

杭州综合医院 PM_{2.5} 浓度变化规律研究

常雷刚¹, 金荷仙^{1,2*}, 华海镜³

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 2. 《中国园林》杂志社, 北京 100835;

3. 浙江农林大学 艺术设计学院, 浙江 临安 311300)

摘要:对杭州市解放军 117 医院、浙江医院、邵逸夫医院和浙江省人民医院 4 所综合医院 PM_{2.5} 浓度进行测定, 分析其 PM_{2.5} 污染水平、日变化规律、与植物群落、温度、湿度及其和 PM₁₀ 之间的关系, 进一步测定和分析医院室内和室外 PM_{2.5} 的污染水平及相关关系。结果表明: 4 所综合医院 PM_{2.5} 污染水平较低; 日变化呈“双峰单谷”型; PM_{2.5} 与植物群落层次无直接关系, 但绿地中的 PM_{2.5} 颗粒物含量明显低于空地; PM_{2.5} 与温度呈负相关关系与空气湿度呈正相关关系; PM_{2.5}/PM₁₀ 为 0.44~0.59 之间; 医院病房内 PM_{2.5} 浓度较之室外要低, 能达到美国 PM_{2.5} 控制标准, 且室内外 PM_{2.5} 之间存在着一定的相关性。

关键词: PM_{2.5}; 相关关系; 综合医院; 杭州市

中图分类号: S731.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2014)-02-0237-06

Variation Rules of PM_{2.5} in 4 Hospitals in Hangzhou

CHANG Lei-gang¹, JIN He-xian^{1*}, HUA Hai-jing³

(1. School of Landscape and Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China;

2. Chinese Landscape Architecture Magazine Publication, Beijing 100835, China;

3. School of Arts and Design, Zhejiang A & F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract: Concentrations of PM_{2.5} in 4 general hospitals (117 Hospital of PLA, Zhejiang Hospital, Hospital of Shao Yifu, and People's Hospital of Zhejiang Province) located in Hangzhou were measured. The pollution levels of PM_{2.5} (PML) and diurnal variation patterns were analyzed. The relationship between PML and plant community, temperature, humidity, and PM₁₀ were also examined. Furthermore, PML indoor and outdoor in 4 hospitals and the correlations among the hospitals were investigated. The results showed that PML in 4 general hospitals were low. Relative higher PML appeared in the morning and late afternoon. No direct correlation was observed between PM_{2.5} plant community. However, PML in green space was significantly lower than the open space. PML was negatively correlated with temperature, and positively correlated with air humidity. The ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ were between 0.44~0.59. PML indoor was lower than that outdoor, that could reach the standard of the U. S. PM_{2.5} control. Certain correlations were found between PM_{2.5} indoor and outdoor.

Key words: PM_{2.5}; relationship; general hospital; Hangzhou

随着人们物质生活水平的提高, 我们所处生存空间的环境问题越来越受到大众的关注。特别是我国环境问题尤为凸显, 尤其是在 2011 年北京发生“美国使馆 PM_{2.5} 事件”^[1]后, PM_{2.5} 开始进入公众的

视野, 成为社会热点。PM_{2.5} 是指空气中空气动力学直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的细颗粒, 也称细颗粒物。PM_{2.5} 能够进入人体呼吸道, 通过血液循环进入各组织器官, 大量流行病学研究证实, 其与呼吸系统和心血管系

收稿日期: 2013-07-03 修回日期: 2013-09-26

基金项目: 杭州西湖风景名胜区管委会杭州市园林文物局课题(2011003)。

作者简介: 常雷刚, 男, 在读硕士, 研究方向: 园林植物应用与效益评估、康复花园理论与实践。E-mail: 646797008@qq.com

* 通信作者: 金荷仙, 女, 研究员, 研究方向: 植物造景、室内外植物对人体健康的影响。E-mail: lotussummer@sina.com

统疾病的发病率和死亡率密切相关^[2-4]。PM_{2.5} 值越高,就代表空气污染越严重。为此,各国及有关国际组织均制定了 PM_{2.5} 限值作为评价环境空气质量的依据,我国环保部在 2012 年 2 月 29 日发布的《中华人民共和国国家标准-环境空气质量标准》(GB3095—2012)中也首次把 PM_{2.5} 作为了环境监测的指标,此标准将于 2016 年开始实施^[5-6]。因此,对大气中 PM_{2.5} 的监测具有现实而重大的意义。

