

公路建设 边坡生态防护 技术应用原理与实践

徐文远 著



科学出版社

公路建设边坡生态防护技术 应用原理与实践

徐文远 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要针对我国公路建设中存在的路基边坡生态防护技术问题,借鉴国内外路基边坡生态防护研究的成果及应用现状,结合作者及其合作团队近年来从事公路路基边坡生态防护研究及实践过程中的工作经验,系统介绍了高速公路路基边坡生态防护及其应用等问题。本书内容涉及植物生态功能的测定、植物根系固土效能研究、粉砂土路基边坡植物的抗干旱、抗盐碱的研究。本书利用实验及数理统计等手段,给出了部分植物适用于研究条件下路域边坡的适应性排序,为改善我国高速公路路基边坡的防护技术提供了一定的理论、方法和技术手段。

本书可供从事公路建设领域研究、设计、施工、管理的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路建设边坡生态防护技术应用原理与实践/徐文远著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-038538-3

I. ①公… II. ①徐… III. ①道路工程-植被-护坡 IV.U417.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 210504 号

责任编辑:任加林 / 责任校对:刘玉靖
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2013年8月第 一 版

开本: B5 (720×1000)

2013年8月第一次印刷

印张: 10 1/2

字数: 201 600

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135741 (VF02)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303



前 言

随着公路建设的快速发展,边坡破坏、水土流失等灾害日益增多,除了工程防护之外,人们日益重视边坡的生态防护。边坡绿化不但具有很好的护坡功能,对稳定路基、防止冲刷、保持水土具有直接作用,并且具有丰富公路景观的功能。国道 G111 讷嫩段、齐泰高速是黑龙江省境内新建的两条调整公路,沿线干旱、盐碱并存,公路建设后两侧边坡极易形成水土流失,加之该路段又处于高纬度寒冷地区,具有低温、少雨、植物生长季短、生物多样性较低和生态系统相对脆弱等特点,导致公路建立路域植被破坏后,生态恢复技术难度加大。构建接近原生植被多样性的路域生态系统一直是公路建设者和管理部门关心的问题,如何实现适地适植物构建既能起到生态防护功能,又能与公路的景观廊道构成和谐的生态系统,而且还尽可能多地考虑植物多样性问题是公路植被恢复的关键,其核心问题就是科学的植物选择和防护模式方案选择。

通过植物生态功能测定初步筛选物种,并对植物根系固土能力、抗旱性、抗盐碱性等方面开展研究,提出路基边坡生态防护物种及生态防护模式,可以有效解决特殊土质条件下公路建设的生态恢复技术难题,对改善寒区高等级公路生态环境、提高公路运营质量、促进我国寒区高等级公路建设与发展具有重要意义。

本项目承蒙黑龙江省交通运输厅重点科技项目基金资助,特致殷切谢意。在本项目完成过程中,得到了黑龙江省高速公路建设局、国道 G111 公路工程建设指挥部人员的帮助和关心;同时此项目在东北林业大学土木工程学院、林学院等通力合作,以及在课题组全体人员的努力下才得以完成,在此对所有参与项目的人员一并表示深深的谢意!

本书在研究过程中得到了东北林业大学穆丽蕾教授、王晓春教授、孙龙副教授以及相关专家学者的大力支持,在此深表感谢!

由于水平和时间有限,书中不当与疏漏之处在所难免,敬请指正。

著 者

2013 年 7 月

目 录

前言

1 国道 G111 公路路域植被生态功能	1
1.1 引言	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 路域边坡绿化研究现状	2
1.2.2 绿化植物生态功能研究现状	4
1.3 研究目的和意义	10
1.4 研究区域概况和研究方法	11
1.4.1 自然概况	11
1.4.2 实验材料与方法	12
1.5 结果与分析	15
1.5.1 固碳释氧能力	15
1.5.2 滞尘能力	20
1.5.3 杀菌能力	22
1.5.4 吸收 SO_2 能力	24
1.5.5 吸收重金属能力	26
1.6 小结与讨论	28
1.6.1 小结	28
1.6.2 讨论	29
2 国道 G111 公路路域植被水土保持物种筛选	31
2.1 引言	31
2.2 国内外研究综述	31
2.2.1 植物根系增强土壤抗冲性	32
2.2.2 植物根系增强土壤抗蚀性	33
2.3 研究目的与意义	34
2.4 研究区域概况和研究方法	35
2.4.1 自然概况	35
2.4.2 研究方法	36
2.5 8 种护坡灌木根系增强土壤抗冲性比较	38
2.5.1 研究材料	38
2.5.2 结果与分析	38

