

流行病学调查研究

DOI: 10.11699/cyxb20131029

某鞋厂环境苯系物调查及其健康风险评估

杨森评¹, 王润华¹, 甘仲霖², 李文渊³

(1. 重庆医科大学公共卫生与管理学院卫生统计与信息统计教研室, 重庆 400016;

2. 泸州医学院公共卫生系毒理教研室, 泸州 646000; 3. 重庆市璧山县疾病预防控制中心公共卫生科, 重庆 402760)

【摘要】目的: 为了解重庆市某大型鞋厂作业环境苯系物的暴露情况, 对其进行健康风险评估。**方法:** 根据新加坡建立的有害职业化学物质暴露风险评价指南, 对作业工人的苯系物暴露情况及体检结果进行职业健康风险评估。**结果:** 苯的风险等级为 3.24, 高于甲苯(2.57)和二甲苯(2.40)。不同工种工人白细胞异常率差异有统计学意义($\chi^2=7.236, P=0.027$), 不同性别作业工人白细胞异常率差异有统计学意义($\chi^2=9.334, P=0.002$); 作业工人的红细胞、血红蛋白、血小板异常率差异无统计学意义(Fisher, $P=0.455\sim0.777$)。制底车间和制帮车间苯的致癌风险明显高于美国环保署所规定的一般可接收水平的上限(10^{-4})。而制底车间甲苯的非致癌风险明显高于其他车间, 为基准值的 1.56 倍。**结论:** 该鞋厂制底和制帮车间存在严重的致癌风险, 对工人健康带来严重威胁, 易引发职业性苯中毒。需改善工厂的作业环境, 确保工人的健康。

【关键词】鞋厂; 调查; 风险评估; 苯系物; 健康; 致癌**【中国图书分类法分类号】**R134**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2012-07-17Investigation and health risk assessment on environment Benzenes
in a shoe factoryYANG Senping¹, WANG Runhua¹, GAN Zhonglin², LI Wenyuan³(1. Teaching and Research Section of Epidemiology and Health Statistics,
Public Hygiene and Management College, Chongqing Medical University;

2. Teaching and Research Section of Toxicology, Department of Public Health, Luzhou Medical College;

3. Department of Public Health, Center for Disease Prevention and Control in Bishan County)

【Abstract】Objective: To understand the exposures of Benzenes in working environment of a shoe factory in Chongqing and to evaluate the risks to health. **Methods:** According to the established guidelines for harmful occupational chemical exposure risk assessment in Singapore, the exposure and health examination results of workers exposed to Benzenes were assessed. **Results:** Risk levels of Benzene, Toluene and Xylene were 3.24, 2.57 and 2.40. Leukocyte abnormal rates were statistically different among workers with different types of work ($\chi^2=7.236, P=0.027$). Leukocyte abnormal rates were statistically different between male and female ($\chi^2=9.334, P=0.002$). There was no significant difference in erythrocytes, hemoglobin and platelet abnormal rate among workers (Fisher, $P=0.455\sim0.777$). Cancer risks of Benzene in sole workshop and heel workshop were significantly higher than the maximum level (10^{-4}) stipulated by the U.S. environmental protection agency. Non-cancer risk of Toluene was higher in soles workshop than the other workshops and was 1.56 times higher than the standard. **Conclusions:** Serious cancer risks exist in sole and heel workshops, posing health threat to workers. The working environment should be improved to ensure the health of workers.

【Key words】shoe factory; investigation; risk assessment; Benzenes; health; carcinogen

健康风险评估是控制化学品风险的有效技术依据。通过对职业性有害因素的潜在作用进行定性、定量评定, 估算和推断其在多大剂量(浓度或强度)何种条件下可能造成健康损害; 探讨其损害性

质, 并估计其在一般暴露条件下可能造成损害的概率和程度, 可以为寻求可接受风险水平, 确定预防和管理风险的优先等级^[1], 最大限度地降低有害因素的不良影响, 并为预测职业性有害因素的远期效应, 制订预防策略, 提供科学依据。