目前国内外学者围绕 PM_{2.5} 的组成来源^[7-10]、浓度变化规律^[11-12] 及污染监测^[13] 已经做了大量的研究,这些研究通常多集中在以“城市”为单元的大尺度的空间范围内,而以综合医院为对象的小空间范围的 PM_{2.5} 污染水平的研究则较为鲜有。医院绿地空间不同于一般的公园绿地,它的使用者具有特殊性,他们一般比常人更关注周围环境的细微变化,而了解这个空间范围内 PM_{2.5} 的污染水平及相关影响因素,可以指导使用者特别是病人的空间活动,可以帮助决策者有针对性地制定防范治理措施。因此,对杭州市区综合医院的 PM_{2.5} 进行了测定,以期对未来医院建设及进一步深入 PM_{2.5} 的研究提供参考。

1 研究地概况

为了较全面地反映杭州市(118°21′—120°30′E, 29°11′—30°33′N)综合医院环境空气质量,通过调查走访在不同区域选取了 4 所综合医院,分别是解放军第 117 医院九里松院区(120°06′E,30°14′N)、浙江医院(120°07′E,30°15′N)、浙江大学医学院附

属邵逸夫医院(120°11′E,30°15′N)和浙江省人民医院(120°13′E,29°16′N)。前 2 所医院位于杭州市灵隐风景区,代表所处区位环境较好的医院,后 2 所分别位于杭州市江干区和下城区的区域中心,代表所处区位较差的医院。

2 材料与方法

2.1 采样仪器与方法

CENTER310 温湿度计、CW-HAT200 塞纳威 PM_{2.5} 检测仪。

于 2013 年 3—5 月,每月挑选 3 d 天气晴朗的日子,每天 9:00—17:00 在每个样点每次间隔 1 h 进行温湿度、PM_{2.5}、PM₁₀ 的测定。测定方法为:每个样点东西南北中各选一点在距离地面 1.5 m 处测试其温度、湿度、PM_{2.5} 和 PM₁₀,记录 5 次取其平均值作为此小时内样点的值。

2.2 采样布点

为了较为准确地反应综合医院的环境质量,按区域将其划分为门诊前绿地、停车场绿地和住院区绿地等绿地类型。4 所医院中每个绿地类型各选取 2 个样方作为样地,医院入口处空地作为参照,对每个样地进行植物群落调查,调查其群落层次、植物种类、树高、胸径及郁闭度。

3 结果与分析

3.1 4 所综合医院 PM_{2.5} 浓度变化特征比较

监测采样时间为 2013 年 3—5 月,每月 3 d,4 所医院同步进行,所得 PM_{2.5} 均值数据见表 1。

表 1 综合医院 PM_{2.5} 监测数据
Table 1 Monitored data of PM_{2.5} in general hospitals

样地名称	117 医 1#	2#	3#	4#	5#	6#	空地	浙医 1#	2#	3#	4#	5#	6#	空地
绿地类型	乔灌	乔草	乔草	乔灌草	乔灌草	乔灌草		乔灌	乔灌草	乔灌草	乔灌草	乔灌	乔草	
郁闭度/%	65	70	95	90	84	73		98	93	85	92	94	40	
PM _{2.5} 日均值/(μg·m ⁻³)	44	46	47	41	51	47	62	39	39	37	36	38	39	50
医院日均值/(μg·m ⁻³)				48							40			
样地名称	邵医 1#	2#	3#	4#	5#	6#	空地	省医 1#	2#	3#	4#	5#	6#	空地
绿地类型	乔灌草	乔灌草	乔草	乔灌	乔灌	乔草		乔灌	乔灌草	乔灌草	乔灌	乔灌	乔灌	
郁闭度/%	60	75	45	86	55	80		33	78	80	35	32	35	
PM _{2.5} 日均值/(μg/m ³)	46	42	59	53	47	49	66	86	73	72	72	76	80	86
医院日均值/(μg·m ⁻³)				52							78			
市区日均值/(μg·m ⁻³)							62							

