

北京西山典型游憩林空气颗粒物不同季节的日变化

郭二果^{1,2}, 王 成^{1,*}, 郝光发¹, 房 城^{1,3,4}, 孙志伟^{1,3}, 周志海⁵

(1. 中国林业科学研究院林业研究所国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 天津市环境工程评估中心, 天津 300191;
3. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 4. 杭州西湖风景名胜区吴山景区管理处, 杭州 310002; 5. 百望山森林公园管理处, 北京 100094)

摘要:以百望山森林公园为例,对北京西山 3 种典型游憩林一年四季空气颗粒物浓度进行了昼夜观测,结果发现:(1)北京西山 3 种典型游憩林 4 种粒径空气颗粒物日变化整体在 4 个季度均近似呈“双峰双谷”型,两个高峰时段分别出现在 5:00~9:00 和 19:00 之后到凌晨 3:00,低谷出现时间是 15:00 左右和 5:00 左右,不同季节之间峰、谷出现时间稍有差异。(2)3 种游憩林相比较,侧柏林空气颗粒物夜间高峰出现迟,高峰值大,且高峰期持续时间长,故夜间低谷出现时间也延迟。所以郁闭度较大的侧柏林夜间空气颗粒物浓度高于其他两种林型,且在夏、秋季表现得越来越明显。(3)同一游憩林不同粒径空气颗粒物相比,细粒径颗粒物白天高峰和夜间低谷出现时间提前,而白天低谷和夜间高峰却有所滞后。

关键词:北京西山;游憩林;空气颗粒物;日变化

文章编号:1000-0933(2009)06-3253-11 中图分类号:Q142,Q948,S718.5,S725.1,X171 文献标识码:A

Diurnal variations of airborne particulate matters in different seasons in typical recreation forests in West Mountain of Beijing

GUO Er-Guo^{1,2}, WANG Cheng^{1,*}, QIE Guang-Fa¹, FANG Cheng^{1,3,4}, SUN Zhi-Wei^{1,3}, ZHOU Zhi-Hai⁵

1 Research Institute of Forestry of CAF, Key Laboratory of Forest silviculture of the SFA, Beijing 100091, China

2 Tianjin Appraisal Center for Environment Engineering, Tianjin 300191, China

3 Forestry College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 Administrative Office of MT. WU. & Hangzhou West-Lake Scenic Spot Hangzhou 31000, China

5 Baiwang Mountain Forest Park administration, Beijing 100094, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3253 ~ 3263.

Abstract: Concentrations of the airborne particulate matters (PM) in 3 kinds of typical recreation forests in West Mountain of Beijing were monitored day and night in 4 seasons. The observation was made in the Baiwang Mountain. The results showed that: (1) Diurnal variation curves of PM concentrations with 4 kinds of particulate diameters in 3 kinds of typical recreation forests in West Mountain of Beijing all showed nearly “two peaks and two vales” in 4 seasons, and two peaks presented at 5:00—9:00 and 19:00—3:00, and two vales presented at around 15:00 and 5:00 respectively. Peaks and vales time had a minor difference in different seasons. (2) Comparing with other two forests, PM peak time at night in *Platycladus orientalis* forest occurred later, PM concentration was higher at peaks time, and the duration of the peak was longer. Accordingly, the vale time at night presented also later. Therefore, PM concentration at night in *Platycladus orientalis* forest with bigger crown density was higher than *Cotinus coggygia* forest and the mixed forest, especially in summer and autumn. (3) Within a same forest, peaks in day and vales at night of finer particles presented all earlier than that of coarser particles, while vales in day and peaks at night presented later.

Key Words: West Mountain of Beijing; recreation forest; airborne particulate matter; diurnal variation

基金项目:国家“十一五”攻关课题资助项目(2006BAD03A06)

收稿日期:2008-03-17; 修订日期:2008-09-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangcheng@forestry.ac.cn

近年来,随着北京社会经济和城市的发展,生态保健旅游逐渐成为城市居民的重要需求。北京西山是北京市民和外地游客进行徒步旅行、登高、健身、摄影等各种游憩活动的重要区域。森林保健旅游的主要目的之一是呼吸新鲜空气,游憩林空气质量的好坏是判断游憩区森林旅游适宜性的决定性因素,而空气悬浮颗粒物是北京的首要空气污染物,空气颗粒物达到一定浓度后会导致人体产生一系列疾病^[1],而且粒径越小,危害越大。目前有关空气颗粒物的详细研究主要集中在来源分析^[2~4]、成分解析^[5,6]和危害评价^[7,8]上,对城市游憩林空气颗粒物的变化多是些零散的、断断续续的研究,而游憩林内空气颗粒物在一年内每个季节的全天究竟如何变化的连续完整的研究未见报道。本文以百望山森林公园为例,研究了北京西山典型游憩林一年四季全天 24h 空气颗粒物的动态变化规律,旨在为“以人为本”的城市游憩林建设、旅游区旅游产品的开发和管理提供理论依据,更重要的是可以借鉴天气预报的形式对空气颗粒物水平进行实时预报,市民可以根据不同季节一天内各个时段的空气质量和自己的身体状况安排出行时间。

1 研究地概况

北京西山南起八大处,北到温泉甚至阳台山,西达门头沟金顶妙峰山,东至百望山,长达 20km,宽约 15km,相对高差 1000m 左右。试验地百望山森林公园地处北京西山东端,素有“太行前哨第一峰”的美称,位于颐和园北 3km 处,地理位置东经 116°21′43″~116°28′12″,北纬 39°57′52″~40°02′11″。暖温带大陆性季风气候,年均温度 11.6℃,年降水量 630mm 左右,约 70% 集中在 7~8 月份。土壤多为褐土和棕壤,土壤发育层次不明显。公园面积 200 余 hm^2 ,主峰海拔 210m,植被覆盖率达 95% 以上,游憩林是以侧柏(*Platycladus orientalis*)为主的松柏林、以黄栌(*Cotinus coggygria*)为主的红叶林,以及侧柏、黄栌、油松(*Pinus tabulaeformis*)与其他野生灌木组成的混交林,是北京西山游憩林类型的典型代表。

2 研究方法

2.1 样地选择

选择百望山森林公园“历代名家碑林”周围的 3 种典型游憩林,分别是侧柏纯林(树龄 40a,树高 7m,胸径 12.6cm,面积 3000 m^2 ,郁闭度 0.8)、黄栌纯林(树龄 40a,树高 5.5m,胸径 12cm,面积 10000 m^2 ,郁闭度 0.6)和以黄栌、构树(*Broussonetia papyrifera*)、油松、侧柏等构成的混交林(乔木树种 4m 左右,胸径 9cm,面积 5413 m^2 ,郁闭度 0.7)。地被物以荆条(*Vitex negundo* Var. *heterophylla*)和酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)为主。

