

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201202270261

巫涛, 彭重华, 田大伦, 闫文德. 长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布. 生态学报, 2012, 32(13): 4034-4042.

Wu T, Peng C H, Tian D, Yan W D. Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old *Pinus massoniana* forest ecosystem in Changsha City, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4034-4042.

长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布

巫 涛, 彭重华*, 田大伦, 闫文德

(中南林业科技大学, 长沙 410004)

摘要: 采用样方法和取样法, 研究了长沙市区 13 年生马尾松林生态系统碳含量、碳储量及其空间分布特征。结果表明: 马尾松林木各器官平均碳含量为 511.17 g/kg, 从高到低排列顺序为叶>干>根>皮>枝; 林下灌木层、草本层、枯落物层的平均碳含量分别为 531.66、465.53、393.92 g/kg。林地土壤层有机碳含量为 9.40—24.73 g/kg, 各层次碳素含量分布不均, 表层(0—15 cm)土壤碳素含量较高, 并随土壤深度的增加而逐渐下降。生态系统碳库的空间分布序列为土壤层>植被层>枯落物层。植被层的碳储量为 34.50 t/hm², 占整个生态系统碳总储量的 21.57%; 乔木层碳储量占整个生态系统的 20.27%, 占植被层碳储量的 93.97%。乔木层碳储量中, 树干的碳储量最高, 占乔木层碳储量的 65.52%, 其次为根, 占乔木层碳储量的 19.15%, 树皮最少, 仅占 2.10%; 枯落物层碳储量为 3.81 t/hm², 仅占整个生态系统碳储量的 2.38%; 林地土壤层(0—60 cm)碳储量相当可观, 为 121.62 t/hm², 占系统碳储量的 76.05%。马尾松林年净生产力为 4.88 t·hm⁻²·a⁻¹, 有机碳年净固定量为 2.50 t·hm⁻²·a⁻¹, 折合成 CO₂ 的量为 9.16 t·hm⁻²·a⁻¹。

关键词: 碳含量; 碳储量; 马尾松人工林; 城市; 长沙

Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old *Pinus massoniana* forest ecosystem in Changsha City, China

WU Tao, PENG Chonghua*, TIAN Dalun, YAN Wende

Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

Abstract: Increasing concentrations of atmospheric CO₂ and other greenhouse gases are widely recognized to be contributing to the rising average temperature of Earth's atmosphere since the late 19th century. Urban forests have great potential to affect global warming by removing greenhouse gases and sequester carbon into its biomass and the soils. Carbon storage and its special distribution in urban forests are important indicators to accurately determine carbon sequestration capacity in urban ecosystems, to completely evaluate urban ecosystems' functions and services, and to efficiently develop sustainable urban 'carbon forests' management. To improve understanding of the influence of urban forest structure on carbon pools in urban ecosystems, the content, storage and spatial distribution of carbon in a 13-year-old *Pinus massoniana* forest ecosystem were investigated in Changsha City, Hunan Province, China. Results showed that carbon concentrations varied with tree organs in the same tree species and with tree species in the same tree organ as well in the *Pinus massoniana* forests. The average carbon content was 511.17 g/kg for different organs of *Pinus massoniana* forest and decreased in the order leaf > trunk > root > bark > branch. The amount of carbon stored in shrub, herb and litter-fall layers was 531.66, 465.53 and 393.92 g/kg, respectively. Carbon content ranged from 9.40 to 24.73 g/kg in the soils and gradually decreased with the increase of soil depth. The ecosystem stored 159.93 t C/hm², of which 20.1% in above-ground part (living and dead

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201104009); 国家林业局项目([2010]42号); 湖南省科技厅项目(2010TP4011-3); 湖南省教育厅项目(湘财教字[2010]70号); 长沙市科技局创新平台项目(K1003009-61)

