

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 3 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燧, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201207040935

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): 0925-0933.

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): 0925-0933.

我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量

王卫霞¹, 史作民^{1,*}, 罗 达¹, 刘世荣¹, 卢立华², 明安刚², 于浩龙²

(1. 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;

2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 凭祥 532600)

摘要:以我国南亚热带格木(*Erythrophloeum fordii*)、红椎(*Castanopsis hystrix*)和马尾松(*Pinus massoniana*)人工林为研究对象,对其碳氮储量及分配格局进行研究。结果表明,不同树种体内碳的分布与器官年龄的关系不明显,而氮的分布与年龄的关系则较为密切,表现为幼嫩器官中的氮含量大于老化器官,而老化器官的 C/N 比值大于幼嫩器官。格木人工林生态系统内各组分的氮含量均高于其他两种人工林生态系统,并且 3 种人工林生态系统碳氮在土壤表层具有明显的富集作用。格木、红椎和马尾松人工林碳储量分别为 236.22、267.84、200.57 t/hm²,氮储量分别为 17.91、12.38、10.59 t/hm²。乔木层碳储量分别占 42.57%、36.31% 和 40.28%,0—100 cm 土壤碳储量分别占 55.77%、62.52% 和 57.83%;氮储量则是土壤占绝对优势,分别为 92.00%、93.72% 和 95.53%。说明 3 种人工林生态系统碳氮储量主要分布在土壤中,且红椎人工林生态系统具有较高的固碳能力。

关键词:人工林;碳储量;氮储量;分配格局;南亚热带

Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China

WANG Weixia¹, SHI Zuomin^{1,*}, LUO Da¹, LIU Shirong¹, LU Lihua², MING Angang², YU Haolong²

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

2 Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, China

Abstract: Carbon and nitrogen storage in different plantation ecosystems of *Erythrophloeum fordii*, *Castanopsis hystrix* and *Pinus massoniana* in subtropical south China were studied. The results showed that the allocation of C in the organs of the different tree species had no significant correlation with their age, while that of N had closer relationship with the age. The N concentration in young organs was higher than that in aged ones and the C/N ratio was higher in aged organs than that in young ones. The N concentration was higher in all components of the nitrogen-fixing species (*E. fordii* plantation) than that in other species (*C. hystrix* and *P. massoniana* plantations). There was an obvious enrichment of C and N in the topsoil of the plantation ecosystems. The total ecosystem carbon storage of *E. fordii*, *C. hystrix* and *P. massoniana* plantations was 236.22 t/hm², 267.84 t/hm² and 200.57 t/hm² and nitrogen storage was 17.91 t/hm², 12.38 t/hm² and 10.59 t/hm², respectively. Carbon storage of tree layer occupied 42.57%, 36.31% and 40.28% while 0—100 cm soil occupied 55.77%, 62.52% and 57.83%, respectively. Nitrogen storage of soil occupied 92.00%, 93.72% and 95.53%. Our study indicated that most ecosystem carbon and nitrogen storage of the plantations stored in soil. Carbon sequestration ability of *C. hystrix* plantation is higher compared to other two plantations.

基金项目:林业公益性行业科研专项(200804001);中国科学院碳专项课题(XDA05060000, XDA05060100)

收稿日期:2012-07-04; 修订日期:2012-11-23

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

Key Words: Plantation; carbon storage; nitrogen storage; allocation pattern; south subtropical area

20 世纪 80 年代,在我国热带和亚热带地区发起了大规模的造林运动^[1],对退化荒坡进行生态恢复,在此过程中,大量的针叶树种作为先锋树种被用于营造人工林^[2-3]。然而,这些主要以马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)为主的单一物种的针叶林容易加速土壤酸化,降低生物多样性和土壤肥力,并且易受病虫害的攻击^[4]。为了减少这些针叶人工纯林所带来的不利影响,许多不同功能型的树种(如速生树种和乡土珍贵树种,固氮树种和非固氮树种等)被用于改建人工林经营模式。而且越来越多的研究表明,不同树种对于土壤性质的影响是不同的,尤其是固氮与非固氮树种之间以及乡土树种与外来树种之间^[5-7]。

在我国广西凭祥地区,许多乡土阔叶树种,如格木(*Erythrophloeum fordii*)、红椎(*Castanopsis hystrix*)、西南桦(*Betula alnoides*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)等用于人工林的改建,这些乡土阔叶树种有利于增加森林生态系统的生物多样性和生态系统服务功能^[8-9]。除此之外,一些外来速生树种,如桉树(*Eucalyptus*)和相思(*Acacia*)等也用于森林恢复。但对于这些不同功能型树种用于改建人工林后,它们所在生态系统各组分碳氮储存及分配格局的研究还比较缺乏^[10-12]。而碳和氮是构成森林生态系统组分、维持养分循环和影响森林生态功能发挥的两个重要元素,其循环过程及其相互作用,对生态系统的生产力、固碳潜力以及稳定性都具有关键的影响作用^[13]。本文以南亚热带不同功能型人工林生态系统为对象,研究其碳氮储量及其分配格局,以揭示碳氮储存、分配格局与不同功能型树种之间的相互关系,旨在为该人工林营建中的树种选择、人工林生态系统生产力和固碳潜力、以及人工碳汇林的经营管理研究提供科学参考。

