

文章编号 :1001-5914(2010)07-0611-04

某地区农民尿液中多环芳烃暴露水平调查

陆少游^{1,2}, 于志强¹, 袁晶³, 盛国英¹, 傅家谟¹

摘要 :目的 了解我国某地区农民尿液中多种多环芳烃的内暴露水平及分布特征。方法 于 2008 年 8 月,选择我国内地某远离城区、绿化较好、周围无工业污染源、交通流量较小的农村,采集 50 名无多环芳烃职业暴露史、无不良生活嗜好的 40 岁左右常住居民的尿液样本。采用酶解-固相萃取进行富集、净化,采用高效液相色谱荧光检测器测定 2-羟基萘、2-羟基芴、1-羟基菲、2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲、9-羟基菲和 1-羟基芘 8 种多环芳烃羟基代谢物(OH-PAHs)的浓度。结果 该地区农民尿液中 2-羟基萘、2-羟基芴、2-羟基菲+3-羟基菲、1-羟基菲+9-羟基菲、4-羟基菲和 1-羟基芘的浓度分别为 10.58、7.89、0.84、2.00、0.08、1.77 $\mu\text{mol/mol}$ 肌酐。各 OH-PAHs 化合物之间相关性差异较大,2-羟基萘、2-羟基芴、总羟基菲与 1-羟基芘间的相关系数在 0.202~0.781 之间,其中,1-羟基芘与 2-羟基萘、总羟基菲浓度的相关系数分别为 0.362 和 0.781。结论 该地区农民尿液中 1-羟基芘的浓度较高,多种代谢物的联合测定可更客观地评价人体 PAHs 内暴露水平。

关键词 多环芳烃 羟基多环芳烃 色谱法 高效液相 尿液 生物标志

中图分类号 R181.3

文献标识码 A

Investigation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure Levels in Farmers in an Area of China LU Shao-you, YU Zhi-qiang, YUAN Jing et al. State Key Laboratory of Organic Geochemistry Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Guangzhou Guangdong 510640, China

Corresponding author :YU Zhi-qiang E-mail zhiqiang@gig.ac.cn

Abstract Objective To investigate the human internal exposure levels and distribution characteristics of several polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the farmers in an area of China. **Methods** Fifty urine samples were collected from farmers living far from town and without occupational exposure to PAHs. After enzymic hydrolysis, the urine samples were enriched and cleaned by solid phase extraction, then the urinary hydroxy-PAHs (OH-PAHs) were determined by using high performance liquid chromatography with fluorescence detection. **Results** The mean concentrations of these metabolites were 2-hydroxy naphthalene (10.58 $\mu\text{mol/mol}$ Cr), 2-hydroxy fluorene (7.89 $\mu\text{mol/mol}$ Cr), 2-hydroxy phenanthrene+3-hydroxy phenanthrene (0.84 $\mu\text{mol/mol}$ Cr), 1-hydroxy phenanthrene +9-hydroxy phenanthrene (2.00 $\mu\text{mol/mol}$ Cr), 4-hydroxy phenanthrene (0.08 $\mu\text{mol/mol}$ Cr) and 1-hydroxy pyrene (1.77 $\mu\text{mol/mol}$ Cr) respectively. The results of Spearman's correlation matrix for OH-PAHs indicated obviously different. The coefficients for individual OH-PAHs were 0.202–0.781. The coefficient for 1-hydroxy pyrene and 2-hydroxy naphthalene was 0.362, while for Σ hydroxy phenanthrene it was 0.781. **Conclusion** The concentration level of 1-hydroxy pyrene in this study is significantly higher. The results of Spearman's correlation matrix for different metabolites indicate that combined determination of hydroxy-PAHs will be helpful to assess the PAHs exposure levels of human.

