:加标回收率、现场空白、实验室空白和检测限。

1.3.1 加标回收率

分别添加 $0.1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $2 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 等 3 种不同浓度的 PAHs 标准物质,每个浓度做 3 个平行样,测定 PAHs 的回收率范围分别是 53%~157%、46%~146%、47%~154%,RSD 范围为 12.82%~86.42%、11.35%~81.04%、15.75%~93.79%。

1.3.2 空白试验

将经空白处理的滤膜带到呼和浩特 2 个采样点后再送回实验室,对其进行和样品相同的预处理和分析过程,作为现场空白。同时设有实验室空白,但两者均未检出。

2 内蒙古呼和浩特市大气中 PAHs 健康风险评价模型以及参数选择

2.1 大气中 PAHs 终身致癌超额危险度和致癌致突变风险评价模型选择

根据 US EPA 综合风险信息数据库(The Integrated Risk Information System, IRIS)的数据资料以及参照 Jung 和 Larsen 等^[8-9]的研究,计算以 BaP 为参照的致癌等效浓度(toxic equivalent quantity, TEQ)和致突变等效浓度(mutational equivalent quantity, MEQ),并根据 BaA、Chr、BbF、BkF、BaP、DBahA、BghiP 和 InP 这 8 种 PAHs 的浓度和以 BaP 为参照

的致癌等效因子(toxic equivalent factor, TEF),以进行内蒙古呼和浩特市大气颗粒物中 PAHs 致癌和致突变风险评价。表 1 给出 16 种 PAHs 的 TEF 和 MEF(mutational equivalent factor, MEF)值^[10]。

表 1 16 种 PAHs 的 TEF 值和 MEF 值

Table 1 The value of TEF and MEF for 16 PAHs

PAHs	TEF	PAHs	TEF	MEF
NaP	0.001	Chr	0.01	0.017
Ace	0.001	BaA	0.10	0.082
Acy	0.001	BbF	0.10	0.250
Flu	0.001	BkF	0.10	0.110
Phe	0.001	BaP	1.00	1.000
Ant	0.01	DBahA	5.00	0.290
Fluo	0.001	BghiP	0.01	0.190
Pyr	0.001	InP	0.10	0.310

注:TEF 为致癌等效因子;MEF 为致突变等效因子。

Note: TEF stands for toxic equivalent factor; MEF stands for mutational equivalent factor.

以 BaP 为参照的致癌等效浓度(TEQ)和致突变等效浓度(MEQ)计算公式(1)为

$$TEQ = C_i \times TEF_i \quad (1)$$

式中:TEQ,第 i 种 PAHs 总致癌等效浓度, $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$; C_i ,大气中第 i 种 PAHs 浓度, $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$; TEF_i ,第 i 种 PAHs 的致癌等效因子。

$$MEQ = C_i \times MEF_i \quad (2)$$

式中:MEQ,第 i 种 PAHs 总致突变等效浓度, $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$; C_i ,大气中第 i 种 PAHs 浓度, $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$; MEF_i ,第 i 种 PAHs 的致突变等效因子。

BaP 为无阈致癌化合物,其通过呼吸系统进入人体所引起的健康风险评价模型为无阈化学污染物健康风险评价模型,见公式(3):

$$R = q \times ADD \quad (3)$$

式中: R ,为人群终身致癌超额危险度,无量纲; q ,以动物资料推算出人体的致癌强度系数, $\text{kg} \cdot \text{d} \cdot \text{mg}^{-1}$; ADD (average daily dose),日均暴露剂量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

呼吸暴露途径的 BaP 日均暴露剂量计算见公式(4):

$$ADD = CA \times IR \times ET \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (4)$$

式中: CA ,空气中污染物的浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; IR ,呼吸速率, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; ET ,暴露时间, $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$; EF ,暴露频率, $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$; ED ,暴露持续时间, a ; BW ,体重, kg ; AT ,平均接触时间, d 。

