

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

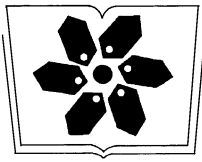
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-04



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201009301390

刘双娜,周涛,舒阳,戴铭,魏林艳,张鑫. 基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布. 生态学报, 2012, 32(8): 2320-2330.

Liu S N, Zhou T, Shu Y, Dai M, Wei L Y, Zhang X. The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2320-2330.

基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布

刘双娜^{1,2,*}, 周 涛^{1,2}, 舒 阳^{2,3}, 戴 铭^{1,2}, 魏林艳^{1,2}, 张 鑫⁴

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 民政部/教育部 减灾与应急管理研究院, 北京 100875;

3. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

4. 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感科学国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 森林生物量是陆地生态系统重要的碳库, 其大小与空间分布特征直接影响森林的碳汇潜力。基于空间降尺度技术, 以中国第六次国家森林资源清查资料为基础, 同时结合 1:100 万植被分布图及同期的基于 MODIS 反演的 NPP 空间分布, 定量估算了 1 km 分辨率下我国森林生物量的空间分布。结果表明: (1) 降尺度技术能有效结合遥感数据的空间特征与地面详查资料的统计特征, 从而较好地解决当前生物量估算的区域尺度转化问题; (2) 我国森林生物量存在明显的空间分布规律, 与水热条件的空间分布格局基本一致, 表现为西部较低东部较高, 大型山脉分布处较高; (3) 我国森林生物量总量 11.0 Pg, 平均生物量 74.8 Mg/hm², 其中高值区主要集中在东北大小兴安岭和长白山地区、新疆山区、西南横断山脉地区以及东南武夷山地区。

关键词: 森林; 生物量; 碳汇; 降尺度; 空间分布; 中国

The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques

LIU Shuangna^{1,2,*}, ZHOU Tao^{1,2}, SHU Yang^{2,3}, DAI Ming^{1,2}, WEI Linyan^{1,2}, ZHANG Xin⁴

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China

3 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing 100875, China

4 State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Terrestrial ecosystems play an important role in the global carbon cycle. The implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the Kyoto Protocol have made the study of terrestrial ecosystem carbon cycling a hot topic of scientific research globally. Forest biomass is an important carbon pool for terrestrial ecosystems, so its magnitude and spatial patterns are critical in determining the carbon-exchange potential of forests. Scholars in the field have used a variety of different methods to study many aspects of China's forest biomass. Despite progress, a high degree of spatial biomass heterogeneity has caused the current findings to vary widely, especially when the regional-scale is used in measuring the spatial distribution pattern of biomass, leaving significant uncertainties. Three traditional methods have been used in biomass research: physical plots measured on the ground, modeling and simulation, and remote sensing. Currently, statistical downscaling is a widely used statistical method which transforms large-scale, low-resolution information into regional-scale, high-resolution information. This method has recently been used effectively and achieved good results in the field of ecosystem carbon cycling. Combining remote sensing data with ground-based

基金项目: 国家自然科学基金资助(30970514, 40671173, 30590384); 新世纪优秀人才支持计划资助(NCET-10-0251)

收稿日期: 2011-09-30; **修订日期:** 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liushuangna@mail.bnu.edu.cn

observations is a key step in the quantitative research of forest biomass spatial distribution patterns. In particular, national forest resource inventory data can be used to combine the advantages of remote sensing data, and its spatial characteristics, with the reliability of detailed information from the ground to produce reliable statistical information reflecting the surface characteristics. This paper is based on the sixth China forest inventory dataset, a vegetation map of the People's Republic of China (1:1000000), and the spatially explicit Net Primary Production (NPP) datasets derived from the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Gross Primary Production (GPP)/NPP products. We quantitatively estimated the spatial distribution of forest biomass (1km resolution) using the spatial downscaling technique. The results provide four findings. (1) The downscaling technique can effectively combine the advantages of both remote sensing and forest inventory data and will be useful in mapping forest biomass at the regional scale. In this study, the average errors in the calculated total biomass and average biomass are 1.4% and 1.6%, respectively, which is comparable to other studies on a national scale. In this study, average error is 6% for the estimated biomass density on the provincial scale. In addition, the total biomass error is 37% for Yunnan Province, while other provincial scales averaged an error level of 10%. (2) China's biomass in young forests, middle-aged forests, nearly mature forests, mature forests and over mature forests show an increasing trend in biomass, and the overall trend appears reasonable. Young to mature forest stages, which are gradually increasing in age, have shown a large increase in biomass. Mature forests to old growth forests have experienced a reduced rate of increase in some areas, with old growth forest biomass even decreasing. (3) Forest biomass in China has obvious spatial distribution patterns, with widely distributed forests in eastern China and a scattered distribution of forests in western China. China can be divided into five main regional forest divisions based on biomass density, listed here in descending order: the high mountains of Xinjiang Uyghur Autonomous Region, northeastern Inner Mongolia, the Hainan Island tropical region, southwestern China, and southern China. (4) The total stock of forest biomass in China is 11.0 Pg with an average biomass of 74.8Mg/hm². China's biomass is primarily found in the Da Xing'an (Greater Khinghan), Xiao Xing'an (Lesser Khinghan) and Changbai mountains of the northeast, Xinjiang Mountain and the Hengduan Mountains of the southwest and in the Wuyi Mountains of the southeast.