收稿日期: 2012-02-27; **修订日期:** 2012-05-28

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

vegetation) and 79.9% in below-ground part (roots and soil organic matter in 0–60 cm depth). Carbon stocks in the different components of the studied forest ecosystems were in an order as: soil > vegetation > litterfall. The vegetation component stored 34.50 t C/hm² and represented 21.57% of the total carbon storage in the forest ecosystem. Carbon storage was about 32.4 t/hm² in the overstory layer, which accounted for 20.27% of the total amount of carbon in the ecosystem, and approximately represented 94% of carbon in vegetation component. Of the overstory layer, 65.5% was in stemwood, 19.2% was in roots, 13.2% was in branch and leaves, and 2.1% was in stembark. Carbon storage in litter fall layer was 3.81 t/hm², which accounted for 2.38% of the total carbon storage in the ecosystem. The soil was the largest of carbon storage component (121.62 t/hm² in 0–60 cm depth) and represented about 76% of the total ecosystem carbon storage. The annual net primary productivity was estimated to be 4.88 t·hm⁻²·a⁻¹ in the *Pinus massoniana* forests and annual carbon storage was 2.50 t·hm⁻²·a⁻¹, which was equivalent to approximately 9.2 t·hm⁻²·a⁻¹ of carbon dioxide. In other words, the studied 13-year-old *Pinus massoniana* forest ecosystem has the capacity to remove about 9 t CO₂ from the atmosphere in Changsha City. Our study demonstrated the important role played by forests in mitigating global climate change, and the research results would provide scientific reference for accurately evaluating carbon balance of urban forest ecosystems.

Key Words: carbon content; carbon storage; *Pinus massoniana* forest; urban forest ecosystem; Changsha City

全球正在变暖的事实已不容置疑^[1]。国际社会对全球气候变化非常重视,CO₂ 作为最重要的一种温室气体,其源与汇已成为全球关注的热点^[2]。森林是陆地生物圈的主体,不仅在维护区域生态环境上起着重要作用,而且在全球碳平衡中作出了巨大的贡献。森林生态系统是地球上最大的陆地碳库,在调节全球碳平衡、减缓大气中 CO₂ 等温室气体浓度上升以及维护全球气候等方面具有不可替代的作用^[3-4]。

近年来,随着城市化水平的快速推进,生态环境问题日益突出,城市森林作为“城市之肺”,是城市复合系统的重要组成部分,在改善和维持城市生态环境中发挥着核心作用^[5-6]。目前,由于大气中温室气体浓度的升高,引起了全球气候的变化,因此,城市森林的固碳作用,亦受到国内外学者越来越多的关注^[7-9]。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国南方的主要乡土造林树种,不仅具有经济意义、防护效能及美学价值,而且在维护生态系统平衡亦具有明显作用。仅湖南省的分布面积就有 230 多万 hm²。目前有关马尾松人工林生态系统碳储量的研究较多^[10-13]。但专门研究生长在城区马尾松林的碳储量相对地少,而城市森林的碳储量是评价城市功能的重要指标之一。本文则以长沙市区 13 年生马尾松人工林生态系统为研究对象,通过样方法和取样法,研究了其生物量、碳素含量,估算了碳储量及其空间分布特征。可为准确估算湖南省城市森林生态系统碳平衡提供基础数据,同时也为城市森林建设规划和布局提供科学依据。

1 试验区自然概况

试验区设在湖南省长沙市南区。其地理位置为 111°53′—114°15′E, 27°51′—28°41′N, 地处湘中丘陵与洞庭湖冲积平原过渡地带和湘浏盆地。全市地势东西两端高耸,中部低平,形似马鞍。海拔一般 100 m 左右,年平均气温为 17.2℃,年平均降水量 1360 mm,相对湿度 80%,气候系冬寒夏热,春秋短促,冬夏绵长,为典型的亚热带大陆性季风气候。土壤以红壤为主,成土母岩有花岗岩、板页岩和第四纪红土等。地带性植被为亚热带常绿阔叶林,原生植被所剩无几,现有植被以人工次生林为主。试验林分为 1999 年用 1 年生苗木营造的马尾松(*Pinus massoniana*)纯林。林下植被有白栎(*Quercus fabri*)、大叶胡枝子(*Lespedeza davidii*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、粗叶悬钩子(*Rubus alceaefolius*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)等。试验林分特征见表 1。

2 研究方法

2.1 植被群落调查及生物量测定

在研究区内,设置 20m×33.3m 的马尾松人工林标准地 2 块,进行每木检尺,林分特征见表 1。同时在距

离马尾松林地 500 m 处无林地设置对照样地 2 块,面积均为 667m²,在对照样地上仅生长有少量的 1 年生和多年生草本植物,盖度为 20%。对标准地进行测树因子调查统计。鉴于标准地为城市森林,为保护资源,只在标准地内按优势木、平均木和被压木 3 级选取标准木 3 株。采用全挖实测法测定标准木的生物量,按林木的组织器官分别称取鲜质量,同时采集分析样品 1.0 kg。在标准地对角线中心位置设置 2m × 2 m 的样方,每条对角线设 2 个,共设 4 个,记录每个样方内幼树、灌木和草本植物种类,采用全挖实测法分别测定每个样方内各种植物的生物量,并分别采集分析样品 1.0 kg。将各样地内的死地被物按未分解、半分解和已分解全部选出称质量,分别采集分析样品 1.0 kg。