2.2 模型参数的选择

根据 US EPA《暴露因子手册》和《超级基金健康风险评价手册》^[10]内容,结合实际情况,确定人群

暴露评价参数,根据 IRIS 信息数据库^[11]查知 BaP 的致癌强度系数 q 为 $3.1 \text{ kg} \cdot \text{d} \cdot \text{mg}^{-1}$,见表 2。

2.3 预期寿命损失计算

大气中 PAHs 因致癌作用而导致的预期寿命损失计算见公式(4);根据杨宇等^[12]的报道,得出 10^{-5} 的癌症超额发病率所对应的成年人预期寿命损失(lost of life expectancy, LL)为 62.16 min。

$$LL = 62.16 \times (R/10^{-5}) \quad (5)$$

式中: LL ,预期寿命损失, min; R ,人群终身致癌超额危险度,无量纲。

表 2 暴露评价模型参数^[10]

Table 2 Exposure factors in health risk assessment^[10]

人群	IR/ Multitude	ET/ ($\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$)	EF/ ($\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$)	ED/a	BW/kg	AT/d
成人 Adults	20.0	24	365	30	70	70×365
儿童 Children	8.7	24	365	10	16	70×365

注:IR、ET、EF、ED、BW、AT 分别为呼吸速率、暴露时间、暴露频率、暴露持续时间、体重和平均接触时间。

Note:IR, ET, EF, ED, BW, AT stand for respiration rate, exposure time, exposure frequency, exposure duration, body weight, and average contact time.

3 结果与讨论(Results and discussion)

3.1 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM_{10} 中 PAHs 的致癌等效浓度(BaP-TEQ)和致突变等效浓度(BaP-MEQ)

由表 3 可见,在夏季 TSP 中, Pyr 的污染范围最广, PM_{10} 中, Bbf 的污染范围最大;在冬季 TSP 中 Fluo、Pyr、Bbf、Bkf、Phe 的含量均超过 $20 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,在 PM_{10} 中, Phe、Fluo 含量超过 $30 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, Bbf 上限达到了 $51.26 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 。WHO 对 PAHs 的总毒性当量限值是 $1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, GB/T3095—2002《环境空气质量标准》中规定我国居民区大气中 PAHs 的总毒性当量浓度限值为 $10 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由表 4 可见,内蒙古呼和浩特大气 TSP 中夏季 BaP-TEQ 浓度范围分别为 $5.85 \sim 6.75 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,冬季 BaP-TEQ 的浓度范围为 $10.71 \sim 16.50 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 。以 WHO 为标准,大气 TSP 在夏季超标倍数约为 5.8~6.8 倍,冬季超标倍数约 10.7~16.5 倍,以 GB/T3095—2002《环境空气质量标准》为参考,夏季超标倍数约为 0.58~0.67 倍,冬季超标倍数 1.07~1.65 倍。大气 PM_{10} 中夏季和冬季 BaP 浓度范围分别为 $2.50 \sim 6.15 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $6.44 \sim 19.74 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,以 WHO 为标准,大气 PM_{10} 中夏季和冬季超标倍数

分别为 2.5~6.2 倍和 6.4~20 倍;以 GB/T3095—2002 为标准,夏季和冬季超标倍数分别为 0.25~0.62 倍和 0.64~2.0 倍。无论在 TSP 还是 PM₁₀ 中,PAHs 冬季的毒性当量值都高于夏季,这可能与内蒙古呼和浩特冬季燃煤量较大和汽车尾气造成灰霾天气有关,而夏季多雨的天气会使大气中 PAHs 易沉降到地面,晴天风速较大,易于快速扩散,从而促使大气中的 PAHs 浓度降低。

