

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 10 期 Vol.33 No.10 **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 10 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

福建长汀水土保持专题

- 福建省长汀县水土流失区的时空变化研究——“福建长汀水土保持”专题序言 徐涵秋 (2945)
- 福建省长汀县河田盆地近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析 徐涵秋 (2946)
- 福建省长汀县河田水土流失区植被覆盖度变化及其热环境效应 徐涵秋, 何 慧, 黄绍霖 (2954)
- 红壤侵蚀地马尾松林恢复后土壤有机碳库动态 何圣嘉, 谢锦升, 曾宏达, 等 (2964)
- 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地土壤侵蚀定量研究 杨冉冉, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2974)
- 南方红壤水土流失区土地利用动态变化——以长汀河田盆地为例 林 娜, 徐涵秋, 何 慧 (2983)
- 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例 黄绍霖, 徐涵秋, 林 娜, 等 (2992)
- 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变——以福建省长汀县为例 陈志强, 陈志彪 (3002)

前沿理论与学科综述

- 土壤有机质转化及 CO₂ 释放的温度效应研究进展 沈征涛, 施 斌, 王宝军, 等 (3011)
- 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 等 (3020)

个体与基础生态

- 岩溶区不同植被下土壤水溶解无机碳含量及其稳定碳同位素组成特征 梁 轩, 汪智军, 袁道先, 等 (3031)
- 黄脊雷鳉越冬卵的滞育发育特性 朱道弘, 陈艳艳, 赵 琴 (3039)
- 香港巨牡蛎与长牡蛎种间配子兼容性 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等 (3047)

种群、群落和生态系统

- 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区鸟类群落结构与多样性 王 斌, 彭波涌, 李晶晶, 等 (3056)
- 采伐对长白山阔叶红松林生态系统碳密度的影响 齐 麟, 于大炮, 周旺明, 等 (3065)
- 胶州湾近岸浅水区鱼类群落结构及多样性 徐宾铎, 曾慧慧, 薛 莹, 等 (3074)
- 黄河口盐地碱蓬湿地土壤-植物系统重金属污染评价 王耀平, 白军红, 肖 蓉, 等 (3083)
- 不同起始状态对草原群落恢复演替的影响 杨 晨, 王 炜, 汪诗平, 等 (3092)
- 施肥梯度对高寒草甸群落结构、功能和土壤质量的影响 王长庭, 王根绪, 刘 伟, 等 (3103)
- 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理 高福元, 赵成章 (3114)
- 藏东南色季拉山西坡土壤有机碳库研究 马和平, 郭其强, 刘合满, 等 (3122)
- 灵石山不同海拔米槠林优势种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值与叶属性因子的相关性 王英姿 (3129)
- 西门岛人工秋茄林恢复对大型底栖生物的影响 黄 丽, 陈少波, 仇建标, 等 (3138)
- 喀斯特峰丛洼地土壤剖面微生物特性对植被和坡位的响应 冯书珍, 苏以荣, 秦新民, 等 (3148)
- 青藏高原高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系 徐满厚, 薛 娴 (3158)

景观、区域和全球生态

近 60 年挠力河流域生态系统服务价值时空变化..... 赵 亮,刘吉平,田学智 (3169)

基于系统动力学的雏菊世界模型气候控制敏感性分析..... 陈海滨,唐海萍 (3177)

资源与产业生态

主要气候因子对麦棉两熟棉花产量的影响..... 韩迎春,王国平,范正义,等 (3185)

低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应..... 姜丽娜,杨文斌,卢 琦,等 (3192)

不同土地利用方式土下岩溶溶蚀速率及影响因素..... 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等 (3205)

农地保护的外部效益测算——选择实验法在武汉市的应用 陈 竹,鞠登平,张安录 (3213)

研究简报

温度、投饵频次对白色霞水母无性繁殖与螅状体生长的影响 孙 明,董 婧,柴 雨,等 (3222)

内蒙古达赉湖西岸地区大鸕巢穴特征和巢址选择..... 张洪海,王 明,陈 磊,等 (3233)

红外相机技术在鼠类密度估算中的应用..... 章书声,鲍毅新,王艳妮,等 (3241)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-05



封面图说: 色季拉山的长苞冷杉和高山杜鹃林——色季拉山高海拔处的植被主要有长苞冷杉、林芝云杉和高山杜鹃等,再高海拔地区则分布有高山灌丛、草甸等。长苞冷杉为我国特有种,属松科常绿乔木,分布于西藏东南部高山地带。树高可达 40m,树皮暗褐色,针叶较短;其球果圆柱形,直立。长苞冷杉的形态独特,与分布区内多种冷杉有密切的亲缘关系,和云杉、杜鹃的分布也彼此交叠。随着色季拉山体海拔的升高,区域气候对于山地土壤从黄壤至棕色森林土、直至高山草甸土的完整发育,以及对森林生态系统类型的形成都产生直接而深刻的影响。

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/stxb201201160097

黄绍霖, 徐涵秋, 林娜, 曾宏达, 刘智才, 陈文惠, 王琳, 杨冉冉. 亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算——以长汀河田盆地为例. 生态学报, 2013, 33(10): 2992-3001.

Huang S L, Xu H Q, Lin N, Zeng H D, Liu Z C, Chen W H, Wang L, Yang R R. Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 2992-3001.

亚热带地区马尾松林碳储量的遥感估算 ——以长汀河田盆地为例

黄绍霖¹, 徐涵秋^{1,*}, 林娜¹, 曾宏达^{1,2}, 刘智才¹,
陈文惠², 王琳¹, 杨冉冉¹

(1. 1. 福州大学环境与资源学院, 福州大学遥感信息工程研究所, 福建省水土流失遥感监测评估与灾害防治重点实验室, 福州 350108;

2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 全球气候的变化已使得人类日益关注森林生态系统的碳储量变化。以福建省长汀县河田盆地为例, 开展马尾松林碳储量估算模型的研究。通过 2010 年的野外样地调查获得了马尾松林的实测数据, 并将其与同年的 ALOS 遥感影像对应样地的植被光谱信息进行比较。通过研究 5 种遥感植被指数与马尾松林碳储量之间的相关关系, 从中选取了基于归一化植被指数 (NDVI) 的研究区最佳马尾松林碳储量反演模型。精度分析表明, 该模型平均相对误差为 -1.95%, 均方根误差为 3.01 t/hm², 因此可以有效地用于反演研究区马尾松林碳储量。利用该模型反演出河田盆地 2010 年马尾松林的总碳储量为 114.58×10⁴ t, 碳密度为 34.92 t/hm²。

