

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 16 期 Vol.32 No.16 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 16 期 2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例·····	李 菁, 骆有庆, 石 娟 (4943)
中国能源消费碳排放的时空特征·····	舒娱琴 (4950)
黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因素·····	姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961)
新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素·····	王合玲, 张辉国, 秦 璐, 等 (4969)
雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征·····	李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981)
一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应·····	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993)
种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响·····	钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002)
七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估·····	邓培雁, 雷远达, 刘 威, 等 (5014)
杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征·····	梁 威, 邵学新, 吴 明, 等 (5025)
剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系·····	葛雅丽, 席貽龙, 马 杰, 等 (5034)
太湖流域河流水质状况对景观背景的响应·····	周 文, 刘茂松, 徐 驰, 等 (5043)
荒漠植物白刺属 4 个物种的生殖分配比较·····	李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054)
臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应·····	牛俊峰, 张巍巍, 李 丽, 等 (5062)
不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系·····	田旭平, 常 洁, 李娟娟, 等 (5071)
五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价·····	谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076)
散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究·····	左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087)
北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征·····	戴斯迪, 马克明, 宝 乐 (5095)
南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征·····	刘 恩, 刘世荣 (5103)
植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例·····	赵则海 (5110)
半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化·····	王 晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121)
氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响·····	吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128)
氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响·····	熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138)
基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测·····	周 磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146)
黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响·····	姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154)
基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法·····	常 青, 邱 瑶, 谢苗苗, 等 (5164)
基于生态位的山地农村居民点适宜度评价·····	秦天天, 齐 伟, 李云强, 等 (5175)
氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响·····	杨 洪, 王 召, 金道超 (5184)
6 种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响·····	王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191)
云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局·····	叶文丰, 李 林, 孙来亮, 等 (5199)
重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建·····	邓合黎, 马 琦, 李爱民 (5208)
专论与综述	
生态系统服务竞争与协同研究进展·····	李 鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219)
中国沿海无柄蔓足类研究进展·····	严 涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230)
冰雪灾害对森林的影响·····	郭淑红, 薛 立 (5242)
不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展·····	杨 平, 全 川 (5254)
采石场废弃地的生态重建研究进展·····	杨振意, 薛 立, 许建新 (5264)
研究简报	
基于地统计学和 CFI 样地的浙江省森林碳空间分布研究·····	张 峰, 杜 群, 葛宏立, 等 (5275)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔 4200 多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

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

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area	LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943)
Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China	SHU Yuqin (4950)
Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China	YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961)
The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China	WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969)
Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China	LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981)
Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China	SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993)
Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i>	ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002)
Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014)
Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands	LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025)
Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors	GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034)
Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin	ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043)
Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L.	LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054)
Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads	NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062)
Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density	TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071)
Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration	TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076)
Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species	ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087)
Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing	DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095)
The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area	LIU En, LIU Shirong (5103)
The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example	ZHAO Zehai (5110)
Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ...	WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121)
Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat	WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128)
Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat	XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138)
Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake	ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146)
Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154)
Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction	CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164)
Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area	QIN Tiantian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175)
Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae)	YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184)
Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i>	WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191)
Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan	YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199)
The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing	DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208)
Review and Monograph	
Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview	LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219)
A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China	YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230)
Effects of ice-snow damage on forests	GUO Shuhong, XUE Li (5242)
Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance	YANG Ping, TONG Chuan (5254)
Advances in ecology restoration of abandoned quarries	YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264)
Scientific Note	
Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots	ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275)

DOI: 10.5846/stxb201108141190

刘恩, 刘世荣. 南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征. 生态学报, 2012, 32(16): 5103-5109.

Liu E, Liu S R. The research of carbon storage and distribution feature of the *Mytilaria laosensis* plantation in south sub-tropical area. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5103-5109.

南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征

刘 恩, 刘世荣*

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091)

摘要:米老排是我国南方速生用材树种, 研究米老排(*Mytilaria laosensis*)人工林碳贮量与碳分配的规律, 可为评价米老排人工林的固碳能力与发展人工林多目标经营提供科学依据。采用样地测定的方法, 对南亚热带米老排人工林不同器官碳浓度、碳贮量及分配特征进行了研究。结果表明: 不同器官碳浓度均值的变化范围为: 51.73%—55.75%, 各器官碳浓度大小为: 新叶>新枝>老叶>树干>老枝>根桩>粗根>细根; 凋落物碳浓度为未分解层>半分解层; 0—100 cm 土壤碳浓度随深度增加而降低, 变化范围为 0.62%—4.10%。20 年生米老排人工林总碳贮量为 331.61 t/hm², 乔木层, 凋落物层和土壤层的碳贮量分别为 154.07、2.74 和 174.80 t/hm²。年均总固碳量为 14.77 t/hm², 折合 CO₂ 量为 54.16 t, 其中乔木层、凋落物层和土壤层所占比例分别为 60.73%、6.16% 和 33.11%。

