

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

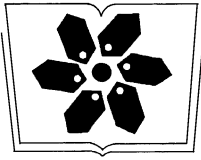
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

中国生态学学会
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 24 期 2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅强,毛锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵娟,宋媛,孙涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓云,唐炎林,曹敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)



封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

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

DOI: 10.5846/stxb201203150345

张彪, 高吉喜, 谢高地, 王艳萍. 北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估. 生态学报, 2012, 32(24): 7698-7705.

Zhang B, Gao J X, Xie G D, Wang Y P. Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7698-7705.

北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估

张 彪¹, 高吉喜^{2,*}, 谢高地¹, 王艳萍³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 环保部南京环境科学研究所, 南京 210042;
3. 中日友好环境保护中心, 北京 100029)

摘要: 尽管已有大量研究证实, 城市绿地具有明显降温作用, 但是从生态经济学角度定量评估城市绿地降温功能及其价值的研究不多。以夏季高温热害显著的北京建成区为研究区, 在前人多项绿地降温功能实测结果基础上, 利用第七次园林绿地资源调查数据, 定量评估了城市绿地夏季蒸腾降温的功能及其价值。结果表明: 北京建成区 6.1 万 hm^2 绿地每年夏季蒸腾吸热可达 4.61×10^{15} J, 平均每公顷绿地每天吸热 8.4×10^8 J, 相当于 10 台 1000 瓦空调的降温作用。参照居民用电价格, 建成区绿地夏季降温价值为 6.4 亿元, 单位绿地降温价值约 1.05 元/ m^2 。此外, 不同绿地类型和区县绿地的降温功能差异较大, 主要受绿地面积和组成结构的影响。

关键词: 城市绿地; 蒸腾降温; 价值评估; 北京市

Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing

ZHANG Biao¹, GAO Jixi^{2,*}, XIE Gaodi¹, WANG Yanping³

1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences of the State Environmental Protection Administration of China, Nanjing 210042, China

3 Sino-Japan Friendship Center for Environmental Protection, Beijing 100029, China

Abstract: Climate change is the most serious problem we face in the 21st century. Accompanied by the rapid expansion of cities worldwide, the phenomenon of urban heat islands has become a critical environmental issue in many large cities, since it is associated with a warmer climate. An exposure to higher temperatures can result in a spectrum of outcomes in the realms of human health and well-being. These outcomes range from mild discomfort to life-threatening medical conditions. Fortunately, trees and vegetation in the urban environment help to cool urban climates. This occurs through shading and evapotranspiration. Although there have been numerous studies on microclimate-adjusting effects of urban green spaces, few of these studies quantify the economic value of air temperature reduction provided by these spaces. This is especially true for cities suffering from the heat island effect. Urban heat island conditions have been observed for more than half a century in the city of Beijing. The area affected by this heat island rapidly expanded from 111 km^2 in 1987 to 292 km^2 in 2009, and the percentage of heat island to built-up area increased sharply from 11% to 27%. Therefore, it is very important for city managers to estimate and achieve economic benefits of the cooling effect of green spaces. Based on a number of empirical studies and inventory data concerning urban green spaces in Beijing (2009), this study estimates the economic effects of the city's green space on air temperature reduction through evapotranspiration. The results show that green areas in Beijing could reduce the temperature by 0.8—4.8°C. As a consequence, urban green spaces totaling 6.1×10^4 hm^2 in built-up

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201209027); 中国科学院地理科学与资源研究所“一三五”战略科技计划项目(2012ZD007)

收稿日期: 2012-03-15; 修订日期: 2012-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gjx@nies.org

areas of the city could absorb 4.61×10^{15} J of heat via evapotranspiration during summer. The average heat absorbed by these spaces could reach 8.4×10^8 J·hm⁻²·d⁻¹, which corresponds to the cooling effect of ten 1000-W air conditioners. According to the price for residential electricity, the summer temperature reduction from the urban green spaces could save 641 million RMB of the cost of electric energy consumption per year. This figure is based on annual average savings reaching 1.05 RMB/m² for urban green area with temperature reduction. In addition, the temperature reduction effects of urban green spaces varied with type and location. The amount of heat absorption of protected green zones was significantly less than those of public, roadside, affiliated, and productive green spaces. Average values of air temperature reduction per unit area of green space in Dongcheng District, Xicheng District, Miyun County, and Yanqing County were significantly higher than those of the districts of Pinggu, Fengtai and Shijingshan. These cooling effect variations may be related to differences in area and structure of urban green spaces. Therefore, evidence is provided to support the commitment of resources to urban green infrastructure enhancements. Furthermore, such evidence conveys the importance of the structural characteristics of green land. Urban foresters, ecologists, and landscape planners should take advantage of this type of data to plan, design and manage green spaces in heat island areas. In this way, communities can realize energy savings, and cities and urban neighborhoods can be made more livable.

