

博士文库

北方城市森林建设中 植物蒸腾耗水研究

TREE TRANSPIRATION UNDER
URBAN ENVIRONMENT IN NORTHERN CHINA

张文娟 姚云峰 张志强 著

中国环境科学出版社

北方城市森林建设中植物蒸腾 耗水研究

张文娟 姚云峰 张志强 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

北方城市森林建设中植物蒸腾耗水研究/张文娟, 姚云峰,
张志强著. —北京: 中国环境科学出版社, 2012.8

ISBN 978-7-5111-1085-5

I. ①北… II. ①张… ②姚… ③张… III. ①城市—
森林植物—植物散发—研究—中国 IV. ①S731.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 179164 号

责任编辑 孟亚莉
文字编辑 谷妍妍
责任校对 唐丽虹
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 5.75
字 数 152 千字
定 价 29.00 元

项目资助

本课题项目获得“十二五”农村领域国家科技计划课题“城镇景观防护林体系构建技术研究”任务合约“资源节约型城镇景观防护林培育技术研究（编号：2011BAD38B03-2）”资助

本书由内蒙古财经学院资助出版

序

水是生命之源，土是生存之本，水和土是人类生存和发展最基本的物质条件。随着人类生产力水平的提高和科学技术的不断进步，现代社会经济发展与生态过程日益密切地联系在一起，自然资源—生态环境—经济发展之间的矛盾已经成为制约各国经济持续发展的焦点，成为世人共同关注的全球性问题。当我们步入知识经济和经济全球化的 21 世纪，水资源危机、环境污染、生态平衡失调已经成为当今世界的普遍问题。城市森林是城市生态系统和城市生态环境建设的主体，是人类发展不可缺少的自然资源。由于人口增加、城市化进程的加快，城市生态环境建设与水资源供需矛盾日益突出；城市森林的生态效益与其生长所需水资源短缺的矛盾也日益显现。利用森林的特殊功能和效益解决上述问题，是城市绿化建设的重要途径之一。

大连市既是我国城市绿化的模范城市，又是一个水资源先天不足的城市，因此，该书以大连市为例来研究北方资源型缺水城市的森林耗水问题与节水问题具有一定的代表价值，该项研究采用当前先进仪器，运用水量平衡等原理，对大连市常见绿化树种的蒸腾耗水特性，树种蒸腾耗水时空变化规律，树种耗水的主导因子及其相关性等问题进行研究，从而筛选出几种节水型的植物，并通过对这些植物在城市植被建设中的应用，提出具体的节水型城市植被生态系统的建设技术与定向改造技术。并以此为突破点，进行成果的推广，为北方其他城市森林的节水研究提供科学依据，同时也为城市森林水分供需关系矛盾提供指导，为城市合理利用水资源进行绿地植物选择与配置提供理论依据，并为今后城市森林绿化树种进行更加深入系统的研究奠定基础。

该书提出的主要成果为:

(1) 通过对大连市城市森林树种耗水的研究, 筛选出了一些节水的树种, 对于乔木而言, 如径阶为 15 cm 以下的树种, 丝棉木和榉树为节水树种, 径阶为 18~25 cm 的树种, 雪松和丝棉木为节水树种; 对于灌木树种, 连翘、丁香、大叶黄杨为节水的树种。

(2) 各树种在不同季节不同气候条件下的耗水情况为: 对于草本植物来说, 草坪白天耗水量为整天耗水量的 80% 左右; 对于灌木树种来说女贞为春季耗水型植物、大叶黄杨和丁香为夏季耗水型植物, 连翘和木槿为秋季耗水型植物; 对于乔木树种来说晴天和阴天夜间蒸腾量占全天的 4.0%~15.0%, 雨天夜间蒸腾量较高为 21%~30%。因此根据各树种不同的耗水特点可以适当安排浇水或灌溉, 也可节约用水提供参考。

(3) 通过模拟城市森林中不同绿地配置模式并筛选出节水型的绿地配置。提出城市绿地建设的建议: 单一树种的纯林模式不宜过多, 同一类型及相同种类的树种不宜过多搭配, 在进行林中配置时尽量做到乔灌草的结合, 针阔叶的混交, 尤其是多使用耗水量较小的树种, 纯草坪建植面积不宜过大。

