

济南市医院病理科工作人员甲醛和二甲苯暴露健康风险评估

王燕¹, 江媛媛¹, 刘志艳², 王德军¹, 孔凡玲¹, 隋少峰¹

摘要:

[目的] 调查济南市综合医院病理科空气中甲醛和二甲苯的污染水平, 评估其对工作人员的致癌风险和非致癌风险。

[方法] 收集2013—2016年济南市6家综合医院病理科空气中甲醛和二甲苯的职业卫生日常监测数据, 利用美国环境保护署(EPA)吸入风险模型对病理科取材室、技术室、诊断室工作人员的甲醛、二甲苯职业暴露健康风险进行评估。

[结果] 共检测甲醛样本160个, 取材室、技术室、诊断室的甲醛平均质量浓度分别为1.403、0.172、0.129 mg/m³。3个场所的甲醛暴露均存在非致癌风险和致癌风险, 危害系数(HQ)均>1, 致癌风险(Risk)范围为 1.07×10^{-4} ~ 11.67×10^{-4} , 均超过美国EPA制定的限值(1×10^{-6}); 取材室甲醛暴露的致癌风险和非致癌风险最高。共检测二甲苯样本92个, 取材室、技术室、诊断室的二甲苯平均质量浓度分别为0.259、9.546、0.331 mg/m³。技术室二甲苯暴露的非致癌风险最高(HQ=15.56), 取材室和诊断室二甲苯暴露的非致癌风险较小, HQ均<1。

[结论] 济南市综合医院病理科取材室、技术室、诊断室工作人员甲醛暴露均存在致癌风险和非致癌风险, 技术室工作人员二甲苯暴露的非致癌风险最高。

关键词: 病理科; 职业危害; 致癌风险; 非致癌风险; 美国环境保护署吸入风险模型

引用: 王燕, 江媛媛, 刘志艳, 等. 济南市医院病理科工作人员甲醛和二甲苯暴露健康风险评估[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(7): 619-623. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17664

Health risk assessment of formaldehyde and xylene exposures among pathologists in hospitals in Jinan City WANG Yan¹, JIANG Yuan-yuan¹, LIU Zhi-yan², WANG De-jun¹, KONG Fan-ling¹, SUI Shao-feng¹ (1.Institution of Occupational and Environmental Health Monitoring and Assessment, Shandong Center for Disease Control and Prevention, Jinan, Shandong 250014, China; 2.Department of Pathology, School of Basic Medical Sciences, Shandong University, Jinan, Shandong 250012, China). Address correspondence to SUI Shao-feng, E-mail: shaofengsui@163.com · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To investigate the pollution levels of formaldehyde and xylene in indoor air of pathology departments in selected general hospitals in Jinan City, and assess the cancer and non-cancer risks for the pathologists.

[Methods] Daily monitoring data about formaldehyde and xylene in indoor air were collected from pathology departments in six general hospitals in Jinan City from 2013 to 2016. The health risks for pathologists who worked in specimen collection rooms, slide making rooms, and diagnosis rooms of pathology departments were assessed by inhalation risk assessment model recommended by U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

[Results] A total of 160 formaldehyde samples were analyzed. The average concentrations of formaldehyde were 1.403, 0.172, and 0.129 mg/m³ in specimen collection rooms, slide making rooms, and diagnosis rooms, respectively. All the three workplaces had both non-cancer and cancer risks from formaldehyde exposure, for all the three hazard quotients (HQs) were greater than 1 and the cancer risks (Risk) ranged from 1.07×10^{-4} to 11.67×10^{-4} , exceeding the EPA threshold (1×10^{-6}). Both the cancer and non-cancer risks for formaldehyde exposure had the highest values in specimen collection rooms. A total of 92 xylene samples were analyzed. The average concentrations of xylene were 0.259, 9.546, and 0.331 mg/m³ in specimen collection rooms, slide making rooms, and diagnosis rooms, respectively. The non-cancer occupational risk for xylene exposure had the highest value in slide making rooms

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[作者简介] 王燕(1978—), 女, 硕士, 主管医师; 研究方向: 劳动卫生与环境健康; E-mail: swallow-wangyan@163.com

[通信作者] 隋少峰, E-mail: shaofengsui@163.com

[作者单位] 1. 山东省疾病预防控制中心职业与环境健康监测评价所, 山东 济南 250014; 2. 山东大学基础医学院病理学系, 山东 济南 250012

($HQ=15.56$), and were much lower in specimen collection rooms and diagnosis rooms ($HQs < 1$).

