

天水市麦积区大气总悬浮颗粒物与绿地分布的关系研究^{*}

闫秀婧¹ 汪浩然^{1#} 张冬有²

(1.甘肃林业职业技术学院信息工程系,甘肃 天水 741020;2.哈尔滨师范大学地理科学学院,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 以麦积区城郊 2013 年实测绿地大气总悬浮颗粒物(TSP)为根据,应用空间变异分析、克里格插值、重分类等方法,对麦积区城郊绿地大气 TSP 进行了分析,得出如下结论:当绿地结构是乔木和灌木组成的针阔混交林、森林覆盖率在 73%时,大气 TSP 质量浓度小于 0.08 mg/m³;当绿地结构是天然林、小部分经济林和绿化带组成的阔叶林、森林覆盖率在 51%时,大气 TSP 质量浓度为 0.08~0.20 mg/m³;当绿地结构是经济林、绿化带和农田、森林覆盖率在 30%以下时,大气 TSP 质量浓度在 0.20 mg/m³以上;森林覆盖率在 10%左右时,大气 TSP 质量浓度在 9.700~13.548 mg/m³。麦积区城市绿地结构和森林覆盖率直接影响大气 TSP 浓度,这为麦积区城市绿地规划和建设、改善城市环境质量提供了理论依据和技术指导。

关键词 城市绿地 大气颗粒 半变异分析 克里格插值 重分类

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.06.001

Study of relationship of aerosols and urban green space in Maiji district, Tianshui YAN Xiuqing¹, WANG Haoran¹, ZHANG Dongyou². (1. Department of Information Engineering, Gansu Forestry Technological College, Tianshui Gansu 741020; 2. College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang 150080)

Abstract: Based on data collected from Maiji district in 2013, the study analyzed aerosols in the vegetated area of Maiji district by using methods such as semi-variation analysis, Kriging interpolation, reclassification. The results were as follows: when the forest coverage rate was 73%, and when the greenbelt structure was theopencedrymion composed of trees and shrubs, the concentration of atmospheric suspended matter was the below 0.08 mg/m³; when the forest coverage rate was 51%, and the greenbelt structure was broad-leaved forest composed of natural forest, small proportion of economic forest and greenbelt, the concentration of atmospheric suspended matter was 0.08 mg/m³ to 0.20 mg/m³; when the greenland structure was greenbelt and farmland, the forest coverage rate was below 30%, the concentration of atmospheric suspended matter was the above 0.20 mg/m³, and the forest coverage rate was 10%, the concentration of atmospheric suspended matter was 9.700 mg/m³ to 13.548 mg/m³. The concentration of atmospheric suspended matter have been direct effect by the forest coverage rate and the greenbelt structure in Maiji district. A theoretical foundation and a technical guidance provided for the green space planning and construction in Maiji district and also for the improvement of urban environmental quality.

Keywords: green space; atmospheric particles; semi-variation analysis; Kriging interpolation; re-classification

城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,在城市污染控制过程中有着非常重要的地位和作用。大气悬浮物是国内外许多城市空气的首要污染物,其与人体健康的关系已经成为世界各地环境、林业、气象和医务工作者极为关注的前沿性课题^[1]。王国玉等^[2]分析北京地区消减 PM_{2.5}植物配置模式的案例,提出绿地消减 PM_{2.5}植物配置技术建议。罗娜娜等^[3]对北京市区三环主路及居民区的不同粒径大气颗粒物进行了分析研究,得出居民区大气颗粒物浓

度均低于道路口。叶文波^[4]研究发现,扬尘、烟煤尘、尾气尘是宁波市主要污染源。邵天一等^[5]对宜昌城区绿地景观格局与大气污染的关系进行了研究,得出在城市景观中绿地斑块平均面积越大、破碎度指数越低,则其对大气污染净化的作用越大。刘晓华等^[6]研究表明,城市绿化树种可降低大气中总悬浮颗粒物(TSP)浓度,同时对降低 TSP 的能力有差异,福州市行道树净化能力为小叶榕>芒果>樟树>羊蹄甲,厦门市行道树净化能力为高山榕>芒