2.2 指标测定和数据处理

在春、夏、秋、冬季分别选择典型天气 3d:春季“连续晴天”(5月13号)、“风后晴转多云”(5月19号)、“雨后晴天”(5月25号);夏季“桑拿天”(7月26日)、“雨后晴天”(8月9号)、“连续晴天”(8月22号);秋季“雾霾后晴”(10月20号)、“风雨后晴”(11月2号)、“晴间多云”(11月8号);冬季“连续晴天”(11月30号)、“雪后晴天”(12月13号)、“晴间多云”(12月21号)。不同天气之间空气颗粒物浓度虽有差异,但相对较小,而且不同天气颗粒物日变化的总体趋势也相似,各个季节颗粒物浓度取 3 次观测值的平均值。每天均从 9:00~次日 9:00 进行 24h 昼夜观测,每隔 2h 观测 1 次,每次 3 种游憩林均同步观测。用 Dustmate 烟尘检测仪测定人体平均呼吸高度 1.2~1.5m 处空气 TSP($d \leq 100\mu\text{m}$,总悬浮颗粒物)、PM10($d \leq 10\mu\text{m}$,可吸入颗粒物)、PM2.5($d \leq 2.5\mu\text{m}$,可吸入细颗粒物)、PM1.0($d \leq 1.0\mu\text{m}$)的浓度,每次 3 个重复。同时用小气候监测仪同步监测空气温度、空气相对湿度、风速和光照。并在秋季与市区万泉河绿地作了同步对照试验。

用 SAS v8 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 游憩林空气颗粒物不同季节总体日变化

3.1.1 春季

春季 3 种游憩林空气 TSP 和 PM10 日变化曲线均呈“W”形,PM2.5 和 PM1.0 日变化曲线也呈“双峰双谷”型,4 种粒径空气颗粒物浓度均为早晚高、白天和凌晨低,白天和夜间均有一个高峰和一个低谷(图 1)。

具体的变化趋势是:从 3:00 ~ 5:00 第一个低谷之后空气颗粒物浓度开始增加,直到 7:00 ~ 9:00 达到第一个高峰,之后开始下降,到 15:00 降到一天中最低值,然后基本保持不断上升趋势直到 21:00 ~ 1:00 达到第二个高峰。

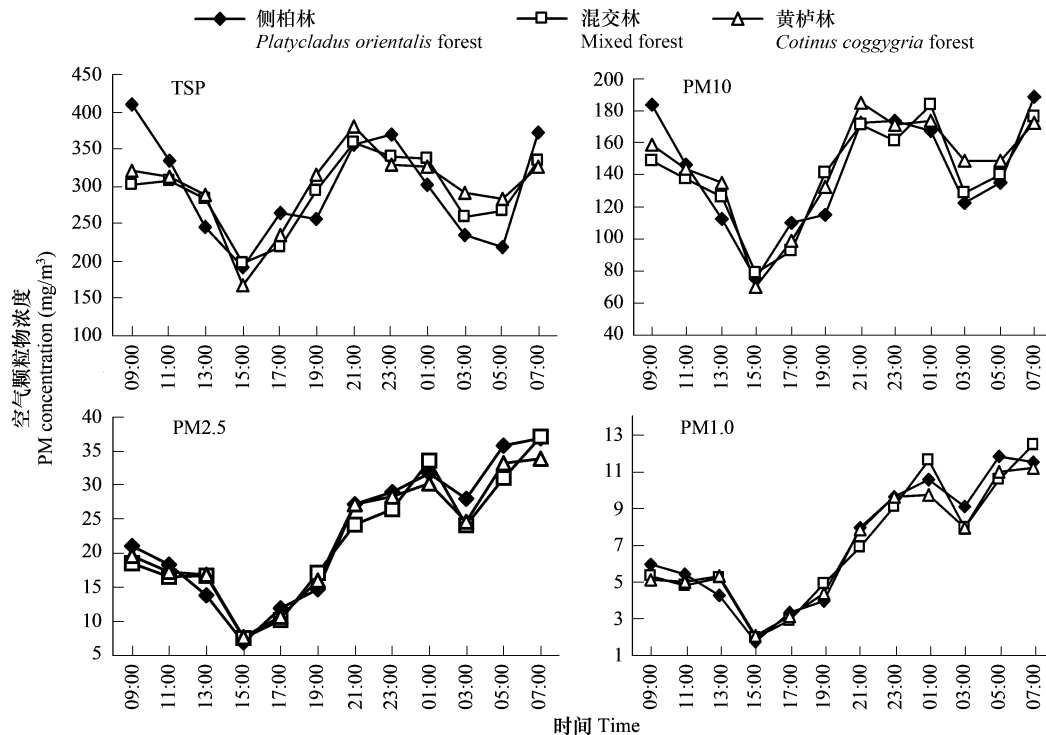


图1 春季3种游憩林4种粒径空气颗粒物日变化

Fig. 1 Diurnal variations of PM with 4 different kinds of diameters in 3 kinds of recreation forests in spring

从不同类型游憩林对比来看,春季细颗粒物日变化趋势3种游憩林比较一致,但粗颗粒物日变化趋势侧柏林与其他两种林型有一定差异。在空气颗粒物的高峰期(7:00 ~ 9:00 和 23:00)侧柏林空气颗粒物浓度在3种游憩林内最高,而在夜间低谷时(3:00 ~ 5:00)侧柏林颗粒物浓度又最低。另外,侧柏林还表现出一定的较其他两种林型高峰和夜间低谷出现时间晚,如在TSP的日变化趋势中,黄栌林和混交林在7:00空气颗粒物浓度达到高峰,而侧柏林延迟到9:00才出现最高峰;空气颗粒物浓度夜间低谷在黄栌林和混交林内出现在3:00,而侧柏林却延迟到5:00。在TSP和PM10的日变化曲线中均发现,晚上空气颗粒物高峰在黄栌林和混交林内出现在21:00,而在侧柏林内高峰出现在23:00。不过,在北京风沙较大的春季,空气颗粒物受整个城市大环境的影响远远大于游憩林的作用,所以方差分析后上述游憩林间的差异在春季风沙天气条件下表现不显著(表1)。

3.1.2 夏季

夏季游憩林4种粒径空气颗粒物日变化趋势非常相似,而且空气颗粒物浓度总体日变化规律与春季类似,仍然是早晚高,白天和凌晨低的“双峰双谷”型日变化曲线。两个高峰出现在7:00 ~ 9:00 和 19:00 ~ 21:00,15:00左右和1:00左右是游憩林空气颗粒物浓度出现低谷的两个时间段,其中以1:00左右为一天中最低(图2)。

3种游憩林相比,夏季白天大部分时间3种游憩林空气颗粒物浓度变化趋势相差不大,而夜间大部分时间侧柏林空气颗粒物浓度较其他两种林型高,特别是在空气颗粒物夜间高峰时段21:00左右。而且与春季类似,侧柏林夜间高峰出现时间(21:00)和低谷出现时间(3:00)均较其他两种林型(夜间高峰在19:00开始出现,夜间低谷出现在1:00)有所延迟。与春季不同的是,这种延迟效应对细颗粒物更明显。不过方差分析也显示,夏季总体上侧柏林空气颗粒物浓度与其他两种林型仍不显著(表1)。