Key Words: urban green space; air temperature reduction; valuation; Beijing City

城市绿地是指城市中以自然植被和人工植被为主要存在形态的城市用地^[1]。城市绿地作为城市公共设施的重要组成部分,不仅为居民提供美学景观和休闲娱乐场所,而且能改善人居环境和维护生态安全。近年来,国内外学者在城市绿地固碳释氧^[2]、净化空气^[3]、增值房产^[4]、削减噪声^[5]、调蓄雨水^[6]以及维持生境^[7]等方面开展了大量研究。此外,城市绿地改善小气候方面也取得重要进展^[8-10]。不过,目前城市绿地小气候效应的研究主要集中在三个方面,即基于 GIS 技术的城市绿地空间格局与气候相关分析、基于绿地斑块的内部小气候效应观测和基于植物蒸腾理论的绿地小气候效应估测^[11],而基于生态服务价值手段揭示城市绿地降温功能的经济学意义研究并不多见。

近年来,在气候变化和城市化背景下,北京热岛效应问题日益突出^[12-13],夏季高温酷暑对人们工作学习的影响也愈加明显^[14-15]。而城市绿地能够缓解热岛效应,提高人体舒适度,改善人居环境质量^[16-17]。因此,城市绿地蒸腾降温效应的实证研究受到重视^[18-28]。这些研究深入揭示了绿地植被蒸腾降温的生态学机制及其作用规律,但是多侧重于局部观测点的小尺度研究。而从城市或区域尺度直观量化绿地资源改善城市小气候的经济学意义,有助于凸显城市绿地生态功能的重要性,深化公众以及城市管理者对绿地资源作用的认识与重视,从而提高绿地资源的建设与管理水平。因此,本文在归纳分析北京地区绿地降温功能实测成果基础上,利用北京市第七次园林绿化资源调查数据(2009年),定量评估了建成区绿地夏季蒸腾降温的功能及其价值,希望能为北京城市规划与绿地资源建设提供理论支持。

1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北部(39°28′—41°05′ N, 115°25′—117°30′ E),辖区总面积 16807.8 km²,包括 2 个主城区(东城区和西城区)、4 个近郊区(朝阳区、海淀区、丰台区与石景山区)以及 10 个远郊区县(昌平区、顺义区、通州区、大兴区、平谷区、怀柔区、密云县和延庆县)。根据第六次人口普查数据,2009 年全市常住人口 1961 万人,人口密度 1195 人/km²。快速城市化进程推动北京建成区面积迅速扩大。1949 年新中国成立初期,北京城区面积仅为 18 km²,2009 年北京城区已扩大到 1349.8 km²^[6]。城市硬化地表的快速扩张使得北京夏季城市热岛范围不断扩大,并呈现多中心的现象,平均热岛强度呈逐渐增强趋势,而且夏季出现热岛和强热岛的天数激增^[12-13]。同时,城市热岛效应对高温强度也起到明显的增幅作用^[14-15]。不过,绿色植被能够通过蒸腾作用降低周围环境温度^[16],能够使绿地区域及绿地周围约 1 km 以内的地区温度有所降低^[17]。因此,北京城市绿地资源具有降低夏季高温及缓解城市热岛问题的功能。

根据北京市第七次园林绿地调查数据(2009年),北京市城区和小城镇绿地面积 6.1 万 hm^2 (以下简称建成区绿地,不包含水域),其中公园绿地 1.74 万 hm^2 ,占全部绿地的 28.53%;附属绿地和防护绿地面积分别为 1.54 万 hm^2 和 1.48 万 hm^2 ,占绿地总面积的 25.24% 和 24.36%;道路(河岸)绿地面积 1.21 万 hm^2 ,占 19.87%;其余为生产绿地 0.12 万 hm^2 ,占全部绿地的 2.0%。此外,北京建成区绿地组成结构较复杂,主要以乔灌草为主,其次为乔木和乔-灌,简单绿地结构面积较少(表 1)。

表 1 北京建成区不同结构绿地面积及比例

Table 1 Areas and percentages of different types of compositions of urban green areas in Beijing

