

森林治污减霾功能研究

——以北京市和陕西关中地区为例

牛 香 薛恩东 王 兵 编著
张维康 党景中 姜 艳



科学出版社

森林治污减霾功能研究

——以北京市和陕西关中地区为例

牛 香 薛恩东 王 兵 编著
张维康 党景中 姜 艳

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以北京市和陕西关中地区为例,基于生态连清技术,采用分布式测算方法,研究了不同森林植被吸收气体污染物及滞纳空气颗粒物的能力。书中第1章介绍了森林治污减霾的基本范畴、国内外研究进展等;第2章介绍了森林治污减霾功能生态连清体系的构建;第3章针对森林滞纳颗粒物监测方法的构建,对比了不同测试方法的研究结果;第4章研究了陕西关中地区2010~2015年造林规划实施以来森林植被在治污减霾中的作用;第5章研究了北京市现有森林植被吸滞空气污染物的功能量,并对北京市百万亩造林规划提出了造林树种建议;第6章阐释了森林治污减霾的特征,并对未来森林植被在治污减霾中的功能进行了展望。

本书可供森林生态学及大气环境科学研究人员和相关的管理部门人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

森林治污减霾功能研究:以北京市和陕西关中地区为例/牛香等编著.—北京:科学出版社,2017.4

ISBN 978-7-03-051920-7

I. ①森… II. ①牛… III. ①森林-关系-空气污染-污染防治-研究-北京 ②森林-关系-空气污染-污染防治-研究-陕西 IV. ①S718.5 ②X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 040112 号

责任编辑:张会格 夏 梁 / 责任校对:钟 洋

责任印制:张 倩 / 封面设计:刘新新

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年4月第一次印刷 印张:9 1/4

字数:187 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《森林治污减霾功能研究——以北京市和陕西关中地区为例》项目组

完成单位:

中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所
陕西省林业厅
陕西省林业调查规划院

野外工作与数据测算组:

房瑶瑶	李 洋	董军录	董 熙	陈明叶	邢聪聪
董玲玲	高荣年	闫继斌	郑宏伟	李晓艳	王 丹
陈 波	石 媛	刘 斌	刘祖英	宋庆丰	师贺雄
王晓燕	孔令伟	曾 楠	丛日征	王 慧	高志强
张维康					

报告编写组:

牛 香	薛恩东	王 兵	张维康	党景中	宋庆丰
于军胜	房瑶瑶	王雪松	陈 波	师贺雄	郭 慧
王 丹	刘祖英	魏文俊	殷 杉	潘勇军	王 磊
管清成	杨会侠	李明文	姜 艳	丁访军	马平安
石玉林	王华青	刘春江	高 鹏	鲁绍伟	李少宁
李俊生	谷建才	周 梅	魏江生	刘胜涛	张 阳
徐丽娜	王学文	彭 巍	秦建明	杜鹏飞	梁立东
骆媛媛	郭文霞	黄龙生	付 吟	陶玉柱	张金旺
张玉龙	刘云超	刘胜涛			

当前和今后陕西省林业在治污减霾、改善生态环境方面的任务和行动*（代序）

当前和今后一个时期，陕西林业将以建设美丽陕西、推进生态文明为重任，加快造林绿化步伐，加大资源保护力度，努力实现省委省政府提出的“关中大地园林化、陕北高原大绿化、陕南山地森林化”的生态建设战略目标。

在治污减霾方面，2013年省林业厅制订并实施了《关中城市群治污减霾林业三年行动方案》，具体讲要抓好以下10项重点工作。

一是确定全省林业生态建设任务指标。三年时间内造林1200万亩**，恢复保护湿地220万亩，治理荒沙300万亩，森林覆盖率提前达到45%。

二是大力实施军民共建生态林。以黄土高原、黄河峡谷、中国林博园、秦岭中央公园、陕西省苗木中心园区为重点，大力营造“八一”林、“双拥”林、“生态文化”林。

三是建设黄河千里绿带示范区。两年建成韩城龙门至潼关，宽1km、长200km的黄河绿带示范区，中远期完成府谷至潼关的黄河大峡谷千里绿带。

四是建设关中地区两个“百万亩”生态系统。在县城周边形成千亩林，市级城区周边形成万亩林，建设平原森林百万亩；依托河流、湖泊、水库，加强湿地自然保护区和湿地公园保护建设，保护恢复湿地百万亩。

