

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

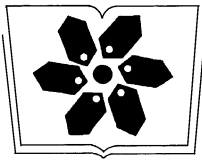
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **2013**

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 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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

DOI: 10.5846/stxb201209181316

张凯旋, 张建华. 上海环城林带保健功能评价及其机制. 生态学报, 2013, 33(13): 4189-4198

Zhang K X, Zhang J H. Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4189-4198.

上海环城林带保健功能评价及其机制

张凯旋*, 张建华

(上海商学院生态旅游学院, 上海 201400)

摘要: 选取上海环城林带典型的植物群落, 分别在夏季和冬季对群落的温湿度调节、负离子提升、抑菌、降噪和大气净化等保健功能进行测定和评价; 同时结合群落结构因子, 分析群落结构与保健功能之间的关系, 并探讨了群落物种组成和结构特征对保健功能的影响, 以期揭示群落保健功能发挥的机制。结果表明: 夏季, 落叶针叶林池杉群落除抑菌功能以外, 在其他保健功能上均具有较好的效果, 而落叶阔叶林全缘叶栎树群落和悬铃木群落效果较差, 其他类型的群落居中; 冬季, 常绿阔叶林女贞群落在各种保健功能方面均具有较好的效果, 其次为常绿落叶阔叶混交林的全缘叶栎树+香樟群落和杂交杨+香樟群落, 其他类型的群落效果较差。群落各种保健功能与群落结构特征的相关性分析表明, 叶面积指数和郁闭度在夏冬两季均与多种保健功能呈显著正相关, 是指示群落保健功能优劣的重要结构因子。研究结果表明人工森林群落的保健功能可通过调整群落结构来提升, 为城市森林的群落建构与管理提供了科学依据。

关键词: 保健功能; 上海环城林带; 结构特征; 城市森林

Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China

ZHANG Kaixuan*, ZHANG Jianhua

Department of Ecology and Tourism, Shanghai Business School, Shanghai 201400, China

Abstract: Urban forests are complex ecosystems created by the interaction of anthropogenic and natural processes. Two keys to improving the management of urban forest ecosystems are an understanding of their structure and its relationship to forest functions, and coordination of the management of the multiple functions of urban forests. As green infrastructure is an important part of urban systems, urban forests can provide a variety of ecosystem services. With rapid urbanization, increasing numbers of urban dwellers are facing health problems caused by environmental pollution. Therefore, the beneficial impacts of urban forests on human health have attracted increasing attention. Extensive development in Shanghai during the last few decades has led to rapid urbanization. The Shanghai Green Belt, with its many species and diverse vegetation types, is an important part of Shanghai's urban forests. After more than 10 years of construction and development, the Green Belt has become a major attraction for people who desire green space for recreation and relaxation, and it continues to have a positive role in the protection and promotion of the health of urban residents. Since the Green Belt landscape has increased in importance, its function in promoting human health should be evaluated to optimize its structure and to promote both its ecological functions and the related benefits it provides to people. Many research studies have demonstrated that the functions of urban forests that promote human health mainly depend on the vegetation type present, the vegetative community components and the structure of the plant communities present. In this study, typical plant

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(13YZ142); 上海高校青年教师培养资助计划资助(SXY11008)

收稿日期: 2012-09-18; **修订日期:** 2013-03-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangkx99@126.com

communities in the Shanghai Green Belt were selected for analysis of their function in promoting a healthy human environment. This function was evaluated from the aspects of temperature and humidity amelioration, the generation of negative ions, bacteria inhibition, noise reduction, and air pollution reduction in summer and winter. The relationships between functions beneficial to human health and community structural characteristics and factors were analyzed, and the mechanisms influencing the function of forest communities in benefiting human health were explored based on the species composition and structural characteristics of these urban forests. The results showed the *Taxodium distichum* var. *imbricarium* Community, a deciduous coniferous forest type, has the best effect on most forest ecosystem functions related to human health with the exception of bacterial inhibition in summer. Two deciduous broad-leaved forest types, the *Koelreuteria bipinnata* var. *integrifoliola* Community and the *Platanus* × *hispanica* Community, have the least effect on promoting forested ecosystem functions related to human health, while other community types are in the mid-range. In winter, the evergreen broad-leaved forest *Ligustrum lucidum* Community has the best effect on such functions, followed by the evergreen and deciduous broad-leaved forest *Koelreuteria bipinnata* var. *integrifoliola* + *Cinnamomum camphora* Community and the *Populus* spp. + *Cinnamomum camphora* Community, and other communities types that have weaker health-related function effects. Correlation analysis between the functions related to the promotion human health and community structural factors shows leaf area index (LAI) and canopy closure were significantly and positively correlated with health-related functions, and LAI and canopy closure were important structural parameters that indicated the plant community provided important functions related to human health. By quantitatively evaluating the health-related functions of different plant communities in the Shanghai Green Belt, we explore the differences in different community types in the promotion of ecosystem functions related to human health. We also reveal the mechanisms influencing those functions, suggest some strategies related to optimizing plant community structure under specific environmental conditions, and provide a scientific basis for urban forest planning, design, and management.