表 3 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 浓度范围

PAHs	TSP/(ng·m ⁻³)		PM ₁₀ /(ng·m ⁻³)	
	夏季	冬季	夏季	冬季
	Summer	Winter	Summer	Winter
NaP	1.79~2.18	3.57~3.61	0.96~1.94	4.05~8.38
Acc	ND	4.39~4.68	ND	1.29~19.22
Acp	2.35~2.87	ND	2.62~3.52	ND
Flu	2.59~3.43	9.06~9.97	1.36~2.90	2.82~9.744
Phe	2.86~3.49	22.38~25.95	2.65~3.15	2.94~33.74
Ant	4.79~5.09	11.64~15.67	1.81~5.00	5.43~15.18
Fluo	4.230~5.42	27.83~41.32	2.95~4.20	3.75~30.67
Pyr	3.29~16.39	27.87~47.771	3.11~4.85	3.56~27.052
Chr	4.79~5.67	1.08~16.12	2.38~5.69	4.87~12.58
Baa	3.45~4.24	8.38~16.53	2.00~4.18	3.27~11.57
Bbf	4.76~6.53	23.77~37.48	2.73~6.44	4.67~51.26
Bkf	4.30~4.70	37.22~37.51	2.88~5.68	4.12~20.75
Bap	4.55~5.15	3.66~7.19	1.72~4.47	5.19~11.26
DBaH	ND	ND	ND	ND
BghiP	ND	ND	ND	ND
InP	ND	ND	ND	ND
Σ PAHs	44.80~54.16	190.6~263.8	27.16~52.01	45.94~251.4

注:ND 为未检出。

Note: ND is not detected.

表 4 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 的 Bap-TEQ 和 Bap-MEQ

Table 4 BaP-TEQ and Bap-MEQ of PAHs in TSP and PM₁₀ at the atmosphere in Hohhot of Inner Mongolia

粒径 Particle size	Bap-TEQ/(ng·m ⁻³)		Bap-MEQ/(ng·m ⁻³)	
	夏季	冬季	夏季	冬季
	Summer	Winter	Summer	Winter
TSP	5.85~6.75	10.71~16.50	6.57~7.74	14.57~22.31
PM ₁₀	2.50~6.15	6.44~19.74	2.92~7.14	7.16~27.52

3.2 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 呼吸暴露水平

通过表 2 的模型参数和表 4(BaP-TEQ),应用公式(4)即可得出呼和浩特市成人和儿童呼吸暴露途径的冬夏两季大气 PAHs 暴露剂量(ADD),由表 5 可以看出,内蒙古呼和浩特市大气中 TSP 和 PM₁₀通过

呼吸途径可能造成成人和儿童 PAHs 的暴露剂量范围为 0.71~2.01×10⁻⁶ mg·kg⁻¹·d⁻¹、0.35~1.02×10⁻⁶ mg·kg⁻¹·d⁻¹、0.31~2.41×10⁻⁶ mg·kg⁻¹·d⁻¹、0.13~1.05×10⁻⁶ mg·kg⁻¹·d⁻¹。人群的暴露水平不论 TSP 还是 PM₁₀ 中冬季都高于夏季的暴露水平,其主要原因是冬季采暖期使得 PAHs 的污染浓度高于夏季,而且成人的呼吸暴露水平平均高于儿童,对此应给予足够的重视,继续改善本地人群的生存环境以降低人群的终身致癌超额危险度。

表 5 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中成人与儿童 PAHs 暴露剂量范围

Table 5 Adults and children dose range of PAHs in TSP and PM₁₀ at the atmosphere in Hohhot of Inner Mongolia

粒径 Particle size	成人/(10 ⁻⁶ mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)		儿童/(10 ⁻⁶ mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	
	Adults/(10 ⁻⁶ mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)		Children/(10 ⁻⁶ mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	
	夏季	冬季	夏季	冬季
	Summer	Winter	Summer	Winter
TSP	0.71~0.82	1.31~2.01	0.45~0.52	0.83~1.28
PM ₁₀	0.31~0.75	0.79~2.41	0.19~0.48	0.50~1.15