本书作者通过实地观测获取了第一手研究数据及资料, 并进行了详尽的分析与归纳整理, 并结合了国内外最前沿的研究成果, 以大连市城区森林为研究对象, 进行了森林耗水的研究, 并取得了具有理论意义和实践意义的科研成果。本书结构合理、思路清晰, 内容丰富、方法先进、特色鲜明, 是一部具有创新性和参考价值的著作。作为一位在资源环境研究领域内的工作者, 我很高兴看到本研究领域的一大批青年学者成长起来, 取得骄人的成果。阅读本著作, 我心中倍感欣慰, 我相信, 本书的成果将会在节水型城市森林生态系统的建设方面产生一定的影响。期望获得学术界和有关专业部门同行的关注和指正。



摘 要

节水型城市森林绿化建设是水资源短缺地区城市生态建设必须重视的问题之一,本研究以大连市劳动公园绿地为研究对象,运用微型蒸发皿,渗漏式非称重蒸渗仪,TDP 热扩散探针分别对 1 种混合草坪,5 种灌木,4 种乔木(每种分 3 个径阶)的蒸腾耗水进行了研究,并同期测定研究了气候环境因子及不同层次土壤含水量的动态变化。分析了城市绿地中不同种类植物在不同季节、不同天气以及不同时段(即昼夜)的蒸腾耗水变化规律,讨论了植物蒸腾耗水在不同水分环境下的变化过程和分配特征以及蒸腾耗水与主要环境因子的响应关系。揭示了不同树种耗水能力的差异,建立了树木耗水与主要环境因子的关系模型,并进行尺度扩展。在此基础上进行城市绿地节水模式的配置。

研究结果显示:在晴天和半晴天混合草坪白天耗水量为整天耗水量的 80%左右,阴天为 70%左右;6~9 月的日耗水量大于 5 月和 10 月的日耗水量;晴天耗水量略大于半晴天的耗水量且二者均大于阴天的耗水量。

5 种灌木不同季节不同天气情况耗水规律基本上是晴天耗水量大于半晴天耗水量、大于阴天耗水量,其中夏季表现得最为明显;以不同季节各灌木日耗水量为基础,对其进行耗水类型的分类,结果为:女贞为春季耗水型植物,大叶黄杨和丁香为夏季耗水型植物,连翘和木槿为秋季耗水型植物;对渗漏式非称重蒸渗仪中灌木树种蒸腾耗水的排序为:连翘>丁香>大叶黄杨>女贞>木槿。

4 种乔木晴天和阴天夜间蒸腾量占全天的 4.0%~15.0%,雨天夜间蒸腾量较高为 21%~30%;不同径阶的各树种在典型天气下与环境因子的相关关系排序,晴天为:太阳辐射>温度>饱和水汽压=相

对湿度>风速;阴天为:太阳辐射>饱和水气压=相对湿度>温度>风速;雨天为:饱和水气压=相对湿度>太阳辐射>温度>风速;对各树种在整个生长季内蒸腾耗水的排序,径阶为 10 cm 的树种为:丝棉木>榉树;径阶为 14 cm 的树种为:丝棉木>榉树>雪松>水杉;径阶为 18 cm 的树种为:雪松>丝棉木>榉树>水杉;径阶为 24 cm 的树种为:雪松>水杉。

树木耗水尺度扩展的方法:灌木树种的耗水通过绿面叶面积指数扩展,单株大树的耗水量通过直径与耗水量的关系模型扩展。

模拟了城市森林中不同绿地配置模式并筛选出节水型的绿地配置。提出城市绿地建设的建议:单一树种的纯林模式不宜过多,同一类型及相同种类的树种不宜过多搭配,在进行林中配置时尽量做到乔灌草的结合、针阔叶的混交,尤其是多使用耗水量较小的树种,纯草坪建植面积不宜过大。

关键词: 大连市;节水型绿地模式;蒸腾耗水;筛选;尺度扩展

ABSTRACT

Urban water-conserving afforestation deserves to be attached importance to in water scarced area. This paper focused on the transpiration of one kind of mixed lawn, five bush species and four arbor species at the Laodong park, using Micro-lysimeter, Drainage lysimeters and thermal dissipation probe (TDP) for transpiration observations respectively. The environmental factors and the dynamic change of soil water content of varied layers were observed simultaneously. The paper analysed the transpiration patterns of different seasons, weather and phases of a day (diurnal-nocturnal change). The change process of the plants under various water conditions were discussed along with the water distribution features, also investigated was how the transpiration responded to dominant environment variables. The dissimilarities in water consumption capabilities of trees were studied, contributing to the formation of transpiration-environment response model and the scaling up. Therefore, water-conserving composition of urban greenland would be available.

