

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 19 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蒋 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201305291220

石洪华, 王晓丽, 王媛, 刘振英, 麻德明. 北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子. 生态学报, 2013, 33(19): 6363-6372.

Shi H H, Wang X L, Wang A, Liu Z Y, Ma D M. Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6363-6372.

北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子

石洪华^{1,*}, 王晓丽², 王媛², 刘振英², 麻德明¹

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津 300384)

摘要: 人工林是庙岛群岛典型的陆地生态系统的组成部分, 对维护海岛地区生态环境具有重要作用。采用现有生物量相对生长方程和样地调查数据相结合的方法, 以庙岛群岛中北长山岛为研究区, 对海岛黑松纯林与黑松×刺槐混交林两种林型的碳储量进行了估算, 并分析了土壤质地及其理化性质对海岛乔木层碳储量的影响。结果表明: 黑松乔木层平均碳储量为 84.00 t/hm², 接近于世界平均水平 (86.00 t/hm²); 黑松×刺槐混交林乔木层平均碳储量为 29.60 t/hm², 高于山东省乔木层的平均碳储量 (27.62 t/hm²)。应用因子分析法研究影响乔木层碳储量的主要因子, 结果表明: 土壤质地、pH 值、含水量及含盐量是影响海岛乔木碳储量重要的影响因子。北长山岛土壤全氮、总磷、土壤有机质、碳氮比等其他理化性质对乔木层碳储量影响不是非常明显。

关键词: 碳储量; 黑松; 刺槐; 土壤理化性质

Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago

SHI Honghua^{1,*}, WANG Xiaoli², WANG Ai², LIU Zhenying², MA Deming¹

1 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration Qingdao 266061, China

2 College of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China

Abstract: The artificial plantations is a typical terrestrial ecosystem on the island of Miaodao Archipelago, which plays a key role in regional ecological environment. The *Pinus thunbergii* and *Pinus thunbergii*×*Robinia pseudoacacia* are the typical trees on the Beichangshan island of Miaodao Archipelago in Shandong Province. But they are often disregarded due to their ecosystem services, particularly the carbon sequestration, which are not well understood or quantified. This paper is to estimate the trees carbon storage on the island with the biomass allometric equation and the data investigation in stand sample plot, and discuss the impact of different parameters in the island on trees carbon storage. The results showed that the average carbon storage was 84.00 t/hm² for the *Pinus thunbergii*, which was close to the average level in the world (86.00 t/hm²), and the average carbon storage was 29.60 t/hm² for the *Pinus thunbergii*×*Robinia pseudoacacia*, which was higher than that of the average carbon stock in Shandong Province (27.62 t/hm²). The average carbon storage of the *Pinus thunbergii* was higher than that of the *Pinus thunbergii*×*Robinia pseudoacacia*, which the difference was significant ($P<0.05$). The allocation of carbon storage in their different organs for the *Pinus thunbergii* and mixed forest in tree layer was trunk> root> branch> leaf. The *Pinus thunbergii* forests is more suitable for carbon storage than that of *Pinus thunbergii*×*Robinia pseudoacacia* forests on the Beichangshan island. In order to investigate the impact of different parameters in the island on trees carbon storage, a correlation matrix including environmental factors and soil texture was calculated. The carbon storage in the island forests showed significant ($P<0.05$) correlations with soil class, slope, aspect, elevation. However, all these parameters were interrelated, and cannot be regarded as independent determining factors. Therefore,

基金项目: 国家科技基础性工作专项项目 (2012FY112500); 海洋行业性科研工作专项经费项目 (201305009, 201050008, 201005009); 国家自然科学基金项目 (41206111, 41206112); 国家海洋局第一海洋研究所中央级科研院所基本科研业务经费项目 (2011T06, 2013G30, 2013G27)

收稿日期: 2013-05-29; **修订日期:** 2013-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shihonghua@fio.org.cn

the principal component analysis (PCA) was carried out in order to extract the main factors controlling carbon storage in the island forests. The PCA extracted two factors that explained 50% of the total variance. Factor 1 was characterized by high loadings of the parameters clay soil (-0.898), silt soil (0.893), sand soil (0.922). Factor 2 was driven by slope (0.770), aspect (-0.722), elevation (0.946). A multiple linear regression model revealed factor 1 as most important factor (Beta value of 0.290) for carbon storage in the island forests followed by factor 2 (Beta value of 0.019). To gain insight into the driving factors for carbon storage in the island forests over soil physical-chemical properties, the correlations of moisture, pH, salinity, total nitrogen, total phosphorus, total organic carbon, total carbon, C/N ratios in the island soil was calculated. Factor 1 was characterized by high loadings of the parameters total nitrogen (0.842), total organic carbon (0.899), total carbon (0.990). Factor 2 was driven by total phosphorus (0.931), C/N ratios (-0.925). Factor 3 was characterized by moisture (0.694), pH (0.744), salinity (-0.666). A multiple linear regression model showed factor 3 as most important factor (Beta value of -0.694) for the carbon storage in the island forests followed by factor 1 (Beta value of -0.192) and factor 2 (Beta value of -0.106). We conclude that soil texture, pH, moisture and salinity in the island soil were primary controlling factors on the average carbon stock of the forests on the Beichangshan island.