结构 Structure	乔木 Tree	灌木 Shrub	草地 Grass	乔-灌 Tree-Shrub	乔-草 Tree-Grass	灌-草 Shrub-Grass	乔-灌-草 Tree-Shrub-Grass	水域 Water
面积 Area/(10^6 m^2)	115.39	1.36	13.88	76.54	16.91	18.81	367.48	6.57
比例 Ratio/%	18.70	0.22	2.25	12.41	2.74	3.05	59.56	1.06

* 数据来自北京市园林绿地调查数据统计

从不同绿地类型的结构组成来看,公园绿地、附属绿地和道路绿地中的乔-灌-草结构比例明显占优势,生产绿地中的乔-灌-草面积比例占到 34%,而防护绿地面积以乔木为主,乔-灌-草比例仅占 21%(表 2);从不同区县绿地的组成结构来看,东城区、西城区以及密云县和延庆县的建成区绿地中,乔-灌-草结构绿地所占比例明显偏高,而平谷区、丰台区和石景山区等区县绿地中,乔-灌-草绿地面积比例较低,具体见表 3。

表 2 北京市不同绿地类型中结构组成比例/%

Table 2 Percentages of different types of compositions of urban green areas in Beijing

绿地类型 Type	乔木 Tree	灌木 Shrub	草地 Grass	乔-灌 Tree-Shrub	乔-草 Tree-Grass	灌-草 Shrub-Grass	乔-灌-草 Tree-Shrub-Grass
公园绿地 Public green space	6.73	0.10	0.92	7.99	1.03	0.17	83.06
道路绿地 Roadside green space	5.83	0.35	9.21	5.83	1.32	11.94	65.52
附属绿地 Affiliated green space	5.04	0.08	0.71	15.75	5.91	2.38	70.13
防护绿地 Protective green space	57.25	0.02	0.02	18.68	2.92	0.12	20.98
生产绿地 Productive green space	30.17	4.95	0.00	28.78	0.48	1.55	34.06

* 数据来自北京市园林绿地调查数据统计

表 3 不同区县建成区绿地结构组成的面积比例/%

Table 3 Percentages of different types of compositions of urban green spaces in different regions of Beijing

区县 District/County	乔木 Tree	灌木 Shrub	草 Grass	乔-灌 Tree-Shrub	乔-草 Tree-Grass	灌-草 Shrub-Grass	乔-灌-草 Tree-Shrub-Grass
东城区 Dongcheng District	3.22	0.20	0.22	3.84	0.66	0.23	91.62
西城区 Xicheng District	1.20	0.05	9.12	2.55	0.59	0.61	85.88
朝阳区 Chaoyang District	14.03	0.11	0.38	22.49	2.22	0.06	60.70
丰台区 Fengtai District	43.27	0.00	0.01	11.02	4.82	0.69	40.19
石景山区 Shijingshan District	37.93	0.00	0.01	13.54	3.54	0.13	44.85
海淀区 Haidian District	36.93	0.30	0.02	5.59	0.31	2.17	54.69
门头沟区 Mentougou District	1.41	0.05	0.25	44.47	0.01	0.59	53.22
房山区 Fangshan District	15.39	1.73	0.02	29.77	2.90	0.85	49.33
通州区 Tongzhou District	18.36	0.06	0.02	6.76	0.49	20.38	53.92
顺义区 Shunyi District	6.76	0.31	13.26	3.26	10.79	4.56	61.07
昌平区 Changping District	7.38	0.11	0.02	17.99	1.75	7.31	65.44
大兴区 Daxing District	0.19	0.00	7.66	0.46	3.48	5.14	83.08
怀柔区 Huairou District	8.51	0.21	0.24	14.59	1.27	0.35	74.83
平谷区 Pinggu District	14.85	0.07	23.62	5.56	3.31	0.46	52.13
密云县 Miyun County	0.40	0.00	0.14	6.72	0.29	0.03	92.42
延庆县 Yanqing County	2.43	0.00	0.02	5.99	0.19	0.03	91.33