五是建设黄土高原两个“百万亩”生态基地。在黄土高原大力推进百万亩樟子松基地建设，提高常绿树种比例；全速推进百万亩野樱桃基地建设，为开发沙区绿色能源林奠定好基础。

六是建设1000万亩木本油料基地。扩大野樱桃、牡丹、油茶、核桃、花椒、文冠果、元宝枫种植面积，形成1000万亩木本油料基地林。

七是实施退耕还林工程、天然林保护工程、三北防护林工程、京津风沙源治理二期工程和我省林业治污减霾三年行动方案确定的重点工程，改善缺林少林地区的绿化现状，扩大森林面积；在全省形成布局合理、结构良好的防护林体系。

* 摘自陕西省林业厅副厅长王建阳在《陕西省关中治污减霾功能评估报告》发布会上答记者问，根据陕西网络广播电视台发布的视频文件整理（http://www.snrtv.com/content/2014-11/03/content_11789056.htm?COLLCC=298229082&）

** 1亩≈666.7m²，下同



八是加强古树名木、野生动植物的保护工作，加快、加强对湿地的保护，搞好森林防火和森林病虫害防治工作，防止森林乱砍滥伐现象的发生，加大现有资源保护的工作力度。

九是研究森林资产保护生态资源，让生态文明和美丽陕西向具体化、数字化、价值化发展。

十是弘扬生态文化，开展中小學生“走进森林、感受自然”活动，让生态文明理念深入人心。

陕西省森林面积不断增加，但近年来雾霾天气却越来越严重的原因*（代序）

关中地区生态环境和林业生态建设发展之间的关系是广大民众非常关心的问题，也是关系到政府执政为民理念如何更好落实的问题。一方面，今天生态环境的恶化是历史遗留问题。过去人类在工业文明和农业文明的发展上取得了非常辉煌的成就，但是忽略了环境问题。随着社会进入到科学发展阶段，反思历史，我们深刻认识到经济发展对环境造成的严重污染和破坏问题。因此，把生态文明建设融入到政治、经济、社会、文化建设中，形成“五位一体”的发展理念，是非常正确和高瞻远瞩的。此外，由于经济发展的调整，全国工业布局向西部倾斜。人口增长、机动车数量增加等原因使得污染排放超出了生态系统短期内能够治理的能力，我们的积极治理并不能在短期内把历史积累问题彻底解决。例如，2000～2012年，关中地区民用汽车总量由28.05万辆增加到222.56万辆，增长了近7倍。特别是目前我们的经济还在增长，民生也在改善，同时，为了我国东、西部的平衡发展，很多工业也在向西部转移，形成经济腾飞的新增长点，这种宏观布局调整也会给关中地区环境治理带来更大压力。我认为治理是会持续坚持，始终要进行的，但是要见效，一是要在治理上加大力度，二是在生活习惯或经济发展方式上，加强节能减排也很重要。因此，增加生态产品产量，提升森林和湿地的生态系统服务功能，同时加强节能减排，这样我们希望生态环境好转的愿望可能就会更快实现。研究数据说明，我们林业的治污减霾成绩是显著的，但还需要多方面的协调匹配。

另一方面，我们在森林和湿地生态建设方面取得了很大的进展，但是生态系统恢复不是一朝一夕的事。森林要从幼龄长到成熟，森林生态系统的服务功能才能达到较高水平。森林、湿地生态系统服务功能的恢复需要一个过程，其功能要发挥到较高水平，还需要生态系统生物多样性达到一定的旺盛生理代谢状态，才能有更好的治污减霾效果。我们的生态建设是最近一二十年才开始逐渐加大力度

* 摘自尹伟伦院士在《陕西省关中治污减霾功能评估报告》发布会上答记者问，根据陕西网络广播电视台发布的视频文件整理（http://www.snrtv.com/content/2014-11/03/content_11789056.htm?COLLCC=298229082&）



的，生态系统恢复还处在初期阶段，至少要再经过二十年的时间，才能发挥更强大的功能。

从本次的科学评估也能够看出，林业治污减霾功能具有很大的提升潜力。只有通过加大生态治理的力度，增加森林面积，提升森林质量，同时加强节能减排，促进经济发展与生活等方面的协调匹配，才能加快达到理想愿景的步伐。