Key Words: forest; biomass; carbon sink; downscaling; spatial distribution; China

陆地生态系统在全球碳循环中起着重要的作用^[1],随着联合国气候变化框架公约(UNFCCC)以及京都议定书的实施使得陆地生态系统碳循环的研究成为全球科学研究的热点^[2]。森林作为陆地生态系统的重要组成部分,因其巨大的碳储量和固碳能力而备受关注^[3-4]。由于森林生物量是衡量森林碳汇的重要指标^[5],所以定量准确地估算我国森林生物量大小及其分布格局具有重要意义,它不仅为陆地生态系统碳循环过程研究提供理论依据,同时为估算区域温室气体排放及《京都议定书》确立的清洁发展机制(CDM)下造林再造林减排量核算提供数据支持^[6-7]。

近年来,我国不同领域的学者利用多种方法对中国森林生物量进行了研究,虽然取得了较大进展,但受生物量高度的空间异质性影响,目前的研究结果差异较大,尤其在区域尺度生物量空间分布格局方面存在很大的不确定性^[8-17]。当前确定森林生物量空间格局通常采用以下方法:其一是在研究区内布点取样实测森林生物量,这种方法在站点尺度精度较高,但受空间异质性及观测样点数及分布的制约,在大的区域尺度上误差较大,且费时费力。其二是通过建立生物量与其他替代指标(如胸径、树高等)的经验关系来估算森林生物量的空间分布特征,该方法目前应用较为广泛,但考虑到替代指标多数仍然采用样地实测方法获得,因此它同样受空间异质性的制约。其三是基于遥感监测技术,通过遥感影像的不同波段信息构建植被指数(如NDVI),并结合气象与地形数据来估算区域尺度的生物量空间分布。由于遥感数据能够有效反映植被的空间差异,因此,它在估算生物量空间分布格局方面具有明显的优势,但受遥感数据本身的误差及遥感模型中关键参数的不确定性等因素的制约,单纯的遥感方法误差较大。

如何将遥感数据与地面观测尤其是国家森林资源清查资料的优势结合起来,既能反映遥感数据的空间特征,又能反映地面详查资料的可靠性与统计特征,是定量反演森林生物量空间分布格局的关键。降尺度统计方法是一种被广泛应用于气候学研究中的统计方法,即把大尺度、低分辨率的信息转化为区域尺度、高分辨率信息的方法^[18],该方法目前在生态系统碳循环领域进行了有效的尝试,取得了较好的结果,如 Kindermann 等以 FAO 提供的世界各国的森林生物量统计资料(均值),配合同期 NPP 和人口空间分布数据,降尺度估算了全球 0.5×0.5 度分辨率下森林生物量空间分布^[19]。本研究将基于空间降尺度技术,以中国第六次国家森林资源清查资料为基础,同时结合 1:100 万植被分布图及同期的基于 MODIS 反演的 NPP 空间分布,在结合遥感数据的空间特征与地面详查资料的统计特征的基础上,定量估算 1km 分辨率下我国森林生物量的空间分布。

1 数据与方法

1.1 数据

国家森林资源清查数据来自国家林业局森林资源管理司 2005 出版的《全国森林资源统计》(1999—2003)和国家林业局森林资源管理司 1994 出版的《国家森林资源清查主要技术规定》。清查样木的起测胸径为 5.0 cm,胸高位置为距地面 1.3 m 处,本研究采用数据包括各省各森林优势树种的面积、蓄积量。以这两份数据估算得到全国尺度的生物量能减少估算生物量精度的不确定性^[20]。森林类型数据来自张新时主编的《1:1000000 中国植被图集》^[21]。NPP 空间分布数据来自 MODIS GPP/NPP 数据集产品^[22]。遥感数据已经广泛应用于大尺度植被的研究^[23],而且该产品对全球各种植被类型^[24-25]进行了验证,结果表明该产品是监测全球以及区域陆地植被生长状况的一种较好的数据^[26]。

1.2 方法

本文以 Kindermann 等^[19]的降尺度方法为基础,并对其进行了改善以更好地用于中国森林生态系统,具体技术路线及步骤如图 1,表 1(以黑龙江省为例)所示:(1)参考《国家森林资源清查主要技术规定》分别将 1:100 万的植被分布图和国家森林资源清查数据的优势树种划分为三大类森林植被类型(针叶林、阔叶林和

表 1 三大类森林生物量统计数据
Table 1 Statistical data of three types of forest biomass

ProvID	省份	优势树种	森林类型	Code (1:100 万)	面积 /(×10 ² hm ²)	蓄积 /(×10 ² m ³)	生物量密度 /(Mg/hm ²)
23	黑龙江	红松	针叶林	1	2628	271518	71.79
23	黑龙江	冷杉	针叶林	1	832	72164	87.76
23	黑龙江	云杉	针叶林	1	1408	64105	68.63
23	黑龙江	赤松	针叶林	1	64	12811	221.09
23	黑龙江	落叶松	针叶林	1	35297	2791737	82.02
23	黑龙江	樟子松	针叶林	1	2560	206109	90.12
23	黑龙江	针叶混	针叶林	1	5082	454680	77.25
		针叶林汇总			47871		
23	黑龙江	针阔混	混交林	2	11519	1072729	83.49
		混交林汇总			11519		
23	黑龙江	硬阔类	阔叶林	3	2986	237360	68.44
23	黑龙江	桦木	阔叶林	3	35639	2222525	76.88
23	黑龙江	椴树类	阔叶林	3	4920	366558	59.84
23	黑龙江	栎类	阔叶林	3	24772	1949939	98.70
23	黑龙江	杨树	阔叶林	3	8929	708101	68.30
23	黑龙江	软阔类	阔叶林	3	6302	466341	65.78
23	黑龙江	水,胡,黄	阔叶林	3	3705	233808	50.75
23	黑龙江	阔叶混	阔叶林	3	32575	2619746	76.91
		阔叶林汇总		119828		940147664.05	

混交林),然后运用换算因子连续函数法^[27]估算各省三大类森林植被平均生物量,并结合重分类后的森林植被图,生成各省三大类森林平均生物量分布图;(2)对中国森林生态系统 NPP 分布栅格图(1 km 分辨率)进行预处理,并用各省森林植被分布栅格图提取出各省有森林覆盖处的 NPP 分布栅格图;(3)对上述两步的结果图进行降尺度技术处理,最终得到中国森林生态系统生物量分布栅格图(1km 分辨率)。