* 数据来自北京市园林绿地调查数据统计

2 评估方法

在热岛效应日益突出的城市环境中,绿色植物一方面通过树冠遮挡阳光,减少阳光对地面的辐射热量;另一方面通过蒸腾作用向环境中散发水分,同时吸收周围环境中的热量,降低空气温度。目前,在北京地区已开展相关实证研究^[18-22]。不过,由于城市绿化中植物是以群落形式存在的,而不同种类植物的树冠大小、叶片疏密和质地等特性各不相同,植物降低温度的效果也不同^[29]。因此,基于北京城市绿地群落结构特征和前人研究结果,本文取不同群落结构绿地降温差作为降温理论值,并将其转化为相应蒸腾消耗热量^[23],计算公式如下:

$$Q_i = \Delta T_i \times \rho_c \quad (1)$$

式中, Q_i 为第 i 种绿地类型每天蒸腾吸热量 ($10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), ρ_c 为空气的容积热容量 (hm^2), i 为绿地结构类型 ($i=7$, 分别为乔木、灌木、草地、乔-灌、乔-草、灌-草和乔-灌-草)。

根据北京建成区不同结构绿地夏季蒸腾吸热能力及其面积,可以估算其夏季蒸腾吸热总量。考虑到灌木和乔-草结构绿地夏季降温功能没有实测数据,根据西安片状绿地研究成果,不同结构绿地降温效应依次为乔-灌-草>乔木>灌木>乔-草>灌-草>草坪^[24]。因此,理论上可以乔木和乔-灌降温能力参数代替。此外,绿地的降温功能在不同时间效果不同,一般来说要在气温较高时段发挥最为显著^[22]。因此,按照北京夏季气温较高需要开空调的天数 90d 计算,北京绿地年蒸腾吸热量为:

$$TQ = \sum_{i=1}^7 90 \times Q_i \times A_i \quad (2)$$

式中, TQ 为北京建成区绿地夏季蒸腾吸热总量 (J), Q_i 为第 i 种绿地类型每天蒸腾吸热量 ($10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), A_i 为绿地面积 (hm^2), i 为绿地结构类型 ($i=7$, 分别为乔木、灌木、草地、乔-灌、乔-草、灌-草和乔-灌-草)。

在夏季高温时期,为了提高人体舒适度,居民往往采用空调来降低居室环境温度,消耗了电能。而绿地通过蒸腾耗热同样降低了周围环境温度,尽管这种降温作用并非都直接改善居室环境,但是通过改善城市其他小环境(比如林荫道)缓解热岛效应而间接提高了居住环境质量,节约了电能的使用,具备了生态经济价值属性。因此,可以按照生态系统服务价值化手段和能源经济学知识,借助热量与功率之间的转换关系以及居民用电价格,估算绿地夏季降温的生态价值,公式为:

$$V = 0.278 \times 10^{-6} \times TQ \times p \quad (3)$$

式中, V 为北京建成区绿地降温价值 (元/a), p 为居民用电价格 (0.5 元/kWh)。

3 结果分析

3.1 不同绿地降温理论值比较

目前,在北京地区开展了大量绿地降温效果的实际测试。比如陈健等(1983)经过 3a 夏季连续观测发现,北京正义路乔灌木结合的林荫街道气温要比天安门广场低 $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[18];在北京林业大学校园内,广场和林荫道(一球悬铃木)的气温温差可达 $1.91\text{—}2.76 \text{ }^\circ\text{C}$ (平均值为 $2.34 \text{ }^\circ\text{C}$)^[19];不过,较之非绿地,北京方庄居住区乔-灌-草型绿地日平均气温要低 $4.8 \text{ }^\circ\text{C}$,灌-草型绿地和草坪分别下降 $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $0.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[20];而在万芳亭公园内,与无林广场相比,草坪温度要低 $0.3\text{—}1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (平均值 $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$),林下广场(国槐、银杏、侧柏和丁香)温度低 $0.3\text{—}3.3 \text{ }^\circ\text{C}$ (平均值 $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$)^[21];此外,在海淀区西四环旁路北侧实测结果表明^[22],不同宽度带状绿地(绦柳、刺槐、白蜡等乔木,榆叶梅、金银木、连翘等灌木,早熟禾等草本)的降温幅度在 $1.3\text{—}3.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间(平均值 $2.6 \text{ }^\circ\text{C}$)。尽管以上观测结果仅代表特定地点、植被和气象背景下绿地的降温幅度,但是能反映绿色植被降温能力的理论值。因此,理论上讲,北京地区园林绿地夏季能使周围环境降温 $0.8\text{—}4.8 \text{ }^\circ\text{C}$ (表 4)。如果根据植物蒸腾热量与降低温度之间的关系^[23],即取体积为 1000 m^3 的空气柱体为计算单元,植物蒸腾消耗热量 Q 与气温下降值 ΔT 之间的转换关系为 $1256 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$,可将不同绿地类型(不包括水域)夏季降温幅度转换为相应蒸腾吸热量,具体见表 4。

