

北京市公共场所室内甲醛浓度水平分析*

张金萍^{1,2} 陈文军^{1,2} 杜鹏宇¹

(1.北京建筑大学环境与能源工程学院,北京 100044;

2.北京建筑大学,北京市供热、供燃气、通风及空调工程重点实验室,北京 100044)

摘要 为了解北京市公共场所室内甲醛污染水平及影响因素,在工作日和周末上下午对北京市内家具市场、综合商场和服装批发市场3类公共场所不同功能区的室内甲醛浓度进行监测和分析。结果表明:家具市场中包含木质家具的功能区甲醛浓度最高;服装批发市场中包含外贸针织功能区的甲醛浓度最高;综合商场中包含化妆品功能区的甲醛浓度最高;服装批发市场和家具市场整体的甲醛浓度已超过《商场(店)、书店卫生标准》(GB 9670—1996)规定的限值0.12 mg/m³。3类公共场所甲醛点位超标率服从显著性水平 $p<0.05$ 的 χ^2 双侧检验,具有统计学意义。长期暴露在服装批发市场和家具市场内的工作人员和顾客,可能存在健康风险,应对家具市场、服装批发市场的甲醛污染进行控制。

关键词 公共场所 室内空气 甲醛浓度 统计检验

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.07.008

Study on the level of indoor formaldehyde concentrations in public places in Beijing ZHANG Jinping^{1,2}, CHEN Wenjun^{1,2}, DU Pengyu¹, (1.School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044; 2.Beijing Key Laboratory of Heating, Gas Supply, Ventilating and Air Conditioning Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044)

Abstract: The furniture markets, shopping malls and clothing wholesale markets were selected as research object to research the levels and influence factors of indoor formaldehyde concentrations in the public places in Beijing. The formaldehyde concentrations at different functional areas were measured and analyzed in the morning and afternoon on the weekdays and weekends. The results showed that the highest formaldehyde concentration occurred in the wooden function area in the furniture markets. In the clothing wholesale markets, the highest average concentration of formaldehyde existed at the knitted garment area. In the shopping malls, the average formaldehyde concentration reached the highest value at the cosmetics sale area. The overall average concentrations of formaldehyde in the clothing wholesale markets and furniture markets were above the limit value (0.12 mg/m³) of formaldehyde concentration from "Hygienic standard for store (shop) and bookstore" (GB 9670-1996). The statistical test results of formaldehyde over standard rate subjecting to significant level $p<0.05$ of two-sided test for χ^2 . It had potential health risks on staffs and customers exposing to indoor air with such high formaldehyde concentrations in the furniture and clothes markets. To strengthen the health protection of staffs and customers, the formaldehyde pollution sources in the public places need to be controlled.

Keywords: public places; indoor air; formaldehyde concentration; statistics test

公共场所作为人群聚集场所,人群流动量大,其空气质量的好坏将对人群健康产生严重影响。公共场所的室内气态污染物包括氨、氨气、甲醛、氮氧化物和挥发性有机物等,其中甲醛对人体健康有很大危害^[1],是公共场所中的主要空气污染物^[2]。对于长期暴露于公共场所的工作人员,甲醛增加了人体嗅觉异常、肺功能异常、肝功能异常和免疫功能异常等方面的风险^[3-4]。然而,随着现代服务业的蓬勃发展,各种类型的公共场所越来越多,公共场所甲醛污

染问题也越来越严重^[5]。近年来,国内外学者积极开展对公共场所室内空气甲醛污染水平的研究,研究场所主要集中在网吧、理发店、旅馆和游泳池等^[6-9],针对综合商场、家具市场的研究少有报道^[10],对服装市场的甲醛污染研究尚未见相关的报道。本研究选取北京市家具市场、综合商场和服装批发市场等3类公共场所,对工作日和周末上下午不同功能区室内空气中的甲醛浓度进行测定,分析室内空气中甲醛污染源,同时对3类公共场所整体