[Conclusion] Formaldehyde exposure induces both cancer risk and non-cancer risk for pathologists working in specimen collection rooms, slide making rooms, and diagnosis rooms of pathology departments in selected general hospitals in Jinan City. Xylene exposure induces a higher non-cancer risk in slide making rooms than in other rooms.

Keywords: department of pathology; occupational hazard; cancer risk; non-cancer risk; inhalation risk assessment model of U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)

Citation: WANG Yan, JIANG Yuan-yuan, LIU Zhi-yan, et al. Health risk assessment of formaldehyde and xylene exposure among pathologists in hospitals in Jinan City[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(7): 619-623. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17664

病理科工作人员在日常工作中经常接触甲醛、二甲苯等有毒有害的化学物质。甲醛对人体的呼吸系统、免疫系统、神经系统等均有危害,长期接触有致癌作用,是国际癌症研究中心确定的1A类致癌物^[1]。甲醛的非致癌效应终点包括眼和上呼吸道刺激性及非特异性症状、致哮喘作用和其他肺部效应^[2]。二甲苯可导致职业接触者神经系统和运动神经协调作用的损伤。长期接触低浓度二甲苯可出现头晕、头痛、乏力、睡眠障碍和记忆力减退等症状,外周血象可出现轻微、暂时性改变;皮肤接触可导致慢性皮炎、皮肤皴裂等。关于家具行业、拉链制造企业、公共场所从业人员甲醛、二甲苯的职业暴露与风险评估已有不少研究^[3-5],但针对病理医师工作场所职业暴露的研究^[6]很少。故本研究对病理科工作人员接触甲醛、二甲苯的健康危害进行致癌和非致癌风险评估。

自19世纪80年代开始,欧美国家和国际组织陆续发布了职业危害风险评估指南或规范,通过辨识和分析职业危害种类,判断危害发生的可能性及其严重程度,进而采取合适的措施以降低风险^[7]。近年,国内在职业危害风险评估方面开展了一些研究,但尚未建立相应的职业危害风险评估标准或规范。本研究按照美国国家环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)吸入风险模型(以下简称“EPA模型”)的方法^[8-9],对济南市6家综合医院病理科工作场所中甲醛和二甲苯接触浓度进行分析,评估其工作人员甲醛的致癌和非致癌风险及二甲苯的非致癌风险。

1 材料与方法

1.1 材料来源

收集2013—2016年济南市6家综合医院的病理科工作场所日常职业病危害因素监测结果,根据EPA模型所需基本元素的要求,分别对6家医院病理科进行现场卫生学调查,获得包括工作场所、岗位、病理

科工作人员人数及其工龄(年),职业病危害因素种类、产生环节、每天暴露时间(h/d)、每周暴露时间(h/周)、暴露频率(d/年),化学物质每周使用量(kg或L)及已采取的卫生工程和个人防护措施等基本信息。

1.2 检测方法

按GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》^[10]进行采样,在工作岗位进行短时间定点采样检测甲醛,对不同岗位医务人员进行个体长时间采样检测二甲苯;采样均在正常工作情况下进行。按GBZ/T 160.42—2007《工作场所空气有毒物质测定 芳香烃类化合物》^[11]测定二甲苯浓度;按GBZ/T 160.54—2007《工作场所空气有毒物质测定 脂肪族醛类化合物》^[12]测定甲醛浓度。