3.3 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中人群终身致癌超额危险度评价

内蒙古呼和浩特大气 TSP 中 PAHs 通过呼吸暴露途径对成人和儿童造成的终身致癌超额危险度范围分别为 2.21×10⁻⁶~6.24×10⁻⁶ 和 1.41×10⁻⁶~3.97×10⁻⁶,PM₁₀ 中成人和儿童的范围为 0.94×10⁻⁶~7.46×10⁻⁶ 和 0.60×10⁻⁶~4.75×10⁻⁶ 均处于 US EPA 可接受水平(10⁻⁴~10⁻⁶)内。从表 6 可知成人与儿童相比,TSP 和 PM₁₀ 中成人的终身致癌超额危险度均高于儿童,且成人的致癌风险约是儿童的 2 倍,主要原因是成人每天吸入较大量的空气,因此暴露 BaP 的量更大^[13]。从不同粒径分布来看,TSP 中 PAHs 终身致癌超额危险度均高于 PM₁₀,这是由于 PAHs 主要存在于大颗粒物中。在呼和浩特大气颗粒物 TSP 和 PM₁₀ 中出现冬季高夏季低的现象,这不仅与排放源有关,还受气候因素的影响。呼和浩特冬季集中供暖燃煤,燃料消耗急剧增加,加上冬季温度较低,易出现逆温层,且风速较小可使得大气中的 PAHs 不易向外扩散,易富集,从而导致 PAHs 的浓度急剧升高;夏季值偏低,因夏季气象扩散条件较好,紫外辐射较强,光化学反应中 PAHs 的消耗量较大^[14],使得污染物不易富集,毒性作用较小。虽夏季大气中 PAHs 的浓度明显低于冬季,而污染物人体健康风险是基于人群终生暴露量进行评估的。

表6 呼和浩特市大气 TSP 和 PM₁₀ 中成人与儿童 PAHs 终身致癌超额危险度范围

Table 6 Adults and children risk range of PAHs in TSP and PM₁₀ at atmosphere in Hohhot of Inner Mongolia

粒径	成人/10 ⁻⁶	儿童/10 ⁻⁶
Particle size	Adults/10 ⁻⁶	Children/10 ⁻⁶
TSP	2.21~6.24	1.41~3.97
PM ₁₀	0.95~7.46	0.60~4.75

3.4 内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 造成的预期寿命损失

通过表6人群终身致癌超额危险度,应用公式(5)可得表7呼和浩特市大气中 TSP 和 PM₁₀ 的 PAHs 通过呼吸暴露可能造成成人和儿童预期寿命损失范围为 13.74~38.78 min 和 8.75~24.70 min, PM₁₀ 可能造成成人和儿童预期寿命损失范围为 5.88~46.39 min 和 3.74~29.54 min, 其存在危险性。

表7 内蒙古呼和浩特市大气 TSP 和 PM₁₀ 中成人与儿童 PAHs 预测寿命损失范围

Table 7 Adults and children lost of life expectancy induced by PAHs in TSP and PM₁₀ at the atmosphere in Hohhot of Inner Mongolia

粒径	成人/min	儿童/min
Particle size	Adults/min	Children/min
TSP	13.74~38.78	8.752~24.70
PM ₁₀	5.88~46.39	3.74~29.54

本研究选择了2个大气监测点,其代表性存在一定的局限性。所选用的毒性模型为 US EPA 推荐模型,初步评估了内蒙古呼和浩特大气 TSP 和 PM₁₀ 中 PAHs 对经呼吸道途径暴露于普通人群的成人和儿童健康风险评价。

致谢:感谢内蒙古环境保护厅内蒙古环境监测中心站的支持。

通讯作者简介:塔娜(1973-),女,南京大学环境科学专业博士毕业,副教授,主要研究方向为环境中微量有毒有机污染物环境行为。

参考文献 (References)