第一作者:张金萍,女,1966年生,博士,教授,主要从事室内空气品质与人体健康研究。

* 国家自然科学基金资助项目(No.51378043)。

表 1 公共场所基本信息
Table 1 The basic informations of the public places

场所类型	地理位置	周围情况	楼层数	功能区数	开业时间	测试点位数
家具市场 A	蓟门桥西南处	临主干道	4(地面 4 层)	5	2007 年	27
家具市场 B	北三环西路	临主干道	3(地面 3 层)	6	1998 年	15
综合商场 C	西直门地区	临主干道	4(含地下 1 层)	5	2009 年	16
综合商场 D	西外大街	临主干道	4(地面 4 层)	5	2005 年	16
服装批发市场 E	动物园附近	临主干道	6(含地下 1 层)	5	2006 年	24
服装批发市场 F	动物园附近	临主干道	7(含地下 2 层)	4	2005 年	28

表 2 公共场所各功能区涵盖商品
Table 2 The contents in different functional zones of the public places

场所类型	第 1 功能区	第 2 功能区	第 3 功能区	第 4 功能区	第 5 功能区	第 6 功能区
家具市场 A	写字台、衣柜等木质家具	地板、门、窗	办公桌椅、沙发	喷淋花洒、盥洗台等暖气、五金	窗帘、床上套件	
家具市场 B	写字台、床头柜、衣柜、梳妆台等木质家具	餐桌椅、沙发、茶几、床等红木家具	地板、门、窗	壁灯、吊灯等灯具	面漆、底漆、胶水等	卫浴、厨房橱柜、油烟机等
综合商场 C	生活超市	化妆品、护肤品	箱包、皮具	男女服装	运动装、童装	
综合商场 D	化妆品	箱包、皮具	女装、配饰	男装	运动装、童装	
服装批发市场 E	箱包、饰品	男女服装	童装	牛仔	外贸针织	
服装批发市场 F	箱包、饰品	童装	流行女装	外贸女装		

甲醛污染水平和显著性差异进行分析,使人们对公共场所室内空气中的甲醛污染问题有所认识。

1 实验与方法

1.1 测试对象和时间

为使测试结果具有代表性,在对地理位置和周围室外环境进行综合考察和分析后,笔者于 2014 年 4 月底至 6 月初选取了北京市的 2 家服装批发市场、2 家家具市场和 2 家综合商场共 3 类公共场所作为测试对象。考虑到各类公共场所销售商品种类和人流的差异,分别在工作日及周末的上午 9:00~12:00 和下午 14:00~17:00 对 3 类公共场所不同功能区的甲醛浓度进行测试。其中,在工作日上下午进行连续 3 d 的测试,周末上下午进行连续 2 d 的测试,同一场所的甲醛浓度测试均在同一星期内完成。3 类公共场所的形状基本为长方形,在场所对角线位置及中心处设置采样点,根据测试场所平面面积、楼层和朝向等情况,在 2 家家具市场共选取 42 个测试点位,2 家综合商场共选取 32 个测试点位,2 家服装批发市场共选取 52 个测试点位。测试对象的基本情况见表 1、表 2。

1.2 测试方法和仪器

根据《公共场所卫生检测技术》(GB/T 17220—1998)与《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)的要求,测试点位布置在装修量大和人群密集处,且避开风口,距离墙壁 0.5~1.0 m,采样高度 1.2~1.5

m。甲醛测量采用美国 Interscan 公司生产的 4160 型数字便携式甲醛分析检测仪,测试前由计量局进行标定,并与《公共场所空气中甲醛测定方法》(GB/T 18204.26—2000)中气相色谱法的测试结果进行对比、校准,确保测试结果准确、可靠。

1.3 数据处理

工作日上下午的甲醛浓度取工作日连续 3 d 测试结果的算数平均值,周末上下午的甲醛浓度取周末连续 2 d 测试结果的算数平均值。室外浓度指距公共场所约 1 m 处的室外空气甲醛浓度。家具市场、服装批发市场和综合商场的甲醛平均值和标准差通过统计学软件 SPSS 17.0 计算,显著性差异通过 SPSS 17.0 中的 χ^2 双侧检验,显著性水平 $p < 0.05$ 确定。

2 结果分析及讨论

2.1 不同公共场所不同功能区甲醛浓度

2.1.1 家具市场不同功能区甲醛浓度比较

2 家家具市场不同功能区的甲醛浓度对比情况见图 1。

由图 1(a)可以看出,家具市场 A 第 1 功能区的甲醛质量浓度最高,工作日上午甲醛质量浓度高达 0.27 mg/m³,而第 2 功能区和第 3 功能区的甲醛浓度虽略低于第 1 功能区,但均远高于《商场(店)、书店卫生标准》(GB 9670—1996)规定的限值(0.12 mg/m³)。导致第 1 功能区甲醛浓度超标的主要原