Key Words: carbon storage; *Pinus thunbergii*; *Robinia pseudoacacia*; soil physical-chemical properties

森林是陆地生态系统的重要组成部分。森林生态系统作为重要的碳储存库,约占整个陆地生态系统碳库的 50%,在储存 CO_2 、缓解全球气候变化过程发挥着重要的作用^[1-3]。乔木层、灌草层、枯落物层和土壤层碳储量共同组成森林生态系统碳储量,其中森林乔木层固碳能力不容忽视。由于受到立地条件、根系与土壤的生理生化作用等因素的影响,森林土壤与乔木层碳储量具有密切的相关性^[4-5]。估算森林乔木层碳储量,探寻出森林乔木碳储量与土壤环境的相关性,已成为森林生态系统碳循环研究的热点问题。

以往对陆地生态系统的固碳评估研究多集中在农田、陆域森林等领域^[4,6-8],而对海岛陆地生态系统固碳研究较少。海岛兼具海、陆双重特性^[9],立地条件差,树种相对单一,土壤贫瘠,时常面临大风、海啸和风暴潮等威胁,通常采用大面积人工造林改善海岛生态环境^[10-11]。黑松(*P. thunbergii*)适应性强,具有喜海洋气候、抗海风、耐瘠薄等特性,是山东省长岛县的主要造林树种。海岛人工林的生态环境脆弱,由于海岛四面环海,植被对大风、海啸等影响没有任何阻挡和缓冲,在同等级别的自然灾害下与陆域相比,其受影响的程度往往更大。单一树种对改善立地条件,以及发挥森林多种防护效益都有限,抵抗病虫害和各种自然灾害的能力较弱。因此,为了丰富海岛森林生态系统类型的多样性,长岛县北长山岛人工林建设主要采用黑松纯林与黑松×刺槐(*P. thunbergii*×*R. pseudoacacia*)混交林两种模式,确保海岛人工林生态和防护效能的正常发挥。

本研究以北长山岛黑松、黑松×刺槐混交林为研究对象,利用生物量相对生长方程与样地调查数据相结合的方法,分别研究了黑松纯林与黑松×刺槐混交林乔木层碳储量,利用多元统计方法分析影响海岛森林乔木层碳储量的因子,旨在为庙岛群岛陆地植被固碳能力的评估提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

北长山岛($37^{\circ}57'36''$ — $37^{\circ}59'40''$ N, $120^{\circ}40'50''$ — $120^{\circ}43'54''$ E)位于山东省长岛县,面积 8.25 km^2 ,海岸线长 15.68 km ,地貌以低丘陵为主,是庙岛群岛第二大岛。该地区属于东亚季风型气候区,年均气温为 12.0°C ,1 月平均气温最低为 -1.6°C ,8 月平均气温最高为 24.5°C 。年均降水量 537.1 mm ,降水多集中在 6—9 月。日照充足,年均日照时数 2612 h 。土壤主要有棕壤、褐土、潮土三大类,以棕壤土分布面积最大,土层厚度约为 30 cm ,多砂砾,土质较差。植被类型主要是松树及槐树林,以松树为主,该岛松林面积为庙岛群岛之首。从植被分布来看,下部主要是松树和以松、槐为主的阔叶针叶混交林。黄土坡及沟谷内,以槐树为主的阔叶针叶混交林。林下分布各种灌木、耐碱草本植物,尚有果林和农作物分布。该岛现有林木绝大部分为 1949 年以后人工植种,目前森林覆盖率约为 42.0% ,黑松和黑松×刺槐混交林为该岛主要森林类型。

1.2 样地设置

2012 年 7 月,根据北长山岛植被分布特征,依据代表性和可达性原则,共设置 13 个调查样方,样地面积一般为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$,由于立地条件所限制个别样地面积设置为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ (图 1)。各样地的生境特征见表 1。分别调查统计森林立地条件及各样地内乔木的胸径、高度、基径、枝下高、冠幅、株数等指标。

1.3 研究方法

1.3.1 人工林固碳能力评估

根据文献^[12-13]中给定的相对生长方程适用范围、模拟效果等因素,选择适合本研究区域内黑松和刺槐生物量相对生长方

程(表 2),计算出北长山岛黑松、黑松×刺槐混交林乔木层各器官的生物量和总生物量。

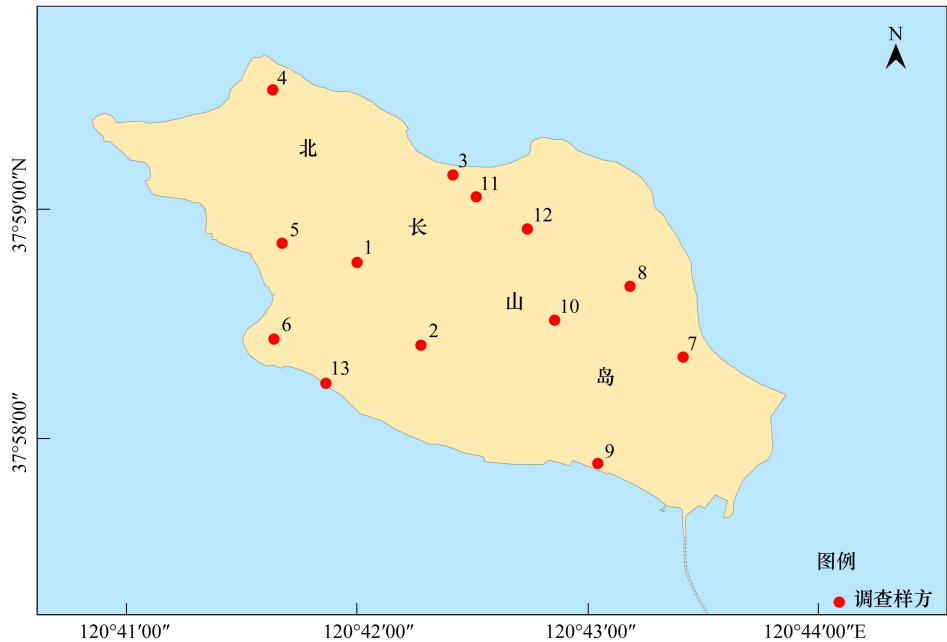


图 1 北长山岛森林乔木层调查样方分布
Fig.1 Locations of the sample plots in the Beichangshan Island