Key Words: health function; Shanghai Green Belt; structural characteristics; urban forest

城市森林是人类和自然过程相互作用所形成的复杂生态系统,是城市生态系统中不可分割的组成部分,可以提供多种生态系统服务功能^[1]。城市森林和树木能够为城市提供一个高质量的生活环境,通过消除污染物、释放有益物质和提供舒适环境等来改善公众健康,即城市森林对人类具有保健功能^[2]。随着城市化进程的加快,居民的健康受到环境污染的严重影响,因而城市森林对人体的保健功能日益受到重视。城市森林的保健功能指所有对人体的健康具有促进作用的生态效益,主要包括净化空气、固碳释氧、降噪、改善小气候及产生空气负离子等^[3-4]。

近年来,国内外学者对城市森林的保健功能进行了相关研究,美国林务局的 David Nowak 等人从上个世纪 90 年代开始,对城市森林通过吸滞尘埃和吸收有害气体来减少大气污染进行了研究^[5-7]。欧盟在 2004—2008 年启动了 COST Action E39 “森林,树木和人体健康”研究项目 (European Union’s COST Action E39 “Forests, Trees and Human Health and Wellbeing”),以城市森林为主体研究对象,从多个方面定性研究了城市森林的保健功能^[8]。日本林业署 1982 年提出了森林浴 (Shinrin-yoku or forest bathing) 的概念,通过在森林中放松休闲,呼吸树木散发出的挥发性物质,有助于减轻压力和放松心情,其效果与自然芳香疗法类似, Li 等学者对森林浴的人体健康效应进行了深入系统的研究^[9]。

国内对城市森林保健功能的需求随着社会经济的发展和人民生活的改善也日益增长,国内学者分别针对城市森林的小气候效应^[10]、产生负离子^[11-12]、净化大气^[13-14]、降噪功能^[15-16]、抑菌功能^[17-18]等进行了研究。但以往研究主要侧重于城市和区域的大尺度或具体树种的微尺度,而从群落尺度上对保健功能的研究很少;同时以往研究主要针对单一保健功能,而对多种保健功能的综合研究,以及保健功能与群落结构相关性方面的研究还鲜有报道。

群落是城市森林的基本组成单元,不同的植被组成、群落类型和结构特征,均会影响到保健功能的发挥。因此,本文以上海环城林带为对象,选取典型的植物群落进行保健功能测定和评价,分析不同类型群落保健功能的差异;同时结合群落结构因子,分析群落结构与保健功能之间的关系,探讨影响群落保健功能发挥的机制和途径。

1 研究区域概况

上海市地处长江三角洲的东缘,北靠长江入海口,属于长江三角洲以太湖为中心的碟形洼地的东缘。该地区位于暖温带向亚热带的过渡带,属北亚热带季风气候类型。上海环城林带是上海市最大的跨世纪生态工程,沿着外环线道路建设,全长 98km,规划总面积为 6208hm²。环城林带工程共涉及浦东、南汇、徐汇、闵行、长宁、嘉定、普陀和宝山等 8 个区,于 1995 年正式启动建设,现已完成环城林带 100m 一期、二期工程和 400m 林带一期、二期工程。通过对环城林带进行群落学调查得知,环城林带主要有常绿针叶林、落叶针叶林、针叶混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林和竹林等 7 种植被类型,其中以落叶阔叶林和常绿阔叶林为主^[19]。

2 研究方法

2.1 样地设置

根据环城林带群落调查结果,选择建成时间相对一致的典型群落进行保健功能的测定,样地选择在普陀段(1996 年建成)和浦东三林段(1997 年建成)。每个群落大小为 20m×30m,群落的植物组成见表 1。由于考虑到群落周边环境会对群落保健功能产生影响,因此样地群落选择时均远离建筑物、构筑物、水体,并避免其他群落的干扰。

表 1 保健功能测定的群落植物组成

Table 1 Species composition of different plant communities for health function measurement

植被类型 Vegetation type	群落类型 Community type	群落植物组成 Species composition of communities		
		乔木层 Tree layer	灌木层 Shrubs layer	草本层 Herb layer
针叶林 Coniferous forest	池杉群落 <i>Taxodium distichum</i> var. <i>imbricarium</i> Comm.	池杉 <i>Taxodium distichum</i> var. <i>imbricarium</i>	—	乌敛莓 <i>Cayratia japonica</i> , 龙葵 <i>Solanum nigrum</i> , 牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i> , 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>
针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	杂交杨+水杉群落 <i>Populus</i> spp. + <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Comm.	杂交杨 <i>Populus</i> spp., 水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , 悬铃木 <i>Platanus × hispanica</i>	蚊母 <i>Distylium racemosum</i> , 夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> , 狭叶十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	女贞群落 <i>Ligustrum lucidum</i> Comm.	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	夹竹桃	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i> , 一年蓬, 乌敛莓, 狗尾草 <i>Setaria viridis</i>
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	全缘叶栎树群落 <i>Koelreuteria bipinnata</i> var. <i>integrifoliola</i> Comm.	全缘叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i> var. <i>integrifoliola</i>	—	—
	悬铃木群落 <i>Platanus × hispanica</i> Comm.	悬铃木	夹竹桃	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> , 苦苣菜 <i>Sonchus uliginosus</i> , 繁缕 <i>Stellaria media</i> , 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>
常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest	全缘叶栎树+香樟群落 <i>Koelreuteria bipinnata</i> var. <i>integrifoliola</i> + <i>Cinnamomum camphora</i> Comm.	全缘叶栎树, 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	狭叶十大功劳	麦冬, 朴树 <i>Celtis tetrandra</i> ssp. <i>sinensis</i> 幼苗, 桑树 <i>Morus alba</i> 幼苗, 乌敛莓
	杂交杨+香樟群落 <i>Populus</i> spp. + <i>Cinnamomum camphora</i> Comm.	杂交杨, 香樟	狭叶十大功劳, 香樟幼苗	—