2.5.3	小结	45
2.6	9 种护坡灌木根系增强土壤抗蚀性比较	46
2.6.1	研究材料	46
2.6.2	结果与分析	46
2.6.3	小结	53
2.7	9 种护坡草本根系固土特性研究	54
2.7.1	研究材料	54
2.7.2	结果与分析	54
2.7.3	小结	62
2.8	小结与讨论	63
2.8.1	小结	63
2.8.2	讨论	64
3	国道 G111 公路物种应用示范技术与评价研究	67
3.1	边坡	67
3.1.1	护坡植物及其配置	67
3.1.2	边坡植被恢复模式	69
3.2	取弃土场	75
3.3	中央分隔带	75
3.4	路侧林带	76
4	结论	77
4.1	国道 G111 公路路域植被生态功能	77
4.2	国道 G111 公路路域植被水土保持物种筛选	78
5	特殊土质边坡生态防护	79
5.1	公路绿化发展历程	79
5.2	干旱盐碱环境下高速公路绿化研究	80
5.3	植物固土护坡综合能力研究	83
5.4	研究目的意义	85
5.5	研究内容	86
6	齐泰高速某段研究地概况及实验方法	87
6.1	研究地概况	87
6.2	实验材料的选择	87
6.3	土壤结构特征及土壤养分特征实验方法	92
6.3.1	土壤结构特征实验方法	92
6.3.2	土壤养分特征实验方法	93
6.4	干旱、盐碱胁迫实验方法	93
6.4.1	相对电导率的测定	94

6.4.2	叶绿素含量的测定	95
6.4.3	可溶性糖含量的测定	95
6.4.4	超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定	95
6.4.5	丙二醛(MDA)含量的测定	96
6.4.6	脯氨酸(Pro)含量的测定	96
6.5	路基边坡综合防护措施实验方法	96
6.5.1	根系土壤抗冲性实验方法	97
6.5.2	根系土壤抗蚀性实验方法	97
6.5.3	根系生物量测定方法	97
7	结果与分析	98
7.1	土壤结构特征及土壤养分特征实验结果与分析	98
7.1.1	土壤结构特征实验结果与分析	98
7.1.2	土壤养分特征实验结果与分析	98
7.2	干旱、盐碱胁迫下 5 种灌木生理指标结果与分析	99
7.2.1	干旱胁迫对 5 种灌木叶片叶绿素含量的影响	99
7.2.2	盐碱胁迫对 5 种灌木叶片叶绿素含量的影响	101
7.2.3	干旱胁迫对 5 种灌木叶片电导率的影响	102
7.2.4	盐碱胁迫对 5 种灌木叶片相对电导率的影响	102
7.2.5	干旱胁迫对 5 种灌木叶片 SOD 活性的影响	103
7.2.6	盐碱胁迫对 5 种灌木叶片 SOD 活性的影响	104
7.2.7	干旱胁迫对 5 种灌木可溶性糖含量的影响	104
7.2.8	盐碱胁迫对 5 种灌木可溶性糖含量的影响	104
7.2.9	干旱胁迫对 5 种灌木 MDA 含量的影响	105
7.2.10	盐碱胁迫对 5 种灌木 MDA 含量的影响	106
7.2.11	干旱胁迫对 5 种灌木脯氨酸含量的影响	106
7.2.12	盐碱胁迫对 5 种灌木脯氨酸含量的影响	107
7.2.13	干旱、盐碱胁迫下 5 种灌木隶属度函数分析	107
7.3	路基边坡综合防护措施结果与分析	108
7.3.1	灌木根系土壤抗冲性比较	108
7.3.2	灌木根系土壤抗蚀性比较	110
7.3.3	灌木根系生物量比较	112
7.3.4	草本根系土壤抗冲性比较	114
7.3.5	草本根系土壤抗蚀性比较	116
7.3.6	草本根系生物量比较	118
7.3.7	灌草结合模式土壤抗冲性比较	119
7.3.8	灌草结合模式土壤抗蚀性比较	123

7.3.9 灌草结合模式生物量比较	125
7.3.10 单灌, 单草, 灌草结合土壤抗冲性比较	127
7.3.11 单灌, 单草, 灌草结合土壤抗蚀性比较	130
8 路基边坡综合防护技术模式及筛选	132
8.1 公路边坡试验区建立	132
8.1.1 单灌试验区	132
8.1.2 单草试验区	132
8.1.3 灌草配置试验区	132
8.2 模拟试验区建立	133
8.2.1 单灌筛选试验	133
8.2.2 单草筛选试验	134
8.2.3 草灌配置筛选试验	135
8.3 单灌、单草、灌草配置 3 种不同模式的比较	136
8.4 不同模式护坡能力比较及其适用地域	138
8.5 植物防护与工程防护结合	139
9 结论	141
主要参考文献	142
附图	150

1 国道 G111 公路路域植被生态功能

1.1 引言

随着我国公路建设进程的加快,人为活动对自然环境造成的破坏日益加剧,人工生态系统中大气、水、土壤污染,以及城市热岛效应等诸多生态环境问题凸显出来。人类在追求高度发展的物质和精神文明的今天,以人与自然和谐共生和可持续发展为核心的生态文明在公路生态环境建设中占据重要地位,消除和降低人为活动对环境造成的影响、营造安全舒适的公路生态环境、协调人与自然的关 系已经成为公路生态持续健康发展的前提。