关键词:米老排人工林; 碳浓度; 碳贮量; 碳分配

The research of carbon storage and distribution feature of the *Mytilaria laosensis* plantation in south sub-tropical area

LIU En, LIU Shirong*

Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Abstract: Measurements of carbon stock and carbon distribution of *Mytilaria laosensis* plantation are useful for assessing its carbon sink capacity and developing appropriate multi-purpose forest management model in subtropical area. In this paper, the concentration, storage and allocation of carbon for the *Mytilaria laosensis* plantation were investigated through biomass harvesting. Two dominant, three intermediate and two suppressed trees were destructively sampled. Stems were cut at the soil surface. Total tree height (from ground to the terminal bud, *H*), length of live crown, diameter at breast height (*DBH*), diameter at the base of live crown were measured and recorded immediately. The live crown was marked as three sections (top, middle and bottom), and all new leaves, old leaves, new branches, old branches from each canopy position were cut and weighted separately. Stem were cut into 2 m sections and weighted. At the end of each stem section, a 5 cm thick disk was cut, weighted and taken into lab for moisture content determination. The root system were divided into stump, coarse root and fine root (<5 mm in diameter) and weighted at the field. From each component approximately 500—1000 g of fresh mass were randomly sampled and placed in a labeled bag for moisture content determination. Three standard plots were sampled in the 20-year-old *Mytilaria laosensis* plantation and three 1 m×1 m subplots were sampled along the diagonal. The litter layer was divided into fresh layer and humus layer. The fresh mass of the litter layer in the three 1 m×1 m subplots were determined, and about 500—1000 g were taken into lab for moisture and carbon content determination. Three soil sampling

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201104006); 林业公益性行业科研专项(200804001)资助

收稿日期: 2011-08-14; 修订日期: 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liusr@caf.ac.cn

profiles were set in each standard plot. The soil profile were divided into six layers: 0—10cm, 10—20cm, 20—40cm, 40—60cm, 60—80cm and 80—100cm. Soil bulk density were measured and the soil samples (500—1000g) in each soil profile were sampled and mixed into one sample for soil moisture and carbon concentration determination for each plot. The results showed that carbon concentration in different organs of *Mytilaria laosensis* ranged from 51.73% to 55.75%, which in the order as follows: new foliage > new branch > old foliage > stem > older branch > stump > coarse root > fine root. The carbon concentration of the fresh litter layer was higher compared to the decomposing litter layer. Carbon concentration in the 0—100cm soil decreased with the increasing of soil depth from 4.10% to 0.62%. The total carbon storage in the 20-year-old *Mytilaria laosensis* plantation was 331.61 t/hm². The carbon stocks of tree, litter, and soil layer were 154.07, 2.74, and 174.80 t/hm², respectively. The annual net carbon storage of the *Mytilaria laosensis* plantation was 14.77 t/hm², which equals to a mitigation of 54.16t CO₂, where the tree, litter, and soil layer accounted for 60.73%, 6.16%, and 33.11%, respectively.

Key Words: *Mytilaria laosensis* plantation; carbon content; carbon storage; carbon distribution

以 CO₂ 为主的大气中温室气体浓度增加引起的以全球变暖为主要特征的气候变化, 威胁着人类的生存环境和社会经济的可持续发展, 已成为国际社会、各国政府、科学家和公众强烈关注的重大环境问题。森林作为陆地生态系统的主体, 是大气 CO₂ 重要的贮存库, 通过造林再造林来增强碳吸收已得到国际社会广泛认同, 并允许发达国家使用这些活动产生的碳汇用于抵消其承诺的温室气体减排指标。我国的中南亚热带常绿阔叶林带是我国适合开展 CDM 造林再造林碳汇项目的优先发展区域^[1]。进行造林再造林碳汇项目, 必须对所选择树种的固碳能力有所了解, 目前在南亚热带地区, 已经开展了一些这方面的研究^[2-5], 然而, 还有许多树种, 尤其是常绿阔叶树种的固碳能力未被人们所了解。

