

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 9 期 Vol.32 No.9 **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 9 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例	葛 菁, 吴 楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价	姜亚洲, 凌建忠, 林 楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例	仇江啸, 王效科, 逯 非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估	刘 勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例	杨 帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局	范 娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征	康 冰, 王得祥, 李 刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础	邓 山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响	李 婷, 叶 勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用	鲁顺保, 郭晓敏, 芮亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布	刘小真, 赵 慈, 梁 越, 等 (2863)
2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较	佟 磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法	方 恺, 董德明, 林 卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析	伦 飞, 李文华, 王 震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响	刘 杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复 陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)	

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达 250 种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常 1 只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

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

DOI: 10.5846/stxb201103210348

伦飞, 李文华, 王震, 白艳莹, 杨艳刚. 中国伐木制品碳储量时空差异. 生态学报, 2012, 32(9): 2918-2928.

Lun F, Li W H, Wang Z, Bai Y Y, Yang Y G. Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2918-2928.

中国伐木制品碳储量时空差异

伦 飞^{1,2,*}, 李文华¹, 王 震^{1,2}, 白艳莹¹, 杨艳刚¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 森林生态系统碳储量是全球变化研究的热点问题之一, 在国内外已经进行了深入的研究。然而, 森林采伐后生产的伐木制品碳储量研究相对较少, 因此基于 IPCC 提出的大气流动法, 综合考虑伐木制品废弃情形, 以 2000 年为基准年, 估算了我国 2000—2009 年生产伐木制品的碳储量。结果表明, 我国伐木制品是一个巨大碳库, 且碳储量呈不断增加趋势。2000—2009 年我国新生产的伐木制品, 在 2009 年净碳储量为 306.52 TgC, 非纸木制品、纸类和竹材制品碳储量分别为 114.71 TgC、4.33 TgC 和 199.07 TgC, 而薪材燃烧累计碳释放量为 11.60 TgC, 其他伐木制品累计碳释放量共为 37.76 TgC。在 2009 年, 终端伐木制品碳储量为 318.12 TgC, 木材制品和竹制品碳储量分别占 37.42% 和 62.58%; 在木材制品中, 非纸木制品和纸类碳储量为 114.71 TgC 和 4.33 TgC, 各占 96.36% 和 3.64%。与方精云估算的我国 1999—2003 年森林年碳汇量 168.1 TgC/a 相比, 这一时期生产的伐木制品年净碳储量为 25.21 Tg/a, 占森林年碳汇量的 15%, 这说明伐木制品在维持碳平衡具有重要的作用。本文估算的竹制品碳储量约为木材制品碳储量的 1.67 倍, 这说明竹材制品碳储量在伐木制品碳储量中占相当大的比重, 是一个重要的碳库。此外, 按照终端伐木制品净碳储量情况, 可将我国分成高储量区、中储量区和低储量区。高储量区包括福建、浙江、湖南、云南、广西、江西 6 个省, 这些地区终端伐木制品净碳储量占全国的 67%; 中储量区包括安徽、广东、湖北、四川、黑龙江、吉林和内蒙古等地区, 其他地区为低储量区。我国 7 个地区按终端伐木制品净碳储量顺序排列为: 华东、华中、华南、西南、东北、华北、西北。此外, 研究还表明我国南方和北方伐木制品碳储量分别以竹材制品和木材制品储存为主。

关键词: 伐木制品; 碳储量; 时空差异

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China

LUN Fei^{1,2,*}, LI Wenhua¹, WANG Zhen^{1,2}, BAI Yanying¹, YANG Yangang¹

1 Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Forest ecosystem carbon budget is becoming a hotspot in global climate change research recently. Scientists all over the world have done many in-depth studies on this topic. However, the research on the carbon budget and the carbon stock trend of wood and bamboo products is lagging behind, especially in China. Some foreign scientists have already begun to study these issues, especially about the carbon stocks and trends of harvested wood product (HWP). However, a few of them is about HWP carbon stock in China. In this study, by taking the harvested wood products disposal situations into account and setting 2000 as the base year, the net carbon stock of HWP produced in China from 2000 to 2009 was calculated by the atmospheric-flow approach. The results showed that HWP is a huge carbon sink, which has been expanding continuously. The study also showed that the net carbon stock of HWP in 2009 was about 306.52 TgC in China, among which the net carbon stock of non-paper wood products, paper, bamboo product is 114.71 TgC, 4.33 TgC and

基金项目: 家环保部公益性行业科研专项(201009020)资助

收稿日期: 2011-03-21; 修订日期: 2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rucallen_2008@yahoo.com.cn

199.07TgC respectively. However, the wood fuel combustion released 11.60TgC, and the other HWP released 37.76TgC. The carbon stock of the end HWP reached to 318.12TgC in 2009, of which the carbon storage of the end wood products and bamboo products accounts for 37.42% and 62.58% respectively. For the end wood products, there was 114.71Tg carbon stored in non-paper wood products, accounting for 96.36%, and the rest carbon (about 4.33TgC) was stored in Paper. Moreover, the results also showed that the new HWP carbon stock was 25.21TgC/a from 1999 to 2003 and accounted for 15% of the net forest carbon sink for the same period estimated by Fang, which indicated that HWP plays an important role in maintaining carbon balance for the global carbon cycling and its equilibrium. The results also illustrated that the carbon stored in the bamboo products was 1.67 times more than that in the wood products, which means that bamboo products were an important carbon pool and it accounted for one large proportion in China. In addition, according to the end HWP carbon stock, China can be divided into three parts, namely the high, middle and low HWP carbon stock areas. The high end HWP carbon stock area, covering Fujian, Zhejiang, Hunan, Yunnan, Guangxi and Jiangxi Provinces, accounts for 67% of the country's HWP carbon stock. The middle HWP carbon stock area includes Anhui, Guangdong, Hubei, Sichuan, Heilongjiang and Jilin provinces, and Inner Mongolia autonomous region. And the rest of China belongs to the low HWP carbon stock area. The carbon storage in the end HWP is highest in Eastern China, followed by Central China, South China, Southwest China, Northeast China and North China, and the lowest end HWP carbon stock was located in Northwest China, which was very different from the forest carbon storage in China. Furthermore, the results illustrated that the carbon of HWP is mainly storied in the bamboo products in southern China, compared to in the wood products in northern China.