表 1 中杭州市区 PM_{2.5} 数据均由全国 PM_{2.5} 监测网([http://www. pm2d5. com/](http://www.pm2d5.com/))测算得出。由表 1 和图 1 可以看出,4 所综合医院除浙江省人民医院外,其他 3 所的 PM_{2.5} 值均低于杭州市区 PM_{2.5} 平均值,表明 3 所医院环境质量较高,特别是浙江医院和 117 医院其 PM_{2.5} 值均在 50 μg/m³ 以下,远低于杭

州市区的 62 μg/m³。与此形成对比的是省人民医院,PM_{2.5},平均值达 78 μg /m³,下午最高时达 155 μg/m³,远高于市区整体水平,这跟其所处市中心有关,也与测定期间其正在进行内部装修施工不无关系。117 医院和浙江医院 PM_{2.5} 值较之省人民医院要低许多,可能与其所处位置有关,它们均位于杭州

市灵隐风景区,该区域植被茂密绿树成荫,环境优雅风景宜人,环境质量非常高,因而 2 所医院 PM_{2.5} 污染较轻。邵逸夫医院虽与省人民医院同处市中心,但医院园林绿化水平较高,园林应用树种就达 78 种,院内绿化覆盖率远高于省人民医院,这可能是其同处市中心而 PM_{2.5} 值相差较大的原因。

由图 1 可以看出,PM_{2.5} 在 9:00 左右处于峰值,随后开始下降,在 15:00 左右又开始上升,日变化基本呈“双峰单谷”的分布状态,即“早晚高,白天低”,下午浓度值一般要低于上午的浓度值。

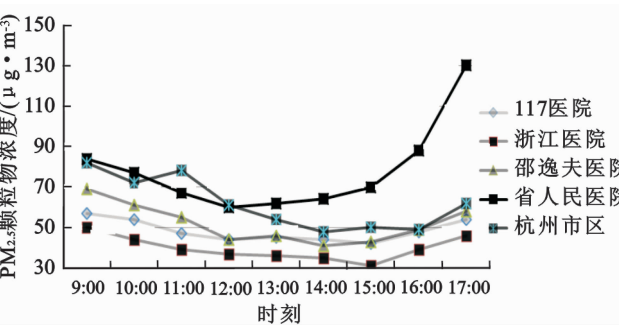


图 1 综合医院 PM_{2.5} 污染水平及日变化规律

Fig. 1 PM_{2.5} pollution levels and diurnal variation in general hospitals

3.2 植物群落对 PM_{2.5} 浓度变化的影响

植物可以改善环境空气质量,这已成为人们的共识,了解不同层次类型的植物群落在阻滞尘埃降低细颗粒物方面是否有差异,特以浙江医院样地为例,于 2013 年 4 月 25—27 日对浙医 1#、3#、6# 样地及空地进行 PM_{2.5} 测定(图 2)。

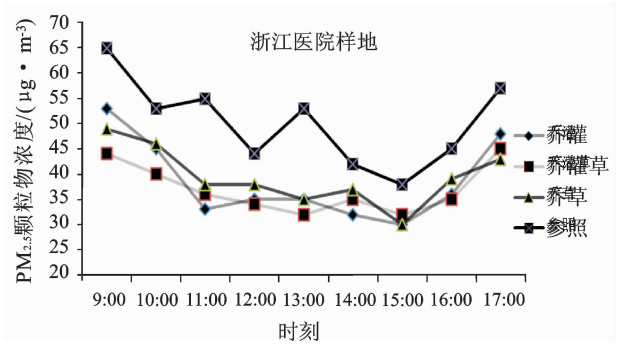


图 2 不同植物群落 PM_{2.5} 污染水平及变化规律

Fig. 2 PM_{2.5} pollution levels and variation in different plant communities

由图 2 可看出,样地为植物群落的 PM_{2.5} 浓度明显低于空地,层次为乔灌木 3 层的植物群落样地稍低于乔草和乔灌木样地,但其 PM_{2.5} 下降不显著。对 3 组数据进行单因素方差分析得表 2,由表 2 可知乔灌木、乔灌木草和乔草 3 种群落类型 p 值为 0.716 >0.05 ,说明 3 种群落类型间 PM_{2.5} 变化差异不显著,表明植物能降低空气中 PM_{2.5} 的含量,但与群落