米老排 (*Mytilaria laosensis*) 又名壳菜果、三角枫, 属金缕梅科常绿乔木, 是我国亚热带地区速生优良用材树种, 天然分布于广东西部、广西西南部和云南东南部, 在越南和老挝也有天然分布, 目前, 广西是该树种主要人工林种植区, 面积达 1500 hm²^[6]。米老排生长快, 干形通直圆满, 枝条较细, 材质优良, 用途广, 是建筑、家具、造纸和人造板的优质原料, 然而作为乡土速生优良用材树种, 人们过多关注其木材效益, 关于米老排人工林碳贮量及其分配特征的研究, 国内少有报道。本文以南亚热带 20 年生米老排人工林为主要研究对象, 通过样地实测, 对米老排不同器官碳浓度差异, 人工林碳贮量及年净固碳量进行了研究, 以期对造林再造林碳汇项目的树种选择及米老排人工林的多目标经营提供依据。

1 研究区概况

试验地设在广西壮族自治区凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心, 位于 21°57'47"—22°19'27" N, 106°39'50"—106°59'30"E, 属亚热带季风型半湿润—湿润气候, 太阳总辐射 439.61 kJ·cm⁻²·a⁻¹, 年日照时数 1218—1620 h, 年平均气温 20.5—21.7℃, ≥10℃ 活动积温 6000—7600℃, 年均降水量 1200—1500 mm。干湿季节明显, 4—9 月为雨季, 10 月至来年 3 月为旱季, 雨热同季的气候特点对植物生长十分有利^[7]。土壤为花岗岩发育的山地红壤, 一般母质层与土壤层皆深厚, 质地既沙且粘, 基岩又致密, 故蓄水性较强。由于森林植被覆盖良好, 所以土壤有机质及氮素丰富, 土壤一般呈酸性, 土壤交换性盐基少, 为盐基不饱和土壤。土壤中常量元素富铝、铁, 尤以铁最为丰富, 脱硅、钙、镁、钾、钠, 但尤其脱钙。微量元素锰、铜、锌、钼、硼等在母岩中少, 在土体中含量则在增加, 其有效量除锰外其余都不高。由于本类土壤分布海拔较高, 气候温暖而湿润, 加之土壤呈酸性, 因而有机养分丰富, 所以是林木生长的高产土壤, 尤其适合一些阔叶树种生长。

选择长势良好的 20 年生米老排人工纯林为主要研究对象, 造林前林地为杉木纯林, 在造林前一年采伐, 经炼山整地后于翌年春季采用实生苗造林。调查时米老排人工林林相整齐, 密度为 633 株/hm²。

2 研究方法

2.1 生物量测定

选择 2 株优势木、3 株中等木和 2 株被压木共 7 株标准木^[8],采用生物量收获法,用来建立异速生长方程。样木伐倒后,测量树高和胸径,树冠被分成 3 部分(上、中、下),每部分分别对新叶、老叶、新枝、老枝取样,树干被锯成 2 m 每段,各器官在现地称量鲜重,然后抽取样品 500—1000 g(每段树干截取一个 5 cm 圆盘),带回实验室进行含水量测定。

地下部分采用全挖法,分为根桩、粗根、细根(<5 mm)^[8],现地称量鲜重,然后取样进行含水量测定。以上步骤在样木被伐倒后立刻进行,所有样品置于 70 ℃烘箱中至恒定重量为止,每部分生物量为该部分鲜重乘以其干物质所占比率。

2.2 样品采集及含碳量测定

为了准确测定米老排不同器官碳浓度,同时反映林龄对器官碳浓度的影响,选择 10、20 和 27 年生米老排,分别采集乔木层不同器官(新叶、老叶、新枝、老枝、树干、根桩、粗根、细根)样品经烘干,粉碎,过筛后测定有机碳含量。

在 20 年生米老排人工林内,设置 3 个标准样地,在每个样地内分别沿对角线设置 3 个 1 m×1 m 的小样方,将枯落物分为没有分解和半分解两部分,称量样方内现存量,并取样测定含水量,然后进行含碳量测定。在各样地中随机设置 3 个土壤采样点,沿土壤剖面按 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm 分层采集土壤样品,把相同样地同一层次土壤按质量比例混合,带回实验室自然风干,粉碎过筛后测定有机碳含量,用环刀(100 cm³)采集原状土测定土壤容重,按容重估算各层单位面积土壤质量。同时选取立地条件相似的 10 年生米老排人工林,按上述方法进行土壤取样,用来估算土壤的年均净固碳量。所有样品均采用重铬酸钾-水合加热法测定有机碳含量^[3]。