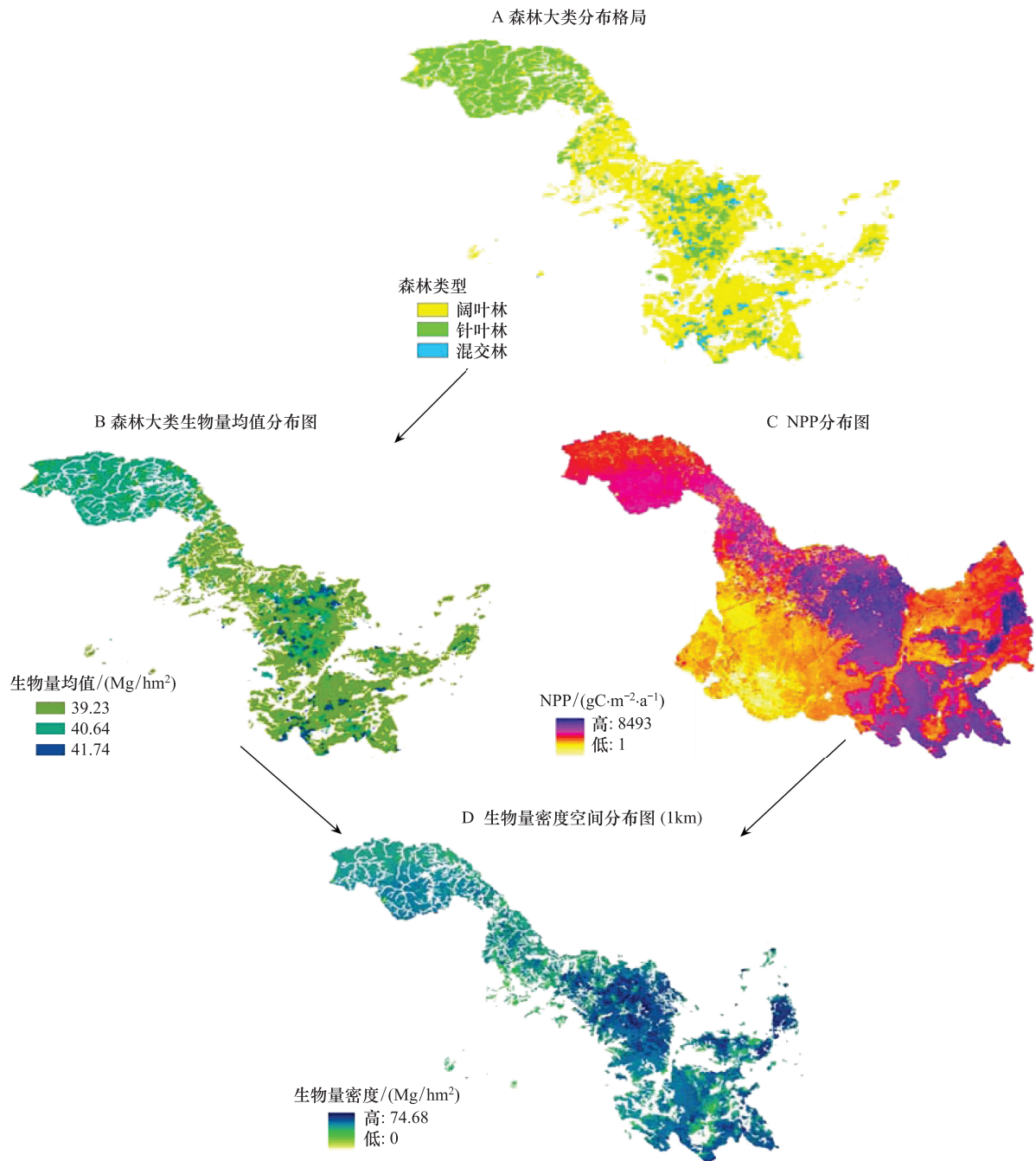


图1 基于降尺度技术估算森林生物量空间分布的示意图(以黑龙江省为例)

Fig.1 Schematic diagram for mapping forest biomass using downscaling method

1.2.1 计算各省三类森林植被生物量碳储量均值

方精云等提出了森林生物量估计转换因子连续函数法,并给出了生物量与蓄积量模型及各优势树种的计算参数,克服了生物量转换因子法转换参数静态的缺点^[27]。本研究根据转换因子连续函数法,利用生物量转换因子(BEF)和林分蓄积量之间的参数^[28],采用国家森林资源清查中面积和蓄积量数据,得到各省各优势树

种生物量(式1),进一步得到各省三类森林植被类型生物量均值:

$$\overline{B_{pt}} = \frac{\sum_{k \in p \cap t} a \times v_k + b}{A_t} \quad (p = 1, 2, 3, \dots, 30) (t = 1, 2, 3) \quad (1)$$

式中, p 表示某一个省份; t 表示森林植被类型(包括针叶林, 针阔混交林, 阔叶林); k 代表 p 省 t 森林植被类型下的某一种优势树种; $\overline{B_{pt}}$ 表示 p 省 t 森林植被类型的森林平均生物量 (Mg/hm^2); A_t 表示某省某一类型的面积 (hm^2); V_k 表示某省某一优势树种的蓄积量 (m^3); a (Mg/m^3) 与 b (Mg) 为 BEF 参数, 其取值来自文献^[28-29]。