Key Words: harvested wood products; carbon storage; spatio-temporal changing

森林生态系统碳储量是研究全球变化的重要课题之一,也是热点问题之一。研究表明,森林生态系统固碳量占陆地总固碳量的 67%^[1]左右,在维持碳循环方面具有重要作用,国内外学者在这方面也进行了大量的研究。例如,我国学者从不同尺度对森林生态系统的植被、土壤和凋落物碳储量进行了研究^[2-12],结果表明我国森林生态系统是一个碳库。然而,森林生态系统处于不断变化之中,现阶段对森林碳储量主要以静态研究为主,缺乏从生命周期角度动态的研究,尤其是对森林采伐制品的研究很少。

森林采伐后,除枝叶等会残留在采伐迹地外,其余部分以原木和竹材形式被利用,经加工后制成伐木制品(harvested wood products, HWP)(又称木质林产品),因此,森林生态系统固定的一部分碳转移到伐木制品中。《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)将木制品、纸制品、竹藤类产品和能源用木材均作为伐木制品的一部分,这与联合国粮农组织(FAO)对伐木制品的定义基本一致^[13-16]。除薪材当年燃烧释放碳外,其余伐木制品可储存较长时间的碳,尤其是被填埋的废弃制品可长期储存。此外,伐木制品还能替代化石燃料、钢铁、水泥等能源密集型产品,可在一定程度上减少碳的释放^[17-18]。尽管 UNFCCC 各缔约方对伐木制品是否应纳入国家温室气体清单仍存争议^[19],但 IPCC 特别报告对伐木制品在减少碳排放所发挥的作用予以肯定^[20],因此需要对伐木制品碳储量进行深入地研究。

近年来,国际上的学者对伐木制品碳储量进行了研究。例如,IPCC 针对缺省法无法表示伐木制品碳储量,提出了储量变化法、生产国法和大气流动法来进行估算^[21-22];根据伐木制品的碳循环情况,估算了全球伐木制品的碳储量,结果表明全球伐木制品碳储量呈增加趋势,且每年增加 26—40 TgC^[23-25];此外,通过分析伐木制品碳流动构建了伐木制品的碳储量估算模型,其结果也表明伐木制品是一个巨大的碳库^[26-29]。随着伐木制品研究的深入,我国学者也逐步开始对其进行研究。首先,一些学者详细地介绍了 IPCC 的估算方法,并利用 FAO 的数据,对我国伐木制品碳储量进行了估算及预测^[19,30-32];随后,针对 UNFCCC 谈判中伐木制品的相关问题,分析了今后谈判和研究的主要方向,同时还提出了相关建议^[33];此外,针对具体森林产品类型,探讨了采伐木在不同情景下的碳排放情况^[34]。

我国伐木制品的研究已经取得了不错的成果,但仍存在一些不足。例如,研究对象方面,缺乏对竹材制品

碳储量的研究和估算;研究内容方面,对伐木制品废弃情况考虑不足;研究尺度方面,主要以整体性研究为主,缺乏区域差异性分析。因此,本文在前人研究的基础上,综合考虑伐木制品废弃情形,估算了全国伐木制品碳储量情况,并分析了区域性差异及其原因,一定程度上弥补了研究中的不足。

1 研究方法、数据来源及计算方法

1.1 研究方法数据来源

按木材生产过程,可将伐木制品分为3类:第一级产品(如原木、薪材)、中间产品(如锯木、人造板、纸及纸板等)和终端产品(如家具、建筑材料、纸类等)^[19]。为了更好地估算伐木制品碳储量,本文假定第一级产品中的薪材被燃烧,且含碳量全部释放;其余第一级产品在生产过程中没有损耗,其含碳量全部转移到终端产品中。因此,本文从第一级伐木制品入手,核算新生产伐木制品含碳量,扣除薪材含碳量,得到当年新生产伐木制品的净含碳量;根据终端产品的废弃情况,得到伐木制品的碳排放,利用这两个数值,再加上一年剩余伐木制品的碳储量,便可以估算当年伐木制品的碳储量。

根据上述方法,本文利用2000—2009年我国各个地区(除香港、澳门和台湾地区)所生产的不同木材和竹材产品产量,估算了各个地区和全国的伐木制品碳储量,并进行了区域差异性分析。根据木材的用途及使用情况,主要包括纸用原木、非纸用原木和薪材,这部分数据主要来自林业统计年鉴对不同木材生产量的统计(m^3);竹材的产量也同样来自我国2000—2009年林业统计年鉴,根据竹材利用情况,可分为毛竹和其他竹,其统计单位为株数。

1.2 计算方法

IPCC提出估算伐木制品碳储量的储量变化法、生产国法和大气流动法的计算公式如下:

$$\text{储量变化法} \quad \Delta LC_i = H + M - EX - E_{\text{use}}$$

$$\text{生产国法} \quad \Delta LC_i = H - E_{\text{DOM}} + E_{\text{EX-DOM}}$$

$$\text{大气流动法} \quad \Delta LC_i = H - E_{\text{use}}$$

式中, ΔLC_i 为第*i*年碳储量变化量; H 为原木含碳量; M 为进口木材和产品含碳量; EX 为出口木材和产品含碳量; E_{use} 为国内使用产品的碳排放量; E_{DOM} 为在国内采伐、加工和使用的木材产生的碳排放量; $E_{\text{EX-DOM}}$ 为由国内出口到国外经生产和使用产生的碳排放量。

本文的假定与大气法的计算方法一致,因此以大气法为基础,采用寿命分析法和逐步递归法来估算我国伐木制品碳储量及其变化^[13,16],具体计算公式如下:

$$C_i = C_{i-1} + \Delta LC_i - E_i$$

式中, C_i 和 C_{i-1} 分别是第*i*年和*i-1*年的伐木制品碳储量, ΔLC_i 是第*i*年新生产伐木制品净含碳量, E_i 是第*i*年终端伐木制品碳释放量。