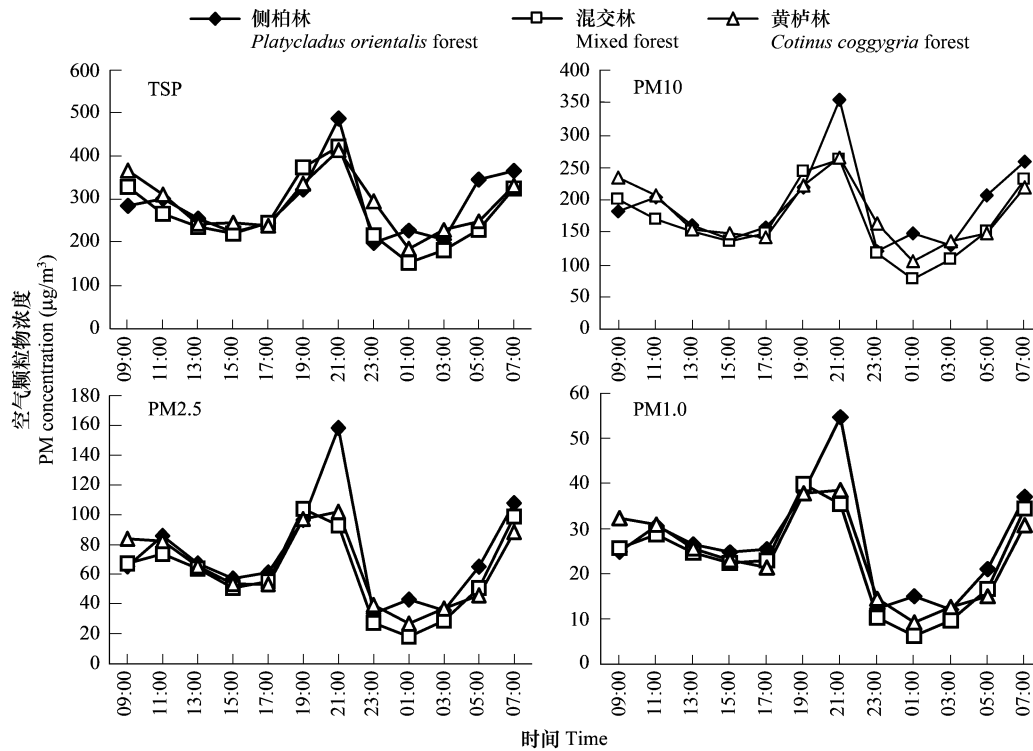


图2 夏季3种游憩林4种粒径空气颗粒物日变化

Fig. 2 Diurnal variations of PM with 4 different kinds of diameters in 3 kinds of forests in summer

3.1.3 秋季

秋季3种游憩林TSP和PM10日变化曲线近似“W”形,PM2.5与PM1.0虽在一天内各个时刻浓度差异不显著($\alpha = 0.05$),但日变化曲线总体上仍呈“双峰双谷”型(图3)。4种粒径空气颗粒物在5:00~11:00浓度最高,21:00也出现一个小高峰,在13:00~15:00和23:00~3:00各出现1次低谷。除TSP以外其他3种小粒径颗粒物浓度在17:00也比较低。

3种游憩林相比,秋季侧柏林空气颗粒物浓度日变化趋势与其他两种林型差异明显,侧柏林空气颗粒物浓度几乎在一天内均居高不下,尤其自17:00之后,随市区交通量的增加,3种游憩林空气颗粒物浓度均开始增加,在21:00均达到一个小高峰,之后侧柏林与其它两种林型不同,它除在23:00稍有降低外颗粒物浓度一直保持较高水平直到7:00,这也是如同春夏季一样侧柏林夜间高峰出现晚且持续时间长的一种表现,尤其对细颗粒物更明显,而且由于秋季北京市风沙天气相对减少,空气质量相对最好,空气颗粒物受微环境(不同游憩林林型)的影响被显现出来了,所以方差分析显示,秋季4种粒径空气颗粒物浓度侧柏林均显著高于黄栌林和混交林(表1)。

表1 不同游憩林型空气颗粒物平均值及差异显著性分析

Table 1 PM concentrations and difference significant analysis between different recreation forests

项目 Item		侧柏林 <i>Platycladus orientalis</i> forest	混交林 Mixed forest	黄栌林 <i>Cotinus coggygia</i> forest
春季 Spring	PM1.0	7.07	6.95	6.83
	PM2.5	22.92	21.89	22.11
	PM10	141.88	140.52	144.70
	TSP	295.61	291.28	297.79
夏季 Summer	PM1.0	26.84	23.02	24.27
	PM2.5	72.95	60.84	64.45
	PM10	189.52	165.48	178.40
	TSP	288.04	265.76	286.34
秋季 Autumn	PM1.0	22.13 *	10.14	10.40
	PM2.5	56.85 *	25.45	25.49
	PM10	130.85 *	85.60	84.98
	TSP	194.23 *	145.90	143.23
冬季 Winter	PM1.0	59.14	55.19	60.76
	PM2.5	125.21	121.87	124.64
	PM10	203.73	200.76	208.37
	TSP	284.02	297.19	295.18

* 代表与其他林型显著,显著水平 $\alpha = 0.05$ means significantly different with other recreation forests, and significant level is 0.05