公路建设和营运一方面增加了景观的破碎化、引起生物的损失或死亡、外来种的扩散、水土流失加重、土壤环境的改变等,另一方面,产生的重金属污染物对公路沿线农作物、农产品许多方面产生重大影响,危及公路沿线的农业生态环境安全,并通过食物链危害人体健康。特别是公路建设和营运造成的重金属污染,由于对环境危害大、防治困难,一直是国内外研究的热点问题。因此,如何尽快恢复公路路域生态环境和减轻影响已成为一项重要而迫切的课题。公路路域绿化是减轻破坏和影响、治理污染、改善区域环境的重要手段。公路绿化在维持生态平衡、改善环境质量,净化美化环境及维护人们身心健康等方面起着其他景观要素不可替代的生态服务功能,不仅为行人提供娱乐、游览、文化、休息、科普等的场所,而且能防御风沙、洪涝和其他灾害,调节气温,增加湿度,维持碳氧平衡,减弱温室效应,净化环境,吸收有毒有害气体,净化空气,消减噪声,促进人们的身心健康、陶冶情操。

公路绿化在绿地结构中只有景观植物是发挥绿化功能的决定性或主导性的因素。景观植物种类选择与配置,决定公路绿地系统生态效益与综合效益功能能否充分、有效发挥。在公路生态环境工程建设中,进行景观植物种类选择与合理配置,对改善公路生态环境质量、实现公路环境建设的可持续发展,有着重要的理论与实践意义。景观植物一般定植在绿地系统某一确定的空间位置长期利用,且栽培管理相对粗放、简便。不同种类的景观植物,对生存环境的适应能力各不相同;同一种树种对于环境中的不同限制因素的表现,也存在着一定差异。对公路绿化植物的生态功能性的综合评价分析是合理选择应用公路绿化树种的重要途径和手段。

植物材料是公路绿化的基础。但据报道,同样作为公路绿化的主要植物,生态功能差别比较明显。随着公路建设对自然生态系统影响研究的不断深入,生态公路、景观公路以及重建公路生态系统等先进理念被引进来,并在国内一些公路

建设中加以运用。但现已开展的公路生态建设所选用的植物种类多为城市绿化常用的草本及灌木植物,植物品种少,多样性低。对公路污染的生态防护效果并不理想,尤其是对地处寒区的黑龙江省来说,这种缺憾更加明显。因此,开展公路绿化植物种类的生态功能研究可以为公路绿化、生态恢复以及景观建设提供更多的备选物种,可以为公路生态系统建设提供更多可参考的依据,为公路生态环境建设的可持续发展奠定坚实基础。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 路域边坡绿化研究现状

由于公路建设和营运对生态环境造成严重的破坏和影响,如何尽快恢复公路路域生态环境已成为一项重要而迫切的课题。公路生态恢复的关键是恢复与重建植被。而公路边坡植被的恢复是公路路域生态恢复的重点和难点。边坡土壤大部分是路基回填的土石混杂的生土或公路开挖裸露的心土、底土,土壤太疏松或过于紧实,有机质含量低、土壤持水量低,加之公路路域污染严重,植被恢复很困难。

美国等发达国家从 20 世纪三四十年代就意识到保护生态平衡的重要性,开始在公路边坡开展植被恢复工作。到 20 世纪 50 年代,美国制定法律要求新建公路必须进行绿化,机械化施工的喷播技术应运而生。到 20 世纪 60 年代,喷播技术等绿化新技术在稳定边坡、防止土壤侵蚀和恢复植被等方面得到广泛应用。进入 20 世纪 80 年代后,欧美开始着手建立公路环保法律体系和管理机制,在整个公路建设中充分体现环保优先原则,采取公路建设与环境保护统一设计,统一施工,并在公路规划、设计、施工和营运各阶段都建立了环境调查、环境治理和环境评价程序。日本的高速公路建设较欧美落后 20 多年,但现在其绿化水平处于世界领先地位,其绿化理论、技术较欧美国家更加系统。关于坡面绿化的目标,以及实现的方法和手段等理论问题,日本学者开展了大量研究。有的学者认为,坡面绿化应首先导入“先驱植物”,使坡面迅速覆盖先驱植物,防止土壤侵蚀,但是随着坡面植被演替,周围的乡土植物逐渐侵入,成为坡面永久保护者。山寺喜成提出:所谓“绿化”,应是人工辅助方法,促进植物种子自然恢复力的发挥,绿化目标是,如何形成与自然更接近的或与自然协调一致的人工群落。这类植物群落是一个有机物质可循环的、稳定的、生物多样性丰富的、防灾能力较强的群落,而且在植物生理生态层面上,与自然群落接近,在景观层面上,与周围自然环境景观相协调。在边坡绿化植物种选择与配置上,通常采用主要树种(目的树种)、先锋树种和草本种相结合。为了利于植被自然演替,促进生态系统的尽快恢复,一般必须利用先锋植物改善植物生长发育的环境,为树种的自然入侵提供条件,不要盲目引入顶级群落树种。要根据区域环境和边坡的立地条件来确定树种的选择和目标

