

# 城市绿地空气PM10浓度及其与环境因子的关系

刘宇<sup>1</sup>, 王晓立<sup>1,2</sup>, 韩浩章<sup>1,3</sup>, 蒋亚华<sup>1</sup>, 李素华<sup>1</sup>, 张楠<sup>1</sup>, 陈池<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>宿迁学院 二系, 江苏 宿迁 223800; <sup>2</sup>南京林业大学 生物与环境学院, 南京 210095;

<sup>3</sup>南京农业大学 园艺学院, 南京 210095)

**摘要**【目的】定量分析夏季高温条件下城市绿地内空气PM10(可吸入颗粒物)浓度及其变化规律,为城市绿地建设和指导居民合理安排休闲活动时间提供参考依据。【方法】在2014年夏季,连续7 d监测6种类型城市绿地和对照内空气PM10浓度及温度、湿度、风速、光照强度,并进行方差分析、多重比较和相关性分析,对比6种类型城市绿地内PM10浓度变化规律及其与主要环境因子的相关性。【结果】6种类型城市绿地及对照内PM10浓度均值为:对照(86.79 μg/m<sup>3</sup>)>草坪(82.58 μg/m<sup>3</sup>)>灌木(82.05 μg/m<sup>3</sup>)>大落叶乔木(81.39 μg/m<sup>3</sup>)>针叶乔木(80.87 μg/m<sup>3</sup>)>小落叶乔木(80.1 μg/m<sup>3</sup>)>乔灌木(79.09 μg/m<sup>3</sup>);除乔灌木类型绿地外,其他类型绿地及对照内PM10浓度日变化规律基本一致,在9:00左右和13:00左右分别出现两个峰值;温度和湿度均对PM10浓度产生显著影响(P<0.05)。【结论】无绿化和绿化层次简单的绿地内PM10浓度显著高于其他类型城市绿地,人为活动对PM10浓度变化影响明显,利用植物进行合理密植和多层次搭配可有效降低绿地内PM10浓度。

**关键词:** 城市绿地; PM10 浓度; 环境因子; 夏季

中图分类号: S718

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2015)08-1469-05

## Air PM10 concentration of urban green space and its relationship with environmental factors

LIU Yu<sup>1</sup>, WANG Xiao-li<sup>1,2</sup>, HAN Hao-zhang<sup>1,3</sup>, JIANG Ya-hua<sup>1</sup>,  
LI Su-hua<sup>1</sup>, ZHANG Nan<sup>1</sup>, CHEN Chi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Second Department, Suqian College, Suqian, Jiangsu 223800, China; <sup>2</sup>College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210095, China; <sup>3</sup>College of Horticulture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:**【Objective】The PM10(inhalable particles) concentration of city green space under the condition of high summer temperature was analysed quantitatively, in order to provide reference for constructing urban green space and guiding resident to reasonably arrange leisure activities.【Method】In the summer of 2014, the air PM10 concentration, temperature, humidity, wind speed and light intensity of 6 types of urban green spaces were monitored successively for 7 days. Then, based on the monitoring-data, the variance analysis, multiple comparisons and correlation analysis were conducted to investigate change rule of PM10 concentration and correlation between it and main environmental factors in 6 types of urban green spaces.【Result】The results showed that according to PM10 concentration, 6 types of urban green spaces and control were from high to low in order as follows: control (86.79 μg/m<sup>3</sup>)>grass (82.58 μg/m<sup>3</sup>)>shrub-grass (82.05 μg/m<sup>3</sup>)>large deciduous arbor-grass (81.39 μg/m<sup>3</sup>)>coniferous arbor-grass (80.87 μg/m<sup>3</sup>)>small deciduous arbor-grass (80.10 μg/m<sup>3</sup>)>arbor-shrub-grass (79.09 μg/m<sup>3</sup>). Except arbor-shrub-grass type of urban green space, the diurnal variations of PM10 concentration in other types of urban green space were basically in line with that in the control, the PM10 concentration reached respectively two peaks at about 9:00 and 13:00. Moreover, the temperature and humidity had significant influences on PM10 concentration(P<0.05).【Conclusion】The green space with simple greening and green space without greening have significantly higher PM10 concentration than others types of urban green spaces. Furthermore, the human activities have significantly influences on change of PM10 concentration, and the reasonable close-planting and multi-level plant collocation can effectively reduce PM10 concentration in green space.