1.2.1 新生产的伐木制品净含碳量

根据伐木制品的特性,可以将其分为木材和竹材。其中木材主要分为造纸用原木、非纸用原木和薪材,竹材则分为毛竹和其他竹类。除薪材会当年将其含碳量全部释放回大气外,其余部分含碳量则全部转移到终端伐木制品中。因此,通过估算木材和竹材含碳量,并扣除薪材含碳量,则可以得到当年生产伐木制品的净含碳量。其中:

$$\text{原木和薪材含碳量} \quad C = \rho VT$$

式中, C 为原木和薪材含碳量, ρ 为基本密度, V 为生产量, T 为含碳率。

$$\text{第 } i \text{ 年新生产木材制品的净含量} \quad H_i = R_i + P_i - W_i$$

式中, H_i 为第*i*年新生产木材含碳量, R_i 、 P_i 和 W_i 分别是第*i*年新生产的非纸用原木、造纸用原木、薪材含碳量。

$$\text{第 } i \text{ 年新生产竹材制品的碳储量} \quad B_i = B_{i1} + B_{i2} = n_1 M_1 T_1 + n_2 M_2 T_2$$

式中, B_i 、 B_{i1} 和 B_{i2} 分别是第*i*年的竹材、毛竹和其他竹类含碳量, n_1 和 n_2 是毛竹和其他竹类的株数, M_1 和

M_2 是毛竹和其他竹类的每株生物量, T_1 和 T_2 是毛竹和其他竹类的含碳率。

因此,第 i 年新生产伐木制品的净碳储量为:

$$\Delta LC_i = H_i + B_i = R_i + P_i + B_{i1} + B_{i2} - W_i$$

式中转换因子见表 1。

表 1 原木和薪材的基本密度、竹材单株生物量及其含碳量

Table 1 The density, biomass, and carbon content rate of the wood and bamboo

	原木 ^[16,35-37] Round wood		薪材 ^[16,35-37] Wood fuel	竹材 ^[37-41] Bamboo	
	非纸用原木 Non-paper round wood	造纸用原木 Paper round wood		毛竹 Moso bamboo	其他竹类 Other bamboo
基本密度 Density/(t/m ³)	0.485	0.485	0.485	—	—
单株生物量 Biomass per culm/(kg/株)	—	—	—	63.46	2.35
含碳率 Carbon fraction	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45

1.2.2 终端伐木制品碳排放量

根据使用和废弃情况,终端伐木制品可分为非纸木制品、纸类和竹制品,其中非纸木制品和纸类属于木材制品。因此,

第 i 年终端伐木制品碳排放量为:

$$E_i = ER_i + EP_i + EB_i$$

式中, ER_i 、 EP_i 和 EB_i 分别是第 i 年非纸木制品、纸类和竹制品的碳排放量。

终端伐木制品的碳排放,主要由于其废弃后燃烧或分解引起的。由于我国伐木制品回收难以统计,因此本文将终端伐木的废弃情况分为两种:一种是被直接燃烧,其所含碳全部释放回大气;另一种被自然分解,其含碳量逐步释放回大气。由于终端伐木制品的废弃速率和分解速率,与使用寿命及分解年限有关^[19,34],现阶段主要研究的方法有速率恒定和符合指数变化的方法。为了便于估算,本文采用废弃率和分解率恒定的方法,即终端伐木制品每年的废弃量和分解量不发生变化,其中,产品废弃率等于其使用寿命的倒数,分解率为自然分解所需年限的倒数。以非纸木制品为例,第 i 年生产的非纸木制品在其生产后的第 n 年排放碳量:

$$ER = af_r R_i + nb f_d f_1 R_i$$

式中, a 和 b 分别是非纸木制品燃烧和分解比例, f_r 是非纸木制品废弃率, f_1 是非纸木制品自然分解率。

因此,以 2000 年为基准年,则(2000+ i)年的非纸木制品碳排放量为:

$$ER_i = \sum_{n=1}^{i-1} [af_r R_n + (i-n)bf_d f_1 R_n]$$

同样,第(2000+ i)年纸类和竹制品碳排放量为:

$$EP_i = \sum_{n=1}^{i-1} [af_p P_n + (i-n)bf_p f_2 P_n], EB_i = \sum_{n=1}^{i-1} [af_b B_n + (i-n)bf_b f_3 B_n]$$

式中, f_p 和 f_b 分别是纸类和竹制品废弃率, f_2 和 f_3 分别是纸类和竹制品自然分解率;其中,废弃的终端伐木制品被用于燃烧部分的时间应不超过其使用寿命,而分解部分的时间不超过自然分解所用时间。

根据前人对伐木制品使用寿命的研究^[16],非纸木制品、竹制品和纸类的使用寿命分别为 40、20 a 和 10 a,则废弃率分别为 0.025、0.05 和 0.1;根据调查资料^[42],且便于计算,本文采用 60% 的废弃后的伐木制品被燃烧,则自然分解的占 40%,因此, $a=0.6$, $b=0.4$, $f_r=0.025$, $f_p=0.1$, $f_b=0.05$ 。根据文献^[22,31],实木产品和纸类的腐烂碳排放率分别为 3% 和 26%,为方便计算,假定纸类的分解时间为 4 a,其他制品为 30 a,则 $f_1=f_3=1/30$, $f_2=0.25$ 。

2 结果与分析

2.1 新生产的伐木制品碳储量

根据 1.2.1 的计算公式可得到,我国 2000—2009 各年新生产的伐木制品净含碳量以及终端伐木制品含

碳量(表2)。由表可知,我国每年新生产的伐木制品净含碳量呈增加趋势,由2000年的22.01 TgC,增加到2009年的42.59 TgC;由于薪材当年被燃烧用作能源,其所含碳被释放回大气,因此,新生产的终端伐木制品碳储量略大于当年新生产伐木制品净含碳量。这10 a期间生产的终端伐木制品总含碳量为355.88 TgC。与竹材制品碳储量相比可知,新生产的木材制品碳储量增长并不明显,2000年相比,2009年的碳储量仅增加了24%,而竹材制品则增加了133%;此外,每年新生产的木材制品低于竹制品碳储量,约占新生产总伐木制品碳储量的30%—40%。

