

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

序	郝郑平(4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征	安俊琳,朱彬,李用宇(4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析	翟增秀,邹克华,李伟芳,王亘,翟友存(4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析	杨辉,朱彬,高晋徽,李用宇,夏丽(4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算	崔虎雄(4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响	韩丽,王幸锐,何敏,郭卫广(4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策	黄碧捷(4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究	段菁春,彭艳春,谭吉华,郝吉明,柴发合(4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价	李雷,李红,王学中,张新民,温冲(4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估	张银,王秀艳,高爽(4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物(VOCs)排放特征研究	王浙明,徐志荣,叶红玉,许明珠,王晓星(4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险	谭冰,王铁宇,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物(VOCs)排放特征	崔如,马永亮(4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价	曾培源,李建军,廖东奇,涂翔,许玫英,孙国萍(4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价	陈小开,程赫明,罗会龙(4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究	何万清,聂磊,田刚,李靖,邵霞,王敏燕(4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价	房增强,甘平,杨乐,戴子瑜,祁世鸿,贾建丽,何绪文(4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征	甘平,杨乐巍,房增强,郭淑倩,于妍,贾建丽(4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究	杜平,王世杰,赵欢欢,伍斌,韩春媚,房吉敦,李慧颖,细见正明,李发生(4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响	胡林,邱兆富,何龙,宴颖,吕树光,隋倩,林匡飞(4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律	陈锡超,罗茜,陈虎,魏孜,王子健,许科文(4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价	陈峰,徐建芬,唐访良,张明,阮东德(4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性	郭斌,律国黎,任爱玲,杜昭,邢志贤,韩鹏,高博,刘淑娅(4654)
新型生物滴滤填料性能评价	梅瑜,成卓韦,王家德,活泼(4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究	张超,赵梦升,张丽丽,陈建孟(4669)
BF 和 BTf 工艺去除 DCM 性能比较	潘维龙,於建明,成卓韦,蔡文吉(4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究	王家德,郑亮巍,朱润晔,俞云锋(4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究	朱润晔,郑亮巍,毛玉波,王家德(4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究	蔡道飞,黄维秋,王丹莉,张琳,杨光(4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙炔废气的研究	沙昊雷,杨国靖,夏静芬(4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究	杜娟,栾志强,解强,叶平伟,李凯,王喜芹(4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析	吴宏章,黄维秋,杨光,赵晨露,王英霞,蔡道飞(4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究	李靖,王敏燕,张健,何万清,聂磊,邵霞(4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学	陈长伟,于艳科,陈进生,何焜(4724)
KrBr ⁺ 准分子灯直接光解一甲胺气体	赵洁,刘玉海,韦连梅,叶招莲,张善端(4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究	颜鲁春,刘杰民,付慧婷,孙媛,林文辉(4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究	江梅,张国宁,任春,邹兰,魏玉霞(4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善	江梅,张国宁,邹兰,魏玉霞,张明慧(4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究	王铁宇,李奇锋,吕永龙(4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究	王强,周刚,钟琪,赵金宝,杨凯(4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估	牟桂芹,隋立华,郭亚逢,马传军,杨文玉,高阳(4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展	谢军飞,李延明(4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究	刘昌新,王宇飞,郝郑平,王铮(4787)
《环境科学》第34卷(2013年)总目录	(4792)
《环境科学》征订启事(4717) 《环境科学》征稿简则(4742) 信息(4528, 4626, 4693, 4700)	

