

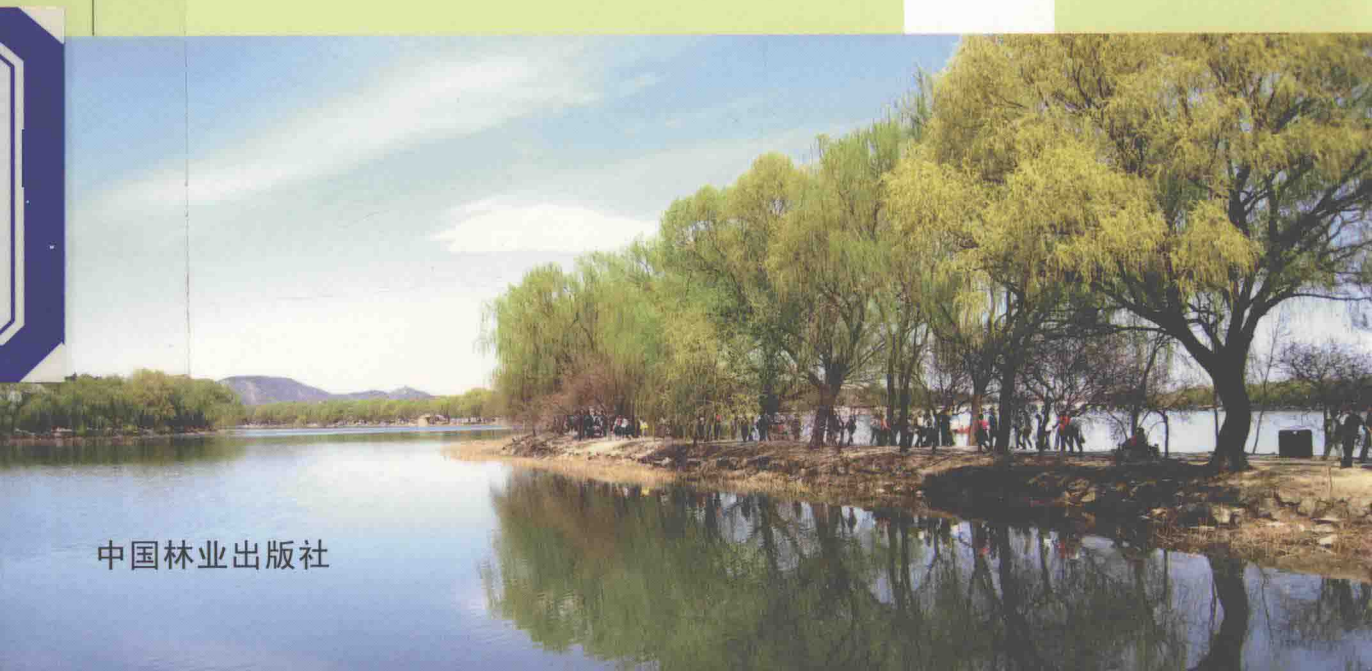
北京地区部分树种

生态功能研究

RESEARCH ON ECOLOGICAL SERVICES
OF SOME TREE SPECIES IN BEIJING

◎李少宁 鲁绍伟 孔令伟 主编

中国林业出版社



北京地区部分树种

生态功能研究

RESEARCH ON ECOLOGICAL SERVICES
OF SOME TREE SPECIES IN BEIJING

◎李少宁 鲁绍伟 孔令伟 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

北京地区部分树种生态功能研究/李少宁, 鲁绍伟, 孔令伟主编.

—北京: 中国林业出版社, 2014.10

ISBN 978-7-5038-7703-2

I. ①北… II. ①李… ②鲁… ③孔… III. ①抗污染树种—研究—北京市 IV. ①S79

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第254555号

出 版: 中国林业出版社(北京市西城区德胜门内大街刘海胡同7号 100009)

网 址: <http://lycb.forestry.gov.cn>

E-mail: cfybook@163.com 电 话: 010-83223789

发 行: 中国林业出版社

印 刷: 北京中科印刷有限公司

版 次: 2014年11月第1版

印 次: 2014年11月第1次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 7.75

字 数: 180千字

定 价: 68.00元

编委会

《北京地区部分树种生态功能研究》

主编

李少宁 鲁绍伟 孔令伟

参编

王 燕 刘春兰 韩淑伟 王晓燕 陈 波
张玉平 潘青华 石 媛 刘 斌 杨 超
赖玖鑫 王文娟 彭义杰 李建新 张 琛
王利东 聂 森 马成东 李琛泽 任翠梅
谭海霞