层次没有直接相关的关系。PM_{2.5} 与植物群落郁闭度对比分析发现,郁闭度最高的浙医 1# 乔灌木绿地 PM_{2.5} 浓度均值达 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,较之浙医其余郁闭度较低的群落其颗粒物浓度反而较高,而浙医 1# 绿地日平均湿度为 59.8%,其余 5 个样方绿地日平均湿度均在 55% 以下,据此推测造成该现象的原因可能跟郁闭度高导致样地内湿度高,通风条件差,颗粒物无法通畅地流通有关。

表 2 3 种植物群落类型 PM_{2.5} 的比较

Table 2 The comparison of PM_{2.5} among the three kinds of plant community types

	群落类型			F	p
	乔灌木	乔灌木草	乔草		
PM _{2.5} 数值	38.56±8.09a	37.00±4.87a	39.44±5.77a	0.339	0.716

注:数值后相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著。

3.3 环境因子对 PM_{2.5} 浓度变化的影响

环境因子对颗粒物在大气中的扩散有较大的影响,为了探求小环境中环境因子特别是温度和湿度对医院 PM_{2.5} 的浓度变化的影响,以 117 医院 4# 样地为例。该样地植物层次分明,树木高低错落,景观优美,监测采样时间为 2013 年 4 月 25—27 日(表 3)。

3.3.1 温度变化对 PM_{2.5} 浓度的影响 温度变化是人们容易感知到的,由表 3 数据对温度与 PM_{2.5} 进行相关性分析得图 3。由图 3 可以看出,PM_{2.5} 随温度的升高是降低的趋势,两者之间有一定的负相关关系, $y=-1.3261x+75.745$ (y 代表 PM_{2.5} 颗粒物浓度, x 代表温度)相关关系 $R^2=0.3242$,其相关性并不高。由表 2 可知,PM_{2.5} 浓度在 13:00—15:00 时间段最低,而此时一般也是一天当中气温最高的。PM_{2.5} 与温度基本上为负相关关系,原因主要是温度较高时,空气对流和乱流旺盛,将污染物扩散,PM_{2.5} 浓度会相应降低。

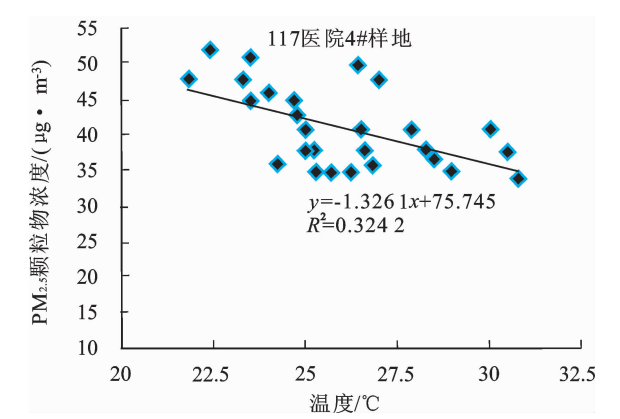


图 3 PM_{2.5} 颗粒物浓度与温度变化关系

Fig. 3 Relationship between PM_{2.5} particulate matter concentration with temperature

表 3 117 医院 4[#] 样地 PM_{2.5} 等数据

Table 3 PM_{2.5} and other data in 117 Hospital No. 4 plot

时间	4 月 25 日				4 月 26 日				4 月 27 日			
	PM _{2.5} / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	PM ₁₀ / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/℃	湿度/%	PM _{2.5} / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	PM ₁₀ / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/℃	湿度/%	PM _{2.5} / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	PM ₁₀ / ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/℃	湿度/%
9:00	52	110	22.4	78.8	48	94	21.8	75.4	50	100	26.4	72.9
10:00	51	105	23.5	79.2	45	92	23.5	72.5	48	88	27.0	74.5
11:00	41	80	25.0	60.7	36	75	24.2	58.7	37	85	28.5	62.8
12:00	41	78	26.5	55.8	38	80	25.2	52.9	41	78	30.0	57.5
13:00	38	78	26.6	49.2	38	82	25.0	51.6	38	79	30.5	48.9
14:00	36	75	26.8	46.5	35	68	25.3	43.8	34	65	30.8	43.5
15:00	35	72	26.2	45.9	35	72	25.7	38.5	35	70	29.0	41.8
16:00	45	84	24.7	54.5	43	80	24.8	52.3	38	75	28.3	48.5
17:00	48	95	23.3	67.5	46	88	24.0	62.6	41	70	27.9	58.8

