

交通绿化带植物配置对空气颗粒物的净化效益

殷 杉¹, 蔡静萍², 陈丽萍², 申哲民¹, 邹晓东¹, 吴 旦¹, 王文华^{1,*}

(1. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240 2. 上海市浦东新区环保局园林绿化处, 上海 200135)

摘要 交通绿化带有显著的净化街道空气的环境效益。通过对上海浦东某交通干道旁侧绿化带不同季节大气中总悬浮颗粒物(TSP)的测定,定量研究了绿化带对TSP的净化效益,同时对研究区域内植物的配置情况用郁闭度和疏透度进行了表征,并研究了其与TSP的净化效益之间的相关性。研究结果表明,交通绿化带对由机动车引起的TSP污染有明显的净化作用,其中夏、秋季净化百分率较高,春、冬季较低;为达到较高的TSP净化效益,交通绿化带宽度应不小于5 m,最佳为10 m,采用先灌后乔的配置方式,并更多的选用常绿树种,绿地对TSP的净化百分率同植物群落的郁闭度成正相关,同疏透度成负相关关系,绿地内植物郁闭度的最佳范围为0.70~0.85,疏透度的最佳范围为0.25~0.33。研究结果可为评价现有交通绿化带植物配置情况和日后的城市绿地规划和建设提供技术依据。

关键词 总悬浮颗粒物(TSP); 绿地; 郁闭度; 疏透度; 净化效益

文章编号: 1000-0933(2007)11-4590-06 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Effects of vegetation status in urban green spaces on particles removal in a canyon street atmosphere

YIN Shan¹, CAI Jing-Ping², CHEN Li-Ping², SHEN Zhe-Min¹, ZOU Xiao-Dong¹, WU Dan¹, WANG Wen-Hua^{1,*}

1 School of Environmental Science & Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

2 Garden & Greening Department of Pudong District, Shanghai 200135, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4590 ~ 4595.

Abstract : Green spaces contribute to removal of significant amounts of air pollutants. This quantitative study, using seasonal monitoring data of Total Suspended Particles (TSP) from green spaces along one street of Pudong Shanghai, demonstrates that vegetation can remove large amount of TSP. Furthermore, correlation analysis have been performed between vegetal status measured by canopy density and shelterbelt porosity and TSP removal percentages. The results show :

(1) Vegetation in green spaces greatly contributes to reduce TSP pollution. The width of green spaces beside the road should not be smaller than 5m, best is 10m and more evergreen trees should be chosen in order to get a noticeable TSP purification effect.

(2) TSP removal percentage is correlated to the canopy density and inverse correlated to shelterbelt porosity. The optimum intervals of canopy density are 0.70—0.85 and shelterbelt porosity are 0.25—0.33.

Proposed the optimum intervals can help to estimate vegetation structure of green spaces and provide technical support for programming and construction of urban green spaces.

基金项目: 上海浦东新区科技专项资金资助项目

收稿日期: 2006-09-07; 修订日期: 2007-03-28

作者简介: 殷杉(1982~), 男, 山东青岛人, 博士生, 主要从事城市绿地环境生态效益研究. E-mail: yinshan@sjtu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: whwang@sjtu.edu.cn

致谢: 周丕生, 蔡辉泉, 尹然, 吴雯杰, 高致, 张翔, 陈申虹等同志参加了部分调查工作, 谨致谢意!

