

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

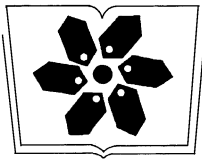
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201203260414

彭怡, 王玉宽, 傅斌, 马飞. 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. 生态学报, 2013, 33(3): 0798-0808.

Peng Y, Wang Y K, Fu B, Ma F. Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0798-0808.

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¹, 王玉宽^{1,*}, 傅 斌¹, 马 飞²

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘要:通过建立汶川地震灾区碳储存功能评估指标体系,利用 ArcGIS 平台计算了灾区四大碳库(地上部分碳、地下部分碳、死亡有机碳和土壤碳)碳储存密度,分析了碳储存空间格局和规律。结果表明:灾区碳储存总量 $3.97 \times 10^8 \text{ t}$, 平均碳密度 52.2 t/hm^2 , 其中亚高山常绿针叶林碳密度和碳储存最高。碳储存量随坡度增加而增加,大于 35° 地区碳储存量达 $1.3 \times 10^8 \text{ t}$, 占灾区碳存总量的 33.9%。碳储量随海拔增加呈现波动的曲线,0—750m 区域碳储量随海拔增加而增加,在 750—1750m 区域段碳储量因地震对植被的破坏出现下降,然后又随海拔增加而增加,到 3250m 时出现碳储存量高峰,储碳量达 7273t,之后又逐渐下降。此外,通过对比地震前后灾区生态系统碳储存功能得出研究区生态系统碳储存功能总体减少为 $9.98 \times 10^6 \text{ t}$,而地震对碳储存功能的影响主要是植被破坏导致的碳储存降低,其中退化最严重的地区在彭州和什邡的北部山区,并沿龙门山向西南方向延伸。研究结果直观反映了灾区碳储量空间格局,为决策者实施破坏区植被恢复策略以及地震灾区碳管理等提供依据。

关键词:生态系统功能;碳储存;汶川地震;GIS

Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas

PENG Yi¹, WANG Yukuan^{1,*}, FU Bin¹, MA Fei²

1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The value of terrestrial ecosystem carbon sequestration services has been widely recognized. Forests, grasslands and other ecosystems can store large amounts of carbon, which is the key to mitigating global climate change. The environment of the western region of Sichuan Province was greatly destroyed by the earthquake which had occurred in Wenchuan on May 12, 2008. One of the direct impacts is that the landscape was seriously damaged and the disturbed ecosystem released a significant amount of carbon dioxide because of sudden changes inland utilization and vegetation cover. Our goal was to use the maps of land use and land cover types and data of carbon reserves stocks in four carbon pools to estimate the amount of carbon stored in a landscape currently and the pre-seismic amount of carbon in the earthquake-hit areas, and then we have got a series of maps which can help us to conduct carbon management. Based on the geographical information system software of ArcGIS, this paper presented the evaluation index system to assess the carbon storage function of the earthquake-hit area, by calculating the density of carbon storage for four carbon pools (aboveground biomass, underground biomass, soil carbon and dead organic matter) in each grid. In addition, this paper also analyzed the spatial pattern of carbon storage function in this area. The results showed that the total carbon storage volume of the earthquake-hit

基金项目:中国科学院西部之光(基于 GIS 的生态补偿标准研究);全球环境基金(GEF)——长江流域自然保护与洪水控制项目;洛克菲勒基金

收稿日期:2012-03-26; 修订日期:2013-01-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyukuan@imde.ac.cn

area is 3.97×10^8 t based on the spatial analysis module of ArcGIS and the average carbon density is 52.2 t/hm^2 . The ecosystem with the highest carbon storage and carbon density is represented by subalpine evergreen coniferous forest. The carbon storage volume increased with the increasing slope gradient and altitude. The carbon storage volume in the area where the slope is greater than 35° is 1.3×10^8 t, accounts for 33.9% of the total carbon storage volume in the earthquake-hit area. Because of the forests was destroyed by the powerful earthquake, the function of carbon storage presents a suddenly drop sat altitude of 750—1750m. In addition, the impact of earthquakes on the carbon storage is that the carbon stocks lowered primarily owing to vegetation damage, with the overall reduction reaching 9.98×10^6 t. The most severely degraded areas are located in the northern mountains of Pengzhou County and Shifang County, along the southwestward extension of the Longmen Mountain. The recommendations of post-disaster reconstruction, vegetation and carbon management are listed as follows. 1) Expanding the area of forest coverage and improving forest quality is a key point to play an important role in forest carbon storage. 2) The vegetation restoration in the earthquake-hit area is given priority to the natural restoration approach of forest reservation, complementary with artificial approaches, such as artificial reforestation and landslide engineering control measures. The risk of secondary disasters can be decreased while ecosystem carbon storage function of the destroyed area is reconstructed. 3) To enhance the carbon contributions of farmland and grazing land area by pushing no-tillage agriculture, developing ecological agriculture, establishing a series of measures to improve comprehensive utilization (e. g., taking the action of returning straw to the field instead of burning them), and strengthening the carrying capacity control of prairie areas. Our results will help guide the vegetation recovery, carbon management and carbon trading. But most importantly, they can support a series of decisions made by government sat various levels in the earthquake-hit areas.

Key Words: ecosystem function; carbon storage; Wenchuan earthquake; GIS

在全球市场经济形势下,陆地生态系统碳汇服务的经济价值已经被广泛认识^[1-6]。《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》开启了“碳政治”元年。中国为了适应国际市场的新形势,将减排指标纳入国民经济发展规划,并建立了中国绿色碳基金。生态系统通过释放和吸收大气中的 CO_2 等温室气体 (GHG) 来调节地球气候。与大气生态系统的碳储存量相比,森林、草地、泥炭湿地等陆地生态系统的储存量更多,是减缓全球气候变化的关键所在^[7]。而陆地生态系统碳储存量是减少大气中 CO_2 的最主要的方式之一。随着 3S 技术的发展,基于遥感图和空间分析相关软件的生态系统功能评估方法也得到较快发展。其中以特定生态系统 (如森林生态系统) 地上部分碳库碳储存量及密度的评估较多^[8-9],而以栅格为单元的纵向空间多个碳库碳储存功能的评估还较少,地震灾区的评估尤为缺乏,在灾后生态系统功能重建中难以为决策者提供直观可靠的碳管理策略。