3.3.2 空气湿度对 PM_{2.5} 浓度变化的影响 杭州市属于亚热带季风气候,雨量充沛,全年平均相对湿度 70.3%,湿度较大。湿度是影响空气中 PM_{2.5} 含量的一个重要指标。由表 3 比较相同采样点下 PM_{2.5} 浓度随空气湿度的变化情况,得图 4。

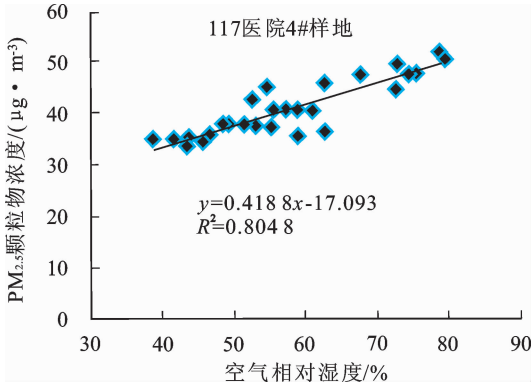


图 4 PM_{2.5} 颗粒物浓度与空气湿度关系

Fig. 4 Relationship between PM_{2.5} particulate matter concentration with air humidity

图 4 表明,PM_{2.5} 与空气相对湿度之间存在着明显的正相关性,PM_{2.5} 浓度虽空气相对湿度的增大而增加,两者之间存在着很强的线性关系, $y = 0.4188x + 17.093$ (y 代表 PM_{2.5} 颗粒物浓度, x 代表空气相对湿度) 相关系数 $R^2 = 0.8048$ 。因为空气湿度大时,大气中水蒸气含量大幅增加,漂浮在空气中的颗粒物会与水蒸气凝结形成雾使颗粒物重量加重,聚集在大气层中阻碍空气的流通,从而致使空气中 PM_{2.5} 含量增加。

3.4 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的关系

对可吸入颗粒物的监测研究中,分析 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的关系是一个研究重点,搞清楚医院小环境中 PM_{2.5} 占可吸入颗粒物的比重,可以为治理医院可吸入颗粒物提供依据。为此于 2013 年 4 月 25—27 日对 117 医院 4[#] 样地进行监测记录,所得结果及关系见表 2 和图 5。

图 5 表明,医院中 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 之间存在着—

定的线性关系,它们之间的线性关系为 $y = 0.4487x + 4.3649$ (y 表示 PM_{2.5} 浓度, x 表示 PM₁₀ 浓度) 相关 $R^2 = 0.8232$ 。结果可见,PM_{2.5} 随着 PM₁₀ 含量的增加而增加。通过监测数据分析可得 PM_{2.5} / PM₁₀ 比值在 0.44~0.59 之间,这与黄金星^[13]等在杭州市植物园环境监测点测量的比值 0.50~0.78 之间略有出入。这可能与医院小环境有关,医院为特殊环境,空间会存在着各种化学药品制剂,院内车来车往,短时间内各种气体可能会集聚在这个小环境中,以至其他粒径颗粒明显增多,间接导致医院内 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的比值略有偏低。PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的比值同时表明医院中 PM_{2.5} 至少占了颗粒物污染来源的 1/2,PM_{2.5} 仍然是污染的重点。

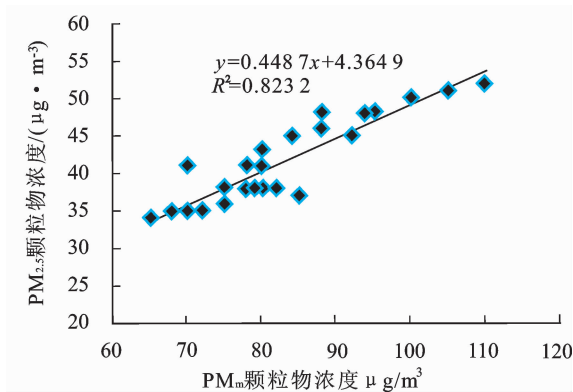


图 5 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 浓度关系

Fig. 5 Relationship between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations

3.5 住院区室内外 PM_{2.5} 浓度变化及两者关系

对于医院中住院病人来讲,他们一天中待在室内的时间比常人要多的多,良好的室内环境对他们的重要性不言而喻。为了解医院室内外空气中 PM_{2.5} 的含量及两者之间的内在关系,选取解放军 117 医院的一所高干病房和其所在院区外围空间的 2 个样点,各代表室内和室外环境,于 2013 年 5 月 18—20 日,对其 PM_{2.5} 进行监测记录(图 6)。

图 6 表明,室内与室外 PM_{2.5} 颗粒物浓度之间

存在着明显的线性关系,即 $y=0.7298x-0.5167$ (y 表示室内 PM_{2.5} 浓度, x 为室外 PM_{2.5} 浓度,相关系数 $R^2=0.763$)。观察记录期间室内 PM_{2.5} 含量均值为 $34\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 < 35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (美国标准日均浓度限值),表明 117 医院住院区室内空气环境质量非常好,这与所观察的高干病房的特殊地点不无关系,而 117 医院被杭州市卫生局和环保局评为“绿色医院”也被中国人民解放军环保绿化委员会评为“绿色营区”,医院整体环境清幽雅致更是人们的共识。I/O 比值(室内与室外颗粒物质量浓度之比)是判断室内颗粒污染源的一个重要指标。此次观测研究中 I/O 比值约为 $0.73 < 1$,由于解放军第 117 医院为无烟医院,监测期间室内除了人员活动外没有任何可致颗粒物的污染源,可由此推断:医院病房内的 PM_{2.5} 来源于室外颗粒物的渗透。

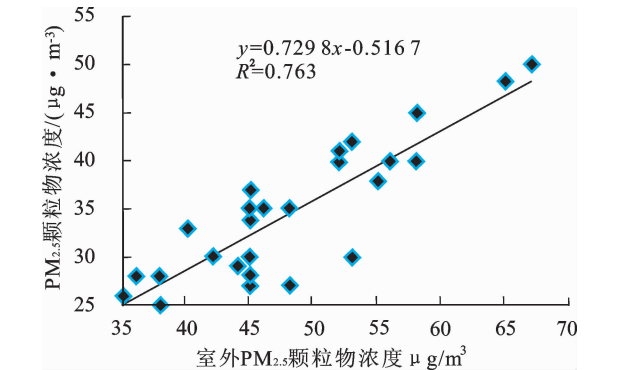


图 6 室内外 PM_{2.5} 颗粒物浓度关系

Fig. 6 Relationship between indoor and outdoor of PM_{2.5} particulate matter concentration

4 结论与讨论

杭州综合医院 PM_{2.5} 含量整体偏低,环境质量较好。所处区位较好的解放军 117 医院和浙江医院 PM_{2.5} 较之后 2 所要更低,但其平均水平与我国最新颁布的《中华人民共和国国家标准—环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的一级标准(年均浓度限值 $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日均浓度限值 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)^[6,14] 还有很大差距,与美国现行标准(年均 $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日均 $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)^[15] 相比超标率达 55.7% 与 WTO 现行准则值(年均 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日均 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)^[16] 相比超标率高达 128%。

医院中 PM_{2.5} 日变化呈“双峰单谷”的分布状态,即“早晚高,白天低”,并且下午的浓度值要低于上午的浓度值。建议病人特别是有呼吸系统和心血管系统疾病的患者,10:00 左右再开始进行户外活动,不建议早起进行户外锻炼,因为早晨大气中的可吸入颗粒物是较多的,于健康不利^[2]。

吴志萍^[11] 等在对清华大学 6 种城市绿地中

PM_{2.5} 浓度变化规律的研究中指出,合理的植物复层结构能起到良好的阻滞尘埃提高环境空气质量作用。本研究中乔灌木搭配良好的植物群落较之乔灌木和乔草 2 层结构中 PM_{2.5} 浓度值要低,然而降值效果不显著,绿地中 PM_{2.5} 的含量要明显低于空地,但是层次丰富郁闭度极高的植物群落中 PM_{2.5} 反而较高。建议医院在构建康复性植物景观的过程中,必须“优化植物群落”^[17],不仅要营造合理的植物层次,更要充分考虑植物个体的种植数量,不能“以量取胜”。