第一作者:闫秀婧,女,1968年生,博士,教授,研究方向为遥感系统(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)林业应用及林业信息化。[#] 通讯作者。

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No.41171412);甘肃省自然科学基金资助项目(No.1208RJZE259);甘肃省高等学校基本科研业务费项目(No.201201312)。

果>凤凰木>羊蹄甲。NUR DINA 等⁷研究发现,城市森林通过减少空气中颗粒过滤空气;SHAKOURI 等研究发现,城市绿地能减轻城市空气污染;SHAH⁸ 研究发现,城市绿地空间和一套整合的设计方法可使城市环境持续发展。本研究为了充分挖掘城市绿地分布与大气 TSP 的关系,对麦积区城郊绿地大气 TSP 进行空间自相关性、空间半变异和空间预测研究。以实测数据为根据,应用空间变异分析、克里格插值、重分类等方法,建立了半变异函数和大气 TSP 空间分布预测面,得出了不同绿地结构和森林覆盖率对大气 TSP 浓度的影响,为麦积区城市绿化和小区域空气质量改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

天水市麦积区地处东经 105°25′~106°43′,北纬 34°06′~34°48′,海拔 1 000~2 700 m,全境总面积 3 480 km²,是天水市的“东大门”。现辖 11 个镇、6 个乡、3 个街道办事处,总人口 60 万人。麦积区属大陆半湿润季风气候,境内森林覆盖率达 52.6%,四季分明,年平均降水量为 540~860 mm。

1.2 数据来源

1.2.1 外业数据采集

外业数据采集选择在夏、秋季测定,这两个时期是植被生长最茂盛的时期,也是环境优化最佳时期。测定期分别是 2013 年 8 月 2—6 日、2013 年 10 月 11—15 日,时间从 8:00 至 17:00。在研究区,通过 TH-150 智能中流量空气采样器获取大气 TSP 样品,采用重量法计算大气 TSP 浓度。在夏季采集了 81 个样品,秋季采集了 79 个样品。

1.2.2 绿地分布提取

收集麦积区区划图(1:50 000)、地形图(1:50 000)和 2011 年的 SPOT5 遥感影像。本研究选取了 3 景多光谱 SPOT5 影像,2 景是 8 月的,1 景是 4 月的。

对区划图、地形图进行了数据预处理,主要用于研究区大气 TSP 的分析和遥感影像的裁剪。4 月和 8 月的数据影像辐射差异较明显,为了便于监督分类,对 4 月的数据影像进行了辐射校正,然后对 3 幅图进行了直方图均匀化处理,使数据在色调方面趋于一致^[9]。在 EARDS 中,主要通过监督分类和专家分类 2 种方法结合并辅以人工解译完成,其分类精度达到 81%。

• 2 •

1.3 大气 TSP 提取

大气 TSP 根据采样前后滤膜质量之差及采样体积,按式(1)和式(2)计算 TSP 质量浓度(c , mg/m³)。

$$c = \frac{(W_1 - W_0)}{Q_n \times t} \quad (1)$$

$$Q_n = Q_2 \sqrt{\frac{T_3 \times P_2}{T_2 \times P_3}} \times \frac{273 \times P_3}{T_3} = Q_2 \sqrt{\frac{P_2 \times P_3}{T_2 \times T_3}} \times 273 \quad (2)$$

式中: W_0 为采样前滤膜质量,mg; W_1 为采样后滤膜质量,mg; Q_n 为采样器平均抽气流量,m³/min; t 为累积采样时间,min; Q_2 为现场采样流量,m³/min; P_2 为采样器现场校准时大气压力,kPa; P_3 为采样时大气压力,kPa; T_2 为采样器现场校准时空气温度,K; T_3 为采样时空气温度,K。

1.4 空间变异分析

空间统计学以区域化变量理论为基础,借助于变异函数,可进行空间数据的结构性与随机性、空间相关性和依赖性、空间分布与变异有关的研究,并对这些数据进行最优无偏内插估计^{[10][11]}。