本研究区是长江上游地区碳储存功能热点区域。5.12 汶川地震不仅在表观上对区域地形地貌、植被景观等形成破坏,还对生态系统各项功能造成了较大影响,其中包括了碳储存功能。因此,对灾区碳储存量及地震对碳储存的影响的空间格局进行评估,可为灾区灾后植被恢复、碳管理及碳交易等提供科学依据,为决策者制定碳管理方案提供基础数据及科学建议。同时,本研究基于栅格评估单元对生态系统四大碳库碳储存功能的评估在方法上也是一种有益的探索。

1 研究区概况

四川汶川地震重灾区位于四川省西北部,川西高原向盆地过渡地带,涉及四川省成都、绵阳、德阳、广元、阿坝、雅安等 6 个市 (州) 30 个县 (区),总土地面积 76142 km^2 ,人口为 1385.63 万,是一个多民族聚居区。研究区海拔高差大,地质构造复杂。震中所在的龙门山区由一个东北-西南走向的强烈褶皱断裂带控制,地质岩石变质作用强烈,地表岩石结构破碎,松散固体物质丰富,易形成滑坡、崩塌和泥石流等地震次生山地灾害。研究区拥有森林、灌丛、草原和稀树草原、草甸、湿地、高山冻原以及各种农田生态系统等,且每种生态系统又

包含多种气候型和土壤型。根据震前最新的植被图,按照生态系统中最小单元——群系统计,震区共有各种陆地生态系统类型 90 种,其中:森林生态系统 45 类,包括针叶林 16 类,阔叶林 18 类,竹林 6 类;灌丛生态系统 24 类;草原与草甸生态系统 12 类;高山冻原与高山垫状生态系统 2 类;农田生态系统 7 类。总体来看,震区陆地生态系统主要由森林生态系统、灌丛生态系统、草原与草甸生态系统和农田生态系统构成。汶川地震对植被造成了严重的破坏,使得植被景观破碎,受干扰的生态系统由于土地利用/植被覆盖的急剧改变将释放大量的 CO_2 。

2 数据来源与预处理

评估基础数据包括震前植被类型图(遥感解译,分辨率为 $100\text{m} \times 100\text{m}$, 2005 年)、地震灾害分布图(遥感解译,分辨率为 $100\text{m} \times 100\text{m}$, 2008 年)、相关植被类型的地上部分碳储存密度统计和土壤碳调查栅格图层,均为实测数据。

2.1 植被覆盖图

植被覆盖资料越详细,区域碳储量的评估越精确。如土地利用类型为有林地的,在植被覆盖图中可细化到不同林种,甚至有的资料可提供植被的龄级、健康度,生存区域的海拔、降雨量、温度等,这些因素都显著影响碳储存和碳汇评估的精确度^[10-12]。在研究中,获取了灾区 2005 年的植被覆盖图和土地利用图,由于植被覆盖图比土地利用更详细地划分了灾区的植被类型和种类,因此在碳评估时用了植被覆盖图。灾后的植被图由于数据缺乏,则用地震破坏区域数据(地震及次生灾害分布图)替换 2005 年植被覆盖数据,将被替换的数据赋予裸地属性,所得图层大致认为是灾后的植被覆盖图(图 1)。

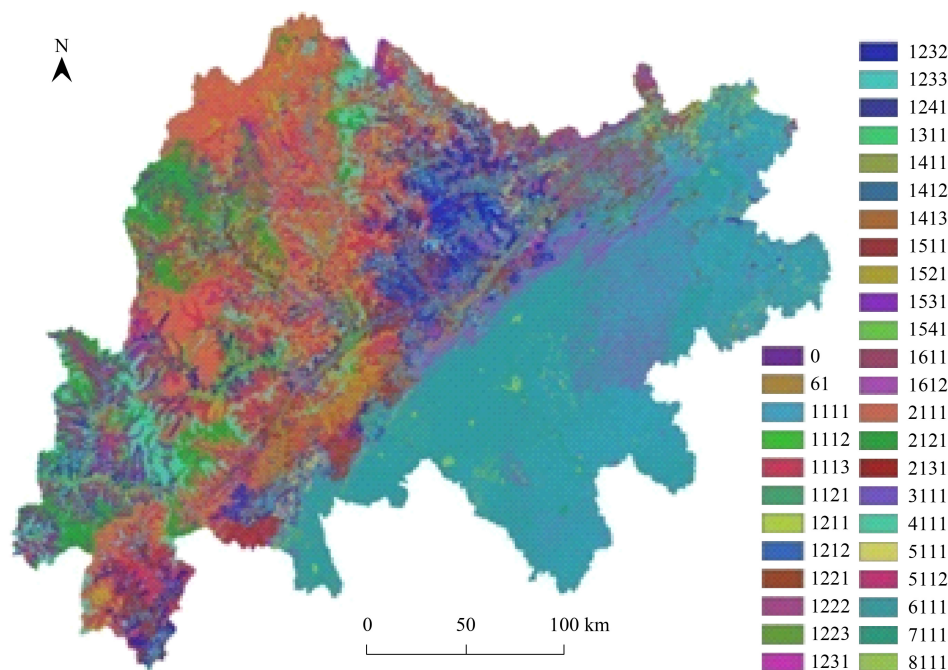


图 1 研究区震后植被覆盖类型

Fig. 1 Type of vegetation covered in the study area

2.2 土壤碳密度图

从中国科学院南京土壤研究所提供的长江上游土壤碳调查数据(ArcGIS GRID)裁剪获得灾区土壤碳密度图层(图 2)。

3 评估方法

陆地生态系统不仅通过光合作用等方式吸收碳,还将碳储存在生物、死亡有机物及土壤之中,不断固定和累积。碳储存功能是指介质吸收并储存碳的能力。目前,国际上主要是通过碳储量、碳密度大小来衡量。碳