表 1 样地基本概况
Table 1 The basic characteristics of the sampling stations

样地号 Sample number	生境特征 Habitat characteristic	海拔 Elevation /m	坡向 Aspect	坡度 Slope/(°)
1	黑松林 <i>P. thunbergii</i> forest	131	WS	57
2	黑松林 <i>P. thunbergii</i> forest	165	EN	40
3	黑松×刺槐 mixed forest	9	W	25
4	黑松林 <i>P. thunbergii</i> forest	87	ES	28
5	黑松林 <i>P. thunbergii</i> forest	48	S	17
6	黑松林 <i>P. thunbergii</i> forest	24	WS	21
7	黑松×刺槐 Mixed forest	70	WS	37
8	黑松×刺槐 mixed forest	50	SE	46
9	城市绿地 Urban greenbelt	3	NE	0
10	农田 Farmland	13	NW	0
11	湿地 Wetland	19	WS	0
12	农田 Farmland	18	E	0
13	村落 Village	5	EN	0

植被生物量乘以含碳率可得到植被碳储量。在估算森林生态系统植被碳储量的研究中,国内外研究者通常采用 0.50 或 0.45 的生物量与碳的换算系数,该值在不同树种间变化范围为 0.4—0.5 之间^[14-17]。通过查阅文献,本文选择的生物量与碳的换算系数为 0.45^[12,14,18]。

1.3.2 土壤样品采集及分析

在每个样方内分别选取 3 个取样点,采用多点混合取土样方法进行。北长山岛森林土壤砂砾较多,土壤厚度约为 30 cm,森林土壤取表层土。在每个取样点采用标准环刀(100 cm³)进行取样,然后将环刀内土壤在 105 ℃ 高温下烘至恒重,称量并计算土壤含水率和土壤容重。将同一样地内 3 个点取到的土壤均匀混合,作为该样地的土壤样品。样品采集后,带回实验室,自然风干,除去其中草根、大石砾等杂质,过 2 mm 钢筛,磨细待测。

表 2 样树各器官生物量(*W*)与胸径(*D*)、树高(*H*)的相对生长方程

Table 2 Organ biomass allometric equations with variances of diameter at breast height (*D*) and height (*H*) of *P. thunbergii* and *R. pseudoacacia*

树种 Species	器官 Organ	方程 Equation	<i>R</i> ²	参考文献 References
黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	树干 Trunk	$W = 0.0702D^{1.5703}H^{1.1795}$	0.963	[12]
	树枝 Branch	$W = 1.0395 + 0.0140 D^2 H$	0.959	[12]
	树叶 Leaf	$W = 0.4234 + 0.01224 D^2 H$	0.957	[12]
	树根 Root	$W = 0.0152(D^2 H)^{1.0199}$	0.967	[12]
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	树干 Trunk	$\ln W = -2.895531 + 0.86764 \ln(D^2 H)$	0.989	[13]
	树枝 Branch	$\ln W = -3.71916 + 0.79079 \ln(D^2 H)$	0.932	[13]
	树叶 Leaf	$\ln W = -2.90872 + 0.45739 \ln(D^2 H)$	0.795	[13]
	树根 Root	$\ln W = -2.16746 + 0.63276 \ln(D^2 H)$	0.956	[13]

土壤理化性质按照中国土壤学会编写的土壤农业化学分析方法进行^[19]。土壤质地和土壤比表面积采用激光粒度分析仪(Mastersizer 2000, Malvern Instruments Co., UK)测定;土壤有机碳含量采用灼烧法测定^[20]。森林植物群落土壤级配指标,即不均匀系数 *C_u* 与曲率系数 *C_s* 计算采用如下公式^[21] :

$$C_u = d_{60} / d_{10} \tag{1}$$

$$C_s = (d_{30})^2 / (d_{60} \cdot d_{10}) \tag{2}$$

式中, *C_u* 为不均匀系数; *d₁₀*、*d₆₀* 为土壤颗粒累积百分含量为 10%、60% 所对应的粒径。 *C_s* 为曲率系数; *d₃₀* 为土壤颗粒累积百分含量为 30% 所对应的粒径。

为便于分析立地条件对海岛森林乔木层碳储量影响,本研究对坡向进行转换。在转换过程中,设定以正南方向为 0°,正西、正东分别为-90°、90°,坡向转换系数计算采用如下公式:

$$C = (1 + \cos \alpha) / 2 \tag{3}$$

式中, *C* 为坡向转换系数; α 为坡向偏角

1.4 数据处理和统计分析

采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 比较两种树种及各器官之间的差异;采用因子分析(Factor Analysis Method)提取乔木层碳储量主要影响因子。所有数据采用 SPSS18. 0 进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 乔木层碳储量

在北长山岛人工林中,黑松林各器官的碳储量(除树皮外)均高于黑松×刺槐混交林(表 3)。两种树种各器官碳储量之间的差异明显(*P* < 0.05),均以树干最高,树根次之,树枝和树叶最低,说明树干碳储量的积累是乔木层碳储量增加的重要影响因素。

黑松的乔木层碳储量显著高于黑松×刺槐混交林。两种林型乔木不同器官的碳储量均为:树干>树根>树枝>树叶(表 3)。北长山岛黑松纯林乔木层碳储量为 84.00 t/hm²,接近于世界平均水平(86.00 t/hm²)^[22],高于广西西南桦乔木碳储量 28.541 t/hm²^[23],高于长沙市区马尾松林乔木层碳储量 32.42 t/hm²^[24];黑松×刺槐混交林碳储量为 29.60 t/hm²,略高于广西西南桦×红椎混交林乔木层碳储量 29.144 t/hm²^[23]。