Foundation item :The project was financially supported by Foundation of Government of Pudong District, Shanghai

Received date 2006-09-07 ; **Accepted date** 2007-03-28

Biography :YIN Shan, Ph. D., candidate, mainly engaged in urban green spaces and environmental & ecological effects. E-mail: yinshan@sjtu.edu.cn

Key Words : Total Suspended Particles (TSP) ; green spaces ; canopy density ; shelterbelt porosity ; removal effects

近年来 ,我国城市化进程不断加快 ,城市人口数量不断扩大 ,机动车保有量也在不断增加 ,由车流产生的街尘污染持续攀升^[1~3]。已有研究表明 ,受交通污染危害最严重的是交通干道及两侧街道的 50m 以内、1.7m 以下的低空范围^[4] ,此范围也正处于行人的呼吸区域 ,极易造成地面人群的受害^[5]。因此 ,有效控制城市机动车污染是改善城市质量的必要举措。

人工的交通绿化带不仅能够美化城市 ,而且有助于改善道路空气环境。绿色植物通过吸收有害气体、吸滞粉尘、隔声降噪、降温增湿等环境生态效益来参与和改善城市的物质代谢和能量循环^[6]。近年来评价城市绿地的环境效益 ,以将有限的绿地发挥最大的环境生态功能 ,逐渐成为城市环境生态研究的热点^[7~11]。本文将通过对上海浦东某交通干道及旁侧绿化带中大气总悬浮颗粒物 (TSP) 的监测以及对绿化带郁闭度、疏透度之间的相关性研究 ,探讨交通绿化带植物的最佳配置方式。

1 研究方法

1.1 研究地点的选择

由于绿地生态效应的辐射距离通常在其周围 50m 以内^[12] ,本文选取了上海浦东新区的一条东西向交通干道为研究对象 ,道路旁侧有 15m 宽的绿化带 ,绿化带后多为空旷地或 2~3 层低矮的房屋 ,因此排除了临街建筑高度对机动车尾气垂直分布的影响^[13,14]。沿道路选取 6 块典型配置的绿化区域进行研究 (以 L1~L6 表示) ,每块区域面积为 20 m×15 m ,各采样区域内植物种类、配置情况和生长状况各不相同。表 1 列出了各采样区域内植物的种类及株数。

表 1 各采样区域植物种类及株数
Table 1 Species & amounts of vegetation in sampling sites

项目 Item	采样区域 Sampling sites					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
乔木 (株数) Arbor (amounts)	意杨 (33)* 香樟 (2) 水杉 (4) 龙柏 (3)	香樟 (2) 水杉 (4) 龙柏 (5) 石楠 (8)	意杨 (18) 香樟 (6)	香樟 (8) 银杏 (6) 水杉 (8) 罗汉松 (8)	水杉 (8) 香樟 (8) 栎树 (8)	香樟 (5) 水杉 (22)
灌木 (株数) Shrub (amounts)	红叶李 (5) 木芙蓉 (4) 黄馨 (3) 杜鹃 (3)	夹竹桃 (7) 黄馨 (6) 杜鹃 (8)	红叶李 (8) 黄金条 (8) 夹竹桃 (8)	红叶李 (8) 蚊母 (8) 大叶黄杨 (8)	红梗木 (8) 冬青 (8) 红花继木 (8) 矮海棠 (8)	八角金盘 (5) 常春藤 (3) 夹竹桃 (12) 黄馨 (3)

意杨 *Populus euramevicana* ,香樟 *Cinnamonum camphora* ,水杉 *Metasequoia glyptostroboides* ,龙柏 *Sabina chinensis* Kaizuca ,石楠 *Photinia serrulata* ,银杏 *Ginkgo biloba* ,罗汉松 *Podocarpus macrophyllus* ,栎树 *Koelreuteria* ,红叶李 *Prunns cerasifera* ,木芙蓉 *Hibiscus mutabilis* ,黄馨 *Jasminu mesnyi* ,杜鹃 *Rhododendron simsii* ,夹竹桃 *Nerium indicum* ,黄金条 *Forsythia* ,蚊母 *Distylium racemosum* ,大叶黄杨 *Euonymus japonicus* ,红梗木 *Cornus alba* ,冬青 *Ilex purpurea* Hassk ,红花继木 *Loropetalum chinense* ,矮海棠 *Malus spectabilis* ,八角金盘 *Fatsia japonica* ,常春藤 *Hedara nepalensia* ;* 株数 amounts