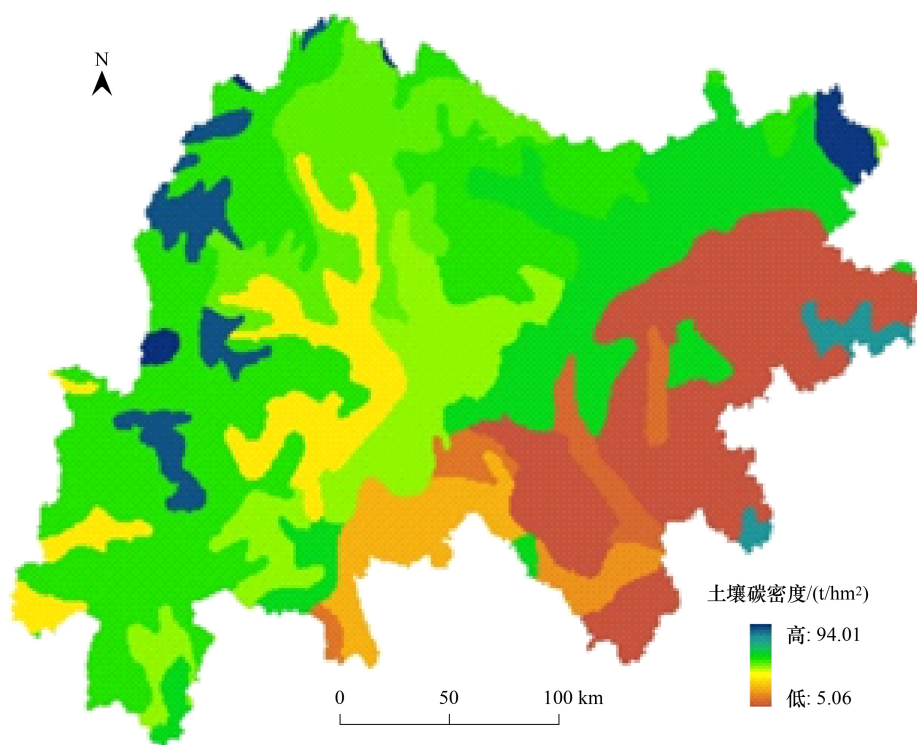


图2 研究区土壤碳密度

Fig. 2 Carbon density of soil in the study area

储量反映了储存碳的大小,而碳密度则反映了吸收碳的能力。碳密度可以排除面积大小的干扰,更好的反映储碳能力。因此,本研究通过对研究区四大碳库(地上、地下、死亡有机物、土壤)碳密度、碳储量计算及其空间分布的分析来评估生态系统碳储存功能。

3.1 地上部分碳密度

地上部分碳密度是主要根据王玉宽等 GEF 长江流域自然保护与洪水控制项目——《长江上游生态系统功能评估与保护区规划报告》中对各个生态系统类型下不同植被种类的碳密度值,结合黄从德等^[13]、方精云^[14]、吕超群^[15]、周玉荣^[16]等研究成果,与灾区植被覆盖类型对应,通过归并和统计获得。

3.2 地下部分碳和死亡有机碳碳密度

根据国内外文献^[17-23]中对每种植被实测的地上部分生物量(碳)密度与地下部分生物量(碳)密度、死亡生物量(碳)密度比值及生物量-碳转换率等研究结果,换算出地下部分碳密度和死亡有机碳密度。按植被覆盖类型分别统计地上部分碳、地下部分碳和死亡有机碳生成表格数据(表1),在 ArcGIS 中生成这三大碳库的总碳密度栅格图层。

3.3 地震前后碳储存功能空间分布

利用 ArcGIS 空间分析模块中的栅格运算工具,以研究区植被类型为单元统计灾区每个栅格三大碳库碳密度(地上、地下、死亡有机物),将三大碳库碳密度与土壤碳密度图进行叠加后得到研究区生态系统碳密度空间分布图。其中地上碳库中极不稳定的碳(如1年生农作物)不予考虑,因为这些碳库相对稀少,更新太快。计算方法为:

$$C_{\text{veg}} = C_{\text{above}} + C_{\text{below}} + C_{\text{dead}}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{veg}} + C_{\text{soil}}$$

式中, C_{tot} 为栅格单元总碳储量; C_{veg} 为以植被为统计单元的总碳储量; C_{above} 为以植被类型为统计单元的地上部分碳储量; C_{below} 为以植被类型为统计单元的地下部分碳储量; C_{dead} 为以植被类型为统计单元的死亡有机

物碳储量; C_{soil} 为土壤碳储量调查图层数据。以上单位均为 t/hm^2 。

4 结果与分析

4.1 地震前后研究区碳储存功能计算结果

基于研究区地震前后植被覆盖类型分别统计地上部分、地下部分和死亡有机碳密度(表1),在 ArcGIS 中叠加生成这三大碳库的密度图,再与土壤密度图(图2)进行叠加,得到灾区生态系统震前碳储存功能空间分布图(图3)与震后碳储存功能空间分布图(图4)。

表1 地上部分碳、地下部分碳和死亡有机碳碳密度表

Table 1 Carbon densities of aboveground biomass, belowground biomass and dead organic matter