表 1 马尾松人工林的林分特征

Table 1 The features of *Pinus massoniana* plantations

林分 Stands	林龄 Forest age/a	密度 Density	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average Height/m	林分生物量 Stand biomass/(t/hm ²)						林分生产力 Stand Productivity /(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)
					干材 Trunk	树皮 Bark	树叶 Leaf	树枝 Branch	树根 Root	合计 Total	
马尾松 <i>Pinus massoniana</i> forest	13	2000	7.4	6.9	40.52	1.58	3.94	5.02	12.36	63.42	4.88
对照地 Control land		盖度 20%									1 年生和多年生 草本植物

植物样品置于 105℃ 烘箱杀青 5 min 后,再于 80℃ 恒温烘至恒质量,换算各种植物、死地被物的生物量。林木单株生物量由 3 株标准木的平均值求得,乔木层生物量由林木单株生物量乘以林分株数求得,乔木层年净生产力采用年平均增长量求得。

2.2 土壤样品采集与处理

在标准地和对照地内各设置 4 个采样点,在每个采样点按 0—15、15—30、30—45、45—60cm 4 个层次,分别取土样 500 g,共采土样 64 个。去除石砾与杂物,风干后过 20 目和 100 目筛,备用。并在各样地内用环刀法测定土壤密度。

2.3 化学分析方法及数据处理

植物样品中有机碳含量用重铬酸钾-硫酸容量法测定,土壤样品中有机碳含量用重铬酸钾-硫酸氧化法(水合加热法)测定。

应用 SPSS13.0 软件处理。数据统计采用单因素方差分析,对土壤各层次有机碳含量进行比较,各样品的化学分析结果为 4 次重复的平均值。误差为标准误(SE)。

乔木层、灌木层、草本层、枯枝落叶层及土壤层的平均含碳量均为加权平均值。其碳储量用它们的生物量与其相应碳含量的乘积求得。

3 结果与分析

3.1 马尾松林木各器官碳含量

从表 2 可以看出,马尾松不同器官中的碳含量不同,表现为叶>干>根>皮>枝,且干与枝、枝与叶、叶与皮之间差异显著($P<0.05$),而干、叶和根两两之间差异不显著($P>0.05$),但它们显著高于枝和皮($P<0.05$)。

3.2 地被物层碳含量

由表 3 可知,马尾松林下灌木植物共有 7 种且因种类不同而碳含量不同。以山胡椒含碳量最高(608.86 g/kg),山矾最低(489.54 g/kg),两者相差 1.2 倍。

由表 4 可以看出,马尾松林下草本植物共有 6 种,亦因植物种类不同,其碳含量均有所不同,如野艾蒿的碳含量为 494.06 g/kg,比金毛耳草碳含量高 171.00 g/kg,而比白茅碳含量 484.19 g/kg 只高 9.87 g/kg。

综合表 2、表 3 和表 4 可知,在同一林分的相同环境条件下,乔木层、灌木层和草本层的各种植物,因植物种类不同或同一植物不同器官,其碳含量均不相同,这主要取决于植物的生物学特性,而环境条件的影响却是

次要的。

表 2 马尾松林木各器官的碳含量/(g/kg)

Table 2 Carbon content in different organs of <i>Pinus massoniana</i> plantations			
器官 Organs	平均值 Mean Value	标准差 Standard Error	变异系数 Variation coefficients/%
干材 Trunk	524.15ac	7.10	2.35
树枝 Branch	429.43b	25.05	14.29
树叶 Leaf	541.41a	27.08	11.18
树皮 Bark	430.05bc	39.63	15.96
树根 Root	502.58ab	25.19	8.68
加权平均值 Weighted means	511.17		

同一列相同小写字母表示林木各器官间碳含量差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示林木各器官间碳含量差异显著($P<0.05$)