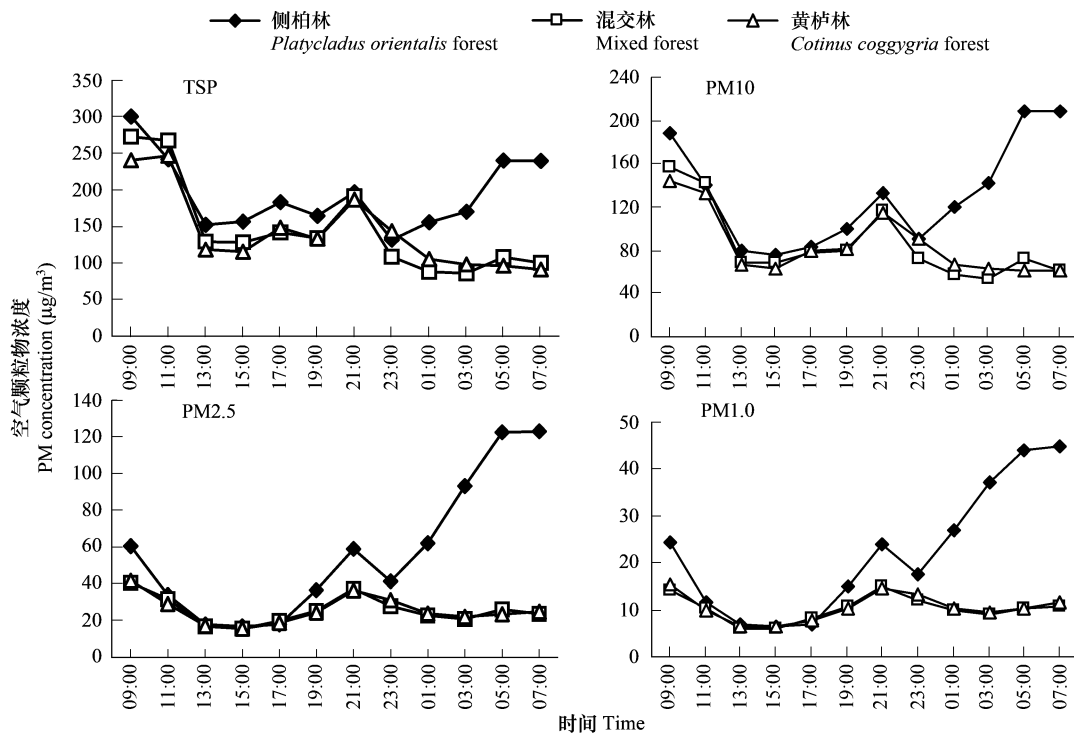


图3 秋季3种游憩林4种粒径空气颗粒物日变化

Fig. 3 Diurnal variations of PM with 4 different kinds of diameters in 3 kinds of forests in autumn

3.1.4 冬季

冬季一天中颗粒物浓度表现出明显的夜间高于白天的变化趋势,即除个别情况外,从17:00之后到凌晨3:00颗粒物浓度基本上均高于其它时刻,另外,7:00~9:00也是颗粒物浓度较高的时段,特别是7:00。一天中颗粒物浓度的低谷出现在11:00~15:00和5:00~7:00,此外,21:00也是3种游憩林各种粒径颗粒物浓度出现明显低谷的一个时刻(图4)。

3种游憩林相比,冬季白天3种游憩林空气颗粒物浓度变化趋势基本相似,自21:00之后侧柏林4种粒径空气颗粒物变化趋势与混交林和黄栌林均有所不同,且与其他3个季节相似,差异表现在侧柏林夜间高峰出现时间有所滞后,且高峰期持续时间也加长了,尤其对细颗粒物这种差异更明显。不过方差分析结果显示,冬季3种游憩林4种粒径空气颗粒物的日平均浓度差异不显著(表1),原因可能是冬季混交林和黄栌林内阔叶树种落叶,吸纳空气颗粒物能力下降,而侧柏林虽在夜间部分时段空气颗粒物较高,但由于侧柏四季常绿,冬季仍然发挥了较大的阻挡、吸滞等降减空气颗粒物的作用,在高峰期到来之前空气颗粒物浓度最低(如19:00~23:00),这样就抵消了3种游憩林内空气颗粒物浓度的差异。另外,冬季北京采暖使得整个城市空气颗粒物浓度又有所增加,大环境内空气颗粒物浓度较高也对不同游憩林空气颗粒物浓度的差异有一定的掩盖作用。

3.1.5 游憩林空气颗粒物浓度在4个季度的日变化差异分析

由以上4个季度游憩林空气颗粒物浓度的日变化可以看出,游憩林空气颗粒物浓度在4个季度的日变化规律有很高的相似性,但仍存在着细微的差异,这里仅以TSP和PM2.5为例加以说明。空气颗粒物浓度日变化曲线除冬季为“M”型外,其他3个季度均呈“W”型。对于粗颗粒物,秋季一天内大多数时间空气颗粒物浓度最低,其他3个季度相差不大。具体来看,春季和夏季的TSP日变化幅度较大,春季夜间最高峰TSP值虽比夏季低,但它持续时间较长,而夏季不论白天还是夜间低谷均比春季持续时间长,所以夏季日变化曲线弧度较大。另外,夏季夜间高峰和低谷出现时间均较春季有所提前(图1~图2)。TSP在秋季和冬季的日变化缓慢,大多数情况均处于差不多的水平上,两个季度相比,冬季浓度高于秋季,且变化幅度更大一些。而且秋季白天

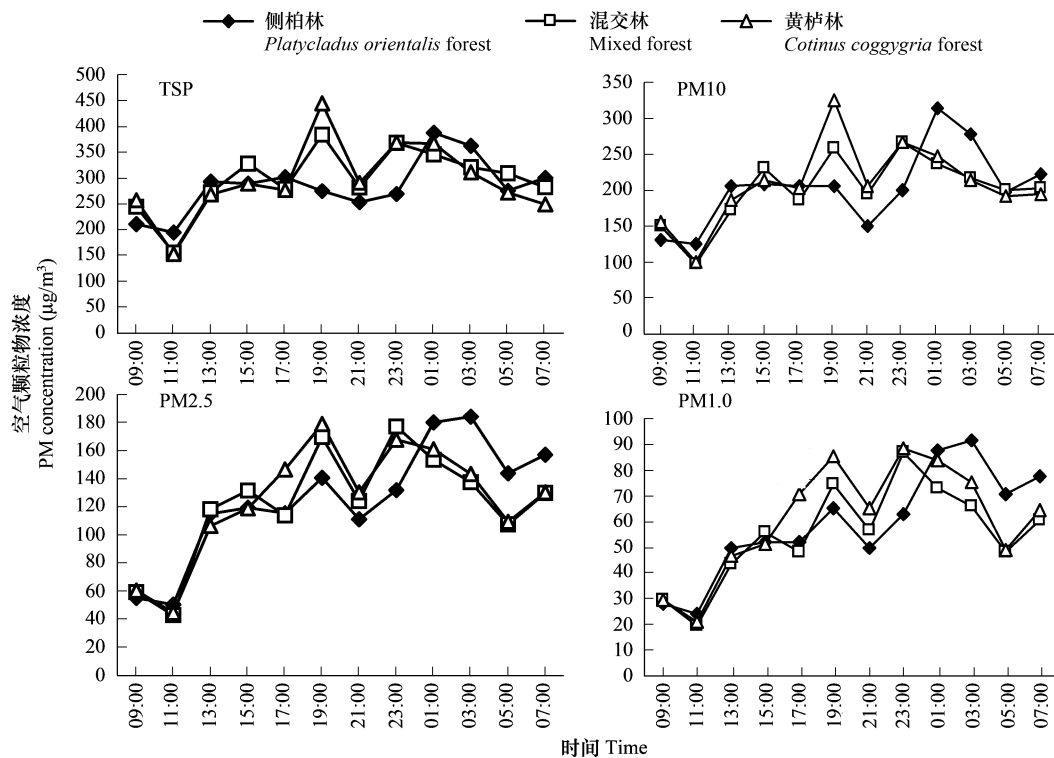


图4 冬季3种游憩林4种粒径空气颗粒物日变化

Fig. 4 Diurnal variations of PM with 4 different kinds of diameters in 3 kinds of forests in winter

低谷时间有较春夏季提前的趋势,冬季早上和夜晚高峰以及白天低谷出现时间均明显提前于前3个季度(图3~图4)。对于细颗粒物,春季和秋季日变化较为缓慢,空气颗粒物浓度也较低,而冬季和夏季浓度值高且变化迅速,尤其是冬季。PM_{2.5}在不同季节高峰和低谷出现时间的不同等日变化差异类似于TSP,而且差异表现得更为突出。