表 4 北京地区城市绿地夏季降温效果

Table 4 The effects of reducing temperature and absorbing heat of different types of urban green spaces in Beijing

绿地类型 Type	测试地点 Measurement field	理论降温值/℃ Max temperature reduction	蒸腾吸热/($10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) Absorbed heat through evapotranspiration
乔木 Tree	林荫道,北京林业大学校园内	2.34 ^[19]	7.04
草地 Grass	居住区绿地,北京方庄	0.9 ^[20]	2.71
	公园绿地,北京万芳亭	0.8 ^[21]	2.41
	平均值	0.85	2.56
乔-灌 Tree-Shrub	林荫道,北京正义路	1.3 ^[18]	3.92
	林下广场,北京万芳亭公园	1.9 ^[21]	5.73
	平均值	1.6	4.83
灌-草 Shrub-Grass	北京方庄居住区	1.3 ^[20]	3.92
乔-灌-草	北京方庄居住区	4.8 ^[20]	14.47
Tree-Shrub-Grass	道路绿地,北京西四环	2.6 ^[22]	7.84
	平均值	3.7	11.16

3.2 蒸腾吸热量

3.2.1 降温吸热总量

从不同结构绿地的蒸腾吸热能力来看,北京建成区单位面积草地蒸腾吸热量 $2.56 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,绿地(指乔木、草地、乔-灌和灌-草平均值)蒸腾吸热量 $4.59 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,与先前研究结果(草地 $2.19 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和绿地 $4.48 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)比较接近^[25],说明评估过程中采用的绿地蒸腾吸热能力参数相对可靠。2009年北京建成区绿地面积6.1万 hm^2 ,估算这些绿地夏季蒸腾吸热 $4.61 \times 10^{15} \text{ J}$,平均每公顷绿地每天吸热8.4亿J,相当于10台1000W空调的降温作用。

3.2.2 不同类别绿地的降温吸热量

从不同绿地类别来看,公园绿地和附属绿地夏季降温吸热量较大,分别为 $1.48 \times 10^{15} \text{ J}$ 和 $1.25 \times 10^{15} \text{ J}$,二者降温吸热贡献率占到总蒸腾吸热量的59%;防护绿地和道路绿地夏季蒸腾吸热量大体相当,均为 $0.9 \times 10^{15} \text{ J}$;生产绿地夏季降温吸热量最小,仅为 $0.9 \times 10^{14} \text{ J}$,为总蒸腾吸热量的1.95%(图1)。这主要与不同类别绿地的面积有关。但是,单位面积绿地蒸腾吸热能力来看,公园绿地与附属绿地较高,分别为 $9.41 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $9 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,而生产绿地和道路绿地夏季降温吸热能力接近,分别为 $8.36 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $8.12 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,防护绿地单位面积吸热量最低,仅为 $6.79 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (图1)。可见,北京地区防护绿地夏季降温吸热功能明显低于其他类型绿地,主要原因是,公园绿地、附属绿地和道路绿地的乔-灌-草结构比例明显占优势,生产绿地的乔-灌-草面积比例较低,而防护绿地乔-灌-草比例仅占21%(表2),也说明北京地区防护绿地需要进一步优化绿地结构,提升乔-灌-草面积比例。

3.2 蒸腾降温价值

评估结果表明,以居民用电价格为参考,北京市建成区绿地夏季降温价值为6.4亿元,单位绿地降温价值约合 $1.05 \text{ 元}/\text{m}^2$ 。整体来看,朝阳区和海淀区绿地夏季降温价值总量较大,分别为1.36亿元和1.03亿元,二者占到总降温价值的38%;其次为昌平区、顺义区、丰台区和大兴区绿地,而密云县、平谷区和门头沟区绿地夏季降温价值较低,均小于1千万(图2)。此变化趋势主要与不同区县绿地面积有关。不过,就单位面积绿地夏季降温价值来看,东城区、西城区以及密云县、延庆县和怀柔区绿地较高,而平谷区、石景山区和丰台区较低(表3),原因主要是与不同区县绿地的组成结构有关。由于绿地降温功能主要取决于乔灌草所占比例,在东城区、西城区以及密云县和延庆县,乔灌草结构绿地所占比例明显偏高,其单位面积绿地降温价值较高,而平谷区、丰台区和石景山区等区县,乔灌草绿地面积比例较低,因而其单位面积绿地降温价值也最低。因此,对于各区县来说,提高区域内绿地层次结构,有助于改善区域小气候环境,从而节约资源消耗,促进节能减排。