群落,要尊重植物群落演替规律,才能促进恢复至理想的植物群落。他还通过对栽植树木与播种树木生态特性、防灾机能、群落演替特性、保护环境以及管理和施工效率等方面的对比研究,指出坡面绿化应以播种绿化技术为主,栽植技术为辅。

总之,日本和欧美等发达国家,经过几十年研究探索,已经形成各自植被护坡技术的基础理论和技术方法,而且工艺流程、机械设备、基材等各具特色。在绿化技术上目前存在两种不同模式,以欧美为典型的高养护型——湿式喷播快速植草技术和以日本为典型的高投入型——客土及厚层生长基础喷播技术。

国内关于边坡植被恢复的研究起步较晚,20世纪90年代前,边坡植被防护,一般多采用撒草种、穴播或沟播、铺草皮、浆砌片石骨架植草、空心六棱砖植草、栽植树木等护坡方法;直到20世纪90年代,随着高等级公路建设的发展和对于环境问题认识的提高,才开始开展系统的研究。刘德荣等对深圳市赤红壤阳坡坡面液压喷播绿化草种及组合的筛选结果表明:弯叶画眉草、百喜草是本立地类型建坪的理想草种;在立地条件差的陡坡上,混喷草坪的综合功能明显比单喷草坪好。余晓华等对楚大高速的风化紫色砂岩地区进行植被恢复种类选择结果表明:高羊茅和多年生黑麦草在前期表现较好。适应性好的是温带豆科和热带亚热带草种,但豆科不可单播。百喜草也有一定的应用前景。胥晓刚对不同植物种类在四川地区的公路边坡种植的生长适应性进行比较。结果表明,狗牙根、百喜草、草木樨、弯叶画眉草在四川及相同气候类型区的土质边坡种植的适应性好,人工植被恢复群落的适宜植物配方为:10%狗牙根+20%百喜草+40%草木樨+30%高羊茅。

草本植物固坡具有方法简单,费用较低,早期生长快,对防止初期的土壤侵蚀效果较好,有利于表土层的生成等优点,因此草本植物在坡面绿化工程应用中广泛应用。目前用于坡面绿化的草本植物主要是豆科、莎草科、禾本科的植物,大部分种类是城市绿化中常见的、植物种子易于获得的种类,对于一些野生的性能优良的乡土植物种类应用较少。

草本植物护坡有很多不利之处:草本植物群落由于根系仅分布于浅层,不能延伸至坡体内部,风化土层受渗流、冻融等因素的作用,往往会发生表层片状剥落,草本植物易发生衰退,特别是草花植物更易衰败,持续生存性差,一个生长周期后,常因植物衰退使坡面裸地再现,使坡面生态恢复的进程难以持续进行,需要采取持续性的管理措施,单纯的草本植物绿化的边坡,不易与自然景观协调,改善周边环境的效果差。木本植物与草本植物相比具有根系固持力强、比草本植物覆盖的坡面稳定性强、不易发生坡面崩塌、容易与自然景观协调、不易衰退等优点。

在进行边坡绿化植物种类选择和配置时,应该乔灌草有机搭配,可提高资源利用率和群落稳定性,减少后期管理,也能使群落更好地融入周围的景观,并更长久的维护边坡的稳定性。

边坡的绿化技术已从传统的工程措施发展为工程措施与植物措施相结合。目

前, 植被护坡工程技术主要有铺草皮护坡、植生带护坡、液压喷播植草护坡、三维植被网护坡、香根草篱护坡、土工格室护坡、浆砌片石骨架护坡、厚层基材喷射植被护坡等。

1.2.2 绿化植物生态功能研究现状

随着科技和工业的迅速发展, 城市环境越来越恶化, 人们的生态环境意识逐步提高, 希望绿化植物发挥更多的生态效益, 改善和调节城市生态环境。因此对植物生态功能的研究较多, 研究内容主要包括绿化植物吸收二氧化碳放出氧气能力, 维持空气中的碳氧平衡; 调节空气温湿度能力; 分泌杀菌素, 减少细菌的能力; 阻滞烟尘, 净化空气的能力; 吸收有毒气体, 减少空气中有毒物质的能力; 降低噪声的程度。但有关绿化植物生态功能的研究也存在一定的缺点。研究地大多数是市区, 公路绿化植物的研究相对较少; 研究的内容较多, 但比较分散、重复性较高; 研究的植物多以南方地区的为主, 北方的较少。