天津某家具城挥发性有机物健康风险评估

张银, 王秀艳*, 高爽

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 为了解家具城室内空气中挥发性有机物的污染状况, 对其职工进行慢性暴露健康风险评估, 于2011年夏(6月)和2012年秋(10月)对天津某家具城进行了空气采样, 通过气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析污染物浓度。分析得出, 家具城室内污染物浓度约高出室外1.9倍, 以芳香族化合物和卤代烷烃为主, 萜烯也占一定比例, 特征VOCs为二氯甲烷、甲苯和 α -蒎烯; 苯系物浓度明显低于《室内空气质量标准》的限值。苯和二氯甲烷的致癌风险分别为 1.24×10^{-5} 、 2.50×10^{-5} , 存在潜在的人群致癌风险; VOCs非致癌危害指数之和小于1, 在可接受范围内。健康效应分析表明, 工龄和心率及肺通气功能不存在偏相关关系。暴露组和对照组尿中苯巯基尿酸(S-PMA)和8-羟基脱氧鸟苷(8-OHdG)的生物监测及分析表明, 在低暴露条件下, 吸烟是影响S-PMA浓度的重要因素, 但在较高暴露条件下, 其影响减弱; S-PMA浓度和8-OHdG正相关, 与性别、吸烟与否以及年龄有关, 还可能与工龄有关。

关键词: 家具城; 室内空气; 挥发性有机物; 苯巯基尿酸; 风险评估

中图分类号: X511; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4565-06

Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin

ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang

(School of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: In order to understand the indoor air pollution of volatile organic compounds in furniture mall and to perform health risk assessment of chronic exposure to its workers, in this study, the air samples in a furniture mall in Tianjin were sampled in summer (June) and autumn (October) in 2011 and 2012, and the compositions of VOCs were investigated by using the method of re-concentration-GC-MS. The results showed that the indoor concentration of total pollutants was about 1.9 times higher than that of outdoor; the characterized odorous substances were dichloromethane, toluene, and α -pinene; aromatic compounds and halogenated alkane were detected in large amounts in furniture mall, and terpenes also occupied a certain proportion. The concentrations of benzene, toluene and xylene were significantly lower than the indoor air quality standards. There was a potential cancer risk of benzene and dichloromethane, the Lifetime Cancer Risks (LCR) of which were 1.24×10^{-5} and 2.50×10^{-5} , respectively. The non-carcinogenic hazard index (HI) of TVOC was below 1, which was within the acceptable range. The health effects analysis showed that there was no partial correlation between the working seniority and heart rate, and pulmonary ventilation function. The biological monitoring and analysis of S-PMA and 8-OHdG in urine for the exposed group and control group showed that in the low-exposure conditions, smoking was an important factor affecting the concentration of S-PMA, but under conditions of higher-exposure, its influence was weakened; there was a positive correlation between S-PMA and 8-OHdG, there was also a correlation between S-PMA and sex, smoking and age; besides, there may be a correlation between S-PMA and the working seniority.

Key words: furniture mall; indoor air; volatile organic compounds (VOCs); S-PMA; risk assessment

人们的大部分时间在室内环境中度过^[1], 室内空气质量对人体健康有重要影响, 而家具污染、建筑污染、装修污染是危害室内环境的三大污染源^[2]。因此, 对家具城空气中有害物质的研究, 可以评估职工的暴露风险, 为保护人群健康提供依据。

根据生产工艺和使用原料的不同, 家具城空气中的污染物也有所差异。家具污染主要有苯系物、甲醛、乙酸乙酯、乙酸丁酯等^[3], 而挥发性有机物(VOCs)的主要来源是装饰材料, 包括板材、油漆、涂料等^[4~7]。

目前, 很多人已经对室内空气污染及其健康风险进行了研究^[1, 8~13]。如Yuan等^[14]研究北京的家

具喷漆产生VOCs的情况表明, 苯系物是家具喷漆释放的主要VOCs, 其中甲苯约占TVOC的47.1%。除此之外, 还有人研究了室内空气污染对人体心肺功能的影响^[15~18], 如Lin等^[16]的研究表明, 室内空气污染物TVOCs对青少年的血压和心率有重要影响; 对短期暴露于松木释放的污染物对心肺功能的影响研究表明^[18], 在一定的控制条件下, 短期暴露于松木释放的高浓度的VOCs, 即使浓度达到 $13 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 也不会对人群的心肺产生影响。

