

信阳市不同生态功能区 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染特征

冯万富^{1,2}, 周继良³, 张建设^{1,2}, 单燕祥^{1,2}, 李月凤^{1,2}, 张玉虎^{1,2}

(1. 河南省信阳市林业科学研究所, 河南 信阳 464031; 2. 河南鸡公山森林生态系统国家定位观测研究站, 河南 信阳 464031;
3. 信阳市环境监测站, 河南 信阳 464000)

摘要:目前大气颗粒物污染已成为严重的城市环境问题。利用 2015 年 4 个位于信阳市不同生态功能区的环境空气质量监测站数据, 比较分析 4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染日变化、季节变化和年际变化特征及其影响因素。结果表明, 1) 4 个站点 2015 年 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度平均值均表现为南湾水厂<平桥分局<审计局<酿酒公司。2) 森林植被对大气颗粒物浓度有明显的削减功能。在不同季节和一天中的不同时段, 森林植被盖度高的南湾水厂监测站 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度平均值均明显低于其他 3 个站点。3) 4 个站点的颗粒物污染均表现为夏季最轻, 秋季其次, 冬季污染最严重。4) 4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度日变化特征基本一致, 日峰值和最低值出现的时间基本同步。夜间颗粒物污染比白天严重。5) 2014—2016 年, 4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度均呈现逐年下降趋势。6) 影响颗粒物污染的最主要气象因子是气温和气压。PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度与日均气温、日均风速和日最大风速均呈极显著负相关 ($P<0.01$), 与日均气压均呈极显著正相关 ($P<0.01$); PM_{2.5} 日均浓度与日均相对湿度呈显著正相关 ($P<0.05$)。这些结果显示了信阳市大气颗粒物污染特征, 可为当地大气污染防治工作提供参考。

关键词:生态功能区; 森林植被; 气象因子; PM₁₀; PM_{2.5}; 信阳

中图分类号:S731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)02-0269-07

PM₁₀ and PM_{2.5} Pollution Characteristics in Different Ecological Function Zones in Xinyang

FENG Wan-fu^{1,2}, ZHOU Ji-liang³, ZHANG Jian-she^{1,2}, SHAN Yan-xiang^{1,2}, LI Yue-feng^{1,2}, ZHANG Yu-hu^{1,2}

(1. The Forest Science Research Institute of Xinyang, Xinyang, Henan 464031, China;
2. Henan Jigongshan Forest Ecosystem Research Station, Xinyang, Henan 464031, China;
3. The Environmental Monitoring Station of Xinyang, Xinyang, Henan 464000, China)

Abstract: Currently, atmospheric particulate pollution has become a serious urban environmental problem. Based on the Data collected from four air quality monitoring stations in different ecological function zones of Xinyang city in 2015, diurnal and seasonal changes, inter-annual change features and their influencing factors of PM₁₀ and PM_{2.5} were analyzed. The results showed that 1) the average values of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration in four stations in 2015 were in the order of Nanwan Water Plant<Pingqiao Branch<Auditing Bureau<Brewing Company. 2) Forest coverage had an evident reduction function on atmospheric particulates. In different seasons and different stages in one day, the average value of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration in Nanwan water plant, which had a high forest coverage, was evidently lower than those of other 3 stations. 3) The atmospheric particulate pollution degree in summer in four stations was the lightest, followed by autumn, while the pollution degree in winter was the most serious. 4) The diurnal changes of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration in four stations were basically consistent and the diurnal peak value

收稿日期: 2017-05-02 修回日期: 2017-10-11

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(20130430101); 河南省科技攻关计划项目(172102310561); 信阳市科技计划项目(150088)。
作者简介: 冯万富, 男, 高级工程师, 研究方向: 森林生态系统关键过程观测与模拟以及城市森林净化环境空气功能。E-mail: lksfwf@163.com

and the minimum value were basically synchronous. The particulate pollution degree at night was more serious than that in the daytime. 5) From 2014 to 2016, the concentration of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in four stations showed a decreasing trend year by year. 6) The main meteorological factors that affected particulate pollution were temperature and atmospheric pressure. PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were significantly and negatively related to daily mean temperature, daily mean wind speed and daily maximum wind speed ($P < 0.01$), and they were significantly and positively related to daily mean atmospheric pressure ($P < 0.01$); $PM_{2.5}$ concentration was significantly and positively related to daily mean relative humidity ($P < 0.05$). These results showed atmospheric particulate pollution feature in Xinyang City and could provide a reference for local atmospheric pollution prevention and control work.