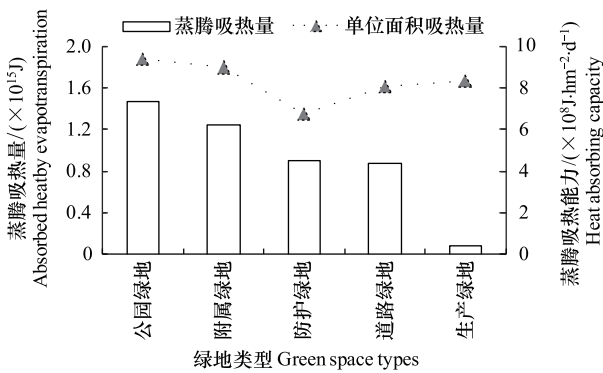


图1 不同类别绿地夏季蒸腾吸热量

Fig.1 Amount of transpiration heat of different types of green spaces in Beijing

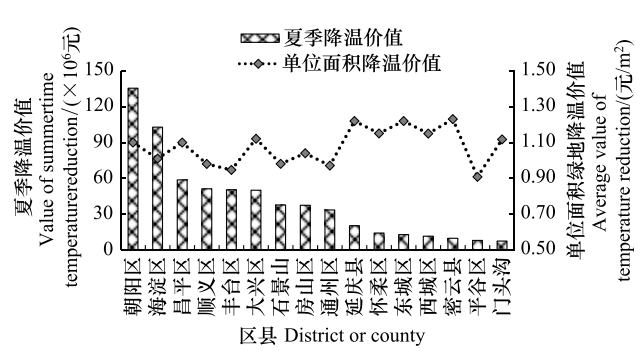


图2 北京城区绿地夏季蒸腾降温价值

Fig.2 Economic value of reducing temperature by urban green spaces in Beijing

5 结论与讨论

为了从城市尺度直观量化绿地资源改善城市小气候的经济学意义,揭示城市绿地生态功能的重要性,本文定量评估了北京建成区绿地夏季蒸腾降温的功能及其价值。结果表明:

(1)北京建成区 6.1 万 hm^2 绿地夏季可蒸腾吸热 4.61×10^{15} J,平均每公顷绿地每天吸热 8.4 亿 J,相当于 10 台 1000W 空调的降温作用;

(2)以居民用电价格为参考,建成区绿地夏季降温价值为 6.4 亿元,单位绿地降温价值约合 1.05 元/ m^2 。

(3)不同类别和区县绿地的降温功能差异较大,主要与绿地面积和组成结构有关。

但是,值得注意的是,由于不同类型绿地降温效果观测数据的准确性、不同气候带夏季时间的差异、居民用电价格的差异等研究方法上的争议,势必造成定量评估一定区域绿地夏季蒸腾降温功能及其价值总量上的不确定性。由于绿色植被的实际降温效果主要取决于绿量、观测时间以及气象气温环境等多种因素,即使同一类型绿地降温值的变化幅度也很大,因此准确量化与比较绿地实际降温是几乎不可能的,为此本文仅将前人观测数据作为绿地降温幅度的理论值而非实际值具有一定的合理性。同时,鉴于同一城市区域气候背景的相似性,比较不同行政区和不同功能绿地类型在降温功能及经济价值上的差异则具有一定的可行性。

此外,绿色植被对周围气温的影响是有一定范围的,随着与植被距离的增加,其对环境温度的影响逐渐减弱。本研究没有考虑绿地降温的影响范围,不过可以肯定的是,其降温影响区域肯定要大于结论中的范围;还有,植物蒸腾降温的主要器官是叶片,因而绿地降温功能与其覆盖率和绿量有较大关系,因此准确量化绿地的降温功能效应,还需要进一步开展更多的实地观测。即便是同一类型的绿地,其植物构成差别也非常大。用某一块绿地的降温效应代表全部类型,实际误差很难估算。本研究的核心目标是从生态系统服务角度直观揭示其经济学意义,凸显维护保持城市绿地生态功能的重要作用,以及为城市规划者与管理者制定政策提供依据。

References:

[1] The People's Republic of China Ministry of Construction. Urban Green Space Classification Standard. Beijing: China Construction Industry Press, 2002.