植被编码 Land cover code	植被类型 Land cover	地上部分碳/ (t/hm^2) Carbon aboveground	地下部分碳/ (t/hm^2) Carbon belowground	死亡有机碳/ (t/hm^2) Carbon in dead organism
0	地震破坏区、裸地 Earthquake damage area and bare land	0	0	0
1111	低山常绿针叶林 Low mountain evergreen taiga	54.34	15.7586	4.1
1112	中山常绿针叶林 Mid-mountain evergreen taiga	49.13	14.2477	4.1
1113	亚高山常绿针叶林 Subalpine evergreen taiga	87.975	25.5127	4.1
1121	亚高山落叶针叶林 Subalpine deciduous taiga	52.1	8.857	1.89
1211	低山常绿阔叶林 Low mountain broad-leaved forest	38.395	9.9827	2.8
1212	中山常绿阔叶林 Mid-mountain broad-leaved forest	35.195	9.1507	2.8
1221	低山、丘陵阔叶混交林 Low mountain broad-leaved forest	45.2	9.04	1.9
1222	中山阔叶混交林 Mid-mountain broad-leaved forest	48.76	9.752	1.9
1223	亚高山阔叶混交林 Subalpine mixed broad-leaved forest	52.32	10.464	1.9
1231	低山落叶阔叶林 Low mountain broad-leaved deciduous forest	47.58	21.8868	2.8
1232	中山落叶阔叶林 Mid-mountain broad-leaved deciduous	40.39	18.5794	2.8
1233	亚高山落叶阔叶林 Subalpine broad-leaved deciduous forest	48.47	14.541	2.8
1241	高山栎类林 Alpine Quercus quifolioides forest	49.56	14.868	2.8
1311	亚高山针阔混交林 Subalpine mixed broad leaf-conifer forest	22.26	4.452	1.77
1411	低山、丘陵亚热带竹林 Low mountain Subtropical bamboo forest	35.74	7.148	2.8
1412	中山竹林 Mid-mountain Subtropical bamboo forest	35.74	7.148	2.8
1413	亚高山竹林 Subalpine Subtropical bamboo forest	35.74	7.148	2.8
1511	山地灌丛 Mountain shrubland	4.23	4.653	1.59
1521	亚高山灌丛 Subalpine shrubland	4.23	4.653	1.59
1531	高山灌丛 Alpine shrubland	4.23	4.653	1.59
1541	干旱河谷灌丛 Arid Valley shrubland	4.23	4.653	1.59
1611	稀树灌木草丛 Shrub tussock scattered with trees type rangeland	5.33	23.7185	1.5
1612	山地草丛 Mountain grassland	4.99	22.2055	1.5
2111	亚高山草甸 Subalpine meadow	4.25	18.9125	1.42
2121	高山草甸 Alpine meadow	4.25	18.9125	1.42
2131	沼泽草甸 Swamp meadow	12.25	54.5125	4.08
3111	低位草本沼泽植被 Herbaceous swamp vegetation	12.25	54.5125	4.08

续表				
植被编码 Land cover code	植被类型 Land cover	地上部分碳/(t/hm ²) Carbon aboveground	地下部分碳/(t/hm ²) Carbon belowground	死亡有机碳/(t/hm ²) Carbon in dead organism
4111	高山流石滩植被 Alpine debris flow waste-shoal land vegetation	4.23	4.653	1.59
5111	低山、丘陵经济林 Low mountain economic forest	30.935	6.187	2.8
5112	中山、亚高山经济林 Middle and Subalpine mountain economic forest	31.85	14.651	1.59
6111	农作物植被 Crop	1.9	0.361	0
7111	水域 Water area	0	0	0
8111	城镇及交通 Town and traffic land	0	0	0

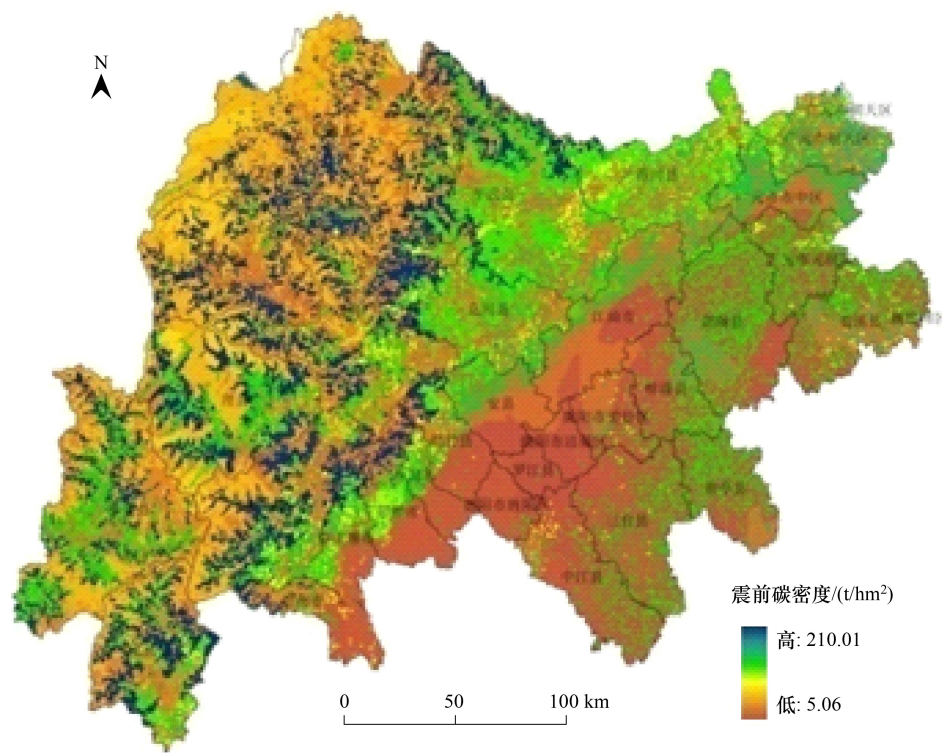


图3 灾区生态系统碳储存功能空间分布图(震前)

Fig.3 Spatial distribution of carbon storage function in the earthquake stricken area (pre-seismic)

4.2 研究区碳储存功能空间分布现状评估

地震灾区生态系统具有较高的碳储存能力。经统计,灾区碳储存总量为 3.97×10^8 t,平均碳密度 52.2t/hm^2 。四大碳库总碳密度以龙门山断裂带为界,西高东低。碳储存功能最高的区域位于龙门山区,同时也是此次汶川地震植被破坏最为严重的地区;最低区域位于人类活动干扰较强的山前平原和盆中丘陵以南地区,主要土地利用类型为农田、道路和城镇。