半变异函数受采样点间距离、样本数量、异常值、比较效应、漂移等的影响^{[10][12]},可采用正则变量、原始数据变换、半变异模型选择,消除对半变异函数的影响。半变异函数有 4 个重要的参数,即块金值、基台值、偏基台值、变程。块金值反映最小抽样尺度以下变量的变异性及测量误差;基台值反映区域化变量变异性大小,在满足平衡条件时等于数据的先验方差;偏基台值是基台值与块金值的差;变程是某种观察尺度下空间相关性的作用范围^{[10][12]}。块金值与基台值的比称为基底效应,反映系统变量空间相关的程度,如果比值小于 25%,说明系统具有强烈的空间自相关性;如果比值在 25%~75%,说明系统具有中等空间自相关性;大于 75%,说明系统空间自相关性很弱^[11]。

半变异模型有很多种,其选择是一个复杂的过程,按照平均标准误差最接近于 0、均方根误差最小、平均标准误差最接近于均方根误差、均方根误差最接近于 1^[12]的原则进行选择。

根据以上原则,大气 TSP 半变异模型选择二项式模型,见式(3)。

$$r(h) = c_0 + ah \quad (3)$$

式中: $r(h)$ 为半变异函数; c_0 为块金值; a 为变程; h 为样本间的距离。

1.5 插值交叉验证

克里格插值方法在稀疏不均匀分布的离散点插值上有明显的优越性,插值精度比其他插值方法高^[13],它建立在半变异函数和平稳假设的基础上^[14]。

克里格插值的预测结果通过交叉验证实现,用来估计一个预测模型在实际应用中的准确度。大气 TSP 预测模型中应用 LOO-CV 进行交叉验证,将每个样本单独作为验证集,其余的 $N-1$ 个样本作为训练集,得到 N 个模型,用这 N 个模型最终验证集的分类准确率的平均数作为评价指标。估测精度通过均方根误差(RMSE)和相对误差(Bias)评估。计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}} \times 100\% \quad (5)$$

$$Bias = \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \quad (6)$$

$$Bias\% = \frac{Bias}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}} \times 100\% \quad (7)$$

式中: n 为实测采样点总数; i 为实测点序号; y_i 为采样点 i 的实测值; $\hat{y}_i$ 为采样点 i 的预测值; $RMSE\%$ 为均方根误差分数; $Bias\%$ 为相对误差分数。

2 结果与分析

2.1 半变异分析

为了消除半变异分析中异常值、比较效应的影响,使数据趋于平稳分布,确保变异方向相同,揭示大气 TSP 的空间自相关性,应用半变异函数与协方差云对实测的 160 个采样点数据进行了筛选,剔除了 16 个异常值。通过平均值、平均标准误差、均方根、均方根误差得出,二项式模型均值是 0.033 58,在所有均值中处于中间,但平均标准误差接近于均方根,两者相差最小是 -0.040,均方根误差是 0.998。

大气 TSP 半变异分析中产生的块金值为 2.191 7,偏基台值为 18.701,变程为 0.284 49。根据式(3)其半变异函数为:

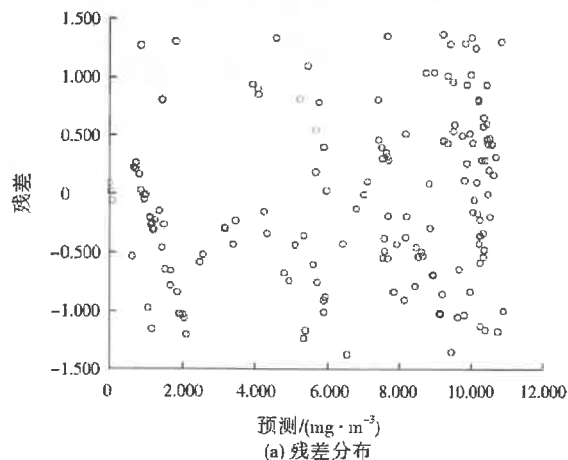
$$r(h) = 2.191\ 7 + 0.284\ 49h \quad (8)$$