Key words Polycyclic aromatic hydrocarbons, Hydroxy-polycyclic aromatic hydrocarbons, Chromatography, high performance liquid, Urine, Biomarker

多环芳烃(PAHs)进入人体后经历一系列复杂的生物化学反应后,生成容易与 DNA 结合的代谢物。人体尿液中羟基多环芳烃(hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons, OH-PAHs)是目前用于多环芳烃暴露评价最常见的一类生物标志物^[1]。其中,芘的代谢物 1-羟基芘(1-hydroxy pyrene, 1-OHP)的应用最为广泛。本研究采集了我国内地某省 50 例非 PAHs 职业暴露农民尿样,采用 HPLC-FLD 分析方法^[2]分析了尿中 2-羟基萘、2-羟基芴、1-羟基菲、2-羟基菲(2-OHPhe)、3-羟基菲(3-OHPhe)、4-羟基菲(4-OHPhe)、9-羟基菲和 1-羟基芘 8 种多环芳烃代谢物的浓度水平和分布特征,以期了解长期生活在该地区非职业暴露居民的多环芳烃内暴露水平。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与试剂

HP1100 型高效液相色谱仪(附荧光检测器,美国 Agilent 公司),12 孔固相萃取装置(美国 Supeclo 公司),氮吹仪(美国 Pierce 公司),Prodisy ODS (2)型反相柱(250 mm×4.6 mm, 5.0 μm , 美国 Phenomenex 公司),ODS octadecyl 型 C_{18} 预柱(美国 Phenomenex 公司),0.2 μm 聚四氟乙烯膜滤头(上海安谱科学仪器有限公司)。

标准品:2-羟基萘(纯度为 99%,美国 Acros Organics 公司),2-羟基芴(纯度为 98%)、9-羟基菲(纯度为 99%)、1-羟基芘(纯度 99%)均购自美国 Aldrich-Sigma 化学试剂公司,2-羟基菲、3-羟基菲和 4-羟基菲均购自德国 Dr. Ehrenstorfer 实验室,1-羟基菲(美国明尼苏达大学癌症研究中心赠送)。

肌酐(Cr,纯度为 99%,美国 Fluka 化学试剂公司) β -葡萄糖苷酸-芳基硫酸酯酶购自美国 Sigma 公司(每 ml 中含 122 400 单位 β -葡萄糖苷酸酯酶和 3 610 单位芳基硫酸酯酶),SPE 固相萃取小柱(美国 Supeclo 公司),C₁₈ 小柱(美国 Supeclo 公司),甲醇等有机溶剂均为色谱纯,购于德国 Merck 公司。

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-YW-403),国家自然科学基金重大资助项目(40590392)

作者单位:1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室(广东广州 510640) 2. 中国科学院研究生院(北京 100039) 3. 华中科技大学同济医学院公共卫生学院(湖北武汉 430030)

作者简介:陆少游(1982-)男,博士研究生,从事环境污染与健康方向研究。E-mail: shiaoyu@gig.ac.cn

通讯作者:于志强 E-mail: zhiqiang@gig.ac.cn

1.2 样品采集及肌酐测定

于 2008 年 8 月,选择我国内地某远离城区、绿化较好、周围无工业污染源、交通流量较小的农村,采集 50 名无多环芳烃职业暴露史、无不良生活嗜好的 40 岁左右常住居民的尿液样本。其中男性 34 名,女性 16 名。样品采集后用预先处理过的聚乙烯塑料瓶保存,迅速送往实验室,采用分光光度计测定肌酐值。然后,样品置于-20℃冰箱冷冻保存。

1.3 样品的前处理及纯化

样品于室温下解冻,充分混匀后取 5 ml 于锥形瓶中,加入 0.1 mol/L 的盐酸 0.5 ml 调节其 pH=5, 然后加入 0.5 mol/L 的醋酸-醋酸钠缓冲溶液 1.5 ml 和 β-葡糖苷酸-芳基硫酸酯酶 20 μl, 充分混匀后,置于恒温振荡器中,37℃下避光酶解 16 h。酶解后的样品于离心机中离心,分离取其上清液,过固相萃取柱进行纯化。

纯化前,固相萃取柱依次加入 5 ml 甲醇和 10 ml 去离子水进行活化。加入离心得到的上清液后,分别用 5.0 ml 去离子水、30% 甲醇溶液 5 ml 淋洗除去杂质后,真空泵抽真空至柱干,再用 8.0 ml 甲醇洗脱,所得即为目标化合物馏分。用柔和的氮气将甲醇吹干,并用甲醇定容至 500 μl,经 0.2 μm 的过滤头过滤后,装入 HPLC 自动进样瓶中,放入冰箱于-20℃保存待 HPLC-FLD 检测分析。