通过分析纵向空间格局得到,四大碳库中地上部分碳密度的平均值为 25.0t/hm^2 ,碳储量为 1.9×10^8 t,占灾区总碳存量的46.4%,其中林地 1.8×10^8 t,灌丛草地 9.5×10^7 t,农地为 4.2×10^6 t;地下部分碳密度平均值为 10.7t/hm^2 ,碳储量为 8.1×10^7 t,其中林地 5.4×10^7 t,灌丛草地 2.6×10^7 t,农地为 8.0×10^5 t;土壤碳密度平均值为 16.4t/hm^2 ,碳储量为 1.2×10^8 t,其中林地 6.2×10^7 t,灌丛草地 4.3×10^7 t,农地为 2.0×10^7 t;死亡有机碳密度平均值为 1.8t/hm^2 ,碳储量为 1.3×10^7 t,其中林地 1.0×10^7 t,灌丛草地 3.4×10^6 t。

从水平空间格局分析,如图5,碳密度在 $0\text{--}80\text{t/hm}^2$ 之间时,碳储量随碳密度增高而增加,在碳密度为

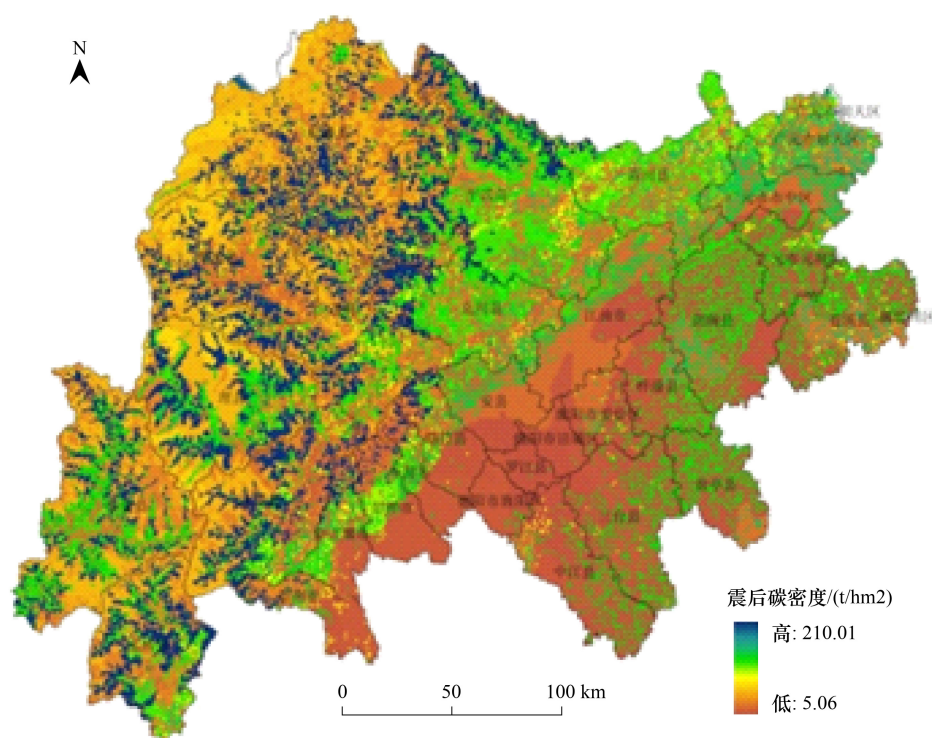


图4 灾区生态系统碳储存功能空间分布(震后)

Fig. 4 Spatial distribution of carbon storage function in the earthquake stricken area (post-earthquake)

80t/hm² 左右达到最高值,碳密度极高的区域所占面积较少,因此,碳密度>80t/hm² 时,碳储量逐渐降低。碳密度>100 t/hm² 的高碳储存功能区域主要分布于断裂带以西的龙门山区及川西高原过渡带的林地,碳储量达 1.3×10^8 t,占灾区总碳储量的 33.5%,而面积仅占总面积的 12.1%;碳密度在 60—100 t/hm² 的区域包括宝兴县、小金县、理县、平武县、茂县大部、汶川以西、北川以西、松潘以南及黑水县部分地区的高山灌丛、亚高山常绿针叶林、亚高山落叶阔叶林、中山落叶阔叶林、高山栎类林、低山竹林等,区域碳储量 1.6×10^8 t,占灾区总碳储量的 40.4%,面积仅占 25.6%;其次为地震带受损的亚高山落叶阔叶林、中山落叶阔叶林、低山常绿阔叶林等及川西高原过渡带的高山草甸、亚高山草甸和高山流石滩植被以及盆地北部丘陵区的低山常绿针叶林、

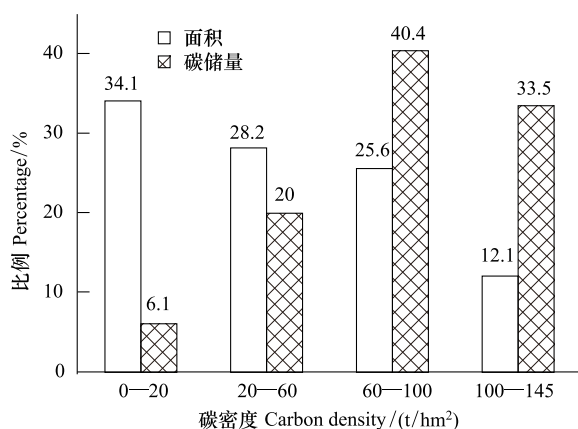


图5 灾区碳储量及面积百分比

Fig. 5 Carbon storage volume and their percentage in the earthquake stricken area

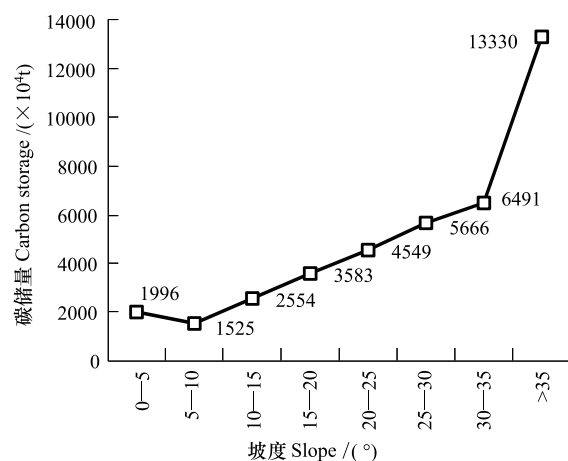


图6 不同坡度下的碳储量

Fig. 6 Carbon storage with different slope

低山-丘陵阔叶混交林、山地灌丛等,碳密度在 $20\text{--}60\text{t}/\text{hm}^2$ 之间,碳储量 $7.9\times 10^7\text{t}$,占灾区碳存量的 20.0% ,面积占 28.2% ;面积占灾区总面积 34.1% 的山前平原区及南部丘陵区农地、建筑用地碳储量最低,碳密度为 $<20\text{t}/\text{hm}^2$,碳储量为 $2.4\times 10^7\text{t}$,仅占灾区总碳存的 6.1% 。