本研究以天津某家具城为对象, 除了分别在夏、

收稿日期: 2013-03-11; 修订日期: 2013-05-29

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201009034, 201109004)

作者简介: 张银(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染与健康风险评估, E-mail: zhangyinhebei@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangsy@nankai.edu.cn

秋两季对其进行了空气采样和成分分析外,还以工龄 ≥ 5 a,无心肺功能疾病史为标准选取了41名职工进行问卷调查和体检,用于分析工龄和心肺功能的关系,以此用来评估长期暴露于家具城污染空气中的健康风险。同时,还对作为职业慢性低浓度苯暴露的生物标志物苯巯基尿酸(S-PMA)以及苯暴露遗传损伤效应指标8-羟基脱氧鸟苷(8-OHdG)进行了生物监测。

1 材料与方法

1.1 样品采集

1.1.1 研究区域

研究选取的天津某家具城属于家具建材综合市场,主要经营家具装饰材料^[19]。此次研究的采样点设在橱柜销售区,该区采用自然通风,对该家具城室内VOCs的整体平均水平具有代表性。另外,在其室外10 m范围外选取无机动车尾气等其他污染源干扰的两处监测室外VOCs浓度。

1.1.2 采样时间和方法

采样分两个阶段进行:2011年6月20日(夏季)和2012年10月18日(秋季)。采用配有真空泵的采样袋和苏玛罐(SUMMA Canister)分别监测室内外1 h平均浓度,夏季还监测了室内外8 h平均浓度,同时抽取41名职工进行问卷调查和体检(夏季),并采集其晨尿。两次采样均参照《HJ/T 167-2004 室内环境空气质量监测技术规范》中的标准进行。

1.2 样品分析

1.2.1 分析仪器及方法

VOCs分析在美国EPATO-15方法中推荐的低温预浓缩技术和气相色谱-质谱联用系统上进行^[20],所用仪器设备主要有气相色谱质谱仪、色谱柱、预浓缩进样系统(具备三级冷阱)、自动清罐仪、动态稀释仪以及自动进样器。样品在预浓缩系统一级冷阱中经液氮低温冷冻浓缩除去空气中的氧气和氮气后,经二级冷阱去除样品中的水蒸气和大部分二氧化碳,最后经三级冷阱冷聚焦后瞬间升温将试样导入气相色谱,经色谱柱分离后,由质谱对该样品中的恶臭物质进行定性定量分析。标准气体含有VOCs混合标气和PAMS标气,共108种。

1.2.2 质量保证

用高纯氮清洗罐后经抽查测试合格;样品分析前进行空白样品分析,以保证监测数据的可靠性;预浓缩进样系统和气相色谱-质谱的操作条件严格

按照文献[20]进行。

2 结果与讨论

2.1 组成特征分析

两次采样共检测出67种恶臭物质,包括65种VOCs。其中,烷烃20种,不饱和烃8种,芳香族化合物15种,卤代烷烃13种,酮类酯类醚类醇类6种,萜烯3种,同时还有少量的CS₂和CCl₄。各类恶臭物质的质量浓度如图1所示。

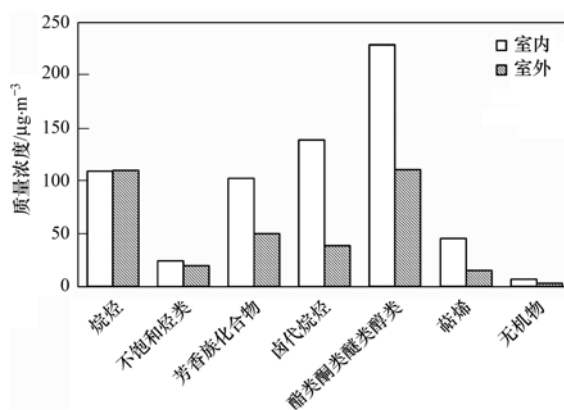


图1 家具城室内外恶臭物质质量浓度

Fig. 1 Mass concentration of indoor and outdoor odorous substances in furniture mall