根据前人研究结果,城市空气悬浮粒子可能也与树木排放出的气体凝结有关,但绝大多数城市空气颗粒物来源于交通^[8,9]、工业和生活排放物^[3,4],而且还受气象和天气因素^[10,11]以及人为活动^[2]的影响,本文用3种游憩林一年内的空气颗粒物浓度和小气候指标数据作了相关分析($n=432$),结果发现,在一定风速范围内空气颗粒物一般与风速和空气温度呈显著负相关,而与空气相对湿度呈显著正相关,而且颗粒物粒径越小,与气象因子的相关性越大(表2)。那么导致游憩林总体空气颗粒物浓度出现上述日变化规律的主要原因可能是:白天光照强,气温高,空气湿度小,特别是午后左右气温达到最高、空气湿度最低,一般风速也较大,这时空气对流加强,空气湍流运动易于空气颗粒物的输送和扩散,使其达到最低。相反,早晚和夜间气温低,空气湿度大,又加上风速较小,这种低温、高湿和相对静风的气象状态不利于空气颗粒物的扩散和输送,使其聚集增多,所以早上和晚上是空气颗粒物浓度达到高峰的两个时间段,外出活动对游客特别是患有呼吸道疾病的人健康不利。而且,早晚大气层较稳定,午后大气混合层厚度最高,大气最不稳定,湍流和对流充分发展,扩散稀释能力强,大气稳定状况的变化同样对颗粒物的分布具有重要作用。另外,7:00左右和19:00左右是山下车流量、人流量的高峰期,产生的空气污染物也会输送到山上而增加了空气颗粒物浓度,本文在市区街头绿地的对照试验中发现对照地空气颗粒物浓度的高峰期与交通高峰期相吻合,且与北京西山游憩林空气颗粒物浓度日变化趋势基本保持一致(图5)。而且本文对人流量的调查发现,从4:30(春夏季)或5:00左右(秋冬季)附近居民就开始进行晨练活动,直到7:00(春夏季)~9:00(秋冬季)才逐渐离开,这也可能是5:00左右游憩林空气颗粒物浓度开始增加,9:00左右达到最大的另一个原因。至于凌晨左右空气颗粒物出现一个小低谷的原因,可能与空气湿度大将空气颗粒物凝结减少有关,也可能由于这段时间林内温度比市区温度高,使林内和

山下市区进行城郊气流交换的结果。

表 2 空气颗粒物与气象因子的相关系数

	光照强度 Light intensity	平均风速 Average wind velocity	最大风速 Maximum wind velocity	平均温度 Average temperature	最高温度 Maximum temperature	最低温度 Minimum temperature	平均湿度 Average humidity	最大湿度 Maximum humidity	最小湿度 Minimum humidity
TSP	-0.032	-0.182	-0.134	-0.002	0.000	-0.007	0.169	0.150	0.170
	0.508	0.000	0.005	0.961	0.997	0.891	0.000	0.002	0.000
PM10	-0.110	-0.262	-0.226	-0.113	-0.109	-0.117	0.362	0.349	0.344
	0.022	<0.0001	<0.0001	0.018	0.023	0.015	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PM2.5	-0.153	-0.303	-0.283	-0.293	-0.289	-0.296	0.458	0.458	0.413
	0.002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PM1.0	-0.153	-0.302	-0.282	-0.347	-0.343	-0.351	0.439	0.443	0.386
	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

相关系数的下一行代表显著水平 the follow line of correlation coefficient represent significant level

同时,按照我国一级地区空气颗粒物日平均浓度标准和美国环保局 2005 年 PM2.5 的日平均标准,北京西山 TSP 和 PM10 除秋季部分时刻外四个季度一天中均有不同程度的超标现象,而 PM2.5 除在冬季夜间多数时刻属于“不健康”外,其他季节多为“中等”或仅“对敏感人不健康”。不过,北京西山 3 种典型游憩林不论哪种粒径的空气颗粒物浓度均明显低于市区对照地,游憩林日平均滞尘率最小为 55.36%,最大达 90% 以上(图 5,仅以两种粒径为例)。这样,从 4 种粒径空气颗粒物日变化的总体角度来看,在北京西山游憩林春季 15:00 左右比较适合户外游憩活动,夏季也最好选择在 13:00~17:00 特别是 15:00,秋季 13:00~15:00 是一天中最佳游憩时间,冬季外出游憩活动最好选择在 11:00~15:00。而春夏冬三季 7:00~9:00 左右、秋季 5:00~9:00 外出活动时应考虑空气颗粒物特别是 TSP 和 PM10 的污染情况。此外,晚上有一段时间(春夏秋 21:00 左右,冬季 17:00 之后特别是 19:00 和 23:00 之后)也是空气颗粒物污染的高峰期,外出活动时也应注意。

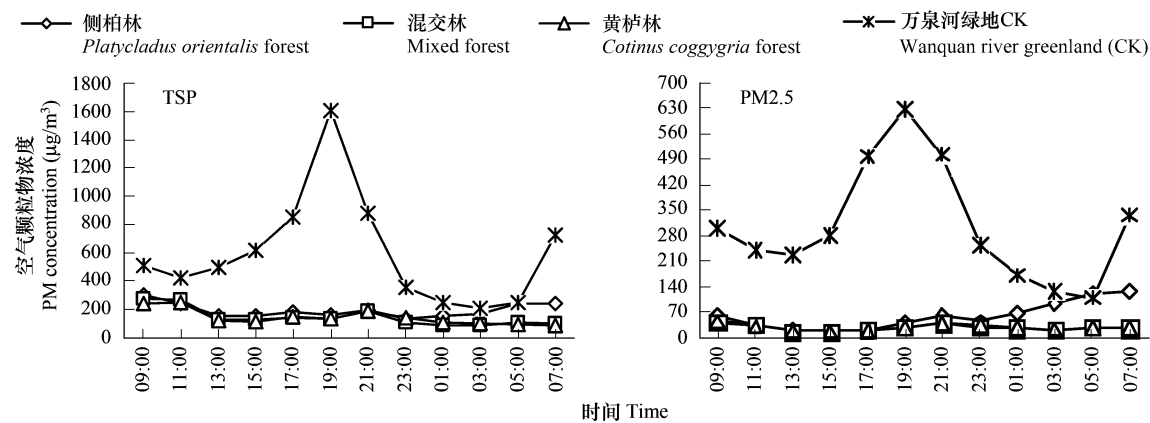


图 5 秋季北京西山游憩林和市区游园绿地空气颗粒物浓度日变化对比
Fig. 5 Comparisons of PM diurnal variations between recreation forests in Beijing west Mountain and CK urban greenland in autumn