Key words: ecological function zone; forest cover; meteorological factor; PM_{10} ; $PM_{2.5}$; Xinyang

随着工业化和城市化的迅猛发展,大气颗粒物污染已成为严重的城市环境问题^[1]。大气颗粒物,即大气气溶胶体系中分散的各种粒子,根据空气动力学等效直径大小,可被分为总悬浮颗粒物(TSP)、可吸入颗粒物(PM_{10})和细颗粒物(细粒子、 $PM_{2.5}$)^[2]。可吸入颗粒物(PM_{10})已被证实是危害人类健康的最主要物质;细颗粒物($PM_{2.5}$)能够进入人体肺部导致肺泡发炎而具有更大的危害性^[3]。目前,城市大气颗粒物污染研究主要集中在颗粒物源解析、成分及其浓度变化规律、颗粒物对人类健康危害以及颗粒物污染治理等方面^[4-7]。森林植被对大气颗粒物有显著的削减作用^[3,8]。森林可通过覆盖地表减少 $PM_{2.5}$ 来源,叶面、枝条表面、茎干吸附或者气孔、皮孔吸收直接捕获 $PM_{2.5}$,降低风速促进 $PM_{2.5}$ 沉降,改变风向阻拦 $PM_{2.5}$ 进入局部区域等途径去除 $PM_{2.5}$,从而发挥净化大气的功能^[9]。利用森林复杂冠层结构对颗粒物的吸收阻滞作用成为治理 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 污染的一项重要措施^[10-11]。但对处于同一座城市中,下垫面森林植被盖度和干扰强度存在明显差异的不同生态功能区内大气颗粒物污染特征的研究鲜有报道。

基于 2015 年在信阳市不同生态功能区布设的 4 个环境空气质量监测站点(国控)的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 监测数据,结合同步气象监测资料,研究比较了森林植被盖度和干扰强度存在明显差异的 4 个站点 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化、季节变化和年际变化特征,分析温度、湿度、气压和风速等气象因子对颗粒物污染的影响,旨在探究城市森林植被对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的吸附调控机理,阐释森林净化大气环境功能,为城市大气污染防治、城区规划、城市森林植被生态效益评估等提供参考。

1 研究区概况

信阳市位于河南省南部、鄂豫皖三省交界处,地理坐标 $113^{\circ}45'-115^{\circ}55'E, 30^{\circ}23'-32^{\circ}27'N$ 。全市

总面积 $1.89 \times 10^4 \text{ km}^2$,总人口 870 万。信阳地跨淮河,处在中国亚热带和暖温带的地理分界线(秦岭—淮河)上,属亚热带向暖温带过渡区,气候温暖湿润且季节气候明显,又兼有山地气候特点。光照充足,雨量丰沛,年均温 $15.1 \sim 15.3^{\circ}C$,年均日照 $1\,900 \sim 2\,100 \text{ h}$,年降水量 $900 \sim 1\,400 \text{ mm}$,年均空气相对湿度 77% ,无霜期 $220 \sim 230 \text{ d}$ 。

南湾水厂监测站位于信阳市南湾风景区内,周围森林植被茂密,盖度较高,乔木树种主要有雪松(*Cedrus deodara*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)等,林下灌木主要有棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)等,树种丰富、数量多,干扰强度中等,污染源相对较少;其他 3 个站点下垫面主要树种有水杉、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)等,森林植被盖度相对较低,树种比较单一、数量少,人为干扰强度较高(表 1),其中平桥分局监测站大气污染物主要来自工业排放和居民生活,酿酒公司监测站污染源主要是交通,而审计局监测站污染源则主要是居民生活。

表 1 监测站点概况

Table 1 General situation of four monitoring stations

监测站	主要植被	植被盖度	干扰强度	生态功能区
平桥分局	广玉兰、水杉	0.35	较高	工业居民区
酿酒公司	雪松	0.2	较高	商贸区
审计局	水杉	0.2	较高	居民区
南湾水厂	雪松、水杉	0.75	中等	风景区

2 研究方法

2.1 监测站点位置

选取的 4 个环境空气质量监测站点位于信阳主城区不同生态功能区,其中平桥分局位于信阳市传统工业区,酿酒公司位于商业中心区,审计局位于居民生活区,而南湾水厂位于休闲游憩区(图 1)。