表 3 马尾松林下灌木植物碳含量

Table 3 Carbon content in shrub layer of <i>Pinus massoniana</i> plantations		
植物名 Name of plant	生活型 Life type	碳含量 Carbon content/(g/kg)
白栎 <i>Quercus fabri</i> Hance	落叶乔木	498.35(22.51)
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	常绿乔木	489.54(17.74)
大叶胡枝子 <i>Lespedeza davidii</i> franch	落叶灌木	502.31(5.27)
小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> Tratt	落叶小灌木	515.31(17.43)
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis	常绿灌木	538.02(26.09)
山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (Sieb. Et Zucc.)Bl.	落叶灌木或小乔木	608.86(31.06)
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i> Poir	落叶灌木	508.23(31.84)
加权平均值 Weighted means		531.66

括号内数据为标准误差

表 4 马尾松林下草本植物碳含量

Table 4 Carbon content in herb layer of <i>Pinus massoniana</i> plantations		
植物名 Name of plant	生活型 Life type	碳含量 Carbon content/(g/kg)
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC	多年生	494.06(13.84)
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	1 年或两年生	416.12(8.01)
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	多年生	484.19(27.95)
金毛耳草 <i>Hedyotis Chrysotricha</i> (Palib.) Merr	1 年生	323.06(13.73)
铁芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	多年生	444.94(29.98)
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	多年生	365.96(13.00)
加权平均值 Weighted means		465.53

括号内数据为标准误差

3.3 林地枯枝落叶碳含量

森林枯枝落叶层是由覆盖林地表面的未分解、半分解及已分解的死有机物组成的,是森林生态系统中重要组成部分之一,它是森林生态系统中腐屑干物质链的起点,有机碳和养分的储库,并为生态系统的过程提供能量和物质,对维护林地土壤肥力和提高森林生产力具有重要作用。由表 5 可知,林地上枯枝落叶层的碳含量,平均为 393.92 g/kg,其中未分解层为 401.80 g/kg,半分解层为 436.59 g/kg,已分解层为 352.72 g/kg,按高低依次排序为半分解层>未分解层>已分解层。

将表 2、表 3、表 4 和表 5 进行比较,可以看出,马尾松林木层、灌木层和草本层植物碳的平均含量均高于枯枝落叶层,表明林分中活植物体平均碳含量均高于植物枯死体的平均碳含量。

表 5 林地枯枝落叶层碳含量
Table 5 Carbon content in litterfall layer

层次 Layer	平均值/(g/kg) Mean value	标准误 Standard error	变异系数/% Variation coefficients
未分解 Litter	401.80	60.54	30.13
半分解 Fermentation	436.59	9.14	4.19
已分解 Humus	352.72	19.75	11.20
加权平均值 Weighted means	393.92		

3.4 土壤有机碳含量

从表 6 可知,马尾松林地土壤有机碳含量在垂直空间上分布不均匀,表现出随着土壤深度的增加而逐渐下降,具有明显的表聚性特征^[14],0—15cm 土层有机碳含量显著高于 15—60 cm ($P<0.05$) 土层,与对照地相比,林地土壤有机碳含量与对照地存在一致的规律性,均表现出土表层 0—15cm 的碳含量最高,并随土层的加深而显著的减少($P<0.05$),而且有 60% 以上的有机碳分布在 0—30 cm 土表层中^[15]。这是由于植物根系主要集中在土壤表层。

表 6 土壤有机碳含量
Table 6 Soil Carbon content

土层 Soil layer /cm	林地 Stands/(g/kg)	对照地 Control land/(g/kg)
0—15	24.73(1.59) a	19.67(0.36) a
15—30	18.25(0.91) b	13.01(1.75) b
30—45	11.65(0.47) c	8.02(1.00) c
45—60	9.40(0.64) c	5.68(0.30) c
加权平均值 Weighted means	15.59	

括号内数据为标准误差;同一列相同小写字母表示不同土层间有机碳含量差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示不同土层间有机碳含量差异显著($P<0.05$)

3.5 植被层碳储量

由表 7 可以看出,马尾松林生态系统中,乔木层碳储量为 32.42 t/hm²,其中树干(干材+树皮)碳储量最高,为 21.92 t/hm²,占乔木层碳储量的 67.62%,其次为树根 6.21 t/hm²,占 19.15%,以树枝和树叶最低,分别为 2.16 和 2.13 t/hm²,仅占 6.66% 和 6.57%。

灌木层碳储量为 807.71 kg/hm²,且存在着因植物种类和各种植物生物量大小不同而不同的规律,如山胡椒生物量 355.96 kg/hm² 最高,其碳储量 216.73 kg/hm² 也最高,梔子生物量 92.12 kg/hm² 最低,其碳储量为 49.56 kg/hm²,亦最低,两者间生物量相差 3.86 倍,碳储量则相差 4.37 倍。