表 3 黑松、黑松×刺槐混交林乔木层碳储量(*x* ± *SD*)

Table 3 Carbon storage in *P. thunbergii* and *P. thunbergii* × *R. Pseudoacacia* (*x* ± *SD*)

组分 Component	黑松 <i>P. thunbergii</i>		黑松×刺槐 <i>P. thunbergii</i> × <i>R. pseudoacacia</i>	
	碳储量/(t/hm ²) Carbon storage	/ %	碳储量/(t/hm ²) Carbon storage	/ %
树干 Trunk	33.77 ± 22.86	40.21	13.42 ± 8.80	45.34
树枝 Branch	16.27 ± 12.02	19.37	5.42 ± 3.51	18.30
树叶 Leaf	13.97 ± 10.51	16.63	3.89 ± 2.64	13.14
根系 Root	19.99 ± 15.37	23.80	6.87 ± 4.53	23.23
总计 Total	84.00	100.00	29.60	100.00

2.2 土壤对森林乔木层碳储量的影响

2.2.1 森林土壤质地对乔木层碳储量的影响

北长山岛土壤颗粒(<2 mm)砂粒含量变化范围为 82.31%—90.90%,粉砂粒含量变化范围为 9.02%—17.38%,黏粒含量较低,变化范围为 0.05%—0.30%,土壤类型以砂土为主(表 4)。研究区域颗粒级配指标颗粒不均匀系数 C_u 与曲率系数 C_s 同时满足 $C_u>5$ 且 C_s 在 1—3 范围内,森林土壤级配良好;北长山岛黑松、黑松×刺槐混交林土壤颗粒分散度 S_e 较低,偏度 S_{rk} 大(表 5),颗粒分布不均衡,反映了 2 种森林表层土壤流失程度相对较高。由于北长山岛森林土壤含石率(>2 mm)较高(质量百分比约为 30%—50%),土壤颗粒相对石头而言含量较少,而地表侵蚀时较细颗粒首先流失,北长山岛森林土壤虽级配良好但土壤流失程度较高。

森林土壤与植被生长的作用是相互的。北长山岛黑松纯林土壤质地部分为砂质壤土,而黑松×刺槐混交林土壤均为砂土(表 4)。在土壤改良方面黑松纯林可能要优于黑松×刺槐混交林;且黑松林固碳能力高于黑松×刺槐混交林,是庙岛群岛不可替代的、具有良好生态功能的理想树种。

表 4 北长山岛表层土壤质地
Table 4 Soil texture in the Beichangshan island

样方 Sample number	质地 Soil texture	砂粒 Sand/%	粉砂粒 Silt/%	黏粒 Clay/%	样方 Sample number	质地 Soil texture	砂粒 Sand/%	粉砂粒 Silt/%	黏粒 Clay/%
1	砂土及壤质砂土	85.64	14.23	0.15	2	砂土及壤质砂土	89.67	10.28	0.07
3	砂土及壤质砂土	87.15	12.68	0.18	4	砂质壤土	82.98	16.91	0.13
5	砂土及壤质砂土	90.90	9.02	0.05	6	砂质壤土	84.90	14.89	0.21
7	砂土及壤质砂土	85.78	14.12	0.12	8	砂土及壤质砂土	90.07	9.87	0.07
9	砂土及壤质砂土	90.83	9.13	0.06	10	砂土及壤质砂土	90.05	9.85	0.09
11	砂质壤土	82.31	17.38	0.30	12	砂质壤土	82.57	17.20	0.22
13	砂土及壤质砂土	90.23	9.71	0.05					

表 5 土壤颗粒(<2 mm)级配状况及群体特征值

Table 5 The soil structure and population characteristics in the Beichangshan island

样方 Sample number	土壤不均匀系数 C_u	曲率系数 C_s	分散度 S_e	偏度 S_{rk}	峰态 S_k
1	6.46	1.45	2.01	0.91	0.60
2	5.36	1.45	1.83	0.91	0.60
3	5.36	1.21	2.01	1.10	0.38
4	7.09	1.59	2.11	0.83	0.60
5	4.45	1.45	1.67	0.91	0.60
6	5.36	1.45	1.75	0.83	0.73
7	9.38	1.21	3.36	1.75	0.34
8	7.09	1.10	2.54	1.21	0.42
9	3.36	1.32	1.52	0.91	0.60
10	3.36	1.32	1.45	1.00	0.73
11	4.88	1.59	1.67	0.91	0.96
12	5.36	1.75	1.67	0.76	0.87
13	5.89	1.10	2.66	1.92	0.50

为找出海岛森林乔木层碳储量影响因子,以不同的环境因子(坡度、海拔)及土壤颗粒含量为参数计算出相关系数矩阵(表 6)。乔木层碳储量与环境因子及土壤颗粒含量具有相关性。因子分析提取 3 个影响因子,因子 1 中土壤砂粒含量(−0.898)、粉砂粒含量(0.893)、黏粒含量(0.922),因子 2 中坡度(0.770)、坡向(−0.722)、海拔(0.946)具有较高的负载,因子 3 中坡向(0.350)、砂粒含量(−0.385)、粉砂粒含量(0.390)具有较高的负载(表 7)。由于因子 3 中各因素负载均小于 0.5,与因子 1、2 相比较低,因此只对因子 1、因子 2 进行多元线性回归分析。多元线性回归分析表明,对乔木层碳储量的影响中因子 1($\text{Beta}=0.290$)相较于因子 2($\text{Beta}=0.019$)更为重要。

表 6 森林乔木碳储量与土壤质地、环境因子相关系数矩阵

Table 6 Correlation coefficient matrix of arboreal carbon storage and different soil texture and environmental parameters