**Key words:** urban green space; PM10 concentration; environmental factor; summer

## 0 引言

【研究意义】可吸入颗粒物(PM10)在空气中能长期悬浮进入人的上呼吸道,诱发心肺和呼吸道疾

病等(Zanobetti et al., 2000; 刘泽常等, 2004; 董雪玲, 2004), 现已成为影响城市人居环境和居民身体健康的主要污染物之一。城市绿地具有改善环境、景观游

收稿日期: 2015-03-31

基金项目: 国家星火计划项目(2013GA690424); 宿迁市科技局项目(z201204)

作者简介: 刘宇(1981-), 主要从事城市园林生态研究工作, E-mail: 718111060@qq.com

憩、文化教育等多种功能(彭镇华和王成,2003,康博文等,2005),特别在夏季酷暑条件下,对减少PM10有不可替代的作用(吴志萍等,2008)。2014年,海南、云南、广东、贵州、黑龙江和广西等6个省(区)控制PM10浓度达标,而陕西、内蒙古、辽宁、湖北、甘肃、北京、宁夏、新疆、河南和吉林等省区的PM10浓度与2013年比不降反升,江苏的单位面积煤炭消耗量列全国第3,PM10的危害形势非常严峻(可持续能源记者论坛,2015)。因此,探讨不同类型城市绿地PM10浓度的变化规律,对城市绿地建设具有重要意义。

【前人研究进展】魏复盛等(2001)分析广州、武汉、兰州和重庆4大城市的PM10污染来源,指出燃煤、燃油和其他工业生产排放的元素As、Pb、Se、Zn、Cu、Cl、Br及S在空气中有明显富集。于建华等(2004)监测了2003年1~4月北京市区的PM10浓度,发现其日变化呈双峰特征分布。杨旭(2006)探讨昆明市PM10的分布区域及其来源,提出了从绿地规划布局角度进行植物合理搭配种植以减少PM10污染的建议。任启文等(2006)开展北京大都遗址公园内不同绿地的空气颗粒物和微生物浓度关系研究,发现绿地具有显

著的滞尘作用,公园内不同绿地中PM10浓度均超过国家环境质量标准中的Ⅱ级标准。校建民等(2009)分析清华大学内不同绿地空气PM10浓度变化规律,认为PM10浓度与绿地类型关系复杂,除受绿地结构影响外,不同时间、不同季节对PM10浓度变化也有影响。赵越和金荷仙(2012)测定杭州西湖景区滨水绿地植物群落的PM10浓度,发现不同结构植物群落PM10浓度排序为:对照>草坪>灌草>乔草>乔灌草。【本研究切入点】目前,国内对在夏季高温条件下不同结构绿地内PM10浓度与环境因子关系的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】定量分析夏季温度、相对湿度、光照、风速等主要环境因子与不同类型绿地内PM10浓度的关系,旨在为科学规划城市绿地和指导市民合理开展休闲活动提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验点设在江苏省宿迁学院内,其绿地结构分乔灌草、大落叶乔草、小落叶乔草、针叶乔草、灌草和草坪6种类型,以无绿化覆盖地为对照(CK),各样地详情见表1。

表 1 6种类型城市绿地及对照监测点概况

Tab.1 Basic situation for 6 types of urban green spaces and control monitoring point