草本层碳储量为 1269.92 kg/hm²,各种草本植物的碳储量仍存在着与灌木植物相一致的规律,即随草本植物种类及其生物量大小不同碳储量也不相同,如野艾蒿生物量高达 1372.21 kg/hm²,其碳储量亦高达 677.95 kg/hm²,占据了草本层碳储量的 53.39%,而金毛耳草生物量最低,为 12.40 kg/hm²,其碳储量仅为 4.01 kg/hm²,只占草本层碳储量的 0.32%,两者的碳储量,竟相差 169 倍。可见,植物体碳储量的多少,除因植物种类不同外,还与植物体生物量的高低而紧密相连。

3.6 枯枝落叶层和土壤层的碳储量

由表 8 可以看出,枯枝落叶层碳总储量为 3810.12 kg/hm²,其中以半分解层碳储量 1312.83 kg/hm² 最高,其次为已分解层碳储量 1299.43 kg/hm² 居中,再次为未分解层 1197.86 kg/hm² 最低。虽然半分解层生物量低于已分解层 677.03 kg/hm²,但因其碳含量高于已分解层,所以碳的储量较已分解层高。枯落物虽然自身储存的碳较少,但它却是土壤有机碳的主要来源,也是土壤-植物系统碳循环的联结库,而且覆盖于地面,有效地减少或防止了土壤碳的流失^[16]。目前有研究指出,森林凋落物现存量的变化对土壤碳储量影响很大。

表 7 植物层碳储量								
Table 7 Carbon storage in vegetation layer								
乔木层 Arbor layer			灌木层 Shrub layer			草本层 Herb layer		
器官 Organs	生物量 Biomass /(t/hm ²)	碳储量* Carbon storage /(t/hm ²)	植物名 Name of plant	生物量 Biomass /(kg/hm ²)	碳储量 Carbon storage /(kg/hm ²)	植物名 Name of plant	生物量 Biomass /(kg/hm ²)	碳储量 Carbon storage /(kg/hm ²)
树干材 Trunk	40.52	21.24 (65.52)	白栎 <i>Quercus fabri</i> Hance	110.78	55.21	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> DC	1372.21	677.95
树枝 Branch	5.02	2.16 (6.66)	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	152.95	74.88	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	479.50	199.53
树叶 Leaf	3.94	2.13 (6.57)	大叶胡枝子 <i>Lespedeza davidii</i> franch	215.93	108.46	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	234.37	113.48
树皮 Bark	1.58	0.68 (2.10)	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> Tratt	319.60	164.69	金毛耳草 <i>Hedyotis Chrysotricha</i> (Palib.) Merr	12.40	4.01
树根 Root	12.36	6.21 (19.15)	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis	92.12	49.56	铁芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	565.24	251.50
			山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (Sieb. Et Zucc.) Bl.	355.96	216.73	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	64.09	23.45
			粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i> Poir	271.89	138.18			
合计 Total	63.42	32.42		1519.23	807.71		2727.81	1269.92
括号内数据为乔木层各器官碳储量占乔木层碳储量的百分数(%)								

表 8 枯枝落叶层和土壤层碳储量						
Table 8 Carbon storage in forest floor and soil layer						
枯枝落叶层 Forest floor			土壤层 Soil layer			
层次 Layer	生物量 Biomass /(kg/hm ²)	碳储量 Carbon storage /(kg/hm ²)	层次 Layer/cm	密度 Density /(g/m ³)	碳储量 Carbon storage /(t/hm ²)	对照地 Control land /(t/hm ²)
未分解 Litter	2981.23	1197.86	0—15	1.10	40.80	31.28
半分解 Fermentation	3007.01	1312.83	15—30	1.39	38.05	21.66
已分解 Humus	3684.04	1299.43	30—45	1.35	23.59	13.11
			45—60	1.36	19.18	10.48
合计 Total	9672.28	3810.12			121.62	76.53

表 8 还表明,林地土壤碳储量为 121.62 t/hm²,与对照地 76.53 t/hm² 相比,马尾松林地土壤碳储量提高了 37.07%。再从表 8 可以看出,马尾松林地和对照地土壤碳储量随土壤深度的增加而下降,由 0—15cm 土层至 15—30cm 土层,马尾松林地下降了 6.74%,对照地下降了 30.75%,而由 0—15cm 至 45—60 cm 土层,马尾松林地下降了 42.18%,对照地则下降 58.09%,表明马尾松林地碳储量随土层深度的增加而下降的幅度小于对照地。