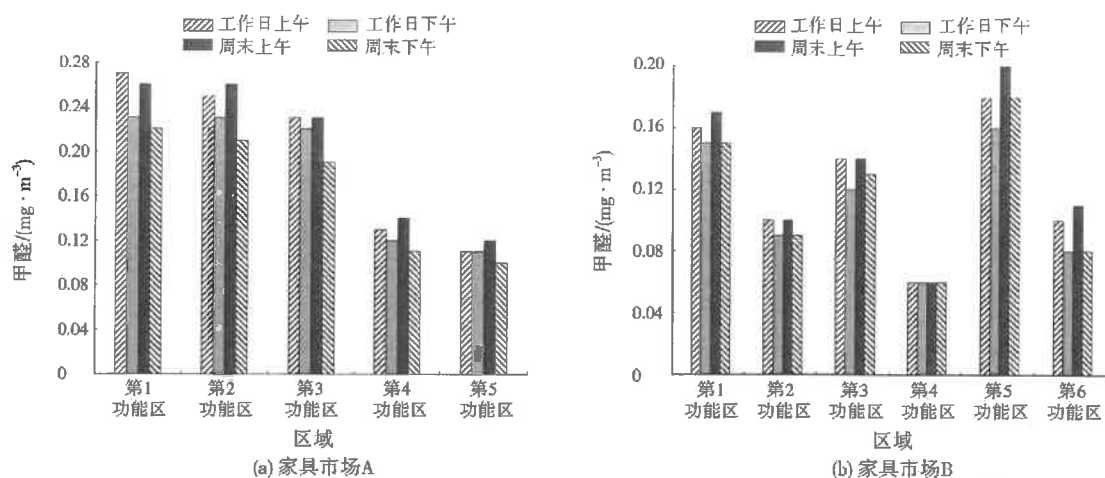


图 1 家具市场不同功能区的甲醛质量浓度比较

Fig.1 The comparison of formaldehyde concentrations in different functional areas of two furniture markets

因在于写字台和衣柜等木质家具大量使用人造板,人造板中的胶黏剂多为脲醛树脂,其主要成分为甲醛,板材中残留的和未参与反应的甲醛向周围环境释放^[11]。第 2 功能区包含地板和门等装饰材料,第 3 功能区包含办公桌椅,均有胶黏剂的大量使用,这也是导致室内空气甲醛浓度超标的原因。上述 3 个功能区室内空气中的高浓度甲醛会对从业人员和消费者产生健康风险。因此,相关部门要加强对劣质人造板使用的执法力度,保证检验合格的家具流入市场。然而,对于包含暖气、五金等产品的第 4 功能区和包含窗帘、床上用品等布艺的第 5 功能区室内空气中的甲醛浓度相对较低,可能与这些产品本身甲醛含量较少有关。由图 1(b)可以看出,家具市场 B 中包含面漆、底漆和胶水的第 5 功能区甲醛质量浓度最高,4 个时间段的甲醛质量浓度平均值为 0.18 mg/m³,是规定限值的 1.5 倍。这是因为甲醛作为有机溶剂能有效帮助涂料体系中基料、添加剂、填料充分混合,增加涂料的耐磨性,因此在面漆、底漆和胶水中均有大量使用,涂料体系中甲醛挥发导致第 5 功能区室内甲醛含量超标。第 1 功能区包含写字台、床头柜、衣柜、梳妆台,该区甲醛质量浓度在 0.16 mg/m³左右,空气中的高浓度甲醛也归因于木质家具的人造板胶黏剂。

对比图 1(a)和图 1(b)可以看出,2 家家具市场工作日及周末甲醛浓度总体表现为上午高于下午,这与魏海燕^[12]测得的数据一致。分析原因在于家具市场在封闭且空气不流通的环境中经过一夜,污染源散发出的甲醛浓度有一定程度的积累,从而导

致上午甲醛浓度高于下午甲醛浓度,这也说明通风换气及新风量补给的重要性。由图 1 还可见,周末、工作日家具市场不同功能区的甲醛浓度变化差异较大,这可能由于家具市场内不同功能区商品种类繁多,客流量变化随机,造成周末、工作日的室内甲醛浓度未呈现出明显的变化规律。