绿地结构	面积 (ha)	地点	主要植物种类
Greenbelt structure	Area	Location	Main plant species
乔灌草 Arbor-shrub-grass	0.87	老东门北侧	乔木:金丝垂柳、龙柏、合欢、白玉兰、桃树、黄山栎树;灌木:紫薇、金钟花、海桐、紫叶小檗;草坪:高羊茅。草坪覆盖度为85%,郁闭度为0.9
大落叶乔草 Large deciduous arbor-grass	0.11	艺术楼东侧	乔木:垂柳;草坪:高羊茅、狗牙根。草坪覆盖度为85%,郁闭度为0.6
小落叶乔草 Small deciduous arbor-grass	0.25	紫藤廊架南侧	乔木:日本晚樱、紫叶李;草坪:高羊茅、狗牙根。草坪覆盖度为60%,郁闭度为0.9
针叶乔草 Coniferous arbor-grass	0.15	游园西侧	乔木:雪松;草坪:狗牙根。草坪覆盖度为65%,郁闭度为0.7
灌草 Shrub-grass	0.18	1#教学楼边	灌木:紫叶小檗、红花继木、火棘;草坪:高羊茅。草坪覆盖度为90%
草坪 Grass	0.91	游园南侧	草坪:高羊茅。草坪覆盖度为95%
对照 CK) Comparison	0.70	七餐广场	无绿化覆盖物

### 1.2 试验方法

2014年7月3~9日宿迁主城区均为晴天,连续7 d在7:00~21:00的日常游憩时间内,每隔2 h对上述6种类型城市绿地和对照点中心位置的空气PM10浓度、温度、相对湿度、风速和光照强度进行同步监测,6个样地和对照每个时间点按不同方向重复测量3次,取平均值为实际测量值。使用OSEN-1A型PM10粉尘检测仪监测PM10浓度,采用DJL-18温湿光三参数记录仪测定温度、相对湿度和光照强度,采用DEM6型三杯风向风速表测定风速。采样高度为人的平均呼吸高度1.5 m处。

### 1.3 统计分析

采用SPSS 14.0进行单因素方差分析和相关性分

析,并用最小显著差数法(LSD)检测数据间的差异性,采用Excel 2003制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 6种类型城市绿地PM10浓度的日变化规律

除乔灌草绿地类型外,其他类型城市绿地及对照点内空气PM10浓度日变化规律基本一致(图1),即白天的PM10浓度高于晚上,白天在9:00左右和13:00左右分别出现两个峰值,13:00以后逐渐下降,到晚上趋于平稳;而乔灌草绿地类型的PM10浓度日变化幅度较小,在13:00左右出现第一个峰值,且一直维持到15:00左右才逐步下降,说明绿地单位面积绿量较足、郁闭度大、林木为复层结构的乔灌草绿地对PM10的阻滞能力较强,PM10不易扩散。

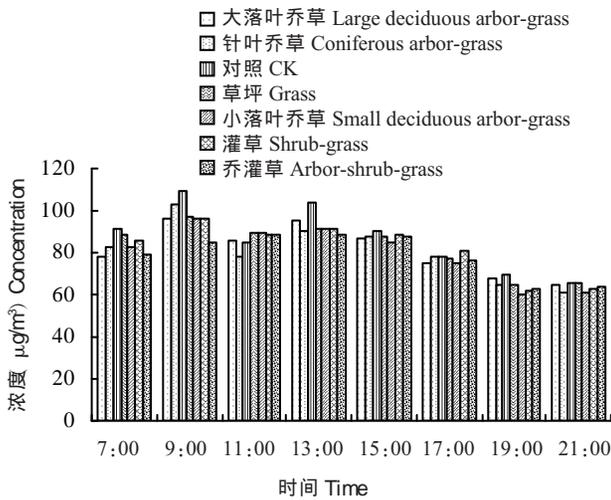


图 1 6种类型城市绿地空气PM10浓度日变化特征  
Fig.1 Diurnal variation characteristics of air PM10 concentration in 6 types of urban green spaces

2.2 6种类型城市绿地的PM10浓度分析

由表2可知,各绿地类型及对照的PM10浓度表现为:对照>草坪>灌草>大落叶乔木>针叶乔木>小落叶乔木>乔灌木,其中对照的PM10浓度均值比草坪的均值高约4.21 μg/m<sup>3</sup>,比乔灌木的均值约高7.7 μg/m<sup>3</sup>。方差分析结果表明,无绿化的对照点和绿化层次简单的草坪内的PM10浓度显著高于其他类型城市绿地 (P<0.05,下同),郁闭度高的小落叶乔木和乔灌木绿地的