1 研究地点与方法

1.1 试验地概况

研究地点位于广西西南边陲的凭祥市境内中国林业科学研究院热带林业实验中心白云实验林场(22°06' N, 106°46' E)。该地区位于南亚热带季风气候区域内的西南部,属湿润半湿润气候。境内日照充足,降雨充沛,干湿季节分明;年均气温为 20.5—21.7 °C,平均月最低温度 12.1 °C,平均月最高温度 26.3 °C;年平均降水 1400 mm,主要发生在每年 4—9 月份;≥10 °C 活动积温 6000—7600 °C。主要地貌类型以低山丘陵为主,地带性土壤以红壤为主,主要由花岗岩风化形成^[14]。

选取格木、红椎和马尾松 3 种人工林为研究对象。格木人工林林冠较开阔,叶量较低,部分阳光可直达林下层,林下草本灌木较多,主要以杜茎山(*Maesa japonica*)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等为优势,盖度约 70%;红椎人工林林冠密闭,郁闭度很大,极少有直射光到达林下,林下极少有灌木植物(盖度约 < 10%),多以红椎更新幼苗为主,但落叶量很大,地表有很厚的未分解半分解落叶层;马尾松林林冠不密闭,林下有致密的草本植物,主要以蔓生莠竹(*Microstegium vagans*)、铁芒箕(*Dicranopteris dichotoma*)为优势,盖度约 90%。3 种人工林均是在马尾松人工林皆伐炼山后、经块状整地营建的人工纯林。林分基本情况见表 1。

表 1 实验林地概况

Table 1 Status of experimental plantations

人工林类型 Plantation types	林龄 Age/a	胸径 DBH /cm	密度 Stem density /(株/hm ²)	坡向 Slope aspect	坡度 Slope grade /(°)	郁闭度 Canopy density
格木 <i>Erythrophloeum fordii</i>	29	22.4±3.62	410	偏西	29	0.69
红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>	33	25.6±5.99	410	偏东	35	0.80
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	33	26.4±5.26	415	偏西	32	0.53

胸径为 mean±SD

1.2 研究方法

1.2.1 标准地建立与乔木生物量测算

在 3 种人工林中按坡位上、中、下分别随机设置 5 个 20 m × 20 m 的标准地。2011 年 10 月(树木生长末

期),对各标准地内的林木进行每木检尺,起测径级为 5 cm,测定并计算林分的平均树高、平均胸径和密度,其中格木林和马尾松林根据每木检尺结果,按平均胸径和平均树高选取标准木 10 株进行生物量测定。样木伐倒后,地上部分按分层切割法分器官测定生物量,地下部分则采用全根挖掘法测定生物量^[12,14]。红椎林则是根据刘恩等^[10]所建立的生物量预测模型直接估算林分叶、枝、干和根系等器官的生物量。

1.2.2 林下植被生物量、凋落物量的测定

在每个标准地内按梅花形布点设置 2 m×2 m、1 m×1 m 小样方各 5 块,采用“样方收获法”测定生物量^[15]。灌木层(2 m×2 m)和草本层(1 m×1 m)植物按地上部分和地下部分分别称其鲜重,凋落物(1 m×1 m)则取其混合物称鲜重,选取样品,在 80℃ 烘箱中烘干至恒重,计算其生物量。

1.2.3 样品的采集

2011 年 10 月在对标准地林分生物量测定的同时,分别采集乔木层不同器官(叶、枝、干和根系)、灌木层、草本层和凋落物层样品,经烘干、粉碎、过筛后,进行碳氮含量的测定。

在各林分的每个标准地内,按梅花形布点设置 5 个土壤采样点,沿土壤剖面按 0—10 cm、10—30 cm、30—50 cm、50—75 cm、75—100 cm 分层采集土壤样品,把相同标准地内同一层次土壤样品按质量比例混匀后带回实验室自然风干,粉碎过筛后进行碳氮含量的测定;同时在采集土壤剖面样品时用 100 cm³ 环刀取样,105℃ 下烘干至恒重,测定土壤容重。

1.2.4 碳氮含量的测定

植物和土壤样品中碳含量采用重铬酸钾-水合加热法测定,全氮含量采用凯氏法测定^[16]。

1.2.5 碳氮储量的测算

植被部分(包括乔木层、灌木层、草本层和凋落物层)碳氮储量采用每部分生物量与其碳、氮含量之积进行计算^[17]。

100 cm 土层碳氮储量 $S(\text{g}/\text{cm}^2)$ 采用以容重 $BD(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、C 或 N 含量 $C(\%)$ 及土层厚度 $T(\text{cm})$ 进行计算,其计算公式为^[18]:

$$S = BD \times C \times T$$

人工林生态系统碳氮储量则是根据乔木层、灌木层、草本层、凋落物层和土壤层碳氮储量之和进行计算。

1.2.6 数据处理

所有数据采用 SPSS18.0 和 Sigmaplot10.0 进行处理分析,不同人工林生态系统各结构层次碳氮含量、储量差异显著性采用一元方差及 LSD 多重比较进行分析,所有数据均呈正态分布。

