

## 不同国家木质林产品碳流动对比

白彦锋, 张守攻, 姜春前

(中国林业科学研究院 林业研究所/国家林业局 林木培育重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 木质林产品碳流动对维持森林生态系统和大气之间的自然碳平衡发挥着重要作用, 为支持中国参加气候变化谈判, 亟须掌握主要缔约国木质林产品的碳流动及其变化。分别采用政府间气候变化专门委员会(IPCC)缺省法、储量变化法、生产法和大气流动法等方法估算了包括中国在内的 11 个国家木质林产品的碳排放和碳储量, 以及不同转化因子对其碳储量变化的影响。结果表明: 美国、中国、巴西和加拿大等 4 个国家木质林产品的碳排放和碳储量结果均较高, 中国的木质林产品是一个不断增长的碳库; 采用的计量方法不同也将导致结果差异, 储量变化法和生产法估算日本产品是一个碳库, 但大气流动法的结果却相反; 此外不同的转化因子将造成碳储量变化的结果差异。图 3 表 1 参 23

**关键词:** 木质林产品; 碳储量; 碳排放; 转化因子; 碳计量

**中图分类号:** S718.5; S7-98      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2014)01-0072-06

## International comparison of carbon flows of harvested wood products

BAI Yanfeng, ZHANG Shougong, JIANG Chunqian

(Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration / Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Carbon flow of harvested wood products (HWP) plays a very important role to maintain the natural carbon balance between forest and atmosphere. To facilitate China's participation in the climate change negotiation, it is important to understand the carbon flows and the changes of HWP in the countries involved. Through the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) default approach, the stock change approach, the production approach, and the atmospheric flow approach, this paper analyzed the data on carbon emission and stock of HWP in eleven countries including China, and the influence of different conversion factors on carbon stock change. The results showed that carbon emission and stock of HWP in the United States, China, Brazil and Canada were higher than those in other countries. The wood products in China were a carbon pool. Different approaches would lead to different results. Both the stock change approach and production approach indicated that HWP in Japan was a carbon pool, however, the atmospheric flow approach indicated the opposite conclusion. Different conversion factors would affect the measure results of carbon stock change. [Ch, 3 fig. 1 tab. 23 ref.]

**Key words:** harvested wood products; carbon stock; carbon emission; conversion factor; carbon accounting

木质林产品的使用可以减缓气候变化<sup>[1]</sup>, 木质林产品的碳储量变化对森林生态系统和大气之间的自然碳平衡起着至关重要的作用, 且这也包含在国家温室气体清单报告中<sup>[2-3]</sup>。此外, 由于木质林产品最终作为垃圾填埋则可以将碳长期保存, 并且木质林产品在一些领域可以替代化石燃料和钢铁或水泥等能

收稿日期: 2013-02-27; 修回日期: 2013-09-02

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304315, 200804004); 中央级公益性科研院所基金项目(RIF 2013-03)

作者简介: 白彦锋, 博士, 从事森林生态学和碳计量方法研究。E-mail: baiyf@caf.ac.cn。通信作者: 姜春前, 研究员, 从事气候变化和森林可持续经营研究。E-mail: jiangchq@caf.ac.cn