	碳储量 Carbon storage	坡度 Slope	坡向 Aspect	海拔 Elevation	砂粒 Sand	粉砂粒 Silt
坡度 Slope	-0.104					
坡向 Aspect	0.096	-0.269				
海拔 Elevation	0.166	0.625 *	-0.612			
砂粒 sand	-0.557	0.007	0.240	0.038		
粉砂粒 silt	0.559	0.000	-0.242	-0.027	-1.000 **	
黏粒 clay	0.218	-0.146	-0.242	-0.383	-0.736 *	0.726 *

* 显著性水平: $P < 0.05$; ** 显著性水平: $P < 0.01$

表 7 乔木层碳储量控制变量因子分析旋转因子负荷矩阵

Table 7 Rotated component matrix derived from a factor analysis of variables controlling arboreal carbon storage

	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3		因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
坡度 Slope	-0.088	0.770	-0.002	坡向 Aspect	-0.426	-0.722	0.350
海拔 Elevation	-0.163	0.946	0.190	砂粒 sand	-0.898	-0.049	-0.385
粉砂粒 silt	0.893	0.058	0.390	黏粒 clay	0.922	-0.204	-0.095

2.2.2 土壤理化性质对森林乔木层碳储量的影响

土壤养分状况是影响植物生长、繁殖和生态系统固碳能力等的重要因素^[5,25-26]。由图 2 可知,就北长山岛表层土而言,所测定的土壤理化指标均存在显著差异($P < 0.001$),这种差异是由不同树种生理特性以及林下环境特征所引起。森林群落冠层具有遮阴作用,北长山岛土壤含水量变化范围为 1.29%—3.51%。森林土壤的 8 个监测样地中,有 7 个样地土壤偏酸性,pH 值变化范围为 4.99—8.2。由于森林土壤表层覆盖有部分凋落物,北长山岛森林土壤有机碳含量变化范围为 10.56—17.81 g/kg,普遍高于北长山岛上的农田和村落土壤,主要是因为森林生态系统土壤表面覆盖有凋落物,导致森林土壤有机质含量高于其他类型土壤。北长山岛虽为海岛,但其土壤含盐量较低,变化范围为 0.04%—0.206%。造成这种差异的原因可能为海岛土壤含石率高,土质松散,加之调查期(7 月份)降雨充足,使得土壤盐分渗入深层土壤,从而其表层土盐分含量较低;另一方面,海岛人工造林可截留部分海盐,缓解海盐胁迫,对改良土壤具有一定的显著效果^[10]。

以森林土壤理化性质为参数计算出相关系数矩阵(表 8),找出森林乔木层碳储量影响因子。乔木层碳储量与土壤具有密切的相关性。因子分析提取两个影响因子,因子 1 中土壤全氮(0.842)、总有机碳(0.899)、全碳(0.990),因子 2 中全磷(0.931)、碳氮比(-0.925),因子 3 中含水量(0.694)、pH 值(0.744)、含盐量(-0.666)具有较高的负载(表 9)。多元线性回归分析表明,对乔木层碳储量的影响中因子 3($\text{Beta} = -0.694$)最为重要,其次为因子 1($\text{Beta} = -0.192$)、因子 2($\text{Beta} = -0.106$)。

表 8 森林乔木碳储量与土壤理化性质相关系数矩阵

Table 8 Correlation coefficient matrix of arboreal carbon storage and different soil physical-chemical properties

	碳储量 Carbon storage	含水量 Moisture	pH	含盐量 salinity	全氮 Total nitrogen (TN)	全磷 Total phosphorus (TP)	总有机碳 Total organic carbon (TOC)	总碳 Total carbon (TC)
含水量 Moisture	-0.302							
pH	-0.380	0.373						
含盐量 Salinity	0.332	-0.332	-0.290					
全氮 TN	-0.337	0.248	0.067	-0.197				
全磷 TP	-0.078	-0.149	0.0360	-0.218	0.731 *			
总有机碳 TOC	-0.414	0.554	-0.185	-0.375	0.681 *	0.069		
总碳 TC	-0.186	0.470	-0.267	-0.080	0.825 **	0.260	0.895 **	
碳氮比 C/N ratios	0.221	0.374	-0.596	0.175	-0.244	-0.762 *	0.404	0.343