The diurnal water consumption of mixed lawn accounted 80% of the total in clear and semi-clear days, 70% in cloudy days. The lawn consumed more water in June, July, August and September than in May and October. Summer provided the most obvious demonstration that bushes transpired most on clear days, then semi-clear days and then cloudy days across the board, which was also similar in other seasons only in a slighter way. We ranked the species based on daily sapflow volume. The results are as following: *Ligustrum lucidum* transpired most in spring, *Euonymus japonicus* and *Syringa oblata* in summer, *Forsythia*

suspensa and *Hibiscus syriacus* in autumn, and *Forsythia suspensa* > *Syringa oblata* > *Euonymus japonicus* > *Ligustrum lucidum* > *Hibiscus syriacus* in terms of volume amount.

Nighttime sapflow of four arbor species accounted 4.0%~15.0% daily water consumption on clear and cloudy days, and more on rainy days to about 21%~30%. We ranked the significance of the impact of environment variables on sapflow: Radiation > temperature > vapour pressure deficit > wind speed on clear days, Radiation > vapour pressure deficit > humidity > temperature > wind speed on cloudy days and vapour pressure deficit > humidity > radiation > temperature > wind speed on rainy days. The transpiration rankings across the whole growing season are as following: *Euonymus bungeanus* > *Zelkova serrata* within the 10 cm diameter class, *Euonymus bungeanus* > *Zelkova serrata* > *Cedrus deodara* > *Metasequoia glyptostroboides* within the 14 cm diameter class, *Cedrus deodara* > *Euonymus bungeanus* > *Zelkova serrata* > *Metasequoia glyptostroboides* within the 18 cm diameter class, and *Cedrus deodara* > *Metasequoia glyptostroboides* within 24 cm diameter class.

The approaches of scaling up included: LAI for bushes and the relationship between radial profile and sapflow in individual arbors.

We offered suggestions for urban afforestation after the modeling of greenland arrangement pattern and sifting the water-conserving species: the pure stand of mono-species is not favorable, so is the combination of similar type plants. It's ideal to diverse the group by setting arbors, bushes and grasses together. The same theory applies for mixed coniferous and broad-leaved trees. What's of especial interest is more employment of water-conserving species and the pure lawn should not spread out.

Keywords: Dalian; Waters-conserving green model; Transpiration; Sifting motion; Scaling up

目 录

引言.....	1
第 1 章 城市森林生态系统耗水研究综述.....	3
1.1 研究目的和意义.....	3
1.2 国内外研究现状.....	7
第 2 章 研究区基本概况.....	27
2.1 自然社会概况.....	27
2.2 土地资源概况.....	29
2.3 植被类型概况.....	29
2.4 水资源状况.....	31
第 3 章 研究内容与试验方法.....	33
3.1 研究内容	33
3.2 研究方法	34
3.3 技术路线	41
第 4 章 草坪耗水特征分析.....	42
4.1 草本植物典型天气耗水研究.....	42
4.2 降雨量与土壤含水量对草坪耗水的影响.....	46
4.3 生长季内草本植物蒸腾耗水量.....	48
4.4 小结	49
第 5 章 灌木树种单木耗水特征分析.....	51
5.1 土壤储水量的变化.....	51