碳储量曲线除了在 $5\text{--}10^\circ$ 略有减少,基本随坡度增大而增加。如图 6,在 $0\text{--}5^\circ$ 的平原地区土地利用以农田为主,作物收获导致碳的转移,故碳储存功能较低; $5\text{--}10^\circ$ 因多为建筑、交通等人为开发用地,碳储存功能出现最低值;随着坡度继续增大,人类干扰降低,植被覆盖度增加,碳储存功能增加,其中坡度 $>35^\circ$ 的区域碳储量占灾区碳储总量的 33.9% 。

碳储量随海拔增加呈现一个波动曲线(图 7), $0\text{--}750\text{m}$ 区域碳储量随海拔增加而增加,在 $750\text{--}1750\text{m}$ 区域段碳储量出现下降,然后又随海拔增加而增加,到 3250m 时出现碳储量高峰,碳储量达 7273t ,之后又逐渐下降。这是由于随海拔高度增加,碳储存密度较高的森林分布面积增加,且人口密度降低,人为干扰相对减少,因此碳储量增加。在海拔 $700\text{--}1800\text{m}$ 左右的汶川地震发生的龙门山断裂带,原分布的针叶林、草甸、针阔混交林、阔叶林等植被类型碳密度和碳储存功能较高,但由于地震直接造成大面积植被破坏,造成碳储量在该地区迅速降低。龙门山断裂带以西海拔在 1800m 以上的龙门山区,植被多为研究区碳密度最高的亚高山针叶林(碳密度达 $146.8\text{t}/\text{hm}^2$),林下死亡有机物因温度低分解慢,土壤储存碳量也较大,加之距震源距离增大,威胁降低,碳储量又呈现增加,到 3250m 时出现碳储量高峰。随着海拔继续增加,向川西高原草甸、流石滩植被及冰雪覆盖地过渡,碳储量逐渐下降。

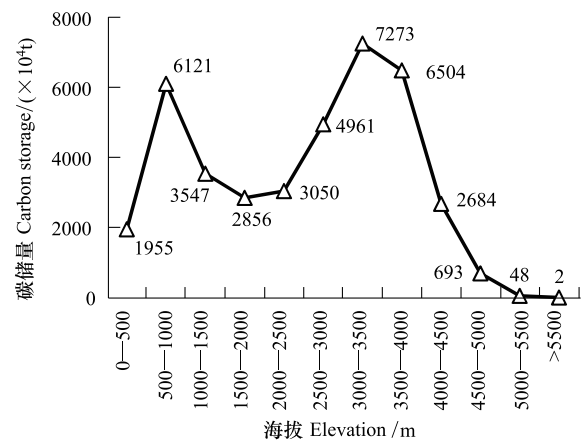


图 7 不同海拔碳储量

Fig. 7 Carbon storage with different elevation

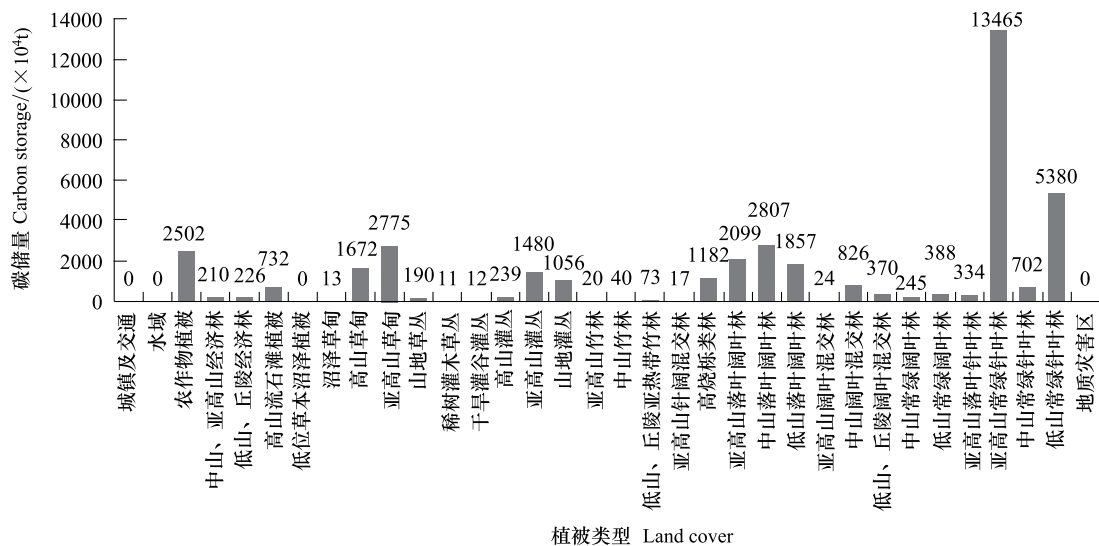


图 8 不同植被类型下的碳储量

Fig. 8 Carbon storage with different vegetation types

按植被类型统计四大碳库总碳储量分布情况为:亚高山常绿针叶林>低山常绿针叶林>中山落叶混交林>亚高山草甸>农地>亚高山落叶阔叶林>低山落叶阔叶林>高山草甸>亚高山灌丛>高山栎类林>山地灌丛>中山阔叶混交林>高山流石滩植被>中山常绿针叶林>低山常绿阔叶林>低山、丘陵阔叶阔叶林>亚高山落叶针叶林>中山常绿阔叶林>高山灌丛>中山亚高山经济林>山地草甸>其它(图 8)。