由图1可知,家具城室内外不同种类VOCs分布较一致,以芳香族化合物、卤代烷烃和烷烃为主,萜烯也占有一定比例,并且除烷烃外,其余6类恶臭物质的室内浓度均明显高于室外浓度。同时,室内浓度最高的前10种VOCs如图2所示。

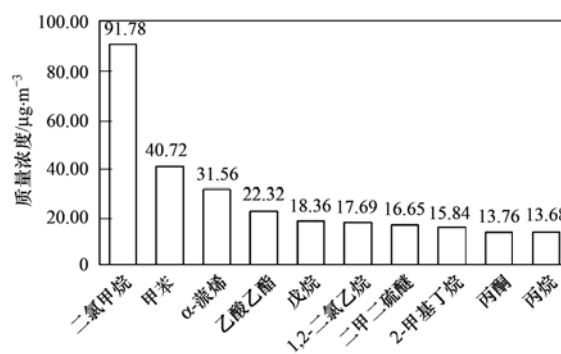


图2 家具城室内质量浓度最高的前10种VOCs

Fig. 2 Highest concentration of top 10 indoor VOCs in furniture mall

由图2可知,二氯甲烷、甲苯和α-蒎烯是家具城室内的特征VOCs。其中,二氯甲烷主要来源于家具的涂料溶剂,甲苯主要来源于家具板材,而萜烯是树脂以及由树脂而来的松节油的主要成分,目前广泛应用于油漆工业中。

此外,将苯系物的质量浓度与《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)的标准值进行对比发现,本研究采集到的苯系物的质量浓度明显低于国标值.说明该家具城空气污染不严重,这与后文的健康风险评估结果一致.

2.2 致癌和非致癌风险评估

根据美国环保署制定的大气有毒污染物名单^[21],研究检出的65种VOCs中,有约1/3的物种为有毒挥发性有机物,其中二氯甲烷和苯含量较高,其致癌性对职业暴露人群具有一定的遗传损坏作用^[22,23].因此,研究根据美国IRIS对有毒污染物进行了致癌和非致癌风险评估.

致癌风险评估:用终生致癌风险(LCR)为衡量指标,用慢性摄入量(CDI)作为潜在剂量评估职业慢性暴露:

$$LCR = CDI_{ca} \times SF \tag{1}$$

式中,SF为污染物致癌斜率因子;CDI_{ca}为致癌污染

物暴露量.

$$CDI = (c_a \times IR \times ET \times EF \times ED) / 365 \times BW \times AT \tag{2}$$

式中,*c_a*为污染物的浓度(mg·m⁻³);IR为成人的吸收速率,取0.83 m³·h⁻¹^[19];ET为每日暴露时间,取8 h;EF为暴露频率,取300 d·a⁻¹;ED为暴露持续时间,取25 a;BW为人体质量,取65 kg;AT为平均寿命,致癌风险评估取70 a,非致癌风险评估取25 a.

非致癌风险评估:用危害指数(HI)为衡量指标.

$$HI = CDI_{nc} / RfC \tag{3}$$

式中,RfC为污染物的非致癌参考剂量(mg·m⁻³);CDI_{nc}取值同式(2).混合源的非致癌风险值为各物种危害指数之和.

研究对该家具城的8种污染物进行了致癌和非致癌风险评估,其浓度采用8 h平均浓度,评估结果如表1所示.