1.2.2.1 固碳释氧能力

植物的固碳释氧是指植物通过光合作用吸收二氧化碳、释放出氧气, 又通过呼吸作用吸收氧气、放出二氧化碳。绿色植被都有固定二氧化碳和释放氧气的服务功能, 这种生态服务功能在全球碳氧平衡链中是至关重要的环节, 也是森林资源重要功能之一, 在全球温室效应加剧的情况下, 这一功能显得尤为重要。国内外学者从不同空间尺度对不同类型的生态系统进行了一定的研究, 绿地植物固碳释氧能力的大小是决定绿地树种配置和提高绿地建设质量的决定性因子之一。

树木光合作用是其有机物质积累的基础, 地球上 60% 的氧气来自陆地上的植物。城市森林是实现城市生态系统良性循环的重要资源, 是城市绿化最终的发展方向。不同树种的效益是不一样的, 据日本计算, 1hm^2 落叶阔叶林每年可吸收 CO_2 14t, 释放氧气 10t, 常绿阔叶林分别为 29t、22t, 针叶林分别为 22t、16t。据统计, 树种选择配置得当的城市森林每天每公顷可吸收 1000kg CO_2 、释放 730kg O_2 。森林与其他植被类型的差异也较大。

我国 20 世纪 80 年代初在北京进行过实测研究。结果表明, 当绿化覆盖率达到 30% 以上时, CO_2 的瞬时浓度呈直线有规律地下降, 当绿化覆盖率达到 50% 以上时, 空气中的 CO_2 浓度保持在 $320\mu\text{L/L}$ 。相继在全国的不同地区也进行了不同树种的研究。杨士弘实测了广州市内 8 种常见树木的单位面积固碳释氧量, 其由大到小顺序为: 木棉、白兰、石栗、大叶榕、细叶榕、阴香、红花羊蹄甲、红花夹竹桃。李辉等测定了北京地区 5 种常用草坪绿地植物春、夏、秋三季单位面积固碳释氧和降温增湿能力。陈智忠等对河南 10 种园林草坪植物杀菌能力、单位叶面积固碳释氧、降温增湿、滞尘、减污能力及生态适应性 (耐阴性、抗寒性、抗

污性)进行了系统研究,为不同绿地草坪植物的选择提供了依据。陈辉等分别测定了鹅掌楸、女贞在生长初期、盛期、末期的净光合速率。结果表明,女贞的固碳释氧能力大于鹅掌楸。柴一新等测定哈尔滨市 8 种常见绿化树种生长季节的光合和蒸腾效应时得到榆树、糖槭、紫丁香是单位叶面积固碳释氧能力高的树种。陈自新等测定了北京 65 种园林植物年光合总量和年固碳释氧量,为选择不同固碳释氧能力的树种提供依据。莫健彬等对上海地区 151 种绿化植物固碳释氧能力进行研究,并作了分类。

美国学者对树种生态效益的研究多集中在树种组成、年龄分布、健康程度等结构分析的基础上,用 Citygreen 模型、UFOR 模型等来推算其效益。研究表明,一棵高 9.75m 的植株每年能产生 O_2 约 118.36kg,因此两棵这样的植株可供一个人氧气的吸收量。

虽然许多学者对树种或者群落固碳释氧效应进行了分析,但由于所选树种和地域的差异,以及研究方法的不同,所得出的结果也不尽相同,很多都局限于对大量树种固碳释氧能力测定,然后进行分级,但由于测定时间的不一致,对测定的结果有一定影响。

1.2.2.2 降温增湿能力

植物通过蒸腾作用将液态的水由叶片的气孔角质层以气态形式散发到空气中,并从环境中吸收热量,降低周围环境的温度,增加湿度,从而可达到改善周围环境小气候的作用,其降温比率与绿化覆盖率成正比。城市森林中每株成年树每天可蒸腾 400kg 水,因此林下空气湿度明显上升。据测定,生长旺盛的森林每公顷每年要蒸腾 800t 水和吸收 167 亿 kJ 热量,从而使森林上空的相对湿度比无林地的高 38%,公园的相对湿度比城市其他地方高 27%。森林还可以产生较好的绿岛效应,具有明显的降温增湿作用。一株直径为 20cm 的槐树相当于 3 台 1200W 的空调的降温效果。杨士弘研究了广州市 8 种树木的蒸腾能力:白兰花>细叶榕>石栗>木棉>大叶榕>红花羊蹄甲>阴香>夹竹桃。叶功富等测定了厦门市凤凰木行道树的降温增湿效益。王得祥等测定了延安市元宝枫、白桦、火炬树、新疆杨的光响应曲线、光合速率、蒸腾速率、水分利用效率。结果表明,新疆杨、火炬树的光合速率、蒸腾速率明显高于元宝枫和白桦,但低蒸腾速率的元宝枫和白桦适宜做延安市的绿化树种。陈自新等、彭镇华等分别测定了合肥和北京部分绿化树种的蒸腾速率和总叶面积,得到了单株树种日平均释水能力和全年总释水能力,为研究树种的降温增湿能力提供了依据。