3.7 马尾松林生态系统碳储量空间分布

由表 9 可知,马尾松生态系统中的碳储量为 159.93 t/hm²,并表现为土壤层>植被层(乔木、灌木及草本层)>枯枝落叶层。其中植被层的乔木层、灌木层、草本层碳储量分别为 32.42、0.81、1.27 t/hm²,分别占整个生态系统碳储量的 20.27%、0.51% 和 0.79%;枯枝落叶层碳储量为 3.81 t/hm²,占整个生态系统碳储量的

2.38% ;土壤层碳储量较高,为 121.62 t/hm^2 ,占整个生态系统碳储量的 76.05%。再由表 9 可以看出,马尾松林生态系统中,植被层的碳储量为 34.50 t/hm^2 ,占整个生态系统碳储量的 21.57%,其中乔木层碳储量 32.42 t/hm^2 ,可占植被层碳储量的 93.97%,表明在马尾松林生态系统中,植被层的碳储量主要取决于乔木层的碳储量。

表 9 马尾松林生态系统碳储量空间分布

Table 9 Spatial Distribution of Carbon Storage in *Pinus massoniana* ecosystem

组分 Component	生物量/(t/hm^2) Biomass	碳储量/(t/hm^2) Carbon storage	碳储量百分比/% Percentage of carbon storage
乔木层 Arbor layer	63.42	32.42	20.27
灌木层 Shrub layer	1.52	0.81	0.51
草本层 Herb layer	2.73	1.27	0.79
枯枝落叶层 forest floor	9.67	3.81	2.38
土壤层(0—60cm) Soil		121.62	76.05
总计 Total		159.93	100.00

3.8 马尾松林生态系统乔木层年净碳固定量

由表 10 可知,马尾松林乔木层年净生产力为 $4.88 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年净碳固定量为 $2.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中地上部分年净碳固定量为 $2.02 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,相当于地下部分根系的 4.21 倍。地上部分年净碳固定量则以树干材的年净碳固定量最高,为 $1.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占地上部分年净碳固定量的 81.2%。从表 10 还可表明,13 年生马尾松林生态系统乔木层同化 CO_2 能力为 $9.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表 10 乔木层年净碳固定量

Table 10 Net annual carbon storage in arbor layer

组分 Component	净生产力/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Net productivity	净碳固定量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Net carbon amount	折合 CO_2 量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) Amount of CO_2
树干材 Trunk	3.12	1.64	6.01
树皮 Bark	0.12	0.05	6.18
树叶 Leaf	0.30	0.16	0.59
树枝 Branch	0.39	0.17	0.62
树根 Root	0.95	0.48	1.76
合计 Total	4.88	2.50	9.16

4 结论与讨论

本研究表明,马尾松林下灌木植物碳含量为 $489.54\text{—}608.86 \text{ g/kg}$,草本植物为 $323.06\text{—}494.06 \text{ g/kg}$,各类植物碳含量高低不等。马尾松林木各器官碳含量不同,变化范围为 $430.05\text{—}541.41 \text{ g/kg}$,按高低排序为:叶>干>根>皮>枝。这与广西中部丘陵区^[11]和四川^[17]的马尾松林木各器官含碳量变化范围基本接近,但各器官含碳量按高低排序(广西:干>根>枝>皮>叶;四川:根>枝>干>叶>皮)有所不同,这可能与马尾松生长的地域不同有关。

马尾松林地土壤有机碳含量随着土壤深度的增加而逐渐下降,0—15 cm 土表层碳含量显著高于 15—60 cm 土层($P<0.05$),表现为表聚性,主要由于上层土层较下层的生物归还量大,有机碳多积累在土层上部,这与田大伦等^[14]、张国庆等^[12]的研究结果一致。且表层土(0—15cm)的有机碳含量是亚表层土(15—30 cm)的 1.36 倍,是底层土(45—60 cm)的 2.63 倍,与黄从德等^[18]研究的四川森林土壤有机碳含量垂直分布特征是相近的。