2.3 碳贮量及年净固碳量的计算

在 3 个标准样地内,进行每木检尺测定胸径(DBH),利用建立的异速生长方程计算单位面积乔木层不同器官生物量^[9]。乔木层及凋落物层碳贮量为单位面积林分不同器官生物量及凋落物未分解层和半分解层生物量乘以相应的碳素含量。土壤碳贮量为单位面积土层质量与相应土层碳含量的乘积。林分年净固碳量由各组分年净生产量及相应碳含量乘积计算而得,采用年平均净生产量作为生产力估测指标,其中树叶按其在树枝上着生时间 3a 来计算其年均生产量,凋落物层按 3a 计算其平均生产量^[5,10-12]。土壤年净固碳量采用分别测定的立地条件相似的 10 年生和 20 年生米老排人工林土壤层碳贮量之差的平均值进行估算^[13]。

2.4 数据分析

在实际操作中树高的测定比较困难而且精确度不高,而且二元(DBH-H)生长方程的精度与一元(DBH)相比,在决定系数(R^2)上的差异小于 4%^[8],因此本文建立了米老排各组分生物量与胸径的一元方程(表 1),方程的形式为^[14-15]:

$$\lg B = a + b \lg(DBH)$$

式中, B 为各组分生物量(kg); DBH 为胸径(cm); a , b 为系数。

所有数据经 Excel 处理后,用 SPSS 13.0 完成统计分析,采用方差分析和 Duncan 检验比较参数间差异,取 $P < 0.05$ 为差异显著,方差分析前均进行方差齐性检验。

表 1 米老排各器官胸径-生物量生长方程

Table 1 Allometric equations relating biomass components (B , kg) to diameter at breast height (DBH , cm)

组分 Tissue components	生长方程 Allometric equations	决定系数 Determination coefficients
叶 Leaf	$Y = 0.7989X + 0.1285$	$R^2 = 0.8171$
枝 Branch	$Y = 2.2448X - 1.4948$	$R^2 = 0.9770$
树干 Stem	$Y = 1.6768X + 0.1372$	$R^2 = 0.9696$
根 Root	$Y = 1.2389X - 0.278$	$R^2 = 0.964$
根桩 Stump	$Y = 1.6771X - 0.5157$	$R^2 = 0.984$

$$Y = \lg B; X = \lg(DBH)$$

3 结果分析

3.1 不同器官的碳浓度

不同林龄和不同器官对碳含量均有显著影响($P < 0.05$)。10、20 和 27 年生米老排不同器官碳含量的平均值为 54.35%,10 年生米老排各器官的平均含碳量最小为 53.31%,20 和 27 年生红锥各器官平均含碳量无显著差异。不同器官碳含量大小排序为:新叶>新枝>老叶>树干>老枝>根桩>粗根>细根,新叶、老叶和新枝的碳浓度显著高于树干、老枝、根桩和粗根的碳浓度,而以细根的碳浓度为最低,不同器官碳浓度 Duncan 差异显著性分组见表 2。

表 2 米老排不同林龄各器官碳含量

Table 2 Carbon content in different components of different stand ages of *Mytilaria laosensis* %

组分 Components	林龄 Stand age/a			均值 Mean
	10	20	27	
新叶 New leaf	52.11±0.71	56.80±1.41	58.35±1.34	55.75±2.97a
老叶 Old leaf	51.90±0.72	56.38±1.53	58.56±0.42	55.61±3.02a
新枝 New branch	54.5±0.29	57.38±1.35	55.07±1.14	55.65±1.61a
老枝 Old branch	53.63±0.54	53.77±0.83	54.58±0.26	53.99±0.70b
树干 Stem	54.93±0.75	54.95±0.85	53.16±1.34	54.35±1.28b
根桩 Stump	53.9±0.69	54.3±0.01	53.38±0.61	53.86±0.54b
粗根 Coarse root	54.33±0.14	53.83±1.64	53.26±0.97	53.81±1.12b
细根 Fine root	51.21±0.73	51.47±0.46	52.54±0.78	51.73±0.86c
均值 Mean	53.31±1.42b	54.85±2.12a	54.86±2.39a	54.35±2.13