由式(8)可得到,大气 TSP 基底效应即块金值与基台值的比为 10%,说明大气 TSP 具有强烈的空间自相关性,样本间的变异受随机因素的影响较小,

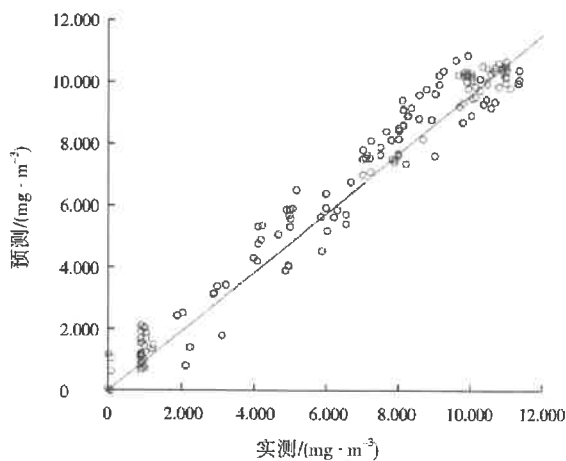
最大影响矢距是 284.49 m。

2.2 空间插值分析

克里格插值建立在平稳假设和半变异函数的基础上,对剔除离群值后的大气 TSP 数据通过 Box-Cox 变换,使数据平稳且呈正态分布。应用普通克里格模型进行大气 TSP 线性无偏、最优估计,应用留一交叉验证对大气 TSP 插值结果进行交叉验证,残差分布如图 1(a)所示,实测和预测对比结果如图 1(b)所示。根据式(4)至式(7)求得交叉验证后的 $REMS$ 为 0.699 5, $REMS\%$ 为 10.6%, $Bias$ 为 -0.054, $Bias\%$ 为 -0.82%。从图 1(a)可以看出,其预测点在残差为 0 两边的分布基本持平,预测点是随机分布的,说明两个预测模型是合适的。从图 1(b)可以看出,分布都在回归线周围,更进一步说明克里格插值中二项式模型的选择是非常合理的。



(a) 残差分布



(b) 实测和预测对比

图 1 散点分布

Fig.1 Polts of air humidity

将预测结果根据《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)划分为 1 级(0.08 mg/m^3 以下)、1~2 级(0.08~0.20 mg/m^3)和 2 级(0.20 mg/m^3 以上)3