[2] Hutyrá L R, Yoon B, Alberti M. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, WA region. *Global Change Biology*, 2011, 17(2): 783-797.

[3] Jim C Y, Chen W Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 665-676.

[4] Yin H W, Xu J G, Kong F H. Impact of the amenity value of urban green space on the price of house in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4492-4500.

- [5] Fang C F, Ling D L. Guidance for noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning* 2005, 71(1) : 29-34.
- [6] Zhang B, Xie G D, Xue K, Wang J Z, Xiao Y, Zhang C Q. Evaluation of Rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13) : 3839-3845.
- [7] Goddard M A, Dougill A J, Benton T G. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, 25(2) : 90-98.
- [8] Zoulia I, Santamouris M, Dimoudi A. Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 156(1/4) : 275-292.
- [9] Shashua-Bar L, Potchter O, Bitan A, Boltansky D, Yaakov Y. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(1) : 44-57.
- [10] Oliveira S, Andrade H, Vaz T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: a case study in Lisbon. *Building and Environment*, 2011, 46(11) : 2186-2194.
- [11] Lin Y D, Han X M, Wu X G, Hao X Y, Wang J, Liang F, Liang J, Wang Z H. Ecological field characteristic of green land based on urban green space structure. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10) : 3339-3346.
- [12] Wang Y, Hu F. Variations of the urban heat island in summer of the recent 10 years over Beijing and its environment effect. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(1) : 61-68.
- [13] Zhang B. The climate change, water crisis and forest ecosystem services in Beijing, China // Blanco J A, Kheradmand H, eds. *Climate Change-Socioeconomic Effects*. Rijeka: InTech, 2011 : 115-130.
- [14] Zhang Z F, Zhang X L. Extreme synoptic events in Beijing and their relation with regional climate change. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(3) : 55-59.
- [15] Yang P, Liu W D, Hou W. The trend and inter-decadal evolution of extreme temperature events in Beijing area. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(1) : 60-64.
- [16] Tong H, Liu H Z, Li Y M, Sang J G, Hu F. Actuality of summer urban heat island and the impact of urban planning "wedge-shaped greenland" to reducing the intensity of urban heat island in Beijing. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, 16(3) : 357-366.
- [17] Wu P F, Wang M J, Zhang X X. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(5) : 54-60.
- [18] Chen J, Cui S, Liu Z Y. Summer effect of street trees and lawns on microclimate in Beijing. *Journal of Beijing Forestry College*, 1983, (1) : 15-25.
- [19] Ma X M, Li J Y. Influences of different green lands on urban microclimate. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2007, 22(2) : 210-213, 226-226.
- [20] Li H, Zhao W Z, Gu R Z, Li Y M, Chen Z X, Zhang X X. Effects of three different green-lands in plantation structure on the O₂-emitting, CO₂-fixing, heat-absorbing and temperature-decreasing in residential quarters. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1999, 20(11) : 41-44.
- [21] Wu F, Li S H, Liu J M. The effects of greening, none-greening square and lawn on temperature, humidity and human comfort. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7) : 2964-2971.
- [22] Zhu C Y, Li S H, Ji P, Ren B B, Li X Y. Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2) : 383-394.
- [23] Yang S H. A study on the effect of decreasing temperature and increasing humidity of urban afforestation trees. *Geographical Research*, 1994, 13(4) : 74-80.
- [24] Qin Y M, Liu K, Wang Y J. Ecological functions of green land system in Xi'an. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(2) : 135-139.
- [25] Chen Z X, Su X H, Liu S Z, Zhang X X. The ecological effects and benefits of urban landscape in Beijing (3). *Chinese Landscape Architecture*, 1998, 14(3) : 53-56.
- [26] Hao X Y, Lin Y D, Wu X G, Wang J, Liang F, Liang J. Vertical thermal characteristics analysis between different urban green land. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2) : 685-692.
- [27] Su Y X, Huang G Q, Chen X Z, Chen S S. The cooling effect of Guangzhou City parks to surrounding environments. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18) : 4905-4918.
- [28] Liu J M, Li S H, Yang Z F. Temperature and humidity effect of urban green spaces in Beijing in Summer. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(11) : 1972-1978.
- [29] Zhang M L, Qin J, Hu Y H. Effects of temperature reduction and humidity increase of plant communities in Shanghai. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2) : 39-43.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. 城市绿地分类标准(CJJ/T85—2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 尹海伟, 徐建刚, 孔繁花. 上海城市绿地宜人性对房价的影响. 生态学报, 2009, 29(8): 4492-4500.
- [6] 张彪, 谢高地, 薛康, 王金增, 肖玉, 张昌顺. 北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估. 生态学报, 2011, 31(13): 3839-3845.
- [11] 蔺银鼎, 韩学孟, 武小刚, 郝兴宇, 王娟, 梁峰, 梁娟, 王志红. 城市绿地空间结构对绿地生态场的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3339-3346.
- [12] 王郁, 胡非. 近10年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究. 地球物理学报, 2006, 49(1): 61-68.
- [14] 郑祚芳, 张秀丽. 北京极端天气事件及其与区域气候变化的联系. 自然灾害学报, 2007, 16(3): 55-59.
- [15] 杨萍, 刘伟东, 侯威. 北京地区极端温度事件的变化趋势和年代际演变特征. 灾害学, 2011, 26(1): 60-64.
- [16] 佟华, 刘辉志, 李延明, 桑建国, 胡非. 北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用. 应用气象学报, 2005, 16(3): 357-366.
- [17] 武鹏飞, 王茂军, 张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 54-60.
- [18] 陈健, 崔森, 刘镇宇. 北京夏季绿地小气候效应. 北京林业大学学报, 1983, (1): 15-25.
- [19] 马秀梅, 李吉跃. 不同绿地类型对城市小气候的影响. 河北林果研究, 2007, 22(2): 210-213, 226-226.
- [20] 李辉, 赵卫智, 古润泽, 李延明, 陈自新, 张新猷. 居住区不同类型绿地释氧固碳及降温增湿作用. 环境科学, 1999, 20(11): 41-44.
- [21] 吴菲, 李树华, 刘娇妹. 林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度. 生态学报, 2007, 27(7): 2964-2971.
- [22] 朱春阳, 李树华, 纪鹏, 任斌斌, 李晓艳. 城市带状绿地宽度与温湿效益的关系. 生态学报, 2011, 31(2): 383-394.
- [23] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究. 地理研究, 1994, 13(4): 74-80.
- [24] 秦耀民, 刘康, 王永军. 西安城市绿地生态功能研究. 生态学杂志, 2006, 25(2): 135-139.
- [25] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 张新猷. 北京城市园林绿化生态效益的研究(3). 中国园林, 1998, 14(3): 53-56.
- [26] 郝兴宇, 蔺银鼎, 武小钢, 王娟, 梁峰, 梁娟. 城市不同绿地垂直热力效应比较. 生态学报, 2007, 27(2): 685-692.
- [27] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 陈水森. 广州市城区公园对周边环境的降温效应. 生态学报, 2010, 30(18): 4905-4918.
- [28] 刘娇妹, 李树华, 杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1972-1978.
- [29] 张明丽, 秦俊, 胡永红. 上海市植物群落降温增湿效果的研究. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 39-43.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)