1993 年日本研究得到不同树种单位叶面积蒸腾速率不同,蒸腾量也不同,对气温改善能力也不同。

1.2.2.3 杀菌能力

空气中细菌的含量是评价城市环境质量优劣的重要指标之一。在人口大量集中、活动频繁的城市中通常有近百种细菌。城市景观树种可以减少空气中的含菌量,许多景观植物在其生命过程中能分泌出具有杀菌作用的植物杀菌素,抑制和杀害有害菌,净化城市空气。树木的枝叶通过吸滞、过滤作用可以吸附大量的尘埃,减少空气中有菌的数量。据调查,城市闹市区上空内有害菌含量要比绿地上空的有害菌数量多 7 倍以上,每公顷圆柏林和松林每天都可以分泌出 30kg 的杀菌素,每公顷阔叶林每天可生产出 2kg 植物杀菌素,针叶林产生 5kg 以上。戚继忠等测得吉林市的细菌含量顺序为树林<灌丛<草坪<裸地。据研究测定,北京王府井大街空气中每立方米的含菌量超过了 30 万个,而绿化的道路上仅有近万个,可见树木的杀菌作用是较大的。在城市森林绿化中,云杉、冷杉、圆柏、稠李、白桦、槭树、胡桃楸、落叶松等一些树种都有一定的杀菌作用。但是目前对树种杀菌能力的系统研究较少。北京园林研究所、戚继忠等分别测定了北京和吉林地区部分园林植物的杀菌力,不同种类间具有一定差异,为不同功能区选择不同程度的杀菌树种提供了依据。蒋继宏等研究了樟树、龙柏、侧柏、广玉兰、雪松 5 个树种的抑菌活性。龙柏、香樟植物挥发油的抑菌作用强,是城市森林生态保健型绿化模式选择的好树种。

城市森林的减菌作用也具有正、负两面性。在绿化条件较差和过于阴湿的条件下有利于细菌的繁殖,含菌量呈上升趋势,且细菌量同人流量呈正相关。在适宜的条件下,绿化减菌的正作用大于负作用,提高绿化率有利于减少空气含菌量,故应选择适宜的树种并进行合理配植,保持一定的通风条件,加强绿地工作管理,才可以起到真正的除菌效果。

在园林植物杀菌能力的研究方面,托金提出了“植物自然免疫理论”假说:植物分泌具有杀菌作用的物质,其目的是为了保护自己本身不受外界微生物的危害,尤其是对植物有致病力的微生物的危害。植物在长期的进化过程中都会产生一些对自然保护性的物质——植物杀菌素,能够杀死细菌、真菌和某些多细胞生物。尼洛克统计证明,一株桧树在一天内能分泌出 30g 挥发性油类,如 1000 株桧树,每天可以分泌出 30kg 的挥发性油类。这些物质能均匀地扩散到森林周围 2km 远的地方,杀灭随着尘埃飘浮在空气中的细菌。戈洛瓦奇研究了林地挥发性分泌物对空气、水源、土壤中病原菌的杀伤能力。日本生态学家只木良也曾对森林中的空气进行了探索性研究。通过对柳杉林、罗汉松林、赤松林中的空气采样分析认为,森林植物散发的物质是萜烯类物质,成分很复杂。散发量与气候条件关系很密切,散发量具有日变化和季节性变化的规律性。