表1 家具城环境中空气中污染物的致癌风险和非致癌风险指数

Table 1 Carcinogenic risk and non-carcinogenic risk index of air pollutant in furniture mall

化合物	浓度/mg·m ⁻³	CDI _{ca}	LCR	CDI _{nc}	HI
苯乙烯	1.36E-02	4.08E-04	—	1.14E-03	1.14E-03
苯	1.42E-02	4.25E-04	1.24E-05	1.19E-03	3.96E-02
甲苯	5.88E-02	1.76E-03	—	4.94E-03	9.88E-04
乙苯	1.26E-02	3.77E-04	—	1.05E-03	1.05E-03
萘	1.82E-02	5.46E-04	—	1.52E-03	5.10E-01
氯苯	5.00E-04	1.50E-05	—	4.20E-05	8.40E-04
二氯甲烷	1.11E-01	3.32E-03	2.50E-05	9.31E-03	8.95E-03
二硫化碳	2.24E-03	6.71E-05	—	1.88E-04	2.69E-04

由表1可知,苯和二氯甲烷的致癌风险范围在10⁻⁶~10⁻⁴之间,存在潜在致癌风险,VOCs非致癌危害指数之和为0.563,小于1,其非致癌健康风险在可接受范围内.风险评估结果与前文所述家具城空气污染不严重结果一致.

2.3 健康效应分析

污染物的健康影响研究方法主要有相关分析和回归分析^[15,17,24,25].本文通过研究工龄和心肺功能

的关系来评估职工慢性暴露的健康影响,其中肺通气功能指标主要包括反映大气道功能的肺活量(VC),用力肺活量(FVC),1 s用力呼气容积(FEV₁),反映小气道功能的25%、50%、75%用力呼气流速(*V*₂₅、*V*₅₀、*V*₇₅)以及综合反映大、小气道功能的最大通气量(MVV).本研究采用了偏相关分析,控制的因素包括年龄、身高、体重、性别、吸烟与否这5个因素.分析结果如表2所示.

表2 各指标与工龄的偏相关系数及双尾检验的*P*值

Table 2 Two-tailed *P* value of partial correlation coefficients of indicators and working seniority

项目	VC	FVC	FEV ₁	<i>V</i> ₂₅	<i>V</i> ₅₀	<i>V</i> ₇₅	MVV	心率
系数	-0.286	-0.066	-0.004	0.086	0.081	0.075	-0.262	0.165
<i>P</i> 值	0.101	0.711	0.984	0.627	0.649	0.673	0.135	0.352

由表2数据可知,各系数的*P*值均大于0.05,说明工龄和心率及肺通气功能不存在偏相关关系.

2.4 生物监测

苯作为一种常见的外暴露监测污染物,已经被确认为致癌物质,许多国家对苯的接触阈值-时间加权平均浓度(TLV-TWA)进行了修订.美国将苯的

接触阈值降至 $0.32\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[26],我国《工作场所有害因素职业接触限值》GBZ 2-2002 中规定苯的时间加权平均接触阈值为 $6\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,短时间接触阈值为 $10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[27]. 苯对应的代谢产物 S-PMA 是常用的苯接触生物标志物. 近年来的一些研究认为,苯代谢过程也会产生大量的活性自由基,造成 DNA 的氧化损伤,因此本研究同时监测了苯暴露遗传损伤效应指标 8-OHdG 的含量.

选取该家具城的 41 名员工作为暴露组,文教事业单位职工 16 名作为对照组,比较分析两组人员尿中 S-PMA 的浓度. 为消除饮水量、排汗量、排尿量等因素对尿样浓度的影响,通常采

用肌酐(Cr)对 S-PMA 浓度进行校正,以增强样品之间的可比性.

暴露组和对照组 S-PMA 的平均浓度 $\pm$ 标准偏差(最小值 ~ 最大值)分别为: (30.97 ± 22.03) $(5.16 \sim 80.34)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 (27.91 ± 16.46) $(6.3 \sim 69.56)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,统计表明两组间无显著差异($P = 0.947$, $P > 0.05$),但暴露组的浓度明显高于对照组,约高出 11%.

有研究表明,吸烟会对 S-PMA 的浓度产生重要影响,有时甚至会超过职业暴露的影响,因此将暴露组和对照组按照吸烟与否进行分类,分别计算其 S-PMA 的浓度,结果如表 3 所示.