2.2 数据来源与处理

4 个环境空气质量监测站监测的污染物包括 6

种标准污染物(SO₂、NO₂、PM₁₀、CO、O₃和PM_{2.5}),在线连续不间断自动监测并同步采集数据,时间间隔为1h。4个监测站PM₁₀和PM_{2.5}的浓度监测仪器为安徽蓝盾光电子股份有限公司生产的TEOM大气颗粒物分析仪。采用微量振荡天平法验证PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度监测数据的有效性,数据统计的有效性符合国家相关标准^[12-13]的要求。气温、相对湿度、气压和风速等气象数据均来自各站点同步自动监测数据。

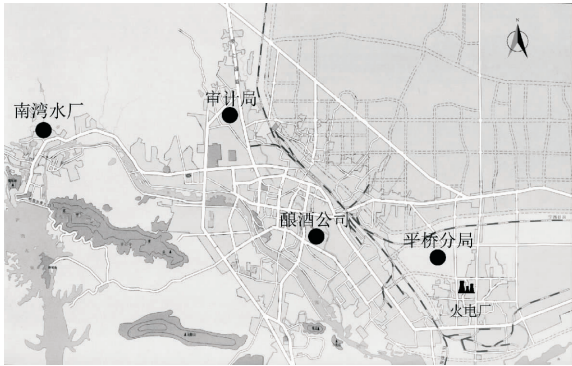


图 1 PM₁₀和PM_{2.5}监测站位置示意图

Fig. 1 Sketch map of PM₁₀ and PM_{2.5} monitoring stations

采用单因素方差分析比较不同参数间的显著性差异。数据统计分析采用SPSS 17.0软件和Microsoft Excel 2003软件完成。

3 结果与分析

3.1 PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度的时空变化特征

3.1.1 4个站点PM₁₀和PM_{2.5}浓度日变化 应用2015年全年监测数据分析了南湾水厂、酿酒公司、平桥分局和审计局4个站点的PM₁₀和PM_{2.5}污染日变化特征,有效样本数除了南湾水厂为361d(数据缺失4d)外,其他3个站点均为365d。

4个站点的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度在日变化趋势基本一致,日峰值和日最低值出现的时间基本同步(图2、图3),除南湾水厂呈现一峰一谷外,另3个站点均呈现双峰一谷现象。

4个站点的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度峰值集中出现在20:00—23:00,其中平桥分局PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度峰值均出现在20:00—21:00,分别为146.76 μg·m⁻³和83.65 μg·m⁻³;酿酒公司峰值均出现在21:00—22:00,分别为139.48和87.81 μg·m⁻³;南湾水厂峰值分别出现在21:00—22:00和22:00—23:00,为105.16和69.66 μg·m⁻³;审计局峰值分别出现在22:00—23:00和21:00—22:00,为139.98和82.46 μg·m⁻³。酿酒公司、平桥分局和审计局3个站点的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓

度次高峰值出现在9:00—11:00。南湾水厂监测站次高峰值不明显,0:00—10:00变化平缓,这或许是因为其下垫面周边森林植被茂密,植被盖度较高,乔灌木立体绿化搭配合理,植物叶片吸收、阻滞大量颗粒物所致^[14]。

4个站点PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度最低值集中出现在14:00—16:00,其中南湾水厂(83.92 μg·m⁻³和52.35 μg·m⁻³)、平桥分局(94.31 μg·m⁻³和58 μg·m⁻³)和审计局(93.29 μg·m⁻³和56.66 μg·m⁻³)3个站点均出现在15:00—16:00;而酿酒公司PM₁₀最低值(95.98 μg·m⁻³)出现在14:00—15:00,PM_{2.5}最低值(60.86 μg·m⁻³)也出现在15:00—16:00。

与其他3个站点相比,在一天中的不同时段,南湾水厂监测站PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度均明显偏低,其中PM₁₀浓度值仅相当于其他3个站点同时段的71.2%~93.0%,PM_{2.5}仅相当于其他3个站点同时段的77.21%~95.82%。南湾水厂监测站PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度之所以明显低于其他3个站点,主要是因为其周边森林植被种类丰富、盖度高,林木数量多,植被乔灌木搭配合理,立体绿化效果良好,植被叶片吸收、阻滞大量颗粒物所致;其次是因为其处于信阳市的休闲游憩区,周边污染源相对较少,人为干扰强度较低,污染源主要是游客休闲游憩带来的汽车尾气污染;同时信阳颗粒物污染较重的冬、春季节盛行西北风,该站点处于信阳的上风方向。其他3个站点同时段的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度值比较接近,并出现交叉现象,这是因为造成颗粒物污染的成因复杂,颗粒物浓度受污染源、气象条件和下垫面森林植被盖度等多因素的综合影响。平桥分局监测站虽然处于信阳市的传统工业区,但其一天中部分时段PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度值甚至低于酿酒公司和审计局监测站,这或许是因为其周边相对较高的森林植被盖度消减了部分颗粒污染物所致。森林植被对消减PM₁₀和PM_{2.5}浓度的贡献率还有待今后进一步深入研究。酿酒公司和审计局监测站同处于信阳市主城区,二者周边森林植被盖度接近,主要污染源比较类似,均是主要由汽车尾气和居民生活引起,PM₁₀和PM_{2.5}浓度也比较接近。