1.2.2.4 滞尘能力

大气中的尘埃是造成城镇能见度低和对人体健康产生危害的主要污染物之

一, 对环境有较大的影响。因此, 有关此方面的研究较多。道路上车辆排放大量有害气体, 还有飞扬的飘尘、降尘, 严重污染环境。而绿色植物能通过树木降低风速而起到减尘作用, 通过其粗糙、多毛或有分泌物的枝对粉尘的截留和吸附作用可吸滞烟尘、粉尘以及减少空气含菌量而起到净化空气的目的。据测灌木林带、草坪可使降尘量减少 23%~52%, 飘尘量减少 37%~60%, 有效地净化了空气, 保护居民身心健康。据南京市园林处测定, 绿化树木可以使降尘减少 23%~52%; 北京市测定, 夏季成片林地减尘率可达 61.1%, 冬季也有 20%左右, 道路减尘率为 22.5%~85.4%。周志翔等分析了武钢厂区绿地景观类型的空间结构及滞尘效应。结果表明, 以乔木为主的防护林斑块平均面积大、滞尘效果好, 但优势度不高; 专类园和观赏草坪斑块植物种类丰富、景观效果好, 但滞尘效果较差; 多行复层绿带的滞尘率比单行乔木绿带的滞尘率高。栗志峰等指出树种的结构影响城市绿地类型的滞尘能力。陈自新等、吴中能等、康博文等分别测定了北京、合肥、陕西地区常见绿化树种单位叶面积的滞尘能力, 为不同地区选择滞尘树种提供依据。张秀梅等、刘艳等、赵勇等分别对太原、石河子和郑州主要树种的滞尘能力进行研究。结果表明, 树木叶片单位面积的滞尘能力较大而单株滞尘量不一定高, 因为单株树木的滞尘能力不仅与其叶片的滞尘量有关, 还与单株树木的总叶量有关。赵勇等研究了郑州市不同绿地类型的滞尘能力。结果表明, 乔木树种占滞尘总量的 87.0%, 灌木占 11.3%, 草坪植物的滞尘效益最差, 仅占 1.7%。柴一新等对哈尔滨市 29 种绿化树种叶片进行了滞尘能力研究和电镜扫描。结果表明, 不同树种滞尘能力主要由叶片的形态结构决定, 一般针叶树的滞尘能力高于阔叶树种。陈玮等研究了沈阳 7 种针叶树的滞尘能力排序为沙松冷杉>沙地云杉>红皮云杉>东北红豆杉>白皮松>华山松>油松, 其差异主要与叶子的结构有直接关系。

对公路绿化植物的减尘机理研究, 开展了一些初步探索, 但仅就目前的研究来说还是相对少和零散的。

国外对森林滞尘能力的研究早在 20 世纪 70 年代就已经开始, 并提出森林植被是颗粒态污染物蓄积库的说法, 他们的研究重点集中于树木滞纳放射性颗粒物与痕量金属颗粒物方面。美国环境保护局在 1976 年就制定了一个典型示范的计划, 利用城市木本植物的能力来改善空气质量, 即根据文献中的污染物通量和选定的密苏里州圣路易斯的空气质量和环境条件资料, 估计选定的行道树消除污染物的能力。苏联最早对绿地净化空气的作用给予肯定, 发现在植物生长季中, 树林下的含尘量比露天广场的含尘量的平均浓度低 42.2%, 花园、公园含尘量明显降低。1966 年, 德国汉堡有关人员测定无树的城区与公园空气的含尘量, 结果是无树城区含尘量为 $850\text{mg}/\text{m}^3$, 而公园仅为 $100\text{mg}/\text{m}^3$, 两者相差非常悬殊。1994 年美国开展了一项“全国降尘计划/国土范围降尘趋势网络 (NADP/NTN)”的研究工作, 在研究区布置了 280 个监测点, 对大气湿降尘进行了长期监测。欧洲一些国家 (如

英国、意大利)也对区域的大气沉降进行了网络监测。有些国家制定了本区域的降尘环境标准。

1.2.2.5 吸收有毒气体、净化空气

城市森林可以通过吸收有害气体改善生态环境,园林植物是城市生态环境的重要组成部分,植物能吸收、转化和利用一部分 SO_2 ,所以在一定程度上,植物对 SO_2 污染有抵抗能力和净化作用。由于植物吸收大气中的 SO_2 能力强,植物生长良好,植物的抗性也较强,由此可为污染区选择吸收能力和抗性强的植物提供依据。植物吸收有毒气体的研究较多且较早,多采用人工熏气法、定点对比栽培法和污染区采集法。李娥娥等采用人工熏气法和现场调查法选出了适合太原市的 60 种抗污染的植物。鲁敏等通过人工模拟熏气试验,测定了北方部分绿化树种吸收 SO_2 、 HCl 、 HF 的能力,污染气体和绿化树种不同,吸收能力有明显差异,为污染区选择树种提供了依据。唐述虞对比分析了污染区和非污染区女贞、无花果、构树、蚊母树在不同月份里叶片的含硫量,污染区含硫量明显高于非污染区,并且 10 月份 > 8 月份 > 6 月份。刘艳菊等测定了北京地区重污染区、轻污染区和对照区内 21 种植物叶片的含硫量,植物叶片对 SO_2 的吸收能力与大气中 SO_2 的浓度具有一定的相关关系,在 SO_2 重污染区应优先考虑杠柳、榆树、构树等,轻度污染区应选择油松、黄栌、侧柏等。田玉红等研究了柳州市 9 个采样点、5 种绿化树种对 SO_2 的净化能力表现为小叶榕 > 夹竹桃 > 海桐 > 紫荆花 > 大叶榕,并且不同地理区域同一树种的叶片含硫量也不同。张德强等研究了佛山市重污染区和清洁区 32 种盆栽绿化植物对大气 SO_2 和 HF 的净化能力及其对大气污染的修复功能。结果表明,竹节树、傅园榕等 14 种植物抗 SO_2 、 HF 能力强,吸收净化能力分别是清洁区的 2.9 倍和 21 倍,表明这些树种对 SO_2 、 HF 具有很好的净化能力和修复功能,是污染区值得推广的园林树种。孔国辉等测定了广东地区 48 种盆栽植物 S、F、Pb 的累积量,为中国热带环境地区建立城市植被和生态公益林提供植物种选择的依据。在采用人工熏气和定点对比栽培法的实验研究中,研究对象均是盆栽幼苗,这并不能确定成龄时树种的抗性和吸收能力,因此研究结果不能作为选择抗污染树种的依据。只有对污染区的成龄树种的吸收污染气体能力进行研究,才有科学的依据。关于污染区成龄树种吸收有毒能力的研究地区和种类较少。张西萍等测定了 9 种植物叶片吸收 SO_2 的能力与其生长地点污染程度呈正相关,且龙爪柳、旱柳含硫量高于其他 7 种。陈自新等、罗红艳等、薛皎亮等研究了北京市和太原市部分主要绿化树种吸收 SO_2 的能力,不同树种间吸收、积累 SO_2 的能力差异较大。运用污染区采集成龄树种叶片的方法确定硫的含量,可以为硫污区的树种选择提供依据。