1.2 采样区域内植物生长状况表征计算方法

本研究采用植物群落的郁闭度和疏透度为指标表征植物群落配置和生长状况。
植物群落的郁闭度指树冠垂直投影面积与林地总面积之比 ,郁闭度越大 ,植物结构越密。郁闭度测定方法为标准地的两对角线上树冠覆盖的总长度与两对角线的总长之比^[15]。植物群落的疏透度是指林带纵断面透光空隙的面积与纵断面面积之比 ,疏透度越小 ,植物结构越紧密。疏透度的测定方法为用数码相机拍摄样地照片 ,然后用“数字图像处理法”计算得出^[16]。

1.3 TSP 采样点布设及采集分析方法

由于交通流量与 TSP 浓度有显著的相关性^[17] ,且街道内风速情况会影响颗粒物的分布^[18] ,因此选择晴朗、无风或者微风 (风力小于 3 级) 的天气进行采样。由图 1 所示该道路车流量在一天不同时段的变化可知 ,在 9:00~14:00 的时间段内车流量基本稳定 ,因此采样时间选在 9:00~14:00 的时间段内。一年内在每个季

度 (1、4、7、10 月份)各进行 1 次采样。TSP 的采样测定方法依照 GB/T6921-86 ,采样仪器为青岛崂山电子仪器厂生产的 KB6120 型中流量大气采样器。

在每个采样区域沿水平方向垂直于街道布设了 4 个采样点 ,分别为道路边 (Roadside)、绿化带距道路 5、10m 和 15m 处 ;另外在该道路同侧选取一块没有绿化带的空旷裸地 (一般选在小区门口) ,作为空白对照点 (Blank) ,与各采样点同步进行采样。采样时在各采样点连续采样 3 次 ,作为 3 个平行样 ,取其平均值作为采样值。样品在采集后迅速密封处理 ,2h 之内进行分析测定。

为了显著表征绿化带对 TSP 的去除作用 ,计算了各采样点在四季对 TSP 的净化百分率。净化百分率的计算公式为：

$$P = \frac{C_s - C_m}{C_s} \times 100\%$$

式中 ,Cs 是道路边的 TSP 浓度 ,Cm 是绿化带中 15m 处 TSP 的浓度。

2 结果与讨论

2.1 各采样区域植物群落的郁闭度和疏透度的变化

各采样区域内植物群落的郁闭度和疏透度在不同季节的变化如表 2 所示。由表 2 可知 ,植物生长旺盛的夏季和秋季 ,采样区域内的郁闭度较大 ,疏透度较小 ;在春季和冬季 ,郁闭度较小 ,疏透度较大。

表 2 各采样区域不同季节植物群落的疏透度、郁闭度

Table 2 Canopy density & shelterbelt porosity of vegetation in different seasons		采样区域 Sampling sites					
项目 Item	季节 Season	L1	L2	L3	L4	L5	L6
郁闭度 Canopy density	春 Spring	0.62 ± 0.01	0.86 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.71 ± 0.03	0.88 ± 0.01	0.83 ± 0.01
	夏 Summer	0.71 ± 0.02	0.87 ± 0.01	0.72 ± 0.01	0.76 ± 0.01	0.98 ± 0.00	0.96 ± 0.01
	秋 Autumn	0.62 ± 0.01	0.85 ± 0.02	0.65 ± 0.01	0.74 ± 0.01	0.95 ± 0.01	0.91 ± 0.01
	冬 Winter	0.50 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.55 ± 0.03	0.68 ± 0.01	0.90 ± 0.01	0.82 ± 0.02
疏透度 Shelterbelt porosity	春 Spring	0.40 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.34 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.01
	夏 Summer	0.23 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.05 ± 0.00
	秋 Autumn	0.35 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.05 ± 0.00
	冬 Winter	0.44 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.37 ± 0.03	0.31 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.15 ± 0.01