2.2 群落结构特征调查

对所选取的样地进行群落学调查,包括胸径(cm)、高度(m)、枝下高(m)、冠幅(m²)、林分密度(株/hm²),同时测定群落的郁闭度、疏透度和叶面积指数(表2)。叶面积指数是植物群落生长和植物生态过程的重要参数^[20],郁闭度可以反映树冠的闭锁程度和树木利用生活空间的程度,疏透度可以反映林分内空隙的分布状况,郁闭度和疏透度是群落结构的重要表征^[21-22]。郁闭度和叶面积指数利用 WinScanopy 冠层结构分析仪实现,疏透度采用“数字图像处理法”得到^[23]。

2.3 保健功能测定

在生长旺盛期(2009年8月)和落叶期(2010年1月)分别测定各植物群落的空气温湿度、空气负离子浓度、噪声值、空气细菌含量和大气污染物含量。由于风向、风速等会对保健功能产生影响,因此测定均选择在晴朗、无风或者静风的天气进行。

2.3.1 空气温湿度和空气负离子测定

分别于测定日的8:00—9:00,12:00—13:00和16:00—17:00 3个时间段进行群落空气负离子和空气温湿度测定,并在林外旷地选择对照点,使用 ITC-201A 空气负离子浓度仪(日本 Andes 电气株式会社)同步测定,该仪器能够每隔 1s 测定并自动储存一组空气离子浓度和温湿度数据。每次测定时间为 20min(负离子 10min,正离子 10min),测定高度为 1.2—1.5 m 呼吸高度。

2.3.2 空气细菌采样和测定

空气中细菌的含量采用自然沉降法采集测定^[18]。细菌采样培养用营养琼脂培养基,将培养皿(直径 90mm)和配置好的培养基灭菌处理,培养基在无菌状态下倒入培养皿,密封好备用。在群落内和林外旷地同时在 1.2—1.5m 呼吸高度处采样,培养基在空气中暴露时间为 15min,每个样地重复 3 次。采样后,将培养皿倒置放入 37℃ 恒温箱中,培养 48h 后对各培养皿中的菌落进行计数。

2.3.3 噪声值测定

分别于测定日的8:00—9:00,12:00—13:00和16:00—17:00 3个时间段进行噪声测定,在林外旷地和群落内 30m 处分别设置一个测点,同时选取裸地为空白对照。使用两台 HS6288B 型噪声频谱分析仪分别在两个测点同步测量噪声值,测量高度为 1.2—1.5m,测量前使用声校准器校正,测量时传声器加风罩。

2.3.4 大气污染物采样和测定

由于环城林带最直接的污染源是外环线道路上机动车的尾气,因此选择 CO、NO_x、SO₂ 和 PM₁₀ 4 种机动车尾气中的主要污染物进行测定。CO、NO_x、SO₂ 在测定日的 8:00—9:00,12:00—13:00 和 16:00—17:00 3 个时间段采样,PM₁₀ 从 8:00 到 20:00 连续采样,在群落内选 3 个测点做平行样,各种污染物均在群落内和林外旷地同时采样。使用 QC-2B 型大气采样器进行 NO_x、SO₂ 的取样,使用球胆进行 CO 的取样,使用 TH-150C Ⅲ型智能中流量总悬浮微粒无碳刷采样器进行 PM₁₀ 采样。二氧化硫测定采用甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法,氮氧化物测定采用 Saltzman 法,一氧化碳测定采用非分散红外法,PM₁₀ 测定采用重量法。

2.4 保健功能评价方法

各项指标采用提升率来表征群落的保健作用,即群落内各项保健功能相对于群落外对照的改善效果。

2.4.1 空气温湿度

植物群落空气温湿度的调节效应采用群落内外气温(或相对湿度)的变化率来表征,即群落内与林外旷地气温(或相对湿度)的差值同林外旷地气温(或相对湿度)的比值。

2.4.2 空气负离子

以空气质量评价指数作为空气负离子的评价指标^[11],计算公式如下:

$$q = \frac{n^+}{n^-} \quad (1)$$

$$CI = \frac{n^-}{1000q} \quad (2)$$

表 2 保健功能测定群落的结构特征
Table 2 Structural characteristics of plant communities for health function measurement