表 3 暴露组与对照组吸烟与不吸烟人群的 S-PMA 浓度¹⁾/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 3 Concentration of S-PMA in smoking and non-smoking population in exposed and control group/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

变量	暴露组			对照组			P
	N	Mean $\pm$ SD(Min-Max)	P	N	Mean $\pm$ SD(Min-Max)	P	
吸烟	9	39.96 $\pm$ 23.94(12.97 ~ 80.34)	0.148	4	39.53 $\pm$ 20.95(21.05 ~ 69.56)	0.043	1
不吸烟	17	26.21 $\pm$ 20.06(5.16-76.01)		9	21.26 $\pm$ 9.50(6.30-31.45)		

1) P 值经 Mann-Whitney U 检验, $P < 0.05$

由表 3 可知,暴露组吸烟人群 S-PMA 的浓度比不吸烟人群高 52.46%,但无显著差异($P = 0.148$, $P > 0.05$),对照组吸烟人群 S-PMA 的浓度比不吸烟人群高 85.96%,具有显著性差异($P = 0.043$, $P < 0.05$),可见在低暴露条件(对照组)下,吸烟是影响 S-PMA 浓度的重要因素,但是在较高暴露条件(暴露组)下,吸烟对 S-PMA

浓度的影响较小;对于吸烟人群,暴露组和对照组无显著差异($P = 1.000$, $P > 0.05$),对于不吸烟人群,暴露组和对照组也无显著差异($P = 0.834$, $P > 0.05$),但是暴露组 S-PMA 浓度高出对照组 23.3%.

暴露组和对照组尿中 S-PMA 浓度和年龄的相关性检验结果如表 4 所示.

表 4 暴露组和对照组尿中 S-PMA 浓度和年龄的相关性检验

Table 4 Correlation test of S-PMA and age in the exposure and control groups

类型	Spearman 相关系数	P 值	结论
暴露组	0.430	0.028(< 0.05)	S-PMA 和年龄相关
对照组	0.027	0.937(> 0.05)	S-PMA 和年龄不相关

由表 4 数据可知,暴露组 S-PMA 浓度和年龄相关,而对照组则不相关. 但经检验,暴露组 S-PMA 浓度和工龄的相关系数为 0.161, P 值为 0.431,大于 0.05,说明二者没有相关性. 两个结论的矛盾可能在于暴露组工龄只是在本家具城的工龄,回访表明暴露人员之前工作经历多与此相关.

另外,采用逐步回归的方法研究了暴露组年龄、性别、吸烟与否对 S-PMA 浓度的影响,其结果为:

$y = -59.310 + 1.929x_1 - 25.604x_2 + 16.479x_3$
式中, y 表示 S-PMA 的浓度值, x_1 表示年龄, x_2 表示性别, x_3 表示吸烟与否. 其中,男性赋值为 1,女性赋值为 0; 吸烟赋值为 1,不吸烟赋值为 0. 各系数

的 P 值分别为 0.005、0.012、0.039,均小于 0.05,说明回归公式具有统计学意义.

此外,有研究表明,8-OHdG 是在苯二酚的影响下生成的,而苯二酚是苯在体内的代谢产物^[28],因此本研究还以苯为代表评价了苯暴露标志物 S-PMA 和 DNA 损伤标志物 8-OHdG 的剂量效应关系. 二者的相关分析散点图如图 3 所示.

统计结果表明 8-OHdG 浓度和 S-PMA 浓度正相关, Spearman 相关系数为 0.4 ($P = 0.021$, $P < 0.05$),相关关系显著. 其回归方程为: $y = 11.123 + 0.898x$, 式中, y 代表 8-OHdG 的浓度值, x 代表 S-PMA 的浓度值.