4.3 地震对碳储存功能的影响

地震造成大量植被被毁,直接导致碳储存功能的消失或减弱。利用 ArcGIS 栅格计算工具,用震后碳储存功能评估图层(图 4)减震前碳储存功能评估图层(图 3)得到地震对灾区生态系统碳储存功能的影响图层(图 9)。经统计,碳储存功能总体减少为 $9.98 \times 10^6 \text{ t}$,占研究区总碳储存功能的 1%。由此可知,虽然下降地区所占面积不大,但受损地区下降程度较高,其中破坏有 22.66% 的区域碳储存功能减少超过 120 t/hm^2 ,而下降超过 20 t/hm^2 的地区占到 90% 以上。退化最严重的地区在彭州和什邡的北部山区,沿龙门山向西南方向延伸。

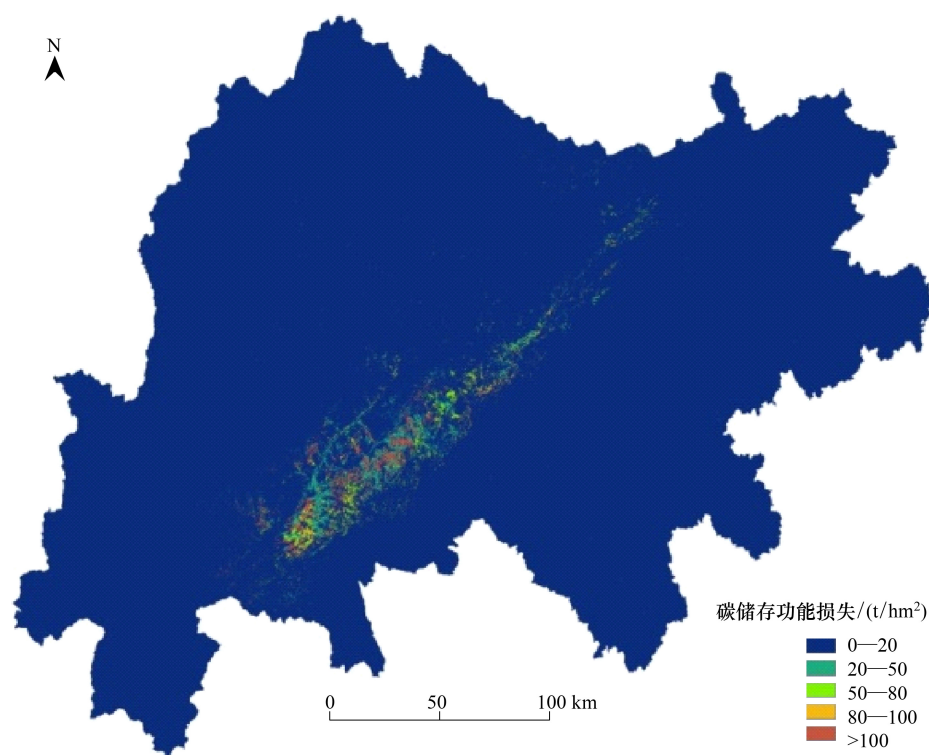


图 9 地震对灾区生态系统碳储存功能的影响

Fig. 9 Impact of earthquake on the carbon storage of Ecosystem function

5 结论与讨论

(1) 汶川地震灾区碳储存总量 $3.97 \times 10^8 \text{ t}$, 平均碳密度 52.2 t/hm^2 。碳储存功能空间格局总体以龙门山断裂带为界, 西高东低。

(2) 研究区碳储存功能大致随坡度增加而递增, 特别在大于 35° 时, 碳储存功能迅速增加。主要原因一是坡度大的地区植被类型多为碳密度较高的天然林和人工林, 且生物多样性丰富, 单位面积生物量大; 二是坡度在一定程度上反映了人为干扰的强度^[24]。由于地形因素限制, 建筑物和农地很少, 人为干扰较小。

(3) 研究区碳储存功能随海拔增加呈先上升后下降的趋势, 但由于地震对植被的破坏, 在海拔 750—1750m 原本碳储量高的区域出现大幅下降。研究表明, 海拔在水分和温度上影响植被类型、生物量蓄积、死亡有机物分解速度等, 从而决定生态系统碳储存功能的大小。本研究碳储存功能与海拔的关系曲线也体现了这样的关系, 描述了研究区从低海拔的平原、丘陵到高海拔的龙门山脉碳储量的先增后减过程, 这也同大多数研究结果一致^[13, 24]。

(4) 不同植被类型在碳储存功能上差异很大。常绿针叶林、亚高山草甸、针阔混交林亚高山常绿针叶林的碳密度和碳储存功能最强, 对灾区碳汇贡献最大。其中碳储存功能最高的是亚高山常绿针叶林, 其面积为灾区总面积的 12.1%, 碳储量却占灾区总量的 32.9%。可以看出, 森林在全球生态系统碳储存功能保持和碳管理中占有重要地位, 这在其它的研究成果中已得到证实^[25-26]。因此, 扩大森林面积、提高森林质量是发

挥森林碳储存功能的关键。在改造改造低产低效林和天然林保护的同时,应进一步加强退耕还林,扩大山区森林面积,提高森林质量,发挥森林生态系统碳储存能力。同时,在提高森林质量上要把好林种选育关,需因地制宜选择引进碳储存功能相对较高的林种,加强本地亚高山针叶林种等高碳储存潜力树种的繁育,最好采用封山育林的自然方式,并加强龙门山区及川西高原过渡带的高碳储存林地(图5中蓝色区域)及缓冲区(图中5中绿色区域)的保护和功能保持。此外,灾区农田面积大,在碳储存功能方面也有较大的提升空间。建议推行农业免耕方式,发展生态农业,禁止秸秆燃烧,提高秸秆综合利用率和还田,可以增强灾区农田碳汇贡献力。同时,加强草原地区载畜量控制,保护草原生态系统碳汇功能,减少碳等温室气体排放。