PM10浓度显著低于其他类型绿地,针叶乔木的PM10浓度显著低于大阔叶乔木。说明不同类型绿地均能有效降低空气中PM10浓度,以乔灌木和小落叶乔木绿地类型降低PM10浓度的效果最佳。受采样高度(1.5 m)的影响,草坪和灌草的PM10浓度均值相差微小(小于0.60 μg/m<sup>3</sup>)。

表 2 不同类型绿地PM10浓度的方差分析与多重比较  
Tab.2 Variance analysis and multiple comparisons on PM10 concentrations in 6 types of urban green spaces

绿地结构 Greenbelt structure	PM10浓度 μg/m <sup>3</sup> PM10 concentration	
	均值 Mean	标准差 Standard deviation
对照 CK) Control	86.79a	15.26
草坪 Grass	82.58a	12.09
灌草 Shrub-grass	82.05b	13.11
大落叶乔木 Large deciduous arbor -grass	81.39c	11.82
针叶乔木 Coniferous arbor -grass	80.87d	13.73
小落叶乔木 Small deciduous arbor-grass	80.10e	13.66
乔灌木 Arbor-shrub-grass	79.09e	10.52

同列数据后不同小写字母表示在0.05水平下差异显著  
Different lowercase letters in the same column represented significant difference at 5% level