1.4 仪器与色谱条件

样品分析过程中采用甲醇-水梯度洗脱,具体洗脱程序如下:0~5 min,洗脱溶剂为 60% 甲醇;5~14 min,甲醇由 60% 匀速变为 78%;14~21 min,甲醇由 78% 匀速变为 85%;21~30 min,甲醇由 85% 匀速变为 100%;30~35 min,保持 100% 甲醇;35~39 min,甲醇由 100% 匀速降至 60%;39~45 min,保持 60% 甲醇。流速为 0.60 ml/min,进样量为 10 μl。

各目标化合物的最佳荧光条如下:2-羟基萘、2-羟基芴、2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲、1-羟基菲、9-羟基菲、1-羟基芘的激发波长分别为 227、272、254、250、246、284、284、239 nm,发射波长分别为 355、336、369、358、371、383、383、392 nm。

1.5 质量保证与质量控制

8 种 OH-PAHs 在以下浓度范围内(即 2-羟基萘为 1.2~153 μg/L,2-羟基芴为 1.58~405.6 μg/L,2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲均为 0.59~150 μg/L,1-羟基菲、9-羟基菲均为 0.63~161.25 μg/L 和 1-羟基芘为 0.56~143 μg/L 时),所得标准曲线均呈现良好的线性关系, R² 在 0.998 5~0.999 6 之间(大部分化合物标准曲线的相关性 R² 都大于 0.999 0),各化合物的检测限在 0.23~0.83 μg/L 之间。

采用基质加标测定各目标化合物的加标回收试验,所有 OH-PAHs 的平均回收率在 75%~98% 之间。

在 HPLC-FLD 分析中,每运行 10 个样品做 1 个标样控制,以监控仪器的稳定性。使用标样各组分 2-羟基萘、2-羟基芴、

2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲、1-羟基菲、9-羟基菲、1-羟基芘的浓度分别为 4.78、12.68、4.69、4.69、4.69、5.04、5.04、4.47 μg/L,相对标准偏差分别为 1.9%、2.3%、0.9%、0.9%、2.7%、5.1%、5.1%、7.7%,均在 10% 以内,表明分析仪器具有较好的稳定性。

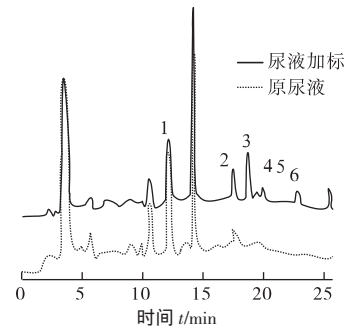
1.6 统计学方法

高效液相色谱结果由惠普工作站处理,色谱峰的积分采用手动积分。实验数据均以 $\bar{x} \pm s$ 进行表示。采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析。由于结果为偏正态分布,所有数据采用 Spearman 检验。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 尿液中 OH-PAHs 的浓度及分布特征

尿液中 OH-PAHs 在 HPLC 图上的出峰顺序和保留时间通过标准品和实际尿样共注完成,如图 1 所示。



1—2-羟基萘 2—2-羟基芴 3—2-羟基菲+3-羟基菲 4—1-羟基菲+9-羟基菲 5—4-羟基菲 6—1-羟基芘

图 1 尿液中 OH-PAHs 的色谱图

在 50 例尿液 OH-PAHs 的测定中,2-羟基萘、2-羟基芴、1-羟基菲、2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲、9-羟基菲和 1-羟基芘在所有样品中都被检出。到目前为止,关于 1-羟基菲、2-羟基菲、3-羟基菲、4-羟基菲、9-羟基菲在高效液相色谱柱上实现单个化合物基线分离的报道较少。该研究中,2-羟基菲和 3-羟基菲两个化合物在 HPLC 分析时不能完全达到基线分离,因此,以 2-羟基菲+3-羟基菲表示;1-羟基芘 he 和 9-羟基菲亦系共溢出峰,以 1-羟基菲+9-羟基菲表示。