* 显著性水平: $P < 0.05$; ** 显著性水平: $P < 0.01$

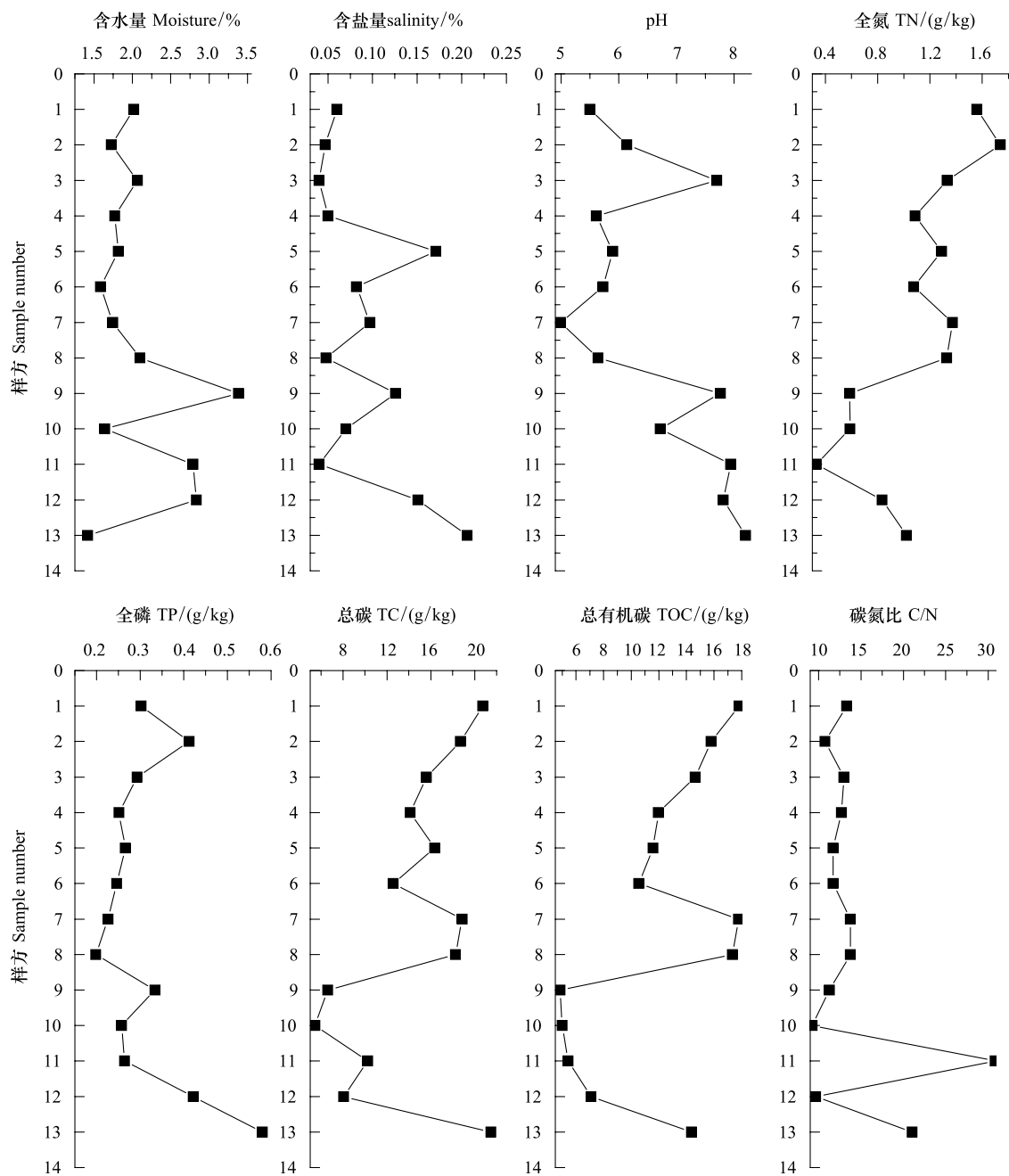


图 2 森林土壤理化性质

Fig.2 Soil physical-chemical properties in the forest of Beichangshan Island

表 9 乔木层碳储量控制变量主成分分析旋转因子负荷矩阵

Table 9 Rotated component matrix derived from a factor analysis of variables controlling arbore carbon storage

	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3		因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
含水量 Water	0.374	-0.396	0.694	pH	-0.331	0.410	0.744
含盐量 Salt	-0.131	-0.099	-0.666	全氮 TN	0.842	0.508	0.154
全磷 TP	0.298	0.931	0.066	总有机碳 TOC	0.899	-0.213	0.317
总碳 TC	0.990	-0.048	0.042	碳氮比 C/N	0.305	-0.925	-0.190

3 结论与讨论

本研究采用生物量相对生长方程与样地调查数据相结合的方法,分别研究了黑松纯林与黑松×刺槐混交林乔木层碳储量。

北长山岛黑松纯林乔木层碳储量高于黑松×刺槐混交林,也高于其它地方的一些常见树种,造成这种差异的主要原因是黑松适应性强,具有喜海洋气候、抗海风、耐瘠薄等特性,较其他树种更适宜在海岛地区生长,因此具有较高的碳储量。

乔木层碳储量受到降雨、气温、坡度、海拔等多种环境因子的影响^[27-29]。降雨量等气候特征对土壤母质的风化、土壤形成和土壤有机碳的分解起着重要的作用,进而影响森林乔木层碳储量^[30-31]。Brown 等^[32]的研究结果,降水量在 400—3200 mm 时,降水和森林植被碳密度之间呈正相关,超过 3200 mm 时则呈负相关。北长山岛地区气候湿润,北长山岛降雨多集中 7—8 月份,充沛的降雨量促进土壤碳的分解进而加快了碳周转速率。有研究表明,海岛地区森林乔木层碳储量随坡度等级的增加而增大^[27]。由于受到海风的胁迫,雨水冲刷等作用导致了山坳地区土壤厚度大于山顶,加之山坳中水热条件较好,土壤不易流失,利于植被的生长,森林乔木层具有较高的碳储量。

森林土壤对乔木层碳储量影响较大。森林乔木层碳储量与土壤质地密切相关,不同质地土壤特性不同。土壤颗粒组成与土壤养分相关^[33-34],对植被的生长、发育具有重要作用,进而影响森林乔木层碳储量。由于海岛地区植被、土壤时常受到海风的影响,局部地段形成风沙堆积。北长山岛森林土壤黏粒含量极低,均在 5% 以下,土壤类型以砂土类为主(表 4),部分为壤土类,级配良好(表 5)。砂土类土壤通透性良好,但持水能力较低,微生物活性强,进而促进土壤氮矿化,有利于植被根系对养分的吸收,进而提高了树木的光合速率。黑松纯林、黑松×刺槐混交林乔木层根系碳储量分别为 19.99、6.87 t/hm²(表 3),占到各自乔木层总碳储量的 1/5,说明植被根系对土壤养分吸收较好,根系较为发达,这与土壤质地密不可分。