2.3 6种类型城市绿地的PM10浓度与环境因子的关系

2.3.1 温度 将温度以2℃为区间划分为5个区间,将不同区间的PM10浓度进行对比得到PM10浓度与温度变化关系曲线(图2-a)。相关分析结果(表3)表明,

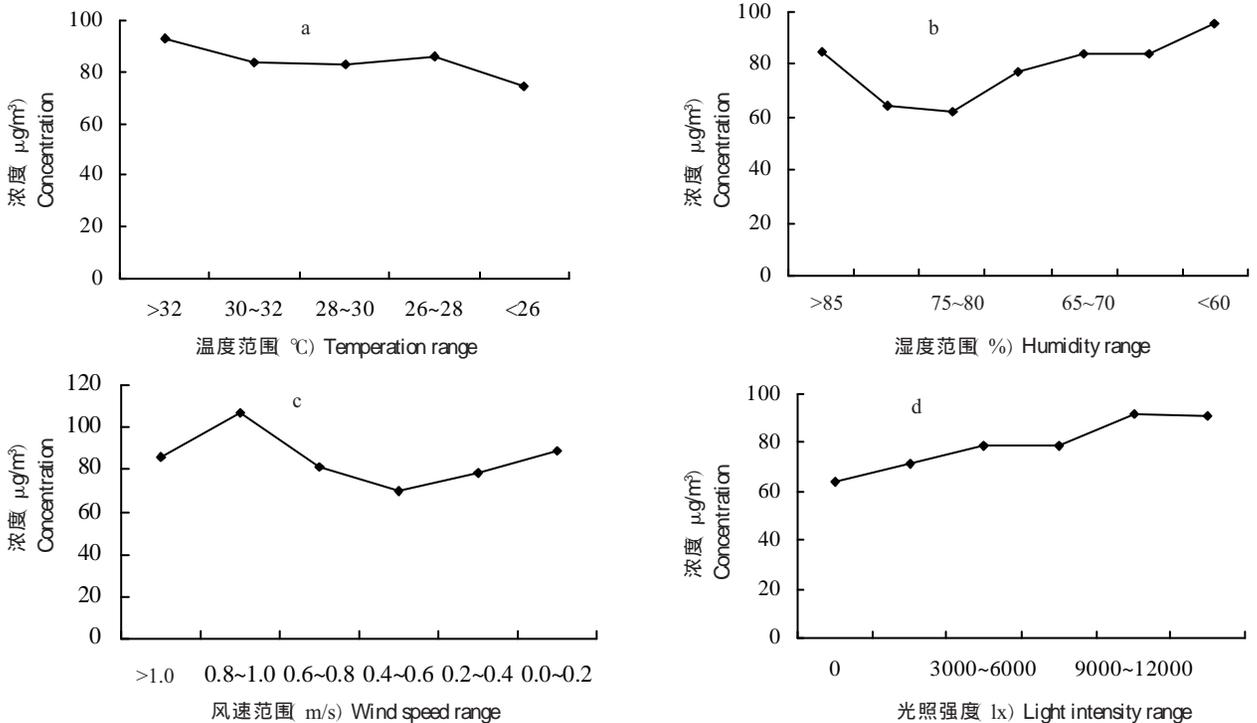


图 2 不同区段环境因子的PM10浓度变化

Fig.2 PM10 concentration changes of environment factors in different sections

a: 温度范围 (°C) Temperature range; b: 湿度范围 (%) Humidity range; c: 风速范围 (m/s) Wind speed range; d: 光照强度范围 (lx) Light intensity range

PM10浓度与6种类型城市绿地及对照均呈显著正相关,且温度为26~30℃时PM10浓度平稳维持在83.00 μg/m<sup>3</sup>左右,温度大于32℃则PM10浓度上升趋势明显,温度小于26℃则PM10浓度下降趋势明显。

2.3.2 相对湿度 由表3和图2-b可以看出,6种类型城市绿地及对照内的PM10浓度与其相对湿度间均呈显著负相关,但在不同湿度变化区间里,PM10浓度变化出现起伏,最大值出现在相对湿度<60%区间,为92.23 μg/m<sup>3</sup>,最小值出现在相对湿度75%~80%区间,为62.3 μg/m<sup>3</sup>,在相对湿度>85%高湿度区间,PM10浓度达85.12 μg/m<sup>3</sup>的次高点。

2.3.3 风速 风速除与草坪的PM10浓度显著正相

关外,与其他类型城市绿地及对照PM10浓度相关不显著(表3);不同风速区间的PM10浓度变幅较大,最小的PM10浓度出现在0.4~0.6 m/s区间,仅69.83 μg/m<sup>3</sup>,PM10浓度峰值出现在0.8~1.0 m/s区间,为107.17 μg/m<sup>3</sup>,>1.0 m/s区间的PM10浓度降至86.00 μg/m<sup>3</sup>(图2-c)。

2.3.4 光照 除乔灌草和针叶乔草绿地类型外,光照强度与其他4种类型绿地及对照的PM10浓度均呈显著正相关(表3);从图2-d可以看出,随着光照强度的增加,空气PM10浓度稳步上升,在9000~12000 lx区间达峰值(91.91 μg/m<sup>3</sup>),而后开始略有下降,在>12000 lx区间降至91.13 μg/m<sup>3</sup>。

表3 PM10浓度与主要环境因子的相关系数

Tab.3 Correlation coefficient between PM10 concentration and main environmental factor

绿地类型 Greenbelt type	温度(℃) Temperature	相对湿度(%) Relative humidity	风速(m/s) Wind velocity	光照强度(lx) Light intensity
大落叶乔草 Large deciduous tree grass	0.630*	-0.633*	0.400	0.519*
针叶乔草 Coniferous tree grass	0.680*	-0.637*	-0.230	0.472
对照(CK) Control	0.663*	-0.635*	0.138	0.594*
草坪 Grass	0.738*	-0.632*	0.556*	0.447*
小落叶乔草 Small deciduous arbor grass	0.568*	-0.773*	0.619	0.420*
灌草 Shrub-grass	0.583*	-0.718*	0.379	0.580*
乔灌草 Arbor-shrub-grass	0.451*	-0.775*	0.313	0.473

\*表示显著相关 P<0.05)

\* represented significant correlation( P<0.05)