前言

大气是人类赖以生存和发展必不可少的环境要素之一。自 20 世纪以来,随着世界各地城市化、工业化和现代化建设进程不断加快,由人类活动引发的全球性大气环境问题日益严重。目前,大气环境污染问题及其防治措施的研究已成为国际科学领域研究的热点,纯净的空气已经成为奢侈品,对降低空气污染的研究已迫在眉睫。研究表明,大气中一次和二次混合污染物(如光化学烟雾),有机物(有机氯、多氯二苯等)与无机物(氮、碳、磷、硫等)的混合污染物,颗粒物(TSP、PM 10、PM 2.5)、颗粒携带的重金属污染物(Cu、Zn、Pb 等)、气态污染(SO_2 、 NO_x 、CO 等)的混合污染物直接或间接威胁着生态系统的稳定、安全以及人类的生存和健康。森林生态系统具有强大的净化大气环境功能,其功能发挥主要是通过植株的阻隔、过滤、滞纳、吸收、分解等过程将大气环境中的有害物质(如 SO_2 、 NO_x 、粉尘、重金属、PM 2.5、PM 10 等)净化和降解,降低环境中的噪音污染,并提供大量的空气负离子等,从而有效地提高空气质量。据中国森林生态系统定位观测研究网络(CFERN)研究表明,我国森林生态系统对大气污染物的吸收量为 0.32 亿 t/a,年滞尘量可达数十亿吨,相当于数以亿计的空气净化设备。因此,开展森林净化大气环境功能监测和评价具有重要意义,该研究结果可为相关决策部门提供理论和科学数据支持。

作者殷切希望本书的出版能够引起有关人士对该领域更大的关注和支持,并期望对从事该领域的学者有所裨益,共同将这一研究推向新的发展阶段。

本研究得到了国家林业局林业公益性行业科研专项“京津城市森林生态服务功能研究(201204108)”“森林生态服务功能分布式定位观测与模型模拟(201204101)”“森林对 PM 2.5 等颗粒物的调控功能样带观测(20130430101)”的支持,在此表示衷心的感谢。

由于本书涉及内容较多,难免有错误和不足之处,恳请读者批评指正。



2014 年 6 月

目录

第 1 章 引言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的和意义.....	2
1.3 空气负离子监测与评价的国内外研究进展.....	3
1.3.1 空气负离子国外研究现状.....	3
1.3.2 空气负离子国内研究现状.....	4
1.3.3 空气负离子的测量技术与评价方法.....	5
1.4 林木对有毒有害污染物吸滞作用研究进展.....	5
1.4.1 林木对 SO ₂ 、Cl ₂ 等有害污染物吸滞作用研究	5
1.4.2 大气重金属污染及植物叶片吸滞重金属研究进展.....	6
1.5 森林调控可吸入颗粒物功能研究进展.....	7
1.5.1 个体水平.....	7
1.5.2 区域尺度.....	8
1.5.3 展望.....	10
1.6 植物降噪研究概述.....	10
1.6.1 植物降噪的原理.....	11
1.6.2 植物及林带的相关因子与降噪效果的关系.....	12
1.6.3 环境因子对植物降噪的影响.....	12
1.7 研究目标和研究内容.....	13
1.7.1 研究目标.....	13
1.7.2 研究内容.....	13
1.8 研究方法与技术路线.....	14
1.8.1 研究方法.....	14
1.8.2 技术路线.....	15

第2章 研究地概况..... 16

- 2.1 香山公园概况..... 16
- 2.2 颐和园概况..... 17
- 2.3 植物园概况..... 17
- 2.4 南海子公园概况..... 17
- 2.5 林果所资源圃概况..... 18
- 2.6 石景山松林公园概况..... 18
- 2.7 水关长城景区概况..... 18
- 2.8 不同环路观测点概况..... 19
- 2.9 市区和空旷地概况..... 19