植物群落 Plant communities	ADBH /cm	AH /m	ABH /m	ACD /m ²	SD (individuals/hm ²)	夏季 Summer			冬季 Winter		
						CC/%	CP	LAI	CC/%	CP	LAI
池杉群落 <i>Taxodium distichum</i> var. <i>imbricarium</i> Comm.	10.8	7.8	3.1	2.9	3500	83.63±4.26a	0.39±0.02cd	2.96±0.18a	27.46±0.86d	0.69±0.04b	0.48±0.04c
杂交杨+水杉群落 <i>Populus</i> spp. + <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Comm.	11.1	8.3	4.5	3.7	3120	70.07±5.97b	0.45±0.03c	2.27±0.23bc	18.07±1.03e	0.75±0.06ab	0.32±0.05d
女贞群落 <i>Ligustrum lucidum</i> Comm.	9.6	5.4	2.1	3.8	1880	76.74±3.42ab	0.53±0.02b	2.19±0.17bc	68.52±2.32a	0.55±0.03c	1.94±0.09a
全缘叶栎群落 <i>Koeleruteria bipinnata</i> var. <i>integrifoliola</i> Comm.	11.9	6.3	2.6	4.8	1350	41.32±2.81e	0.61±0.05a	1.28±0.09e	11.13±0.54g	0.82±0.03a	0.22±0.02d
悬铃木群落 <i>Platanus × hispanica</i> Comm.	13.3	5.5	2.9	8.0	1550	49.89±2.69d	0.32±0.04d	1.66±0.11d	14.51±0.65f	0.73±0.04ab	0.27±0.03d
全缘叶栎树+香樟群落 <i>Koeleruteria bipinnata</i> var. <i>integrifoliola</i> + <i>Cinnamomum camphora</i> Comm.	11.0	9.5	4.6	5.1	2850	77.43±6.53ab	0.48±0.03bc	2.55±0.31b	45.69±2.46b	0.60±0.11bc	1.15±0.14b
杂交杨+香樟群落 <i>Populus</i> spp. + <i>Cinnamomum camphora</i> Comm.	17.3	9.3	4.0	9.2	1080	58.39±5.77c	0.54±0.04ab	2.06±0.27c	38.47±1.98c	0.63±0.13bc	1.06±0.12b

注: ADBH: 平均胸径 Average diameter at breast height; AH: 平均高度 Average height; ABH: 平均枝下高 Average bifurcate height; ACD: 平均冠幅 Average crown diameter; SD: 林分密度 Stand density; CC: 郁闭度 Canopy closure; CP: 疏透度 Canopy porosity; LAI: 叶面积指数 Leaf area index; 数值为平均值±标准差, 对同一指标不同群落间的差异进行了检验, 不同字母表示存在显著差异 ($P<0.05$)

式中, q 表示单极系数; n^+ 表示空气正离子浓度; n^- 表示空气负离子浓度, CI 表示空气质量评价指数。 CI 指标把空气负离子作为评价指数, 同时又考虑了正负离子的构成。

群落空气负离子的提升能力用 CI 值的变化率来表征, 即群落内与林外旷地 CI 的差值同林外旷地 CI 的比值。

2.4.3 噪声值

群落降噪的降噪能力用降噪率来表征, 即各群落的降噪量(相对衰减量)同旷地对照噪声值的比值。群落的降噪量为测定的群落噪声衰减量减去距离衰减(旷地对照产生的衰减量)所得到的差值。

2.4.4 空气细菌

通过计数得到每个培养皿上的菌落数, 按公共场所每 m^3 空气中微生物总数的公式进行计算, 公式为:

$$E = \frac{500000N}{A \times T} \quad (3)$$

式中, E 为每立方米空气中细菌数(CFU/ m^3); N 为培养后平皿上的菌落数; A 为所用平皿的面积(cm^2); T 为平皿暴露空气的时间(min)。

群落的抑菌能力用抑菌率来表征, 计算公式为:

$$P = \frac{E_s - E_c}{E_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中, P 为抑菌率, E_s 为旷地对照的细菌数, E_c 为样地中的细菌数。

2.4.5 大气污染物

大气污染物评价方法采用最高分指数与平均分指数兼顾的空气质量指数法对环城林带空气质量进行评价^[24]。

综合大气质量指数的计算公式如下:

$$I_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (5)$$

$$I_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$I_{max} = \max \left[\frac{C_1}{S_1}, \frac{C_2}{S_2}, \dots, \frac{C_n}{S_n} \right] \quad (7)$$

$$I = \sqrt{I_{max} \times I_{av}} \quad (8)$$

式中, I_i 为大气单项污染指数; C_i 为第 i 种污染物的浓度; S_i 为第 i 种污染物的质量标准值; I_{av} 为污染物单项指数的均值; n 为指标个数; I_{max} 为大气单项污染指数(I_i)的最大值; I 为综合大气质量指数。