长沙城市 13a 马尾松林地土壤层(0—60 cm)碳储量为 121.62 t/hm^2 ,高于长沙城市 24 年生樟树、马尾松人工混交林土壤碳储量(84.78 t/hm^2)^[15]和四川省泸县不同密度马尾松人工林土壤碳储量($87.04\text{—}107.90$

t/hm^2)^[12];但明显低于我国森林土壤平均碳储量($193.55 \text{ t}/\text{hm}^2$)^[2]。土壤碳储量占马尾松林生态系统总碳储量 76.05%,与张国庆等^[12]、尉海东等^[13]的研究结果相对一致。表明森林土壤是碳极重要的储存库。

Batjes^[19]对全球土壤碳储量的研究表明,在 0—100 cm 的土壤碳储量中,0—30 cm 所占的比例在 37%—59% 之间,黄从德等^[18]的四川森林土壤有机碳储量中,0—30 cm 所占比例在 36.38%—56.48% 之间。本研究表明,长沙城市马尾松人工林土壤有机碳储量 0—30 cm 所占的比例为 52.94%。由此可见,森林土壤有机碳储量均以土壤表层为主。但这又意味着森林土壤有机碳储量的稳定性较差,人为活动容易引起表层土的水土流失从而导致土壤有机碳储量减少,因此减少人为对森林生态系统,尤其是对城市森林生态系统的干扰活动,对于维持和增加土壤碳储量有着重要的意义^[18]。

长沙城市 13 年生马尾松林植被的碳储量为 $34.50 \text{ t}/\text{hm}^2$,均低于我国森林植被平均碳储量($57.07 \text{ t}/\text{hm}^2$)和针叶林碳储量($67.76 \text{ t}/\text{hm}^2$)^[2]。生态系统碳库的空间分布序列为土壤层>植被层>枯落物层。生态系统的碳储量为 $159.93 \text{ t}/\text{hm}^2$,高于四川 21 年生马尾松林生态系统碳储量($140.01 \text{ t}/\text{hm}^2$)^[12],低于 14 年生马尾松林生态系统碳储量($235.00 \text{ t}/\text{hm}^2$)^[11],表明马尾松林分的年龄和密度影响着碳储量的高低,而且还低于林分密度近似的同龄混交林(马尾松、杉木混交林)碳储量($178.83 \text{ t}/\text{hm}^2$)^[20],虽然马尾松与杉木均为针叶树种,但它们混交后,有利于提高马尾松纯林生态系统的碳储量。

13 年马尾松人工林乔木层净生产力为 $4.88 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,有机碳年净固定量为 $2.50 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,折合成 CO_2 的量为 $9.16 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,远低于 14 年生马尾松林生态系统有机碳年净固定量($9.072 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),折合成 CO_2 量为 $33.24 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[11]和 13 年生马尾松、杉木混交林碳净固定量($5.96 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),折合 CO_2 量 $21.88 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[20]。由于本研究仅为乔木层净生产力,没有将年凋落物量计入净生产力,故有机碳年净固定量偏低。可见,保护好现有森林,每年可以吸收大气中一定量的 CO_2 。

在当前城市土地资源紧缺、城市森林面积窄小的情况下,作为评价城市森林功能的碳储量就显得更加重要。因此,准确地定量研究城市森林生态系统在城市碳收支平衡中的作用已引起国内外学者越来越多的关注。为了能精确估算城市森林的碳储量,本文旨在对长沙市区分布面积较多的马尾松人工林生态系统的碳储量进行了定量研究,为精确估算湖南省城市区域及全省尺度上的森林碳储量及碳汇功能提供基础数据。

References:

- [1] Oreskes N. The scientific consensus on climate change. *Science*, 2004, 306: 1686.
- [2] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon Storage and Budget of major Chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 518-522.
- [3] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 733-740.
- [4] Watson R T, Noble I R, Bolin R. Land use, land-use change, and forestry. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 30.
- [5] Ashley C, Xiang W N, Young J. Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68: 271-287.
- [6] Chen H, Gu L, Li Y Q, Mu C L. Analysis on relations between the pattern of urban forests and heat island effect in Chengdu. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4865-4874.
- [7] Brack C L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 195-200.
- [8] Nowak D J, Crane D E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 381-389.
- [9] Xu F, Liu W H, Ren W L, Zhong Q C, Zhang G L, Wang K Y. Effects of community structure on carbon fixation of urban forests in Shanghai, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(3): 439-447.
- [10] Xiao Y, Liu S H, Wang G J. Carbon Storage of 4 forest ecosystem in Hunan Province. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2010, 3(33): 124-128.
- [11] Fang X, Tian D L, Xu C H. Productivity and Carbon Dynamics of Masson Pine Plantation. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, 23(2): 11-15.
- [12] Zhang G Q, Huang C D, Guo H, Deng B, Yang H F. Spatial Distribution Property of Carbon Stocks in Artificial Pine Ecosystems with Different