根据黄金星^[13] 等对杭州市区 PM_{2.5} 监测及污染状况分析中关于“PM_{2.5} 颗粒物浓度与空气相对湿度存在正相关性”的结论及本研究得出:医院小环境中环境因子对 PM_{2.5} 浓度有明显的影 响,PM_{2.5} 浓度随温度的上升而有所降低,呈负相关关系,而随着空气相对湿度的增加而浓度增加,呈正相关关系。建议患有呼吸系统和心血管系统疾病的人在空气湿度较大,天气闷热的状况下不要进行户外活动,以免加重病情。

医院中 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 之间存在一定的线性关系,其比值在 0.44~0.59 之间,医院中颗粒物污染除了 PM_{2.5} 外还存在其他污染颗粒物,但 PM_{2.5} 占了至少 1/2,PM_{2.5} 仍然是污染的重点。

医院病房内 PM_{2.5} 均值为 $34\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,室内可吸入颗粒物污染较轻,空气质量较好。根据相关研究,在没有明显长期室内污染源的情况下,I/O 比值约为 1^[18],本研究 I/O 比值约为 $0.73 < 1$,且室内外 PM_{2.5} 浓度之间有一定的线性关系,病房内的 PM_{2.5} 来源于室外颗粒物的渗透。建议在病房内增加盆栽植物的摆放种植。大量研究表明,植物对改善室内的环境空气质量有很好的效果,同时它还可以愉悦病人的心情,与现在所提倡的园艺疗法“减轻压力,消减病情”的功效^[19] 和作用机理是相似的,能达到康复治疗的效果。

参考文献:

[1] 赵士林,关琳子. “PM_{2.5} 事件”报道中的媒体建构[J]. 当代传播,2013(1):58-60.

[2] 杨维,赵文吉,宫兆宁,等. 北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析[J]. 环境科学,2013,34(1):238-239.

YANG W,ZHAO W J,GONG Z N, *et al.* Spatial distribution of inhalable particulate and association with respiratory disease in Beijing City[J]. Environmental Science, 2013, 34 (1): 238-239. (in Chinese)

[3] United states environmental protection agency. Inte-grated Science assessment for particulateMatter (FinalReport) (EPA/600/R-08/139F[EB/OL]. (2009-12-15) [2012-05-08]. http://www.epa.gov/ncea/pdfs/partmatt/Dec2009/PM_ISA_full.pdf.

[4] 王华,鲁绍伟,李少宁,等.可吸入颗粒物和细颗粒物基本特征、监测方法及森林调控功能[J].应用生态学报,2013,24(3):869-877.
WANG H,LU S W,LI S N,*et al.* Inhalable particulate matter and fine particulate matter: their basic characteristics,monitoring methods, and forest regulation functions [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2013,24(3):869-877. (in Chinese)

[5] World Health Organization. WHO air quality guide-lines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxideand sulfur dioxide-GlobalUpdate2005-SummaryofRiskAssessment [EB/OL]. (2005-04-05) [2012-05-08]. http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.Pdf.

[6] 中华人民共和国环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.(GB 3095-2012)[EB/OL]. (2012-02-29).

[7] STONE E,SCHAUER J,QURASHI T A,*et al.* Chemical characterization and source apportionment of fine and coarse particulate matter in Lahore,Pakistan[J]. Atmospheric Environment,2010,44:1062-1070.

[8] THURSTON G D,ITO K,LALL R. A source apportionment ofU. S. fine particulate matter air pollution[J]. Atmospheric Environment,2011,45:3924-3936.

[9] 孙颖,潘月鹏,李杏茹,等.京津冀典型城市大气颗粒物化学成分同步观测研究[J].环境科学,2011,32(9):2732-2740.
SUN Y,PAN Y P,LI X R,*et al.* Chemical composition and mass closure of particulate matter in Beijing,Tianjin and Hebei megacities,Northern China[J]. Environmental Science,2011,32(9):2732-2740.