2 结果与分析

2.1 生态系统不同结构层次的碳氮含量

2.1.1 乔木层各器官碳氮含量

由表 2 可以看出,在不同器官中,C 含量在 48.58%—56.61% 之间,且其分布与器官年龄(本研究主要指不同器官,如幼嫩器官叶、枝;老化器官干、根等)的关系不明显;N 含量变幅为 0.16%—3.62%,树叶中氮含量最高,且固氮树种格木不同器官的氮含量均显著高于红椎和马尾松($P<0.05$),且幼嫩器官中的氮含量显著大于老化器官($P<0.05$),说明氮含量与树木器官年龄和树种生理特性的关系较为明显^[19]。从 C/N 的变化情况来看,老化器官中的 C/N 比值大于幼嫩器官。各林分乔木层不同器官中的 C/N 比值的大小为:马尾松 > 红椎 > 格木,反映出非固氮树种的 C/N 比值大于固氮树种,针叶林的 C/N 比值大于阔叶林的一般特征。

2.1.2 林下植被和凋落物层碳氮含量

不同人工林林下植被其组成物种不同,其有机物合成和积累能力也不同,因而碳氮平均含量也存在一定的差异。从表 3 可以看出,不同林分下灌木层的碳氮平均含量在 43.22%—49.51%、0.58%—2.02% 之间;草本层在 35.94%—48.80%、0.64%—2.02% 之间;凋落物层在 46.19%—50.91%、0.97%—1.96% 之间,其中灌木层和草本层的地上部分碳氮含量均较地下部分高,格木林林下植被层氮含量较其它两种林分林下植被层

高。总体而言,不同林分林下植被层碳氮含量与各自乔木层碳氮含量的分配规律基本一致。

表2 不同林分乔木层各器官碳氮含量

Table 2 The concentration of C and N in different organs of tree layers under different plantations (mean±SE, n=5)

组分 Component	格木 <i>Erythrophleum fordii</i>		红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>		马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	
	C/%	N/%	C/%	N/%	C/%	N/%
树叶 Leaf	50.65±1.37	3.62±0.08	52.14±0.73	1.64±0.04	51.62±0.11	1.10±0.02
树枝 Branch	55.29±1.13	0.85±0.12	49.34±0.78	0.47±0.07	53.97±0.47	0.34±0.009
树干 Trunk	56.61±1.09	0.34±0.01	51.58±0.43	0.20±0.0003	55.67±0.03	0.16±0.03
树皮 Bark	52.63±0.18	1.87±0.13	48.58±1.16	0.47±0.02	55.56±0.27	0.20±0.01
树根 Root	54.49±2.04	0.75±0.04	49.99±0.16	0.41±0.03	53.40±0.34	0.35±0.03
平均 Mean	53.94±0.75	1.48±0.32	50.33±0.45	0.64±0.14	54.04±0.41	0.43±0.09

表3 林下植被、地表现存凋落物碳氮含量

Table 3 The concentration of C and N in understory vegetation and ground litter (mean±SE, n=5)

组分 Component	格木 <i>Erythrophleum fordii</i>		红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>		马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	
	C/%	N/%	C/%	N/%	C/%	N/%
灌木层 Shrub layer						
地上部分 Aboveground	47.50±0.82	2.02±0.20	48.69±0.03	1.18±0.05	49.51±0.22	1.27±0.04
地下部分 Underground	43.22±0.005	1.16±0.06	47.69±0.26	0.58±0.007	48.44±0.31	0.78±0.08
平均 Mean	45.36±0.41	1.59±0.11	48.18±0.14	0.88±0.03	48.97±0.04	1.03±0.06
草本层 Herb layer						
地上部分 Aboveground	48.78±0.31	2.02±0.21	48.80±0.81	1.49±0.10	47.25±0.07	1.42±0.22
地下部分 Underground	35.94±0.97	1.10±0.17	41.82±0.28	0.78±0.04	39.40±2.28	0.64±0.02
平均 Mean	42.36±0.58	1.56±0.19	45.31±0.54	1.14±0.04	43.33±1.10	1.03±0.12
地表现存凋落物 Ground litter	46.19±0.52	1.96±0.05	48.35±1.25	1.13±0.01	50.91±0.62	0.97±0.08

总的来看,3种人工林生态系统植被层各层次碳含量有较明显的层次规律。同一林分中各层次平均碳含量均是乔木层>灌木层>草本层。表现出随植物个体高度或组织木质化程度的降低,其碳素含量相应减少的趋势^[20]。而氮素含量则与其不一致,说明氮含量与器官年龄的关系较为明显($P<0.05$)。

