

“城镇碳汇保护和提升关键技术集成研究与示范(2011BAJ07B05)”资助

低碳城镇： 碳汇保护与提升技术模式

吴永常 韦文珊 陈学渊 著

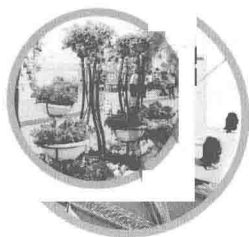


中国农业科学技术出版社

“城镇碳汇保护和提升关键技术集成研究与示范(2011BAJ07B05)”资助

低碳城镇： 碳汇保护与提升技术模式

吴永常 韦文珊 陈学渊 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

低碳城镇: 碳汇保护与提升技术模式 / 吴永常, 韦文珊, 陈学渊著.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5116 - 2054 - 5

I. ①低… II. ①吴…②韦…③陈… III. ①节能 - 生态城市 - 城市建设 - 研究 - 中国 IV. ①X321. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 069436 号

责任编辑 贺可香
责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82106638 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)
传 真 (010) 82106638
网 址 <http://www.castp.cn>
经销者 全国各地新华书店
印刷者 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 710mm × 1 000mm 1/16
印 张 17
字 数 300 千字
版 次 2015 年 5 月第 1 版 2017 年 1 月第 2 次印刷
定 价 68.00 元

“城镇碳汇保护和提升关键技术 集成研究与示范” 课题研究团队

课题主持人：吴永常

主 持 单 位：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

参加研究单位及人员：

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所：吴永常，韦文珊，陈学渊，吴国胜，郑凯，于涛，陶婷婷，吴思齐，杨芳

中国科学院生态环境研究中心：王效科，逯非，崔健

北京派得伟业科技发展有限公司：杨宝祝，耿志席，史晓霞，彭浩，张伟娟，郭雷，胡志南

山西省右玉县生产力促进中心：张文举，赵兰栓，李胜，马冬梅

浙江省安吉县技术创新服务中心：陈小瑛，胡文虎，付德生，毛任道

河南省郑州市竹林景区旅游开发有限公司：胡海波，张海军

安徽省淮南市绿亚园林景观工程有限公司：陆仲恺，赵永强

《低碳城镇：碳汇保护与提升技术模式》

著者名单

主著 吴永常 韦文珊 陈学渊

著者 (按姓氏笔画排序)

于 涛	王效科	史晓霞	史美佳	杨 芳
杨宝祝	吴国胜	吴思齐	陈小瑛	郑 凯
张文举	耿志席	陶婷婷	崔 健	逯 非

前 言

“低碳城镇”的概念最早是 2003 年英国政府在《能源白皮书》中提出来的，是以依靠能源利用的技术创新、产业结构和制度的创新，以及人类发展观念的根本性转变作为其核心理念，构建起一个以低能耗、低污染、低排放、高效率、高产出为特征的社会形态。

城镇低碳发展的一个重要目标就是碳源（Carbon Source）小于或等于碳汇（Carbon Sink）。国际上应对气候变化，有两条重要的措施：第一条是工业的减排，称为直接减排；第二条是生物碳汇，称为间接减排。控制排放源与碳汇结合是很多发达国家降低温室气体排放的有效手段。随着工业化和城市化的发展及大气中 CO₂ 浓度的上升，碳汇的功能成为应对全球气候变化的主要手段，而城镇绿地和建筑物空间立体绿化在城市碳氧平衡中具有不可替代的作用。如果一个城镇的“碳汇”可以承载已有的碳源，则零碳排放的目标更易于实现，也更现实。