基于以上考虑, 本研究针对工作场所中的职业暴露危害因素, 引入一种健康风险评估的半定量方

作者介绍: 杨森评, Email: senpingyang@yahoo.com.cn,

研究方向: 多元统计应用。

通信作者: 王润华, Email: wrhzy@163.com。

法来估算鞋厂暴露工人的致癌风险和非致癌风险,并通过将其应用于该鞋厂的苯系物^[2]暴露情况,并通过实证结果说明此方法的意义和可行性,从另一个角度控制鞋厂存在的职业危害因素以及为职业伤害的预防和管理提供新的理论基础。

1 对象和方法

1.1 研究对象和观察指标

研究对象为该鞋厂 3 个车间 324 名作业工人。观察指标为作业环境苯系物(以下简称三苯)、作业工人的白细胞、红细胞、血红蛋白和血小板值。

1.2 评价方法

根据新加坡建立的有害职业化学物质暴露风险评价指南^[3],采用半定量方法进行风险评价。首先进行危害等级(hazard risk, HR)及暴露等级(exposure risk, ER)的评价,然后通过公式计算风险水平^[4],其风险等级(risk)为:

$$\text{risk} = \sqrt{\text{HR} \times \text{ER}} \quad (1.1)$$

1.2.1 有毒化学物质危害等级 按 GB5044-85《职业接触毒物危害程度分级》,通过 LD₅₀ 大小分为极度危害 I 级、高度危害 II 级、中度危害 III 级和轻度危害 IV 级,并确定危害等级。

1.2.2 有毒化学物质暴露等级 依据化学物质空气动力学直径、我国职业接触限值 PC-TWA、职业病危害防护措施、每周使用量及每周累计暴露时间等暴露因素确定暴露指数(exposure index, EI)。暴露分类依据如下方程以暴露指数来确定。

$$\text{ER} = (\text{EI}_1 \times \text{EI}_2 \times \dots \times \text{EI}_n)^{\frac{1}{n}} \quad (1.2)$$

n 为暴露因素个数。最后通过公式(1.1)计算风险水平,依据风险水平确定风险等级。

1.3 采样方法

三苯的采样测定均按 GBZ159-2004 工作场所空气中有害物质检测的采样规范的要求进行。

1.4 健康检查方法

作业工人在璧山县疾病预防控制中心进行专业性血常规检查。

1.5 统计方法

应用 Excel 2003 对数据双人单独录入,利用统计软件 SAS 9.1 进行统计分析。计量资料用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料用率表示。计数资料进行卡方、Fisher 确切概率检验和 Cochran-Mantel-Haenszel (CMH) 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 风险评估

2.1 风险辨识

2.1.1 职业危害因素 该鞋厂的工艺流程中产生的职业病危害因素主要为化学因素(三苯)。

2.1.2 暴露途径 三苯在生产环境中主要以蒸汽形式经呼吸道进入人体。

2.2 剂量-反应模型

2.2.1 致癌风险^[5] 致癌风险(cancer risk, CR) = DI × SF (2.1)

注:每日摄入剂量(daily intake, DI)[mg/(kg·d)]

致癌斜率因子(slope factor, SF)[mg/(kg·d)]⁻¹

2.2.2 非致癌风险^[5] 危害指标(hazard index, HI) = $\frac{\text{暴露剂量}}{\text{RfD}}$ (2.2)

注:参考剂量(reference dose, RfD)

2.3 暴露评价

通过数学公式(1.1)和(1.2)以及现场环境监测的结果来进行评价。

2.4 风险表征

将暴露评价中得到的各车间三苯浓度的实测数据,代入已建立的剂量-反应模型(2.1)和(2.2)中,求解工人在此环境中的致癌风险和非致癌风险。

3 结果

3.1 风险评估结果

通过公式(1.1)计算风险级别确定三苯可致职业危害的风险等级,见表 1。

表 1 三苯的风险等级

有毒化学物质	LD ₅₀ (mg/kg)	HR	ER	Risk
苯	< 100	4 (I 级)	2.63	3.24
甲苯	500~2 500	2 (III 级)	3.31	2.57
二甲苯	500~2 500	2 (III 级)	2.89	2.40