- Density. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2007, 27(6):10-14.
- [13] Wei H D, Ma X Q. Study on the carbon storage and distribution of *Pinus massoniana* Lamb plantation ecosystem at different growing stages. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2007, 35(1):171-174.
- [14] Tian D L, Wang X K, Fang X, Yan W D, Ning X B, Wang G J. Carbon Storage and Spatial Distribution in Different Vegetation Restoration Patterns in Karsts Area, Guizhou Province. SCIENTIA SILVAE SINICAE, 2011, 47(9):7-14.
- [15] Gao S C, Tian D L, Yan W D, Fang X, Xiang W H, Liang X C. Characteristics of soil physicochemical property and its carbon storage in urban forest plantation of Changsha city. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(9):16-22.
- [16] Huang Y, Feng Z W, Wang S L, Feng Z Z, Zhang H X, Xu Y R. C and N stocks under three plantation forest ecosystems of Chinese-fir, *Michelia macleurei* and their mixture. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12):3146-3154.
- [17] Tang X, Huang C D, Zhang J, Ning Y C. An Analysis of the Carbon Content Rate in Main Coniferous Species in Sichuan. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2007, 28(2):20-23.
- [18] Huang C D, Zhang J, Yang W Q, Zhang G Q, Wang Y J. Spatial distribution characteristics of forest soil organic carbon stock in Sichuan Province. Acta Ecologica Sinica, 2009, 20(3):1217-1225.
- [19] Baties N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world Europ J Soil Sci, 1966, 47: 151-163.
- [20] Kang B, Liu S R, Zhang G J, Chang J G, Wen Y G, Ma J M, Hao W F. Carbon accumulation and distribution in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest ecosystem in Daqingshan, Guangxi of China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5):1320-1329.

参考文献:

- [2] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. 植物生态学报, 2000, 24(5):518-522.
- [3] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, 2000, 20(5):733-740.
- [6] 陈辉, 古琳, 黎燕琼, 慕长龙. 成都市城市森林格局与热岛效应的关系. 生态学报, 2009, 29(9):4865-4874.
- [9] 徐飞, 刘为华, 任文玲, 仲启铨, 张桂莲, 王开运. 上海城市森林群落结构对固碳能力的影响. 生态学杂志, 2010, 29(3):439-447.
- [10] 肖英, 刘思华, 王光军. 湖南4种森林生态系统碳汇功能研究. 湖南师范大学学报自然科学版, 2010, 3(33):124-128.
- [11] 方晰, 田大伦, 胥灿辉. 马尾松人工林生产与碳素动态. 中南林学院学报, 2003, 23(2):11-15.
- [12] 张国庆, 黄从德, 郭恒, 邓彪, 杨和芳. 不同密度马尾松人工林生态系统碳储量空间分布格局. 浙江林业科技, 2007, 27(6):10-14.
- [13] 尉海东, 马祥庆. 不同发育阶段马尾松人工林生态系统碳储量研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(1):171-174.
- [14] 田大伦, 王新凯, 方晰, 闫文德, 宁晓波, 王光军. 喀斯特地区不同植被恢复模式幼林生态系统碳储量及其空间分布. 林业科学, 2011, 47(9):7-14.
- [15] 高述超, 田大伦, 闫文德, 方晰, 项文化, 梁小翠. 长沙城市森林土壤理化性质及碳贮量特征. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(9):16-22.
- [16] 黄宇, 冯宗炜, 汪思龙, 冯兆忠, 张红星, 徐永荣. 杉木、火力楠纯林及其混交林生态系统 C、N 贮量. 生态学报, 2005, 25(12):3146-3154.
- [17] 唐宵, 黄从德, 张健, 宁远超. 四川主要针叶树种含碳率测定分析. 四川林业科技, 2007, 28(2):20-23.
- [18] 黄从德, 张健, 杨万勤, 张国庆, 王永军. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征. 生态学报, 2009, 20(3):1217-1225.
- [20] 康冰, 刘世荣, 张广军, 常建国, 温远光, 马姜明, 郝文芳. 广西大青山亚热带马尾松、杉木混交林生态系统碳素积累和分配特征. 生态学报, 2006, 26(5):1320-1329.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《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 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 13 (July, 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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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