2.1 典型道路 TSP 浓度分布

图 2 为各采样点大气 TSP 四季平均值的变化规律。由机动车产生的大气扬尘在经过路边绿化带的阻挡吸附后 ,浓度呈现出明显的下降趋势 ,且距道路越远 ,TSP 浓度越低。其中靠近路边的 10m 内去除效果尤为显著。其原因是由于靠近路边 TSP 源强较大 ,且浓度在树冠以下的垂直分布比较均匀 [3] ,因此颗粒物首先会被绿化带前 5m 的较为浓密低矮灌木 (高度 <2m)充分阻滞 ,而后 5 ~ 10m 间高大的乔木又可以发挥枝宽叶大的优势 ,充分阻滞已越过灌木的颗粒物 ;在绿化带远离道路的最后 5m 内 ,颗粒物浓度已经到了较低的水平 ,因此净化效果也就不明显了。因此 ,为了对大气中 TSP 起到显著的净化作用 ,道路两侧的交通绿化带宽度应不小于 5m ,最好为 10m ,绿化带中宜采用乔灌混交、先灌后乔的种植方式 ,这样能发挥灌乔木各自的净化优势 ,达到更好的净化效果。

各采样点对 TSP 净化百分率如图 3 所示。从图中可以看出 ,各采样点在四季对 TSP 的净化百分率均远高于空白裸地 (Blank) ,表明了绿化带具有显著的滞尘功能。从四季的变化来看 ,夏季和秋季的净化百分率最

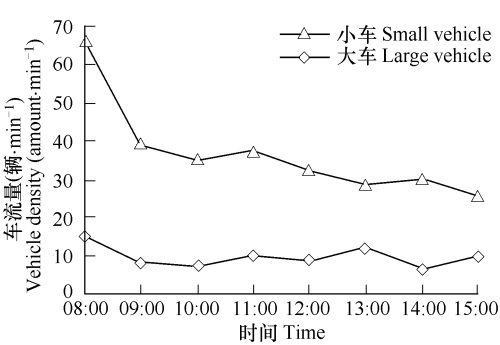


图 1 该道路在一日各时段车流量变化
Fig. 1 Traffic density during daytime

高 ,这是因为夏秋两季正值植物生长的旺盛期 ,植物枝叶茂盛 ,浓密的叶片和乔灌混交的绿化带结构能有效的减小气流 ,吸滞颗粒物^[9]。而春季和冬季由于落叶树的叶片凋零 ,且 TSP 本底值较高 ,颗粒物不容易沉降 ,因此对 TSP 的净化效果不如夏、秋季显著。因而 ,在道路绿化带中更多的选用种植常绿树种是提高 TSP 净化效益尤其是冬、春季的净化效益的重要途径。

2.2 绿化带生长状况与 TSP 净化百分率的关系分析

上文所述各采样点在四季的净化百分率变化规律较为明显 ,但是从图 3 中可以看出 ,对街道的总体净化百分率来看 ,各采样点有明显不同 :L2 点和 L5 点对 TSP 的净化作用最显著 ,而 L1、L3 点相对较差。产生差异的原因在于各点植物生长状况的差异 :植物数量越多 ,种植的越紧密 ,对颗粒物的阻滞效果越好 ,但是如果