2.1.2 综合商场不同功能区甲醛浓度对比

2 家综合商场不同功能区的甲醛浓度对比情况见图 2。

从图 2 可以看出,综合商场 C 中包含化妆品、护肤品的第 2 功能区和综合商场 D 中包含化妆品的第 1 功能区的甲醛浓度最高。其中综合商场 C 第 2 功能区 4 个时段的甲醛平均质量浓度达 0.13 mg/m³,超过规定限值 0.12 mg/m³,会对身体造成潜在健康风险。综合商场 D 第 1 功能区 4 个时段的甲醛平均质量浓度达 0.07 mg/m³,没有超过规定限值,综合商场 D 其他功能区也都没有超过规定限值。化妆品功能区甲醛浓度高的原因在于该功能区销售各式指甲油,有色指甲油一般都会加入底漆或强化甲油来强化指甲硬度,而底漆和强化甲油中一般都含有甲醛;另一原因为化妆品中大多含具有生物活性的营养物质,这些营养物质会发生变质、发霉等现象,加入甲醛作为防腐剂可以防止此类现象的发生。综合商场 C 中包含箱包、皮具的第 3 功能区和综合商场 D 中包含箱包、皮具的第 2 功能区甲醛浓度相对较高,主要原因在于该区产品数量多和胶黏剂的大量使用。2 家综合商场中包含童装的第 5 功能区甲醛浓度也相对较高,原因在于童装生产过

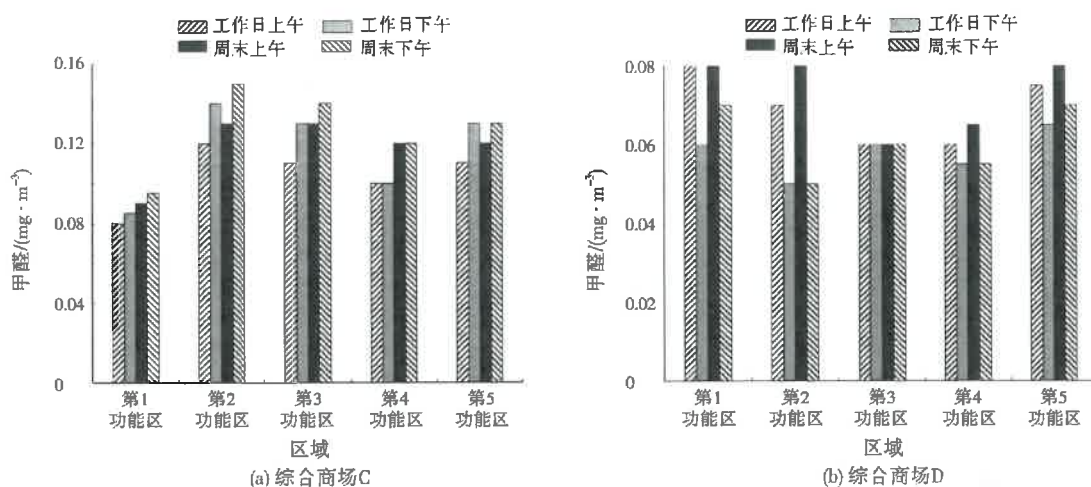


图2 综合商场不同功能区甲醛质量浓度比较

Fig.2 The comparison of formaldehyde concentrations in different functional areas of two shopping malls