表2 2000—2009年新生产的伐木制品当年碳储量/TgC

Table 2 The carbon stock of new HWP from 2000 to 2009

年份 Year	木材制品 Wood products				竹材制品 Bamboo products	初级产品 净含碳量 Primary wood products	终端产品 含碳量 End wood products
	总量 Total	非纸木制品 Non-paper wood product	纸类 Paper	薪材 Wood fuel			
2000	11.46	10.20	0.46	-0.80	12.15	22.01	22.81
2001	11.04	9.73	0.45	-0.86	13.79	23.11	23.97
2002	10.76	9.50	0.51	-0.75	15.87	25.13	25.88
2003	11.54	9.92	0.56	-1.06	24.82	34.23	35.29
2004	12.60	10.81	0.62	-1.18	23.67	33.92	35.10
2005	10.88	11.64	0.54	-1.30	23.38	34.26	35.56
2006	13.61	14.19	0.63	-1.21	28.09	41.70	42.91
2007	14.57	14.93	0.82	-1.18	29.04	43.61	44.79
2008	16.02	16.86	0.98	-1.82	27.71	43.73	45.55
2009	14.27	14.79	0.91	-1.44	28.32	42.59	44.02

薪材由于燃烧将所含的碳释放回大气,因此将其含碳量为负值

2.2 新生产的终端伐木制品碳排放情况

2000年新生产的伐木制品,从2001年开始出现废弃及碳排放现象,根据1.2.2的核算公式,可得到我国新生产的终端伐木制品在这段时期的碳排放量情况(表3)。在2001—2009年间,新生产的终端伐木制品碳排放呈增加趋势,由2001年0.56 TgC,增加到2009年的8.81 TgC,增加了15.7倍。其中,竹制品碳排放量明显增加,由2001年的0.37 TgC,增加到2009年的6.53 TgC,所占总碳排放的比重也由66%增加到74%;新生产的非纸木制品在2001—2009年的碳排放总量为7.85 TgC,年均排放量0.87 TgC/a,占其生产量的6.4%,由于使用寿命和分解周期较长,使其占伐木制品总排放量的比重有所下降;尽管纸类生产量很小,但是由于其使用寿命短、废弃和分解速率快,其排放量占生产量的比重最大,达到21.4%,并且纸类的碳排放占总排放量的比重相对稳定,约为5.5%—6%。

表3 2000—2009年新生产的终端伐木制品碳排放情况/TgC

Table 3 The carbon release of new HWP produced in the period 2000—2009

年份 Year	非纸木制品 Non-paper wood products		纸类 Paper		竹制品 Bamboo products		总排放量 Total emission
	排放量 Emission	比重/% Ratio	排放量 Emission	比重/% Ratio	排放量 Emission	比重/% Ratio	
2001	0.16	27.9	0.03	5.8	0.37	66.4	0.56
2002	0.31	26.2	0.07	5.8	0.80	68.1	1.18
2003	0.46	24.5	0.11	6.0	1.31	69.5	1.88
2004	0.62	21.6	0.17	5.8	2.10	72.7	2.89
2005	0.80	20.6	0.22	5.8	2.87	73.6	3.89
2006	1.00	20.3	0.28	5.7	3.64	74.1	4.92
2007	1.24	20.1	0.34	5.5	4.58	74.4	6.16
2008	1.49	19.9	0.42	5.6	5.57	74.5	7.47
2009	1.78	20.2	0.50	5.7	6.53	74.1	8.81

2.3 新生产伐木制品的碳储量情况

表 4 表示了我国新生产的各类伐木制品在 2000—2009 年的碳储量情况。我国 2000—2009 年间新生产的伐木制品,在 2009 年总净碳储量共为 306.52 TgC,其中非纸木制品、纸类和竹制品的所含碳储量分别为 114.71、4.33 TgC 和 199.07 TgC;在 10 a 期间,薪材燃烧累计释放了 11.60 TgC 的碳,其他伐木制品共产生了 37.76 TgC 的碳释放。终端伐木制品被人类直接使用,其碳储量在研究全球碳循环中具有重要意义。我国 2000—2009 年新生产的终端伐木制品,在 2009 年时的碳储量为 318.12 TgC,年均碳储量为 31.812 TgC/a,其中木材制品和竹材制品的碳储量分别为 119.04 TgC 和 199.07 TgC,分别占到 37.4% 和 62.6%。由此可见,我国终端伐木制品是一个巨大的碳库。

尽管每年伐木制品生产和废弃情况不同,但每年新生产的伐木制品净增碳储量呈现波动上升趋势。2000—2003 年间,伐木制品年净增碳储量相对稳定,但随后上升明显,在 2007 年达到最大值(37.46 TgC),尽管 2008 和 2009 年有所下降,但均高于 2005 年之前的净碳储量。通过计算可知,这 10 a 生产的非纸木制品、纸类和竹制品在 2009 年碳存留率分别为 93.6%、66.9% 和 87.8%,这与他们的使用寿命、废弃率和分解率有关。对比木材制品和竹材制品的碳储量可知,木材制品占总伐木制品碳储量比重在开始阶段有所下降,但随后几年趋于稳定(约 35%),主要是由于木材制品和竹材制品的生产量与排放量的比例基本一致。

表 4 2000—2009 年新生产的伐木制品总碳储量情况/TgC

Table 4 The net accumulated carbon budget of new HWP produced in the period 2000—2009

年份 Year	木材制品 Wood products			薪材 Wood fuel	竹制品 Bamboo products	当年净碳储量 Net stock in this year	总净碳储量 Total net stock	终端伐木制品 净碳储量 Net stock of end wood products
	总量 Total	非纸木制品 Non-paper wood products	纸类 Paper					
2000	9.86	10.20	0.46	-0.80	12.15	22.01	22.01	22.81
2001	19.79	19.77	0.88	-0.86	25.56	22.55	44.56	46.21
2002	29.53	28.97	1.31	-0.75	40.63	23.95	68.51	70.91
2003	39.12	38.42	1.76	-1.06	64.14	32.34	100.85	104.32
2004	49.64	48.61	2.21	-1.18	85.72	31.04	131.89	136.54
2005	60.67	59.45	2.53	-1.30	106.24	30.37	162.26	168.21
2006	74.31	72.64	2.88	-1.21	130.68	36.77	199.03	206.20
2007	88.51	86.33	3.35	-1.18	155.14	37.46	236.49	244.83
2008	103.80	101.70	3.92	-1.82	177.28	36.26	172.75	282.91
2009	117.61	114.71	4.33	-1.44	199.07	33.77	306.52	318.12