2.1.3 土壤层碳氮含量

由表4可以看出,在格木、红椎和马尾松林分中,0—10 cm表层土有机碳及全氮含量显著高于下层土层含量($P<0.05$),但林分之间除表土层有机碳的含量差异不显著外,其它层次均表现为差异显著($P<0.05$);全氮含量则表现为固氮树种与非固氮树种人工林之间差异显著($P<0.05$)。无论有机碳还是全氮均随土壤深度的增加相应降低。对3种林分土壤全氮和有机碳含量进行相关分析表明,3种林分土壤全氮和有机碳含量之间存在显著的线性正相关(相关系数均为 $r^2>0.95$)。

表4 人工林不同土壤层碳氮含量

Table 4 The concentration of C and N in different soil layers of the plantations (mean±SE, n=5)

土壤层/cm	格木 <i>Erythrophleum fordii</i>		红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>		马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	
	C/(g/kg)	N/(g/kg)	C/(g/kg)	N/(g/kg)	C/(g/kg)	N/(g/kg)
0—10	23.50±1.15 Aa	2.10±0.13 Aa	22.89±0.04 Aa	1.44±0.04 Ba	22.15±0.54 Aa	1.41±0.05 Ba
10—30	14.39±0.49 Ab	1.38±0.006 Ab	17.61±0.38 Bb	1.09±0.03 Bb	11.62±0.29 Cb	1.06±0.05 Bb
30—50	7.52±0.17 Ac	1.04±0.03 Ac	14.32±0.27 Bc	1.00±0.03 Ab	6.72±0.15 Cc	0.59±0.05 Bc
50—75	6.40±0.12 Acd	1.04±0.03 Ac	10.59±0.23 Bd	0.81±0.004 Bc	5.37±0.17 Cd	0.54±0.04 Cc
75—100	5.42±0.17 Ad	0.96±0.02 Ac	8.66±0.14 Be	0.67±0.006 Bc	3.89±0.06 Cd	0.41±0.06 Cd

不同大写字母表示同一土层不同林分间差异显著,不同小写字母表示同一林分不同土层间差异显著($P<0.05$)

不同林分土壤全氮含量大小依次为格木>红椎>马尾松,而不同林分土壤有机碳的含量则与全氮含量

不一致,除表层(0—10 cm)土壤外,其它层次不同林分土壤有机碳的含量均表现为红椎 > 格木 > 马尾松,且红椎林土壤碳含量显著高于格木林和马尾松林($P<0.05$)。

2.2 生态系统碳氮储量及分配格局

2.2.1 植被和凋落物层碳氮储量及分配格局

从图 1、图 2 可以看出,乡土固氮树种格木人工林生态系统植被层碳储量要高于乡土阔叶树种红椎林和针叶树种马尾松林。且 3 种人工林生态系统植被层碳氮储量均表现为差异显著($P<0.05$)。其中,格木人工林生态系统植被层碳储量为 102.30 t/hm^2 ,红椎人工林生态系统植被层碳储量比格木人工林减少了 4.33%,而马尾松减少的幅度则较大,达 18.33%。植被层氮储量表现与碳储量基本一致,格木人工林生态系统植被层氮储量最高,为 1.34 t/hm^2 ,红椎次之,为 0.72 t/hm^2 ,马尾松仅为 0.45 t/hm^2 。

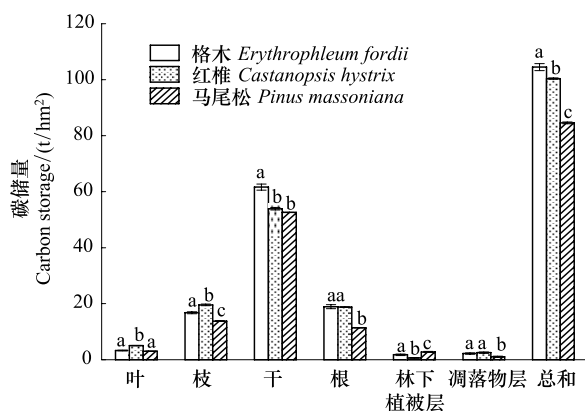


图 1 不同林分植被层各组分碳储量

Fig. 1 C storage of different components in different plantations

Leaf 为叶; Branch 为枝; Trunk 为干; Root 为根; Understory vegetation 为林下植被; Litter 为凋落物; Total 为总和;不同小写字母表示同一组分不同林分间差异显著($P<0.05$)

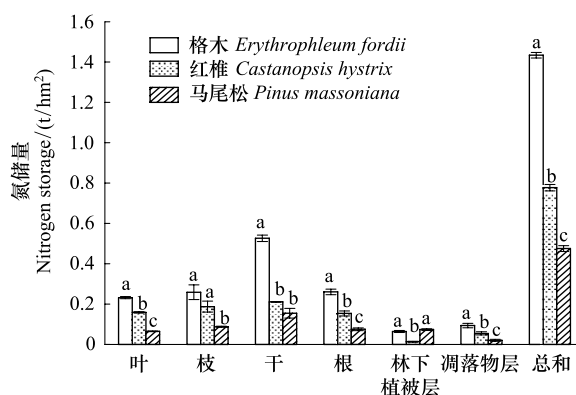


图 2 不同林分植被层各组分氮储量

Fig. 2 N storage of different components in different plantations

Leaf 为叶; Branch 为枝; Trunk 为干; Root 为根; Understory vegetation 为林下植被; Litter 为凋落物; Total 为总和;不同小写字母表示同一组分不同林分间差异显著($P<0.05$)