3.2 暴露评价结果

3.2.1 车间空气三苯含量测定 对该鞋厂各生产车间进行三苯含量监测,每个车间空气检测 3 次取其平均值为最终结果。直接接触组中的制底和制帮车间苯监测结果不合格,苯暴露浓度明显高于国家标准^[6](6 mg/m³,时间加权平均值)。三苯的平均浓度如下,见表 2。

表 2 各车间空气中三苯的浓度监测值 (mg/m³)

车间	苯浓度 ($\bar{x} \pm s$)	甲苯浓度值 ($\bar{x} \pm s$)	二甲苯浓度值 ($\bar{x}$)
直接接触组			
制底	19.20 ± 1.71	8.40 ± 0.66	< 3.3
制帮	16.80 ± 1.20	3.40 ± 0.27	< 3.3
间接接触组			
装配	2.30 ± 0.59	0.90 ± 0.24	< 3.3

注:二甲苯浓度值低于仪器最低检出值

3.2.2 不同工种作业工人外周血象结果分析 工人的白细胞、红细胞、血红蛋白及血小板异常现状及异常率,见表 3。

表 3 不同工种作业工人血象异常人数 (*n*, %)

Tab.3 Number of people with abnormal hemogram among different types of work (<i>n</i> , %)						
工种		体检人数 (<i>n</i>)	白细胞异常人数	红细胞异常人数	血红蛋白异常人数	血小板异常人数
直接接触组	底工	152	42 (27.6)	5 (3.3)	5 (3.3)	8 (5.3)
	帮工	132	29 (22.0)	6 (4.5)	3 (2.3)	5 (3.8)
间接接触组	装配工	40	3 (7.5)	1 (2.5)	2 (5.0)	1 (2.5)

注:括号内为异常率

表 4 不同性别作业工人血象异常人数 (*n*, %)

Tab.4 Number of people with abnormal hemogram between male and female (<i>n</i> , %)					
性别	体检人数 (<i>n</i>)	白细胞异常人数	红细胞异常人数	血红蛋白异常人数	血小板异常人数
男性	117	14 (12.0)	3 (2.6)	4 (3.4)	4 (3.4)
女性	207	60 (29.0)	9 (4.3)	6 (2.9)	10 (4.8)

注:括号内为异常率

表 5 性别与白细胞异常人数的关系 (*n*)

Tab.5 Relationship between gender and number of people with abnormal white blood cells (<i>n</i>)							
性别	体检人数	制底车间		制帮车间		装配车间	
		异常人数	正常人数	异常人数	正常人数	异常人数	正常人数
男	117	8	31	5	54	1	18
女	207	34	79	24	49	2	19

不同工种工人白细胞异常率差异有统计学意义 ($\chi^2=7.378$, $P=0.025$), 两两比较底工高于装配工 ($\chi^2=7.152$, $P=0.008<0.0167$), 帮工高于装配工 ($\chi^2=5.983$, $P=0.014<0.0167$), 底工与帮工差异无统计学意义 ($\chi^2=1.208$, $P=0.272>0.0167$)。不同工种工人的红细胞、血红蛋白和血小板的异常率差异无统计学意义 (Fisher, $P=0.678\sim0.777$)。直接接触组与间接接触组的白细胞异常率差异有统计学意义 ($\chi^2=6.093$, $P=0.014$), 而直接接触组与间接接触组的红细胞、血红蛋白、血小板异常率差异无统计学意义 (Fisher, $P=0.455\sim0.667$)。

3.2.3 不同性别作业工人外周血象结果分析 不同性别作业工人的白细胞、红细胞、血红蛋白及血小板异常率, 见表 4。不同性别作业工人白细胞异常率差异有统计学意义 ($\chi^2=12.287$, $P=0.001$), 而红细胞、血红蛋白和血小板的异常率差异无统计学意义 (Fisher, $P=0.547\sim0.777$)。