碳汇技术主要是森林、土壤、湿地等生物碳汇技术和碳封存等工程固碳技术，但目前缺少从整个城镇生态系统出发集成的技术体系。虽已有城镇建筑物空间立体绿化单一技术专利如灌溉、排水、植被筛选等，但缺少从安全、维护、构造、改建和新型技术完整构架并能满足城镇生态系统碳和景观双重功能的技术体系。以树木为主，乔、灌、花、草、水系相结合的城镇绿化系统，其结构与功能接近森林生态系统，除主要发挥生态效益，还具有美化景观、发展经济等多种功能。据北京市科学园林研究所对市区各类绿地的效益观测，乔、灌、草结构绿地的综合生态效益，约为单一草坪的 4~5 倍，而培育单位面积草坪的投入，则为乔、灌、草结构绿地的 3 倍以上。由于我国大中城市建筑物高度密集，可供绿化的土地较少，面对生态环境恶化，如何利用有限的绿化用地和空间，发挥以生态效益为主的多种效益，是研究城镇绿化系统植物结构的首要出发点，也是提高城镇碳汇能力的主要途径。

本书是“十二五”国家科技支撑计划项目“城镇低碳发展关键技术集成研究与示范（2011BAJ07）”课题五“城镇碳汇保护和提升关键技术集成研究

与示范（2011BAJ0705）”的成果集成。课题研究由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所主持，与中国科学院生态环境研究中心、北京派得伟业科技发展有限公司、山西省右玉县生产力促进中心、浙江省安吉县技术创新服务中心、河南省郑州市竹林景区旅游开发有限公司、安徽省淮南市绿亚园林景观工程有限公司共计7家单位共同承担，共有30多名研究人员、技术人员参加。经过3年的研究，围绕城镇可持续发展和积极应对气候变化的需要，以保护和提升城镇碳汇能力，重点研究城镇生态系统碳汇计量方法，开发集成了一批适合城镇生态系统的碳汇技术，提出了一批城市低碳绿地、湿地固碳和建筑物空间立体绿化示范模式，并通过4个国家可持续发展实验区的应用示范建设，为我国低碳型社会的建设提供科技支撑。本书系统地总结了该研究的成果，分章撰稿人员如下：

第一章 吴永常，王效科，杨宝祝，于涛，吴国胜

第二章 吴永常，王效科，杨宝祝，于涛，吴国胜

第三章 韦文珊，陈小瑛，张文举，杨芳，吴思齐

第四章 韦文珊，陶婷婷，杨芳

第五章 韦文珊，陶婷婷，于涛

第六章 陈学渊，吴永常，崔健

第七章 崔健，王效科，逯非

第八章 杨宝祝，史晓霞，史美佳，郑凯，耿志席，于涛

第九章 崔健，吴永常，于涛

全书由韦文珊、崔健和吴永常统稿，并最终定稿。

由于本书的主要内容是在课题研究成果的基础上提炼而成的，因此在内容的系统性、完整性与代表性等方面不可能十分完善，加上编撰人员才学所限，书中疏漏之处，恳请读者批评指正，也真诚地希望广大读者、专家、同仁能在此领域进行更多的交流与合作。

著 者

2014年7月24日于北京

目 录

第一篇 绪论

第一章 研究背景与研究内容	(3)
第一节 研究背景和意义	(3)
第二节 研究目标与主要研究内容	(7)
主要参考文献	(8)
第二章 技术路线和研究方法	(11)
第一节 技术路线	(11)
第二节 总体研究方法	(11)
第三章 研究区域概况	(16)
第一节 浙江安吉可持续发展实验区概况	(16)
第二节 山西右玉县可持续发展实验区概况	(19)
第三节 河南竹林镇可持续发展实验区概况	(22)
第四节 安徽毛集可持续发展实验区概况	(24)
主要参考文献	(27)

第二篇 城镇生态系统碳汇测算与评估方法

第四章 城镇生态系统碳汇测算方法研究	(31)
第一节 碳汇测算方法研究综述	(31)
第二节 城镇绿地分布的特点	(38)
第三节 城镇碳汇测算方法	(41)
主要参考文献	(52)
第五章 实验区碳储量测算及相关实验研究分析	(55)
第一节 实验区城镇碳储量及其分布	(55)
第二节 城镇建筑物空间绿化固碳潜力研究	(63)