第3章 空气负离子分布特征及其评价研究..... 20

- 3.1 研究方法..... 20
 - 3.1.1 试验点布设..... 20
 - 3.1.2 观测方法..... 24
 - 3.1.3 评价方法..... 25
- 3.2 空气负离子浓度空间变化特征..... 26
 - 3.2.1 不同取样地点空气负离子浓度变化..... 26
 - 3.2.2 不同观测梯度空气负离子浓度变化..... 26
 - 3.2.3 不同海拔高度空气负离子浓度变化..... 27
- 3.3 空气负离子浓度时间变化特征..... 28
 - 3.3.1 空气负离子浓度年变化特征..... 28
 - 3.3.2 空气负离子浓度季节变化特征..... 28
 - 3.3.3 空气负离子浓度日变化特征..... 29
- 3.4 空气负离子浓度与环境因子关系..... 32
 - 3.4.1 不同经济林中空气负离子浓度与空气温、湿度的相关性..... 34
 - 3.4.2 不同海拔空气负离子浓度与空气温、湿度的相关性..... 35
 - 3.4.3 各观测区空气质量评价..... 37
- 3.5 小结..... 38

第4章 林木吸滞污染物功能及其评价研究..... 39

- 4.1 研究方法..... 39

4.1.1	试验方案设计.....	39
4.1.2	分析方法.....	40
4.2	同一地点不同树种吸滞污染物功能研究	41
4.2.1	经济林对污染物的吸滞能力分析.....	41
4.2.2	松林园林木对污染物的吸滞能力分析.....	48
4.2.3	水关长城各林木对污染物的吸滞能力分析.....	53
4.3	不同地点相同树种对污染物的吸滞能力分析.....	58
4.3.1	油松吸滞重金属污染能力研究.....	58
4.3.2	侧柏吸滞重金属污染能力研究.....	64
4.4	叶片中金属含量与土壤中重金属含量的相关性分析.....	69
4.5	同一林木中重金属元素对比分析.....	70
4.6	小结.....	70

第 5 章 林木滞尘能力研究..... 74

5.1	研究方法.....	74
5.1.1	树种选择.....	74
5.1.2	试验方法.....	74
5.2	叶片滞尘能力比较.....	75
5.3	小结.....	77

第 6 章 林木消减噪音效应研究..... 78

6.1	研究方法.....	78
6.2	各主要交通线路林带减噪效应比较.....	78
6.3	各主要交通线路林带噪音衰减规律研究.....	81
6.4	小结.....	83

第 7 章 城市森林内颗粒物变化特征分析..... 85

7.1	研究方法.....	85
7.1.1	样品采集及数据获取.....	85
7.1.2	PM _{2.5} 空气质量指数计算.....	85
7.1.3	数据处理.....	87
7.2	PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 质量浓度变化特征	87

7.2.1	日变化特征.....	87
7.2.2	PM2.5 与 PM10 质量浓度之间的相关性	88
7.2.3	颗粒物空气质量浓度与气象因子之间的关系.....	89
7.3	典型天气条件下 AQI 的变化特征.....	90
7.3.1	空气质量优良的天气条件下 AQI 的动态变化	90
7.3.2	空气质量污染严重天气条件下 AQI 的动态变化	92
7.3.3	AQI 与大气污染物的关系	94
7.4	结果分析.....	95
7.4.1	颗粒物质量浓度变化特征.....	95
7.4.2	气象因子对颗粒物质量浓度的影响.....	96
7.4.3	大气污染物与颗粒物浓度之间的关系.....	97
7.5	小结.....	98

第 8 章 结论与讨论..... 99

8.1	结论.....	99
8.2	讨论.....	101
8.3	展望.....	101

参考文献..... 103

第1章 引言

1.1 研究背景

环境保护与经济可持续发展已成为当今世界关注的热点问题，防护环境污染本质就是保护生产力。环境问题的解决离不开发展的支撑，二者有相辅相成的作用。

随着我国现代化建设和城市化进程不断加快，城市化水平得到不断的提高，城市规模越来越大，城市聚集程度越来越高，人口密度也越来越大。同时，城市化进程也带来了严重的负面效应，给本来就脆弱的城市生态系统带来了巨大干扰。城市化进程对城市大气环境污染（大气总悬浮颗粒物TSP、细颗粒物PM_{2.5}、可吸入颗粒物PM₁₀、重金属污染、SO₂、NO_x等）、降水和噪音等方面都产生了不容忽视的影响，导致城市大气污染加剧，酸雨、沙尘天气、雾霾天气出现的次数不断增加。

目前，我国的大气污染形势十分严峻，城市大气中总悬浮颗粒物（TSP）浓度普遍超标；细颗粒物PM_{2.5}、可吸入颗粒物PM₁₀均处在较高的污染水平；SO₂、NO_x和重金属等污染均呈现上升趋势；机动车尾气排放污染物总量也不断提高。