从整体上看,夜间PM₁₀和PM_{2.5}污染比白天严重,这可能是因为白天日照辐射强,温度高,导致大气边界层高,气压低,大气容易处于不稳定状态,湍流交换和垂直扩散能力加强^[15];夜晚风速小、湿度大、逆温频率高等诸多气象条件不利于颗粒物扩散并且容易形成二次颗粒物,致使污染物容易发生累积而达到相当高值^[16-17]。

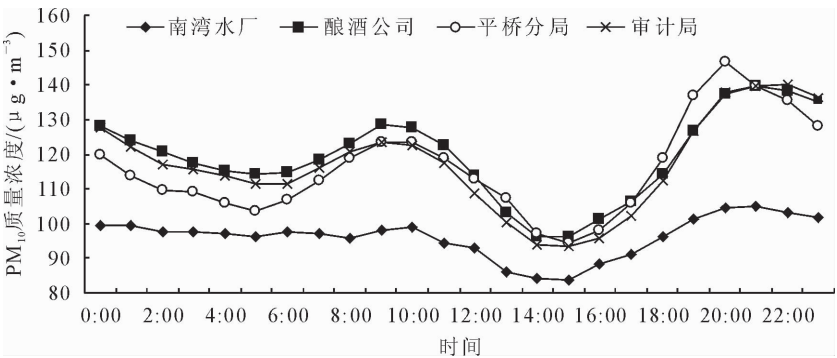


图 2 PM₁₀质量浓度日变化

Fig. 2 Diurnal variation in PM₁₀ concentration

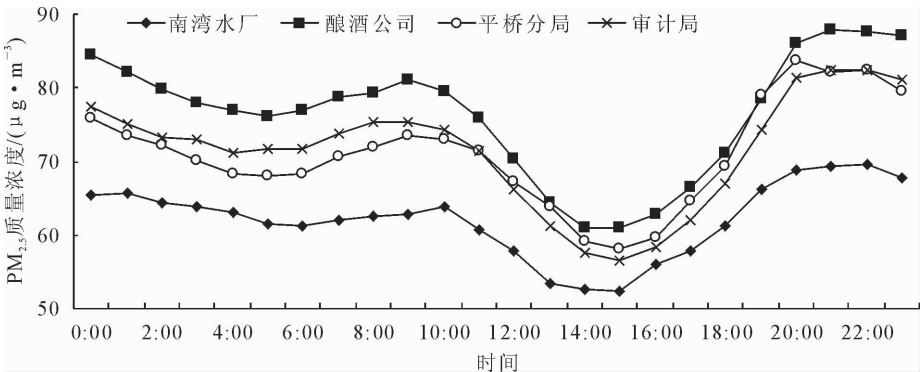


图 3 PM_{2.5}质量浓度日变化

Fig. 3 Diurnal variation in PM_{2.5} concentration

3.1.2 4 个站点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量深度季节变化

在不同季节,南湾水厂监测站 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度同样表现为明显低于其他 3 个站点,其中 PM₁₀ 仅相当于其他 3 个站点的 76.52%~87.71%, PM_{2.5} 仅相当于其他 3 个站点的 63.89%~95.13%;而其他 3 个站点之间比较接近,并存在交叉现象(图 4、图 5)。4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染均表现为夏季最轻,秋季其次,冬季污染最严重,质量浓度大小为夏季<秋季<春季<冬季。这主要是因为信阳夏季降雨集中,降雨频率高、强度大,雨水对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 等大气污染物起到了清洗和冲刷作用,在雨水作用下,空气中的粉尘伴随降雨直接进入土壤中,进而降低了空气中污染气体的浓度^[18-19]。而冬季降水稀少,居民取暖燃煤增加,同时信阳冬季盛行北风,气流运动带来的我国北方污染气团也进一步加重了信阳的颗粒物污染。