土壤理化性质通过影响根系与土壤的生理生化作用进而影响植被的生长。氮、磷是植物生长所必须的大量营养元素,其丰缺及供给状况直接影响着植物的生长水平。北长山岛土壤全 N、全 P 含量较低(图 2)。全 N 含量均低于 2 g/kg,而在意大利 0—20 cm 表层土的 21 个监测样地中,仅有 2 个样地的土壤全 N 含量低于 2 g/kg^[35],更是低于日本 22a 柳杉林土壤全 N 含量(2.03 g/kg)^[36],因此,北长山岛森林土壤全 N 含量水平低于国外其他国家的土壤全 N 水平,对乔木层碳储量影响不是非常明显(表 8)。凋落物是土壤-植物系统碳循环的联结库,对表层土壤养分循环产生重要影响^[37]。通过现场调查发现,北长山岛森林林下凋落物覆盖少,这也是导致北长山岛森林土壤全 N 含量较低的原因之一。由图 2 可知,对于同种林型的森林土壤 N、P 含量低,总有机碳相对较高(17.81 g/kg),森林乔木具有较高的碳储量(122.91 t/hm²)。因此,土壤中有有机碳和养分的合理、协调增加有利于根系的生长,进而提高森林乔木层碳储量。

森林系统水分循环是植被赖以生存的重要环节之一。土壤水更是植被生长、发育所需用水的主要来源,但过高的含水量会导致植被根系的腐烂不利于植被的生长。大多数土壤养分元素的有效性受土壤 pH 值影响^[38-39]。由图 2 可知,北长山岛 8 个监测样地中只有 1 个样地土壤偏碱性(pH 值=7.7)且森林乔木层碳储量较低(28.52 t/hm²)。北长山岛森林乔木层碳储量与土壤 pH 值基本呈负相关。因此,夏季适宜的土壤含水量及 pH 值有利于森林乔木碳储量的提高。

北长山岛夏季土壤含盐量较低(图 2),部分黑松林土壤质地为砂质壤土,可见,海岛人工林的建设对于涵养淡水、过滤海盐、防风固沙等起到重要作用。虽然北长山岛黑松乔木层碳储量高于黑松×刺槐混交林,黑松更适宜在海岛地区生长,是海岛地区不可替代的、具有良好固碳功能的理想树种。单一树种在抵抗病虫害和自然灾害的能力较弱,为了丰富海岛森林生态系统类型的多样性,还应积极抚育其他适宜海岛地区生长的优良树种。混交林是一种较好的森林经营模式,合理的混交比例与种植密度可以提高资源的利用率,增加林分生长量进而提高生态系统的碳储量。

References:

- [1] Lorenz K, Lal R. Carbon Sequestration in Forest Ecosystems. New York: Springer-Verlag, 2010.
- [2] Dixon R K, Brown S, Solomon A M, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263(5144): 185-190.
- [3] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35(1): 313-347.
- [4] Wang W X, Shi Z M, Luo D, Liu S R, Lu L H, Ming A G, Yu H L. Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 925-933.
- [5] Hu H F, Liu G H. Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1212-1218.
- [6] Moroni M T. Aspects of forest carbon management in Australia: A discussion paper. *Forest Ecology and Management*, 2012, 275: 111-116.
- [7] Nunery J S, Keeton W S. Forest carbon storage in the northeastern United States: Net effects of harvesting frequency, post-harvest retention, and wood products. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(8): 1363-1375.
- [8] Sharma C M, Baduni N P, Gairola S, Ghildiyal S K, Suyal S. Tree diversity and carbon stocks of some major forest types of Garhwal Himalaya, India. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260(12): 2170-2179.
- [9] Shi H H, Zheng W, Ding D W, Lü J B. Valuation and ecosystem services of typical island. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(6): 743-748.
- [10] Han G X, Zhang Z D, Wang G M, Mao P L, Liu S J, Xue Q Z. Growth dynamics and quantitative population characteristics of young trees in