平均值±标准差,n=5;a—c:不同器官碳含量显著性差异分组

3.2 碳贮量及年净固碳量

测定结果表明,乔木层碳贮量以树干最大,占总碳库的 30.42%,其次为根桩(6.84%)、枝(4.52%)、根(2.80%),最小的为叶,仅占到 1.88%,各部分碳贮量和生物量有较好的相关性,基本成正比例关系。整个乔木层碳贮量占到总碳贮量的 46.46%。而凋落物层碳贮量相对较小,仅为 2.74 t/hm²,其中半分解层碳贮量高于未分解层。

不同土层的土壤容重、碳浓度和碳贮量均有显著差异($P < 0.05$)。表层土壤(0—10 cm)容重显著低于下部土层。土壤碳浓度的变化表层土壤较为明显,由 0—10 cm 的 4.10% 降至 10—20 cm 的 1.94%,而后随土层加深而缓慢下降,以 80—100 cm 土层碳浓度为最低(0.62%)。土壤碳贮量的变化趋势与碳浓度的变化较为相似,以 0—20 cm 土层碳贮量为最高,达到 68.26 t/hm²,比 20—40 cm 土层高出 29.27 t/hm²,而后随土层加深缓慢下降,同样以 80—100 cm 土层碳贮量最低,仅为 17.25 t/hm²。(各土层土壤容重、碳浓度及碳贮量 Duncan 差异显著性分组见表 3。整个土壤碳库碳贮量为 174.8 t/hm²,占米老排人工林总碳库的 52.71%。

20 年生米老排人工林年净固碳量为 14.77 t/hm²,折合 CO₂ 为 54.16 t/hm²。其中乔木层、凋落物层和土壤层的年均净固碳量分别为 8.97, 0.91 和 4.89 t/hm²,分别占整个人工林碳库的 60.73%, 6.16% 和 33.11%,折合 CO₂ 分别为 32.89 t、3.34 t 和 17.93 t(表 4)。

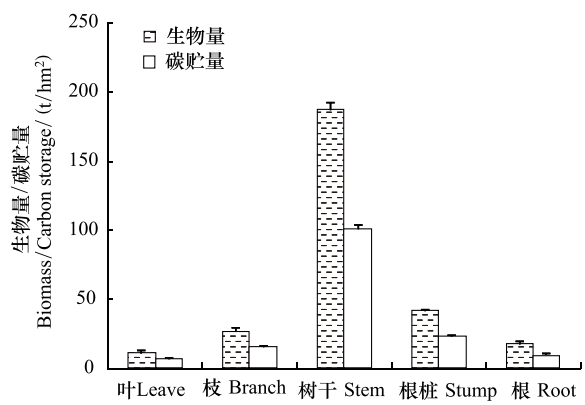


图 1 米老排人工林乔木层碳贮量
Fig. 1 Carbon storage in tree layer of *Mytilaria laosensis* plantation

表 3 米老排人工林凋落物及土壤碳贮量

Table 3 Carbon storage in litter layers and soil layers of *Mytilaria laosensis* plantation

层次 Layers	组分 Components	容重/(g/cm ³) Bulk density	碳浓度/% Carbon content	碳贮量/(t/hm ²) Carbon storage
凋落物层 Litter layer	没分解层		56.02±1.59	1.15±0.37(0.35%)
	半分解层		49.87±1.46	1.59±0.31(0.48%)
小计 Sum				2.74±0.32(0.83%)
土壤层/cm Soil layer	0—10	1.01±0.06b	4.10±0.20a	68.26±5.37(20.59%)a
	10—20	1.40±0.10a	1.94±0.47b	
	20—40	1.41±0.06a	1.39±0.52bc	38.99±13.10(11.76%)b
	40—60	1.40±0.12a	1.05±0.25cd	29.15±5.48(8.79%)bc
	60—80	1.42±0.02a	0.75±0.08d	21.24±1.81(6.41%)c
	80—100	1.38±0.03a	0.62±0.06d	17.25±1.83(5.20%)c
小计 Sum				174.80±20.04(52.71%)
总计 Total				177.54(53.54%)