前 言

随着经济的快速增长,我国城市化进程逐渐加快,城市人口迅速膨胀,导致能源消耗规模不断增加,空气污染已成为区域性环境问题,严重危害着人类健康。例如,高浓度空气颗粒物、二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等污染物能够引起呼吸系统症状,增加肺部阻塞的危险性(范春阳, 2014; Li *et al.*, 2004; Burtraw *et al.*, 2003);空气颗粒物,尤其是细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)等,具有强散射作用,会引起大气能见度降低,也是导致雾霾天气发生的重要诱因(尚倩等, 2011; 吴兑等, 2007);由于其不仅本身是污染物,还是其他有毒有害污染物的载体,因而备受社会各界广泛关注。因此,对空气污染带来的新问题进行全面、系统、深入的研究,为解决空气污染问题提供翔实的数据支撑已迫在眉睫。

目前,减少空气污染物主要有两条途径:一是控制污染物排放源,如减少工厂“三废”的排放,改变能源结构,减少汽车数量等;二是通过森林植被的吸收、滞纳、减缓传播速率、改变传播方向等途径,降低空气污染物浓度。相对于第一条途径成本高、影响经济发展等特点,第二条途径具有成本低、代价小、综合效益高等优点。因此,人们越来越清晰地认识到森林在净化大气环境中的作用。例如,与城市其他类型下垫面相比,森林具有更大的吸附表面积和更强的湍流,因而能够提高颗粒物沉降速率并增加其沉降在叶片表面的概率(McDonald *et al.*, 2007; Fowler *et al.*, 2004);同时,森林植被能够有效吸收空气中的 SO_2 、 NO_x 及臭氧(O_3)等气体污染物(Smith, 1984),降低二次气溶胶的形成(Amann *et al.*, 2013);此外,森林植被还可以通过释放氧气、负离子、有机挥发物等方式(栗娟等, 2005),达到进一步改善环境空气质量的重要作用。为了阐释森林生态系统的主要功能,凸显森林在大气污染防治行动计划中的作用,本书以北京市和陕西关中地区(以下简称“关中地区”)为例,开展森林治污减霾功能的研究。

北京市作为首都,是全国政治、文化中心,也是我国城市化快速发展的典型。自2008年奥运会以来,空气污染日趋严重,雾霾频发,已成为危害北京市空气质量的最严重因素。

陕西关中地区是我国西部唯一的高新技术产业开发带和星火科技产业带,目前已形成了高等院校、科研院所、国有大中型企业相对密集且能够辐射西北经济发展的产业密集区,是全国产业布局的重点区域(储伶俐和郭江, 2011)。近年来随着工业化和城市化进程的快速推进,关中地区大气污染日益严重,区域性及复



合性大气污染问题日益突出,灰霾天气出现的频率逐年增加,目前成为全国大气污染较严重的地区之一。

本书通过森林治污减霾连清体系的构建,采用分布式测算方法,分别在北京市和陕西关中地区建立了 2720 个和 1190 个均值化测算研究单元。同时在满足代表性、全面性、简明性、可操作性及适应性等原则的基础上,选取了 9 个指标,包括森林提供负离子、吸收二氧化硫、吸收氟化物、吸收氮氧化物、固碳、释氧、滞纳总悬浮颗粒物(TSP)、滞纳可吸入颗粒物(PM_{10})、滞纳细颗粒物($PM_{2.5}$),对北京市和关中地区森林植被治污减霾功能进行研究,主要结果为:①关中地区 2010~2015 年造林树种滞纳 TSP、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的量分别为 $7.2444 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $5.8070 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $1.0522 \times 10^6 \text{ kg/a}$,提供负离子个数为 5.9540×10^{23} 个/a,吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物的量分别为 $4.6756 \times 10^7 \text{ kg/a}$ 、 $6.2700 \times 10^5 \text{ kg/a}$ 、 $1.6196 \times 10^6 \text{ kg/a}$,固碳、释氧的量分别为 $1.6680 \times 10^5 \text{ t/a}$ 和 $2.0930 \times 10^5 \text{ t/a}$;②北京市现有森林植被每年滞纳 TSP、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ 的量分别为 $4.5128 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $2.7413 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $1.0761 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $1.5990 \times 10^5 \text{ kg/a}$,提供负离子个数为 2.7005×10^{24} 个/a,吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物的量分别为 $5.7467 \times 10^7 \text{ kg/a}$ 、 $1.5791 \times 10^6 \text{ kg/a}$ 、 $2.6641 \times 10^6 \text{ kg/a}$,固碳、释氧的量分别为 $1.0320 \times 10^6 \text{ t/a}$ 和 $2.4216 \times 10^6 \text{ t/a}$ 。