群落的大气净化率用综合大气质量指数的变化率即综合净化率来表征, 即旷地对照与群落内综合大气指数的差值同旷地对照综合大气指数的比值。

数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析, 采用重复测量设计的方差分析比较不同植物群落间空气温湿度、空气负离子浓度、噪声值、空气细菌含量和大气污染物含量的差异显著性, 并用 Duncan 检验比较各群落之间的差异。群落保健功能的提升率与群落结构的相关性分析采用 Pearson 相关系数。

3 结果

3.1 不同植物群落保健功能评价

3.1.1 空气温湿度调节效果

夏季, 不同植物群落内的气温均显著低于旷地对照的气温, 说明植物群落夏季具有明显的降温作用。其中高大荫浓的池杉群落体现了最好的降温功能, 变化率达 11.53%, 较稀疏的全缘叶栎树群落降温效果最差, 变化率为 7.01%。冬季, 不同群落内的气温均显著高于旷地对照的气温, 说明植物群落冬季具有保温作用。含有常绿树种的女贞群落、杂交杨+香樟群落和全缘叶栎树+香樟群落的保温效果要显著优于其他群落, 变化

率超过 8% (表 3)。

夏季,植物群落的相对湿度要显著高于旷地对照,在不同的植物群落体现一致的变化,说明植物群落夏季有明显的增湿效果。其中全缘叶栎树+香樟群落的增湿效果最好,变化率达 9.56% (表 3)。冬季,不同群落内的相对湿度与林外相对湿度之间的差异并不显著 ($P>0.05$),说明植物群落在冬季对湿度并没有显著的调节作用。综上所述,环城林带植物群落具有夏季降温增湿和冬季保温的作用,而冬季对湿度的调节不显著。

3.1.2 空气负离子提升效果

在夏季和冬季所有植物群落的空气负离子浓度均显著高于林外旷地的对照。夏季,池杉群落空气负离子的提升能力最强,达到 138.84%,杂交杨+香樟群落和女贞群落的提升率均超过 100%,全缘叶栎树群落和悬铃木群落的提升率较低。冬季,全缘叶栎树+香樟群落的提升率最高,达到 189.47%,其次是杂交杨+香樟群落(176.89%)和女贞群落(172.31%),全缘叶栎树群落和杂交杨+水杉群落的提升率较低(表 3)。

3.1.3 空气含菌量的抑制效果

在夏季和冬季,群落内空气中的含菌量均显著低于林外旷地对照的含菌量。夏季,全缘叶栎树+香樟群落的抑菌效果最好,抑菌率为 58.52%,其次为全缘叶栎树群落(57.03%)和杂交杨+水杉群落(50.89%),而池杉群落的抑菌效果最差(16.94%)。冬季,含有常绿树种的女贞群落、全缘叶栎树+香樟群落和杂交杨+香樟群落的抑菌率均超过或接近 70%,抑菌效果要优于其他完全由落叶树种组成的群落,而池杉仍然处于最低的水平(12.39%)(表 3)。

3.1.4 降噪效果

在夏季和冬季,不同植物群落的相对衰减量均显著高于由距离产生的衰减量,说明植物群落具有显著的降噪功能。夏季,乔灌木结构的杂交杨+水杉群落的降噪效果最好,降噪率为 6.34%,而结构简单的全缘叶栎树群落降噪效果最差,降噪率为 4.06%。冬季,常绿阔叶林女贞群落的降噪效果最好,降噪率为 5.03%,全缘叶栎树群落衰减量仍然处于最低的水平,降噪率为 2.71%(表 3)。整体上,夏季植物群落的降噪效果要优于冬季,其中常绿阔叶林女贞群落在两个季节相差最小,其他植物群落在生长旺盛期的降噪效果要优于落叶期。

表 3 不同植物群落保健功能提升率
Table 3 Health function promotion rate of different plant communities

季节 Season	植物群落 Plant communities	空气温度调节 效应变化率 Temperature amelioration rate	空气湿度调节 效应变化率 Humidity amelioration rate	负离子提升率 Negative-ion promotion rate	抑菌率 Bacteria inhibition rate	降噪率 Noise reduction rate	大气净化率 Air pollution reduction rate
夏季 Summer	池杉群落	11.53	9.02	138.84	16.94	5.92	43.72
	杂交杨+水杉群落	9.81	7.97	81.62	50.89	6.34	22.14
	女贞群落	9.49	6.04	111.36	42.99	5.43	14.75
	全缘叶栎树群落	7.01	6.02	56.29	57.03	4.06	11.10
	悬铃木群落	8.06	5.72	65.65	45.09	4.89	25.01
	全缘叶栎树+香樟群落	10.73	9.56	107.96	58.52	5.23	18.28
	杂交杨+香樟群落	8.82	6.08	117.75	34.25	5.40	15.96
冬季 Winter	池杉群落	5.58	—	130.43	12.39	3.93	7.24
	杂交杨+水杉群落	4.56	—	70.08	22.54	3.51	8.62
	女贞群落	8.81	—	172.31	76.50	5.03	25.33
	全缘叶栎树群落	3.36	—	63.03	50.16	2.71	7.39
	悬铃木群落	5.98	—	115.56	29.84	3.38	9.64
	全缘叶栎树+香樟群落	8.79	—	189.47	73.14	4.44	11.71
	杂交杨+香樟群落	9.30	—	176.89	69.52	4.68	14.40