平均值±标准差,n=3;括号内数值为占总碳库比例;a—d:不同土层容重、碳浓度及碳贮量差异显著性分组

表 4 米老排人工林年净固碳量

Table 4 Annual carbon fixation of *Mytilaria laosensis* plantation

组分 Components	年均净生产力/(t/hm ²) Annual net productivity	年均净固碳量/(t/hm ²) Annual net carbon storage	折合 CO ₂ 量/t Equivalent CO ₂
乔木层 Tree layer	16.44±0.44	8.97±0.14(60.73%)	32.89±0.51
凋落物层 Litter layer	1.65±0.17	0.91±0.1(6.16%)	3.34±0.38
土壤层 Soil layer		4.89±1.37(33.11%)	17.93±4.51
合计 Sum		14.77	54.16

平均值±标准差,n=3;括号内数值为百分数

4 结论与讨论

4.1 碳浓度

以往关于树种碳浓度的研究主要集中在木质组织,因为生物量碳和净初级生产力的绝大多数成分为木质组织。本研究中 10、20、27 年生米老排树干平均碳浓度为 54.35%,高于国际通用碳浓度(50%),32 个热带树种(44.4%—49.45%)^[16],但低于同为南亚热带的马尾松林(58.6%)^[2]。关于其他生物组织碳浓度的研究(新叶、老叶、新枝和细根)的研究相对较少,本研究中各器官碳浓度以细根最低(51.73%),当年生叶(新叶)碳浓度最高(55.75%),该研究与 Zhang, Bert^[17-18]等的研究结果类似,而与以往文献所用叶的浓度 45%有较大差异^[19-20],可能是由于不同树种的遗传特性及与环境的相互作用造成的。

未分解层的凋落物碳浓度(56.02%)高于半分解层(49.87%),因为凋落物的分解过程是在微生物作用下将复杂的有机物转变为简单无机物的过程,所以半分解层有机碳含量要低于未分解层碳含量。同时,米老排人工林凋落物平均碳浓度(52.94%)高于该地区针叶树种杉木林(41.75%)^[3]和杉木马尾松混交林的(48.3%)^[2]凋落物层平均碳浓度,主要是由于针叶树种和阔叶树种凋落物特性及分解状况差异所致。

米老排人工林土壤碳浓度随深度增加而降低,表层(0—20 cm)土壤平均碳浓度(3.02%)显著高于下部土层,同时高于该地区 13 年生杉木(2.11%)^[3]和杉木、马尾松混交林(2.7%)^[2]的 0—20 cm 土层碳浓度。由于林地表层土壤极易受到细根和凋落物分解的影响,所以表层土壤是最能够反映不同树种对土壤理化性质影响的土层,说明阔叶树种米老排表层土壤碳吸存能力优于该地区的针叶树种马尾松和杉木。

4.2 碳贮量和年净固碳量

20 年生米老排人工纯林乔木层、凋落物层和土壤层碳贮量分别为 154.07、2.74 和 174.8 t/hm²,乔木层和土壤层(0—100 cm)碳贮量各占总碳库的一半左右,该结果与 Dixon 等^[21]对热带地区森林的研究结果一

致。乔木层中树干所占比例最大,占到整个乔木层碳贮量的 65.47%;土壤层中,表层土(0—20 cm)碳贮量最大,占整个土壤碳库(0—100 cm)的 39.05%。20 年生米老排人工林乔木层碳贮量高于我国硬叶常绿阔叶林(100.73 t/hm^2)^[22],低于热带季雨林的碳贮量($163—258 \text{ t/hm}^2$)^[23]。而米老排人工林土壤碳贮量(0—100 cm)略高于热带森林土壤的 $130—160 \text{ t/hm}^2$ ^[24],同时高于江西大岗山毛竹林的 146 t/hm^2 ^[13]。不同森林类型、不同纬度地区土壤碳贮量有很大差异。土壤碳库的研究是森林生态系统碳循环研究的难点,有许多机理尚不清楚,而热带地区由于良好的水热条件,土壤碳库比高纬度地区更加活跃,所以关于热带地区森林土壤碳库的研究仍须进一步深入。

常绿阔叶人工林当林分郁闭后,培育树种成为绝对优势树种,林下灌草较为稀少,所以本文未对林下灌木及草本进行研究,国内相关研究也有类似报道^[4,23]。凋落物层碳储量为 2.74 t/hm^2 ,在以往对热带地区森林凋落物碳贮量研究的范围之内($2.6—3.8 \text{ t/hm}^2$)^[25],凋落物碳贮量较低主要是由于亚热带地区水热条件较好,凋落物碳分解释放快所致。