上海交通大学刘春江教授、山东农业大学高鹏教授、北京市农林科学院鲁绍伟研究员和李少宁副研究员、中国环境科学研究院李俊生研究员和王效科研究员、中国林业科学研究院郭泉水研究员、河北农业大学谷建才教授、中国科学院沈阳应用生态研究所代力民研究员、东北林业大学蔡体久教授和陈祥伟教授、内蒙古农业大学周梅教授和魏江生教授等均认真阅读了本书的相关章节并提出了宝贵建议,在此也一并表示特别感谢。

由于空气污染物,特别是空气颗粒物的相关研究正处于快速发展时期,书中难免存在不足,敬请读者不吝批评指正。

编著者
2016 年 2 月

特 别 提 示

1. 本研究所提及的森林治污减霾功能是指森林生态系统通过吸附、吸收、固定、转化等物理和生理生化过程,实现对空气颗粒物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 TSP 等)和气体污染物(SO_2 、CO、HF、 NO_x 等)的消减作用,并能够提供空气负离子、吸收二氧化碳(CO_2)、释放氧气(O_2),从而达到改善区域空气质量的能力。

2. 本研究依据森林生态系统治污减霾功能连续观测与清查体系(简称“森林治污减霾功能连清体系”),基于分布式测算方法,对陕西关中地区和北京市森林治污减霾功能的物质量进行测算研究。其中,关中地区的研究区包括宝鸡市、杨凌区、西安市、渭南市、铜川市、韩城市、咸阳市;北京市的研究区包括东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区、门头沟区、房山区、通州区、顺义区、大兴区、昌平区、平谷区、怀柔区、密云县和延庆县。

3. 本研究所采用的数据源包括:①森林治污减霾功能生态连清数据集:北京市城市森林环境监测站、关中地区及周边森林生态站和辅助观测点的长期连续观测数据;②森林资源连清数据集:截至 2014 年的陕西省森林资源二类调查数据,北京市第七次森林资源连续清查数据。

4. 依据中华人民共和国林业行业标准——《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721—2008),针对不同地域和优势树种(组)开展森林治污减霾功能的评估测算研究,评估指标包括固碳、释氧、滞纳 $\text{PM}_{2.5}$ 、滞纳 PM_{10} 、滞纳 TSP、提供负离子、吸收二氧化硫、吸收氟化物、吸收氮氧化物。

5. 当用现有的野外观测值不能代表同一生态单元同一目标林分类型的结构和功能时,为更准确获得这些地区的生态参数,本研究引入了森林生态功能修正系数,以反映同一林分类型在同一区域的真实差异。

凡是不符合上述条件的其他研究结果均不宜与本研究结果简单类比。

目 录

第 1 章 森林治污减霾功能研究进展	1
1.1 目的意义	1
1.2 概述	1
1.3 国内外研究进展	3
1.3.1 国外研究进展	3
1.3.2 国内研究进展	7
1.3.3 小结	10
1.4 森林治污减霾功能方法学研究	11
1.4.1 森林吸收气体污染物方法学研究	11
1.4.2 森林滞纳空气颗粒物方法学研究	11
1.4.3 小结	16
第 2 章 森林治污减霾功能生态连清体系构建	18
2.1 野外观测连清体系	19
2.1.1 观测体系布局	19
2.1.2 森林环境空气质量监测站建设	20
2.1.3 观测标准体系	34
2.1.4 观测数据采集与传输	34
2.2 分布式测算研究体系	35
2.2.1 测算研究指标体系	36
2.2.2 数据源耦合集成	37
2.2.3 森林生态功能修正系数	38
2.2.4 计算公式和模型包	38
第 3 章 森林滞纳颗粒物功能监测方法构建	41
3.1 野外样地调查和样品采集	41
3.1.1 树种选择	41
3.1.2 样品采集	41
3.1.3 叶面积指数调查	43
3.2 森林滞纳空气颗粒物功能监测方法研究	46
3.2.1 叶片尺度滞纳空气颗粒物功能方法学研究	46
3.2.2 林分尺度滞纳颗粒物功能方法学研究	48
3.3 小结	52