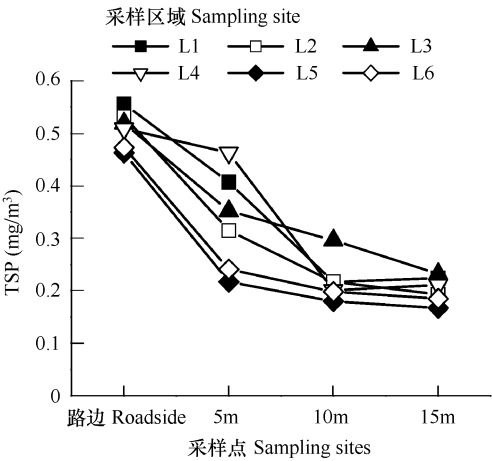


图 2 各采样区内 TSP 浓度变化
Fig.2 TSP concentration changes in sampling sites

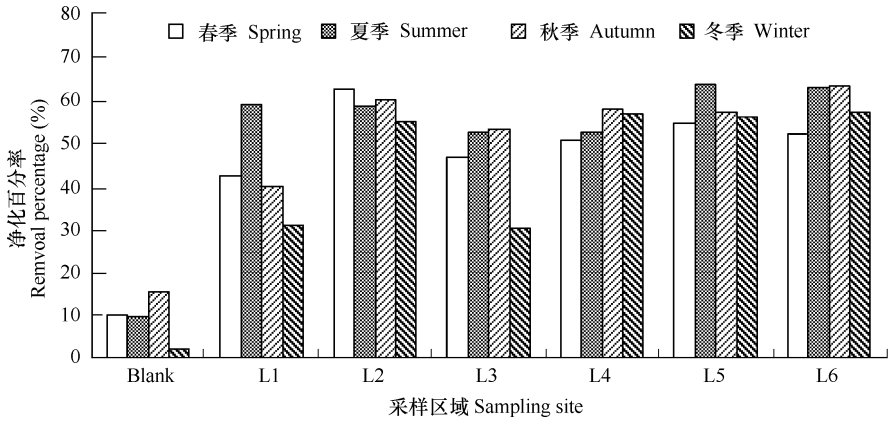


图 3 各采样点四季对 TSP 的净化百分率变化图
Fig.3 Changes of removal percentage of aerial TSP in sampling sites

配置得过于紧密 ,但不利于空气的扩散 ,而且乔木的密度过大 ,会影响其持续旺盛地生长 ,最终可能导致植物群落的衰落^[20]。在园林学中 ,郁闭度和疏透度是表征植物群落结构疏密程度的常用指标。图 4 和图 5 分别为本研究所得到的郁闭度和疏透度数据与研究区域内 TSP 净化百分率的关系示意图。

由图 4 可知 ,TSP 净化百分率和植物群落的郁闭度之间存在明显的正相关关系 :郁闭度越大 ,其对 TSP 的去除作用越显著。通过观察可以发现 ,随植物郁闭度的增大 ,净化百分率的增量不是一成不变的 ,而是逐渐减缓的。当郁闭度在 0.5 以上开始增加时 ,净化百分率增大较快 ,至郁闭度 0.70 左右逐渐减缓 ,至 0.85 以上时已经基本保持不变。当郁闭度小于 0.70 时 ,植物对 TSP 的净化效益尚处于较低水平 ,而郁闭度高于 0.85 时 ,净化效益不但没有显著提高 ,反而过高的植物密度会影响植物群落的生长。因此 ,将郁闭度控制在 0.70 和 0.85 之间的范围 ,既可以使植物对 TSP 的净化效果处于一个较高水平 ,又不至于植物密度过大 ,影响群落的后续生长和发展。郁闭度 0.70 ~0.85 这个范围可以作为植物郁闭度对 TSP 净化的“最佳范围” ,其对应的 TSP 净化百分率为 50% ~60%。

同样的 ,由图 5 可知 ,TSP 净化百分率与植物的疏透度呈明显的负相关关系。通过观察可以发现 ,当疏透度小于 0.25 时 TSP 的净化百分率已基本不变 ,随疏透度的继续增大净化百分率下降很快。为保证 TSP 净化百分率维持在较高水平 (50% 以上) ,则对应的疏透度约为 0.33。因此 ,植物疏透度为 0.25 ~0.33 这个范围可作为对 TSP 净化的最佳范围。