薪材的每年的碳储量指当年其碳排放量

2.4 各地区终端伐木制品碳储量情况

我国不同省份 2000—2009 年新生产的终端伐木制品在 2009 年的碳储量情况如表 5 所示。我国 7 个地区,按终端伐木制品碳储量高低排序为:华东 139.97 TgC、华中 45.02 TgC、华南 45.52 TgC、西南 44.89 TgC、东北 24.08 TgC、华北 8.51 TgC、西北 2.49 TgC。各个省份终端伐木制品碳储量差异很大,在 2009 年,福建省终端伐木制品净碳储量最大,约为 56.38 TgC;而净碳储量最小的省份是宁夏,仅为 0.01 TgC。按照终端伐木制品碳储量的大小,可将我国分成高储量、中储量和低储量地区三类。高储量区的终端伐木制品碳储量均超过 20 TgC,主要包括福建、浙江、湖南、云南、广西、江西 6 个省,这些地区终端伐木制品碳储量共为 203.39 TgC,占全国总量的 67.0%,且分布于华南和西南地区。一方面,这些地区是我国重要的竹林种植地区,竹制品生产量大,使得竹制品碳储量,占全国竹制品总碳储量的 76.4%;另一方面,这些地区也是我国重要的木材采伐和产地(表 5),因此木材制品碳储量也很高,其中广西、福建和湖南木材制品的碳储量均位于全国前四,因而这些地区终端伐木制品碳储量较高。中储量地区主要有安徽、广东、湖北、四川、黑龙江、吉林和内蒙古,但这些差异较大,其中黑龙江、吉林和内蒙古位于北方,是我国主要林区,因而其伐木制品都是木材制品,而其他 4 个省市由于不是主要的林区,其木材制品生产量较少,但这些省的竹材制品产量较高,因而其碳储量主要以竹

制品形式存储;其他省市则为低碳储量区,主要分布在我国中部和西北地区,且伐木制品碳储量均低于 4 TgC,此外,除少数地区有少量的竹材制品生产外,其余地区的伐木制品都为木材制品,伐木制品碳储量相对较低。对比各个省、市的伐木制品碳储量的构成可知,我国南方地区的伐木制品主要以竹材制品为主,北方地区主要以木材制品为主。此外,与南方地区相比,北方地区伐木制品的碳储量相对较少。

表 5 2009 年各地区新生产的终端伐木制品总碳储量情况/TgC
Table 5 The accumulated carbon budget of the new end products of HWP in 2009

地区 Region	省、市 Province	终端木材制品 End wood products				竹制品 Bamboo products		总碳储量 Total end products
		非纸木制品 Non-paper wood products	纸类 Paper	总量 Total	比重/% Ratio	竹制品 Bamboo products	比重/% Ratio	
华北	北京	0.13	0.00	0.13	100	0.00	0	0.13
	天津	0.04	0.00	0.04	100	0.00	0	0.04
	河北	1.00	0.00	1.00	100	0.00	0	1.00
	山西	0.15	0.00	0.15	100	0.00	0	0.15
	内蒙古	7.02	0.18	7.20	100	0.00	0	7.20
东北	辽宁	3.54	0.00	3.54	100	0.00	0	3.54
	吉林	9.10	0.02	9.12	100	0.00	0	9.12
	黑龙江	11.30	0.11	11.42	100	0.00	0	11.42
华东	上海	0.00	0.00	0.00	0	0.02	100	0.02
	江苏	1.36	0.01	1.36	58.9	0.95	41.1	2.31
	浙江	4.17	0.00	4.17	11.8	31.10	88.2	35.27
	安徽	6.23	0.03	6.26	32.4	13.04	67.6	19.30
	福建	11.26	0.26	11.52	20.4	44.87	79.6	56.38
	江西	8.11	0.08	8.19	33.6	16.16	66.4	24.35
	山东	2.26	0.09	2.34	100	0.00	0	2.34
华中	河南	2.54	0.02	2.56	84.8	0.46	15.2	3.02
	湖北	2.55	0.10	2.66	21.8	9.43	78.1	12.08
	湖南	10.52	0.55	11.07	36.0	19.65	64.0	30.72
华南	广东	6.58	0.70	7.28	45.5	8.70	54.4	15.99
	广西	11.51	1.04	12.54	46.0	14.73	54.0	27.27
	海南	0.65	0.50	1.15	50.1	1.12	49.9	2.26
西南	重庆	0.17	0.00	0.17	32.1	0.35	67.9	0.53
	四川	1.81	0.02	1.84	15.9	9.70	84.1	11.53
	贵州	1.68	0.01	1.69	56.9	1.28	43.1	2.97
	云南	5.02	0.35	5.36	18.2	24.04	81.8	29.40
西北	西藏	0.33	0.00	0.33	71.7	0.13	28.3	0.46
	陕西	0.32	0.00	0.32	18.4	1.42	81.6	1.74
	甘肃	0.06	0.00	0.06	75.0	0.02	25.0	0.08
	青海	0.04	0.00	0.04	100	0.00	0	0.04
	宁夏	0.01	0.00	0.01	100	0.00	0	0.01
	新疆	0.63	0.00	0.63	100	0.00	0	0.63

由于香港、澳门和台湾地区缺乏统计数据,未算入其中;大兴安岭地区算入黑龙江之中

3 讨论

3.1 新生产的各类伐木制品年净含碳量、碳释放量及年净增碳储量分析

与竹材制品相比,我国每年新生产的木材净含碳量和增长量相对较低,其主要原因是:竹林生长速率快,采伐周期短,采伐量相对较高,竹制品的生产量高,因而竹材制品的碳储量相对较高。同时,我国在 20 世纪