OH-PAHs 在人体尿液中的浓度见表 1。

表 1 可见,经肌酐校正后,全部样品中 2-羟基萘、2-羟基芴、总羟基菲和 1-羟基芘浓度的平均值分别为 10.58、7.89、2.99、1.77 μmol/mol Cr。34 例男性样品中,2-羟基萘、2-羟基芴、总羟基菲和 1-羟基芘浓度的平均值分别为 11.19、7.65、2.99、1.78 μmol/mol Cr,16 例女性样品中 2-羟基萘、2-羟基芴、总羟基菲和 1-羟基芘浓度的平均值分别为 9.35、8.38、2.99、1.75 μmol/mol Cr。

表 1 OH-PAHs 在人体尿液中的浓度

(μmol/mol Cr)

OH-PAHs	男性(n=34)			女性(n=16)			合计(n=50)		
	$\bar{x} \pm s$	范围	中位数	$\bar{x} \pm s$	范围	中位数	$\bar{x} \pm s$	范围	中位数
2-羟基萘	11.19±7.03	0.87~24.11	11.04	9.35±4.80	3.70~17.19	7.71	10.58±6.38	0.87~24.11	10.18
2-羟基芴	7.65±4.00	2.24~15.72	6.24	8.38±4.00	2.65~16.00	7.72	7.89±3.96	2.24~16.00	7.14
总羟基菲	2.99±1.44	0.71~6.40	2.85	2.99±1.23	1.34~4.68	2.67	2.99±1.36	0.71~6.40	2.80
2-羟基菲+3-羟基菲	0.80±0.36	0.34~1.54	0.81	0.71±0.33	0.33~1.56	0.68	0.84±0.53	0.33~3.41	0.74
1-羟基菲+9-羟基菲	1.92±0.89	0.19~3.71	1.82	2.18±0.92	0.96~3.60	2.08	2.00±0.90	0.19~3.71	1.84
4-羟基菲	0.08±0.04	0.03~0.18	0.08	0.09±0.05	0.03~0.18	0.07	0.08±0.04	0.03~0.18	0.08
1-羟基芘	1.78±0.91	0.04~3.91	1.73	1.75±0.95	0.02~3.31	1.84	1.77±0.91	0.02~3.91	1.77

各化合物的浓度按照 2-羟基萘>2-羟基茚>总羟基菲>1-羟基茚的顺序递减, 2、3 环的低环数化合物萘、茚、菲的代谢物分别占检测 OH-PAHs 总量的 45%、34%、13%, 而 4 环化合物茚的代谢物 1-羟基茚的浓度较低, 仅占 8%, 这与目前国外背景人群的报道结果一致^[3]。

表 2 尿样中不同羟基代谢物之间的 Spearman 函数相关性分析

OH-PAHs	2-羟基萘	2-羟基茚	2-羟基菲+3-羟基菲	1-羟基菲+9-羟基菲	4-羟基菲	总羟基菲	1-羟基茚
2-羟基萘	1.000						
2-羟基茚	0.367**	1.000					
2-羟基菲+3-羟基菲	0.344*	0.859**	1.000				
1-羟基菲+9-羟基菲	0.153	0.698**	0.828**	1.000			
4-羟基菲	0.480**	0.763**	0.813**	0.684**	1.000		
总羟基菲	0.202	0.769**	0.898**	0.983**	0.747**	1.000	
1-羟基茚	0.362**	0.736**	0.812**	0.741**	0.753**	0.781**	1.000

注: *P<0.05, **P<0.01。

3 讨论

1-羟基茚是目前国内外最常用于人体多环芳烃内暴露评价的标志物。近几年来, 国内一些学者报道了我国一些地区普通人群尿液中 1-羟基茚的含量水平。Zhang 等^[4]调查了北京地区背景人群尿液中 1-羟基茚浓度, 结果显示, 其均值为 0.15 μmol/mol Cr。段小丽等^[5]报道了 50 例非职业暴露人群中 1-羟基茚的浓度均值为 0.18 μmol/mol Cr。Chen 等^[6]报道了江西地区非职业暴露人群中 1-羟基茚的浓度均值, 男性为 0.34 μmol/mol Cr, 女性为 0.50 μmol/mol Cr。岳强等^[7]报道了广东中学生尿液中 1-羟基茚均值为 0.22 μmol/mol Cr。