关键词: 遥感; 马尾松; 碳储量; 长汀

Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China

HUANG Shaolin¹, XU Hanciu^{1,*}, LIN Na¹, ZENG Hongda^{1,2}, LIU Zhicai¹, CHEN Wenhui², WANG Lin¹, YANG Ranran¹

1 College of Environment and Resources, Fuzhou University; Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University; Fujian Provincial Key Laboratory of Remote Sensing of Soil Erosion and Disaster Protection, Fuzhou University; Fuzhou 350108, China

2 College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: The global climate change has led to an increasing concern about the dynamics of the carbon storages of the forest ecosystem. In the past a few decades, remote sensing technology has been frequently applied in measuring forests' carbon storage on various scales. Nevertheless, little work has been done in the estimation of the carbon storage of the masson's pine, which is a widespread pine species in central and southern China. Therefore, this paper aims to develop a model based on remote sensing technology to estimate the carbon storage of *Pinus massoniana* forest using the case of the Hetian Basin in County Changting, Fujian province, southeastern China. We have carried out field measurements with 50 sampling sites in November 2010, in order to acquire basic data of *Pinus massoniana* forest in the study area. Each sampling site has a size of 20×20m to match the pixel size of remote sensing imagery. The field-acquired data were correlated with the corresponding vegetation spectral information derived from a near-synchronized Advanced Land Observing Satellite (ALOS)

基金项目: 教育部创新团队项目 (IRT0960); 福州大学科技发展基金 (600369)

收稿日期: 2012-01-16; **修订日期:** 2012-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hxu@fzu.edu.cn

image. To examine whether the image needs to be radiometrically corrected before it can be used for the task, the ALOS image was radiometrically corrected with the ICM and IACM models respectively. The difference between the two models lies in the latter corrects not only solar illumination and terrain effects but also atmospheric effects. Five vegetation indices were then derived from the ICM- and IACM-corrected images, as well as the original DN-based image. This is to determine which index would be most suitable for estimating the carbon storage of *Pinus massoniana* forest in the area. The five indices used are the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Difference Vegetation Index (DVI), the Perpendicular Vegetation Index (PVI), the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), and the Soil Adjusted Ratio Vegetation Index (SARVI). By studying the agreement between the field-measured data and the data of the five selected vegetation indices derived from the ALOS image using regression analysis, the IACM-corrected NDVI data with an exponential regression model appeared to have the highest degree of agreement with the field data and thus was utilized to calculate the carbon storage of *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin area. Accuracy assessment revealed that the model-estimated data were strongly correlated with field-measured data, suggested by a R^2 of 0.979, a root mean square error of $3.01\text{t}/\text{hm}^2$, and a relative error of -1.95% . The estimated data show a slight underestimate by 2% when compared with the measured data. This suggests that the remote-sensing based model can be effectively used for estimating the carbon storage of the *Pinus massoniana* forest in the study area. Nevertheless, an atmosphere correction for the remote sensing image should be carried out before it can be put in use, because this study has confirmed that the IACM-corrected data, which has been radiometrically corrected for atmosphere effects, can significantly improve the precision of the estimated results. Based on the retrieved estimate model, the carbon storage of *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin in 2010 was revealed, which was $114.58 \times 10^4\text{t}$ in total, with a density of $34.92\text{t}/\text{hm}^2$.

Key Words: remote sensing; *Pinus massoniana*; carbon storage; Changting

森林生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,它对全球的气候变化有着举足轻重的作用。随着全球气候变化影响的加剧,森林生态系统所具有的强大的碳汇能力日益受到国际社会的广泛关注。森林生态系统中植被所固定的碳量约占陆地植被总固碳量的 82.5% ^[1],是森林固碳能力的重要标志,也是评估森林碳收支的主要参数^[2-3]。因此,准确估算森林碳储量对全球碳汇和碳循环的研究以及全球气候变化的理解有着举足轻重的作用。

当前,森林碳储量的估算主要以森林生物量为基础,国际上通常用生物量乘以含碳系数来计算碳储量^[4]。传统的区域生物量估算通常采用样地清查法,但该方法费时费力,成本高昂,而且只限于小面积。因此,对于大面积的森林生物量估算,必须借助遥感手段,因为遥感影像的光谱信息具有良好的综合性和现势性,与森林的生物量之间存在较好的相关性^[5-6]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)强调利用影像光谱信息与生物量的相关关系来估测森林的生物量^[3]。因此,国内外学者对基于遥感技术的森林生物量、碳储量估算展开了较多的研究。Lefsky 等利用激光雷达遥感数据估算了美国寒温带针叶林、温带针叶林和温带落叶林这 3 类森林生态系统的生物量,研究表明利用遥感技术估算森林生物量具有快速、准确的优势^[7]。Foody 等基于 Landsat TM 数据的 10 种植被指数,采用多元回归分析和神经网络方法估算了巴西、马来群岛和泰国 3 个区域的生物量,结果发现利用神经网络结合遥感技术估算森林生物量的方法精度最高^[8]。Zheng 等应用 Landsat ETM+数据的植被指数估算了美国威斯康星州北部森林的地上生物量,研究表明将阔叶林与针叶林分开建模能提高生物量估算的精度^[9]。Myeong 等采用 TM/ETM+影像的 NDVI 数据与对应样地的碳储量数据建立了美国雪城的森林碳储量预测模型,结果显示遥感技术在定量监测城市森林碳储量变化方面具有明显的优势^[10]。方精云等利用 GIMMS 卫星的 NDVI 数据计算了 1982—1999 年间中国草地的碳汇及其时空变化,并将其与森林的碳汇进行比较,结果表明中国草地单位面积的碳汇能力实际上仅相当于森林的 $1/30$ ^[11]。Meng 等利用样地调查数据和 ETM+的 NDVI 数据,分别采用基于相对生长模型的线性固定影响模型和线性混合影

响模型估算森林生物量,研究表明线性混合影响模型的效果最佳^[12]。Anaya 等利用 MODIS 的增强植被指数 (EVI) 数据和植被覆盖数据估算了哥伦比亚的植被生物量,结果显示次生林的生物量密度远低于原始林^[13]。汪少华等利用临安市森林资源清查数据和 TM 影像数据对该市的森林碳储量及其分布进行了模拟,研究发现人工神经网络在对大范围森林碳估算与模拟上具有较好的效果^[14]。可以看出,随着遥感技术的发展,多源遥感数据已经作为一种替代手段来定量分析森林碳储量。利用遥感技术估算森林生物量已成为当前大面积森林生物量/碳储量估算的首选方法。