从各林分植被碳储量的分配格局来看,不同林分各结构层次碳储量的差异程度有所不同。乔木层作为森林生态系统重要组成部分,其碳储量占整个植被碳储量的 95% 以上,而树干又是乔木层碳储量的主体,其碳储量占乔木层碳储量的 55.44%—65.06%;从各林分植被氮储量的分配格局来看,植被氮储量同样主要集中在乔木层,占整个植被氮储量的 84% 以上,在乔木层各个器官中,氮储量的分配比例并不像碳储量分配的那么集中,相对来说比较分散,但仍以树干氮储量为主体,在各林分植被氮储量的 29.28%—39.25% 之间波动,占乔木层氮储量的比例处于 29.69%—41.09% 之间。

林下灌草以及凋落物对森林土壤的理化性质和微生物活性具有重要的调节作用^[21]。因此,森林的林下植被和凋落物现存量的变化对土壤碳氮储量具有一定的影响。从图 1、图 2 可以看出,格木林、红椎林和马尾松林林下植被层和凋落物层碳储量分别为 1.74 、 0.62 、 2.76 t/hm^2 和 2.18 、 2.52 、 1.02 t/hm^2 。而氮储量则分别为 0.064 、 0.013 、 0.073 t/hm^2 和 0.093 、 0.054 、 0.020 t/hm^2 。由此可见,红椎林下主要以凋落物层碳氮储量为主,马尾松林下主要以灌草碳氮储量为主,格木林下灌草和凋落物碳氮储量相当。这种差异主要是由不同树种的生理特性以及各自林下的环境特征所引起的。

从 3 种林分植被层碳氮储量的分配格局来看,3 种林分林下灌草和凋落物层碳储量占林分植被层碳储量的比例较小,分别为 0.06%—3.30% 和 1.23%—2.58%;而氮储量占林分植被层氮储量的比例则相对较大,分别为 1.83%—16.29% 和 4.47%—7.54%。

2.2.2 土壤层碳氮储量及分配格局

从图 3 和图 4 可以看出,红椎林的土壤碳储量要高于格木林和马尾松林,而格木林土壤氮储量高于红椎

林和马尾松林。不同林分土壤总碳氮储量存在显著差异($P<0.05$)。格木、红椎、马尾松 3 种人工林土壤碳储量分别为 131.73、167.45 t/hm^2 和 115.99 t/hm^2 ,氮储量则分别为 16.48、11.61 t/hm^2 和 10.11 t/hm^2 。

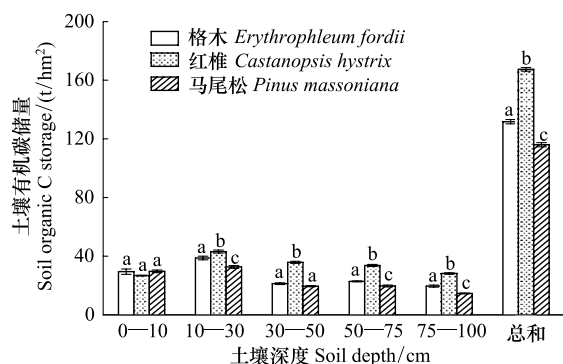


图3 土壤有机碳储量

Fig. 3 Organic C storage of soil in different soil depths

不同小写字母表示同一土层不同林分间差异显著($P<0.05$)

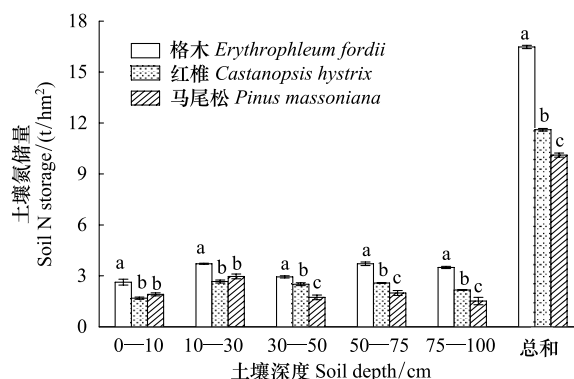


图4 土壤氮储量

Fig. 4 N storage of soil in different soil depths

不同小写字母表示同一土层不同林分间差异显著($P<0.05$)

从林地土壤碳氮储量的分配格局来看,3 种不同林分土壤碳氮储量的分配格局基本一致。林地表层(0—10 cm)土壤碳氮储量分别占土壤总碳氮储量的 15.97%—25.55% 和 14.51%—18.91%,10—30 cm 土层碳氮储量则分别占土壤总碳氮储量的 25.76%—29.39% 和 22.53%—29.31%,由此可以看出,0—30 cm 土层碳氮是土壤碳氮储量的主体,占土壤碳氮总储量的 41.73%—53.66% 和 37.48%—48.21%。