主要参考文献	(75)
--------------	------

第三篇 城镇生态系统碳汇保护与提升技术模式

第六章 城镇绿地碳汇保护与提升技术模式及其评价	(79)
第一节 城镇绿地碳汇保护与提升现状和技术研究进展	(79)
第二节 城镇绿地系统研究现状	(81)
第三节 城镇绿地系统生态建设研究的理论基础	(82)
第四节 城镇绿地系统布局理论与方法	(94)
第五节 研究区域碳汇保护与提升技术集成方案	(104)
第六节 城镇绿地碳汇保护与提升技术效果评价	(117)
主要参考文献	(120)
第七章 城镇湿地碳汇保护与提升技术模式及其评价	(124)
第一节 城镇湿地碳汇功能形成和评估	(124)
第二节 城市湿地碳汇保护与提升技术	(146)
第三节 城镇湿地碳汇保护与提升技术示范	(154)
第四节 城镇湿地碳汇保护与提升技术效果评价	(162)
主要参考文献	(169)
第八章 城镇建筑物立体空间碳汇保护与提升技术模式及其评价	(176)
第一节 城镇建筑物空间立体绿化技术集成研究	(176)
第二节 建筑物空间立体绿化技术模式	(183)
第三节 城镇建筑物空间立体绿化技术示范及其应用效果评价	(212)
第四节 城镇建筑物空间碳汇保护与提升技术应用综合建议	(223)
主要参考文献	(225)
第九章 结语与展望——城市空间农业：打造绿色城市的尚方宝剑	(227)
第一节 简介	(227)
第二节 科学争论	(228)
第三节 研究预期	(229)
第四节 效益评估	(231)
主要参考文献	(232)

附表

附表 1	国家和 IPCC 碳计量木材密度与生物量扩展因子参考值	(237)
附表 2	全国优势树种 (组) 异速生长方程	(239)
附表 3	中华人民共和国国家标准——原木材积表	(250)
附表 4	我国主要乔木树种平均实验形数表	(259)

第一篇 绪论

第一章 研究背景与研究内容

第一节 研究背景和意义

“碳汇”技术是指从空气中吸收二氧化碳的过程、活动或机制。陆地生态系统作为全球碳循环中最大的碳库，其变化直接影响大气 CO_2 的浓度^[1~3]。在全球大气温室气体减排中，陆地生态系统的固碳功能一直在全球温室气体减排研究中受到广泛关注。

国际上应对气候变化，实际上有两条重要措施：第一条是工业的减排，即直接减排；第二条是生物碳汇，即间接减排。控制排放源与碳汇结合是很多发达国家在降低温室气体排放的有效手段^[4]。未来趋势是通过技术创新将“生物固碳”与“城市空间格局”结合，降低城市低空大气环境的污染源。随着工业化和城市化的发展及大气中 CO_2 浓度的上升，碳汇的功能应对成为全球气候变化的主要手段，而以城镇绿地和建筑物空间立体绿化为代表的碳汇保护与提升技术在城市碳氧平衡中有不可替代的作用^[5]。大力保护和改善生态环境，增加城镇碳汇能力，是应对全球气候变化的一项重要措施。当前，我国已经进入城镇化快速增长时期，城镇化水平从 2005 年 42.99% 提高到 2009 年的 46.59%，年均增加 0.9%。城镇化已成为中国推进新型工业化、解决就业、扩大内需的重要举措。中国快速城镇化的趋势将保持 15~20 年，未来 5 年间，中国城镇化水平将达到并超过 50%，进入城市社会^[6~8]。