尽管森林碳储量遥感估算已经开展了较多的研究,但是针对马尾松林的碳储量遥感估算模型还很少见。因此本次研究选择福建省长汀县河田盆地为研究区,开展马尾松林碳储量估算模型的研究。由于福建省是我国森林覆盖率最高的省份,而马尾松林又是我国南方最具代表性的森林类型之一。因此对其碳储量模型的研究,有助于福建省乃至我国森林碳储量的准确估算,并可以为我国森林碳汇研究提供马尾松林的基础数据。

1 研究区概况

福建省长汀县河田盆地位于福建省西部(东经 116°16′—116°34′,北纬 25°30′—25°44′),面积约 775.40 km²(图 1)。研究区属亚热带季风气候,年平均气温 18.3 °C,年降雨量 1500—1700 mm。土壤类型以红壤为主。研究区的植被主要为马尾松林,占研究区森林面积的 58%,其它的为木荷、杨梅、板栗和油茶等。

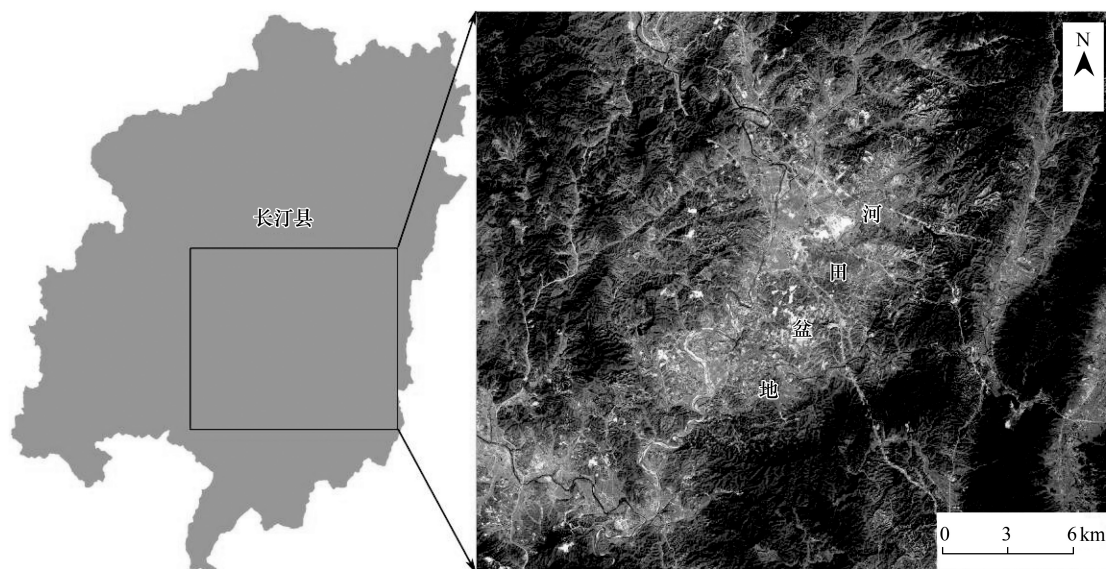


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

2 数据与方法

2.1 样地数据获取及样地碳储量计算

于 2010 年 11 月在野外实地调查马尾松林样地 50 块。样地选在地表覆盖较均质的地段,大小均为 20 m×20 m。使用差分 GPS 准确记录样地的中心位置。马尾松林样地采用每木测量法,观测内容包括:树种、胸径和树高(附录)。

首先基于实测马尾松的树高和胸径,利用福建省马尾松二元立木材积表^[15]计算出马尾松的蓄积量,并计算出马尾松林样地的平均蓄积量:

$$\bar{V} = V/S \quad (1)$$

式中, $\bar{V}$ 为马尾松林样地的平均蓄积量(m³/hm²); V 为样地内马尾松的总蓄积量(m³); S 为样地面积(hm²)。

根据方精云等^[16]确立的马尾松平均蓄积量与平均生物量之间的关系式,进一步计算马尾松林样地的单位面积平均地上生物量:

$$B = 0.5101\bar{V} + 1.0451 \quad (2)$$

式中, B 为平均地上生物量(t/hm^2)。

马尾松林碳储量以马尾松林生物量乘以含碳系数来计算:

$$C = B \times C_c \quad (3)$$

式中, C 为马尾松林碳储量(t/hm^2); C_c 为含碳系数。

国际上通常采用的含碳系数为 0.5^[4], 但李海奎等全面研究国内主要树种提出的含碳系数^[17]更有针对性, 所以本研究选用其提出的马尾松含碳系数(0.4596)来进行计算, 以提高马尾松林的碳储量估算精度。

2.2 遥感数据预处理

本研究选用 2010 年 12 月 29 日的 ALOS 多光谱影像, 其预处理包括:

(1) 几何校正 首先根据研究区的形状和位置, 选出 47 个地面控制点(GCP), 利用高精度的 GPS 通过差分求出各控制点精确的坐标值, 然后采用二次多项式进行坐标转换, 选择能保持变换后影像光谱信息不失真的最邻近插值法进行象元重采样, 校正后的均方根误差小于 0.5 个象元。

(2) 辐射校正 卫星传感器所接收到的目标地物的反射会受到太阳高度、地形及大气条件等因素的影响而导致光谱信号的失真^[18]。Liang 等的研究表明, 辐射校正能有效提高植被参数的反演精度^[19]。因此, 需要对影像进行辐射校正。本研究采用美国地质调查局、美国宇航局采用的辐射校正技术将原始影像的灰度值(DN)转换为象元在卫星传感器处的反射率来进行辐射校正。徐涵秋^[20]将这项技术归纳为日照差异校正模型(ICM)和日照大气综合校正模型(IACM)。二者的区别在于后者除了对日照、地形条件的差异进行了校正外, 还进行了大气校正。本次研究分别用这两种模型对原始影像进行辐射校正, 旨在考察大气校正与否是否会真正影响生物量和碳储量的估算。

对于 ALOS 影像, 可以用以下公式将其 DN 值转换为传感器处的光谱辐射值^[21]:

$$L_i = A \times DN_i + B \quad (4)$$

式中, L_i 为光谱辐射值($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); i 为波段值; DN 为象元的灰度值; A 为波段 i 的增益值, B 为波段 i 的偏置值。参数 A 和 B 参见文献^[22]。