大气污染已威胁到我国国民的身体健康。研究表明，大气污染也给我国的经济发展带来了巨大损失，仅酸雨造成的经济损失就达到2165亿元（张建，2002），约占2002年国民生产总值的2%。严重的大气污染状况，使人们的生活质量下降，甚至使人产生一定的负面情绪，影响部分地区的社会安定。

北京作为中国首都，其城市环境污染尤其是大气污染状况形势严峻，污染物主要来源于人类活动、机动车尾气、工业生产等。大气中有毒污染物浓度偏高，严重影响了市民的生活质量。北京已被世界卫生组织列为大气污染最为严重的城市之一，大气污染问题在国际上也给中国带来了许多不良影响。

根据《重点区域大气污染防治“十二五”规划》报告中指出我国大气污染防治的重点为城市烟尘、粉尘、机动车尾气、二氧化硫和可吸入颗粒物等的污染。主要控制目标是：截止到2015年，我国污染严重区域氮氧化物的排放量下降13%，二氧化硫排放量下降12%，排放粉尘量下降10%，可吸入颗粒物年均浓度下降10%，二氧化硫年均浓度下降10%，二氧化氮年均浓度下降7%。

城市森林在维护城市生态系统建设中占有重要地位，城市生态系统的健康稳定发展离不开林木的存在，林木对大气环境的净化功能是林业生态系统不可忽视的生态功能之一，开展其发生发展规律、机理等相关研究具有重要的现实价值和意义。

植物可以通过光合作用固定 CO_2 同时释放 O_2 ，缓解温室效应；也可以吸附、吸收污染物或阻碍污染物扩散。这种作用是通过两种途径实现的，一方面林木通过叶片吸收大气中的有毒物质，降低大气中毒物的浓度；另一方面树木能使某些有毒物质在体内分解，转化为无毒物质后代谢利用（李晓阁，2005）。同时，植物叶片中的污染物含量在一定程度上可以反映出大气污染程度和植物净化能力的强弱。

因此，积极开展不同树种净化大气环境能力（如提供负离子、吸收污染物、阻滞粉尘、杀灭病菌和降低噪声等）的相关研究，可以为林木资源保护提供科学依据，进一步从森林生态系统的结构和功能出发探讨防治环境污染的有效措施，从而为北京市选择优良的生态、经济兼用型树种和绿化树种、推动城市林业更好地发展提供科学数据和理论依据。

1.2 研究目的和意义

生态系统的分解功能相当于生态系统的自然净化能力，能够使人类活动产生的各种有机废物在一定程度上得到分解，从而保持环境的清洁、舒适。研究表明，大气中污染物主要为 SO_2 、HF、 Cl_2 、 NO_x 等有毒、有害气体和固体颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} ）等，这些污染物可通过直接或间接的方式对环境和人类的身体健康产生不良影响。植物作为生态系统的一部分，可通过过滤、吸收、阻隔、分解、吸滞等一系列生理生化过程，使环境中的部分废弃物得以降解和净化，从而达到净化环境的目的。绿色植物净化环境的作用还包括吸尘、杀菌、降低噪音、释放有益健康的空气负离子等。北京城市大气污染严重，亟待开展植物修复吸滞功能的相关研究工作。因而，本研究在北京市区和郊区的不同区域，选取主要常见绿化树种和经济林树种等为研究对象，测定分析其对城市大气污染物的吸滞修复能力，为科学合理地选择净化能力较强的绿化树种提供一定的数据和理论依据。开展林业生态系统净化大气环境相关研究，可以深入探讨林业在一个地区、一个国家乃至全球经济发展与人类生存环境矛盾中的重要作用，具有深远意义。本研究依

托先进科学仪器设备（如离子色谱仪、ITC-201A型智能便携式空气负离子测试仪、液相色谱、CEL-320、电感耦合等离子体质谱ICPMAS、安徽蓝盾公司生产的PM2.5和PM10实时浓度监测仪等）开展相关科研工作，使研究的准确性和科学性得到最大保障，从而大大提高技术含量，获得可靠的研究成果，为政府部门决策提供基础数据。

本研究将丰富我国在林木净化大气环境方面的基础性工作，并在一定程度上加深对林木净化功能方面的认识，对揭示自然背景下林木生态功能特征、不同植物抗性机制具有重要意义，能够引起国内外同行的重视。研究成果还将为评价城市林木的生态价值和生态补偿机制的建立与实施提供基础数据和科学依据。