城镇低碳发展的一个重要目标就是碳源（Carbon Source）小于或等于碳汇（Carbon Sink），如果该城镇的“碳汇”可以承载已有的碳源，对于零碳排放的目标，则更易于实现，也更现实^[9]。城镇碳汇综合效益是生态、经济和社会效益的统一，联合国环境署的一项研究表明，如果一个城市的屋顶绿化率达到 70% 以上，城市上空 CO_2 含量将下降 80%，当一个城市屋顶绿化面积达到 6%，直接来自建筑物的温室气体排放每年可减少 1.56Mt。如以北京城区现有的 6 979 万 m^2 屋顶面积的 30% 进行屋顶绿化，相当于在北京城市中心区又建

成了 27 个紫竹院公园，可增加城市绿地 769.8 万 m^2 ，使绿地每年滞尘量增加 192.45t，全年吸收 SO_2 量增加 3.95t，大大改善大气质量，具有十分广阔的推广应用价值。

碳汇能力的提高，不但生态效益显著，而且具有一定的经济效益。碳汇的科学计量是进行碳权交易的基础，按国际减排价格每吨 CO_2 200 \$ 计算，可为国家获碳贸易收入每吨 CO_2 216 \$。同时通过低碳城镇建设的碳汇推广，不断普及低碳知识和文化，树立低碳理念，对建设低碳型社会具有重要保证作用，具有明显的社会效益；由于低碳城镇建设不仅可以全面提升从业人员的产业化水平，而且在低碳城镇建设中系统集成了若干关键技术，本身就是技术的产业化过程，也具有较大的产业化前景^[10]。

本书旨在通过开展以城镇绿地生态系统、湿地生态系统、建筑物空间立体绿化系统碳汇保护与提升的关键技术集成和应用与示范，为推进我国低碳城镇的建设，探索实现城镇系统节能减排目标提供全面的技术支撑体系，为提高我国城镇的碳汇水平和减少 CO_2/GDP 排放提供技术储备，对于推进“低碳”的城镇化进程，减少国家低碳排放目标，具有重要的示范推广意义。

一、国内外研究现状

植物碳汇对于 CO_2 平衡具有不可替代的作用，每公顷森林通过光合作用，吸收 1 005 kg CO_2 ，每公顷城镇绿地平均约能吸收 CO_2 8 kg，相当于 200 人同时时间的呼吸量，人均 50 m^2 绿地可维持城镇碳平衡。地球湿地面积之和仅占陆地面积的 4% ~ 6%，但它却占到陆地生物圈碳素的 35%，湿地具有持续的固碳能力，很多湿地生态系统从上一次冰河消融开始就成为碳汇^[11]。已有的研究表明，多数湿地的 CO_2 固定量都远高于 CH_4 的释放量，有机质被大量储存在土壤中，湿地植物净同化的碳仅有 15% 释放到大气。近年来有关碳汇的基础研究较多，如森林生态系统碳的研究，包括森林生态系统的碳储量和碳密度的空间变异性研究，森林生态系统土壤碳库的研究，人工林碳汇的研究，森林生态系统碳汇的研究方法等^[12]。城镇湿地是城镇一种重要土地利用类型，目前国内外的研究主要考虑其景观价值和生物多样性保护及防洪等功能，对于城市湿地的固碳功能有一些宏观评价，但多采用国外的经验数据，缺乏国内的实验观测数据。围绕城镇景观提升、城市面源污染治理和城市防洪等需要，国内外已经开发了一些技术：如生态护岸技术、生态塘技术等。对于如何提升城镇湿地的碳汇功能，目前国内外还未见研究报道。对湿地与城镇绿地的研究也有一定进

展,如有学者开展长江口湿地的固碳能力研究,以及城镇绿地土壤碳储量、碳沉降的研究等。此外,人类活动造成的土地利用、土地覆被变化、氮沉降对碳汇影响的研究也在进一步开展,这些均为发展技术应用研究奠定了较好的基础。