不同季节 4 个监测站点 PM_{2.5}/PM₁₀ 值为 0.52~0.72,这说明由 PM₁₀ 造成的空气污染中,PM_{2.5} 占比较高。颗粒物 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 具有高度的线性相关关系^[20],将南湾水厂监测站 2015 年 PM₁₀ 质量浓度日平均值作为自变量 x ,同步观测的 PM_{2.5} 日平均值作为因变量 y ,则二者拟合的关系为方程 $y = 0.7431x - 9.5163 (n = 361, R^2 = 0.8666)$ 。

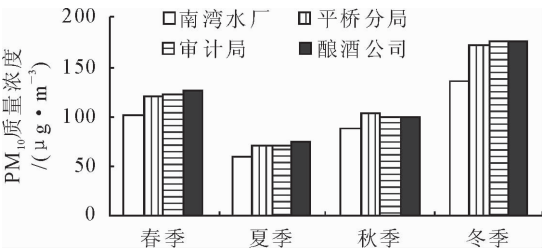


图 4 PM₁₀质量浓度季节变化

Fig. 4 Seasonal variation in PM₁₀ concentration

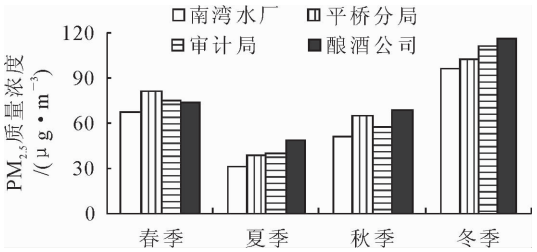


图 5 PM_{2.5}质量浓度季节变化

Fig. 5 Seasonal variation in PM_{2.5} concentration

3.1.3 4 个站点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染年际变化

2014—2016 年,南湾水厂、平桥分局、审计局和酿酒公司 4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度均呈现逐年下降趋势(数据来源于 4 个站点连续自动监测数据,并进行了数据质量的有效性验证,数据统计的有

效性符合要求)。与2014年相比,2015年4个站点的PM₁₀分别下降了3.66%、10.54%、8.59%和0.88%,PM_{2.5}分别下降了5.61%、12.22%、14.8%和6.51%;在2015年的基础上,2016年4个站点的PM₁₀分别下降了20.26%、12.21%、10.08%和17.17%,PM_{2.5}分别下降了16.38%、15.95%、12.47%和23.40%(图6、图7)。从总体上看,对人体危害更大的细粒子下降幅度更明显。虽然信阳市大气颗粒物污染呈逐年减轻趋势,但对照相关标准规范^[13],信阳市大气污染防治攻坚任务依然严峻,2016年4个站点的PM₁₀污染超标天数分别达到33、72、72 d和73 d,PM_{2.5}污染超标天数分别高达73、98、99 d和97 d。

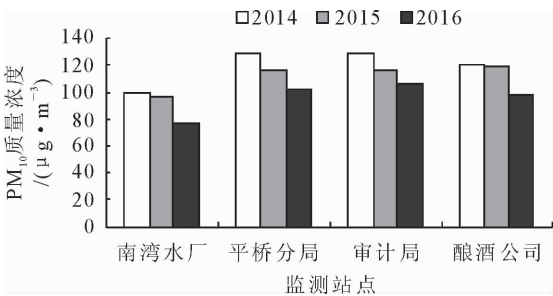


图6 PM₁₀质量浓度年际变化

Fig. 6 Annual variation in PM₁₀ concentration

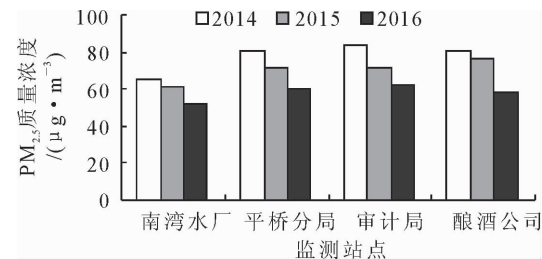


图7 PM_{2.5}质量浓度年际变化

Fig. 7 Annual variation in PM_{2.5} concentration

3.2 PM₁₀和PM_{2.5}浓度与气象因子的关系

大气颗粒物污染通常受污染源、气象条件和下垫面森林植被盖度等因素的共同影响,但由于在一定区域和时间内,污染源和森林植被相对稳定,大气颗粒物的浓度主要取决于各种气象条件下对颗粒物的输送与扩散作用^[21]。气温等气象因子对PM₁₀和PM_{2.5}污染有着重要影响。本文同样使用2015年南湾水厂监测站PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度的监测数据以及气温、相对湿度、气压和风速4个气象数据分析了2种污染物日浓度与4个气象因子之间的关系(表2)。