国际上对于非职业暴露人群尿液中 1-羟基茚浓度水平的报道很多, 但总体上看, 1-羟基茚的暴露水平相对较低, 其浓度水平大多低于 0.08 μmol/mol Cr。Grainger 等^[8]报道了美国非职业暴露人群尿中 1-羟基茚的浓度均值为 0.04 μmol/mol Cr。Becker 等^[9]在对德国普通人群的调查中发现, 尿中 1-羟基茚的浓度均值为 0.04 μmol/mol Cr。Ruchirawat 等^[10]报道了泰国普通人群尿中 1-羟基茚的浓度均值为 0.08 μmol/mol Cr。Cavanagh 等^[11]报道了新西兰普通人群尿液中 1-羟基茚的浓度均值为 0.02~0.04。尽管 PAHs 的代谢时间短、个体代谢能力有差异, 导致人体 OH-PAHs 的监测数据存在一定的波动性, 但本研究中 1-羟基茚的浓度(1.77 μmol/mol Cr)远高于近几年我国背景人群的研究结果^[4-5,7]。

目前, 国内关于人体内萘、茚、菲等化合物的羟基代谢物的报道较少。冷曙光等^[12]报道了对照人群和焦炉工尿液中 2-羟基萘均值分别为 3.29 和 18.74 μmol/mol Cr, 广东中学生尿液中 2-羟基萘、2-羟基茚、总羟基菲的均值分别为 4.27、1.74 和 1.00 μmol/mol Cr^[7]。汕头市郊某地人群尿液中 2-羟基萘均值为 7.75~39.01 μmol/mol Cr^[13]。相比而言, 本研究中人体尿中 2-羟基萘、2-羟基茚、总羟基菲的浓度(分别为 10.58、7.89、2.99 μmol/mol Cr)均处于较高水平。

与国际上相比, 人体内 OH-PAHs 浓度的差异更为显著。例如, Grainger 等^[8]报道了美国成年背景人群尿液中 2-羟基茚、总羟基菲的浓度均值分别为 0.25、0.20 μmol/mol Cr, 是本研究结果的 1/30~1/15; 2-羟基萘的浓度(10.58 μmol/mol Cr)也明显高于德国背景人群(6.7 μmol/mol Cr)^[9]。

从调查结果看, 本研究人群尿液中 1-羟基茚浓度较高主要可能与饮食习惯相关。该地区居民长期食用熏制肉类, 熏制过程

2.2 尿液中各 OH-PAHs 相关性分析

表 2 可见, 几种 OH-PAHs 之间相关性差异较大。2-羟基萘、2-羟基茚、总羟基菲与 1-羟基茚间的相关系数在 0.202~0.781 之间, 其中, 1-羟基茚与 2-羟基萘、总羟基菲浓度的相关系数分别为 0.362 和 0.781。

中产生的大量 PAHs 可能附着在肉制品表面, 并通过饮食进入人体; 同时, 该山区大量采用木材和煤进行烹调 and 取暖, 这也是造成 1-羟基茚显著增加的主要原因。由于本研究所采集样本数目有限, 采样期间没有开展膳食以及室内大气的调查, 因此, 其不同暴露途径的影响仍需进一步核实和研究。

各 OH-PAHs 之间相关性的分析结果显示, 2-羟基萘、2-羟基茚、总羟基菲与 1-羟基茚间的相关系数在 0.202~0.781 之间, 其中, 1-羟基茚与 2-羟基萘、总羟基菲的浓度相关系数分别为 0.362 和 0.781, 这与岳强等^[7]对广东中学生的研究结果(1-羟基茚与 2-羟基萘、总羟基菲的浓度相关系数分别为 0.264 和 0.397)有显著差别。这两项研究结果提示我们, 对于不同的暴露人群, 不同暴露途径之间的贡献可能会有所不同。本研究中的采样对象多为山区居民, 其暴露途径可能主要受饮食的影响, 同时, 因为山区居民仍采用木材和煤进行烹调 and 取暖, 因此, 室内大气有不可忽视的影响; 对于城市中学生(尤其是广东地区), 除饮食影响外, 暴露途径可能更为多样化, 大气污染对其内暴露的影响可能有一定影响。