分别采用 ICM 和 IACM 模型进一步计算象元在卫星传感器处的反射率, ICM 公式为^[20]:

$$\rho_i = \frac{\pi d^2 \cdot L_i}{\text{ESUN}_i \cdot \cos\theta} \quad (5)$$

IACM 模型是在 ICM 模型的基础上, 进一步引进了 Chavez 的 COST 模型^[23]来进行大气校正^[24], 其公式为:

$$\rho_i = \frac{\pi d^2 \cdot (L_i - L_h)}{\text{ESUN}_i \cdot \cos\theta} \quad (6)$$

式中, ρ_i 为象元在传感器处的反射率; d 为日地天文单位距离, 参见文献^[25]中获得; ESUN_i 为大气顶部的平均太阳辐照度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), 参见文献^[22]; L_h 就是大气影响的修正值, 即各波段对应的最暗象元在传感器处的光谱辐射值; θ 为太阳天顶角。

2.3 马尾松林信息的提取

为获得长汀河田盆地马尾松林的分布位置和面积等信息, 需要对影像进行分类。以野外实地调查资料和林业部门的森林小班图为依据, 采用最大似然法对研究区的土地利用类型进行分类, 并对分类结果进行验证和修正(Kappa 系数为 0.759, 总分类精度达 88.4%), 然后将分为马尾松类别的信息提取出来, 并进行统计, 从而获得研究区马尾松林的分布位置和面积(图 2)。

2.4 遥感因子的选择

由于植被指数比单波段的光谱信息在探测生物量方面具有更高的灵敏性^[26], 因此, 为了考察遥感影像的光谱信息与马尾松林碳储量的关系, 找出反映二者关系的最佳遥感因子来建立模型, 本文选取了由 ALOS 影

像多光谱波段构成的 5 种植被指数来作为遥感因子(表 1)。

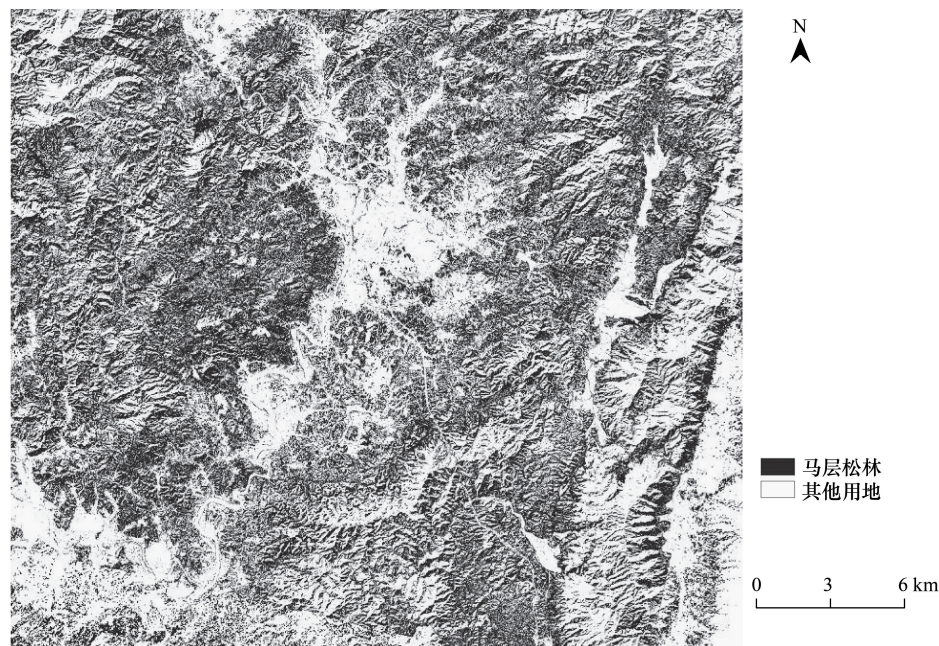


图 2 研究区马尾松林分布图
Fig. 2 Spatial distribution of *Pinus massoniana* in the study area

表 1 所选用的植被指数
Table 1 The used vegetation indices

名称 Name	公式 Formula	参考文献 Reference
差值植被指数 Difference Vegetation Index, DVI	$NIR - Red$	[27]
归一化植被指数 Normalized Difference Vegetation Index, NDVI	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	[28]
垂直植被指数 Perpendicular Vegetation Index, PVI	$(NIR - 0.96916 * Green - 0.084726) / 1.392577$	[27]
土壤调整比值植被指数 Soil Adjusted Ratio Vegetation Index, SARVI	$NIR / (Green + 0.087422)$	[27]
土壤调节植被指数 Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI	$(NIR - Red)(1 + L) / (NIR + Red + L)$	[29]

Green、Red 和 NIR 分别是 ALOS 影像的绿光波段、红光波段和近红外波段; L 为土壤调节系数

2.5 马尾松林碳储量估算

利用公式(1)—(3)计算了 50 个样地的马尾松林的碳储量,然后随机选取了其中的 45 个样地的碳储量作为建模数据,剩余的 5 个样地用以验证模型精度。

分别用 ALOS 影像的原始 DN 数据和经 ICM、IACM 校正的数据对 45 个样地的马尾松林碳储量就表 1 的 5 个遥感因子进行相关性分析。首先将各遥感因子与各样地对应的象元提取出来,然后选用线性、对数、指数、乘幂、二次多项式等多种回归模型来求出各遥感因子与马尾松林碳储量的最佳回归方程和决定系数(表 2, 模型均通过 0.001 的显著性检验),从中选取最佳反演模型来估算研究区马尾松林的碳储量。

从表 2 可以看出,与未经辐射校正的原始 DN 影像数据相比,用 ICM 或 IACM 校正的影像数据建立的碳储量最佳反演模型的拟合精度都有很明显的提高,其中又以 IACM 数据的 NDVI 指数模型的拟合效果最好(图 3),其 R^2 值达到 0.746,大于 ICM 数据 NDVI 指数模型的 0.525 和 DN 数据 NDVI 指数模型的 0.496(表 2)。这表明,植被碳储量准确估算的前提是必须对影像进行辐射校正,不能使用未经校正的原始 DN 数据;而进行大气校正后的 IACM 数据又比只做地形—日照校正的 ICM 数据的效果会更好。其原因是由于大气对组成 NDVI 植被指数的红光与近红外波段有不同的衰减幅度,从而导致了 NDVI 发生变化^[30]。而 IACM 模型引入了大气校正因子,减弱了大气效应的影响,所以其拟合精度得到了进一步提高。从所选的 5 个遥感指数因