(5)地震对灾区碳储存功能的影响主要是植被类型的急剧变化。地震导致的植被景观的破碎化可能从三个方面影响 CO_2 排放:一是植被的生长受到威胁或直接导致死亡使得碳汇量降低;二是震后倒木被人工迁移,减少了斑块上地上部分碳储存量,同时不排除倒木被掩埋延长碳储存时间的可能;三是土地裸露加速了枯落物和地下储碳的释放。此次汶川地震造成灾区生态系统碳储存量减少 $9.98 \times 10^6 \text{t}$,其中退化最严重的地区在彭州和什邡的北部山区,并沿龙门山向西南方向延伸。建议地震破坏区植被恢复应以封山育林的自然修复方式为主,辅以人工造林、滑坡体工程治理等人为方式。在重建破坏区生态系统碳储存功能的同时,降低次生灾害的危险系数。

本研究为生态系统碳储存功能保持提供了较可靠地基础数据和较客观的管理建议。此外,根据本研究评估结果,在未来碳贸易正式执行情况下很容易确定其价值量,以栅格为评估单元的评估方法更有利于在碳贸易活动中碳汇/碳源归属地的管理。

由于中国木材经营缺乏标准的采伐计划和营林策略,木材产品衰减率也无法获取。本研究主要计算了灾区四大碳库(地上部分碳、地下部分碳、死亡有机碳和土壤碳)的碳储存密度及其空间格局,未评估木材收获及降解等产生的碳转移和碳衰减,即第五碳库:木材产品或林副产品储碳量(HWPs),如建材、家具等,这部分碳即使从原斑块中移走,也可以保存几十年甚至更久。然而,这部分碳量在当前中国管理措施下无法得到确切的数据,这也是当前提高生态系统碳储存功能评估精确度和动态评估所面临的瓶颈之一。另外,本研究因未获得震后最新的植被数据,对地震前后碳评估结果的准确度也有一定影响。

References:

- [1] Steen N. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Canadell J G, Raupach M R. Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 2008, 320(5882): 1456-1457.
- [3] Capoor K, Ambrosi P. State and trends of the carbon market 2008. Washington DC: World Bank Institute, 2008.
- [4] Hamilton K, Sjardin M, Marcello T, Xu G. Forging a frontier: State of the voluntary carbon markets 2008. Washington DC: Ecosystem Marketplace and New Carbon Finance, 2008.
- [5] Pagiola S. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics* 2008, 65(4): 712-724.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme//Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, NgaraTand Tanabe K, eds. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- [7] Lal R. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, 304: 1623-1627.
- [8] 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): 0142-0150.
- [9] Peng S Z, Zhao C Y, Zheng X L, Xu Z L, He L. Spatial distribution characteristics of the biomass and carbon storage of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) forests in Qilian Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1689-1694.
- [10] Jenny H. The soil resource: Origin and behavior. *Ecological Studies*, 37, Springer Verlag, New York, 1980.
- [11] Coomes DA, Allen RB, Scott NA, Goulding C, Beets P. Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management*, 2002, 164: 89-108.
- [12] Raich J W, Russell A E, Kitayama K, Parton W J, Vitousek P M. Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology*, 2006, 87: 76-87.

- [13] Huang C D, Zhang J, Yang W Q, Tang X, Zhang G Q. Spatial differentiation characteristics of forest vegetation carbon stock in Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 5115-5121.
- [14] Fang J Y, Guo Z D, Pu S L, Cheng A P. Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981—2000. *Science in China (Series D): Earth Sciences*, 2007, 50(9): 1341-1350.
- [15] Lü C Q, Sun S C. A review on the distribution patterns of carbon density. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 692-703.
- [16] 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.
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme//Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K, eds. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- [18] Jackson R B, Canadell J J, Ehleringer J R, Mooney H A, Sala O E, Schulze E D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 1996, 108: 389-411.
- [19] Chen G S, Yang Y S, Liu L Z, Li X B, Zhao Y C, Yuan Y D. Research Review on Total Belowground Carbon Allocation in Forest Ecosystems. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2007, 2(1): 34-42.
- [20] Chen X L. Researches on Carbon Sequestration Functions of Main Forest Types in Northern China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003.
- [21] Huang M, Ji J J, Cao M K, Li K R. Modeling study of vegetation shoot and root biomass in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [22] Yu W T, Yu Y Q. Advances in the research of underground biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 927-932.
- [23] Jackson R B, Schenk H J, Jobbágy E G, Canadell J, Colello G D, Dickinson R E, Field C B, Friedlingstein P, Heimann M, Hibbard K, Kicklighter D W, Kleidon A, Neilson R P, Parton W J, Sala O E, Sykes M T. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. *Ecological Applications*, 2000, 10: 470-483.
- [24] Xu S J, Zeng B, Su X L, Lei S T, Liu J H. Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(7): 2174-2184.
- [25] Fahey T J, Woodbury P B, Battles J J, Goodale C L, Hamburg S, Aligner S, Woodall C W. Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Front Ecol Environ*, 2010, 8: 245-252.
- [26] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35(1): 313-347.

参考文献:

- [8] 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): 0142-0150.
- [9] 彭守璋, 赵传燕, 郑祥霖, 许仲林, 何磊. 祁连山青海云杉林生物量和碳储量空间分布特征. 2011, 22(7): 1689-1694.
- [13] 黄从德, 张健, 杨万勤, 唐宵, 张国庆. 四川省森林植被碳储量的空间分异特征. *生态学报*, 2009, 29(9): 5115-5121.
- [14] 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): 1-9.
- [15] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度格局研究概述. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 692-703.
- [16] 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.
- [19] 陈光水, 杨玉盛, 刘乐中, 李熙波, 赵月彩, 袁一丁. 森林地下碳分配 (TBCA) 研究进展. *亚热带资源与环境学报*, 2007, 2(1): 34-42.
- [20] 陈遐林. 华北主要森林类型的碳汇功能研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [21] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 李克让. 中国区域植被地上与地下生物量模拟. *生态学报*, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [22] 宇万太, 于永强. 植物地下生物量研究进展. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 927-932.
- [24] 徐少君, 曾波, 苏晓磊, 类淑桐, 刘建辉. 基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究. *生态学报*, 2012, 32(7): 2174-2184.

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 <i>Eucalyptus</i>	ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Pterocarya stenoptera</i> 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