第4章 陕西关中地区森林治污减霾功能研究	54
4.1 陕西关中地区概况	54
4.1.1 自然地理概况	54
4.1.2 环境质量概况	55
4.2 陕西关中地区森林资源概况	58
4.2.1 陕西关中地区森林资源现状	58
4.2.2 陕西关中地区 2010~2015 年造林规划	59
4.3 陕西关中地区森林治污减霾功能研究	61
4.3.1 不同优势树种(组)治污减霾功能研究	61
4.3.2 关中地区各研究区治污减霾功能量变化特征	63
4.4 陕西关中地区造林工程治污减霾功能研究	63
4.4.1 关中地区 2010~2012 年造林工程治污减霾功能研究	63
4.4.2 关中地区 2013~2015 年造林规划治污减霾功能研究	71
4.4.3 结论	77
4.5 陕西关中地区造林建议	79
4.6 讨论	79
第5章 北京市森林治污减霾功能研究	81
5.1 北京市概况	81
5.1.1 自然地理概况	81
5.1.2 社会经济状况	83
5.1.3 环境质量概况	83
5.2 北京市森林资源概况	85
5.2.1 造林工程	85
5.2.2 现有森林资源概况	85
5.3 北京市森林治污减霾功能研究	86
5.3.1 北京市百万亩造林工程减霾功能研究	86
5.3.2 北京市现有森林治污减霾功能研究	89
5.4 北京市树种优化及造林建议	93
5.4.1 北京市森林建设面临的问题	93
5.4.2 北京市树种优化及建议	93
5.5 小结	94
第6章 森林治污减霾功能特征与展望	95
6.1 森林治污减霾功能特征分析	95
6.1.1 森林滞纳空气颗粒物内在机制分析	95
6.1.2 森林滞纳空气颗粒物外在机制分析	98



6.1.3 小结	100
6.2 治污减霾前景与展望	100
参考文献	102
附录 1 名词术语	116
附录 2 IPCC 推荐的木材密度 (D)	119
附录 3 IPCC 推荐的生物量转换因子 (BEF)	120
附录 4 不同树种组单木生物量模型及参数	121
附录 5 森林环境空气质量监测系统——北京植物园生态站	122

第1章 森林治污减霾功能研究进展

森林生态系统是陆地生态系统的主体和重要资源，具有分布广、类型多、生态功能强等特点，并能够与人类居住区镶嵌分布（如城市森林），成为人类与环境最密切的联系界面之一。最重要的是，森林能够通过增加地表粗糙度、降低风速来达到吸收气体污染物、滞纳空气颗粒物的效果（刘萌萌，2014；McDonald *et al.*，2007）。森林高大的林冠层叶表面积、独有的叶片生物学特性、强大的空气颗粒物滞纳能力等均对净化大气环境功能提供了重要的生物学和生态学基础。然而，不同植被类型吸滞空气污染物的能力存在差异，且森林消减空气颗粒物的能力还与区域环境、空气颗粒物特性、季节变化等因素有关。因此，在本研究中，选择不同的地理区域（北京市和陕西关中地区），通过指标体系和研究方法的构建，开展森林植被治污减霾功能研究。主要目的在于通过对比研究不同植被类型对空气污染物的吸滞能力，筛选出吸滞空气污染物能力较强的植被类型，为进一步科学指导植树造林提供科学数据支撑。

1.1 目的意义

随着经济和社会的快速发展，人们对绿色、生态、健康的需求越来越迫切，良好的生态环境已成为吸引人才、科技、资源的一项重要影响因素。而森林作为影响生态环境质量的一个重要因素，已成为人类生存发展不可或缺的生态保障，关系着国家的生态安全。对森林净化大气环境功能进行科学、量化研究，能够充分体现林业在建设和谐社会和小康社会中的地位和作用。

森林植被可以有效降低空气污染物浓度，这一研究已经得到国内外科学家的证实。目前，中国环境污染问题，特别是大气污染问题日益突出，严峻的生态环境形势和严重的生态环境问题，对改善生态环境提出了迫切的要求。客观、动态、科学地研究森林治污减霾功能对于提高人们的环保意识、改善环境质量、科学指导造林规划及正确处理社会经济发展与生态环境保护之间的关系有着重要的意义。同时，通过选择高效治污减霾树种，营造森林群落，增加植被覆盖率，可以有效减少大气污染，从而为政府的大气污染防治行动计划提供科学依据。

1.2 概述

森林治污减霾功能是森林植被降低环境污染能力的重要体现，主要途径是通

通过对空气污染物的吸附滞纳，以及提供负离子、释放芬多精等来完成。一般来说，空气污染物可以分为气体污染物和颗粒物污染物两类。气体污染物包括 SO_2 、 NO_x 、 HF 、 CO 和 O_3 等污染物；颗粒物污染物包括风蚀过程形成的矿物沙尘、光化学反应形成的水溶性颗粒物、石油与煤炭燃烧形成的碳质颗粒物和有机质颗粒物等。