90 年代末开始实施天然林保护工程,木材的采伐量受到限制,木材制品生产量较低,生产的薪材燃烧后会释放部分碳,使木材制品年净含碳量较低。木材制品中非纸木制品比重很高,尽管纸类的碳释放速率比较快,但是由于其含碳量很低,因而木材制品碳排放量很低;而竹材制品生产量较大,其碳排放周期相比非纸木制品较短,因此竹材制品的碳排放量相对较高。由上述分析可知,伐木制品碳储量与其生产量及排放量有关,在 2000—2003 年期间,虽然伐木制品碳排量很少,但生产量也不高,伐木制品的年净增碳储量较少;随后几年,随着伐木制品的累计和生产量增多,伐木制品碳储量增多,然而由于伐木制品的废弃率较少,其碳排放量也相对较低,使得伐木制品年净增碳储量较最初几年仍有所增加;随着伐木制品累积量继续增多,废弃量增大,碳排放量也相应增大,再加上 2008 和 2009 年伐木制品生产量有所下降,因此,与 2007 年相比,这两年的年净增碳储量有所下降。

3.2 竹材制品含碳量与竹林碳储量对比分析

初步研究表明,我国竹材制品碳储量占伐木制品总碳储量比重较高,约占 53.26%—63.37%。一些学者^[3,38]估算了我国竹林在各个时期的碳储量,与森林碳储量对比,表明我国竹林占森林碳储量比重为 6.5%—11.6%。虽然竹林碳储量所占比重呈增加趋势,但仍远低于竹材制品碳储量所占伐木制品的比重。原因主要有:(1)近年来,我国竹林面积增大,同时,竹林较森林生长速率快,生长周期短,采伐量比重大,所固定的碳更多地转移到竹材制品中。我国于 20 世纪末开始天然林保护工程,使木材采伐量受到限制,木材制品产量也相应受到限制,因此木材制品的碳储量相对较少,因此,竹制品碳储量所占比重相对较高;(2)在初步研究中,由于缺乏竹材的利用情况,竹材被燃烧或废弃部分并未从中扣除,碳储量估算结果可能偏大。同时,本文假定木材与竹材分解率一样,使用周期略有差别,在一定程度上也使竹材制品碳储量估算值偏高。但是,竹材制品生产速率快,分解速率相对较慢,因此竹制品碳储量所占比重高于竹林碳储量所占比重。同时,研究表明我国竹材制品是一个巨大的碳库,对于减少碳排放具有重要作用。

3.3 不同地区终端伐木制品碳储量与森林碳储量对比分析

初步研究表明我国 7 个地区终端伐木制品碳储量大小顺序为华东、华中、华南、西南、东北、华北、西北,且我国南方和北方的伐木制品碳储量分为以竹材制品和木材制品储存为主。这与我国不同地区森林碳储量大小顺序不同,根据第六次森林清查资料^[43]估算的我国不同地区森林碳储量大小顺序为:西南、东北、华北、华东、华南、华中和西北。分析这种差异,主要原因有:(1)不同地区森林用途和年龄结构不同,使森林碳储量与其采伐量不一致。根据第六次森林清查资料,对森林碳储量估算的结果表明^[41],西藏的森林碳储量最高,约为 2123.9401 TgC,西藏森林是防护林为主,用材林相对较少,其木材和竹材采伐量及生产的伐木制品量很低,使得伐木制品碳储量较低;同样地,华北和西北地区的森林主要是“三北”防护林为主,且尚未达到采伐阶段,采伐量很低,因而伐木制品碳储量也较低;(2)由图 3 可知,我国华东、华中和华南地区是主要竹林种植区,竹林生长速率很快,采伐周期短,采伐量高,竹材制品生产量高,在终端伐木制品中的比例较高,且这些地区木材采伐量也较高,木材制品碳储量相应较高,而华北、东北和西北地区基本上不生产竹材,因而,我国华东、华中和华南地区,相对其森林碳储量而言,其伐木制品碳储量较高。

3.4 森林碳汇量与伐木制品碳储量情况分析

现阶段,我国对森林采伐后木材和竹材所含碳量研究相对较少,基本上都以全部释放来进行估算,但实际上伐木制品的碳可储存一定时间,延缓其碳量排放,因此伐木制品在碳储存具有重要的作用。根据方静云等^[4]利用森林清查资料对森林碳储量进行了估算,结果表明我国 1999—2003 年的森林碳储量为 5851.9 TgC,年碳汇量为 168.1 TgC/a。本文估算的我国 2000—2003 年新生产的伐木制品含碳量 111.42 TgC,其中有 10.56 TgC 被释放,因而这一段时间内,我国新生产伐木制品的碳储量为 100.85 TgC,年净碳储量为 25.21 TgC/a,占森林年碳汇量的 15%,这说明伐木制品碳储量在维持碳平衡具有重要的作用。因此,合理地进行森林采伐,延长伐木制品的使用寿命及其分解时间,对于延缓全球气候变化具有重要的意义,需要进一步对这些方面进行深入研究,更好地利于生态和环境问题的解决。

4 结论

(1) 根据 2000—2009 年的伐木制品碳储量估算可知,我国伐木制品是一个碳库,且碳储量不断增加。以 2000 年为基准年,到 2009 年生产的伐木制品的总净碳储量为 306.52 TgC,其中非纸木制品、纸类和竹制品的所含碳储量分别为 114.71 TgC、4.33 TgC 和 199.07 TgC;在 10 a 期间,薪材燃烧累计释放了 11.60 TgC 的碳,其他伐木制品共产生了 37.76 TgC 的碳释放。与方精云估算的我国 1999—2003 年森林年碳汇量 168.1 TgC/a 相比,这一时期生产的伐木制品年净碳储量为 25.21 Tg/a,占森林年碳汇量的 15%,这说明伐木制品在维持碳平衡具有重要的作用。

(2) 我国 2000—2009 年新生产的终端伐木制品,在 2009 年时的碳储量为 318.12 TgC,年均碳储量为 31.812 TgC/a,其中木材制品和竹材制品的碳储量分别为 119.04 TgC 和 199.07 TgC,分别占到 37.4% 和 62.6%。在木材制品中,非纸木制品碳储量为 114.71 TgC,占 96.36%;纸类的碳储量为 4.33 TgC,占 3.64%。与白彦锋^[16]的估算结果相比,高于大气流动法估算结果(7.90 MtC/a),与储量变化法的估算结果(11.73 MtC/a)基本一致。结果略有差别的原因主要是伐木制品废弃情况考虑方式不同。另外,本文估算的竹制品碳储量约为木材制品碳储量的 1.67 倍。这说明竹材制品碳储量在伐木制品碳储量中占相当大的比重,是一个重要的碳库。