1.2.2 降尺度技术

本研究中的降尺度技术基于 Kindermann 等^[19]的方法, 它是以国家森林资源清查资料中获取的各省三大类森林生物量的均值(式1)为基础, 以反映植被生产力空间差异的 NPP 空间分布数据(格点数据)和森林类型分布图为纽带, 建立各空间格点的生物量与对应格点的 NPP 及省域内同类森林的生物量均值的转换函数(式2), 从而降尺度估算出各空间格点的生物量:

$$B_i = \frac{\overline{B_{pt}} \times N_i \times n}{\sum_{i \in p \cap t} N_i} \quad (p = 1, 2, 3, \dots, 30), (t = 1, 2, 3) (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中, p 表示各省份; t 表示各森林植被类型(针叶林, 针阔混交林, 阔叶林); i 表示某一个格点; $\overline{B_{pt}}$ 表示某省某森林植被类型平均生物量 (Mg/hm^2); N_i 表示某格点森林生产力 NPP ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B_i 表示某格点森林生物量 (Mg/hm^2); n 表示该省该森林类型的格点数。

2 结果与分析

2.1 结果验证

表2为本研究中国森林的总生物量及生物量密度与相邻时段上的其他研究结果的比较。本研究的总生物量、平均生物量与相同时段的其他研究结果相比, 平均误差分别为 1.4% 和 1.6%。与其他时段研究结果对比, 趋势也较合理。由于各研究的研究时段不同, 采用的方法不同, 研究分辨率不同, 所以各研究估算会有一定差异。因此, 对比结果表明在全国尺度上本研究的结果是合理的。

表2 中国森林生物量、平均生物量与其它研究结果的比较

Table 1 Comparisons of China's forest biomass, average biomass with other researchers

总生物量/Pg Total biomass	平均生物量/(Mg/hm^2) Mean biomass	研究时段 Period	文献 References
11.0	74.8	99-03	本研究
10.7	74.7	99-03	[28]
11.0	77.3	99-03	[30]
9.5	89.8	94-98	[29]
8.4	77.4	89-93	[6]
7.6	82.6	89-93	[31]
13.8	126.8	89-93	[32]

表3为省级尺度上本研究与同时段的其他研究结果的比较。从表3可以看出, 本研究的所有省级尺度上生物量密度的平均误差为 6%。由于本研究中云南省总生物量偏低, 所以表3列出了云南省与其他学者的结果比较, 除云南省级尺度总生物量误差达到 37% 以外, 其他省级平均误差为 10%。可见省级尺度上的检验也说明本研究的结果也是较合理的。

林龄和生物量之间存在着一定的相关性^[33-34], 因此将中国分为六大地理区域(东北、华北、西北、中南、华东和西南地区), 并对每一个区域划分 5 个林龄组^[37], 进而对比每个区域每个林龄组的森林平均生物量趋势

(图2)。由图2可知,我国各大区幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林及过熟林整体上基本都有着增加的趋势,整体趋势较合理,幼龄林至近熟林阶段随着林龄的增加生物量也逐渐增加且增加幅度较大,近熟林至成熟林增加幅度降低,部分地区过熟林生物量甚至降低。西南、东北地区生物量普遍较高,中南、西南地区生物量较低,华北、西北地区生物量居中,这些生物量结果与林龄的分布具有一致性。

表3 部分省林分生物量、平均生物量与其他研究结果的比较

Table 3 comparisons of province's forest biomass, average biomass with other researchers

区域 Area	总生物量 Total biomass/ 10^7 Mg		平均生物量 Mean biomass/(Mg/hm ²)		研究时段 Period	文献 References
	其他研究 Other papers	本研究 This paper	其他研究 Other papers	本研究 This paper		
河南	11.15	12.23	47.27	47.55	99-03	[17]
浙江省	15.57	13.81	27.83	28.42	99-03	[16]
云南	118.76	74.05	87.54	73.93	99-03	[15]
东北三省	234	265.01	80	84.75	2003	[14]
西藏	157.4	181.79	无	185.14	99-03	[30]

