

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

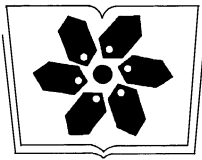
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博, 罗 鹏, 孙 庚, 等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭, 张 楠, 于琳倩, 等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷, 高玉芳, 袁凤辉, 等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜, 王克林, 段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格, 陈 静, 张学庆, 等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东, 刘志刚, 张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞, 闫喜武, 张跃环, 等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明, 戴小杰, 朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅, 孙向阳, 康向阳, 等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧, 官 立, 王东波, 等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生, 周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇, 王丽华, 于 萍, 等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦, 林 丽, 史国英, 等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍, 刘世荣, 刘兴良, 等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸, 戴传超, 王兴祥, 等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超, 赖子尼, 李跃飞, 等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然, 王仁卿, 张 建, 等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友, 袁道先, 石胜强, 等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁, 赵护兵, 王朝辉, 等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪, 宋秀凯, 靳 洋, 等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳, 沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然, 李超骥, 曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇, 吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民, 邓合黎, 马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟, 刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰, 方华军, 于贵瑞, 等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠, 赵建伟, 朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云, 何怀东, 杨丹菁, 等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明, 赵文武 (4940)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110261592

邵天然, 李超骖, 曾辉. 城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例. 生态学报, 2012, 32(15): 4852-4860.

Shao T R, Li C S, Zeng H. Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4852-4860.

城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析 ——以深圳市福田区为例

邵天然¹, 李超骖¹, 曾辉^{1,2,*}

(1. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 深圳 518055; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 屋顶绿化是现代城市改善生态环境条件, 缓解高密度建成区人为活动负面影响的重要策略选择。以深圳市福田区为工作区, 利用高精度遥感数据结合设计资料查询和实地调查构建基础数据源; 在总结国内外研究成果的基础上, 筛选适宜的屋顶绿化约束影响因子, 构建资源潜力评估方法; 对工作区进行城市屋顶绿化资源潜力评估和绿化策略探讨。结果表明: (1) 建筑年代、承重结构、屋顶属性、屋顶小气候是城市屋顶绿化 4 个方面的主要适建要素, 其所涵盖的建筑年代、建筑结构、屋面构造、屋顶功能、屋顶坡度、设备面积、建筑高度和遮荫状况等 8 个影响因子是决定城市屋顶绿化资源潜力的关键性指标; (2) 把城市屋顶绿化纳入城市生态结构和功能建设的整体考虑中, 积极开展资源评估、规划研究和配套管理政策建设是推进我国城市屋顶绿化发展重要任务; (3) 深圳市中心区现状屋顶绿化率仅 9%, 剩余构筑物中有 51% 适合进行全部或部分屋顶绿化覆盖, 今后应考虑采取强制、引导和鼓励等不同政策手段, 选择适宜的绿化技术方案, 对于现有以及正在建设的并且条件适宜的构筑物进行屋顶绿化。

关键词: 屋顶绿化; 资源分类; 潜力评估; 绿化策略; 深圳

Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China

SHAO Tianran¹, LI Chaosu¹, ZENG Hui^{1,2,*}

1 School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen 518055, China

2 College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: In recent decades, numerous urban environmental problems have emerged with rapid urbanization in China. Roof greening is an important strategy to improve the ecological environment in modern cities, and to alleviate the negative influence of human activities in high-density, built-up areas. Therefore, such greening has been rapidly developed in many domestic cities. Currently, roof greening in Shenzhen is in the lead position among major cities in China, but remains behind developed cities abroad. As a boom city with a certain international impact, we chose Shenzhen as the study region to do a resource potential assessment of urban roof greening and to explore greening strategies. The aim was to excavate space resources for roof greening, and to formulate greening strategies in accord with the actual state of roof greening development in the city. The study provides necessary theoretical support and a scientific basis for further such development, and has a great reference value to other cities for similar research or practical work. In the present study, we researched the Futian central district of Shenzhen, using as basic data sources remote sensing data, archives of project design, and onsite investigation. Based on a review of relevant research at home and abroad, we selected appropriate impact

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071117); 深圳市科技局“百人计划”项目

收稿日期: 2011-10-26; **修订日期:** 2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengh@szpku.edu.cn