### 3 讨论

本研究6种类型城市绿地及对照内PM10浓度均值为:对照>草坪>灌草>大落叶乔草>针叶乔草>小落叶乔草>乔灌草,对照和草坪的PM10浓度显著高于其他类型绿地,与校建民等(2009)的研究结果基本一致,即复层结构绿地内PM10浓度低于单一结构或无植物覆盖的场地。

除乔灌草绿地外,其他类型城市绿地及对照内空气PM10浓度日变化规律基本一致,在9:00左右和13:00左右分别出现两个峰值,此时正值宿迁学院学生准备上课和刚下课后人员流动多的时间段,因此PM10浓度高,与郭二果等(2009)、王成等(2014)研究认为城区绿地PM10浓度与人流、车流关系显著,人为活动可促使PM10二次生成的结论一致。

本研究中6种类型绿地的温度和相对湿度均对PM10浓度产生显著影响,光照强度与除乔灌草和针叶乔草外的其他类型城市绿地的PM10浓度呈显著正相关,与吴志萍等(2008)、徐蕾(2012)、古琳等(2013)的研究结果不完全相同。这可能与本研究区所处环境不同有关,即本研究区域为学校,PM10部分来源为扬尘和机动车尾气,而以上三者研究区域有厂区、生活区及公路等,其PM10来源有煤烟尘、扬尘、工业粉尘、

机动车尾气等。另外,本研究中的最大风速为1.4 m/s,属微风条件,故风速对除草坪外的其他5种类型城市绿地及对照的PM10浓度影响不明显。

### 4 结论

本研究结果表明,无绿化和绿化层次简单的绿地内PM10浓度显著高于其他类型城市绿地,人为活动对PM10浓度变化影响明显,利用植物进行合理密植及多层次搭配能有效降低绿地内PM10浓度。

参考文献:

董雪玲. 2004. 大气可吸入颗粒物对环境 and 人体健康的危害 [J]. 资源产业, (6): 50-53.

Dong X L. 2004. Inhalable particulate matter on the environment and human health hazards [J]. Resource Industry, 6 (5): 50-53.

古琳, 王成, 王艳英. 2013. 夏季持续高温天气下无锡惠山游憩林内空气颗粒物变化特征 [J]. 林业科学, 49(10): 65-73.

Gu L, Wang C, Wang Y Y. 2013. Variation in particle matters of recreational forests by the continued high temperature weather in Hui Mountain of Wuxi city [J]. Forestry Science, 49(10): 65-73.