1.3 空气负离子监测与评价的国内外研究进展

近年来，随着工业化和城市化的迅猛发展以及人们生活水平的提高，人们对生活质量的追求也在不断的提升，向往宁静、舒适和清新的生活环境。因此，大多数人选择前往自然保护区等环境优良的地方旅行，享受生活。环境优良的地方空气负离子也较多，而较多含量的空气负离子能够提高人体免疫能力，对某些疾病具有良好的治疗效果（夏廉博，1984；邵海荣，2000；石强，2004）。为此，开展空气负离子研究现状、作用等研究越来越受到人们的重视。

1.3.1 空气负离子国外研究现状

目前，国外对于空气负离子研究方向主要为负离子对人、动物、植物等的生物学作用，多应用于医疗、保健方面。

自1892年来自德国学者Sehap发现了空气中存在带电现象，1898年英国学者Wilson和法国学者Elster（1898）和Geitel（1899）相继证实了空气中负离子和正离子的存在（姚成胜，2005），以此标志着人们正式开始对空气负离子进行研究。

1889年Elster第一次发现了空气中存在负离子，1902年Aschkinass等肯定了空气负离子的生物学意义；1932年美国CRA公司的汉姆逊发明了世界上第一台医用空气负离子发生器。从此，空气负离子研究在欧、美、日各地区开始普及。20世纪以来有关空气负离子的研究经历了3次浪潮，分别为30、50、70年代（王层林，2003；徐昭晖，2004）。20世纪70~80年代对空气负离子的研究方向主要转移到空气负离子对细菌、原生动物、昆虫、动物、植物和人类的生物学作用等方面，且在学术界引发了一系列的争论。近10多年来（20世纪90年代开始），中国、俄罗斯、美国、加拿大、日本、德国、丹麦、英国、希腊、波兰和罗马尼亚（Hideo，2002；Ryushi，1998）等国逐步开展了对空气负离

子的相关研究工作。研究领域主要包括空气负离子对生物体的生物学效应、应激反应、听力、免疫力和环境中空气负离子测量等(刘勇, 1991)。

Oriental Detox利用正离子和负离子渗透皮肤, 研究细胞膜的通透性与带电离子之间的关系, 当正离子透过皮肤表面时, 皮肤表面的汗腺和毛孔会随之紧缩, 而当负离子通过时, 皮肤表面的汗腺和毛孔会随之扩张, 表明细胞膜能够进行新陈代谢。以此推断, NAI(空气负离子)具有提高细胞原型质膜的通透性、强化代谢过程和增强人体免疫力的作用。

Suzuki在正常条件下和NAI条件下对大鼠的生理反应进行研究, 发现NAI具有显著降低血压和心率等作用, 但是将大鼠的迷走神经割断后, 发面NAI对降低血压和心率方面不起作用。因此, 科研人员推断NAI对生物机体的影响可能是通过迷走神经调解而发挥作用。

Kosenko选取老鼠、牛、人与鸭的血浆红细胞胞液中超氧化物歧化酶(SOD)为研究对象, 在NAI条件下对SOD进行预处理后进行孵化, 然后测量其活性, 孵化后发现了 $0.5\sim 1.0\text{mmol/L}$ 的 H_2O_2 。结果表明, 一定浓度范围的 H_2O_2 能够使SOD活性得到加强。据此推断NAI的生物学物理机制主要与形成的 H_2O_2 有关。

1.3.2 空气负离子国内研究现状

国外对于负离子的研究比较深入, 而国内由于研究起步较晚, 其研究方向主要集中在浓度测定方面, 并没有深入研究负离子的生物学效应。

以夏廉博研究的关于大气负离子对人体生物学效应为标志(夏廉博, 1981), 我国开始了对空气负离子的研究; 我国对空气负离子的研究热潮为20世纪80年代初和90年代(毛辉青, 1996; 鲁彦, 2000)。随着科技水平的不断提升、医学的不断发展和相关测试仪器的不断完善, 对推动空气负离子机理研究有明显的作用。