factors for roof greening, and constructed the method of resource potential assessment. Then, we assessed the resource potential of urban roof greening and explored the greening strategies. Results show that: (1) Construction period, load-bearing structure, roof attribute and roof microclimate are four important factors in urban roof greening. These may be further divided into eight key impact factors for determining the potential of urban roof greening resources. These are construction period, construction structure, roof structure, roof function, pitch, equipment area, building height and shading condition. Roof greening resource potential in urban built-up areas can be effectively assessed using the comprehensive assessment method that is based on the eight indices. (2) The roof greening resources survey showed 201 construction projects in the central district of Shenzhen; 18 of these have implemented roof greening, among which 12 have been only partially greened. The roof greening ratio is only 9%. There are still many roofs in the idle state. Thus, the potential for roof greening is great in the study region, as well as in Shenzhen and other Chinese cities. Among the remaining buildings, 51% are suitable for total or partial greening. The most important limiting factor for roof greening is building height. For policy makers, different approaches should be taken, such as mandatory and inducement measures to afforest existing or under-construction buildings with suitable greening techniques. (3) Roof greening policies and regulations should be improved in China. We should learn from foreign countries with advanced experience, to develop roof greening planning programs and management strategies that address national conditions. Urban roof greening should be included in construction of urban ecological structure and function. Development of resource evaluation, research on planning strategies, strengthening of management and related policy making are primary tasks for developing urban roof greening in our country.

Key Words: roof greening; resource classification; potential assessment; greening strategies; Shenzhen

屋顶绿化是现代城市改善生态环境条件,缓解高密度建成区人为活动负面影响的重要技术选项^[1-2],德国、日本等发达国家在该领域的基础研究和应用实践方面具有较为深厚的积累^[3-4],我国这方面的相关工作则起步较晚。目前国内外屋顶绿化的研究主要集中在屋顶绿化植物材料筛选^[5-7]、种植基质调配^[8]、生态环境效应^[9-10]、综合效益评估^[11-12]、政策法规制定^[13-14]、资源潜力评估^[15-17]等方面。鉴于屋顶空间的建筑结构特征、功能和微环境条件组合对于屋顶绿化技术的适用性和具体技术方案设计具有重要影响,因而,屋顶绿化的空间资源潜力评估成为学者共同关注的热点话题^[15-17]。总结国内外的相关研究现状发现,现阶段大部分研究工作通常针对建筑年代、结构特征、形态和功能属性及屋顶微气候等单一要素进行研究,还没有形成一套适用于区域屋顶绿化管理的综合性的资源潜力评估指标体系和方法^[15-16]。

我国各级政府部门已经出台一系列推进城市建成区屋顶绿化工作的政策和法规,今后屋顶绿化将逐步从目前城市构筑物单体的自主选择向区域统筹和整体推进层面演化。因而,建立一套普适性的评估方法,合理评估各类城市屋顶的资源潜力,探讨合理的绿化措施和技术方案,就成为在区域层面落实各项政策和法规要求的重要基础性工作。本文拟在总结国内外相关研究成果的基础上,尝试建立一套城市化区域建筑屋顶绿化资源潜力评估的指标体系和方法;以深圳市福田中心区为例,借助高精度遥感判读和实地调查资料,进行各类建筑屋顶绿化资源潜力评估,并根据评估结果探讨工作区屋顶绿化策略,以期为进一步的城市屋顶绿化规划和技术方案筛选提供科学依据,并为其他地区的同类研究和实践工作提供参考和借鉴。

1 屋顶绿化资源潜力评估方法研究

目前国内外对屋顶绿化资源潜力评估尚无统一的指标与方法,采用不同的指标与方法研究结果存在一定的差异,亟需建立完善的屋顶绿化资源潜力评估体系,以便合理配置资源,为今后制定合理的屋顶绿化相关政策、规划奠定基础。本文总结屋顶绿化适建要素,构建屋顶绿化资源潜力评估方法;本文在屋顶绿化适建要素研究基础上,提取屋顶绿化适建性评价指标,采集城市屋顶现有资源属性信息,借助 ArcGIS、Photoshop 等软件分析屋顶绿化资源潜力。

1.1 适建要素分析

与地面绿化相比屋顶属于一种特定的生境类型,适宜的建造要素是实施屋顶绿化的必要条件。在城市气候条件适宜屋顶绿化植物生长的基本前提下,屋顶绿化适建要素可作为判断屋顶是否适宜绿化的依据。通常,这方面的考虑包括以下几个方面:

(1) 建筑年代

建筑年代在屋顶绿化适建要素中占首要位置。年代久远或历史性建筑一般不适建屋顶绿化^[15],一方面这些建筑属于城市文物或文化遗产,不宜改造;另一方面其承重结构可能不足以承受屋顶绿化的重量,实施绿化措施会存在严重的安全隐患。一般来说,公共建筑和商业建筑最适宜的更新周期为 15—20 a,其他建筑为 20—25 a^[16],屋顶绿化可作为建筑更新改造方案的首选。

(2) 承重结构

建筑承重是决定能否建造屋顶绿化的关键问题,在建造屋顶绿化之前需精确计算,必要时应当采取一些加固措施。通常情况下,钢筋混凝土结构的建筑可直接进行屋顶绿化^[18];而钢结构、砖砌结构或其他结构的建筑建造屋顶绿化可能会存在一定难度。此外,在建筑结构承重允许的前提下,屋面构造对屋顶绿化措施的实施也具有显著影响。屋面构造通常分单层屋面、双层屋面、桁架屋面、玻璃屋面等。其中,单层屋面和双层屋面适建屋顶绿化^[14],其他屋面不适建。