上述 4 个季度均不同程度地反映出侧柏林空气颗粒物浓度在游憩林空气颗粒物整体浓度的某些高峰期最高,低谷时又最低,而且还表现出一定的高峰和低谷出现较其他两种林型晚,尤其在夜间这种差异更明显。这说明当来自交通污染和游客活动等污染源的空气颗粒物进入游憩林时,侧柏林由于林分郁闭度最大,对空气颗粒物具有巨大的阻挡作用,再加上侧柏针叶对颗粒物有比阔叶树更大的滞留粉尘能力^[8],使得空气颗粒物不容易进入侧柏林或进入时通过许多方式将空气颗粒物大大消减,空气颗粒物在侧柏林内聚集到最大值需

要时间较其他林型长,而且当空气颗粒物一旦进入侧柏林,又不容易扩散开来,所以使得侧柏林空气颗粒物浓度高峰出现延迟,高峰值最大,且高峰期持续时间较长,因而又延误了低谷时间的到来。而且早晚由于交通量和气候因素变化大,上述不同游憩林间的差异晚上到早上这段时间表现较白天更明显。另外,不同游憩林间的这种差异对不同粒径大小的颗粒物的明显程度还随季节变化而有不同,春季粗颗粒物较明显,其他3个季节细颗粒物较明显,这可能与不同粒径大小的颗粒物形成的季节性有关:春季北京风沙大有利于粗颗粒物的产生,夏季光化学反应、2007年秋季雾霾天气多以及冬季逆温现象和燃煤对细颗粒物的贡献大。上述侧柏林空气颗粒物高峰延迟且高峰期持续时间长延迟了低谷时间的到来可以推断出,即使其他游憩林达到低谷,郁闭度较大的林分空气颗粒物特别是细颗粒物也许仍比较高,仍不是最佳游憩时间,到其中游憩应适当延迟一些,尤其是凌晨的低谷时段。

3.2 相同林型不同粒径空气颗粒物日变化比较

3.2.1 春季

对于同一种林型,4种不同粒径空气颗粒物日变化趋势虽大体相似,但出现波峰和波谷的时间细颗粒物较粗颗粒物稍有提前或滞后。春季TSP两个高峰值分别出现在9:00(侧柏林和黄栌林)或7:00(混交林)、21:00(黄栌林和混交林)或23:00(侧柏林),两个低谷值分别出现在15:00和5:00(侧柏林和黄栌林)或3:00(混交林)(图6)。PM₁₀与TSP的差异只是白天高峰出现时间3种游憩林均提前到7:00,侧柏林夜间低谷值也提前到3:00,混交林夜间高峰延迟到23:00。与PM₁₀相比较,PM_{2.5}夜间高峰推迟到23:00(侧柏林和黄栌林)或1:00(混交林)。而PM_{1.0}相对PM_{2.5}白天高峰有个别林地又有所提前,侧柏林在5:00达到最大,且夜间高峰3种游憩林均持续到1:00。方差分析也显示,在 $\alpha=0.05$ 下,15:00与21:00和9:00等时段总体TSP浓度差异对3种游憩林均极显著,随着粒径的不断减小,后两个时段分别逐渐滞后和提前。

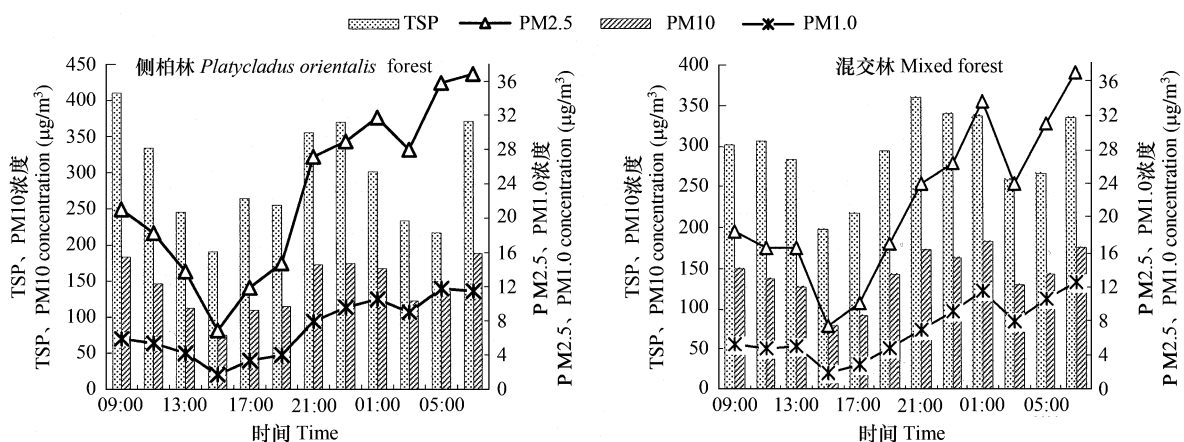


图6 春季相同林型不同粒径空气颗粒物日变化

Fig. 6 Diurnal variations of PM with different diameters in same type of recreation forest in spring

3.2.2 夏季

夏季除个别情况外,多数细粒径颗粒物在日变化趋势中表现出较粗颗粒物白天高峰有所提前,如混交林其他3种粒径颗粒物均由TSP的9:00提前到7:00;黄栌林PM_{2.5}由PM₁₀的9:00提前到7:00(图7),而白天低谷出现时间却有所滞后,如黄栌林其他3种粒径颗粒物均由TSP的13:00推迟到17:00。

3.2.3 秋季

秋季混交林各种粒径空气颗粒物白昼高峰和低谷出现时间均保持一致(图略)。侧柏林TSP白天高峰和白天低谷出现时间分别是9:00和13:00,而其他3种小粒径颗粒物均分别出现在7:00和15:00(图8)。黄栌林白天高峰出现在11:00,而其他3种小粒径颗粒物提前到9:00,TSP和PM₁₀夜间低谷出现在7:00,而PM_{2.5}和PM_{1.0}两种细颗粒物提前到3:00。

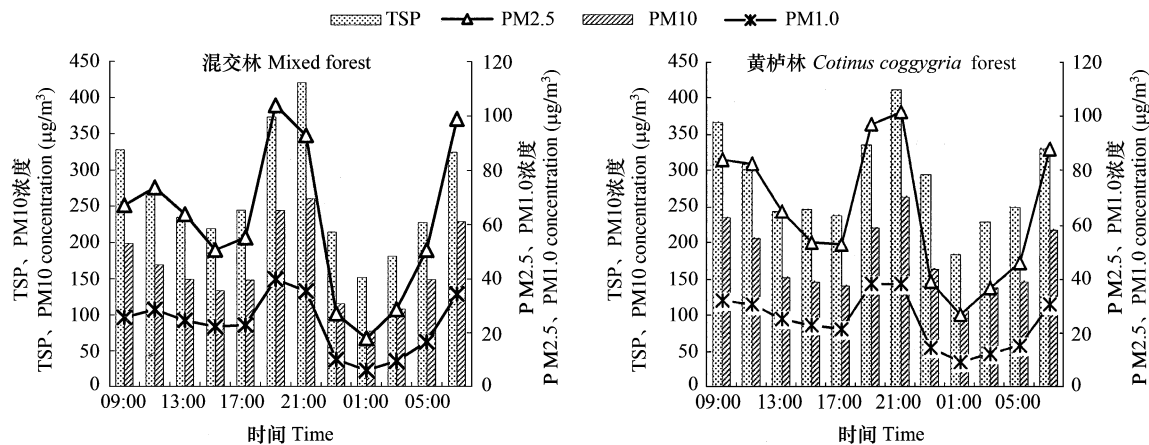


图7 夏季相同林型不同粒径空气颗粒物日变化

Fig. 7 Diurnal variations of PM with different diameters in same type of recreation forest in summer