1.3 EPA模型

1.3.1 致癌风险评估 吸入途径致癌风险的计算方法见公式(1)、(2)^[13-14]:

$$Risk = LADD_{inh} \times IUR \quad \text{公式(1)}$$

式中: $Risk$ —致癌风险系数; $LADD_{inh}$ —终生日均暴露量(吸入途径), $\mu\text{g}/\text{m}^3$; IUR —单位风险因子(吸入途径), $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ 。

$$LADD_{inh} = (C \times EF \times ED \times ET) / LT \quad \text{公式(2)}$$

式中: C —污染物质量浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; EF —暴露频率, d/年; ED —暴露周期, 年; ET —暴露时间, h/d; LT —终生暴露时间, h。

IUR 可通过美国EPA IRIS数据库进行查询,甲醛的 IUR 为 $13.0 \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ^[15]。依据《中国人群暴露参数手册(成人卷)》,山东省2010年总人口的预期寿命为76.46岁^[16]。如果空气污染物的终生致癌风险系数小于 1×10^{-6} ,则认为其引起癌症的风险较低;如果终生致癌风险系数为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$,则认为存在癌症风险;如果大于 1×10^{-4} ,则认为其引起癌症的风险较高。

1.3.2 非致癌风险评估 吸入途径非致癌风险的计算

方法见公式(3)、(4)^[13-14]:

$$HQ = ADD_{inh} / RfC$$
 公式(3)

式中: HQ —非致癌危害系数, 无量纲; ADD_{inh} —平均日暴露剂量(吸入途径), $\mu\text{g}/\text{m}^3$; RfC —吸入途径参考剂量, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

$$ADD_{inh} = (C \times EF \times ED \times ET) / AT$$
 公式(4)

式中: C —污染物质量浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; EF —暴露频率, $\text{d}/\text{年}$; ED —暴露周期, 年 ; ET —暴露时间, h/d ; AT —计算平均暴露量的时间段, h 。

RfC 指环境中化学污染物的日平均最高剂量的估计值, 用于非致癌物的健康风险评价, 这是综合有阈化合物毒理学效应和不确定性得出的评价阈值^[17]。慢性非致癌效应的 RfC 可通过查询美国疾病预防控制中心毒性物质与疾病登记局网站获得, 甲醛的 RfC 为 $9.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 二甲苯的 RfC 为 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[18]。经上述公式计算得出 ADD_{inh} , 再计算该毒物的 HQ 。非致癌风险 HQ 以 1 为参考值, ≥ 1 表明非致癌风险较大; < 1 表明非致癌风险较小。

1.4 统计学分析

检测结果通过 EpiData 3.0 软件录入, 建立 Excel 数据库, 计算得出综合医院病理科工作人员甲醛、二甲苯的职业危害风险水平。应用 SPSS 20 软件进行统计分析, 多个均数的比较采用单因素方差分析, 组间两两比较采用 LSD 检验, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

2.1.1 工作流程 济南市 6 家综合医院病理科的工作流程基本一致, 主要包括: 取材、制片(脱水、包埋、切片、染色等)、显微镜下诊断。设备主要有组织脱水机、包埋机、切片机、显微镜等。使用的试剂主要为福尔马林(37%的甲醛溶液)和二甲苯溶液。取材室和技术室安装有通风柜, 将产生的污染物排出室外。工作人员在进行取材、染片等技术操作时穿工作服, 戴医用手套和医用口罩等个人防护用品。

2.1.2 职业病危害因素识别 (1) 甲醛。取材室: 福尔马林用于标本的固定、防腐工序, 在取材操作过程中, 甲醛从固定的组织团块和打开的甲醛溶液容器中释放出来。技术室: 在组织块加工处理过程中释放出甲醛。诊断室: 甲醛从新制作的玻璃切片少量释放和从其他房间逸散而来。(2) 二甲苯。取材室: 二甲苯通过共用走廊从技术室逸散而来。技术室: 二甲苯应

用于切片的透明、浸蜡、脱蜡等工序, 以上操作步骤会释放出二甲苯。诊断室: 新制作的玻璃切片释放出少量的二甲苯; 使用显微镜油镜后, 用二甲苯清洁镜头时释放出少量二甲苯; 从其他房间逸散而来的二甲苯。

2.1.3 评价岗位 根据病理诊断工作流程及病理科工作人员实际接触职业病危害因素状况, 选取综合医院病理科的取材室、技术室和诊断室 3 个工作场所的甲醛、二甲苯 2 种职业病危害因素, 对病理科工作人员进行职业健康风险评估。