(3) 屋顶属性

屋顶作为建筑造型设计的考虑要素之一,具有顶层采光、色彩搭配、形态完整等特殊性功能要求,因而屋顶绿化应以不影响建筑整体造型及屋顶特殊性功能要求为前提;屋顶可能有一定的坡度,坡度越大,屋顶绿化建造难度越大^[19]。0—30°通常是屋顶绿化适建坡度范围,超过 30°会导致建造技术难度和建造成本显著增加。此外,一些大型公共建筑、工业厂房等,屋顶上配置发电、散热、出风等设备装置,当设备占地面积超过屋顶总面积的 40%,会导致周围植物生长状态不佳^[15],不适宜进行屋顶绿化。

(4) 屋顶小气候

屋顶由于高度增加导致风力加大,对屋顶绿化影响较大。虽然可以通过可设置挡风板、防风墙等削弱风力^[14],并选择抗风植物、加固植物根部等措施来保障绿化效果,但会增加屋顶绿化建造成本。因此,需要适当控制屋顶绿化建造的高度。屋顶绿化还需要一定的光照条件要求,因而需要考虑屋顶朝向和遮荫条件的影响^[15]。

1.2 适建性评价指标选择

围绕上述建筑年代、承重结构、屋顶属性和屋顶小气候四个方面的屋顶绿化适建要素,本文在总结国内外相关研究进展的基础上,对应适建要素提取出适建性评价指标,建议在城市建成区内屋顶绿化整体管理工作中,将建筑年代、建筑结构、屋面构造、屋顶功能、屋顶坡度、设备面积、建筑高度和遮荫状况等八项指标作为判断一个建筑是否具有屋顶绿化潜力的适建性评价指标体系。具体适建性评价指标的构建来源与筛选情况如表 1 所示。

1.3 指标分级

除上述 8 个指标外,建筑类型(公共建筑、商业建筑、居住建筑、其他建筑)以及屋顶类型(顶层、裙楼、混合型)等建筑属性特征对于屋顶绿化措施的实施也有一定程度的影响,不过这些属性特征的程度差异,往往不会对绿化措施是否实施产生决定性影响,因而通常只在具体绿化方案选择时加以考虑。影响屋顶绿化措施是否能够实施的 8 个指标的共性特征就是这些指标超出一定范围后,将使得屋顶绿化建设因为技术和成本限制而难以进行,为反映这种指标本身的程度差异,结合国内外研究成果,将这 8 个指标分为约束性因子和限制性因子两类,对其程度差异做分级(表 2)。

1.4 资源潜力评估方法确定

鉴于影响城市建成区屋顶绿化的影响作用机理相互独立,且不同因子相互之间没有显著的关联关系,因

而在区域性屋顶绿化资源潜力评估中,将以建筑单体为基本评价单元,将所有影响因子均视为屋顶绿化措施能否实施的关键性影响因子等权同时考虑。鉴于城市屋顶的建筑结构、功能和环境特征分化复杂,因而将屋顶资源绿化评估结果按照 8 个影响因子的程度差异分成 3 种,具体方法如表 3 所示。

表 1 屋顶绿化适建性评价指标的评价标准与参考依据

Table 1 Evaluation criterion and references of Green roof construction suitability evaluation index				
来源依据 Source	评价指标 Evaluation index	评价标准 Evaluation criterion		参考依据 References
		适建 Suitable	不适建 Unsuitable	
建筑年代 Construction era	建筑年代	新建、改建及扩建建筑	年代久远或历史性建筑	Castleton ^[16] , Wilkinson ^[15]
承重结构 Bearing structure	建筑结构	钢筋混凝土结构	钢结构、砖砌结构或其他结构	Stovin ^[18]
	屋面构造	单层屋面及双层屋面	桁架屋面、玻璃屋面或其他屋面	高铭鸿 ^[14]
屋顶属性 Roof attribute	屋顶功能	普通功能	顶层采光、色彩搭配、形态完整或其他特殊功能	
	屋顶坡度	0—30°	30°以上	瓦尔特·科尔布 ^[19]
设备面积	小于屋顶总面积的 40%	大于屋顶总面积的 40%	Wilkinson ^[15]	
屋顶小气候 Microclimate	建筑高度	12 层或 40 m 以下	12 层或 40 m 以上	2001 年北京《关于推进城市空间立体绿化建设工作的意见》,2005 年成都《成都市屋顶绿化及垂直绿化技术导则》
	遮荫状况	无遮荫或部分遮荫	常年全部遮荫	Wilkinson ^[15]