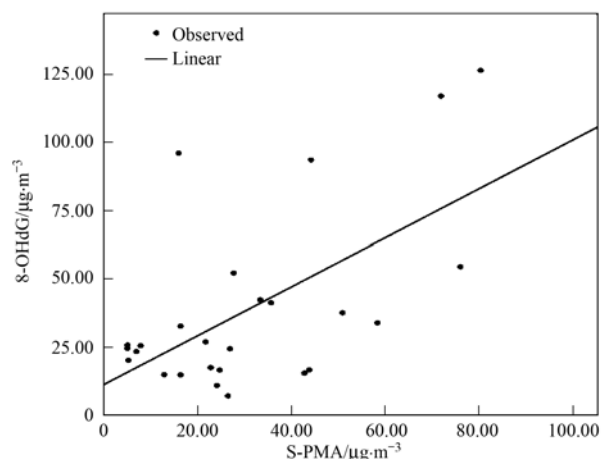


图3 8-OHdG 和 S-PMA 相关关系散点图

Fig. 3 Scatter plot of 8-OHdG and S-PMA

3 结论

(1)家具城共检出 67 种恶臭物质,包括 65 种 VOCs,室内外浓度差异较大,室内 VOCs 总浓度 ($649.23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 大约是室外 ($343.75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 的 1.9 倍,以芳香族化合物和卤代烷烃为主,特征 VOCs 为:二氯甲烷、甲苯和 α -萜烯。

(2)本研究采集到的苯、甲苯、二甲苯的质量浓度明显低于《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)的限值,说明该家具城污染不严重,这与后面的健康评估结果一致。

(3)偏相关分析表明家具城职工的工龄和心率以及一些肺功能指标不存在偏相关关系。

(4)环境监测以及相关分析表明,暴露组人群尿中 S-PMA 浓度高出对照组 11%,对于不吸烟人群,暴露组则高出对照组 23.3%。在低暴露条件下,吸烟是影响尿中 S-PMA 浓度的重要因素,但是在较高暴露条件下,其影响减弱。S-PMA 浓度和性别、是否吸烟以及年龄有关,并且可能与工龄有关。

(5)S-PMA 浓度和 8-OHdG 正相关,即 S-PMA 浓度升高会造成 DNA 的氧化损伤。

参考文献:

- [1] Klepeis N E, Nelson W C, Wayne R O, *et al.* The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants [J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2001, **11** (3): 231-252.
- [2] 李解生, 龚德光, 李君波, 等. 家俱展销厅空气中甲醛和挥发性有机物污染的调查 [J]. *实用预防医学*, 2008, **15** (1): 38-39.
- [3] 张一凡, 付路, 李为, 等. 某民营木制家具制造企业职业病危害因素检测结果分析 [J]. *职业与健康*, 2005, **21** (1): 22-23.
- [4] 陈宇炼, 沙春霞, 张静, 等. 室内空气中主要挥发性有机物污染状况调查 [J]. *中国卫生监督杂志*, 2002, **9** (2): 84-86.
- [5] Baya M P, Bakeas E B, Siskos P A. Volatile organic compounds in the air of 25 Greek homes [J]. *Indoor and Built Environment*, 2004, **13** (1): 53-61.
- [6] 邵振才, 万军明. 脲醛胶在生产及使用过程中的甲醛污染 [J]. *环境保护*, 1998, **8** (5): 15-16.
- [7] 张一帆. 几种环保型人造板表面装饰产品及工艺技术 [J]. *林产工业*, 2002, **29** (4): 26-28.
- [8] Choi E, Choi K, Yi S M. Non-methane hydrocarbons in the atmosphere of a Metropolitan City and a background site in South Korea: Sources and health risk potentials [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45** (40): 7563-7573.
- [9] 黄财林, 薛金发, 林云钦, 等. 职业病危害预防手册 [M]. 香港: 中国评论学术出版社, 2004. 194-195.
- [10] 徐斌, 罗永军, 胡富宇. 53 家家俱厂有害因素监测结果分析 [J]. *职业卫生与应急救援*, 2005, **23** (1): 22-23.
- [11] 张龙连, 卢玲, 管东竹, 等. 北京市丰台区 77 家木制品家具厂木尘及“三苯”职业病危害现状调查 [J]. *职业与健康*, 2008, **24** (23): 2515-2516.
- [12] 白连贵. 某家具企业慢性苯中毒调查 [J]. *中国工业医学杂志*, 2005, **18** (3): 189.
- [13] Wolkoff P. Indoor air pollutants in office environments: assessment of comfort, health, and performance [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2013, **216** (4): 371-394.
- [14] Yuan B, Shao M, Lu S H, *et al.* Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **44** (15): 1919-1926.
- [15] Chang Y K, Wu C C, Lee L T, *et al.* The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan [J]. *Chemosphere*, 2012, **87** (1): 26-30.
- [16] Lin L Y, Chen H W, Su T L, *et al.* The effects of indoor particle exposure on blood pressure and heart rate among young adults: An air filtration-based intervention study [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45** (31): 5540-5544.
- [17] Liu L, Zhang J L. Ambient air pollution and children's lung function in China [J]. *Environment International*, 2009, **35** (1): 178-186.
- [18] Gminski R, Marutzky R, Kevekordes S, *et al.* Sensory irritations and pulmonary effects in human volunteers following short-term exposure to pinewood emissions [J]. *Journal of Wood Science*, 2011, **57** (5): 436-445.
- [19] 高爽. 恶臭污染源挥发性有机物排放特征和健康风险评估 [D]. 天津: 南开大学, 2012. 79-85.
- [20] U. S. Environmental Protection Agency. EPA Method TO-15: determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected-prepared canisters and analyzed by gas chromatography mass spectrometry (GC/MS) [S]. Washington DC: US EPA, 1999.