3.2.4 平衡混杂因素(工种)之后白细胞异常结果分析 考虑到工种可作为混杂因素影响不同性别作业工人白细胞异常情况, 因此平衡混杂(工种)之后观察性别与白细胞异常的关系, 见表 5。平衡混杂因素(工种)之后利用 CMH 检验对不同性别作业工人白细胞的异常率差异有统计学意义 ($\chi^2=9.334$, $P=0.002$)。

3.3 风险表征中致癌风险和非致癌风险

由于剂量-反应模型(2.1)和(2.2)是参照美国环保署所给定的。因此, 根据美国环保署所规定的苯的斜率因子为 $2.9 \times 10^{-2} \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 甲苯的 RfD 为 $0.3 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 、二甲苯的 RfD 为 $2.0 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, 通过公式(2.1)和(2.2)得出苯的致癌风险和甲苯、二甲苯的非致癌风险值(假定工人体质量为 60 kg, 吸收率为 50%^[7]), 见表 6。

表 6 各生产车间的致癌风险和非致癌风险

Tab.6 Cancer risk and non-cancer risk in each workshop			
车间	CR ($\times 10^{-2}$)	HI	
	苯	甲苯	二甲苯
制底	3.09	1.56	< 0.05
制帮	2.71	0.63	< 0.05
装配	0.37	0.17	< 0.05

4 讨 论

4.1 风险评估方法分析

由风险评估的结果可以看出, 苯暴露的风险等级要高于甲苯和二甲苯。苯是属于极度危害的化学物质, 为已确认的人类致癌物, 可引起各种类型的白血病^[8]。因此, 该鞋厂的作业工人的健康存在较高的致癌风险。

其原因是鞋厂需大量使用鞋胶, 溶剂主要是甲苯^[9], 作业环境空气中含较高浓度的苯, 说明该黏胶剂中含有一定浓度苯, 但黏胶剂生产厂家提供的安全技术说明书上未标明含有苯, 因此认为继续加强对黏胶剂中苯含量的控制, 并敦促鞋用黏胶剂生产厂家规范安全技术说明书标注, 从源头上控制鞋厂职业危害来源。由于时间和条件的限制, 本文未能对该黏胶剂中的具体有毒有害物质进行分析, 今后应进一步探索该鞋用黏胶剂中具体的有毒有害物质。

4.2 三苯暴露风险等级高低及工人血象的分析

制底和制帮车间为直接接触鞋胶车间,空气中苯及甲苯的监测浓度明显高于间接接触鞋胶装配车间的浓度,这与理论结果是一致的,而制底和制帮车间的苯暴露浓度明显高于国家标准,工人长期暴露于此环境将明显受到职业损害^[9]。直接接触组比间接接触组工人白细胞异常率高,女性比男性白细胞异常率发生高。因此,在该车间应加强设备的维护与检修,采用密闭操作和环境通风等措施,降低毒物浓度,争取将对人体的危害降到最低。同时,对该车间的作业的工人进行职业健康教育,使他们了解熟悉自己所处的作业环境、接触的有害因素、对健康的影响、早期出现的症状,以便加强个人防护措施^[10-11]。

4.3 不同车间苯致癌风险和甲苯、二甲苯非致癌风险的关系

对于有毒化学物质的危害,国际上主要考虑的是苯的致癌风险以及甲苯、二甲苯的非致癌风险^[12]。制底和制帮车间的苯致癌风险远远超出美国环保署所规定一般可接受水平上限(10^{-4});制底车间暴露工人的非致癌风险高于基准值(>1)。由风险表征结果可以看出,该作业场所工人需要采取相关措施降低风险。工作场所空气中苯浓度超标,说明风险过高。鞋厂使用黏胶剂,其主要成分是甲苯和二甲苯^[13],但作业环境空气中含有较高浓度的苯,主要由以下两方面原因:一方面,生产原料黏胶剂中苯的含量过高,导致刷胶过程中有大量苯以蒸气形式挥发到环境中;另一方面,可能黏胶剂中甲苯、二甲苯转化成苯,导致空气苯浓度超标。