关于“建筑高度”的参考依据,我国尚无区别于南北方不同气候城市的研究成果,深圳仅参考北京、成都的现有规定

表 2 屋顶绿化资源属性信息分级

Table 2 The classification of green roof resource attribute		
类型 Type	资源属性 Resource attribute	拟定分类 Classification
约束性因子 Constraint factor	建筑年代	A ₁ :新建、改建或扩建建筑,B ₁ :年代久远或历史性建筑
	建筑结构	A ₂ :钢筋混凝土结构,B ₂ :钢结构、砖砌结构或其他结构
	遮荫状况	A ₈ :无遮荫或部分遮荫,B ₈ :全部遮荫
限制性因子 Limiting factor	屋面构造	A ₃ :单层屋面或双层屋面,B ₃ :桁架屋面、玻璃屋面或其他屋面,C ₃ :混合型
	屋顶功能	A ₄ :普通功能,B ₄ :顶层采光、色彩搭配、形态完整或其他特殊功能,C ₄ :混合型
	屋顶坡度	A ₅ :0—30°,B ₅ :30°以上,C ₅ :混合型
	设备面积	A ₆ :小于屋顶总面积的 40%,B ₆ :大于屋顶总面积的 40%,C ₆ :混合型
	建筑高度	A ₇ :12 层或 40 m 以下,B ₇ :12 层或 40 m 以上,C ₇ :混合型

表 3 屋顶绿化资源潜力评估方法

Table 3 The method of green roof resource potential assessment								
评估结果 Objective	建筑年代 Construction era	建筑结构 Construction structure	遮荫状况 Shading condition	屋面构造 Roof structure	屋顶功能 Roof function	屋顶坡度 Pitch	设备面积 Equipment area	建筑高度 Building height
适建 Suitable	A ₁	A ₂	A ₈	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
部分适建 Partly suitable	A ₁	A ₂	A ₈		至少一项是 C _n ,且没有一项是 B _n			
不适建 Unsuitable					至少一项是 B _n			

A_n、B_n、C_n 分别对应表 2 中“拟定分类”一栏

2 深圳市中心区案例分析

2.1 工作区概况及基础数据提取

深圳市中心区位于深圳特区内部的福田区,由滨河大道、莲花路、彩田路和新洲路四条城市干道围合而成

(图1),总占地面积 607 hm²(包括莲花山公园 194 hm²)。中心区由深南大道分为南北两片区,南片区为中央商务区(CBD),占地面积 233 hm²;北片区为行政文化中心,占地面积 180 hm²。选择该地区作为研究区主要考虑该地区作为深圳市 1996 年开始规划建设的新中心区,不同功能建筑类别齐全,城市总体建设标准较高,且屋顶绿化工作也是深圳市做得最好的区域之一。