2.1.4 职业病危害因素检测结果 经现场卫生学调查, 6 家综合医院病理科的甲醛、二甲苯检测样本数分别为 160、92 个。检测结果见表 1。

表 1 济南市 6 家综合医院病理科甲醛和二甲苯检测结果

工作场所	甲醛		二甲苯	
	样本数	质量浓度(mg/m^3)	样本数	质量浓度(mg/m^3)
取材室	55	$1.403 \pm 0.235^*$	27	0.259 ± 0.248
技术室	56	0.172 ± 0.113	35	$9.546 \pm 11.774^{\# \Delta}$
诊断室	49	0.129 ± 0.019	30	0.331 ± 0.261

[注] 职业接触限值: 甲醛最高容许浓度为 $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$, 二甲苯 8 h 时间加权平均容许浓度为 $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。*: 超过 GBZ 2.1—2007《工作场所所有害因素职业接触限值第 1 部分: 化学有害因素》^[19] 的限值。
#: 与其他两个场所相比, $P < 0.05$ 。Δ: 不同医院的工作量和通风效果不同, 导致二甲苯浓度差异较大。

2.2 风险评估结果

2.2.1 致癌风险 综合医院病理科取材室、技术室、诊断室医务人员的甲醛暴露 $Risk$ 值分别为 11.67×10^{-4} 、 1.43×10^{-4} 、 1.07×10^{-4} , 引起的癌症风险较高。结果见表 2。

表 2 病理科工作人员接触甲醛的致癌风险

工作场所	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ET (h/d)	EF ($\text{d}/\text{年}$)	ED (年)	LT (h)	$LADD_{inh}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IUR [$\times 10^{-4}$, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹]	$Risk$ ($\times 10^{-4}$)
取材室	1403	5.6	255	30	669790	89.74	13.0	11.67
技术室	172	5.6	255	30	669790	11.00	13.0	1.43
诊断室	129	5.6	255	30	669790	8.25	13.0	1.07

[注] C : 污染物质量浓度; ET : 暴露时间; EF : 暴露频率; ED : 暴露周期; LT : 终生暴露时间; $LADD_{inh}$: 终生日均暴露量(吸入途径); IUR : 单位风险因子(吸入途径); $Risk$: 风险系数。

2.2.2 非致癌风险 综合医院病理科取材室、技术室、诊断室医务人员的甲醛暴露 HQ 值均 > 1 , 技术室工作人员接触二甲苯的 HQ 值 > 1 ; 均存在非致癌风险。取材室、诊断室二甲苯的 HQ 值均 < 1 , 非致癌风险较小。结果见表 3。

表3 病理科工作人员接触甲醛和二甲苯的非致癌风险

危害因素	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ET (h/d)	EF (d/年)	ED (年)	AT (h)	ADD _{inh} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RfC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HQ
甲醛								
取材室	1403	5.6	255	30	262800	228.71	9.83	23.27
技术室	172	5.6	255	30	262800	28.04	9.83	2.85
诊断室	129	5.6	255	30	262800	21.03	9.83	2.14
二甲苯								
取材室	259	5.6	255	30	262800	40.92	100	0.42
技术室	9546	5.6	255	30	262800	1552.54	100	15.56
诊断室	331	5.6	255	30	262800	53.47	100	0.54

[注]C: 污染物质量浓度; ET: 暴露时间; EF: 暴露频率; ED: 暴露周期; AT: 计算平均暴露量的时间段; ADD_{inh}: 平均日暴露剂量(吸入途径); RfC: 吸入途径参考剂量; HQ: 非致癌危害系数, 无量纲。