据估算,20 年生米老排人工林乔木层年固碳量为 8.97 t/hm^2 ,高于亚热带 35 年生青冈常绿阔叶林($7.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[26]和南亚热带地区杉木林($4.67 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[3]。土壤年均净固碳量为 4.89 t/hm^2 ,高于江西大岗山的毛竹林($0.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[13]。森林的固碳能力即为森林单位时间净吸收大气中 CO_2 的能力,将碳固定在森林生态系统中的能力,主要表现为地上植被和土壤长期碳固持能力^[27]。地上植被碳固持主要以木质组织为主,而植被功能型的不同将会直接或间接的影响土壤碳的输入和输出,从而影响到土壤的固碳能力^[28],这是造成不同地区、不同森林类型固碳能力差别的主要原因。由于米老排是南方乡土速生阔叶树种,对该地区土壤、气候条件都比较适应,而该地区的山地红壤有机养分丰富,能够提供树木生长所需养分,所以生长迅速,从本文测定结果看各器官含碳量要略高于国际通用碳浓度,因此米老排人工林具有较高的固碳能力,是非常良好的碳汇造林树种。

该树种在江西赣州的区域化推广实验,从造林成活率、保存情况及林木生长情况来看都是比较满意的^[29]。说明米老排有着良好的适应性,在我国广大的亚热带地区有巨大的发展潜力,而该地区又是 CDM 造林再造林的优先发展区域,随着碳汇林业的兴起,南亚热带乡土珍贵阔叶树种的大面积推广,一方面可以获得可观的木材收益,同时能够获得巨大的碳汇效益,真正实现我国人工林的多目标经营。

致谢:中国林业科学研究院热带林业实验中心蔡道雄主任,贾宏炎副主任给予支持;热带林中心科研处卢立华处长,郑路博士,明安刚,于浩龙在实验过程中给予帮助;中国林科院森林生态环境与保护研究所博士生黄雪蔓对外业工作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Li N Y, Xu Z H, Wang C F, Chen J, Zhang S D, Zhang S, Hou R P. Selection and evaluation of preferential development area for afforestation and reforestation project under CDM in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(7): 6-9.
- [2] 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.
- [3] Kang B, Liu S R, Cai D X, Lu L H. Characteristics of biomass, carbon accumulation and its spatial distribution in *Cunninghamia lanceolata* forest ecosystem in low subtropical area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(8): 147-153.
- [4] Yang Y S, Chen G S, Wang Y X, Xie J S, Yang S H, Zhong X F. Carbon sequestration and balance in *Castanopsis kawakamii* and *Cunninghamia lanceolata* plantations in subtropical China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(3): 113-117.
- [5] He B, Huang S X, Zhao L J, Chen Y P, Rong Y, Luo L J. Dynamic characteristics of carbon accumulation in *Taiwania flousiana* plantation ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(9): 151-157.
- [6] Guo W F, Cai D X, Jia H Y, Li Y X, Lu Z F. Growth laws of *Mytilaria laosensis* plantation. *Forest Research*, 2006, 19(5): 585-589.
- [7] Lu L H, Jia H Y, He R M, Li J L, Qin S Y. A preliminary study on litter falls of six kinds of plantations in the Tropical South Asia. *Forest Research*, 2008, 21(3): 346-352.
- [8] Wang C K. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1/3): 9-16.
- [9] Zhang Q Z, Wang C K. Carbon density and distribution of six Chinese temperate forests. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 831-840.
- [10] Tian Y P, Cai Y L, Wang H W, Liu Z G, Qiu Y X, Chen Z F. The traits of leaf lifespan of 51 evergreen broad-leaved species and analysis on the