森林治污减霾功能是指森林生态系统通过吸附、吸收、固定、转化等物理和生理生化过程，实现对空气颗粒物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 TSP 等)、气体污染物(SO_2 、 HF 、 CO 、 NO_x 等)的消减作用，同时能够提供空气负离子、吸收二氧化碳并释放氧气，从而达到改善区域空气质量的能力。

由于颗粒物粒径分布的不同（图 1-1），其引发的危害也不尽相同。当前，高浓度的空气颗粒物和 SO_2 、 NO_x 等气体污染物严重危害着人体健康，并引发一系列呼吸系统疾病；同时，颗粒物中的细颗粒物具有较强的散射作用，会引起空气能见度降低，这也是导致雾霾天气发生的重要诱因（吴兑，2012；尚倩等，2011）。



图 1-1 不同粒径空气颗粒物的划分（引自 Science, 307: 1857-1861; News Focus: March 2005）

颗粒物按照粒径分布，一般可划分为总悬浮颗粒物（TSP，空气动力学直径小于 $100\mu\text{m}$ ）、 PM_{10} （空气动力学直径小于或等于 $10\mu\text{m}$ ）、 $\text{PM}_{2.5}$ （空气动力学直径小于或等于 $2.5\mu\text{m}$ ）、 $\text{PM}_{1.0}$ （空气动力学直径小于或等于 $1.0\mu\text{m}$ ）等。

森林植被治污减霾功能得以实现主要有两方面原因：一是森林植被的存在使得地表粗糙度增加，并通过降低风速进而提高空气颗粒物的沉降概率；二是森林植被叶片表面结构特征及理化性质也为颗粒物的附着提供了更为有利的条件（图 1-2）。例如，森林植被的枝、叶、茎能够通过气孔或皮孔吸收颗粒物前体物质（包括 CO 、



SO₂、NO_x、O₃等气体污染物)和细小的空气颗粒物(Elena *et al.*, 2011; Kazuhide *et al.*, 2010; Nowak *et al.*, 2006; Schwela, 2000), 从而降低空气污染物的浓度(图1-2)。此外, 复杂的林冠层结构(林冠大小和形状等因素)和叶片特征(形状、表面微观结构)是森林发挥治污减霾功能的基础。因此通过植树造林来增加地表覆盖率, 可以有效地降低空气污染物的浓度, 进而达到净化大气环境目的。

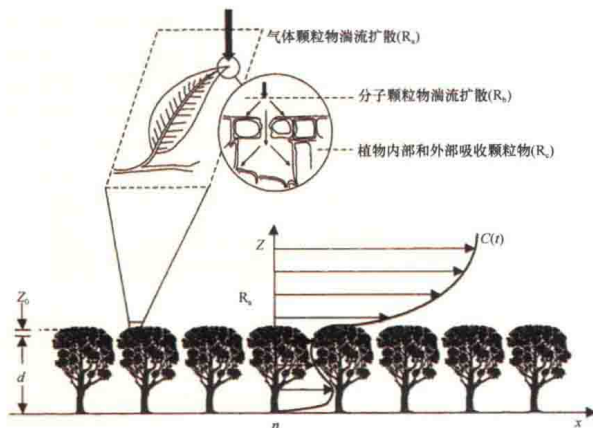


图1-2 森林颗粒物沉降过程(Erisman and Draaijers, 2003)

1.3 国内外研究进展

人类对森林治污减霾功能的研究主要经历了从气体污染物、空气颗粒物到森林植被吸滞空气污染物的功能研究三个过程。

1.3.1 国外研究进展

1. 气体污染物研究进展

自工业化以来, 空气污染日趋严重, 空气质量遭到严重破坏, 环境问题逐渐引起人类的重视。例如, 19世纪英国科学家史密斯于1852年分析了英国工业城市曼彻斯特附近的雨水成分, 发现雨水中含有硫酸、酸性硫酸盐、硫酸铵等成分, 指出由于雨水中含有酸性物质, 可以毁坏森林, 使湖泊变成“死湖”, 对环境造成极其严重的污染; 在此研究基础上, 1872年史密斯编著了《空气和降雨: 化学气候学的开端》一书, 书中首次采用了“酸雨”这一术语。1895年, 瑞典化学家和