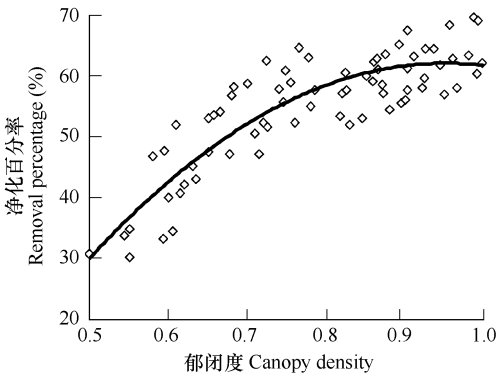


图4 TSP 净化百分率与植物郁闭度关系示意图

Fig. 4 Correlation between removal percentage of TSP and canopy density

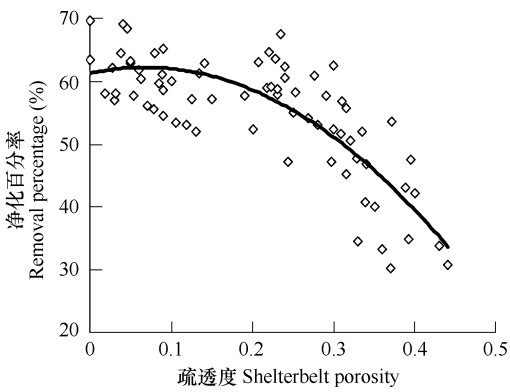


图5 TSP 净化百分率与植物疏透度关系示意图

Fig. 5 Correlation between removal percentage of TSP and shelterbelt porosity

3 结论

(1)交通干道两侧的绿化带对由机动车引起的大气中总悬浮颗粒物 (TSP)有明显的净化作用 ,其中夏、秋季净化百分率较高 ,春、冬季较低。交通绿化带宽度应不小于 5m ,最佳为 10m ,采用先灌后乔的配置方式 ,并更多的选用常绿树种 ,可对 TSP 产生更为显著的净化效益。

(2)各采样点对 TSP 净化效果的差异根本原因在于各点植物配置状况的差异。通过对各点绿地指标的研究发现 ,绿地对 TSP 的净化百分率同植物群落的郁闭度成正相关 ,同疏透度成负相关关系。为了既可以使植物对 TSP 的净化效果处于一个较高水平 ,又不至于植物密度过大而影响其后续生长 ,绿地内植物郁闭度的最佳范围为 0.70 ~0.85 ,疏透度的最佳范围为 0.25 ~0.33。

本文是对城市园林绿地发挥的环境生态效益进行的尝试性研究 ,得到了一些可供进一步探索的结果。绿地指标对 TSP 净化最佳范围的提出 ,可以为日后的绿地建设和规划提供重要的技术依据。城市绿化管理部门可以根据土地、资金等实际情况的需要 ,对绿化带的植物进行合理的配置。尤其是在当今城市可供大规模绿地建设的土地资源有限的条件下 ,可以为有限的绿地发挥最大程度的环境效益提供全方位依据。

References :

[1] Keller J , Lamprecht R. Road dust as an indicator for air pollution transport and deposition : an application of SPOT imagery. *Remote Sensing of Environment* ,1995 ,54 :1 —12.

[2] Shade T S , Robert C B. Weekly periodicity of environmental variables in Phoenix, Arizona. *Atmospheric Environment* ,1995 ,40 :304 —310.

[3] Zhon Z X , Shao T Y , Wang P C , *et al.* The spatial structures and the dust retention effects of green land types in the workshop district of Wuhan Iron and Steel Company. *Acta Ecologica Sinica* ,2002 ,22 (12) :2036 —2040.

[4] Neofytou P , Venetsanos A G , Rafailidis S. Numerical investigation of the pollution dispersion in an urban street canyon. *Environmental Modelling and Software* ,2006 ,21 :525 —531.

[5] Kaur S , Nieuwenhuijsen M J , Colville R N. Pedestrian exposure to air pollution along a major road in Central London , UK. *Atmospheric Environment* ,2005 ,39 :7307 —7320.

[6] Yang J , McBride J R , Zhou Jinxing. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening* ,2005 ,3 :65 —78.