本研究相关性分析结果与目前国际近几年的研究结果较为相似。Chen 等^[6]的研究发现, 烹饪造成的室内大气污染能明显提高人体内 1-羟基茚的浓度水平。相关性的分析结果同时显示, 不同羟基取代位的菲与总羟基菲的相关性较好, 2-羟基菲+3-羟基菲、1-羟基菲+9-羟基菲、4-羟基菲与总羟基菲的相关性分别为 0.898、0.983 和 0.747。岳强等^[7]对中学生的研究也得出相似规律, 2-羟基菲+3-羟基菲、9-羟基菲与总羟基菲的相关性分别为 0.707、0.958。因此, 建议在受分析条件限制或者标样种类限制时, 可选用 1-羟基菲+9-羟基菲来进行人体中菲的内暴露水平研究。

综上所述, 不同的暴露环境和途径可能会导致 OH-PAHs 组成发生显著变化, 因此, 利用多种 OH-PAHs 的联合检测可更为客观地反映人体中 PAHs 的内暴露水平。

参考文献:

- [1] 牛红云, 蔡亚岐, 魏复盛, 等. 多环芳烃暴露的生物标志物-尿中羟基多环芳烃[J]. 化学进展, 2006, 18(10): 1381-1390.
- [2] 岳强, 王德超, 于志强, 等. 人尿液中 10 种羟基多环芳烃同时检测[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(4): 443-444.
- [3] Li Z, Sandau CD, Romanoff LC, et al. Concentration and profile of 22 urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in the US population [J]. Environ Res, 2008, 107: 320-331.
- [4] Zhang WJ, Xu DQ, Zhuang GS, et al. A pilot study on using urinary 1-hydroxypyrene biomarker for exposure to PAHs in Beijing [J]. Environ

文章编号 :1001-5914(2010)07-0614-04

旅客列车空调系统卫生学调查

崔秀波,刘伟,邵蔚,蒋勇,刘钊

摘要 :目的 了解旅客列车空调系统的卫生状况。方法 于 2009 年 1—10 月,采用分层整群随机抽样的方法抽取合肥车辆段空调列车车厢 108 节,其中,硬座车厢 30 节、硬卧车厢 28 节、餐车车厢 24 节(燃煤燃电各 12 节)、软卧车厢 26 节。测定回风管道中的积尘量、细菌总数、真菌总数、 β -溶血性链球菌、送风口 PM10、细菌总数、真菌总数、 β -溶血性链球菌、冷凝水嗜肺军团菌。结果 回风管和送风口细菌总数合格率均较低,分别为 15.6%和 59.2%。 β -溶血性链球菌均合格。不同类型车厢空调送风口的 PM10 合格率间比较,差异有统计学意义($\chi^2=22.49$ $P<0.05$);其合格率依次为餐车(54.2%)<硬座(76.7%)<硬卧(96.4%)<软卧(100.0%)。不同运行年限车厢空调回风管的积尘量、细菌总数间比较,差异均有统计学意义(积尘量 $\chi^2=24.71$ $P<0.05$,细菌总数 $\chi^2=19.75$ $P<0.05$),且空调回风管积尘量随着车厢运行年限的延长有增加的趋势。采集冷凝水水样 34 件,嗜肺军团菌的检出率为 2.9%。结论 列车空调系统积尘量和细菌总数超标严重。建议在段修(即运行列车空调运行 2~3 年时)对空调通风管道进行彻底的清洗和消毒。

关键词 空气污染;室内;铁路;卫生调查

中图分类号 R181.3

文献标识码 A

Hygienic Survey on Air-conditioning System in Passenger Train CUI Xiu-bo, LIU Wei, SHAO Wei, et al. *Shanghai Railway Administration Xuzhou Railway Centre for Disease Control and Prevention, Xuzhou, Jiangsu 221005, China*