2.2.3 生态系统碳氮储量及其分配格局

由表 5 可见,乡土阔叶树种红椎林生态系统总碳储量要高于格木林和马尾松林,具体表现为:红椎林($267.84 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 格木林($236.22 \text{ t}/\text{hm}^2$) > 马尾松林($200.57 \text{ t}/\text{hm}^2$)。生态系统氮储量则以乡土阔叶树种格木林生态系统最高,其次是乡土阔叶树种红椎林,针叶树种马尾松林最小。

3 种人工林生态系统碳氮储量的分配格局基本一致,红椎和格木人工林生态系统均是土壤层 > 乔木层 > 凋落物层 > 林下植被层,马尾松人工林生态系统是土壤层 > 乔木层 > 林下植被层 > 凋落物层。其中土壤碳库占整个人工林生态系统总碳库的比例分别为 55.77%、62.52% 和 57.83%,分别是乔木层的 1.31 倍、1.72 倍和 1.44 倍;而土壤层氮储量占绝对优势,一般是总量的 92.00%—95.53%,其次是乔木层(3.59%—7.12%)。由此可见,3 种人工林生态系统碳氮储量主要集中在土壤层。

表 5 人工林生态系统碳氮储量及其分配格局

Table 5 The C and N storage and distribution pattern in different plantation ecosystems

组分 Component	格木 <i>Erythrophleum fordii</i>				红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>				马尾松 <i>Pinus massoniana</i>			
	C		N		C		N		C		N	
	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%
土壤层 Soil layer	131.73	55.77	16.48	92.00	167.45	62.52	11.61	93.72	115.99	57.83	10.11	95.53
乔木层 Tree layer	100.56	42.57	1.28	7.12	97.25	36.31	0.71	5.73	80.79	40.28	0.38	3.59
林下植被层 Understory vegetation	1.74	0.74	0.06	0.36	0.62	0.23	0.01	0.11	2.76	1.38	0.07	0.69
凋落物层 Litter layer	2.19	0.93	0.09	0.52	2.52	0.94	0.05	0.44	1.03	0.51	0.02	0.19
总计 Total	236.22	100	17.91	100	267.84	100	12.38	100	200.57	100	10.59	100

3 讨论与结论

在人工林生态系统中,不同林分乔木层各器官碳的分布与器官年龄的关系并不明显,说明作为构建植物器官的必要元素的碳具有相对稳定性。而不同器官组织氮含量的差异则与器官年龄关系较为密切,表现为幼嫩器官中的氮含量大于老化器官,老化器官中的 C/N 比值大于幼嫩器官,这与刘增文等^[19]和项文化等^[22]的

研究结果基本一致,另外谌小勇和潘维伟^[23]对会同县 18 年生杉木人工林生态系统中氮素的动态特征的研究也表明枝叶的氮含量与枝叶的龄级成反比,说明氮具有流动性,并且氮素对于幼嫩器官的生长具有重要作用。

土壤有机碳、氮含量主要受动植物残体、凋落物、植物根系、降雨和微生物分解作用以及树种等的影响,并且在一定程度上,土壤氮素的水平也会影响土壤中有机碳的含量^[24]。本研究中树种不同,其土壤有机碳和全氮含量具有显著差异,表土层有机碳和全氮含量均是乡土固氮树种格木林表现为最高,且高于广东鹤山外来固氮树种马占相思林(*Acacia mangium*)^[25],乡土阔叶树种红椎林土壤有机碳含量则高于鹤山乡土林木荷林(*Schima superba*)^[25]。说明乡土阔叶树种在本研究区是最具有潜力的土壤改良树种。

格木林、红椎林和马尾松林生态系统碳氮储量的分配格局均是土壤层 > 乔木层 > 凋落物层。这种分配格局与黄宇等^[26]、Finér 等^[17]的研究结果基本一致。另据阮宏华等人^[27]对亚热带苏南地区不同森林类型地上部分与地下部分碳储量之比的研究发现,40 年生栎林为 1:1.1,27 年生杉木林为 1:1.2;而黄宇等^[26]对 22 年生人工林的研究结果为:杉木纯林 1:1.53,杉木-火力楠(*Michelia macclurei*)混交林 1:1.55,火力楠纯林 1:2.0。本研究中几种人工林生态系统地上部分与地下部分碳储量之比格木林为 1:1.76,红椎林为 1:2.28,马尾松林为 1:1.74。显然广西亚热带地区这几种人工林类型地下部分碳储量与地上部分碳储量之比相对较高。说明这几种人工林生态系统地下部分碳储存能力较高。同时,红椎林生态系统碳储量高于我国森林生态系统平均碳储量 258.83 t/hm²^[28],说明红椎林生态系统固碳能力较高,尤以地下部分土壤层的高固碳能力为主。