[7] Beckett K P , Smith P H , Taylor G. Urban woodlands : their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* ,1998 ,99 (3) :347 —360.

[8] Escobedo F J , Nowak D J , Wagner J E , De la Maza C L *et al.* The socioeconomics and management of Santiago de Chile’s public urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening* ,2006 ,4 :105 —114.

[9] Nowak D J , Crane D E , Stevens J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* ,2006 ,4 :115 —123.

[10] Chen F ,Zhou Z X ,Xiao R B. Estimation of ecosystem services of urban green-land in industrial areas :A case study on green-land in the workshop area of the Wuhan Iron and Steel Company. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 26 (7) 2230 — 2236.

[11] Zhang X X ,Gu R Z ,Chen Z X. Dust removal by green areas in the residential quarters of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University* ,1997 ,19 (4) :12 — 17.

[12] Liu L M ,Liu M. Green Volume —— a new concept in evaluating urban green spaces. *Gardens of China* ,2000 ,16 (5) 33 — 34.

[13] Zhong K ,Kang Y M ,Wang C P. Relationship between street corner design in urban plan and urban air environment. *China Environmental Science* , 2001 21 (5) 460 — 463.

[14] Li Z K ,Pan Y X ,Sun R Q. Principles of pollution meteorology in atmosphere :theories and applications. Beijing : Meteorology Press , 1985. 280 — 282.

[15] Chudamani J ,Jan D L ,Andrew K S *et al.* Remotely sensed estimation of forest canopy density :A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2006 8 (2) 84 — 95.

[16] Guan W B ,Li C P ,Li S F *et al.* Improvement and application of digitized measure on shelterbelt porosity. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2002 ,13 (6) 651 — 657.

[17] Lipfert F W ,Wyzgab R E ,Baty J D *et al.* Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects : Long-term mortality in a cohort of US veterans. *Atmospheric Environment* 2006 40 :154 — 169.

[18] Xie S D ,Zhang Y H ,Tang J Y. Dispersion Models for Vehicle Exhaust Pollutant. *Chinese Journal of Environmental Science* ,1999 20 :104 — 109.

[19] Coceal O ,Belcher S E. Mean Winds Through an Inhomogeneous Urban Canopy. *Boundary-Layer Meteorology* 2005 ,115 (1) :47 — 70.

[20] Jha P K ,Nanduri U. Biodiversity measurement in forests of various canopy density. *Indian Forester* 2003 ,129 (11) :1391 — 1394.

参考文献：

[3] 周志翔 ,邵天一 ,王鹏程 ,等. 武钢厂区绿地景观类型空间结构及滞尘效应. *生态学报* 2002 22 (12) 2036 ~ 2040.

[10] 陈芳 ,周志翔 ,肖荣波 ,等. 城市工业区绿地生态服务功能的计量评价——以武汉钢铁公司厂区绿地为例. *生态学报* ,2006 26 (7) 2230 ~ 2236.

[11] 张新献 ,古润泽 ,陈自新 ,等. 北京城市居住区绿地的滞尘效益. *北京林业大学学报* ,1997 ,19 (4) :12 ~ 17.

[12] 刘立民 ,刘明. 绿量——城市绿化评估的新概念. *中国园林* 2000 ,16 (5) 33 ~ 34.

[13] 钟珂 ,亢燕铭 ,王翠萍. 城市街口规划设计与城市空气环境的关系. *中国环境科学* 2001 21 (5) 460 ~ 463.

[14] 李宗恺 ,潘仙 ,孙润桥. 空气污染气象学原理及应用. 北京 :气象出版社 ,1985. 280 ~ 282.

[16] 关文彬 ,李春平 ,李世锋 ,等. 林带疏透度数字化测度方法的改进及其应用研究. *应用生态学报* ,2002 ,13 (6) 651 ~ 657.

[18] 谢邵东 ,张远航 ,唐孝炎. 机动车排气污染物扩散模式. *环境科学* ,1999 20 :104 ~ 109.