Abstract **Objective** To explore the hygienic status of the air-conditioning system in the train. **Methods** From Jan to Oct in 2009, Total 108 air-conditioning trains in Hefei vehicles section were collected randomly by stratified cluster sampling, including 30 hard-seat compartments, 28 hard-berth compartments, 24 dining cars with 12 coal-fired trains and 12 electric trains respectively, and 26 soft-berth compartments. The dirt amount, total bacteria count, total fungal plate count and beta-haemolytic streptococcus in return-air pipelines were determined. The PM10, total bacteria count, total fungal plate count and beta-haemolytic streptococcus in supply-air outlets were also determined. The legionella pneumophila in condensed water were assayed. **Results** The qualified rate of total bacteria count was 15.6% in return-air pipeline and that in supply-air outlet is 59.2%. The beta-haemolytic streptococcus count was qualified. The qualified rate of PM10 was 54.2%, 76.7%, 96.4% and 100% in dining cars, hard-seat compartments, hard-berth compartments and soft-berth compartments, respectively. The difference was significant ($\chi^2=22.49$ $P<0.05$). The dirt amount in return-air pipeline was different significantly between different running time of subway train ($\chi^2=24.71$ $P<0.05$) and increased with running time. The total bacteria count was different significantly between different running time of subway train ($\chi^2=19.75$ $P<0.05$). Total 34 condensed water samples were collected and detection rate of legionella pneumophila was 2.9%. **Conclusion** The dirt amount and total bacteria count in the air-conditioning system of the train are over standard severely. It is suggested that measures should be taken to clean and disinfect thoroughly for ventilation air-conditioning piping when air-conditioning system has run for 2 to 3 years.

Key words Air pollution; indoor; Railroads; Hygienic survey

随着 SARS、禽流感等传染病的暴发流行,集中空调通风系统卫生安全得到空前的关注。作为我国大众化的主要运输工具,列车正向高速化、空调化方向发展。列车空调化主要目的在于改

善所处空间的环境质量,满足乘客对交通工具舒适性的要求。但是列车空调通风系统如果未及时进行清洗消毒,不但不能满足旅客舒适性的要求,还会污染车厢空气;且当滤网灰尘堆积到一定程度,可能导致空调回风量不足,引发安全事故。为了解列车空调通风系统的污染状况,为列车空调系统卫生管理以及车辆部门制订列车空调系统的清洗消毒提供科学依据,笔者于 2009 年

基金项目:上海铁路局科研开发、示范性推广项目(2009091)

作者单位:上海铁路局徐州铁路疾病预防控制所(江苏 徐州 221005)

作者简介:崔秀波(1967-),女,副主任医师,从事环境卫生学研究。

Monit Assess 2007, 131: 387-394.

[5] 段小丽,魏爱盛,张军锋,等. 尿中 1-羟基芘浓度与多环芳烃日暴露量的关系[J]. 环境化学, 2005, 24(1): 86-88.

[6] Chen B, Hu Y, Jin T, et al. Higher urinary 1-hydroxypyrene concentration is associated with cooking practice in a Chinese population [J]. Toxicol Lett 2007, 171: 119-125.

[7] 岳强,王德超,于志强,等. 我国南方某市部分中学生多环芳烃内暴露水平研究 [J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(5): 385-387.

[8] Grainger J, Huang WJ, Patterson DG, et al. Reference range levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in the US population by measurement of urinary monohydroxy metabolites [J]. Environ Res 2006, 100: 394-423.

[9] Becker K, Christine S, Susanne K, et al. German environmental survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in the urine of the German

population [J]. Int J Hyg Environ Health 2003, 206: 15-24.

[10] Ruchirawat M, Navasumrit P, Settachan D, et al. Measurement of genotoxic air pollutant exposures in street vendors and school children in and near Bangkok [J]. Toxicol Appl Pharmacol 2005, 206: 207-214.

[11] Cavanagh JAE, Leslie B, Katherine T, et al. Elevated concentrations of 1-hydroxypyrene in schoolchildren during winter in Christchurch, New Zealand [J]. Sci Total Environ 2007, 374: 51-59.

[12] 冷曙光,郑玉新,宋文佳,等. 尿中萘及其代谢产物作为焦炉工生物监测指标的研究[J]. 工业卫生与职业病, 2003, 29(5): 284-287.

[13] 范瑞芳,于志强,王宇,等. 汕头市郊某地人群体内 1-羟基萘、2-羟基萘和 1-羟基芘暴露研究[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(4): 388-391.

(收稿日期: 2010-03-04; 修回日期: 2010-05-10)

(本文编辑: 韩威)