(3) 按照终端伐木制品净累计碳储量情况,可将我国分成高值区、中值区和低值区。高值区包括福建、浙江、湖南、云南、广西、江西 6 个省,这些地区终端伐木制品净累计碳储量占全国的 67.0%;中值区主要包安徽、广东、湖北、四川、黑龙江、吉林和内蒙古等地区,其他地区为低值区。我国不同地区的终端伐木制品净累计碳储量顺序为华东、华中、华南、西南、东北、华北、西北,同时我国南方和北方伐木制品的碳储量分别以竹材制品和木材制品形式储存为主。

(4) 本文初步研究了伐木制品的碳储量,但是在估算过程中仍存在一定的問題。例如,尚未考虑伐木制品废弃之后回收利用情况;缺乏对竹材制品的分类研究,使其碳储量的估算结果略大。此外,在研究森林碳循环中,不仅需要考慮森林生态系统碳循环情况,需要将林业过程,包括林木采伐、生产及伐木制品使用全面考虑,进而全面地分析森林碳循环的过程,对森林碳效益进行合理评价。同时,由于伐木制品的使用和废弃需要較长的时间,由于统计数据的不完整,本文仅详细分析了 2000—2009 年伐木制品碳储量情况,缺乏对伐木制品在其使用与分解周期的时间尺度上进行详细分析,因此,在以后研究中需要在这个方面进一步进行研究,寻找更好的方法解决这一问题,从而更好地估算伐木制品碳储量及其变化情况。

References:

- [1] Landsberg J J, Gower S T. Applications of Physiological Ecology to Forest Management. San Deigo: Academic Press, 1997.
- [2] Fang J Y, Liu G H, Xu S N. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 498-508.
- [3] Fang J Y, Chen A P. Dynamic forest biomass carbon pools in China and Their significance. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(9): 967-973.
- [4] Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, Chen A P. 1981—2000 land vegetation carbon sink estimation in China. *Science in China Series D*, 2007, 37(6): 804-812.
- [5] Wang Y X, Zhao S D, Niu D. Research state of soil carbon cycling in terrestrial ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(5): 29-35.
- [6] Li K R, Wang S Q, Cao M K. Carbon storage amount of vegetation and soil in China. *Science in China Series D*, 2003, 33(1): 72-80.
- [7] 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.
- [8] Wang X K, Feng Z W, Ouyang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 13-16.
- [9] Zhao M, Zhou G S. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 50-54.
- [10] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget to major Chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 518-522.
- [11] Wang C K, Yang J Y. Carbon dioxide fluxes from soil respiration and woody debris decomposition in boreal forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 633-638.

- [12] Fang X, Tian D L, Xiang W H, Lei P F. Carbon release ratios in the decomposition process of litter. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 25(6): 12-16.
- [13] United Nations. Framework Convention on Climate Change. Estimating, Reporting and Accounting of Harvested Wood Products. (2011-02-15). <http://unfccc.int/resource/docs/tp/tp0307.pdf>.
- [14] United Nations. Framework Convention on Climate Change. Report on the Workshop on Harvested Wood Products. (2011-02-10). <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/inf11.pdf>.
- [15] FAO. Classification and Definitions of Forest Products. Rome: FAO, 1982: 27-36.
- [16] Bai Y F, Jiang C Q, Zhang S G. Carbon stock and potential of emission reduction of harvested wood products in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 399-405.
- [17] Green C, Avitabile V, Farrell E P, Byrne K A. Reporting harvested wood products in national greenhouse gas inventories; implications for Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 2006, 30(2): 105-114.
- [18] Dias A C, Louro M, Arroja L, Capela I. The contribution of wood products to carbon sequestration in Portugal. *Annals of Forestry Science*, 2005, 62(8): 902-909.
- [19] Ruan Y, Zhang X Q, Du F. Carbon stock of harvested wood products in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4212-4218.
- [20] Waston R T, Noble I R, Bolin B, Ravindranath N H, Verardo D J, Dokken D J. Land Use, Land Use Change, and Forestry: A special Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [21] Brown S, Lim B, Schiamadinger B. Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products. IPCC/OECD/IEA. Programme on National Greenhouse Gas. Inventories. (2011-02-11). <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/mtdocs/dakar.pdf>.
- [22] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories//Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC, 2006.
- [23] Skog K E, Nicholson G A. Carbon cycling through wood products; the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal*, 1998, 48(7/8): 75-83.
- [24] Watson R, Zinyowera M, Moss R, Dokken D. Impacts, adaptations and mitigation of climate change; scientific and technical analysis//Climate Change 1995. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [25] Pingoud K. Harvested Wood Products; Considerations on Issues Related to Estimation, Reporting and Accounting of Greenhouse Gases. Final Report. UNFCCC Secretariat, 2003.
- [26] Dias A C, Lourom, Arroja L, Capela I. The contribution of wood products to carbon sequestration in Portuga. *Annals of Forest Science*, 2005, 62(8): 902-909.
- [27] Karjalainen T. Model computations on sequestration of carbon in managed forests and wood products under changing climatic conditions in finland. *Journal of Environmental Management*, 1996, 47(4): 311-328.
- [28] Chen J X, Colombo S J, Ter-Mikaelian M T, Heath L S. Future carbon storage in harvested wood products from Ontario's Crown forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 2008, 38(7): 1947-1958.
- [29] Karjalainen T, Kellomaki S. Simulation of Forest and Wood Product Carbon Budget under a Changing Climate in Finland. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, 82(1/2): 309-320.
- [30] Ruan Y, Zhang X Q, Du F, He Y. The estimating approaches for carbon stock change of wood products. *Journal of Northeast Forestry University*, 2005, 33(sup): 56-60.
- [31] Bai Y F, Jiang C Q, Lu D. Review on approaches for estimating the Carbon stock in harvested wood products. *World Forestry Research*, 2006, 19(5): 15-20.
- [32] Bai Y F, Jiang C Q, Lu D, Zhu Z. Carbon stock change of harvested wood products in China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007, 24(5): 587-592.
- [33] Bai Y F, Jiang C Q, Lu D, Qu S. Progress in negotiations on harvested wood products. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(1): 60-64.
- [34] Ye Y J, Yu D P, Wang Y, Zhou W M, Ding H, Wang Q W, Wang S X, Dai L M. Effects of harvested wood products on forest carbon storage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 30(1): 66-71.
- [35] Lin J C, Lee K J. Carbon flows and stocks from consumption of wood materials in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science*, 2003, 18(4): 293-305.
- [36] Research Institute of Wood Industry, CAF. The Physical and Mechanical Properties of Main Wood Species in China. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1982: 1-154.