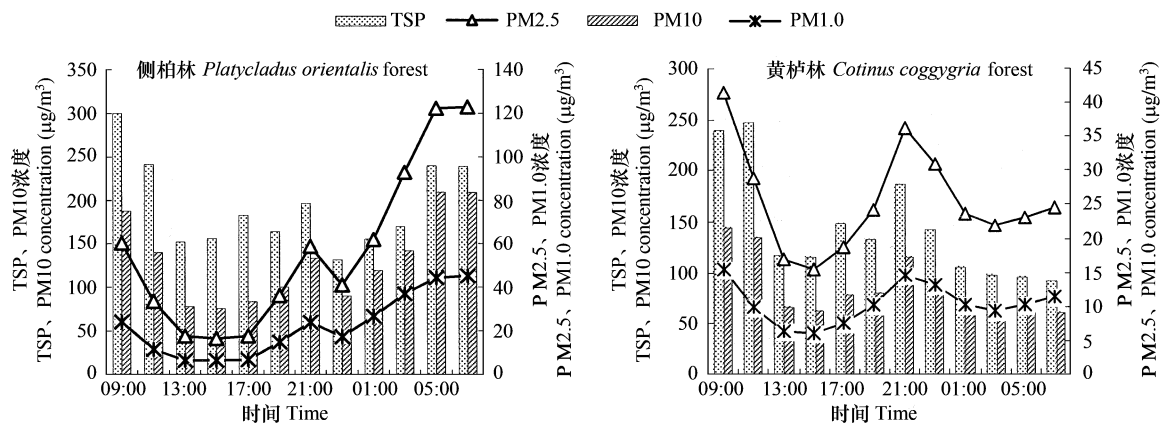


图8 秋季相同林型不同粒径空气颗粒物日变化

Fig. 8 Diurnal variations of PM with different diameters in same type of recreation forest in autumn

3.2.4 冬季

冬季不同粒径颗粒物日变化也显示(图9):与粗颗粒相比,小粒径颗粒物白天高峰和夜间低谷出现时间提前,夜间高峰和白天低谷出现时间滞后。如侧柏林颗粒物 PM2.5 和 PM1.0 凌晨高峰均由 TSP、PM10 的 1:00 延迟到 3:00,傍晚高峰均由 TSP 的 17:00 延迟到 19:00。黄栌林 PM10、PM2.5、PM1.0 白天高峰出现时间均由 TSP 的 9:00 提前到 7:00,凌晨低谷 TSP 出现在 7:00,其他 3 种小粒径颗粒物提前到 5:00。混交林不同粒径颗粒物日变化也反映出夜间高峰小粒径颗粒物出现时间较粗颗粒物有所滞后的现象(其他 3 种小粒径颗粒物夜间高峰出现时间均由 TSP 的 19:00 推迟到 23:00)。

综合 4 个季度的研究结果,同一林型细颗粒与粗颗粒物相比,小粒径空气颗粒物白天高峰和夜间低谷出现时间提前,而白天低谷和夜间高峰出现时间有所滞后。相同林型不同粒径空气颗粒物的这种日变化差异说明细颗粒物对周围环境比较敏感,高峰期容易达到且能保持较长时间:早上提前达到最大,下午低谷又延迟到来,且从下午浓度开始增加后能持续较长时间,直到夜间稍稍降低马上又开始升高。

4 讨论与结论

(1) 本研究发现,北京西山几种典型游憩林空气颗粒物浓度在一天内具有明显的变化趋势,一般呈“双峰双谷”型,且在早晚各出现一次高峰值。这与其他学者在许多大城市的研究结果一致,只不过峰谷值出现的具体时间因地区和城市的不同稍有差异。北京城区、上海和重庆的颗粒物浓度峰值在 7:00~9:00 左右和

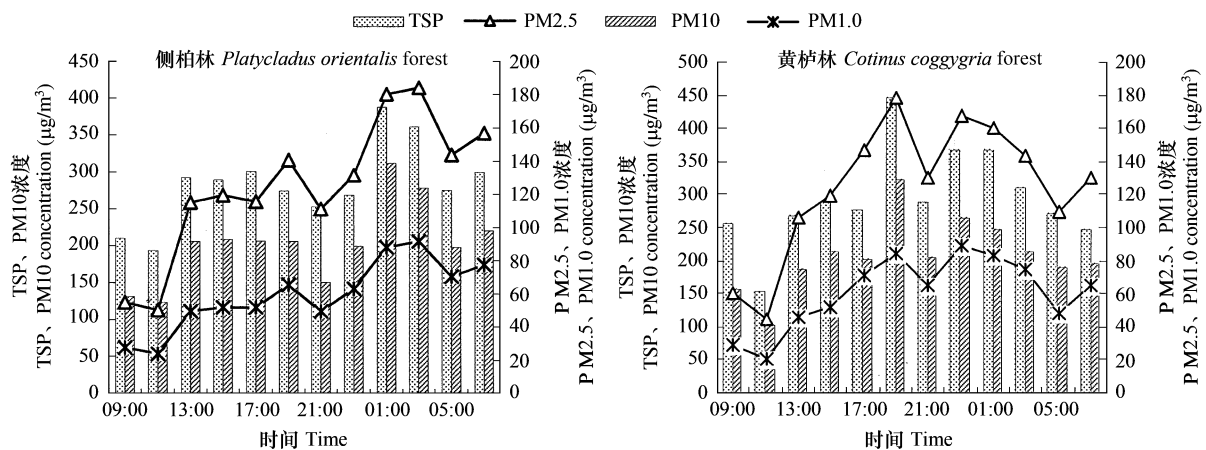


图9 冬季相同林型不同粒径空气颗粒物日变化

Fig. 9 Diurnal variations of PM with different diameters in same type of recreation forest in winter

19:00~21:00左右^[12];天津空气PM10日变化最高峰出现在8:00和19:00,低谷出现在14:00和1:00^[13];英国空气PM10在7:00~10:00以及19:00~22:00有两个高峰,在12:00和17:00相对稳定^[9]。空气颗粒物浓度的这种日变化规律与一天中气象条件和大气稳定状态的变化有很大关系,白天(尤午后)光照强,气温高,空气湿度小,空气对流加强,易于空气颗粒物的输送和扩散而使其达到最低,相反,早晚和夜间低温、高湿和相对静风的气象状态不利于空气颗粒物的扩散和输送,使其聚集增多;早晚大气层较稳定,午后大气混合层厚度最高,大气最不稳定,湍流和对流充分发展,扩散稀释能力强。另外,城市空气颗粒物的这种日变化规律还受人活动的影响较大,如张家界国家森林公园接待区空气TSP以晚餐时段的测值最大,其次是早餐,午餐时段最小^[14]。各地区具体峰、谷值出现时间的不同主要是由于各地区气候环境、观测时的具体天气条件和观测时段的长短不同所致。