Effects of elevated CO₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of *Fargesia rufa* Yi
..... ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)

Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau:
a case in Xiaheimugou, Luochuan County LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)

Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007
..... XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)

Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model
..... FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)

Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau
..... LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)

Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing
..... ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)

Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China
..... SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)

The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang
City, China WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)

Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis
..... SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)

The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns
..... YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)

Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant *Davidia involucrata* in Hunan Province
..... LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)

Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of *Rodgersia sambucifolia* and related species
..... LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)

Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of *Caragana korshinskii* Kom. (Fabaceae) ...
..... YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)

Population-keeping mechanism of the parasitoid *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) of *Massicus raddei*
(Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)

Study of mingling based on neighborhood spatial permutation LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)

Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data
..... SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)

Response of seed germination and seedling growth of *Pinus koraiensis* and *Quercus mongolica* to comprehensive action of warming
and precipitation ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)

Impacts of water stored in sapwood *Populus bolleana* on its sap flux DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)

Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from *Alnus sibirica* forested wetland in
Xiaoxing'an Mountains, Northeast China GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)

Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove *Kandelia candel* seedlings
..... LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)

Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert
..... LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)

Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna
..... DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)

Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China
..... PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

- Relationships between chemical compositions of *Quercus* species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
- Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
- Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
- The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
- Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
- Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
- Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
- The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
- The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
- Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
- The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
- Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
- Review and Monograph**
- Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness XU Chengxiang (7966)
- Influences of vegetation on permafrost: a review CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
- Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
- Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 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:100717	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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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