郭二果, 王成, 鄯光发, 房城, 孙志伟, 周志海. 2009. 北京西山典型游憩林空气颗粒物不同季节的日变化 [J]. 生态学

- 报,29(6):3253-3263.
- Guo E G, Wang C, Qie G F, Fang C, Sun Z W, Zhou Z H. 2009. Diurnal variations of airborne particulate matters in different seasons in typical recreation forests in West Mountain of Beijing[J]. *Journal of Ecology*, 29(6):3253-3263.
- 康博文, 侯琳, 王得祥, 李俊玲, 殷振江. 2005. 延安市城市森林树种草种调查及其评价[J]. *水土保持研究*, 12(4):229-231.
- Kang B W, Hou L, Wang D X, Li J L, Yin Z J. 2005. Investigation and evaluation of forest trees and grass in Yan'an city[J]. *Soil and Water Conservation*, 12(4):229-231.
- 可持续能源记者论坛. 2015. 2014 全国空气质量改善报告 30 省市首份成绩单[A/OL]. 2015-08-05. <http://mt.sohu.com/20150805/n418225979.shtml>
- Reporter Forum of Sustainable Energy. 2015. Report on nationwide improvement of air quality in 2014: the first transcript of 30 provinces(cities)[A/OL]. 2015-08-05. <http://mt.sohu.com/20150805/n418225979.shtml>
- 刘泽常, 王志强, 李敏, 张桂芹. 2004. 大气可吸入颗粒物研究进展[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 23(4):97-100.
- Liu Z C, W Z Q, Li M, Zhang G Q. 2004. Research progress of atmospheric inhalable particles[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 23(4):97-100.
- 彭镇华, 王成. 2003. 论城市森林的评价指标[J]. *中国城市林业*(3):4-9.
- Peng Z H, Wang C. 2003. On the evaluation of urban forest[J]. *Chinese City Forestry*(3):4-9.
- 任启文, 王成, 鄒光发, 杨颖. 2006. 城市绿地空气颗粒物及其与空气微生物的关系[J]. *城市环境与城市生态*, 19(5):22-25.
- Ren Q W, Wang C, Qie G F, Yang Y. 2006. The relationship between air particulate matter of urban green space and air microbes[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 19(5):22-25.
- 王成, 郭二果, 鄒光发. 2014. 北京西山典型城市森林内 PM2.5 动态变化规律[J]. *生态学报*, 34(19):5650-5658.
- Wang C, Guo E G, Qie G F. 2014. Variations of PM2.5 in typical recreation forests in the West Mountain of Beijing[J]. *Journal of Ecology*, 34(19):5650-5658.
- 吴志萍, 王成, 侯晓静, 杨伟伟. 2008. 6 种城市绿地空气 PM2.5 浓度变化规律的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 35(4):494-498.
- Wu Z P, Wang C, Hou X J, Yang W W. 2008. Variation of air PM2.5 concentration in six urban greenland[J]. *Anhui Agriculture University*, 35(4):494-498.
- 魏复盛, 滕恩江, 吴国平, Wilson W E, Chapman R S, Pau J C, Zhang J. 2001. 我国 4 个大城市空气 PM2.5、PM10 污染及其化学组成[J]. *中国环境监测*, 17(7):1-6.
- Wei F S, Teng E J, Wu G P, Wilson W E, Chapman R S, Pau J C, Zhang J. 2001. Air PM2.5, PM10 pollution and chemical composition in our four major cities[J]. *China Environmental Monitoring*, 17(7):1-6.
- 校建民, 王成, 吴志萍, 杨伟伟, 侯晓静. 2009. 清华大学校园内不同绿地类型空气 PM10 浓度变化规律[J]. *林业科学*, 43(5):153-156.
- Xiao J M, Wang C, Wu Z P, Yang W W, Hou X J. 2009. Variation of different types of air PM10 concentration green campus of Tsinghua University[J]. *Forestry Science*, 43(5):153-156.
- 徐蕾. 2012. 徐州市 PM10 污染原因与控制对策[J]. *中国环保产业*(12):38-42.
- Xu L. 2012. PM10 pollution reason and control countermeasures in Xuzhou[J]. *China Environmental Protection Industry*, (12):38-42.
- 杨旭. 2006. 针对昆明市 PM2.5 与 PM10 的绿地规划研究[J]. *林业调查规划*, 39(2):158-160.
- Yang X. 2006. The research on forestry investigation about PM2.5 and PM10 in Kunming city[J]. *Forest Inventory and Planning*, 39(2):158-160.
- 于建华, 虞统, 魏强, 王欣, 时建纲, 李海军. 2004. 北京地区 PM10 和 PM2.5 质量浓度的变化特征[J]. *环境科学研究*, 17(1):45-47.
- Yu J H, Yu T, Wei Q, Wang X, Shi J G, Li H J. 2004. Variation of PM10 and PM2.5 mass concentration in Beijing[J]. *Environmental Science Research*, 17(1):45-47.
- 赵越, 金荷仙. 2012. 西湖景区滨水绿地植物群落可吸入颗粒物 PM10 浓度变化规律[J]. *中国园林*(4):153-156.
- Zhao Y, Jin H X. 2012. The variation of respirable particulate matter PM10 concentration in waterfront green communities of West Lake scenic[J]. *Chinese Garden*(4):153-156.
- Beckett K P, Freer-smith P H, Taylor G. 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution[J]. *Environmental Pollution*, 99(3):347-360.
- Zanobetti A, Schwartz, Gold D. 2000. Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles[J]. *Environmental Health Perspectives*, 108(9):841-845.

(责任编辑 思利华)