北京西山3种典型游憩林内4种粒径空气颗粒物总体日变化趋势在4个季度基本上均近似呈“双峰双谷”型,春季高峰出现在7:00~9:00和21:00~1:00,低谷出现在15:00和3:00~5:00;夏季高峰在7:00~9:00和19:00~21:00,低谷在15:00和凌晨1:00左右;秋季高峰时间为5:00~11:00和21:00,低谷时间为13:00~15:00和23:00~3:00,除TSP外其他3种小粒径颗粒物浓度在17:00也比较低;冬季7:00~9:00和19:00~3:00是高峰时段,11:00左右和5:00左右是低谷时段;不同季节相比,秋冬季日变化趋势较春夏季缓慢,且峰谷出现时间逐渐提前,这些变化和不同季节气候的日变化是相适应的。因此,若仅从空气颗粒物角度来看,春季15:00左右比较适合户外游憩,夏季也最好选择在13:00~17:00特别是15:00,秋季13:00~15:00是一天中最佳游憩时间,冬季外出游憩也最好在11:00~15:00。另外,春、夏季在5:00前也可适当进行游憩活动。而7:00左右(春、夏、冬季7:00~9:00,秋季5:00~11:00)和19:00后到凌晨左右外出活动应注意空气TSP和PM10的污染情况。

(2) 3种游憩林相比较,夜间郁闭度较大的侧柏林高峰出现迟,高峰值大,且高峰期持续时间长,夜间低谷出现时间也延迟,这可能是由于叶片粘性较大的侧柏林对空气颗粒物的吸附、捕获能力强,滞留时间也较长^[8],而且侧柏林郁闭度较大,使空气颗粒物难以进入其中,一旦进入又不容易扩散开来。空气颗粒物浓度在不同游憩林间的这种差异还随季节而异,在北京整个城市大环境中空气颗粒物浓度较低、游憩林生理活动最为旺盛的夏、秋季侧柏林空气颗粒物浓度较混交林和黄栌林高的程度越来越明显。所以,到郁闭度较大的林分内进行游憩活动,应选择较一般林地最佳游憩时间晚一些的时段。另外今后在游憩林建设中不仅要考虑选择吸滞粉尘能力强的树种,还应考虑合理的种植密度和郁闭结构,并对过密林分进行适当的疏伐和整枝,降低林分密度,拓展林下空间,以达到对空气颗粒物的最佳消减效果。

(3) 不同粒径空气颗粒物相比,先前有些学者只对其季节变化做过比较,发现粗颗粒TSP含量在春季^[15]

或夏季^[5]最高,而细粒子 PM_{2.5} 浓度及 PM_{2.5}/PM₁₀、PM_{2.5}/TSP 均在冬季最高^[15],而对不同粒径颗粒物的日变化差异很少有人比较过。本文研究发现,同一游憩林不同粒径空气颗粒物相比,小粒径颗粒物白天高峰和夜间低谷出现时间提前,而白天低谷和夜间高峰却滞后,这可能与小粒径空气颗粒物与气象因子的相关性较高,对周围气候环境比较敏感有关,使其高峰期容易达到且能保持较长时间,所以外出游憩活动时即使粗颗粒物还未达到高峰期也应注意一下小粒径颗粒物的污染情况。

References:

- [1] Kan H D, Chen B H. Particulate air pollution in urban areas of Shanghai, China; Health-Based Economic Assessment. *The Science of the Total Environment*, 2004, 322(1/3): 71—79.
- [2] Holmes N S, Morawska L, Mengersen K, *et al.* Spatial distribution of submicrometre particles and CO in an urban microscale environment. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(22): 3977—3988.
- [3] Yue W S, Lia X L, Liu J F, *et al.* Characterization of PM_{2.5} in the ambient air of Shanghai City by analyzing individual particles. *The Science of the Total Environment*, 2006, 368(2-3): 916—925.
- [4] Yang F M, He K B, Ma Y L, *et al.* Characteristics and sources of trace elements in ambient PM_{2.5} in Beijing. *Environmental Science*, 2003, 24(6): 33—37.
- [5] Chan Y C, Simpson R W, Mcainsh G H, *et al.* Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in brisbane. *Australia Atmospheric Environment*, 1997, 31(22): 3773—3785.
- [6] Sergio R, Xavier Q, Andres A, *et al.* Comparative PM₁₀—PM_{2.5} source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM Episodes in Eastern Spain. *Science of the Total Environment*, 2004, 328: 95—113.
- [7] Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis. *Environmental Research*, 1994, 64: 36—52.
- [8] Powe N A, Willis K G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70: 119—128.
- [9] Latha K M, Highwood E J. Studies on particulate matter (PM₁₀) and its precursors over urban environment of reading, UK. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2006, 101(2): 367—379.
- [10] Cheng C C. Polycyclic Aromatic hydrocarbon concentration and acute toxicity of airborne particulate matter: Using Microtox as a Toxicity Screening Tool. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2003, 23(3): 249—258.
- [11] Wiedinmyer C, Quayle B, Geron C, *et al.* Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(19): 3419—3432.
- [12] Ren L X, You R G, Lv W X, *et al.* The physical and chemical characteristics of aerosols in the urban region and their influence on human health. *Climatic and Environmental Research*, 1999, 4(1): 67—73.
- [13] Yao C R, Chen K. Time change regulation of urban air quality and pollution character. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(5): 50—52.
- [14] Shi Q, He Q T, Wu Z W. Variations of air pollutant concentrations and their evaluation in Zhangjiajie National Forest Park, China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 24(4): 20—24.
- [15] Yang F M, He K B, Ma Y L, *et al.* Variation characteristics of PM_{2.5} concentration and its relationship with PM₁₀ and TSP in Beijing. *China Environmental Science*, 2002, 22(6): 506—510.

参考文献:

- [4] 杨复沫,贺克斌,马永亮.北京大气 PM_{2.5} 中微量元素的浓度变化特征与来源. *环境科学*,2003,24(6):33~37.
- [12] 任丽新,游荣高,吕位秀,等.城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响. *气候与环境研究*,1999,4(1):67~73.
- [13] 姚从容,陈魁.城市环境空气质量变化规律及污染特征分析. *干旱区资源与环境*,2007,21(5):50~52.
- [14] 石强,贺庆棠,吴章文.张家界国家森林公园大气污染物浓度变化及其评价. *北京林业大学学报*,2004,24(4):20~24.
- [15] 杨复沫,贺克斌,马永亮,等.北京 PM_{2.5} 浓度的变化特征及其与 PM₁₀、TSP 的关系. *中国环境科学*, 2002,22(6):506~510.