- [1] Yang W, Lang Y H, Li G L. Cancer risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soils from Jiaozhou Bay wetland [J]. *Chemosphere*, 2014, 112: 289-295
- [2] 刘新, 王东红, 马梅, 等. 中国饮用水中多环芳烃的分布和健康风险评价[J]. *生态毒理学报*, 2011, 6(2): 208-214

- Liu X, Wang D H, Ma M, et al. Distribution and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water of China [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2011, 6(2): 208-214 (in Chinese)
- [3] Collins J F, Brown J P, Dawson S V, et al. Risk assessment for benzo[a]pyrene [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1991, 13: 170-184
- [4] Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment [J]. *Environment Science & Technology*, 1992, 7: 1278-1284
- [5] 孟川平, 杨凌霄, 董灿, 等. 济南冬春季室内空气 PM_{2.5} 中多环芳烃污染特征及健康风险评价[J]. *环境化学*, 2013, 32(5): 720-725
- Meng C P, Yang L X, Dong C, et al. Characteristics and health risk assessment of indoor PM_{2.5} polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in winter and spring in Jinan [J]. *Environmental Chemistry*, 2013, 32(5): 720-725 (in Chinese)
- [6] 伯鑫, 王刚, 温柔, 等. 焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评价研究[J]. *环境科学*, 2014, 35(7): 2743-2747
- Bo X, Wang G, Wen R, et al. Health risk assessment of coke oven PAHs emissions [J]. *Environmental Science*, 2014, 35(7): 2743-2747 (in Chinese)
- [7] Gaga E O, Ari A, Döğeroğlu T, et al. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrialized city, Kocaeli, Turkey: Study of seasonal variations, influence of meteorological parameters and health risk estimation [J]. *Journal of Environment Monitoring*, 2012, 14: 2219-2229
- [8] Jung K H, Yan B Z, Chillrud S N, et al. Assessment of benzo(a)-pyrene equivalent carcinogenicity and mutagenicity of residential indoor versus outdoor polycyclic aromatic hydrocarbons exposing young children in New York City [J]. *International Journal of Environment Research Public Health*, 2010, 7: 1889-1900
- [9] Larsen J C, Larsen P B. *Air Pollution and Health* [M]. Cambridge: The Royal Science of Chemistry, 1998: 33-56
- [10] US EPA. Risk assessment guidance for superfund volume I. Human health evaluation manual (Part A). EPA/540/1-89/002. [S]. Washington DC: US EPA, 1989: 35-52
- [11] US EPA. Superfund Public Health Evaluation Manual [S]. US EPA, 1986: 1-86 <http://www.epa.gov/NCEA/iris/>
- [12] 杨宇, 胡建英, 陶澍. 天津地区致癌风险的预期寿命损失[J]. *环境科学*, 2005, 26(1): 69-73
- Yang Y, Hu J Y, Tao S. Loss of life expectancy analysis for cancer risk in Tianjin Area [J]. *Environmental Science*, 2005, 26(1): 69-73 (in Chinese)
- [13] 林海鹏, 谢满廷, 武晓燕, 等. 宣威市空气中多环芳烃污染健康风险评价对比研究[J]. *环境与健康杂志*, 2010, 27(9): 511-513
- Lin H P, Xie M T, Wu X Y, et al. Health risk assessment of PAHs air pollution in Xuanwei [J]. *Journal of Environment Health*, 2010, 27(9): 511-513 (in Chinese)
- [14] 夏芬美, 李红, 李金娟. 北京市东城区夏季环境空气中苯系物的污染特征与健康风险评价[J]. *生态毒理学报*, 2014, 9(6): 1041-1052
- Xia F M, Li H, Li J J, et al. Characteristics and health risk assessment of atmospheric benzene homologues in summer in the Northeastern urban area of Beijing [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2014, 9(6): 1041-1052 (in Chinese) ◆