目前, 我国对空气负离子的研究主要在空气负离子的浓度方面比较深入。如吴楚材(2001)研究报道空气负离子浓度在夏季最高, 秋季高于春季, 冬季最低。姚成胜(2005)对长沙岳麓山空气负离子浓度进行检测也得出了相同的结论。而王层林(2003)、徐昭晖(2004)、金梅(2005)分别对黄山、合肥等地空气负离子浓度进行测定, 结果均表明空气负离子浓度夏季最高, 春季次之, 冬季最低。石强(2002)等利用在不同森林环境中测得的大量空气负离子浓度数据, 采用标准对数正态变换法, 制定出森林环境中空气负离子浓度的分级评价标准。并将森林环境中空气负离子浓度水平分为6个等级, 即大于 $3000\text{个}/\text{cm}^3$ 为I级, $2000\sim 3000\text{个}/\text{cm}^3$ 为II级, $1500\sim 2000\text{个}/\text{cm}^3$ 为III级, $1000\sim 1500\text{个}/\text{cm}^3$ 为IV级, $400\sim 1000\text{个}/\text{cm}^3$ 为V级, $400\text{个}/\text{cm}^3$ 以下为VI级。王继梅(2004)对空气负离子和负离子材料进行了比较系统的实验研究。结果表明, 负离子浓度随温度和湿度的升高而升高, 其中湿度对其影响更明显。

1.3.3 空气负离子的测量技术与评价方法

(1) 空气负离子的测量技术

空气负离子的浓度以 1cm^3 空气中含有的空气负离子的数量来表示,单位为“个/ cm^3 ”。目前,可用于测量空气负离子的仪器主要有美国DEV公司生产的BECKETT型、Moody便携式型空气离子测定仪;日本生产的KEC-8002型空气离子测定仪以及ITC-201A型空气离子测量仪(吕健,2000)。

国内对负离子测量仪器的研究于20世纪80年代后期展开,主要有福建连藤电子有限公司和中南林业科技大学森林旅游研究中心生产的DLY系列(赵雄伟,2007)。其测定原理大多是电容式空气离子收集器收集空气离子携带的电荷,通过测量这些电荷形成的电流和取样空气流量,再换算出离子浓度(石强,2002)。

(2) 空气负离子的评价方法

随着森林生态旅游的兴起及人们保健意识的增强,空气负离子作为一种重要的森林旅游资源已越来越受到人们的重视,有关空气负离子的评价成为众多学者的研究内容。而空气负离子的科学评价必须以科学评价模型和标准为基础(石强,2004)。

关于空气负离子的评价方法,目前国内外尚无统一的标准。通常采用的有单极系数、空气离子舒适带(英国)、重离子与轻离子的比、安培空气离子评价系数(日本)和空气离子相对密度(德国)。其中,单极系数(q)是指空气中正、负离子的比值,即 $q=n^+/n^-$ 。许多学者认为,当 $q\leq 1$ 时,才能给人以舒服感。安培空气离子评价系数(日本)(CI), $CI=n^-/1000q$, n^- 为空气负离子, CI 值要大于或等于0.7(王层林,2003),空气才为清洁。

我国学者石强(2004)提出了空气负离子系数的概念, $p=n^-/(n^-/n^+)$,同时提出了森林空气离子评价模型: $FCI=p\times n^-/1000$,并利用此模型分析研究了大量在森林环境中测得的空气离子浓度数据,采用标准对数正态变换法,制定出了森林游憩区空气负离子分级标准(SGFA)及评价指数分级标准(EISGFA)。

目前,这些空气离子评价指标中,最常用的是单极系数和空气离子评价系数,在国内外许多研究中已成功应用(Blackwood,1995;鲁彦,2000;梁星权,2001)。

1.4 林木对有毒有害污染物吸滞作用研究进展

1.4.1 林木对 SO_2 、 Cl_2 等有害污染物吸滞作用研究

植物主要通过自身的抗性和避性对外界环境中污染物产生抵抗作用。避性的作用机

理主要是通过一系列生理生化过程将有毒物质进行降解或直接排出体外；抗性主要是指植物的一些特定器官忍耐有毒物质的能力。有研究表明，一些植物主要是通过避性作用来抵御有毒物质，如银杏（*Ginkgo biloba*）对氟污染物的抵抗能力就是通过避性作用发挥的；而榆树（*Ulmus pumila*）则主要通过耐性作用对氟产生较高的抗性（王太明，2005）。因此，不同类型的植物对外界不同环境的抵抗方式和抵抗能力是不一致的，甚至单株水平也表现出不同抗性能力。