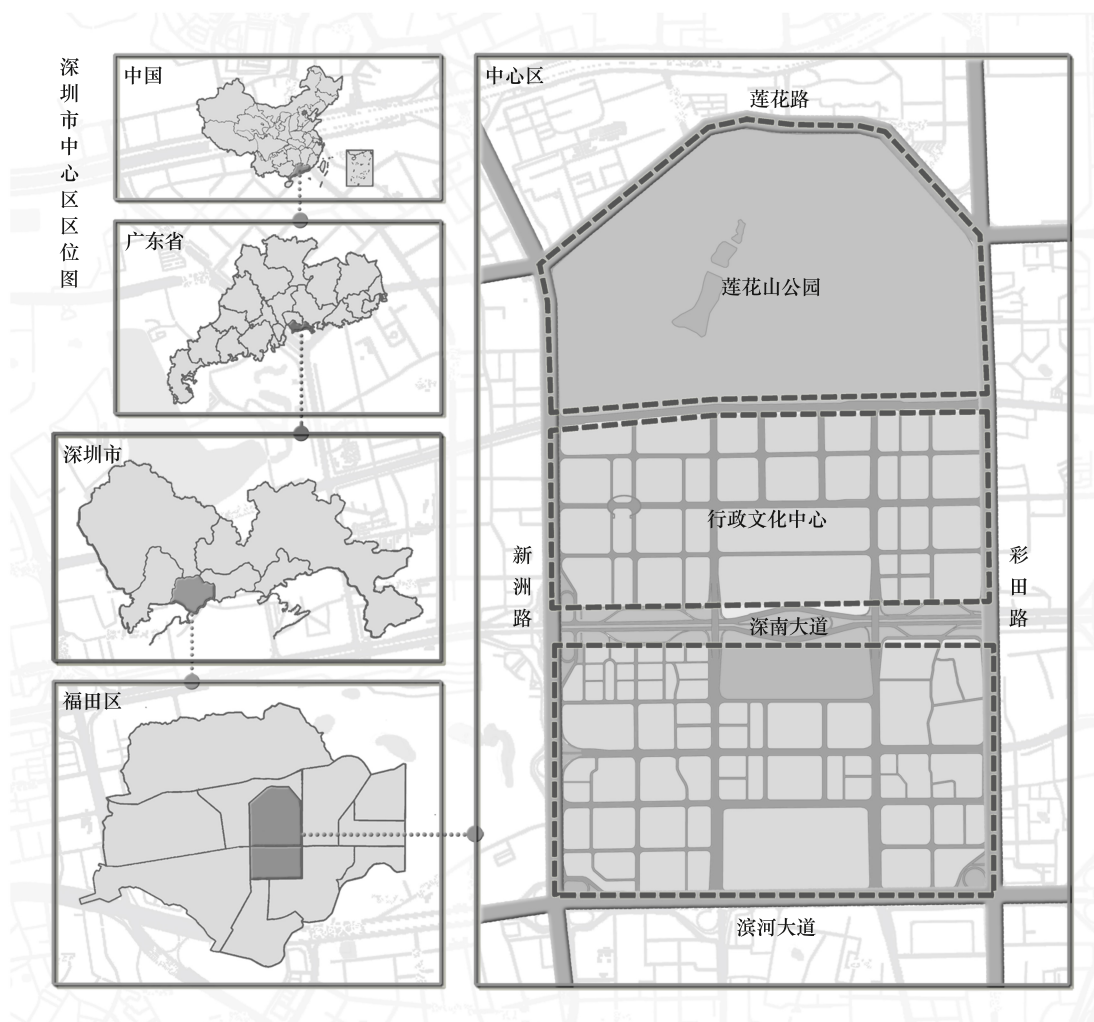


图1 深圳市中心区区位图

Fig. 1 The location of Shenzhen central district

本研究的基础数据获取途径是,利用 Google earth 卫星影像,参照三维地图(<http://sz.chachaba.com/>, <http://sz.edushi.com/>, <http://map.baidu.com/>) 重构建筑形态;必要时从网站获取建筑项目设计说明等资料,结合实地考察、现场记载、实景拍摄等方法;按照各项评估因子要求,采集工作区已建成的永久性建筑资源现状信息,在 Excel 中建立构筑物屋顶资源属性数据库。

2.2 工作区屋顶资源现状分析

深圳市中心区从 1996 年确定国际咨询优选方案进入规划实施阶段,至 2011 年中心区框架已基本形成,落实建筑 210 项,其中已建成 201 项,还处在建设中的 9 项。按照功能可以将所有构筑物分为公共建筑、商业建筑、居住建筑和其他建筑四类,各类建筑的具体情况如表 4 所示:

在已建成的建筑中,有 18 项已采取屋顶绿化措施,包括 6 项全部绿化和 12 项部分绿化,占全部已建成构筑物的 9%。各类建筑物中,商业建筑的屋顶绿化率最高,其次是公共建筑和居住建筑,其他建筑尚无建设屋顶绿化的情形(图 2)。即便是屋顶绿化率最高的商业建筑大部分也仅为部分绿化,即仅绿化裙楼屋顶或露台,由此看来,工作区内屋顶绿化工作显然还大有潜力可挖。

表 4 深圳市中心区建筑类型与项目数量

建设情况 Construction	公共建筑 Public building	商业建筑 Commercial building	居住建筑 Residential building	其他建筑 Other Building	总计 Total
已建成 Built	18	47	123	13	201
建设中 Building	0	9	0	0	9
总计 Total	18	56	123	13	210

2.3 工作区屋顶绿化资源潜力评估

利用上一节基于 8 项关键性约束指标建立的综合评估方法,在利用遥感数据和实地调查等建立的基础数据库支持下,对工作区内已经建成但尚未进行屋顶绿化建设的 183 项建筑屋顶进行绿化潜力评估。结果表明,深圳市中心区屋顶绿化适建资源 68 项,占 37%;部分适建资源 25 项,占 14%;不适建资源 90 项,占 49%(图 3)。根据适建资源建筑类型来看,适建率最高的为其他建筑 92%(12 项适建);其次为公共建筑 65%(9 项适建、2 项部分适建);排在第三位的是居住建筑 49%(45 项适建、14 项部分适建);最低为商业建筑 34%(2 项适建、9 项部分适建)(图 4)。

在将近一半不适合进行屋顶绿化构筑物中,其限制因素的差异性如图 5 所示。从中可以看出,建筑高度对屋顶绿化资源潜力评估结果影响最大,导致 63 项建筑不适建屋顶绿化,占不适建资源的 70%;其他重要影响因素还包括屋顶设备占用面积、屋顶功能、屋面结构、建筑结构等;建筑年代影响最小,因为中心区开发建设历史只有 15a,还不存在具有历史价值或年代久远的建筑。

2.4 工作区屋顶绿化策略探讨

深圳市是国内屋顶绿化工作起步较早,且进展较快的城市之一。本项研究结果表明,福田中心区目前还存在大量潜在可绿化屋顶资源,应考虑采取有效措施,引导和鼓励这一地区屋顶绿化工作的快速发展。这样不但可以有效地提升福田中心区的城市形象,营造更好的城市生态环境氛围,还可以为全市屋顶绿化工作的顺利推进,提供借鉴和参考。参考国内外的成功经验,进一步的策略选择可考虑以下两个方面:

(1) 根据建筑类型选择建造措施

深圳市中心区建设用地约有 15% 仍在建设中,对于新建建筑,强制性规定在申报项目时包括对屋顶绿化的规划设计,否则不予审批;对于中心区改建及扩建建筑,在 93 项适建或部分适建屋顶绿化资源中,对 11 项公共建筑,采取强制性措施建造屋顶绿化;对其余 11 项

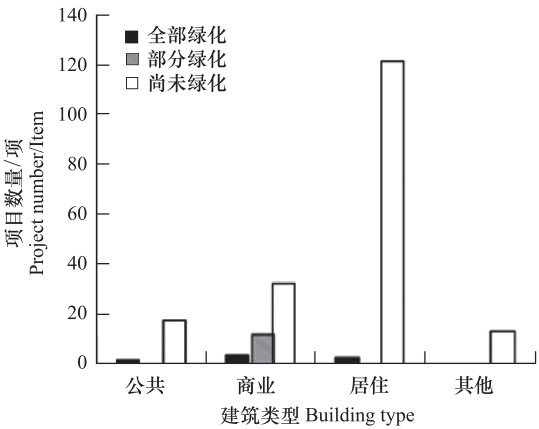


图 2 深圳市中心区屋顶绿化现状资源分类
Fig. 2 Resource classification of green roof current status in Shenzhen central district



图 3 深圳市中心区屋顶绿化潜力资源空间分布示意图
Fig. 3 Spatial distribution of Green roof potential resource in Shenzhen central district

商业建筑、59 项居住建筑及 12 项其他建筑,采取鼓励性与引导性措施建造屋顶绿化(图 6)。

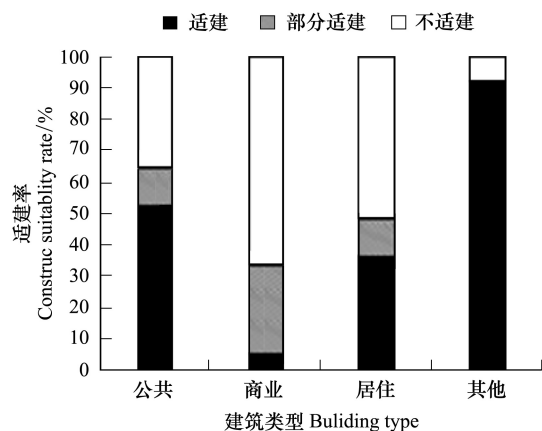


图4 深圳市中心区各类建筑屋顶绿化适建率

Fig. 4 Green roof construct suitability ratio in Shenzhen central district

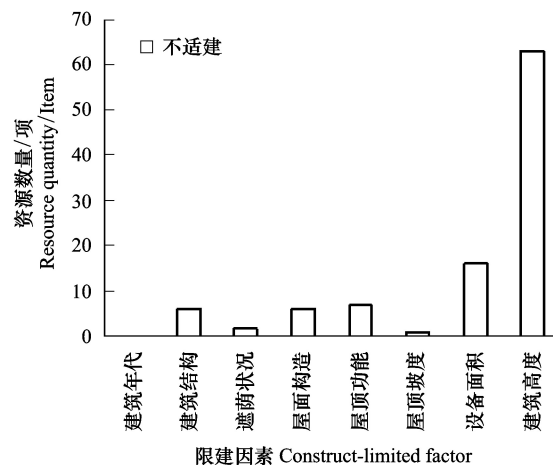


图5 深圳市中心区屋顶绿化限建因素分析

Fig. 5 Analysis of green roof construct-limited factors in Shenzhen central district

(2) 根据屋顶性质选择绿化类型

在中心区 68 项适建资源中,大部分适建空间为建筑物顶层屋顶,建造屋顶绿化需考虑屋顶空间是否对外开放,结合实际情况选择建造简单式屋顶绿化或花园式屋顶绿化。对于中心区 25 项部分适建资源,公共建筑有 2 项,其建筑形态和屋面构造比较复杂,兼具普通屋面和特殊屋面,可在普通屋面部分建造简单式屋顶绿化;商业建筑有 9 项,其建筑形态为具有裙楼的高层或超高层建筑,可在裙楼屋顶建造花园式屋顶绿化;居住建筑有 14 项,其建筑形态为具有底商的高层或超高层住宅,可在底商屋顶建造花园式屋顶绿化,但注意加强对安全性的考虑(图 7)。