目前,对于城镇化进程中的碳汇保护和提升技术的集成示范没有系统研究。所以,由此而形成的专利等知识产权及相关技术标准都是单一、分散的。事实上,联合国粮农组织新近指出,耕地释放出大量的温室气体,超过全球人为温室气体排放总量的30%,相当于150亿t的 CO_2 ^[13]。同时,联合国粮农组织估计,生态农业系统可以抵消80%的因农业导致的全球温室气体排放量,无需生产工业化肥,每年可为世界节省1%的石油能源,不再把这些化肥用在土地上还能降低30%的农业排放。就技术而言,低碳技术在电力、冶金等工业生产领域已有大量成熟的技术和应用,但大都是针对某一设施或单一环节采用的低碳排放控制技术;生物炭碳汇工程技术就是要打破传统的植物自然的碳循环,在植物有机质腐化分解前以生物炭的形式把其中的碳固定下来并长期储存在土壤里。增加森林和草地已成为人们广泛而容易接受的一项增加土壤碳库,控制土壤碳排放的常规技术,但尚未看到有关系统集成若干资源高效、低碳排放型技术于一体,应用于低碳城镇建设。

碳汇技术主要是森林、土壤、湿地等生物固碳技术和封存等工程固碳技术^[14],但缺少从整个城镇生态系统出发集成的技术体系;城镇建筑物空间立体绿化单一技术专利如灌溉、排水、植被筛选等,但缺少从安全、维护、构造、改建和新型技术完整体系并能满足城镇生态系统碳和景观双重功能的技术体系。湿地碳汇保护和提升的技术路线和技术指标在国内外大量工程和技术措施的增汇固碳效果估算中得到了广泛应用,在正在实施的一些国家重大科研项目,如中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”中,也采用相似的技术路线和技术指标。

二、国内外应用情况

“碳汇”来源于《联合国气候变化框架公约》缔约国签订的《京都议定书》,该议定书于2005年2月16日正式生效。由此形成了国际“碳排放权交易制度”(简称“碳汇”)^[15]。通过陆地生态系统的有效管理来提高固碳潜力,所取得的成效抵消相关国家的碳减排份额。碳汇计量标准主要有气候社区生物多样性标准 Climate, Community and Biodiversity Project Design

Standards (First Edition - October 2005)、黄金标准(The Gold Standards)、澳大利亚碳计量计划、温洛克(Winrock International)碳监测指南、土地利用(变化)与林业(LULUCF)项目计量指南等,我国目前尚没有国际通用的碳汇计量标准。对于如何运用集成技术来提升城镇绿地和湿地的碳汇功能,目前国内外还未见研究报道。据检索,专门的城镇碳汇评估系统亦无报道,但与之相关的碳足迹计算器、城镇绿地系统 CITYgreen 有部分功能^[16]。城镇碳汇计量方法和城镇碳汇评估系统的建立,可以形成一套适合中国国情的城镇碳汇测量参数表,是建立低碳城市发展战略的重要方法和依据^[17]。

城镇空间立体绿化是一种非常有效的对于被侵占土地的补偿形式,同时也是对城镇化的一种补偿,可以在几乎任何城镇空间上建造,保护和提升了城镇碳汇能力。例如先进的屋顶绿化系统重量轻,长远角度上看成本较低,在德国,80%的屋顶绿化都是拓展型屋顶绿化,屋顶花园覆盖整个屋顶区域^[18]。在中国,拓展型屋顶绿化非常少见,仅有少量的样板工程,多是密集型屋顶绿化,绿化区域往往彼此分离。近年来,随着世界各国在城市现代化进程上的加快,城市建设用地与绿化用地的矛盾日益突出,对绿化的需求越来越强烈,人们不得不开始关注城市绿化空间的发展,随之而来的是城市屋顶绿化的热潮,同时人们也渐渐地把目光投向了蕴藏着巨大绿化空间的城镇建筑物垂直面上。