森林土壤是森林生态系统的极重要的碳氮存储库,在平衡温室气体中发挥重要的作用^[29]。本研究中,格木林土壤层碳储量高于广东鹤山 20 年生马占相思林土壤层碳储量 114.62 t/hm²^[25],红椎林土壤层碳储量略低于广西 27 年生红椎林土壤层碳储量^[10]。3 种人工林土壤层碳储量均低于我国森林土壤平均碳密度 193.55 t/hm²^[28],其主要原因在于受亚热带良好水热条件的影响,亚热带土壤呼吸速率较大,加之植被对土壤中养分的大量吸收,造成土壤碳素积累较少^[28]。而两种阔叶林土壤层氮储量则高于我国亚热带常绿阔叶林区域土壤层氮密度 10.17 t/hm²,其中红椎林和马尾松林土壤层氮储量则略低于我国热带雨林季雨林区域土壤层氮密度 13.64 t/hm²^[30]。因此说明森林生态系统土壤层碳氮储量受土壤质地、树种和植被类型、气候带以及林龄等多个因素的影响^[17-18]。

根据方晰等人^[31]对湖南会同 22 年生的杉木林地土壤碳储量的研究,杉木林地 0—30 cm 土层碳储量占土壤总碳储量的 53.52%,Batjes^[32]对全球各类土壤 C 贮量的研究认为,0—30 cm 土层碳储量占土壤总碳储量的比例平均为 49%。另根据黄宇等人^[26]对不同人工林土壤氮储量的研究,林地土壤 0—40 cm 土层氮储量占 0—100 cm 的比例平均为 55.50%。本区格木林、红椎林和马尾松林土壤碳氮储量分配格局的研究结果表明,不同林分 0—30 cm 土层碳储量分别占土壤总碳储量的 51.73%、41.73% 和 53.66%,而 0—30 cm 土层氮储量分别占土壤总氮储量的 38.48%、37.48% 和 48.21%,与其它地区的研究结果基本一致。另外从结果中还可以看出马尾松林 0—30 cm 土层碳氮储量占土壤总碳氮储量的比例较高,说明格木林和红椎林深层土壤(30—100 cm)比马尾松林深层土壤具有更高的碳储存能力和养分供应能力,这也说明乡土阔叶树种更有利于土壤肥力的保持。

References:

- [1] Li Z A, Peng S L, Rae D J, Zhou G Y. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non-legumes. *Plant and Soil*, 2001, 229(1): 105-116.
- [2] Peng S L, Hou Y P, Chen B M. Vegetation restoration and its effects on carbon balance in Guangdong Province, China. *Restoration Ecology*, 2009, 17(4): 487-494.
- [3] Ren H, Shen W J, Lu H F, Wen X Y, Jian S G. Degraded ecosystems in China: status, causes, and restoration efforts. *Landscape and Ecological Engineering*, 2007, 3(1): 1-13.
- [4] Yu Z Y, Peng S L. Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1996.
- [5] Lal R. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3): 242-258.

- [6] Binkley D, Giardina C, Bashkin M A. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia jacaltaria*. *Forest Ecology and Management*, 2000, 128(3): 241-247.
- [7] Russell A E, Raich J W, Valverde-Barrantes O J, Fisher R F. Tree species effects on soil properties in experimental plantations in tropical moist forest. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(4): 1389-1397.
- [8] Carnevale N J, Montagnini F. Facilitating regeneration of secondary forests with the use of mixed and pure plantations of indigenous tree species. *Forest Ecology and Management*, 2002, 163: 217-227.
- [9] Liang R L. Current situation of Guangxi indigenous broadleaf species resource and their development counter-measures. *Guangxi Forestry Science*, 2007, 36(1): 5-9.
- [10] Liu E, Wang H, Liu S R. Characteristics of carbon storage and sequestration in different age beech (*Castanopsis hystrix*) plantations in south subtropical area of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(2): 335-340.
- [11] Ming A G, Jia H Y, Tao Y, Lu L H, Su J M, Shi Z M. Biomass and its allocation in a 28-year-old *Mytilaria laosensis* plantation in southwest Guangxi. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(5): 1050-1056.
- [12] He B, Liu Y H, Yu H G, Qin W M, Wei S H, Cai S W. Carbon density and storage of *Acacia mangium* plantation ecosystem in Nanning, Guangxi. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(2): 6-11.
- [13] Reich P B, Hobbie S E, Lee T, Ellsworth D S, West J B, Tilman D, Knops J M H, Naeem S, Trost J. Nitrogen limitation constrains sustainability of ecosystem response to CO₂. *Nature*, 2006, 440(7086): 922-925.
- [14] 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.
- [15] Li H T, Wang S N, Gao L P, Yu G R. The carbon storage of the subtropical forest vegetation in central Jiangxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 693-704.
- [16] Liu G S. Observation and standard analysis method of Chinese Ecosystem Research Network: Physiochemical analysis and profile description of soil. Beijing: China Standard Press, 1996.
- [17] Finér L, Mannerkoski H, Piirainen S, Michael S. Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 2003, 174(1/3): 51-63.
- [18] Luo T S, Chen B F, Chen Y F, Yang Y C, Yang X S, Li D J. Variation of the soil carbon and nitrogen for initial stage after the felling in tropical montane rainforest of Bawangling, Hainan Island. *Forest Research*, 2000, 13(2): 123-128.
- [19] Liu Z W, Wang N J, Li Y S, Lü Y L. Nutritional principle of forest ecosystem stability. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science)*, 2007, 34(12): 129-134.
- [20] 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.
- [21] Yang Y S, Guo J F, Lin P, He Z M, Xie J S, Chen G S. Carbon and nutrient pools of forest floor in native forest and monoculture plantations in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 359-367.
- [22] Xiang W H, Tian D L. Nutrient cycling in *pinus massoniana* stands of different age classes. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(1): 89-95.
- [23] Chen X Y, Pan W C. Dynamic properties of nitrogen in the Chinese fir plantation ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1989, 9(3): 201-206.
- [24] Su Y Z, Zhao H L. Advances in researches on soil organic carbon storages, affecting factors and its environmental effects. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(3): 220-228.
- [25] Li Y L, Hu C Z, Zhang Y, Wen J Z. Studies of the carbon storages of soils under the different kinds of plantations. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2004, 31(4): 4-7.
- [26] 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 ecosystem of Chinese-fir, *Michelia macclurei* and their mixture. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3146-3154.
- [27] Ruan H H, Jiang Z L, Gao S M. Study on carbon cycling of major forest types in South Jiangsu: content and distribution. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(6): 17-21.
- [28] 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.
- [29] Thompson J A, Kolka R K. Soil carbon storage estimation in a forested watershed using quantitative soil-landscape modeling. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(4): 1086-1093.
- [30] Zhang C N, Yan X D, Yang J H. Estimation of nitrogen reserves in forest soil of China. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2004, 26(5): 572-575.
- [31] Fang X, Tian D L, Xiang W H. Effects of different management patterns on soil carbon storage of the deforested lands in Chinese fir plantation. *Journal of Central South Forestry University*, 2004, 24(1): 1-5.