- influencing factors of Mt. Meihuashan, Fujian Province. *Subtropical Plant Science*, 2007, 36(2): 4-8.
- [11] Zhang Q F, Xu R D. Standing crops of the litter fall in the succession series of evergreen broad-leaved forest in Tiantong, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(2): 17-21.
- [12] Wang S, Chen C. *Forest Litter Ecology*. Beijing, Science Press, 2010: 94-95.
- [13] Wang B, Wang Y, Guo H, Zhao G D, Bai X L. Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachys pubescens* forest in Dagangshan Mountain of Jiangxi Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(6): 39-42.
- [14] Niklas K J. *Plant Allometry: The Scaling of form and Process*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- [15] Ter-Mikaelian M T, Korzukhin M D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 1997, 97(1): 1-24.
- [16] Elias M, Potvin C. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(6): 1039-1045.
- [17] Zhang Q Z, Wang C K, Wang X C, Quan X K. Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(5): 722-727.
- [18] Bert D, Danjon F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait). *Forest Ecology and management*, 2006, 222(1/3): 279-295.
- [19] Gower S T, Krankina O, Olson R J, Apps M, Linder S, Wang C. Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. *Ecological Applications*, 2001, 11(5): 1395-1411.
- [20] Wang C K, Bond-Lamberty B, Gower S T. Carbon distribution of a well- and poorly-drained black spruce fire chronosequence. *Global Change Biology*, 2003, 9(7): 1066-1079.
- [21] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263(5144): 185-190.
- [22] 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.
- [23] Lü X T, Yin J X, Jepsen M R, Tang J W. Ecosystem carbon storage and partitioning in a tropical seasonal forest in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260(10): 1798-1803.
- [24] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423-436.
- [25] Brown S, Lugo A E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 1982, 14(3): 161-187.
- [26] Li M H, Yu M J, Chen Q C, Chang J, Pan X D. Dynamics of carbon in the evergreen broadleaved forest dominated by *Cyclobalanopsis glauca* in south-east China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(6): 645-651.
- [27] Zhang Q Z. Carbon Density and Carbon Sequestration Capacity of Six Temperate Forests in Northeast China [D]. Heilongjiang: Northeast Forestry University, 2010.
- [28] de Deyn G B, Cornelissen J H C, Bardgett R D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*, 2008, 11(5): 516-531.
- [29] He W M, Liu L. Experimental study on the promotion of *Mytilaria laosensis* lecomterization. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2010, (6): 38-40.

参考文献:

- [1] 李怒云, 徐泽鸿, 王春峰, 陈健, 章升东, 张爽, 侯瑞萍. 中国造林再造林碳汇项目的优先发展区域选择与评价. *林业科学*, 2007, 43(7): 5-9.
- [2] 康冰, 刘世荣, 张广军, 常建国, 温远光, 马姜明, 郝文芳. 广西大青山南亚热带马尾松、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.
- [3] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 卢立华. 南亚热带杉木生态系统生物量和碳素积累及其空间分布特征. *林业科学*, 2009, 45(8): 147-153.
- [4] 杨玉盛, 陈光水, 王义祥, 谢锦升, 杨少红, 钟美芳. 格氏栲人工林和杉木人工林碳吸收与碳平衡. *林业科学*, 2007, 43(3): 113-117.
- [5] 何斌, 黄寿先, 招礼军, 陈玉萍, 荣慧, 罗柳娟. 秃杉人工林生态系统碳素积累的动态特征. *林业科学*, 2009, 45(9): 151-157.
- [6] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 李运兴, 卢志芳. 米老排人工林生长规律的研究. *林业科学研究*, 2006, 19(5): 585-589.
- [7] 卢立华, 贾宏炎, 何日明, 李吉良, 覃书源. 南亚热带6种人工林凋落物的初步研究. *林业科学研究*, 2008, 21(3): 346-352.
- [9] 张全智, 王传宽. 6种温带森林碳密度与碳分配. *中国科学 (C 辑): 生命科学*, 2010, 40(7): 621-630.
- [10] 田玉鹏, 蔡永立, 王宏伟, 刘志国, 丘云兴, 陈兆凤. 福建梅花山51种常绿阔叶植物叶片寿命特征及其影响因素. *亚热带植物学报*, 2007, 36(2): 4-8.
- [11] 张庆费, 徐绒娣. 浙江天童常绿阔叶林演替过程的凋落物现存量. *生态学杂志*, 1999, 18(2): 17-21.
- [12] 汪思龙, 陈楚莹. *森林残落物生态学*. 北京: 科学出版社, 2010: 94-95.
- [13] 王兵, 王燕, 郭浩, 赵广东, 白秀兰. 江西大岗山毛竹林碳贮量及其分配特征. *北京林业大学学报*, 2009, 31(6): 39-42.
- [22] 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.
- [26] 李铭红, 于明坚, 陈启瑞, 常杰, 潘晓东. 青冈常绿阔叶林的碳素动态. *生态学报*, 1996, 16(6): 645-651.
- [27] 张全智. 东北六种温带森林碳密度和固碳能力 [D]. 黑龙江: 东北林业大学, 2010.
- [29] 何伟民, 刘蕾. 米老排区域化推广试验研究. *山东林业科技*, 2010, (6): 38-40.

《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 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元