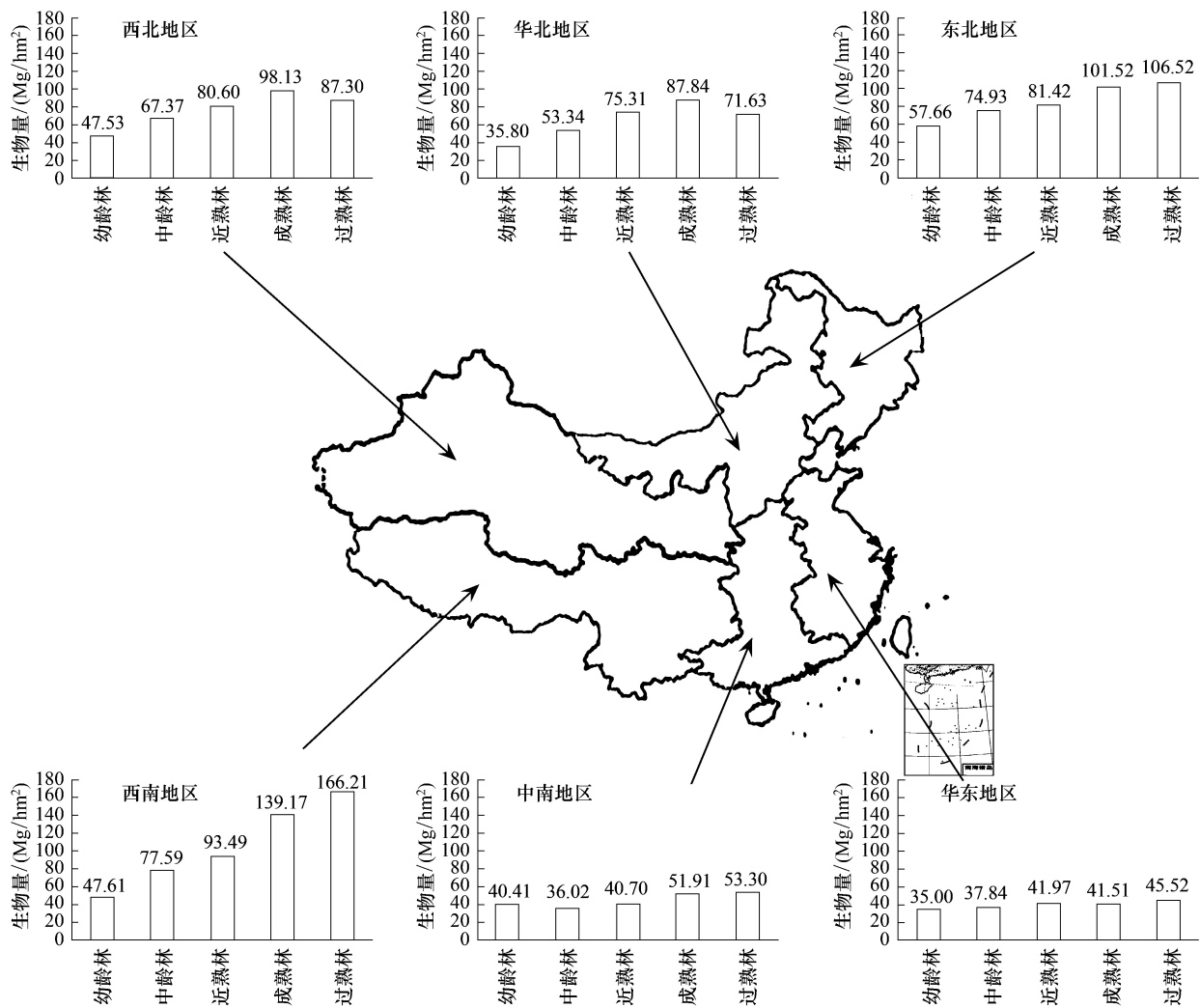


图2 中国六大区林龄组与生物量的关系

Fig. 2 Relationship between stand age and biomass in six district of China

2.2 结果讨论

我国总生物量的分布总体以东北至西南一线为界,东部较广,西部较少(图3)。从主要林区所在的省份区域划分来看:(1)东北内蒙古地区(黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古)森林主要沿大小兴安岭,长白山分布,森林总面积为 $46.70 \times 10^6 \text{ hm}^2$,生物量总量为 3.85 Pg,平均在 82.55 Mg/hm^2 。(2)西南地区(四川、西藏、云南)受印度洋季风影响,水热条件充沛,森林覆盖率较低为 15.50%,但森林蓄积量相对其他区域最大,达 $4.76 \times 10^9 \text{ m}^3$,生物量总量达 3.87 Pg,平均在 60.29 Mg/hm^2 。(3)南方地区(江苏、安徽、浙江、福建、江西、湖南、湖北、广东、广西)森林面积较大,达 $43.23 \times 10^6 \text{ hm}^2$,生物量总量达 1.66 Pg,生物量平均值为 38.46 Mg/hm^2 。(4)新疆高山区森林主要分布在阿尔泰山,天山,昆仑上地区。森林面积较少为 $1.54 \times 10^6 \text{ hm}^2$,但生物量密度较高,平均达 149.84 Mg/hm^2 。(5)海南岛热带地区生物量总量为 0.05 Pg,森林生物量密度较均匀,平均在 76.52 Mg/hm^2 左右。

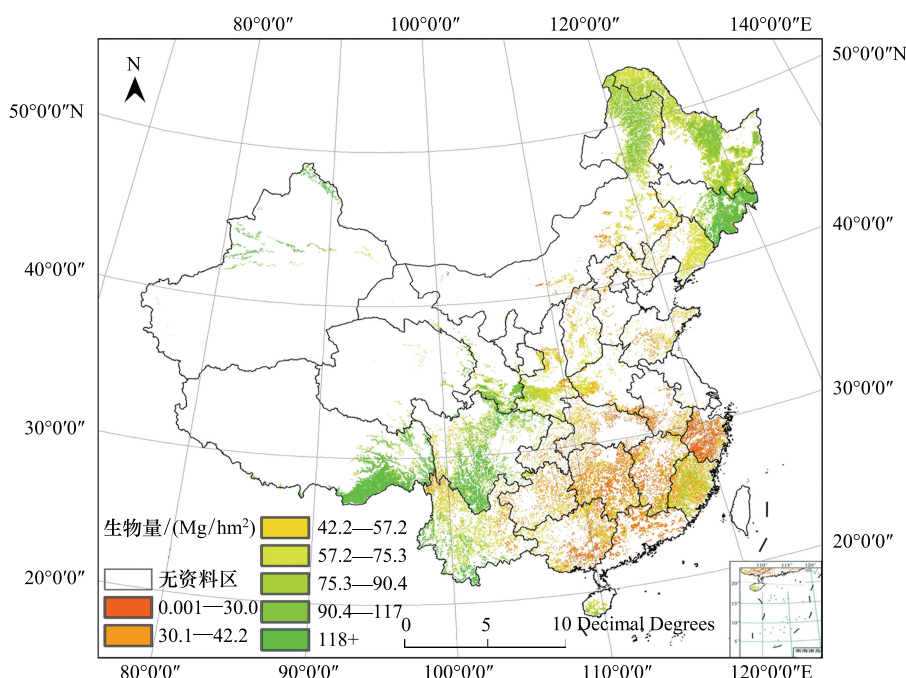


图3 中国1999—2003年间森林生物量空间分布图

Fig. 3 Spatial pattern of forest biomass in China during 1999–2003

由图4可知,我国各省森林生物量总量差异较大。其中西藏生物量总量最大,高达 $181.79 \times 10^7 \text{ Mg}$ 。黑龙江、西藏、四川、内蒙古、吉林、云南生物量总量均超过 $7 \times 10^8 \text{ Mg}$,这几个省的总量之和占全国森林生物量总量的 68.51%。福建、湖南、陕西、甘肃、新疆、广西、辽宁、江西、贵州、浙江、河南、广东、湖北省生物量总量均在 2×10^8 — $4 \times 10^8 \text{ Mg}$ 之间,这13个省的总生物量占全国 27.04%。而山西、青海、山东、安徽、河北、海南、重庆、江苏、宁夏生物量均未达到 10^8 Mg ,这9个省的生物量总量之和仅占中国森林生物量总量的 4.46%。