- [37] Shen J. Wood Processing Technique. Beijing: Chemistry Industry Publishing House, 2005.
- [38] Chen X G, Zhang X P, Zhang X Q, Guo Y. Carbon stock changes in bamboo stands in China over the last 50 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5218-5227.
- [39] Li J, Huang C D, Zhang G Q. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Pleioblastus amarus* forest returned from farmland. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2006, 26(4): 2-5.
- [40] Zhou G M, Jiang P K. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(6): 20-24.
- [41] Lin Y M, Lin P, Wen W Z. Studies on dynamics of carbon and nitrogen elements in *Dendrocalamopsis oldhami* forest. *Journal of Bamboo Research*, 1998, 17(4): 25-30.
- [42] Bai Y F. Carbon Stocks of Harvested Wood Products in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010.
- [43] Xu S S, Yao S B. Analysis on regional differences of forest carbon storage in China based on biomass expansion factor. *Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences*, 2009, 8(3): 109-115.

参考文献:

- [2] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16(5): 497-508.
- [3] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. *植物学报*, 2001, 43(9): 967-973.
- [4] 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*, 2007, 37(6): 804-812.
- [5] 汪业勋, 赵士洞, 牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态. *生态学杂志*, 1999, 18(5): 29-35.
- [6] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量. *中国科学 D 辑*, 2003, 33(1): 72-80.
- [7] 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.
- [8] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13-16.
- [9] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析. *地理科学*, 2004, 24(1): 50-54.
- [10] 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.
- [11] 王传宽, 杨金艳. 北方森林土壤呼吸和木质残体分解释放出的 CO₂ 通量. *生态学报*, 2005, 25(3): 633-638.
- [12] 方晰, 田大伦, 项文化, 雷丕峰. 杉木人工林凋落物量及其分解过程中碳的释放率. *中南林业学院学报*, 2005, 25(6): 12-16.
- [16] 白彦锋, 姜春前, 张守攻. 中国木质林产品碳储量及其减排潜力. *生态学报*, 2009, 29(1): 399-405.
- [19] 阮宇, 张小全, 杜凡. 中国木质林产品碳贮量. *生态学报*, 2006, 26(12): 4212-4218.
- [30] 阮宇, 张小全, 杜凡, 何英. 木质林产品碳贮量变化计算方法. *东北林业大学学报*, 2005, 33(sup): 56-60.
- [31] 白彦锋, 姜春前, 鲁德. 木质林产品碳储量计量方法学及应用. *世界林业研究*, 2006, 19(5): 15-20.
- [32] 白彦锋, 姜春前, 鲁德, 朱臻. 中国木质林产品碳储量变化研究. *浙江林学院学报*, 2007, 24(5): 587-592.
- [33] 白彦锋, 姜春前, 鲁德, 曲昇. 伐木制品碳储量议题的谈判进展. *气候变化研究进展*, 2010, 6(1): 60-64.
- [34] 叶雨静, 于大炮, 王玥, 周旺明, 丁宏, 王庆伟, 王绍先, 代力民. 采伐木对森林碳储量的影响. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 66-71.
- [37] 林俊成, 李国忠. 台湾地区木质材料消费之碳流动与贮存量研究. *台湾林业科学*, 2003, 18(4): 293-305.
- [38] 中国林业科学研究院木材工业研究所. 中国主要树种的木材物理力学性质. 北京: 中国林业出版社, 1982.
- [39] 沈隽. 木材加工技术. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [40] 陈先刚, 张一平, 张小全, 郭颖. 过去 50 年中国竹林碳储量变化. *生态学报*, 2008, 28(11): 5218-5227.
- [41] 李江, 黄从德, 张国庆. 川西退耕还林地苦竹林碳密度、碳贮量及其空间分布. *浙江林业科技*, 2006, 26(4): 2-5.
- [42] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布. *林业科学*, 2004, 40(6): 20-24.
- [43] 林益明, 林鹏, 温万章. 绿竹林碳、氮动态研究. *竹子研究汇刊*, 1998, 17(4): 25-30.
- [44] 白彦锋. 中国木质林产品碳储量[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [45] 续珊珊, 姚顺波. 基于生物量转换因子法的我国森林碳储量区域差异分析. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2009, 8(3): 109-115.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from Ertan water control pivot in Yalong River	GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in <i>Kobresia parva</i> meadow	DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn <i>Penaeus japonicus</i> in the Xiangshan Bay, China	JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing	QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China	LI Xueling, LIN Huilong (2670)
Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District	ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China	PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province	LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
Research on the morphological interactions between <i>Tamarix ramosissima</i> thickets and Nebkhas under different sand supply conditions; a case study in Cele oasis-desert ecotone	YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi	ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Jiulian Mountain Jiangxi Province, China	FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
Characteristics of seedlings regeneration in <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> secondary forests in Qinling Mountains	KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
Xylem hydraulic traits of <i>Populus euphratica</i> Oliv. in extremely drought environment	AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing	SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
Changes of carbon input influence soil respiration in a <i>Pinus tabulaeformis</i> plantation	WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of <i>Quercus wutaishanica</i> seeds under the predation pressure of rodents	YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai	WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin	DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on <i>Acanthus ilicifolius</i> seedlings	LI Ting, YE Yong (2810)
Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia	LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area, Northeast China	HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
Effect of <i>Ipomoea aquatica</i> Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal	TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field	LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009	 DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	 GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat	 TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity	 FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates	 WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China	 LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)
---	---

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development	 CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities	 HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i>	 WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate	 LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake	 CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)

《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 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 2012)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元