子来看,基于 NDVI 建立的模型的拟合精度总体上要好于基于其它 4 个因子建立的模型的拟合精度。因此本研究选用基于 IACM 的 NDVI 数据建立的模型作为最佳模型来反演研究区的马尾松林的碳储量:

$$C = 0.0328e^{10.509 \text{ NDVI}} \quad (7)$$

表 2 马尾松林碳储量反演模型

Table 2 Models for retrieving the carbon storage of *Pinus massoniana* forest

植被指数 Vegetation indices	原始 DN 灰度值数据 DN-based data		经 ICM 校正的反射率数据 ICM-corrected data		经 IACM 校正的反射率数据 IACM-corrected data	
	最佳回归方程	R^2	最佳回归方程	R^2	最佳回归方程	R^2
DVI	$y = 1.7236e^{0.0826x}$	0.283	$y = 2.0719e^{10.835x}$	0.060	$y = 2.0485e^{10.835x}$	0.060
NDVI	$y = 0.8376e^{12.635x}$	0.496	$y = 0.0509e^{13.813x}$	0.525	$y = 0.0328e^{10.509x}$	0.746
PVI	$y = 3.8478e^{0.0962x}$	0.086	$y = 4.182e^{23.54x}$	0.064	$y = 11442x^2 - 1070.1x + 39.377$	0.049
SARVI	$y = 273.81x^2 - 587.49x + 326.36$	0.116	$y = 149.73x^2 - 325.72x + 192.58$	0.047	$y = 80.51x^2 - 207.56x + 147.72$	0.062
SAVI	$y = 0.8388e^{10.543x}$	0.495	$y = 0.2083e^{13.069x}$	0.293	$y = 0.1074e^{12.465x}$	0.384

2.5 反演模型的预测精度分析

为了检验反演模型的精度,利用建模时随机抽取后剩余的 5 个样地的马尾松林碳储量的实测值与模型预测值进行验证,并用决定系数 R^2 、相对误差 RE 和均方根误差 $RMSE$ 这 3 个指标进行定量精度分析(图 4)。 RE 和 $RMSE$ 的计算公式如下:

$$RE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{Est,i} - C_{Obs,i}}{C_{Obs,i}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{Est,i} - C_{Obs,i})^2}{n}} \quad (9)$$

式中, $C_{Est,i}$ 、 $C_{Obs,i}$ 分别表示第 i 个样地的马尾松林碳储量的预测值和实测值, n 是样本总量。

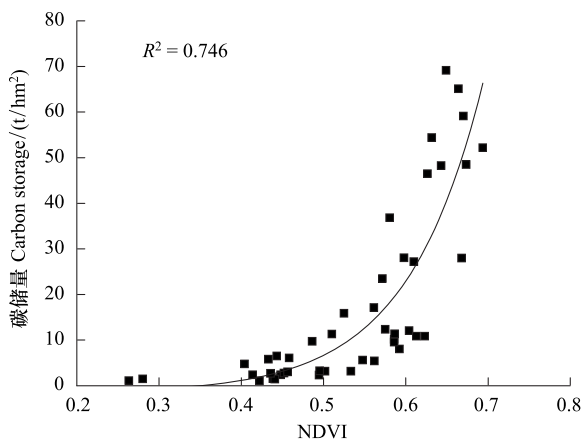


图 3 IACM 校正影像的 NDVI 数据与马尾松林碳储量的回归分析

Fig. 3 Regression analysis between the carbon storage of *Pinus massoniana* and the NDVI data derived from IACM-corrected data

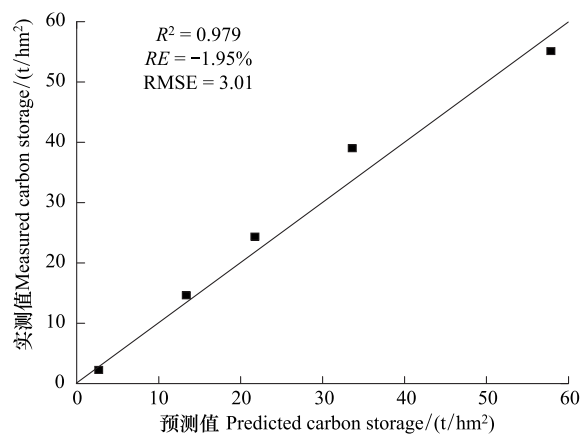


图 4 马尾松林碳储量的实测值和预测值统计比较

Fig. 4 Comparison between measured and predicted carbon storage of *Pinus massoniana*

从图 4 可以看出,所获得的反演模型具有较高的精度。这表现在检验数据较为集中地分布于斜率为 1 的直线两侧,模型的决定系数 R^2 达到 0.979, $RMSE$ 为 3.01 t/hm², RE 为 -1.95%, 预测值比实测值平均低估了不到 2%。这说明所获得的反演模型具有很高的精度,可以用于估算研究区马尾松林的碳储量。

3 结果分析

利用提取的马尾松林(图 2)与建立的马尾松林碳储量最佳反演模型(式 7)对 2010 年研究区的马尾松林碳储量进行反演,并将碳储量反演结果划分为 5 个等级进行统计,以揭示研究区马尾松林碳储量的空间分布变化情况(图 5,表 3)。

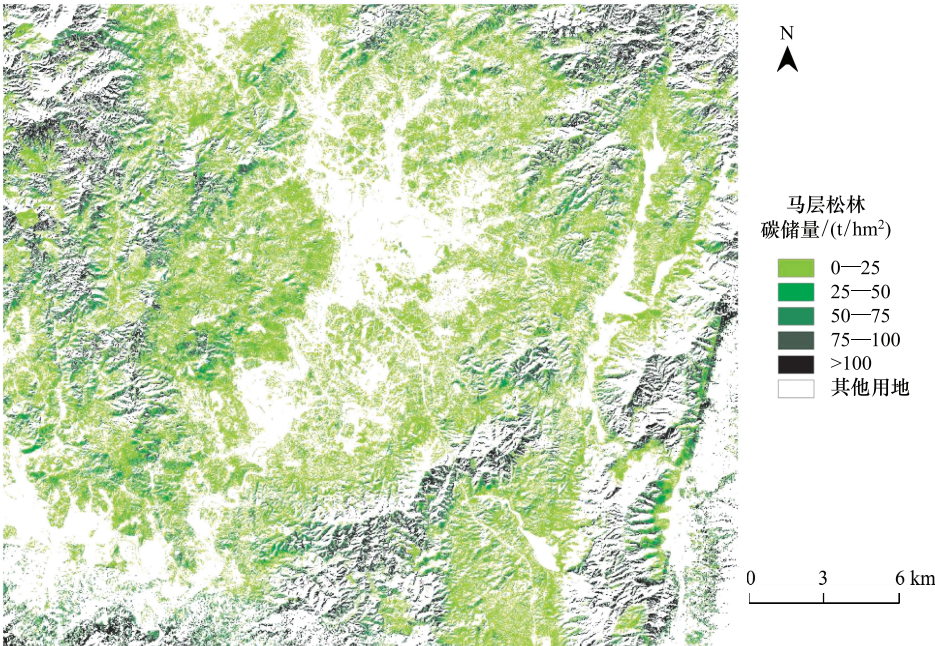


图 5 研究区马尾松林碳储量分布

Fig. 5 Spatial variations of the carbon storage of *Pinus massoniana* forest in the study area