当大气污染物处于一定浓度的范围时，植物对此具有一定的抵抗能力，并且还在一定程度上对污染物具有吸附功能。植物对污染物的吸附作用主要是通过叶片气孔以及枝条皮孔将环境中的污染物吸收，并在体内经过一系列的降解作用转化成无毒物质，或积累于器官内，或通过根系分泌物直接将污染物排出体外，在一定程度上起到了净化大气环境的作用。植物种类的不同，其生态功能的发挥具有一定的差异，在保护环境功能上也存在明显的差异。运用生态学中相互统一的原理，在污染严重的地区栽植多种净化能力较强的树种，从而达到净化环境的目的（江苏省植物研究所，1997）。目前，大多研究主要是通过人工模拟熏气方法，研究和探讨绿化树种对大气主要污染物的吸收净化能力，而对自然状态下林木的净化吸滞功能研究较少。

1.4.2 大气重金属污染及植物叶片吸滞重金属研究进展

近年来，随着城市人口不断膨胀、工业迅猛发展、石油和煤炭燃料的使用量不断增长，使人类赖以生存的大气环境遭到破坏，尤其是在大城市和特大城市中，空气污染严重。而在大气污染中大气颗粒物的危害比较大（Kam, 2011; Cheng, 2008; Aarnio, 2005; Chan, 2002）。大气颗粒物组成成分也比较复杂（谢华林，2002），其主要成分包括水溶性离子（ NO^- 、 SO_4^{2-} 等）、有机颗粒物（NAPHS、PAHS等）、碳元素颗粒（PEC）以及微量重金属元素（Cu、Pb、Zn等），而重金属元素因其毒性和生物富集，其行为机理方面成为国内外学者研究的热门主题（罗莹华，2006）。目前，国内外对大气重金属的研究主要集中在以下几个方面：大气重金属来源（刘爱明，2011；方凤满，2010；Hu，2009）；大气重金属的污染特征与危害（沈轶，2002；Das，1995；Gleyzes，2002）；大气重金属源解析（戴树桂，1995；邢琪，1995；胥晓瑜，2001；宋宇，2002）；大气重金属检测方法（邹本东，2007；Boevski，2000；Wang，1989；El，2000）；重金属浓度分布特征（王章玮，2005；祁建华，2003）。众所周知，大气重金属具有严重的危害性，而对于大气重金属治理难度较大。众多研究表明（Alfani，1996；马跃良，2001；庄树宏，2000；任乃林，2004；王成，2007）植物叶片对大气重金属具有一定的吸滞能力。因此，植物叶片对于大气重金属具有一定的调控功能。而目前对于植物叶片吸滞大气重金属的研究深度还比较浅显，主要是集中在研究叶面尘和叶片中重

金属分布,而对于叶片吸滞重金属的生理过程和生态响应机制方面缺乏深入了解。

1.5 森林调控可吸入颗粒物功能研究进展

近年来,气溶胶作为影响环境的重要因素和危害人类健康的环境污染物,得到广泛关注。细颗粒物(PM_{2.5})和可吸入颗粒物(PM₁₀)是气溶胶的重要部分。PM_{2.5}和PM₁₀对环境的影响包括改变大气辐射平衡、降低可见度、危害森林和农作物、改变海岸带或流域养分平衡、降低土壤营养水平、降低生态系统生物多样性等,而森林对PM_{2.5}和PM₁₀具有一定的调控作用。

森林可通过覆盖地表减少PM_{2.5}和PM₁₀来源(减尘作用)、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}和PM₁₀(滞尘作用)、降低风速促进PM_{2.5}和PM₁₀沉降(降尘作用)、改变风向阻拦PM_{2.5}和PM₁₀进入局部区域(阻尘作用)等途径去除PM_{2.5}和PM₁₀,从而发挥着净化大气环境的功能(Beckett, 2000; Nowak, 2007; Guo, 2008)。因此,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_{2.5}和PM₁₀的一项重要措施。但是,由于树种和林木结构的差别,林木滞留PM_{2.5}和PM₁₀功能可能存在较大差异。目前国内外相关研究主要围绕区域尺度上森林去除PM₁₀速率、影响因素及评价方法等,而对森林去除PM_{2.5}的研究较少,尤其是结合植被信息、气象条件和颗粒物浓度水平等综合评价森林去除PM_{2.5}和PM₁₀的研究较为缺乏。因此,为揭示森林对大气中PM_{2.5}和PM₁₀的阻滞吸收规律,建立相关的生理生态调控理论,采用植物解剖学、生理生化技术、细胞学、同位素技术等方法,从细胞、组织、器官及个体水平上研究林木对PM_{2.5}和PM₁₀阻滞、吸收、代谢与转化等生理生态响应过程等亟待加强。