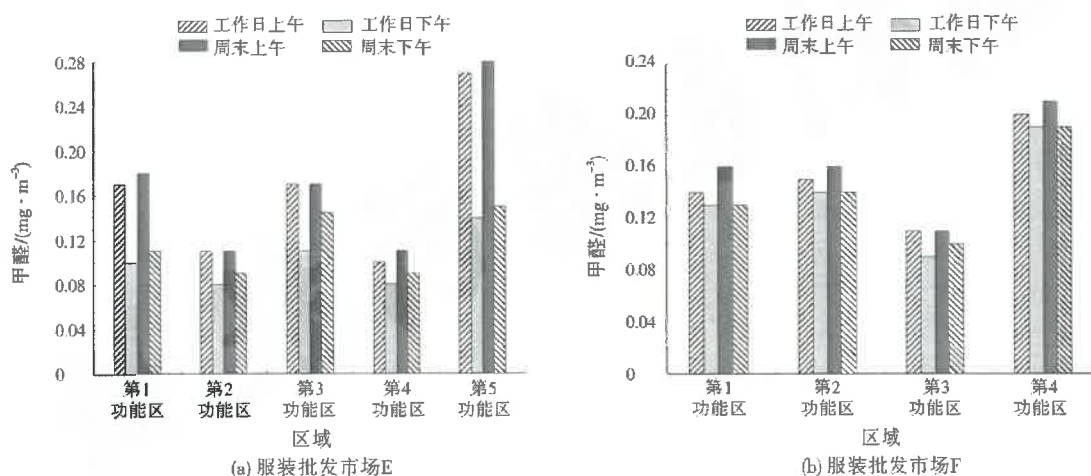


图3 服装批发市场不同功能区甲醛质量浓度比较

Fig.3 The comparison of formaldehyde concentrations in different functional areas of two clothing wholesale markets

程中,为保持童装颜色鲜艳美观,甲醛常作为染料、印花黏合剂及树脂整理剂用于服装面料中^[13]。综合商场C的甲醛浓度总体高于综合商场D,这是因为:(1)综合商场C的商品数量和种类远多于综合商场D,导致室内甲醛释放来源多;(2)两个综合商场运营时间不一样。综合商场C于2009年营业,而综合商场D于2005年营业,相关资料显示,甲醛释放量会随着营业时间的延长呈现衰减趋势^[14-16]。值得注意的是,综合商场C上午的甲醛浓度总体低于下午,与其他公共场所呈现不同的变化规律,这可能与综合商场C的室内温度、通风环境、人流变化规律与其他公共场所不同造成的。2家综合商场周末的甲醛浓度均高于工作日,主要原因在于周末挑选商品的顾客多,加大了甲醛释放源与室内空气接触的表面积和时间。由此可

知,对于甲醛浓度较高的功能区(化妆品、箱包、皮具、童装等),首先要保证检验合格商品的流入,同时要加强区域甲醛污染的控制,降低甲醛浓度,保护工作人员和顾客的身体健,对处于封闭环境中的公共建筑通风换气至关重要。

2.1.3 服装批发市场不同功能区甲醛浓度对比

2家服装批发市场不同功能区的甲醛浓度对比情况见图3。

从图3(a)可见,服装批发市场E中包含外贸针织的第5功能区周末上午的甲醛质量浓度最高,达 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,是GB 9670—1996规定限值($0.12 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)的2.33倍,是室内空气甲醛的主要贡献区域。由图3(b)可见,服装批发市场F中包含外贸女装的第4功能区的甲醛质量浓度最高,4个时段

表 3 北京市不同公共场所室内甲醛超标情况
Table 3 Description of the indoor formaldehyde concentrations exceeding the standard value of public places

场所类型	测试点位数	甲醛质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)		超标点位数	点位超标率/%
		范围	平均值±标准偏差		
家具市场	42	0.09~0.27	0.15±0.05	23	54.76
综合商场	32	0.04~0.15	0.07±0.02	10	31.25
服装批发市场	52	0.07~0.30	0.18±0.06	37	71.15

超标严重,主要原因在于外贸织物基本为纯棉织物,生产厂商为了纯棉织品防皱、防缩、阻燃或保持较好手感,在纯棉织物中加入含有甲醛的交联剂,以增强纯棉织物的硬挺度。王利平等^[17]通过水萃取法测定纯棉织物、羊绒织物、婴儿织物等纺织品的甲醛浓度,测量结果显示,纯棉织物的甲醛浓度最高,超过国家规定值,与本研究结论相呼应。2 家服装批发市场中包含童装的功能区(服装批发市场 E 的第 3 功能区及服装批发市场 F 的第 2 功能区)甲醛浓度也相对较高。2 家服装批发市场上午的甲醛浓度基本高于下午,主要是因为甲醛在相对封闭的环境中经过一夜自由释放累积的结果。刘军红等^[18]指出,纺织品密封保存时,甲醛在织物表面存在阻隔性释放,并逐渐物理性沉积于织物表面,当袋子打开时,甲醛开始向外自由释放,导致室内甲醛浓度升高。因此,周末人流量较大的情况下,服装批发市场中包含童装、外贸针织和男女服装等功能区的室内甲醛浓度都略高于工作日。