3 讨论

美国EPA的人体健康风险评估手册A部分及F部分的吸入风险评估补充指南,为工作场所空气中职业病危害因素的健康风险评估提供了重要的技术参考,该评估方法考虑全面,包括毒物危害性、暴露浓度、暴露时间、急慢性作用等因素,且RfC、IUR等参数有大量实验室、流行病学数据作为支撑,主观性成分少,评估结论科学、严谨、可信度高^[8-9]。李克勇等^[5]对拉链制造企业作业人员接触甲醛的致癌风险进行了研究,发现甲醛接触岗位的致癌风险较高,树脂切片岗位的致癌风险最高。范卫等^[20]的研究表明病理医师在工作中接触甲醛,其主要影响为呼吸道刺激反应增加,嗅觉敏感度降低及部分肺功能指标变化,慢性咽喉炎和过敏性鼻炎的患病率高于对照组。本次研究结果表明,2013—2016年济南市6家综合医院病理科的室内空气质量堪忧,其中取材室的甲醛浓度最高,均值达到1.403 mg/m³,超标1.8倍。这是由于病理检查多需先固定组织,此操作大量使用福尔马林(37%甲醛溶液),病理工作者常在取材过程中暴露于从组织固定液中挥发的甲醛;技术室和诊断室的空气中甲醛浓度不超标。经计算,取材室、技术室、诊断室的工作人员均面临室内空气甲醛暴露,同时存在非致癌风险及致癌风险。其中取材室的工作人员甲醛暴露量最高,面临的非致癌风险及致癌风险也最高,比技术室和诊断室高7~10倍。

病理科的技术室和诊断室相对独立,人员分工明确,相互之间无交叉。由于技术室的二甲苯用量大,部分操作在通风柜外进行,空气流通不畅,因而技术室的二甲苯浓度最高。在技术室的常规工作中,极易吸入二甲苯蒸汽。取材室和诊断室接触二甲苯的机会

较少,浓度相对较低。病理科技术室工作人员的二甲苯暴露存在较高的非致癌风险,而取材室和诊断室医务人员二甲苯暴露的非致癌风险低,不会造成明显的损害。根据GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》的规定^[19],甲醛最高容许浓度为0.5 mg/m³,取材室的甲醛浓度均值超标严重,技术室和诊断室甲醛浓度均不超标。但本次研究结果表明,3类场所的室内空气甲醛对从业人员均同时存在非致癌风险及致癌风险,说明甲醛浓度未超标的情况下长期接触甲醛仍对从业人员存在健康风险,这与李湉湉等^[21]、王荀等^[4]的研究结果类似。此次监测3类工作场所中二甲苯的均值均未超标,浓度最高的技术室二甲苯质量浓度均值也只有9.546 mg/m³,不及国家标准(50 mg/m³)的五分之一,但仍存在非致癌风险。以上结果可以得出,与常规的以职业接触限值来评价毒物毒性相比,风险评估的方法能够较全面地定量表达各种毒物暴露人群的健康风险。如果对健康风险进行卫生经济学评价^[22],可以定量地估算出各种污染物造成的健康损害所带来的经济损失的大小,这对于职业卫生管理与决策具有极其重要的指导意义。

针对病理科存在的职业健康风险,应采取积极措施予以应对,减少甲醛、二甲苯的职业危害,将风险降到最低。病理科的用房布局、面积应按医院的规模和等级进行设置,合理分区,取材室、技术室和诊断室与办公用房分离,有隔离措施或缓冲区,缩小二甲苯和甲醛的污染范围。在取材室通风柜安装可上下拉动的挡板,改善通风工作台的通风效果。技术室的脱水机使用二甲苯较多,应放置在独立的隔间内,减少脱水机对技术室其他区域的影响;在独立隔间安装有效的机械排风设备,及时排出有害化学物质。对取材室和技术室污染严重岗位的工作人员配备防毒面具等个人防护用品。按《职业病防治法》的规定,对接触甲醛、二甲苯等职业病危害因素的医生和技术人员进行职业健康检查。

无法评价甲醛、二甲苯两种物质的交互作用是EPA模型的一个缺陷。由于病理工作者日常工作中经常同时接触这两种化学物质,所以研究两者的交互作用及其风险评估模型是未来非常值得探讨的重要命题。由于甲醛的采样方法为吸收液收集,只能短时间采样,因此甲醛的检测结果存在一定的不确定性。为了降低甲醛检测结果的不确定性,在检测时增加了采