3.1.5 大气污染净化效果

植物群落对机动车排放的大气污染物具有一定的净化作用。夏季,池杉群落的净化能力最强,综合净化

率达 43.72%,其次为悬铃木群落和杂交杨+水杉群落,综合净化率均超过了 20%,而其他群落的综合净化率在 10%—20%。冬季,女贞群落表现出最好的净化能力,综合净化率超过了 25%,其次为全缘叶栎树+香樟群落和杂交杨+香樟群落,综合净化率在 10%—15% 之间,其他群落的综合净化率均低于 10%(表 3)。

对植物群落在调节温湿度、产生负离子、抑菌、降噪和净化大气等保健功能进行综合分析可知:夏季,落叶针叶林池杉群落除抑菌功能以外,在其他保健功能上均具有较好的效果,而落叶阔叶林全缘叶栎树群落和悬铃木群落效果较差,其他类型的群落居中;冬季,常绿阔叶林女贞群落在各种保健功能方面均具有较好的效果,其次为常绿落叶阔叶混交林的全缘叶栎树+香樟群落和杂交杨+香樟群落,其他类型的群落效果较差。

3.2 群落结构特征与保健功能的相关性

将植物群落结构特征与群落各种保健功能的提升率进行相关性分析可知,夏季,群落降温、增湿、提供空气负离子、降噪 4 种保健功能受不同群落结构因子调控,最显著的结构因子是叶面积指数、郁闭度和林分密度,其中叶面积指数与上述 4 种保健功能均呈显著正相关,而郁闭度和林分密度与部分功能呈正相关(表 4)。冬季,各种保健功能均与群落结构因子相关,其中主要因子为叶面积指数、郁闭度和疏透度(表 5)。说明在冬季,群落的叶面积指数、郁闭度和疏透度是协同影响群落保健功能的发挥。整体上,叶面积指数、郁闭度越大,疏透度越小时,群落保健功能就越好。

表 4 夏季植物群落结构特征与保健功能的相关性

Table 4 Correlation between health function and community structural characteristics in summer

	降温 Temperature amelioration	增湿 Humidity amelioration	提升负离子 Negative-ion promotion	抑菌 Bacteria inhibition	降噪 Noise reduction	净化大气 Air pollution reduction
ADBH	/	/	/	/	/	/
AH	/	/	/	/	/	/
ABH	/	/	/	/	/	/
ACD	/	/	/	/	/	/
SD	+	+	/	/	/	/
CC	+	/	+	/	+	/
CP	/	/	/	/	/	/
LAI	+	+	+	/	+	/

+表示存在显著正相关性($P<0.05$),-表示存在显著负相关性($P<0.05$),/表示不存在显著相关性

表 5 冬季植物群落结构特征与保健功能的相关性

Table 5 Correlation between health function and community structural characteristics in winter

	保温 Temperature amelioration	提升负离子 Negative-ion promotion	抑菌 Bacteria inhibition	降噪 Noise reduction	净化大气 Air pollution reduction
ADBH	/	/	/	/	/
AH	/	/	/	/	/
ABH	/	/	/	/	/
ACD	/	/	/	/	/
SD	/	/	/	/	/
CC	+	+	/	+	+
CP	-	-	/	-	-
LAI	+	+	+	+	+

在群落结构特征因子中,叶面积指数和郁闭度在夏冬两季均与多种保健功能呈显著正相关,这两个因子反映了植物叶片的生物量,在一定程度上是生理活动旺盛的标志,是植物光合作用、蒸腾作用、水分利用以及构成生产力基础等方面的重要参数^[20]。因此,叶面积指数和郁闭度是指示群落保健功能优劣的重要结构因子。

4 讨论和结论

森林生态系统结构与功能的关系是紧密联系、相辅相成的,结构是功能的基础,功能是结构合理程度的体

现^[25]。在自然森林生态系统中,群落结构在一定程度上决定生产力和物质能量循环^[26],最终影响群落保健功能的发挥。研究表明,在城市森林生态系统中,群落的保健功能可以通过群落结构特征来反映,群落的叶面积指数和郁闭度是指示群落保健功能优劣的重要结构因子,而这两个因子表征了群落冠层的叶量及其空间分布。由此说明城市森林生态系统中群落功能仍然由其结构和生物量决定。

群落的降温增湿效果与郁闭度和叶面积指数呈显著正相关,张明丽等^[27]也得到一致的结果。这是由于群落的林冠层起着缓和林内气温变化的作用,一方面林冠层阻挡了太阳辐射摄入林内,使到达群落内的太阳辐射减少,从而使林内夏季的气温低于林外^[10]。同时植物通过蒸腾耗热,减低辐射平衡,因此叶面积指数的高低很大程度上决定了林地的降温效果。