- coastal *Pinus thunbergii* windbreak forest in northern Shandong Peninsula. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(6): 1013-1020.
- [11] Donato D C, Kauffman J B, Mackenzie R A, Ainsworth A, Pfleeger A Z. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. Journal of Environmental Management, 2012, 97: 89-96.
- [12] Xu J W, Wang W D, Wang Y H, Li C R, Kang Z. The mathematical model estimating the biomass of black pine plantation in sandy coastal. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2004, 154(5): 47-49.
- [13] Bi J, Huang Z Z, Wang Z L. Studies on biomass dynamic of black locust tree. Journal of Hebei Forestry College, 1993, 8(4): 278-282.
- [14] Wang X K, Feng Z W, Ouyang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 13-16.
- [15] Yim M H, Joo S J, Nakane K. Comparison of field methods for measuring soil respiration: A static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. Forest Ecology and Management, 2002, 170(1/3): 189-197.
- [16] Liu H, Hou L, Lei R D. Carbon storage and carbon density of *Pinus tabulaeformis* and *Pinus armandii* forests at Huoditang forest region in Qinling Mountain. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 5-8.
- [17] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, Zhao S Q, Ci L J. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. Science, 2001, 292(5525): 2320-2332.
- [18] Crutzen P J, Andreae M O. Biomass burning in tropics: impact on the atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. Science, 1990, 250(4988): 1669-1678.
- [19] Lu R K. Analytical Methods of Soil Agrochemistry. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 1999.
- [20] Wiesmeier M, Prietzel J, Barthold F, Spörlein P, Geuß U, Hangen E, Reischl A, Schilling B, von Lütow M, Kögel-K I. Storage and drivers of organic carbon in forest soils of southeast Germany (Bavaria)-Implications for carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 2013, 295: 162-172.
- [21] Liu X, Wang L, Zhang G C, Liu X R, Liang H. Structural property of soil from different forest types on rocky mountainous area in middle of Shandong Province. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 12(6): 49-52.
- [22] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Viewpoints on the study of economic thresholds of cotton bollworm. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733-740.
- [23] He Y J, Qin L, Li Z Y, Shao M X, Liang X Y, Tan L. Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7586-7594.
- [24] Wu T, Peng C H, Tian D L, 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.
- [25] Bassem D, Jean-Pierre C, Jerome L, Bruno M. Changes in soil carbon and nitrogen following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013, 169: 12-20.
- [26] Allison S D, Gartner T B, Mack M C, McGuire K, Treseder K. Nitrogen alters carbon dynamics during early succession in boreal forest. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(7): 1157-1164.
- [27] Wang X L, Wang A, Shi H H, Peng S T, Gong L P, Qin X B. Carbon storage of *Pinus thunbergii* and *Robinia pseudoacacia* plantations on Nanchangshan Island, Changdao County of Shandong Province, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1263-1268.
- [28] Wu D, Shao Q Q, Li J, Liu J Y. Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 142-150.
- [29] Watanabe Y, Masunaga T, Owusu-Sekyere E, Buri M M, Oladele O I, Wakatsuki T. Evaluation of growth and carbon storage as influenced by soil chemical properties and moisture on teak (*Tectona grandis*) in Ashanti region, Ghana. Journal of Food Agriculture & Environment, 2009, 7(2): 640-645.
- [30] Renan U G, Natali H, Ruben M, Àngels X, Yuri Y. Forest management for timber and carbon sequestration in the presence of climate change: The case of *Pinus Sylvestris*. Ecological Economics, 2013, 88: 88-96.
- [31] Chen S T, Huang Y, Zou J W, Shi Y S. Mean residence time of global topsoil organic carbon depends on temperature, precipitation and soil nitrogen. Global and Planetary Change, 2013, 100: 99-108.
- [32] Brown S, Lugo A E. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. Science, 1984, 223(4642): 1290-1293.
- [33] Haile S G, Nair V D, Nair P K R. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. Global Change Biology, 2010, 16(1): 427-438.
- [34] Harrison-Kirk T, Beare M H, Meenken E D, Condron L M. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Effects on carbon dioxide and nitrous oxide emissions. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 57: 43-55.
- [35] Allaniello F, Biondi F A, Ferrari C, Mecella G, Nisini L. Forest soil conditions in the CONECOFOR permanent monitoring plots and in the level I network in Italy. Journal of Limnology, 2002, 61(S1): 25-35.
- [36] Duan W X, Zhu B, Lu J H, Liu R, Chen F. Dynamics of carbon storage and soil properties in Japanese cedar (*cryptomeria fortunei*) plantations. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2007, 13(6): 777-781.
- [37] Wang H Y, Wang W J, Qiu L, Su D X, An J, Zheng G Y, Zu Y Y. Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree

growth in *Larix gmelinii* plantations in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(3): 833-843.

- [38] Wang H, Xing X J, Xu Z C. Relationship between pH value and available nutrients of purple soil in Panxi tobacco-growing areas. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007, (6): 19-22, 49-49.
- [39] Khattak R A, Hussain Z. Evaluation of soil fertility status and nutrition of orchards. *Soil & Environment*, 2007, 26(1): 22-32.

参考文献:

- [4] 王卫霞, 史作民, 罗达, 刘世荣, 卢立华, 明安刚, 于浩龙. 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量. *生态学报*, 2013, 33(3): 925-933.
- [5] 胡会峰, 刘国华. 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征. *生态学报*, 2013, 33(4): 1212-1218.
- [9] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 吕吉斌. 典型海岛生态系统服务及价值评估. *海洋环境科学*, 2009, 28(6): 743-748.
- [10] 韩广轩, 张志东, 王光美, 毛培利, 刘苏静, 薛钦昭. 山东半岛北部黑松海防林幼龄植株生长动态及其种群数量特征. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1013-1020.
- [12] 许景伟, 王卫东, 王月海, 李传荣, 康智. 沿海沙质岸黑松人工林生物量的估测数学模型. *山东林业科技*, 2004, 154(5): 47-49.
- [13] 毕君, 黄则舟, 王振亮. 刺槐单株生物量动态研究. *河北林学院学报*, 1993, 8(4): 278-282.
- [14] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13-16.
- [16] 刘华, 侯琳, 雷瑞德. 秦岭火地塘林区油松和华山松林的空间分布格局及碳储量与碳密度研究. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1): 5-8.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [21] 刘霞, 王丽, 张光灿, 刘信儒, 梁华. 鲁中石质山地不同林分类型土壤结构特征. *水土保持学报*, 2005, 12(6): 49-52.
- [22] 刘国华, 付博杰, 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.
- [23] 何友均, 覃林, 李智勇, 邵梅香, 梁星云, 谭玲. 西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较. *生态学报*, 2012, 32(23): 7586-7594.
- [24] 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.
- [27] 王晓丽, 王媛, 石洪华, 彭士涛, 宫立鹏, 覃雪波. 山东省长岛县南长山岛黑松和刺槐人工林的碳储量. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1263-1268.
- [28] 吴丹, 邵全琴, 李佳, 刘纪远. 江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算. *生态学报*, 2012, 32(1): 142-150.
- [37] 王洪岩, 王文杰, 邱岭, 苏冬雪, 安静, 郑广宇, 祖元刚. 兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异. *生态学报*, 2012, 32(3): 833-843.
- [38] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关分析. *中国土壤与肥料*, 2007, (6): 19-22, 49-49.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	 LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	 XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	 ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	 ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	 YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	 LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	 LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	 WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	 CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	 WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	 YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	 MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	 WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	 TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	 YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	 PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	 SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	 ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	 SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	 MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	 ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	 LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	 QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	 YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	 HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	 ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《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 陈利顶

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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元