样的频次。本次研究调查中,病理科工作人员的暴露时间为6家医院病理科职工的平均工作时间,实际情况中有些医院的病理科人员工作时间经常超过8h,存在加班的现象,调查中也未考虑病理科工作人员通过皮肤接触化学毒物的情况,因此本次研究的健康风险评估结果存在一定的不确定性。

今后,可借鉴美国EPA的风险评估模型,根据我国人群的工作生活模式对模型参数进行改进,制定出符合我国实际情况的风险评估模型,这是未来职业卫生工作人员需要努力的方面。如果能够改进甲醛的采样方法,进行长时间采样,可降低检测结果的不确定性。

参考文献

- [1] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. List of classifications, volumes 1-122[EB/OL].[2018-07-05]. <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/>.
- [2] NIELSEN G D, LARSEN S T, WOLKOFF P. Recent trend in risk assessment of formaldehyde exposures from indoor air[J]. Arch Toxicol, 2013, 87(1): 73-98.
- [3] 刘展华,唐振柱.室内空气甲醛污染危害与控制[J].环境与健康杂志,2007,24(6): 463-465.
- [4] 王荀,庄武毅,蔡文,等.深圳市龙岗区公共场所空气中甲醛对从业人员的健康风险评价[J].华南预防医学,2016,42(5): 431-434.
- [5] 李克勇,黄沪涛,赵乾魁,等.某拉链制造企业甲醛职业接触致癌风险评估[J].职业卫生与应急救援,2017,35(6): 513-514, 557.
- [6] 许宇翔,顾江.病理工作者职业污染危害与防护[J].汕头大学医学院学报,2012,25(4): 227-229.
- [7] 王忠旭.国外工作场所危险性评价和管理模式介绍[J].中华劳动卫生职业病杂志,2006,24(10): 631-633.
- [8] US EPA. Risk assessment guidance for superfund. volume I: human health evaluation manual (part A)[R]. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1989.
- [9] US EPA. Risk assessment guidance for superfund. volume I: human health evaluation manual (part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment)[R]. Washington, DC: Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2009.
- [10] 工作场所空气中有害物质监测的采样规范: GBZ 159—2004[S].北京:人民卫生出版社,2006.
- [11] 工作场所空气有毒物质测定 芳香烃类化合物: GBZ/T 160.42—2007[S].北京:人民卫生出版社,2007.
- [12] 工作场所空气有毒物质测定 脂肪族醛类化合物: GBZ/T 160.54—2007[S].北京:人民卫生出版社,2007.
- [13] 杜艳君,莫杨,李焱焱.环境健康风险评估方法 第四讲 暴露评估(续三)[J].环境与健康杂志,2015,32(6): 556-559.
- [14] 孙庆华,杜宗豪,杜艳君,等.环境健康风险评估方法 第五讲 风险特征(续四)[J].环境与健康杂志,2015,32(7): 640-642.
- [15] US EPA. Integrated risk information system (IRIS)[EB/OL].[2016-12-26]. <http://www.epa.gov/iris>.
- [16] 环境保护部.中国人群暴露参数手册(成人卷)[M].北京:中国环境科学出版社,2013: 799.
- [17] HUANG L, MO J, SUNDELL J, et al. Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing[J]. PLoS One, 2013, 8(11): e79553.
- [18] ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [EB/OL].[2016-12-26]. <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrlist.asp#39tag>.
- [19] 工作场所所有害因素职业接触限值第1部分:化学有害因素: GBZ 2.1—2007[S].北京:人民卫生出版社,2007.
- [20] 范卫,周元陵,金复生,等.医院病理科医师接触甲醛的健康影响[J].环境与职业医学,2006,23(6): 466-468.
- [21] 李焱焱,程艳丽,颜敏,等.贵阳市室内空气中苯和甲醛的健康风险评价[J].环境与健康杂志,2008,25(9): 757-759.
- [22] 谢元博,陈娟,李巍.雾霾重污染期间北京居民对高浓度PM_{2.5}持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J].环境科学,2014,35(1): 1-8.

(收稿日期:2017-11-07;录用日期:2018-04-08)

(英文编辑:汪源;编辑:陈姣;校对:汪源)