群落的结构影响其提高空气负离子浓度和改善空气质量的作用。叶面积指数高的植物群落,其光合作用能力强,促进群落产生高浓度的氧分子,从而导致微环境的空气负离子浓度的增加。群落的郁闭度增大,群落内相对湿度也会提高,湿度的增加使污染物吸附在水汽上,增加了空气的清洁程度,有利于空气负离子的累积,从而使空气负离子浓度也相应增加^[12]。

在林带宽度相同的条件下,不同结构、不同植物组成的绿地群落降噪效果差别大。当植物以一定配置方式形成人工群落时,由于内部非均质性使得其降噪效果差异较大,而群落结构特征因子反映了群落的非均质性^[15]。叶面积指数和郁闭度高的植物群落,浓密的枝叶有助于提高树木的单位吸声量,具有更好的降噪效果。张庆费等^[15]的研究表明,平均枝下高、平均高度、叶面积指数、平均冠幅和盖度 5 个群落结构特征因子是影响群落降噪效果的主要因子。而本研究中降噪功能与郁闭度和叶面积指数两个因子的相关性显著,而与其他因子相关性并不显著,可能的原因是张庆费等所选择的是上海植物园中营造时间在 20a 以上的人工群落,而本研究环城林带的建成时间较短,导致某些群落因子与降噪功能之间的关系显著性不同。

环城林带夏季净化大气功能并没有与结构因子呈显著相关。殷杉等^[13]的研究表明,绿地对空气颗粒物的净化同群落的郁闭度成正相关,同疏透度成负相关关系,绿地群落净化作用最佳的植物郁闭度范围为 0.70—0.85,疏透度范围为 0.25—0.33。本研究中群落净化大气功能与结构因子并没有呈现显著相关,这与本研究中群落郁闭度多低于 0.70,疏透度多高于 0.33 有关。夏季群落叶面积指数和郁闭度均高于冬季,但与群落结构因子之间的相关性低于冬季,这可能是与气象因素有关。夏季由于群落的降温增湿作用,这种低温高湿和相对静风的气象条件不利于空气颗粒物的扩散和输送,使其聚集增大,反而导致颗粒物浓度居高不下。冬季群落内比较干燥且空气流动性好,更有利于颗粒物的扩散,从而导致净化率与群落结构因子的相关性更显著。

致谢:本研究调查、取样及处理过程得到华东师范大学王瑞、沈沉沉、商侃侃、宋坤等同学的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Nowak D J, Dwyer J F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems//Kuser J E, ed. Urban and Community Forestry in the Northeast. New York: Springer, 25-46, 2007.
- [2] Konijnendijk C C, Nilsson K, Randrup T B, Schipperijn J. Urban Forests and Trees. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [3] Hu Y W, Qin Y S, Li R H, Zhou J X, Bao F Y, Yang J. Study on the health function of three typical urban greenspaces in Beijing. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(12): 1872-1878
- [4] Han M C. Research on composite evaluation index of urban forest health effects: a case study of Beigong National Forest Park [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011.
- [5] Rowntree R A, Nowak D J. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture. 1991, 17(10): 269-275.
- [6] Nowak D J. Atmospheric carbon reduction by urban trees. Journal of Environmental Management. 1993, 37: 207-217.
- [7] Nowak D J, Crane D E, Stevens J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry and Urban Greening, 2006, 4(3/4): 115-123.
- [8] Nilsson K, Sangster M, Gallis C, Hartig T, de Vries S, Seeland K, Schipperijn J. Forests, Trees and Human Health. New York: Springer, 2010.
- [9] Li Q. Effect of forest bathing trips on human immune function. Environmental Health and Preventive Medicine, 2010, 15(1): 9-17.
- [10] Chen J Y, Song Y C, Wang A M. Microclimatic effect of the outer-ring greenbelt in Shanghai (I). Ecology and Environment, 2005, 14(1): 67-74.
- [11] Qin J, Wang L M, Gao K, Hu Y H, Wang Y Q, You W H. Improvement of negative air ions concentration by plant communities. Journal of