图6 深圳市中心区屋顶绿化建造措施

Fig. 6 Green roof construction measures in Shenzhen central district



图7 深圳市中心区屋顶绿化建造类型

Fig. 7 Green roof construction types in Shenzhen central district

3 讨论

3.1 关于城市建成区屋顶绿化潜力评估

自从屋顶绿化被提出来作为城市生态环境重要调控手段以来,综合考虑城市构筑物的屋顶建筑特征,研究合理的建造维护技术来推进屋顶绿化发展一直是该领域研究的前沿和热点问题^[15,18-19]。其中在构筑物建筑特性方面主要围绕本文确定的8个关键性约束影响指标和建筑类型及屋顶类型等展开研究,维护技术和效益分析方面则涉及施工技术、后期管理、植物维护、经济适用性及业主意愿等^[15]。从现有的研究报道积累看,多数研究工作往往针对单一因子的约束影响或单一技术参数的适用性与可行性进行深入探讨。经过较长时间的积累,现阶段城市屋顶绿化工作的底层支撑技术体系已经相当成熟,满足不同功能需求的各类屋顶绿化措施在我国城市地区大面积推广和普及,已经没有太大障碍^[20]。

在技术体系相对成熟之后,通过合理的规划、管理和政策手段,在弄清城市建成区屋顶绿化资源潜力的基础上,形成整体屋顶绿化设计方案和推进路径,就成为屋顶绿化工作发展的重要前提。总结国内外研究成果可以看出,技术支持和成本控制是屋顶绿化工作成败的关键,也是屋顶绿化资源潜力评估的主要判断准则^[21]。目前,即便是一些约束影响因子的影响程度判断方面还存在异议^[22],但本文梳理的四个方面(建筑年代、承重结构、屋顶属性、屋顶小气候)8个指标(建筑年代、建筑结构、屋面构造、屋顶功能、屋顶坡度、设备面积、建筑高度和遮荫状况)无疑是城市屋顶绿化潜力评估的关键性影响因子。深圳市中心区的案例研究工作显示,利用这八个指标可以对区域城市构筑物进行合理的绿化资源潜力评估,其结果还可以为具体规划方案的编制和绿化技术选型提供坚实的科学依据。

3.2 深圳市中心区研究工作的启示

国外很多城市为有效推进屋顶绿化工作,纷纷开展区域性综合策略规划研究或者将屋顶绿化纳入城市总体规划中。例如加拿大多伦多市于2006年将屋顶绿化纳入城市总体规划,启动屋顶绿化激励项目;新加坡政府在城市总体规划中提出“绿化高楼”计划,鼓励开发商开辟高楼空中花园;香港特别行政区建筑署于2007年完成《香港绿化屋顶应用研究》,对计划开展的屋顶绿化推广做出了全面的评估。我国城市类似的工作进展相对滞后,即便是福田中心区这样的现代化新建城区,屋顶绿化率也只有9%。大量适合全部或部分绿化的屋顶资源尚处于闲置状态。表明我国城市屋顶绿化发展潜力巨大的同时,相应的规划、管理、政策、法规等诸多方面还有大量的工作需要有效推进^[23]。

将屋顶绿化纳入城市整体生态结构和功能建设体系中,并将相关规划工作整合到城市总体规划或城市绿地系统规划中,配套以必要的实施保障措施,明晰屋顶绿化中长期发展目标、完善屋顶绿化实施细则,是推进我国屋顶绿化发展的有效路径。开展区域性城市建成区屋顶绿化资源潜力评估,是保障规划工作合理性的重要基础。国外非常注重这方面的基础研究工作,墨尔本中央商务区建筑资源属性数据库建设^[15]和伦敦大学开展的曼彻斯特、史云顿、塔姆沃思和柏立圣艾蒙等4个城市的非住宅建筑资源数据库建设^[24-25]均为这方面的代表性工作。比较而言,我国这方面的工作尚属于起步阶段,依托城市建成区屋顶绿化潜力评估结果开展的专项规划工作亦处于空白阶段。这种基础研究和生产实践方面的巨大反差,无疑应当引起科研和城市管理工作者的足够重视。

4 结论

(1)建筑年代、承重结构、屋顶属性、屋顶小气候是城市屋顶绿化4个方面的主要适建要素,其所涵盖的建筑年代、建筑结构、屋面构造、屋顶功能、屋顶坡度、设备面积、建筑高度和遮荫状况等8个影响因子是决定城市屋顶绿化资源潜力的关键性指标。利用这8个指标构建的综合评估方法可以有效地评估城市建成区的屋顶绿化资源潜力,为相关规划工作提供科学依据。

(2)与国外城市相比,我国城市绿化工作无论是基础研究还是规划实践均显示出明显的差距。把城市屋顶绿化纳入城市生态结构和功能建设的整体考虑中,积极开展资源评估、规划研究和配套管理政策建设是推进我国城市屋顶绿化发展重要任务。

(3)深圳市中心区现状屋顶绿化率只有 9%, 剩余构筑物中有 51% 适合进行全部或部分屋顶绿化覆盖。今后应考虑采取强制、引导和鼓励等不同政策手段, 选择适宜的绿化技术方案, 对于现有以及正在建设的并且条件适宜的构筑物进行屋顶绿化。