2.2 不同公共场所甲醛整体污染情况

表 3 为北京市家具市场、服装批发市场和综合商场 3 类公共场所室内空气甲醛超标情况。图 4 给出了北京市家具市场、综合商场和服装批发市场的室内外空气甲醛浓度。

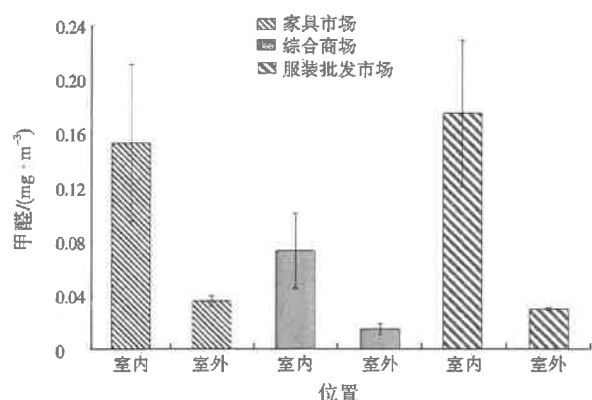


图 4 不同类型公共场所室内外甲醛质量浓度
Fig.4 The indoor and outdoor formaldehyde concentrations in different public places

由表 3 可知,服装批发市场空气中的甲醛质量浓度最高,测试期间的平均值达 0.18 mg/m^3 ,是 GB 9670—1996 规定限值的 1.50 倍。家具市场甲醛质量浓度平均值为 0.15 mg/m^3 ,综合商场甲醛质量浓度平均值最低,为 0.07 mg/m^3 ,低于 0.12 mg/m^3 的规定限值。由图 4 可见,3 类公共场所室外空气中甲醛质量浓度均远低于室内,不到 0.04 mg/m^3 。家具市场室内 42 个测试点位中,超标点位达 23 个,点位超标率为 54.76%;服装批发市场室内 52 个测试点位中,超标点位达 37 个,点位超标率为 71.15%;综合商场室内 32 个测试点位中,有 10 个点位超标,点位超标率为 31.25%。运用 SPSS 17.0 对 3 类公共场所的超标率进行统计学分析,得双侧检验 $\chi^2 = 37.72$, $p < 0.05$,说明差异显著,具有统计学意义,可根据点位超标率来判断 3 类公共场所的甲醛污染水平,即服装批发市场室内空气的甲醛浓度最高,其次为家具市场,综合商场甲醛浓度最低。空气中甲醛质量浓度在 $0.06 \sim 0.07 \text{ mg/m}^3$ 时,儿童会发生轻微气喘,达到 0.10 mg/m^3 时,会有异味和不适感,服装批发市场和家具市场室内空气中高浓度甲醛会对暴露在环境中的工作人员和顾客产生严重健康影响,故控制家具市场和服装批发市场室内空气中的甲醛浓度至关重要。

3 结果与讨论

(1) 家具市场中包含木质家具的功能区甲醛浓度最高;包含暖气、五金的功能区和包含窗帘、床上用品等布艺功能区的甲醛浓度相对较低,与规定限值相接近。服装批发市场中包含外贸针织功能区和童装功能区的甲醛浓度远超规定限值,空气中甲醛污染严重。综合商场包含化妆品的功能区的甲醛浓度最高,箱包、皮具功能区次之,这些区域是综合商场室内甲醛的主要来源。

(2) 3 类公共场所中,服装批发市场室内甲醛

浓度最高,家具市场次之,综合商场最低,3者的甲醛点位超标率分别为71.15%、54.76%、31.25%。点位超标率服从 χ^2 检验,存在显著性差异,具有统计学意义。服装批发市场和家具市场室内甲醛污染水平较为严重,会对人体造成潜在的健康风险。

(3) 针对家具市场室内甲醛污染问题,建议加强木质家具、涂料、胶黏剂等的入场检验。针对服装批发市场的甲醛污染问题,建议相关部门做好纺织品甲醛的限量工作,改进生产工艺,开发研制无甲醛整理剂或助染剂的服装。

参考文献:

- [1] 董勇,王家伦.成都市武侯区2008年公共场所室内空气甲醛浓度检测结果分析[J].现代预防医学,2009,36(14):2623-2625.
 - [2] 韩鹏昊.天津市和平区公共场所中甲醛污染状况调查[J].职业与健康,2012(22):2812-2813.
 - [3] 张金萍,张寅平,赵彬.北京寺庙燃香空气污染研究[J].建筑科学,2010,26(4):27-33,47.
 - [4] 方志华.档案馆环境甲醛检测及控制策略研究[J].兰台世界,2010,24(20):33-34.
 - [5] 刘宁.公共场所空气中甲醛的污染与控制[J].健康必读:下旬刊,2012(10):419-420.
 - [6] 陈凤娜,王圣.深圳市新装修住宅室内空气质量调研分析[J].建筑科学,2011,27(10):36-39.
 - [7] 张建文,王丹侠,许书华,等.上海市虹口区公共场所甲醛污染状况调查[J].上海预防医学,2010,22(6):329-330.
 - [8] 靳曙光,石磊.吉林市公共场所室内空气中甲醛浓度水平分析[J].现代预防医学,2010,37(4):641-642,648.
 - [9] 陈艺娟,方少波,陈毓雄,等.深圳市公共场所空气中甲醛污染状况的调查[J].华南预防医学,2002,28(3):25-26.
 - [10] 于慧芳,李心意,吕静,等.家具城室内空气污染现状调查[J].环境与健康杂志,2000,17(4):224-227.
 - [11] 葛道文.居室内空气中甲醛污染的来源调查及防治研究[J].安徽建筑,2005,12(6):135-136.
 - [12] 魏海燕.家具销售市场室内甲醛污染现状及其防治[J].合作经济与科技,2012,4(7):118-119.
 - [13] 燕翔,王瀚,王都留.童装甲醛污染与儿童健康[J].甘肃科技,2009,25(15):71-72.
 - [14] 薛生国,马亚梦,李丽勤,等.城市装修住宅室内空气甲醛污染调查分析[J].土木建筑与环境工程,2011,33(3):124-128.
 - [15] 魏学锋,苗娟,白志鹏,等.新装修居室中大芯板释放甲醛的研究[J].环境污染与防治,2006,28(9):662-665.
 - [16] 干雅平,申秀英,姚超英,等.杭州某高校室内空气质量状况调查分析[J].环境污染与防治,2013,35(2):78-81,84.
 - [17] 王利平,徐彦龙,吴微.纺织品的甲醛问题及其控制[J].内蒙古工业大学学报:自然科学版,2007,26(2):136-142.
 - [18] 刘军红,蔡宗群,徐晶,等.纺织品甲醛释放规律研究[J].针织工业,2013(7):87-89.
- 编辑:丁 怀 (收稿日期:2014-12-10)
-
- (上接第39页)
- [17] 王小雨,冯江,李贺.底泥疏浚前后长春南湖浮游生物群落变化研究[J].东北师大学报:自然科学版,2005,37(3):90-94.
 - [18] 储昭升,张玉宝,金相灿,等.底泥对洋水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究[J].环境科学,2012,33(3):844-848.
 - [19] KIRILOVA E P, CREMER H, HEIRI O, et al. Eutrophication of moderately deep Dutch lakes during the past century: flaws in the expectations of water management? [J]. Hydrobiologia, 2010, 637(1):157-171.
 - [20] YANG Xiangdong, ANDERSON N J, DONG Xuhui, et al. Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: their relationships and implications for assessing long-term eutrophication[J]. Freshwater Biology, 2008, 53(7):1273-1290.
 - [21] WECKSTRÖM K, JUGGINS S. Coastal diatom-environment relationships from the gulf of Finland, Baltic Sea[J]. Journal of Phycology, 2005, 42(1):21-35.
 - [22] ZHAO Jiancheng, ZHANG Bingchang, ZHANG Yuanming. Chlorophytes of biological soil crusts in Gurbantunggut Desert, Xinjiang Autonomous Region[J]. Frontiers of Biology in China, 2005, 23(2):189-193.
 - [23] 郑丙辉,曹承进,张佳磊,等.三峡水库支流大宁河水华特征研究[J].环境科学,2009,30(11):3218-3226.
 - [24] CHAICHALERM S, POKETHITIYOOK P, YUAN W A, et al. Culture of microalgal strains isolated from natural habitats in Thailand in various enriched media[J]. Applied Energy, 2012, 89(1):296-302.
 - [25] BHAGAVATHY S, SUMATHI P, JANCY S I. Green algae *Chlorococcum humicola* - a new source of bioactive compounds with antimicrobial activity[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2011, 1(S1):1-7.
- 编辑:黄 苇 (收稿日期:2014-12-15)