在一些发达国家,流行利用植物来“砌墙”,在美国一些别墅里还用植物墙把房间隔开。在巴西有一种“绿草墙”,它是采用空心砖砌成的,砖里面填了土壤和草籽,草长起来就成为了绿色的墙壁,不但美化环境,还能起到减少噪声、净化空气和隔热降温等作用。在日本,栽植了草坪、花卉或灌木等的装置系统被安装在了围墙、护栏、坡壁、垂直的各种广告支架等上面,使混凝土变成了绿色森林;还有一种观赏墙壁上面的园林植物、栽培基质和固定装置形成一个完整的板块,这种绿色墙既可用于室外又可用于室内。日本爱知世博会展示的长达150m、高12m以上的“生命之墙”汇集了最新的垂直绿化技术于一堂,其美丽的景观令人赏心悦目^[19]。

在我国,垂直绿化技术的相关研究正在逐步开展,新的垂直绿化技术也不断涌现。国内近年来在上海等地出现了在建筑墙体、围墙、桥柱、阳台种植绿化植物形成垂直的绿化墙面,以降低室内温度及外部杂音,同时也形成了一道道城市绿色景观。在新外滩综合改造和世博会场馆的建设中,垂直绿化被广泛运用^[20-22]。目前国内较为先进的垂直绿化技术是墙体垂直绿化系统。这套系

统废弃了传统的植物攀爬以达到绿化的方法,采用更为科学的由墙体种植毯、种植袋、保温板及其他附属配件组成的垂直绿化技术,具有自动浇灌,无需骨架,集防水、超薄、长寿命、易施工于一身等优点。

城镇中各类围墙、挡土墙、河道桥梁以及一切垂直于地面的建筑物和构筑物以及屋顶、天台、阳台、室内等再生空间均可用来进行绿化美化,是现代城镇增加绿量、提高绿化覆盖率、提升城镇碳汇潜力的极大新空间。对这些建筑再生空间进行立体绿化建设,可达到双倍的成效,一方面增加了同样面积的绿色植物,其环境效能很高,如在墙面绿化的降温效果方面,据测试,有攀援植物攀附的墙面,夏天其温度可降低 $5\sim 14^{\circ}\text{C}$,室内气温可降低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。建筑再生空间绿化是建筑空间与绿色空间的相互渗透,使自然植物和人工建筑物有机结合并相互延续,保护和美化环境景观,并产生特有效果,从而增加了人与自然的紧密度;另一方面又减少了环境污染面,保持建筑物与周围环境的协调,最终有效提升城镇碳汇的扩大,推进“低碳”的城镇化进程。

现在,屋顶绿化在北京、上海、广东、四川、浙江、重庆、深圳、杭州等多个省市得到较好推广,全国除西藏、新疆等少数省区未开展屋顶绿化工作,绝大部分的省、市区均开展了屋顶绿化项目。空间立体绿化项目在北京,不少国家机关、企事业单位办公楼、商业设施和居民住宅小区都实施了屋顶绿化,有的建起“空中花园”,如全国政协、中共中央组织部、最高人民法院、国家广电总局、光明日报、经济日报、市委党校、什刹海体校、东四六条小区、虹桥市场、华贸中心等都建了立体空中花园、屋顶草坪,在全国起了带头示范作用。

城镇绿地和湿地生态系统碳汇保护与提升的关键技术集成与应用计划成果可以与2005年中华人民共和国建设部引发的《城市湿地公园规划设计导则(试行)》相结合,在我国城市和城镇湿地建设中,通过合理的技术模式及规范,将湿地的景观、游憩和生物多样性保护功能与固持大气二氧化碳,减缓全球变暖结合起来^[23~24]。

第二节 研究目标与主要研究内容

本书从中国的国情出发,参照国际碳汇计量标准,利用已有的工作基础,围绕城镇可持续发展和积极应对气候变化的需要,以保护和提升城镇绿地、湿地、建筑物空间立体绿化等城镇生态系统的碳汇能力为目标,重点研究制订1