由表2可知,PM₁₀和PM_{2.5}日均质量浓度值与日平均气温、平均风速和日最大风速均呈极显著负相关关系($P<0.01$),与日平均大气压力均呈极显

著正相关关系($P<0.01$);此外,PM_{2.5}日均质量浓度与日均相对湿度呈显著正相关关系($P<0.05$),而PM₁₀日均质量浓度与日均相对湿度相关性不明显,这与傅伟聪^[22]等的研究结果PM₁₀和PM_{2.5}浓度与最大风速、平均风速、空气温度呈负相关,PM_{2.5}浓度与空气相对湿度、气压呈正相关关系是基本吻合的。通过相关系数 r 的绝对值发现,日平均气温、气压、相对湿度、日均风速和日最大风速各单因素与PM₁₀或PM_{2.5}日均质量浓度相关性均很弱或基本不相关,这也进一步印证了造成颗粒物污染的成因复杂^[21],单一气象因子对颗粒物污染的影响有限。本研究中,影响2015年信阳市4个站点PM₁₀或PM_{2.5}浓度的最主要气象因子是气温,其次是气压。从总体上看,日平均气温、气压、相对湿度、日平均风速和最大风速对PM_{2.5}的影响稍强于PM₁₀,说明细粒子污染更容易受到近地层气象条件的影响而改变。

PM₁₀和PM_{2.5}浓度均与气温呈极显著负相关,随着日均气温升高,颗粒物浓度呈下降趋势。这是因为较高的气温有利于大气垂直对流,有利于污染物向外输送,加快颗粒物扩散,从而降低了颗粒物污染;而冬天温度较低时,大气边界层较低,静风天气较多,且容易形成逆温层,不利于污染物的扩散,加重污染^[23]。

在污染源排放稳定的情况下,PM₁₀和PM_{2.5}浓度均与日平均风速和最大风速呈极显著负相关,风速的大小决定着污染物水平扩散速率^[24],风速越大,越有利于颗粒物的扩散,颗粒物浓度就越低;反之,风速小时,大气对污染物的水平输送能力差,扩散能力也差,容易造成污染物的局部堆积,从而使颗粒物污染加重^[25-26]。

PM₁₀和PM_{2.5}浓度均与日平均气压呈极显著正相关,这是因为气压变大,大气边界层高度相对变低,气流运动较缓慢,不利于颗粒物扩散^[27]。PM_{2.5}浓度与相对湿度呈显著正相关,这可能是因为高湿度有利于细粒子的生成^[28];而PM₁₀浓度与相对湿度无明显相关性。

4 结论与讨论

2015年,位于信阳市不同生态功能区的4个环境空气质量监测站的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度日变化特征基本一致,日峰值和日最低值出现的时间基本同步,除南湾水厂监测站表现为一峰一谷外,平桥分局、审计局和酿酒公司3个站点均呈现双峰一谷现象。4个站点的PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度峰值均集中出现在20:00—23:00,最低值集中出现在14:00—16:00。从整体上看,夜间PM₁₀和PM_{2.5}污

表 2 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度与气象因子的相关性分析

Table 2 Correlation between PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration and meteorological factors

		气温	相对湿度	气压	日平均风速	日最大风速
PM ₁₀	相关系数 <i>r</i>	-0.380 **	0.018	0.328 **	-0.233 **	-0.208 **
	显著性 <i>P</i>	<0.01	0.732	<0.01	<0.01	<0.01
PM _{2.5}	相关系数 <i>r</i>	-0.462 **	0.110 *	0.360 **	-0.208 **	-0.191 **
	显著性 <i>P</i>	<0.01	0.038	<0.01	<0.01	<0.01

注：* * 表示在 0.01 水平上显著相关，* 表示在 0.05 水平上显著相关。

染比白天严重。森林植被具有消减大气颗粒物的作用,究其原因,一是由于植物叶片对颗粒物的吸附;二是因为植物对气流的动力阻塞,当气流受到树木的阻碍时,其运动方向发生改变,速度会减慢,部分大粒径的颗粒物就会由于重力沉降作用而降落,从而发挥降低空气中较大粒径颗粒物的作用^[14]。与其他 3 个站点相比,在一天中的不同时段,森林植被盖度高、污染源少的南湾水厂监测站 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度值均明显偏低,PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度值仅分别相当于其他 3 个站点同时段的 71.2%~93.0% 和 77.21%~95.82%,而其他 3 个站点间同时段的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度值均出现交叉现象。