个等级进行重分类,其结果如图2所示。

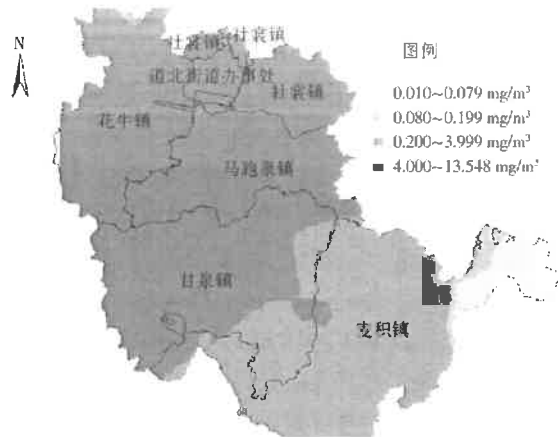


图2 插值结果
Fig.2 Interpolation result

图2显示,麦积区城郊大气TSP质量浓度在 $0.010\sim 13.548\text{ mg/m}^3$ 。麦积区东边很小的一部分区域大气TSP质量浓度小于 0.08 mg/m^3 ,空气质量非常清新,属于1级区域,其绿地结构主要是由乔木、灌木组成的针阔混交林,且森林覆盖率达到73%;麦积区的剩余部分和甘泉镇与麦积镇相邻的小部分区域属于1~2级,大气TSP质量浓度为 $0.08\sim 0.20\text{ mg/m}^3$,空气质量清新,其绿地结构主要是天然林、小部分经济林和绿化带,森林覆盖率达到51%;其余区域属于2级,质量浓度在 0.20 mg/m^3 以上,其绿地结构主要以经济林、绿化带和农田为主,森林覆盖率在30%以下。社棠镇工业区和道北街道办事处小部分区域大气TSP质量浓度最高,在 $9.700\sim 13.548\text{ mg/m}^3$,森林覆盖率仅为10%左右,其绿地结构主要以绿化带为主,空气质量最差,也是麦积区城市中心空气环境质量污染的主要地域。

3 讨论

在麦积区的工业区和人口密度大的居民区,由于绿地结构以经济林、绿化带和农田为主。经济林组成是以阔叶林为主的灌木类,绿化带是由针叶林、阔叶林和草组成的灌木类,农田主要是草本植物,而其吸收空气中TSP的能力弱,且森林覆盖率很低,大气TSP浓度超高,环境质量属于2级。在非工业区,以乔、灌、草组合的针阔混交林居多,吸收大气TSP的能力强,大气TSP浓度控制在1级或1~2级。说明不同植被类型吸收大气TSP能力是不同的,天然林吸收大气TSP能力比经济林、绿化带和农田强好多倍,大气TSP浓度与森林覆盖率呈正比。

从麦积区大气TSP空间变异分析得到,大气

TSP偏基台值与基台值的比是90%,基底效应即块金值与基台值的比是10%,说明其具有强烈的空间自相关性,大气TSP对周边空气质量影响非常大,最大影响矢距是284.49 m。

4 结语

不同地域有针对性地选择不同植被类型非常关键,在城市绿地规划与建设中应以“森林城市”为目标,选择乔灌木组合的、吸附力强的针阔混交林增加城市森林覆盖率,降低大气TSP。在居民区绿地大小和位置设计中可借助空间自相关性和半变异分析获取大气TSP最大影响矢距,按照在大气TSP变程内采样点间距离越小相关性越大的原理,结合屋顶绿化新技术在有限空间尽可能增加森林覆盖率,降低室内外大气TSP浓度,更好地修复室内外环境。

总之,空间变异分析、克里格插值、重分类等方法能充分挖掘城市绿地和大气TSP的空间分布关系,可为城市和小区域环境质量的改善、城市绿地规划和建设、居民宜居环境建设提供一套科学的理论和技术方法。

参考文献:

- [1] 郭二果,王成,彭镇华,等.城市空气悬浮颗粒物的理化性质及其健康效应[J].生态环境,2008,17(2):851-857.
- [2] 王国玉,白伟岚,董东箭,等.城市绿地消减 $\text{PM}_{2.5}$ 污染植物配置技术的思考[J].农业科技与信息:现代园林,2014,11(2):23-29.
- [3] 罗娜娜,赵文吉,晏星,等.交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究[J].环境科学,2013,34(10):3741-3748.
- [4] 叶文波.宁波市大气可吸入颗粒物 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的源解析研究[J].环境污染与防治,2011,33(9):66-69.
- [5] 邵天一,周志翔,王鹏程,等.宜昌城区绿地景观格局与大气污染的关系[J].应用生态学报,2004,15(4):691-696.
- [6] 刘晓华,黄石德,潘辉,等.城市绿化树种对道路空间大气颗粒物浓度的影响[J].福建林学院学报,2009,29(1):12-18.
- [7] NUR DINA S M, AHMAD AINUDJIN B N. Impact of vegetations in urban green spaces for automobile discharged particles removal[J]. Research Journal of Forestry, 2010, 6(2): 41-48.
- [8] SHAH M A H. Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment[J]. Journal of Environmental Protection, 2011(2): 601-608.
- [9] XU Qing, HOU Zhengyang, TOKOLA T. Relative radiometric correction of multi-temporal ALOS AVNIR-2 data for the estimation of forest attributes[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2012, 68: 69-78.

(下转第13页)