由图5可知,我国各省森林生物量密度基本在 45 Mg/hm^2 左右。其中,西藏森林生物量密度高达 185 Mg/hm^2 。浙江森林生物量密度最小,仅 28 Mg/hm^2 。西藏、新疆、吉林、四川、青海、甘肃、黑龙江、内蒙古、海南、吉林均在全国生物量密度 (74.8 Mg/hm^2) 均值之上。其他省份生物量密度在全国均值之下。

2.3 不确定性分析

(1) 由于数据的限制,研究结果存在一定的不确定性。其一,国家森林资源清查资料与森林类型图中优势树种不完全匹配,这有可能存在一定误差。本研究采用的策略是基于国家森林资源清查资料,通过转换因子连续函数法计算各森林大类的平均生物量 (B_{pt}),并将其作为森林类型图中对应森林大类的平均生物量的估计值,然后在此基础上降尺度估算各格点生物量。由于降尺度公式中 B_{pt} 不同,因此将导致位于两类森

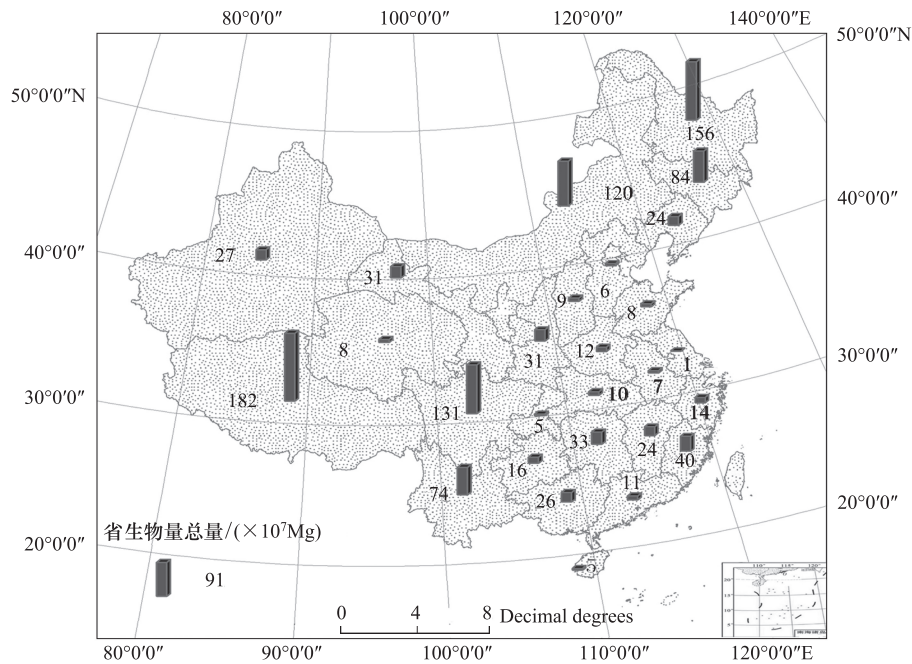


图4 1999—2003 年间中国各省森林生物量总量分布图

Fig. 4 Spatial pattern of forest biomass in Different Provinces of China during 1999—2003

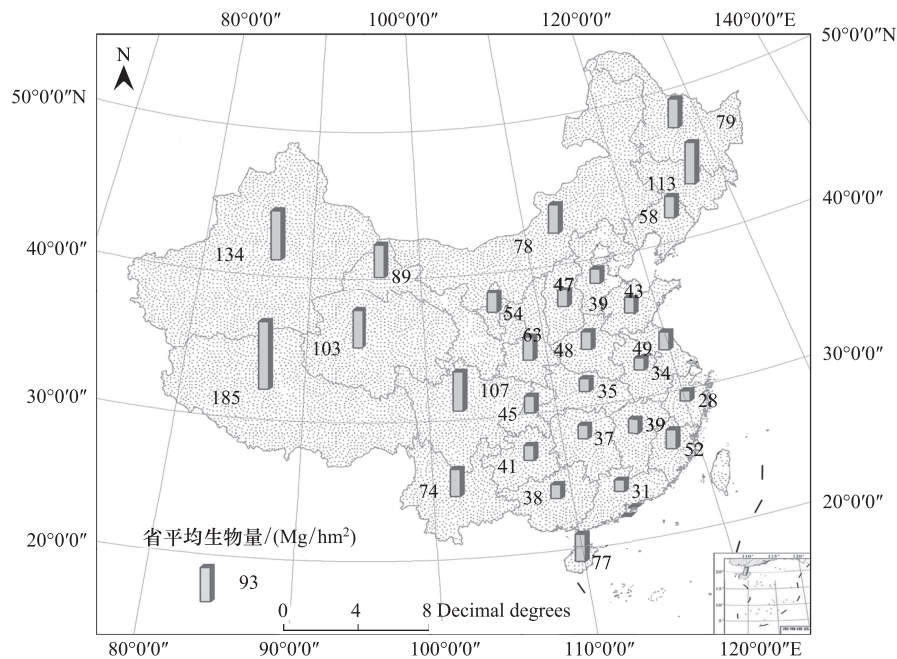


图5 中国1999—2003 年间森林生物量密度省间的分布

Fig. 5 Spatial pattern of forest Biomass density in Different Provinces of China during 1999—2003