References:

- [1] Niu H, Clark C, Zhou J T, Adriaens P. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. *Environmental Science and Technology*, 2010, 44(11): 4302-4308.
- [2] Qi S P, Zhao X. Roof greening of urban buildings. *Urban Problems*, 2010, (5): 94-102.
- [3] Wei Y, Zhao H E. Studies on the development of green roofs in China; contrast with Germany, Beijing. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 43(4): 95-101.
- [4] Yin L F, Li S H. Roof garden technology in Japan. *Chinese Landscape Architecture*, 2005, 21(5): 62-66.
- [5] Cantor S L. Green roofs in sustainable landscape design. Norton: W. W. Norton & Co., 2008.
- [6] Zhang B, Hu Y H, Liu Q H. Study on the drought tolerance of several sedums on roof garden. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(5): 272-276.
- [7] Dvorak B, Volder A. Green roof vegetation for North American ecoregions; a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96(4): 197-213.
- [8] Getter K L, Rowe D B. Media depth influences *Sedum* green roof establishment. *Urban Ecosystems*, 2008, 11(4): 361-372.
- [9] Fioretti R, Palla A, Lanza L G, Principi P. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 2010, 45(8): 1890-1904.
- [10] Tang M F, Zheng K L, Yan Y H, Ke S Z. Study on thermal performance of vessel type green roof. *Journal of Chongqing University: Natural Science Edition*, 2009, 32(9): 992-996.
- [11] Clark C, Adriaens P, Talbot F B. Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental Science and Technology*, 2008, 42(6): 2155-2161.
- [12] Zhang C L. Economic Analysis on the Construction Items of Roof Greening in the City of Beijing [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [13] Kincaid D. Adapting Buildings for Changing Uses; Guidelines for Change of Use Refurbishment. Portland: Taylor and Francis, 2003.
- [14] Gao M H. Public Policy Research for Green Roof [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.
- [15] Wilkinson S J, Reed R. Green roof retrofit potential in the central business district. *Property Management*, 2009, 27(5): 284-301.
- [16] Castleton H F, Stovin V, Beck S B M, Davison J B. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 2010, 42(10): 1582-1591.
- [17] Wang W Z. The Study of Roof Greening on High-Rise Residential Building in Urban of Wuhan [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [18] Stovin V R, Dunnett N, Hallam A. Green roofs- getting sustainable drainage off the ground // 6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. Lyon: Novatech, 2007: 11-18.
- [19] Kolb W, Schwarz T. Green Roof. Yuan X M, He H M, Cui Y P, Translate. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2002: 36-40.
- [20] Tan T Y. Discussion on green rooftop landscaping in Beijing. *Building Science*, 2007, 23(8): 14-19.
- [21] Werthmann C. Green Roof: A Case Study. Princeton Architectural Press, 2007: 18-45.
- [22] Getter K L, Rowe D B, Cregg B M. Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2009, 8(4): 269-281.
- [23] Ma Z F. Studies on the Status of Green Roof in Shanghai [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [24] Brown F E, Rickaby P A, Bruhns H R, Steadman P. Surveys of nondomestic buildings in four English towns. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27(1): 11-24.
- [25] Steadman P, Bruhns H R, Holtier S, Gakovic B, Rickaby P A, Brown F E. A classification of built forms. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27(1): 73-91.

参考文献:

- [2] 祁素萍, 赵旭. 城市建筑的屋顶绿化. *城市问题*, 2010, (5): 94-102.
- [3] 魏艳, 赵慧恩. 我国屋顶绿化建设的发展研究——以德国、北京为例对比分析. *林业科学*, 2007, 43(4): 95-101.
- [4] 殷丽峰, 李树华. 日本屋顶花园技术. *中国园林*, 2005, 21(5): 62-66.
- [6] 张斌, 胡永红, 刘庆华. 几种屋顶绿化景天植物的耐旱性研究. *中国农学通报*, 2008, 24(5): 272-276.
- [10] 唐鸣放, 郑开丽, 严永红, 柯思征. 屋顶容器式轻型绿化热工性能分析. *重庆大学学报: 自然科学版*, 2009, 32(9): 992-996.
- [12] 张琛麟. 北京市屋顶绿化建设项目经济分析 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [14] 高铭鸿. 屋顶绿化公共政策研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [17] 汪文竹. 武汉市城区高层住宅屋顶绿化的可实施性研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [19] 瓦尔特·科尔布, 塔西洛·施瓦茨. 屋顶绿化. 袁新民, 何宏敏, 崔亚平, 译. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 36-40.
- [20] 谭天鹰. 关于北京屋顶绿化的探讨. *建筑科学*, 2007, 23(8): 14-19.
- [23] 马志飞. 上海市屋顶绿化现状研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2008.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元