- [21] U. S. Environmental Protection Agency. Draft Final Guidelines for carcinogen risk assessment [S]. EPA/630/P- 03/001A, NCEA-F-0644A, 2003.
- [22] Sweet C W, Vermette S J. Toxic volatile organic compounds in urban air in Illinois[J]. Environmental Science and Technology, 1992, **26**(1): 165-173.
- [23] Lerner J E C, Sancheze E Y, Sambeth J E, *et al.* Characterization and health risk assessment of VOCs in occupational environments in Buenos Aires, Argentina [J]. Atmospheric Environment, 2012, **55**: 440-447.
- [24] Weichenthal S, Kulka R, Bélisle P, *et al.* Personal exposure to specific volatile organic compounds and acute changes in lung function and heart rate variability among urban cyclists [J]. Environmental Research, 2012, **118**: 118-123.
- [25] 高红霞, 孙淑丰, 王艳茹, 等. 不同大气污染程度对小学生肺通气功能的影响[J]. 中国学校卫生, 2004, **25**(5): 564-565.
- [26] 郭颖燕, 陈坤. 职业苯暴露生物标志物的研究现状[J]. 中国工业医学杂志, 2008, **21**(1): 58-60.
- [27] GBZ 2-2002. 工作场所有害因素职业接触限值[S].
- [28] Nakayama A, Noguchi Y, Mori T, *et al.* Comparison of mutagenic potentials and mutation spectra of benzene metabolites using *sup* F shuttle vectors in human cells [J]. Mutagenesis, 2004, **19**(2): 91-97.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (4503)
Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China	AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)
Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown	ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (4519)
Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring	CUI Hu-xiong (4529)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province	HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, <i>et al.</i> (4535)
Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City	HUANG Bi-jie (4543)
Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing	DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (4558)
Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin	ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry	WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (4577)
Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory	CUI Ru, MA Yong-liang (4585)
Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings	ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, <i>et al.</i> (4592)
Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers	CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)
Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS	HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (4675)
Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves	WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (4694)
Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration	SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)
Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve	DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, <i>et al.</i> (4706)
Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank	WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, <i>et al.</i> (4712)
Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model	LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO _x Composite Oxides	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr * Excilamp	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (4751)
Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China	WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)
Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources	WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (4771)
Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants	XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)
Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE	LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (4787)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年12月15日 34卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 12 Dec. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人