在园林植物吸收有毒气体的研究方面,一般是通过测定叶片含有游离态的硫、氯、氟等的量来研究其吸收净化能力的大小。据南京市园林处等在南京化学工业

公司测定,当 SO_2 随气流通过高 15m、宽 15m 的二球悬铃木林带后,浓度降低了 47.7%。杨士弘也得到相似结论,并且发现随着空气中 SO_2 浓度的增大,植物净化效率有减少的趋势,说明树木对 SO_2 的吸收能力有一定的限度。沈家芬等对道路绿化抗污染植物模式进行了研究,比较分析了紧密式、通风式、疏透式三种结构模式净化大气效果。李珍珍对照研究了沈阳东陵公园与陨石山森林公园的污染情况,东陵公园的 SO_2 含量超标 1.58 倍,树种的含硫量表现为阔叶乔木>阔叶灌木>针叶乔木;陨石山公园则基本没有硫污染。韩素梅研究结果表明,沈阳地区平均每平方公里的树木每天最高净化 13.28kg SO_2 ,其中阔叶乔木占 90%。赵勇等研究得到平顶山绿化植物吸收 SO_2 的总量为 164.263t/a,其中叶片吸收 123.198t/a;枝干吸收 41.065t/a。乔木吸硫量占植物吸硫总量的 59.1%,灌木占 40.9%,说明乔木是净化大气中 SO_2 的主要树种。

在园林植物吸收有毒气体的研究方面,20 世纪 20 年代初期美国的 Hywood 发表了第一篇关于冶炼厂烟雾对植物影响的报告。之后,在大气污染对植物的生理生化影响及植物吸收有害气体和净化能力等方面进行了不少研究。1963~1966 年,Materna 和 Kahout 分别观察了各种落叶和常绿树对 SO_2 的吸收;1971 年 Martin 等测定了山植树篱附近大气中 SO_2 减少的数据;1974 年 Bruce 对几种木本植物的叶片吸收 SO_2 的能力进行了比较。结果表明,某些木本植物的叶片在一定的小环境下可以显著降低周围 SO_2 的浓度。

1.2.2.6 吸收重金属能力

随着重工业的快速发展,越来越多的重金属污染物直接进入空气中,这些污染物对环境、生活及人类的健康产生了较大的影响。除人工措施外,我们更应该采取天然措施控制环境污染。植物吸收重金属是目前研究最多且最有发展前景的植物修复(phytoremediation)方式,它是利用耐受并能积累重金属的植物吸收土壤环境中的金属离子,将它们输送并贮存在植物体的地上部分,主要通过叶片上的气孔和枝条上的皮孔将大气污染物吸入体内,在体内通过氧化-还原反应转变成无毒物质,起到净化环境的作用。目前对植物吸收重金属的研究内容和方法都较多,且研究较早。黄银晓等研究了北京地区 50 种主要绿化植物中 Pb、Cd、Cu、Zn、Ni 的含量,不同树种吸收重金属有一定的差异。黄会一等以 $\text{Cd}^{115+115\text{m}}$ 为示踪剂,研究了 5 种木本植物根茎对 Cd 的吸收及运转,其中阔叶叶片吸收率可达 60%以上,运转能力大小顺序为根>茎>叶。黄会一等测定重金属污染区暴露一个月的 10 种绿化植物的叶、茎、根中的 Pb、Cd、Cu、Zn 含量,叶片的吸收能力最强,并且不同树种吸收能力也有明显差异。上海园林部门曾测定 6 种植物的含铅量和 13 种植物的含汞量。杨学军等用 ICP 测定了上海典型重金属污染地区构树、刺槐、水杉等 22 种绿化植物的根、枝、叶中重金属 Pb、Cd、Cr、Cu、Zn、Mn 的含量,并且比较了防护特性,为不同污染区选择合适的树种提供了依据。谢黎