表 3 研究区马尾松林碳储量分布统计表

Table 3 The carbon storage of *Pinus massoniana* forest in the study area

级别 Level	碳储量范围 Carbon storage range /(t/hm ²)	面积 Area /hm ²	面积所占百分比 Area proportion /%	碳储量均值 Average carbon storage /(t/hm ²)	碳储量总量 Total carbon storage /(×10 ⁴ t)	碳储量总量 所占百分比 Total carbon storage proportion/%
1	C≤25	21057.57	64.17	8.44	17.77	15.51
2	25<C≤50	4065.04	12.39	35.07	14.26	12.44
3	50<C≤75	2264.03	6.90	61.94	14.02	12.24
4	75<C≤100	1811.79	5.52	87.37	15.83	13.81
5	C>100	3616.15	11.02	145.73	52.70	45.99
总计 Total		32814.58	100	34.92	114.58	100

图 5 和表 3 揭示了研究区马尾松林的碳储量分布具有以下特点:(1)研究区内以低碳储量的马尾松林为主,碳储量低于 50 t/hm² 的马尾松林的面积(1—2 级)占马尾松林总面积的 76.56%,碳储量高于 50 t/hm² 的马尾松林面积(3—5 级)仅占 23.44%,而占面积 64.17%的马尾松林(1 级)的碳储量却只占研究区马尾松林总碳储量的 15.51%。(2)从空间分布来看,高碳储量的马尾松林主要分布在河田盆地外围地区,而盆地内的马尾松林因受人类活动影响强烈,其碳储量明显较低。从估算的碳储量结果来看,2010 年研究区的马尾松林碳储量总量为 114.58×10⁴ t,碳密度为 34.92 t/hm²,明显低于全国森林植被的碳密度水平(41.00 t/hm²)^[11]。究其原因在于:长汀地区一直是福建省水土流失严重的地区。2000 年,福建省委、省政府把长汀水土流失治理列入为民办实事项目,开始对水土流失区实行封山育林,严禁采伐,并大力种植马尾松以恢复植被。因此,研究区内马尾松林面积不断增加,马尾松林碳储量总量得到逐步恢复。但由于植被破坏最严重的盆地内部有

很大一部分都是新种植的幼龄马尾松,其碳储量远低于成熟林的碳储量^[31]。因此,研究区马尾松林总体碳密度偏小。但可以看出,随着马尾松林林龄结构的改善,该区在碳积累上还具有较大的潜力。

从现有研究看,马尾松林碳储量的估算主要采用的都是传统的方法(表4),而采用遥感的方法还鲜有报道。从表4可见,已有研究所获得的马尾松平均碳储量数据并不十分一致,而其中吴丹等研究江西中南部红壤区马尾松林的估算结果与本文的研究结果最为接近。由于长汀与江西南部直接接壤,因此二者结果的接近表明,用遥感估算的结果和实测方法所获得的结果具有较好的可比性。

表 4 不同研究的马尾松林平均碳储量比较
Table 4 Comparison of the different research results about the average carbon storage of *Pinus massoniana* forest

	四川(含重庆) Sichuan (including Chongqing)	三峡库区 Three Gorges Reservoir area	浙江省 Zhejiang	江西省 Jiangxi	江西中南部 红壤丘陵区 Red soil hilly region in central and southern Jiangxi	福建河田盆地 Hetian Basin in Fujian
平均碳储量/(t/hm ²) Average carbon storage	22.01	27.48	25.62	14.89	37.43	34.92
参考文献 Reference	[32]	[33]	[34]	[35]	[36]	本研究

4 结论与讨论

(1)利用遥感技术可以对大面积马尾松林的碳储量进行快速估算,采用基于野外实地调查数据和 ALOS 影像光谱信息建立的马尾松林碳储量反演模型精度较高,其反演结果可以合理地反映出研究区马尾松林的碳储量及其空间分异特征。

(2)在利用遥感影像的光谱信息建立碳储量反演模型时,采用经大气校正后的遥感影像数据可提高模型反演的精度。

(3)河田研究区的马尾松林的总碳储量为 114.58×10⁴t,碳密度为 34.92 t/hm²,明显低于全国森林植被碳密度水平,这与目前河田盆地的幼龄马尾松林所占比重很大有关。但随着林龄结构的改善,成熟度的增加,可以预见该区的马尾松林碳汇还具有较大的潜力。

由于本研究是基于河田盆地的影像和野外实测数据建立的反演模型,其在时间和空间上的普适性还有待于进一步的研究。

致谢:课题组张清林、陈淑桂和田浩等同志参与了野外调查工作,特此致谢。

References:

[1] Sabine C L, Heimann M, Artaxo P, Bakker D C E, Chen C T A, Field C B, Gruber N, Le Quere C, Prinn R G, Richey J E, Lankao P R, Sathaye J A, Valentini R. Current status and past trends of the global carbon cycle // Field C B, Raupach M R, eds. The Global Carbon Cycle. Washington: Island Press, 2004: 17-43.

[2] Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F. Good practice guidance for land use, Land-Use Change and Forestry. Japan: IPCC, 2003.

[3] Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

[4] Olson J S, Watts J A, Allison L J. Carbon in live vegetation of major world ecosystem. Technical Report. U. S. Washington: Department of Energy, 1983.

[5] Spencer R D, Green M A, Blggs P H. Integrating eucalypt forest inventory and GIS in western Australia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(12): 1345-1351.

[6] Fried M A, Davis F W, Michaelsen J, Moritz M A. Scaling and uncertainty in the relationship between the NDVI and land surface biophysical variables: an analysis using a scene simulation model and data from FIFE. Remote Sensing of Environment, 1995, 54(3): 233-246.