针对该鞋厂存在的问题,建议单位改用含苯量低或无苯的黏胶剂,对制底工艺进行改进,并对通风系统进行相应调试改进,改善工人的劳动环境使其正常运行,保证工作场所内的苯蒸气能及时排出。此外,建议单位根据职业病危害因素种类为作业工人配备防护用具,作业工人进行刷胶和制底等作业时,佩戴防毒面具及防护手套等个人防护用品,有效减少有害物质对工人健康的损害。

参 考 文 献

- [1] Rantanen J, 杜燮祎, 王 丹, 等. 基本职业卫生服务——风险评估[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2009, 27(2): 18.
Rantanen J, Du X Y, Wang D, et al. Primary occupational hygiene service—risk evaluation[J]. Chinese Journal of Occupational Medicine, 2009, 27(2): 18.

- [2] Oanh N T K, Reutergardh L B, Dung N T. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons and particulate matter from domestic combustion of selected fuels[J]. Environ Sci Technol, 1999, 33(16): 2703–2709.
[3] Ministry of Manpower of Occupational and Health Department of Singapore. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals[S]. Singapore: Ministry of Manpower of Occupational and Health Department, 2008.
[4] 杨 杰, 龚 伟. 应用化学品风险评估法评价某化工项目职业病危害探讨[J]. 中国职业医学, 2011, 38(12): 500–502.
Yang J, Gong W. Application of chemical risk assessment for occupational hazards in a chemical project[J]. Chin Occup Med, 2011, 38(12): 500–502.
[5] U.S. Environmental Protection Agency. Draft final guidelines for carcinogen risk assessment[R]. Washington, DC: U.S. EPA, 2003.
[6] GBZ2.1–2007 工作场所有害因素职业接触限值(第 1 部分): 化学有害因素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
GBZ2.1–2007 workplace hazardous occupational exposure limits (Part 1): chemical harmful factors[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
[7] 金泰虞, 孙贵范. 职业卫生与职业医学[M]. 6 版. 上海: 复旦大学出版社, 2007: 135.
Jin T Y, Sun G F. Occupational health and occupational medicine[M]. 6th ed. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 135.
[8] Zhang Y, Mu Y, Mellouki A. Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(1): 124–130.
[9] 张友贤, 苗东阳. 基于健康风险评估的职业接触限值合理性分析[J]. 环境工程, 2010, 28(8): 102–104.
Zhang Y X, Miao D Y. Analysis of rationality of occupational exposure limits based on health risk assessment[J]. Environmental Engineering, 2010, 28(8): 102–104.
[10] 王 卉, 黄德寅, 陈会祥, 等. 某电镀添加剂企业职业健康风险因素的调查[J]. 工业卫生与职业病, 2011, 37(2): 96–99.
Wang H, Huang D Y, Chen H X, et al. A plating additive survey of occupational health risk factors[J]. Ind Hlth & Occup Dis, 2011, 37(2): 96–99.
[11] 彭 波, 邹观湘. 某制鞋新建项目职业病危害预评价[J]. 中国卫生工程学, 2012, 11(6): 206–208.
Peng B, Zou G X. Pre-evaluation of occupational hazards in construction project of shoes manufacturing[J]. Chin J of Public Health Eng, 2012, 11(6): 206–208.
[12] 陈美舜, 金春秋, 王益萍. 鞋用胶粘剂“三苯”来源分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(2): 339–342.
Chen M S, Jin C Q, Wang Y P. Source analysis for benzene and its methyl derivatives in shoe-making adhesive[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2012, 22(2): 339–342.
[13] 黄德寅, 张 倩, 刘 茂. 苯作业职业暴露评估与致癌风险模拟[J]. 中国工业医学杂志, 2011, 24(6): 163–167.
Huang D Y, Zhang Q, Liu M. Occupational exposure assessment and carcinogenic risk simulation in benzene workers[J]. Chinese J Ind Med, 2011, 24(6): 163–167.

(责任编辑: 关蕴良)