- Huazhong Agricultural University, 2008, 27(2): 303-308.
- [12] Mu D, Liang Y H. Effects of urban greenbelt structure on air negative ions concentration. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(5): 988-991.
- [13] Yin S, Cai J P, Chen L P, Shen Z M, Zou X D, Wu D, Wang W H. Effects of vegetation status in urban green spaces on particles removal in a canyon street atmosphere. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4590-4595.
- [14] Huang Y C, Zhang J G, Shen C C, Xu W, Xia T Y, Da L J, Zhou N. Study on ecological benefits about air purification of ecological forest belts in Zhenhai district, Ningbo. *Journal of Eastern China Normal University: Natural Science*, 2009, (2): 1-10.
- [15] Zhang Q F, Zheng S J, Xia L, Wu H P, Zhang M L, Li M S. Noise-reduction function and its affecting factors of urban plant communities in Shanghai. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2295-2300.
- [16] Du Z Y, Xing S J, Song Y M, Zhang J F, Duan C H. Study on traffic noise attenuation by green belts along expressway. *Ecology and Environment*, 2007, 16(1): 31-35.
- [17] Li X C, Jiang J H, Chen F M, Liu Q, Huang L B, He X D. The primary study of the antimicrobial function of main tree species in the woodland along the Grand Canal in Yangzhou. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(6): 129-133.
- [18] Luo Y, Li X C, Huang L B, He X D, Cai D D, Tang L. Antibacterial effect of street-side plant arrangement in Huai'an, Jiangsu. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2009, 26(6): 859-864.
- [19] Zhang K X, Che S Q, Ma S C, Wang R, Da L J. Diversity, spatial pattern and dynamics of vegetation under urbanization in Shanghai (VI): community diversity and its structural characteristics of Shanghai Green Belt. *Journal of Eastern China Normal University: Natural Science*, 2011, (4): 1-14, 74-74.
- [20] Wang X Q, Ma L Y, Jia Z K, Xu C Y. Research and application advances in leaf area index (LAI). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5): 537-541.
- [21] Li Y N, Zhang B L, Qin S Y, Li S Y, Huang X R. Review of research and application of forest canopy closure and its measuring methods. *World Forestry Research*, 2008, 21(1): 40-46.
- [22] Jiang F Q, Zhou X H, Fu M H, Zhu J J, Lin H M. Shelterbelt porosity model and its application. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, 5(3): 251-255.
- [23] Zhu J J. Method for measurement of optical stratification porosity (OSP) and its application in studies of management for secondary forests. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1229-1233.
- [24] Yang K D. *Environmental Health* (6th edition). Beijing: People's Medical Publishing House, 2007.
- [25] McPherson E G, Nowak D, Heisler G, Grimmond S, Souch C, Grant R, Rowntree R. Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project, Urban ecosystems, 1997, 1: 49-61.
- [26] Nowak D J. Understanding the structure. *Journal of Forestry*, 1994, 92: 42-46.
- [27] 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:

- [3] 胡译文, 秦永胜, 李荣桓, 周金星, 鲍风宇, 杨军. 北京市三种典型城市绿地类型的保健功能分析. *生态环境学报*, 2011, 20(12): 1872-1878.
- [4] 韩明臣. 城市森林保健功能指数评价研究——以北宫国家森林公园为例[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [10] 陈佳瀛, 宋永昌, 王爱民. 上海环城林带小气候效应的研究(I). *生态环境*, 2005, 14(1): 67-74.
- [11] 秦俊, 王丽勉, 高凯, 胡永红, 王玉勤, 由文辉. 植物群落对空气负离子浓度影响的研究. *华中农业大学学报*, 2008, 27(2): 303-308.
- [12] 穆丹, 梁英辉. 城市不同绿地结构对空气负离子水平的影响. *生态学杂志*, 2009, 28(5): 988-991.
- [13] 殷杉, 蔡静萍, 陈丽萍, 申哲民, 邹晓东, 吴旦, 王文华. 交通绿化带植物配置对空气颗粒物的净化效益. *生态学报*, 2007, 27(11): 4590-4595.
- [14] 黄焰城, 章君果, 沈沉沉, 徐伟, 夏悃渊, 达良俊, 周娜. 宁波镇海区生态隔离林带净化大气的生态效益. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2009, (2): 1-10.
- [15] 张庆费, 郑思俊, 夏榴, 吴海萍, 张明丽, 李明胜. 上海城市绿地植物群落降噪功能及其影响因子. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2295-2300.
- [16] 杜振宇, 邢尚军, 宋玉民, 张建峰, 段春华. 高速公路绿化带对交通噪声的衰减效果研究. *生态环境*, 2007, 16(1): 31-35.
- [17] 李晓储, 蒋继宏, 陈凤美, 刘群, 黄利斌, 何小弟. 扬州古运河沿岸生态林主要绿化树种抑菌功能的初步研究. *林业科学*, 2006, 42(6): 129-133.
- [18] 罗英, 李晓储, 黄利斌, 何小弟, 蔡丹丹, 唐亮. 城市街道绿地不同配置模式植物群落的抑菌功能. *浙江林学院学报*, 2009, 26(6): 859-864.
- [19] 张凯旋, 车生泉, 马少初, 王瑞, 达良俊. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(VI): 上海外环林带群落多样性与结构特征. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2011, (4): 1-14, 74-74.
- [20] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 徐程扬. 叶面积指数的研究和应用进展. *生态学杂志*, 2005, 24(5): 537-541.
- [21] 李永宁, 张宾兰, 秦淑英, 李帅英, 黄选瑞. 郁闭度及其测定方法研究与应用. *世界林业研究*, 2008, 21(1): 40-46.
- [22] 姜凤岐, 周新华, 付梦华, 朱教君, 林鹤鸣. 林带疏透度模型及其应用. *应用生态学报*, 1994, 5(3): 251-255.
- [23] 朱教君. 透光分层疏透度测定及其在次生林结构研究中的应用. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1229-1233.
- [24] 杨克敌. *环境卫生学* (第6版). 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [27] 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. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 彭少麟

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 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@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 90.00 元