- [32] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47(2): 151-163.

参考文献:

- [4] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究. 广州: 广东科技出版社, 1996.
- [9] 梁瑞龙. 广西乡土阔叶树种资源现状及其发展对策. *广西林业科学*, 2007, 36(1): 5-9.
- [10] 刘恩, 王晖, 刘世荣. 亚热带不同林龄红锥人工林碳贮量与碳固定特征. *应用生态学报*, 2012, 23(2): 335-340.
- [11] 明安刚, 贾宏炎, 陶怡, 卢立华, 苏建苗, 史作民. 桂西南 28 年生米老排人工林生物量及其分配特征. *生态学杂志*, 2012, 31(5): 1050-1056.
- [12] 何斌, 刘运华, 余浩光, 秦武明, 韦善华, 蔡树威. 南宁马占相思人工林生态系统碳素密度与贮量. *林业科学*, 2009, 45(2): 6-11.
- [14] 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.
- [15] 李海涛, 王珊珊, 高鲁鹏, 于贵瑞. 赣中亚热带森林植被碳储量. *生态学报*, 2007, 27(2): 693-704.
- [16] 刘光崧主编. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法——土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [18] 骆士寿, 陈步峰, 陈永富, 杨彦臣, 杨秀森, 李大江. 海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳氮储量. *林业科学研究*, 2000, 13(2): 123-128.
- [19] 刘增文, 王乃江, 李雅素, 吕月玲. 森林生态系统稳定性的养分原理. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(12): 129-134.
- [20] 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.
- [21] 杨玉盛, 郭剑芬, 林鹏, 何宗明, 谢锦升, 陈光水. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库. *生态学报*, 2004, 24(2): 359-367.
- [22] 项文化, 田大伦. 不同年龄阶段马尾松人工林养分循环的研究. *植物生态学报*, 2002, 26(1): 89-95.
- [23] 湛小勇, 潘维涛. 杉木人工林生态系统中氮素的动态特征. *生态学报*, 1989, 9(3): 201-206.
- [24] 苏永中, 赵哈林. 土壤有机碳储量, 影响因素及其环境效应的研究进展. *中国沙漠*, 2002, 22(3): 220-228.
- [25] 李跃林, 胡成志, 张云, 文锦柱. 几种人工林土壤碳储量研究. *福建林业科技*, 2004, 31(4): 4-7.
- [26] 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.
- [27] 阮宏华, 姜志林, 高苏铭. 苏南丘陵主要森林类型碳循环研究——含量与分布规律. *生态学杂志*, 1997, 16(6): 17-21.
- [28] 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.
- [30] 张春娜, 延晓冬, 杨剑虹. 中国森林土壤氮储量估算. *西南农业大学学报*, 2004, 26(5): 572-575.
- [31] 方晰, 田大伦, 项文化. 不同经营方式对杉木林采伐迹地土壤 C 储量的影响. *中南林学院学报*, 2004, 24(1): 1-5.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

- Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
- Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
- Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP) LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
- Progress and perspectives of ecosystem services management ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
- Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
- Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
- Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
- Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
- Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
- Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
- Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
- Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
- Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
- Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
- Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

- The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation DONG Ying, SHI Lei (809)
- Ecological protection and well-being LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
- An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

- Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
- The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
- Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
- Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of *Eucalyptus* ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
- Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pterocarya stenoptera* seedlings to submergence and drought alternation WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元