[7] Lefsky M A, Cohen W B, Harding D J, Parker G G, Acker S A, Gower S T. Lidar remote sensing of aboveground biomass in three biomes. Global Ecology and Biogeography, 2002, 11(5): 393-399.

- [8] Foody G M, Boyd D S, Cutler M E. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(4): 463-474.
- [9] Zheng D, Rademacher J, Chen J, Crow T, Bresee M, Le M J, Ryu S R. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93(3): 402-411.
- [10] Myeong S, Nowak J D, Duggin M J. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101(2): 277-282.
- [11] Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, Chen A P. Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981—2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(9): 1341-1350.
- [12] Meng Q M, Cieszewski C J, Madden M, Borders B. A linear mixed-effects model of biomass and volume of trees using Landsat ETM + images. *Forest Ecology and Management*, 2007, 244(1/3): 93-101.
- [13] Anaya J A, Chuvieco E, Palacios-Orueta A. Aboveground biomass assessment in Colombia: a remote sensing approach. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(4): 1237-1246.
- [14] Wang S H, Zhang M Z, Zhao P A, Chen J X. Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 998-1008.
- [15] Fujian Forestry Survey and Design Institute. *Forest Survey Tables*. 1978.
- [16] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, Zhao S Q, Ci L. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [17] Li H K, Lei Y C. *Forest biomass and carbon stocks of vegetation assessment in China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [18] Xu H Q, Zhang T J. Cross comparison of ASTER and Landsat ETM+ multispectral measurements for NDVI and SAVI vegetation indices. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(7): 1902-1907.
- [19] Liang S L, Fang H L, Chen M Z. Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39(11): 2490-2498.
- [20] Xu H Q. Image-based normalization technique used for Landsat TM/ETM+ imagery. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(1): 62-66.
- [21] Tadono T, Shimada M, Murakami H, Junichi T. Calibration of PRISM and AVNIR-2 onboard ALOS 'Daichi'. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(12): 4042-4050.
- [22] Bouvet M, Chander G, Goryl P. Preliminary radiometric calibration assessment of ALOS AVNIR-2 // *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Boston: IEEE, 2007: 2673-2676.
- [23] Chavez P S Jr. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(9): 1025-1036.
- [24] Ramsey R D, Wright D L Jr, McGinty C. Evaluating the use of Landsat 30m enhanced thematic mapper to monitor vegetation cover in shrub-steppe environments. *Geocarto International*, 2004, 19(2): 39-47.
- [25] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(5): 893-903.
- [26] Tian Q J, Min X J. Advances in study on vegetation indices. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(4): 327-333.
- [27] Lyon J G, Yuan D, Lunetta R S, Enidge C D. A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1998, 64(2): 143-150.
- [28] Rouse J W Jr, Haas R H, Schell J A, Deering D W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, Washington D. C. : NASA, 1973: 309-317.
- [29] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 1988, 25(3): 295-309.
- [30] Jensen J R. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 2007.
- [31] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 733-740.
- [32] Huang C D, Zhang J, Yang W Q, Tang X, Zhao A J. Dynamics on forest carbon stock in Sichuan Province and Chongqing City. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 965-975.
- [33] Wang P C, Xing L J, Xiao W F, Huang Z L, Pan L, Zeng L X. Organic carbon density and storage of forest ecosystems in Three Gorges Reservoir Area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 97-107.
- [34] Zhang J, Yuan W G, Ge Y, Zhu J R, Shen A H, Chang J. Carbon storage and its sequestration potential by ecological service forest in Zhejiang. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3839-3848.
- [35] Li X, Ouyang X Z, Liu Q J. Carbon storage of forest vegetation and its geographical pattern in China's Jiangxi Province during 2001—2005. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(4): 655-665.
- [36] 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.

参考文献:

- [11] 方精云,郭兆迪,朴世龙,陈安平. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学 D 辑; 地球科学, 2007, 37(6): 804-812.
- [14] 汪少华,张茂震,赵平安,陈金星. 基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟. 生态学报, 2011, 31(4): 998-1008.
- [15] 福建省林业勘察设计院. 森林调查用表. 1978.
- [17] 李海奎,雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [18] 徐涵秋,张铁军. ASTER 与 Landsat ETM+植被指数的交互比较. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(7): 1902-1907.
- [20] 徐涵秋. 基于影像的 Landsat TM/ETM+数据正规化技术. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(1): 62-66.
- [26] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327-333.
- [31] 刘国华,傅伯杰,方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [32] 黄从德,张健,杨万勤,康宵,赵安玖. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态. 生态学报, 2008, 28(3): 965-975.
- [33] 王鹏程,刑乐杰,肖文发,黄志霖,潘磊,曾立雄. 三峡库区森林生态系统有机碳密度及碳储量. 生态学报, 2009, 29(1): 97-107.
- [34] 张骏,袁位高,葛滢,江波,朱锦茹,沈爱华,常杰. 浙江省生态公益林碳储量和固碳现状及潜力. 生态学报, 2010, 30(14): 3839-3848.
- [35] 李鑫,欧阳勋志,刘琪璟. 江西省 2001—2005 年森林植被碳储量及区域分布特征. 自然资源学报, 2011, 26(4): 655-665.
- [36] 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.

附录 河田盆地马尾松样地观测列表

Appendix The field-measured data of <i>Pinus massoniana</i> of in the Hetian Basin									
海拔 Altitude/m	平均胸径 DBH /cm	平均树高 Height /m	林分密度 Density /(株/hm ²)	平均碳储量 Average carbon storage /(t/hm ²)	海拔 Altitude/m	平均胸径 DBH /cm	平均树高 Height /m	林分密度 Density /(株/hm ²)	平均碳储量 Average carbon storage /(t/hm ²)
326	6.1	4.6	2850	1.53	258	6.5	4.4	1075	2.74
316	6.1	4.5	1950	1.06	305	6.6	4.8	1000	2.75
327	9.2	6.2	1200	4.75	280	6.7	4.9	1100	3.17
323	11.0	6.2	900	5.62	282	6.0	4.5	1375	3.05
331	7.5	5.9	2850	9.73	280	7.2	5.2	950	3.25
275	16.7	14.7	1350	48.28	378	9.2	6.6	1950	11.40
288	20.3	16.7	925	54.39	391	8.5	6.7	2225	12.36
279	16.3	15.4	1300	46.46	325	5.6	3.7	750	1.52
401	10.0	7.3	2775	10.86	310	6.9	4.1	300	1.14
304	13.5	11.1	3225	65.13	310	7.8	5.5	1575	17.13
301	13.6	10.5	3275	59.13	314	7.9	6.0	1325	5.79
279	6.7	5.6	3925	8.04	312	7.0	5.2	1775	15.85
281	5.6	5.2	4650	2.41	281	18.4	18.1	1175	69.13
268	5.8	5.1	3450	2.35	306	12.4	11.3	1500	27.18
292	6.8	6.7	2400	6.51	326	8.2	5.8	2600	10.84
290	9.1	8.0	1750	11.34	306	8.9	6.9	3033	36.83
287	9.2	8.4	1475	10.17	346	11.5	9.9	2444	52.22
319	9.9	7.8	2475	28.03	332	11.1	9.6	2075	48.49
325	8.8	7.3	2575	23.51	383	8.9	7.3	2900	28.00
286	11.7	6.3	725	3.19	294	6.8	4.9	1425	9.54
307	4.5	3.6	1050	1.44	319	14.4	8.6	975	14.63
304	6.1	4.8	925	2.40	319	8.2	7.1	3175	24.35
300	7.6	5.6	1625	12.08	294	12.3	16.0	2175	55.11
297	7.8	5.5	1375	5.45	306	7.9	5.1	500	2.27
290	6.8	4.6	900	6.11	314	19.5	16.3	700	39.01