4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染均表现为夏季最轻,秋季其次,冬季污染最严重,质量浓度大小为夏季<秋季<春季<冬季。在不同季节,森林植被盖度高的南湾水厂监测站 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度值均明显低于其他 3 个站点,而其他 3 个站点之间比较接近,并存在交叉现象。由 PM₁₀ 造成的空气污染中,PM_{2.5} 占比较高。

2014—2016 年,4 个站点的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度均呈现逐年下降趋势。从总体上看,对人体危害更大的细粒子下降幅度更明显。

造成大气颗粒物污染的成因复杂,在污染源和下面层森林植被盖度相对稳定的情况下,气象因子对颗粒物污染有着重要影响。影响 2015 年信阳市颗粒物污染的最主要气象因子是日均气温和气压。PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度日均值与日均气温、日均风速和日最大风速均呈极显著负相关($P<0.01$),与日均气压均呈极显著正相关($P<0.01$);PM_{2.5} 浓度值与日均相对湿度呈显著正相关($P<0.05$)。

参考文献：

[1] 徐祥德,汤绪. 城市化环境气象学引论[M]. 北京:气象出版社, 2002:243-244.

[2] 张楚莹,王书肖,赵瑜,等. 中国人为源颗粒物排放现状与趋势分析[J]. 环境科学,2009,30(7):1181-1187.

ZHANG C Y,WANG S X,ZHAO Y,*et al.* Current status and future prospects of anthropogenic particulate matter emissions in China[J]. Environmental Science,2009,30(7):1181-1187. (in Chinese)

[3] BECKETT K P,FREER-SMITH P H,TAYLOR G. Urban woodlands:their role in reducing the effects of particulate pollution[J]. Environmental Pollution,1999(3):347-360.

[4] 杨复沫,贺克斌,马永亮,等. 北京大气 PM_{2.5} 中微量元素的浓度变化特征及来源[J]. 环境科学,2003,24(6):33-37.

YANG F M,HE K B,MA Y L,*et al.* Characteristics and sources of trace elements in ambient PM_{2.5} in Beijing[J]. Environmental Science,2003,24(6):33-37. (in Chinese)

[5] 宋少洁,吴烨,蒋靖坤,等. 北京市典型道路交通环境细颗粒物元素组成及分布特征[J]. 环境科学学报,2012,32(1):66-73.

SONG S J,WU Y,JIANG J K,*et al.* Characteristics of elements in size-resolved fine particles in a typical road traffic environment in Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2012,32(1):66-73. (in Chinese)

[6] STRAND L B,BARNETT A G,TONG S. Maternal exposure to ambient temperature and the risks of preterm birth and still-birth in Brisbane, Australia[J]. American Journal of Epidemiology 2012,175(2):99-107.

[7] 程渊. 我国大气污染及生物治理措施探讨[J]. 林业资源管理, 2009(3):92-94.

CHENG Y. Air pollution and its biological control in China [J]. Forest Resources Management,2009(3):92-94. (in Chinese)

[8] 杨貌,张志强,陈立欣,等. 春季城区道路不同绿地配置模式对大气颗粒物的削减作用[J]. 生态学报,2016,36(7):2076-2083.

YANG M,ZHANG Z Q,CHEN L X,*et al.* Effects of different roadside urban vegetative models on airborne particulate matter in Beijing,China[J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(7):2076-2083. (in Chinese)

[9] CHEN B,LI S N,YANG X B,*et al.* Characteristics of atmospheric PM_{2.5} in stands and non-forest cover sites across urban-rural areas in Beijing,China[J]. Urban Ecosyst,2016,19(2):867-883.

[10] 王跃,王莉莉,赵广娜,等. 北京冬季 PM_{2.5} 重污染时段不同尺度环流形势及边界层结构分析[J]. 气候与环境研究,2014,19(2):173-184.

WANG Y,WANG L L,ZHAO G N,*et al.* Analysis of different-scales circulation patterns and boundary layer structure of PM_{2.5} heavy pollutions in Beijing during winter[J]. Climatic and Environmental Research,2014,19(2):173-184. (in Chinese)

[11] 刘娜,冯新斌,Matthew L,等. 贵阳市大气颗粒物(PM_{2.5})污染特征及气象参数的影响[J]. 地球与环境,2014,42(3):311-315.