1.5.1 个体水平

(1) 研究方法

过滤称重(Freer-Smith, 2005; Wang, 2006; Wang, 2010)方法在分析过程中会损失挥发性和半挥发性颗粒物的质量,且无法直接获得叶片对PM_{2.5}和PM₁₀阻滞量。因此,迫切需要在方法学上进行创新。由林业公益性行业科研专项“森林对PM_{2.5}和PM₁₀等颗粒物的调控功能与技术研究(20130430101)”项目提出量化森林去除PM_{2.5}和PM₁₀的最新方法——气溶胶再发生系统,对于证实与量化森林去除PM_{2.5}和PM₁₀颗粒物作用具有里程碑的意义。其方法为:生长季每次大雨后、连续几个晴天后,从树冠各部位采集叶片,将叶片放于采样瓶。采用研制的气溶胶再发生器(QRJZFSQ),配合混合

器和电荷中和器,控制流速,将叶片阻滞的颗粒物吹起,用颗粒物采样器采集样品,最后称取滤膜质量变化,从而得到PM_{2.5}和PM₁₀质量,并可进一步分析其组成和来源。

(2) 影响因素

大气中PM_{2.5}和PM₁₀浓度、气象因子以及树木生物学特征是决定树木去除功能的主要因素(Qu, 2010)。这方面研究的主要观点有:①由于冠层结构、树龄等因素的影响,不同树种去除PM₁₀和PM_{2.5}作用不同。如:海岸黑松(变种)(*Pinus nigra* var. *maritima*)、杨树(美洲黑杨与毛果杨的杂交种)(*Populus deltoides* × *P. trichocarpa*)、栓皮槭(*Acer campestre*)、杂交金柏(*Cupressocyparis leylandii*)和中间型花楸(*Sorbus intermedia*)去除颗粒物的最高效率分别为2.8%、0.12%、0.06%、1.22%和0.21%,海岸黑松复杂树冠结构导致其去除颗粒物的效率较高(Nowak, 2007);芝加哥健康大树(胸径大于70cm)去除污染量是小树(胸径小于7cm)的60~70倍(Nowak, 1994)。②风速显著影响树木吸收阻滞颗粒物的功能。如树木吸收阻滞颗粒物速率随着风速升高而增大,达到峰值后略有下降;树木吸收阻滞颗粒物速率和效率与风速之间的关系差异显著(Nowak, 2007)。

研究表明,从树木生物学特征、气象因子和大气颗粒物浓度等方面评价树木去除PM_{2.5}和PM₁₀的研究很多,但是缺乏综合评价,难以确定树种吸收阻滞PM_{2.5}和PM₁₀能力的阈值,进而选择吸收阻滞PM_{2.5}和PM₁₀能力强的树种。此外,PM_{2.5}和PM₁₀由树木气孔进入组织,并通过体内的输导系统被积累、吸收、分解和代谢的生理过程,PM_{2.5}和PM₁₀经雨水洗刷等途径进入土壤后再被树木吸收的生理过程以及树木的生理响应机制尚未进行系统的研究。

1.5.2 区域尺度

(1) 研究方法

区域尺度上,评价森林去除PM_{2.5}和PM₁₀主要有两类方法。第一类方法将个体尺度上测定的PM_{2.5}和PM₁₀去除量通过尺度转换获得区域尺度上去除量。此类方法的主要问题在于PM_{2.5}和PM₁₀时空异质性以及树木个体差异较高,从个体到区域尺度转换过程中产生较大误差。因此,应用此类方法需要大量取样。第二类方法是采用整合植被信息、气象条件和颗粒物浓度水平的模型,如城市森林作用模型(the urban forest effects model)(Nowak, 2000)、高精度大气多物质交换模型(fine resolution atmospheric multi-species exchange model)(Bealey, 2007)、整合空气扩散和森林去除颗粒物的模型(ADMS-Urban)(Tiway, 2009)等,评价区域尺度上森林去除PM₁₀。国内外57个典型城市森林年去除PM₁₀总量和速率如图1-1所示,从中可以总结出:①区域尺度上森林去除PM₁₀潜力大、变异性高,如城市森林年去除PM₁₀总量变化范围7~3570t,年去除