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 10 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Soil and Water Conservation of County Changting, Fujian Province

- Spatiotemporal dynamics of the bare soil cover in the Hetian basinal area of County Changting, China, during the past 35 years XU Hanqiu (2946)
- Analysis of fractional vegetation cover change and its impact on thermal environment in the Hetian basinal area of County Changting, Fujian Province, China XU Hanqiu, HE Hui, HUANG Shaolin (2954)
- Dynamic of soil organic carbon pool after restoration of *Pinus massoniana* in eroded red soil area HE Shengjia, XIE Jinsheng, ZENG Hongda, et al (2964)
- RUSLE-based quantitative study on the soil erosion of the Hetian basin area in County Changting, Fujian Province, China YANG Ranran, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2974)
- Land use changes in a reddish soil erosion region of Southern China: Hetian Basin, County Changting LIN Na, XU Hanqiu, HE Hui (2983)
- Remote-sensing estimate of the carbon storage of subtropical *Pinus massoniana* forest in the Hetian Basin of County Changting, China HUANG Shaolin, XU Hanqiu, LIN Na, et al (2992)
- Mutation of soil fertility quality in the red eroded area of southern China: A case study in Changting County, Fujian Province CHEN Zhiqiang, CHEN Zhibiao (3002)

Frontiers and Comprehensive Review

- The temperature dependence of soil organic matter decomposition and CO₂ efflux: a review SHEN Zhengtao, SHI Bin, WANG Baojun, et al (3011)
- Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes MA Jianrong, DENG Jianming, QIN Boqiang, et al (3020)

Autecology & Fundamentals

- Characteristics of concentrations and carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon in soil water under varying vegetations in karst watershed LIANG Xuan, WANG Zhijun, YUAN Daoxian, et al (3031)
- The traits of diapause development of overwinter eggs in *Rammeacris kiangsu* Tsai (Orthoptera: Arcypteridae) ZHU Daohong, CHEN Yanyan, ZHAO Qin (3039)
- Analysis of gamete compatibility between *Crassostrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (3047)

Population, Community and Ecosystem

- Avifaunal community structure and species diversity in the Mt. Qomolangma National Nature Reserve, Tibet, China WANG Bin, PENG Boyong, LI Jingjing, et al (3056)
- Impact of logging on carbon density of broadleaved-Korean pine mixed forests on Changbai Mountains QI Lin, YU Dapao, ZHOU Wangming, et al (3065)
- Community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay XU Binduo, ZENG Huihui, XUE Ying, et al (3074)
- Assessment of heavy metal contamination in the soil-plant system of the *Suaeda salsa* wetland in the Yellow River Estuary WANG Yaoping, BAI Junhong, XIAO Rong, et al (3083)
- The effects of different original state on grassland community restoration succession YANG Chen, WANG Wei, WANG Shiping, et al (3092)
- Effects of fertilization gradients on plant community structure and soil characteristics in alpine meadow WANG Changting, WANG Genxu, LIU Wei, et al (3103)
- Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (3114)

- Soil organic carbon pool at the western side of the sygera mountains, southeast Tibet, China MA Heping, GUO Qiqiang, LIU Heman, et al (3122)
- Correlation between foliar $\delta^{13}\text{C}$ and foliar trait factors of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park WANG Yingzi (3129)
- Influences of artificial *Kandelia obovata* mangrove forest rehabilitation on the macrobenthos in Ximen Island HUANG Li, CHEN Shaobo, CHOU Jianbiao, et al (3138)
- Responses of soil microbial properties in soil profile to typical vegetation pattern and slope in karst-cluster depression area FENG Shuzhen, SU Yirong, QIN Xinmin, et al (3148)
- Correlation among vegetation characteristics, temperature and moisture of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (3158)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The temporal and spatial variation of the value of ecosystem services of the Naoli River Basin ecosystem during the last 60 years ZHAO Liang, LIU Jiping, TIAN Xuezhi (3169)
- Sensitivity analysis of climate control in the Daisyworld model based on system dynamics CHEN Haibin, TANG Haiping (3177)
- Resource and Industrial Ecology**
- Analysis of key climatic factors influencing on seed cotton yield in cotton-wheat double cropping HAN Yingchun, WAN Guoping, FAN Zhengyi, et al (3185)
- The effect of low-covered sand-fixing forest belts on restoration of the soil and vegetation JIANG Lina, YANG Wenbin, LU Qi, et al (3192)
- Dissolution rate under soil in karst areas and the influencing factors of different land use patterns LAN Jiacheng, FU Wali, PENG Jingtao, et al (3205)
- Measuring external benefits of agricultural land preservation: an application of choice experiment in Wuhan, China CHEN Zhu, JU Dengping, ZHANG Anlu (3213)
- Research Notes**
- Effect of temperature and feeding frequency on asexual reproduction and polyp growth of the scyphozoan *Cyanea nozakii* Kishinouye SUN Ming, DONG Jing, CHAI Yu, LI Yulong (3222)
- The research on *Buteo hemilasius* nest-site selection on the west bank of Dalai Lake in Dalai Lake Natural Reserve ZHANG Honghai, WANG Ming, CHEN Lei, et al (3233)
- Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology ZHANG Shusheng, BAO Yixin, WANG Yanni, et al (3241)

《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,探索自然奥秘,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 高玉葆

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 10 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 10 (May, 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