5.2 土壤渗水量的变化.....	52
5.3 各灌木树种不同季节的耗水规律.....	53
5.4 生长季内各灌木树种蒸腾耗水量综合比较.....	59
5.5 小结	61
第 6 章 乔木树种单木耗水特征分析.....	63
6.1 树干边材液流日变化和季节变化规律.....	63
6.2 树木耗水的影响因素.....	68
6.3 不同天气下不同径阶的各树种单木耗水模型的建立.....	102
6.4 生长季内各树种蒸腾耗水量综合比较.....	104
6.5 小结	107
第 7 章 树木耗水尺度扩展及耗水量的计算.....	109
7.1 灌木耗水的尺度扩展方法与耗水量的计算.....	109
7.2 树干边材液流耗水量测定的尺度扩展.....	112
7.3 耗水模型检验及不同胸径日耗水量表的建立.....	121
7.4 小结	124
第 8 章 林木耗水研究在城市绿地中的应用.....	126
8.1 大连市劳动公园绿地概况.....	127
8.2 绿地模式配置.....	127
8.3 小结	145
第 9 章 结论与讨论.....	147
9.1 结论	147
9.2 讨论	150
参考文献.....	153
后 记.....	171

引 言

城市是以人类社会为主导的社会、经济、自然恢复生态系统。城市森林是指在城市地域内以改善城市生态环境为主，促进人与自然协调，满足社会发展需求，由以树木为主体的植被及其所在的环境所构成的森林生态系统，是城市生态系统的重要组成部分，具有重要的生态服务功能^[1]。

城市区域内的森林和水体是城市生态系统中非常重要的因子，它们不仅是城市景观的重要组成部分，而且也是城市生态功能和环境功能维持的重要调节器。是城市生态环境建设的本地和主线^[2]。对于北方以资源型缺水为特征的城市而言，节水型城市森林与维护模式是城市生态环境建设考虑的首要问题，定量研究典型树种的蒸腾耗水特征进而选择低耗水树种是节水型城市林业建设技术的重要组成部分。

近年来，我国城市绿地与城市森林建设已经受到了规划师、各级决策层、研究人员的广泛重视，但与城市对森林的需求相比，还有较大的差距。因此，一方面要大力开展“生态关联、环境互补、

资源相依、城乡一体”的城市森林建设；另一方面在新开发和城市扩展过程中，注重绿色空间与灰色空间平衡，加强城市森林建设。

该研究的主要目的是通过对北方城市典型植被生态系统的生态耗水和生态用水的定量评价，筛选节水型植物，并通过这些植物在城市植被建设中的应用，提出具体的节水型城市森林生态系统的建设技术与定向改造技术。

第 1 章

城市森林生态系统耗水研究综述

1.1 研究目的和意义

1.1.1 城市森林的生态服务功能

城市森林在维持和改善城市生态环境过程中具有重要的生态服务功能，其生态效益功能具体表现为：调节气温、改善空气湿度、降低城市噪声、吸附粉尘、减缓温室效应、维护物种多样性等方面；水文效益功能表现为：拦蓄降水、涵蓄水源、减少地表水土流失、提高土壤蓄水和降水利用率等方面；社会经济效益功能表现在：改善城市景观、提供游憩空间同时以不同层次体现城市文化的内涵等方面。因此城市森林在城市生态建设中具有不可替代的作用^[3, 4]。

城市森林对空气的净化作用，主要表现在：①能杀灭空气中的细菌，吸滞烟尘，稀释、分解、吸收并固定大气中的有毒有害物质，并通过光合作用形成有机物质，化害为利。据何绿萍^[5]测定，绿化树木可以降尘 23%~52%，夏季成片林地降尘率可达 61.1%，冬季降尘

也有 20% 左右。②能扩大空气负氧离子量, 据王洪俊^[6]测定, 乔、灌、草结合的复层林中空气负离子水平最高, 空气清洁度等级最高, 空气质量最佳, 而草坪的各项指标表现最低。③城市森林在进行光合作用时能吸收 CO_2 释放 O_2 , 这对保持城市 CO_2 - O_2 平衡起着重要作用。据陈自新等^[7]的研究表明, 1 hm^2 森林每天可吸收 CO_2 1 000 kg 以上, 相当于 1 000 多人的呼出量, 同时生产 O_2 730 kg 左右, 相当于 970 多人 O_2 的吸进量。