林大类交界处的森林生物量数值有所差异,进一步提高国家森林资源清查资料与森林类型空间分布资料的空间匹配有助于改善其精度。其二,有些省份国家森林资源清查资料中森林大类的优势树种面积与森林类型图上该树种的面积差异较大,如云南省国家森林资源清查资料中针叶林、混交林、阔叶林的面积分别为 57.9×10^5 、 13.2×10^5 、 64.6×10^5 hm^2 ,相应的平均生物量为 56、87、115 Mg/hm^2 ,而森林类型图中三者的面积分别为 77.3×10^5 、 0.3×10^5 、 32.1×10^5 hm^2 ,由于这两者面积的差异,导致降尺度方法估算的云南省的总生物量估算值

偏低。

(2) 不同空间尺度或不同数据源之间,参考指标的划分标准可能会影响到研究结果的精度。如森林类型和优势树种都可划分为针叶林、针阔混交林、阔叶林 3 个类型,但这二者在概念上不同。森林植被图中用的是前者,而森林资源清查中用的是后者。森林植被图中的森林类型是按照自然立地条件和一定的研究资料进行的大范围的区划,而优势树种则是森林资源调查中针对样地各树种所占比例进行的类型划分,反映的是一个样地。本研究虽然采用了最新的 1:100 万植被分布图^[21],但由于指标划分标准问题,依然无法完全解决这个问题,这可能会对研究结果产生一定的误差。

(3) 国家森林资源清查中某些树种不在转换因子连续函数法的适用范围之内(无面积数据或没有转换参数),这样的树种有内蒙古杂木($5.5 \times 10^3 \text{ m}^3$)、上海的马尾松($1.2 \times 10^3 \text{ m}^3$)、杉木($2.1 \times 10^3 \text{ m}^3$),这在一定程度上使得内蒙古、上海的森林生物量值较真实值偏低,但考虑到这些树种总面积和总蓄积量都不大,因此它们对整体结果的影响不大。

(4) 本研究降尺度公式是建立在森林生物量与 NPP 成正的线性相关基础上,而实际森林生物量与其 NPP 的关系受很多因素影响不一定是线性相关,这对格点生物量估算有一定的影响,但考虑到大尺度上两者的趋势相同^[35-36],加上中国森林的整体林龄偏低^[37],因此它对生物量空间分布格局整体影响有限。此外有研究表明森林生物量与林龄的相关性较 NPP 更显著,用林龄替代 NPP 结果可能会更准确,但考虑到目前中国森林林龄空间分布格局资料的缺乏,难度较大。

(5) 由于人类活动的强度(如森林砍伐与再造林)与人口数量存在一定的相关性,导致人口数量和生物量在空间分布表现出一定的相关性,因此,国外也有研究同时采用 NPP 和人口数量的空间分布来降尺度估算生物量空间分布^[19]。以往研究采用 NPP 空间分布图和 2000 年全国 1 km 分辨率人口分布图(数据来源:中国科学院资源环境科学数据中心)作为降尺度估算生物量分布的基础数据。结果表明,单纯采用 NPP 更适宜降尺度估算中国森林生物量,具体表现为估算的总生物量与平均生物量密度与其他研究结果的差异要明显小于同时采用 NPP 和人口的研究结果,结果更可靠。造成这种现象的原因可能是量化人口因素对生物量影响的经验关系^[19]并不适用于中国。

4 结论

(1) 降尺度技术能有效结合遥感数据的空间特征与地面详查资料的统计特征,从而较好地估算区域尺度生物量的空间分布;(2) 我国森林生物量存在明显的空间分布规律,以东北至西南一线为界,以西分布较低,以东分布较高,大型山脉处分布较高;(3) 我国森林生物量总量 11.0 Pg,生物量总量较高的省份分布在东北和西南地区,我国森林生物量密度为 74.8 Mg/hm^2 ,生物量密度有由西向东减小的趋势,这与我国东部森林林龄整体偏低有关。

References:

- [1] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, Peylin P, Huang Y, Sitch S, Wang T. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458 (7241): 1009-1013.
- [2] Xu X L, Li K R. Biomass carbon sequestration by planted forests in China. *Chinese Geographical Science*, 2010, 20(4): 289-297.
- [3] United Nations Framework Convention on Climate Change. [2010-9-2]. http://unfccc.int/files/methods_and_science/lulucf/application/pdf/080626_australia.pdf.
- [4] Xu F D, Wang R H, Li Y X, Zhang H. Review on carbon cycle in terrestrial ecosystem and its influenced factors. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(4): 519-524.
- [5] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35(1): 313-347.
- [6] Li N Y, Yang Y C, Chen X T. Develop carbon sequestration forestry for combating climate change: the practice and management of carbon sequestration forestry in China. *Science of Soil and Water Conservation*, 2010, 8(1): 13-16.
- [7] Zhang X Q, Li N Y, Wu S H. Analysis on feasibility and potentiality of afforestation and reforestation under the clean development mechanism of the Kyoto Protocol. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(5): 139-143.
- [8] Piao S L, Fang J Y, Zhu B, Tan K. Forest biomass carbon stocks in China over the past 2 decades: estimation based on integrated inventory and

- satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110: 1-10.
- [9] Yang K, Guan D S. Forest biomass and its dynamics in Pearl River Delta. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 705-712.
- [10] Zhang Z M, Wang G X. The forest biomass dynamics of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5666-5674.
- [11] Zhang P C, Zhang Y P, Zheng Z, Liu Y H, Tan Z H. Carbon storage and sequestration of tree layer in subtropical evergreen broadleaf forests in Ailao Mountain of Yunnan. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(6): 1047-1053.
- [12] Chen D X, Li Y D, Liu H P, Xu H, Xiao W F, Luo S T, Zhou Z, Lin M X. Biomass and carbon dynamics of a tropical mountain rain forest in China. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 798-810.
- [13] Zhang J, Yuan W G, Ge Y, Jiang B, 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.
- [14] Huang G S, Xia C Z. MODIS-Based estimation of forest biomass in northeast China. *Forest Resources Management*, 2005, (4): 40-44.
- [15] Zeng W S. Study on forest biomass and productivity in Henan. *Journal of Henan Agricultural University*, 2005, 24(4): 1-4.
- [16] Zhang M Z, Wang G X, Liu A X. Estimation of forest biomass and Net Primary Production for Zhejiang province based on continuous forest resources inventory. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(9): 13-17.
- [17] Guang Z Y. Study on forest biomass and productivity in Henan. *Journal of Henan Agricultural University*, 2006, 40(5): 494-497.
- [18] Zhao F F, Xu Z X. Comparative analysis on downscaled climate scenarios for headwater catchment of yellow river using SDS and delta methods. *Acta Meteorologica Sinica*, 2007, 65(4): 653-662.
- [19] Kindermann G E, McCallum I, Fritz S, Obersteiner M. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 2008, 42(3): 387-396.
- [20] 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.
- [21] Zhang X S. 1:1000000 scale vegetation distribution map of China. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [22] Zhao M, Heinsch F A, Nemani R R, Running S W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(2): 164-176.
- [23] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, Maimaiti A. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982—2006. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 841-850.
- [24] Turner D P, Ritts W D, Cohen W B, Gower S T, Running S W, Zhao M S, Costa M H, Kirschbaum A A, Ham J M, Saleska S R, Ahl D E. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102(3/4): 282-292.
- [25] Gebremichael M, Barros A P. Evaluation of MODIS gross primary productivity (GPP) in tropical monsoon regions. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100(2): 150-166.
- [26] He Y, Dong W J, Guo X Y, Dan L. The terrestrial growth and its relationship with climate in China based on the MODIS data. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5087-5092.
- [27] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(4): 497-508.
- [28] Xiao X W. Study on Forest Biomass and Productivity in China [D]. Harbin: Northeast Forest University, 2005.
- [29] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, Zhao S Q, Ci L J. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [30] Xu X L, Cao M K, Li K R. Temporal-spatial dynamics of carbon storage of forest vegetation in china. *Progress In Geography*. 2007, 26(6): 1-10.
- [31] Zhao M, Zhou G S. Forest Inventory Data (FID)-based biomass models and their prospects. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1468-1472.
- [32] 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.
- [33] Ni J, Zhang X S, Scurlock J M O. Synthesis and analysis of biomass and net primary productivity in Chinese forests. *Annals of Forest Science*, 2001, 58(4): 351-384.
- [34] Zhao M, Zhou G S. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 2005, 207(3): 295-313.
- [35] Koch G W, Sillett S C, Jennings G M, Davis S D. The limits to tree height. *Nature*, 2004, 428(6985): 851-854.
- [36] Keeling, H C, Phillips, O L. The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography* 2007. 16(5): 618-631.
- [37] Dai M, Zhou T, Yang L L, Jia G S. Spatial pattern of forest ages in China retrieved from national-level inventory and remote sensing imageries. *Geographical Research*, 2011, 30(1): 172-184.

参考文献:

- [4] 徐德福, 王让会, 李映雪, 张慧. 陆地生态系统碳收支及其主要影响因素分析. *中国农业气象*, 2009, 30(4): 519-524.
- [6] 李怒云, 杨炎朝, 陈叙图. 发展碳汇林业应对气候变化——中国碳汇林业的实践与管理. *中国水土保持科学*, 2010, 8(1): 13-16.
- [7] 张小全, 李怒云, 武曙红. 中国实施清洁发展机制造林和再造林项目的可行性和潜力. *林业科学*, 2005, 41(5): 139-143.

- [9] 杨昆, 管东生. 珠江三角洲地区森林生物量及其动态. 应用生态学报, 2007, 18(4): 705-712.
- [10] 张茂震, 王广兴. 浙江省森林生物量动态. 生态学报, 2008, 28(11): 5666-5674.
- [11] 张鹏超, 张一平, 杨国平, 郑征, 刘玉洪, 谭正洪. 哀牢山亚热带常绿阔叶林乔木碳储量及固碳增量. 生态学杂志, 2010, 29(6): 1047-1053.
- [12] 陈德祥, 李意德, Liu H P, 许涵, 肖文发, 骆士寿, 周璋, 林明献. 尖峰岭热带山地雨林生物量及碳库动态. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 596-609.
- [13] 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.
- [14] 黄国胜, 夏朝宗. 基于 MODIS 的东北地区森林生物量研究. 林业资源管理, 2005, (4): 40-44.
- [16] 张茂震, 王广兴, 刘安兴. 基于森林资源连续清查资料估算的浙江省森林生物量及生产力. 林业科学, 2009, 45(9): 13-17.
- [17] 光增云. 河南森林生物量与生产力研究. 河南农业大学学报, 2006, 40(5): 494-497.
- [18] 赵芳芳, 徐宗学. 统计降尺度方法和 Delta 方法建立黄河源区气候情景的比较分析. 气象学报, 2007, 65(4): 653-662.
- [20] 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.
- [21] 张新时. 《1:1 000 000 中国植被图集》. 北京: 地质出版社, 2007.
- [23] 马文红, 方精云, 杨元合, 安尼瓦尔·买买提. 中国北方草地生物量动态及其与气候因子的关系. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 632-641.
- [26] 何勇, 董文杰, 郭晓寅, 丹利. 基于 MODIS 的中国陆地植被生长及其与气候的关系. 生态学报, 2007, 27(12): 5087-5092.
- [28] 肖兴威. 中国森林生物量与生产力的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
- [31] 赵敏, 周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1468-1472.
- [32] 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.
- [37] 戴铭, 周涛, 杨玲玲, 贾根锁. 基于森林详查与遥感数据降尺度技术估算中国林龄的空间分布. 地理研究, 2011, 30(1): 172-184.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@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