LIU N,FENG X B,MATTHEW L,*et al.* Pollution character-

istics of PM_{2.5} in Guiyang and its influence on meteorological parameters [J]. *Earth and Environment*, 2014, 42 (3): 311-315. (in Chinese)

[12] GB 3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[13] HJ 633-2012 环境空气质量指数技术规定[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.

[14] 屈海燕,陆秀君. 沈阳市 3 条街道绿带 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度特征及影响因素分析[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(4): 57-62.

QU H Y, LU X J. Characteristics of the levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in the green belts of three roads in Shenyang and their correlations with meteorological factors[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(4): 57-62. (in Chinese)

[15] 王淑英,张小玲. 北京地区 PM₁₀ 污染的气象特征[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(特刊): 177-184.

WANG S Y, ZHANG X L. Meteorological features of PM₁₀ pollution in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13(Supp.): 177-184. (in Chinese)

[16] SONG Y, ZHANG M N, CAI X H. PM₁₀ modeling of Beijing in the winter[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40 (22): 4126-4136.

[17] GONG D Y, HO C H, CHEN D L, *et al.* Weekly cycle of aerosol-meteorology interaction over China[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2007, 112: D22202.

[18] 陈波,鲁绍伟,李少宁. 北京城市森林不同天气状况下 PM_{2.5} 浓度变化[J]. *生态学报*, 2016, 36(5): 1391-1399.

CHEN B, LU S W, LI S N. Dynamic analysis of PM_{2.5} concentrations in urban forests in Beijing for various weather conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(5): 1391-1399. (in Chinese)

[19] 刘佩琪,邓志华,陈奇伯. 城市园林对大气颗粒物的消减与大气中二氧化硫和氮氧化物的浓度变化[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(6): 13-18.

LIU P Q, DENG Z H, CHEN Q B. Reduction of atmospheric particulate and the concentration change of sulfur dioxide and nitrogen oxides by urban forests[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(6): 13-18. (in Chinese)

[20] 史宇,张建辉,罗海江,等. 北京市 2012—2013 年秋冬季大气颗粒物污染特征分析[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(9): 1571-1577.

SHI Y, ZHANG J H, LUO H J, *et al.* Analysis of characteristics of atmospheric particulate matter pollution in Beijing during the fall and winter of 2012 to 2013 [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(9): 1571-1577. (in Chinese)

[21] 蒋维媚,曹文俊,蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京:气象出版社,1993.

[22] 傅伟聪,齐津达,朱志鹏,等. 百里杜鹃森林公园杜鹃盛开期大气颗粒物浓度变化特征[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(2): 288-294.

FU W C, QI J D, ZHU Z P, *et al.* Changing features of atmospheric particulate matter concentration in Azalea blooming period in Baili Azalea Forest Park[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(2): 288-294. (in Chinese)

[23] 刘大锰,马永胜,高少鹏,等. 北京市区春季燃烧源大气颗粒物的污染水平和影响因素[J]. *现代地质*, 2005, 19(4): 621-633.

LIU D M, MA Y S, GAO S P, *et al.* The pollution level and affecting factors of atmospheric particulates from combustion during spring in Beijing city [J]. *Geoscience*, 2005, 19 (4): 621-633. (in Chinese)

[24] 吴兑,邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[M]. 北京:气象出版社,2001:255-256.

[25] 袁杨森,刘大锰,车瑞俊,等. 北京市秋季大气颗粒物的污染特征研究[J]. *生态环境*, 2007, 16(1): 18-25.

YUAN Y S, LIU D M, CHE R J, *et al.* Research on the pollution situation of atmospheric particulates during autumn in Beijing city [J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16 (1): 18-25. (in Chinese)

[26] 崔淑华,倪艳姝. 城市主要气体污染物与 PM_{2.5} 相关性建模分析[J]. *森林工程*, 2016, 32(2): 65-68.

CUI S H, NI Y S. The correlation analysis of main gas pollutants and PM_{2.5} in an urban city [J]. *Forest Engineering*, 2016, 32(2): 65-68. (in Chinese)

[27] ZHANG H, WANG Y, HU J, *et al.* Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China[J]. *Environmental Research* 2015, 140: 242-254.

[28] 胡敏,刘尚,吴志军,等. 北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. *环境科学*, 2006, 27 (11): 2293-2298.

HU M, LIU S, WU Z J, *et al.* Effects of high temperature, high relative humidity and rain process on particle size distributions in the summer of Beijing[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(11): 2293-2298. (in Chinese)