城市森林对城市的气温、湿度、气流等都有一定的影响, 据陈自新等^[7]测定, 夏季乔灌草结构的绿地气温比非绿地低 4.8°C , 空气湿度可以增加 10%~20%。吴力立^[8]的研究表明, 林区同期 3 种温度的平均值及年较差都低于市区, 林区四季长度的秋、冬季比市区各长 1 候, 夏季短 2 候。

城市森林在降低噪声方面的作用也非常明显。据段舜山^[9]测定表明, 绿化街道比不绿化的街道降低噪声 8~10 dB。乔、灌、草结合的多层次的 40 m 宽的绿地, 减低噪声 10~15 dB。

1.1.2 大连市城市森林生态服务功能

张宏芝 (2006)^[10]在“大连城市森林生态系统服务功能价值动态仿真的研究”中, 对大连城市森林的各项生态系统服务功能价值进行了定量评价。大连城市森林每年生态服务功能价值为 4.25×10^8 元, 其中间接经济价值为 4.16×10^8 元, 占总价值的 98%; 直接经济价值为 8.51×10^6 元, 占总价值的 2%。大连城市森林每年涵养水源的经济价值为 4.80×10^7 元, 其中, 林冠截留量价值为 1.14×10^7 元, 森林枯落物储水价值为 2.95×10^6 元, 土壤蓄水价值为 3.36×10^7 元; 保持水土的总价值为 9.90×10^7 元, 其中, 减少土壤侵蚀价值为 3.27×10^5 元, 减少有机质损失价值为 2.10×10^7 元, 减少氮、磷、钾养分损失总价值为 7.77×10^7 元, 固碳释氧的价值为 2.84×10^7 元, 净化大气的价值为 2.13×10^8 元, 其中, 吸收 SO_2 的价值为 3.10×10^6 元, 吸收 HF 的价值为 1.75×10^4 元, 滞尘价值为 2.10×10^8 元; 大连城市森林每年林木生长所产生的价值为 8.51×10^6 元。

通过系统动力学仿真模型,预测出大连城市森林各林型城市森林效益变化趋势。大连城市森林各林型的涵养水源效益、保持水土效益、吸收效益、滞尘效益都表现出增大的趋势,林木增长效益、固碳效益、释氧效益都表现出减小趋势。针叶林、阔叶林、针阔混交林的效益都表现出相似的变化趋势,只是由于各林型中的林龄结构有差异,各林型森林增加或减小的效益的比例不同。

通过仿真模型,预测出了 2005—2014 年大连城市森林各项生态服务功能的价值。2005—2014 年,其涵养水源价值增长 12.26%、保持水土价值增长 1.54%、固碳释氧价值降低 19.11%、净化大气价值增长 20.44%、林木年增长价值降低 18.56%。大连城市森林效益总值自 2005 年至 2014 年表现出增加的趋势。

1.1.3 城市森林的水文效应

树木在拦蓄降水、涵养水源、减少地表水土流失、提高土壤蓄水和降水利用率等方面具有巨大的水文效益。首先,树木的树冠能有效地吸纳大气中的降水;其次,树冠下的灌木、草本及枯落物层可以进一步截持林冠水从而减少了雨水对地面的直接冲蚀并减少了地表径流;最后,绿地植被发达的根系,在土壤中形成大量有利于水分渗透的非毛管孔隙,加之地上枯落物的分解对土壤结构改良的作用,可使土壤的持水、透水性增强。大量的试验表明,结构良好的城市绿地,降水时产生很少或不产生地表径流^[11, 12]。

然而任何事物都具有正反两方面的作用,树木作为城市生态系统的有机体,在发挥巨大生态功能的同时,也需要相当可观的水量来维持其生态系统物质和能量的正常循环^[13, 14]。Pataki 和 Calder^[15, 16]对树木耗水的研究表明,植物蒸腾耗水在水量平衡中所占的比例随着干燥系数的增大和单位面积绿量的增大而提高,有时甚至超过当年降水量。Wullsehleger^[17]综合了以往 30 年中有关树木单株耗水量的测定结果,发现 35 个属 65 个树种中的 90% (平均树高 21 m) 其日耗水量在 10~200 kg。据杨海军(1993)^[18]、王孟本(1996)^[19]、魏天兴(1998)^[20]对不同植被生态系统的蒸散耗水量研究表明,裸