[10] 朱先磊,张远航,曾立民,等.北京市大气细颗粒物PM_{2.5}的来源研究[J].环境科学研究,2005,18(5):1-5.
ZHU X L,ZHANG Y H,ZENG L M,*et al.* Source identification of ambient PM_{2.5}in Beijing[J]. Research of Environmental Sciences,2005,18(5):1-5. (in Chinese)

[11] 吴志萍,王成,侯晓静,等.6种城市绿地空气PM_{2.5}浓度变化规律的研究[J].安徽农业大学学报,2008,35(4):494-498.
WU Z P,WANG C,HOU X J,*et al.* Variation of air PM_{2.5} concentration in six urban greenlands[J]. Journal of Anhui Agricultural University,2008,35(4):494-498. (in Chinese)

[12] 王姣,王效科,张红星,等.北京市城区两个典型站点PM_{2.5}浓度和元素组成差异研究[J].环境科学学报,2012,32(1):74-80.
WANG J,WANG X K,ZHANG H X,*et al.* Comparison of PM_{2.5} concentrations and elemental compositions in two typical sites in Beijing urban area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2012,32(1):74-80. (in Chinese)

[13] 黄金星,张林,陈欢林,等.杭州市区空气中PM_{2.5}细微粒监测及污染状况分析[J].环境科学与技术,2006,29(9):49-51.
HUANG J X,ZHANG L,CHEN H L,*et al.* Monitoring of PM_{2.5}—related air pollution in Hangzhou city[J]. Environmental Science and Technology,2006,29(9):49-51.

[14] 中华人民共和国环境保护行业标准(HJ-1496)[EB / OL].

[15] 王宗爽,武婷,车飞,等.中外环境空气质量标准比较[J].环境科学研究,2010,23(3):253-260.
WANG Z S,WU T,CHE F,*et al.* Comparison between domestic and international ambient air quality standards[J]. Research of Environmental Sciences,2010,23(3):253-260. (in Chinese)

[16] 世界卫生组织.关于颗粒物、臭氧、二氧化碳和二氧化硫的空气质量准则—2005年全球新版风险评估概要[EB/OL].

[17] 高阳,韩娜,张亚菲等.乌鲁木齐市医院户外环境植物景观分析[J].西北林学院学报,2012,27(6):201-206.
GAO Y,HAN N,ZHANG Y F,*et al.* Plant landscape in the outdoor environment of the hospitals in Urumqi[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(6):201-206. (in Chinese)

[18] 程鸿,胡敏,张利文,等.北京秋季室内外PM_{2.5}污染水平及其相关性[J].环境与健康杂志,2009,26(9):787-789.
CHENG H,HU M,ZHANG L W,*et al.* PM_{2.5} concentrations in indoor and outdoor air and their relationship in the fall of Beijing[J]. Journal Environ Health,2009,26(9):787-789. (in Chinese)

[19] 杨晓明,田国行,邢俊敏.园艺疗法及其园林应用[J].西北林学院学报,2007,22(5):182-187.
YANG X M,TIAN G H,XING J M. Horticultural therapy and application in gardens[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(5):182-187. (in Chinese)

(上接第 225 页)

[10] 董宏敢,邵卓平.接合方式对板式家具搁板承载力的影响[J].西北林学院学报,2007,22(5):161-163.
DONG H G,SHAO Z P. Influence of the shelf connected style on carrying capacity in panel furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(5):161-163. (in Chinese)

[11] 何风梅,沈隽,鲍含伦.有限单元法在板式家具强度分析中的应用[J].西北林学院学报,2008,23(2):157-159.
HE F M,SHEN J,BAO H L. FEM application in strength analysis of panel furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(2):157-159. (in Chinese)

[12] 黄圣游,吴智慧,李琴.重组竹家具椭圆榫接合性能研究[J].林业科技开发,2011,25(2):40-44.
HUANG S Y,WU Z H,LI Q. Study on joint property of oval-tenon of reconstituted bamboo furniture[J]. China Forest Science and Technology,2011,25(2):40-44. (in Chinese)

[13] 蔡绍祥,向仕龙.板式家具五金件连接的力学性能研究[J].木材加工机械,2006(2):14-17.
CAI S X,XIANG S L. Study on mechanical capability of hardware-joint in panel-furniture[J]. Wood Processing Machine,2006(2):14-17. (in Chinese)

[14] 孙德林.板式家具的接合与装配技术[J].林产工业,2004,31(4):44-46.
SUN D L. Assembling and fixing technology of modern panel furniture[J]. China Forest Products Industry,2004,31(4):44-46. (in Chinese)

[15] 赵艳,杨红梅.板式家具胶合与接合技术研究[J].林业机械与木工设备,2008,36(7):47-48.
ZHAO Y,YANG H M. Study on the gluing and mounting technology of the knockdown furniture[J]. Forestry Machinery & Wood Working Equipment,2008,36(7):47-48. (in Chinese)