源密集型产品的环保特性而使其在温室气体减缓领域备受青睐<sup>[4-5]</sup>。利用木质林产品的碳储量增加可以抵消部分温室气体排放，也是减少温室气体排放的一种具有潜力的方法，政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 特别报告对此也予以肯定<sup>[6]</sup>。木质林产品碳储量对于评价温室气体的减排潜力和提交国家温室气体排放清单有着重要意义<sup>[4]</sup>。因此，研究木质林产品碳流动已经成为许多国家关注的问题。目前已有研究证明全球木质林产品的碳储量一直在增长，即使碳储量增加不明显，该库的增长潜力也相当大<sup>[7]</sup>。政府间气候变化专门委员会第 2 次评估报告估计每年全球木质林产品碳储量增加 26.00 Mt·a<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>。目前，关于国家水平的碳流动研究主要是在缺省参数下完成的，国内外一些学者在缺省参数条件下利用储量变化法和大气流动法对木质林产品的碳储量进行了估算。Pingoud 等<sup>[9]</sup>利用联合国粮农组织 (FAO) 统计数据估计全球木质林产品的碳储量增长为 40.00 Mt·a<sup>-1</sup>；1998 年达喀尔会议报告指出全球木质林产品碳库增长 140.00 Mt·a<sup>-1</sup>，产品碳吸收相当于全球化石燃料碳排放的 2%<sup>[2]</sup>；Winjum 等<sup>[3]</sup>利用大气流动法和储量变化法估算 1990 年全球森林采伐和木质林产品使用的碳排放量是 980 Mt。林俊成<sup>[10]</sup>利用储量变化法和大气流动法对中国台湾地区的木质林产品碳储量进行了估算，阮宇等<sup>[11]</sup>假设产品的分解率符合指数变化，并利用 IPCC 缺省值估算了中国木质林产品的碳储量，但是利用 IPCC 缺省值估算中国木质林产品的碳储量有可能给估算结果带来潜在的不确定性。白彦锋等<sup>[12-13]</sup>利用中国的不同参数估算了中国木质林产品的碳储量以及替代钢筋水泥方面的减排潜力。本研究结合《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 主要缔约方提交的有关木质林产品议题的案文报告，选择在森林资源和产品国际贸易方面具有代表性的美国、加拿大、德国、芬兰、澳大利亚、巴西、加蓬、巴布亚新几内亚、日本、马来西亚和中国等国家的木质林产品碳流动为研究对象，对比分析了不同碳计量方法下这 11 个国家木质林产品的碳排放和碳储量及其变化，研究结果以期将来参与国际气候变化谈判提供支撑。

## 1 数据来源和方法

### 1.1 数据来源

为使结果具有可比性，本研究涉及到 11 个国家的原木和木质林产品的生产和贸易数据均来自联合国粮农组织 (FAO) 的统计数据。由于联合国粮农组织缺乏 1961 年以前的原木、锯材、人造板、纸和纸板以及其他工业原木产品的生产量、进出口量数据，并且 1961 年以前人口数量和经济发展与现在相比差别很大，故政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 建议可以将 1961 年以前的产品碳储量忽略不计；此外，关于薪材的统计数据大多是推算而来，且薪材一般在采伐当年被消耗掉，因此，假设薪材的碳储量为 0。假设产品的分解率随时间变化而恒定<sup>[3-4]</sup>，估算过程中没有考虑回收和垃圾填埋的情况。各个转化因子见表 1。

表 1 木质林产品的基本密度、使用寿命、含碳率和树皮比例

Table 1 Basic density, lifetime, carbon fraction and bark fraction of different wood commodities

木材/木质林产品	基本密度 <sup>[15-17]</sup> /(t·m <sup>-3</sup> )	使用寿命/a	含碳率/%	树皮比例 <sup>[18-22]</sup> /%
工业原木	0.485		50	10
薪材	0.485	1	50	10
锯材	0.485	60	50	
人造板	0.570	40	50	
其他工业原木	0.485	20	50	10
纸和纸板	0.900 <sup>①</sup>	10	50	

说明：①1.0 t 风干纸张具有 0.9 t 烘干纸。

### 1.2 方法

木质林产品碳流动的估算是基于政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 1996 年提出的 IPCC 缺省法和 1998 年达喀尔会议上确立的用于估算木质林产品碳储量的碳计量方法：储量变化法、生产法和大气流动法<sup>[12-14]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同国家木质林产品碳排放量比较

利用 IPCC 缺省法、储量变化法、生产法和大气流动法等 4 种碳计量方法估算的主要发达国家和发展中国家的 2000 年木质林产品的碳排放量结果如图 1 所示：美国、中国、巴西和加拿大等 4 个国家的木质林产品碳排放量较高，其中美国木质林产品的碳排放量最高。4 种方法分别估算美国木质林产品的碳排放量为 85.08 ~ 120.96 Mt，中国木质林产品引起的碳排放为 69.19~76.79 Mt，巴西木质林产品碳排放量为 47.76~66.71 Mt，加拿大的木质林产品碳排放量为 22.88~50.03 Mt。美国、中国、巴西和加拿大等 4 个国家的碳排放之所以高，是与这 4 个国家原木生产量和消费量密切相关，其中它们 2000 年原木生产量碳储量分别是 120.96, 76.95, 66.71, 和 50.03 Mt。加蓬、巴布亚新几内亚和日本等国家木质林产品的碳排放较小，加蓬木质林产品的碳排放量为 0.19~0.92 Mt。

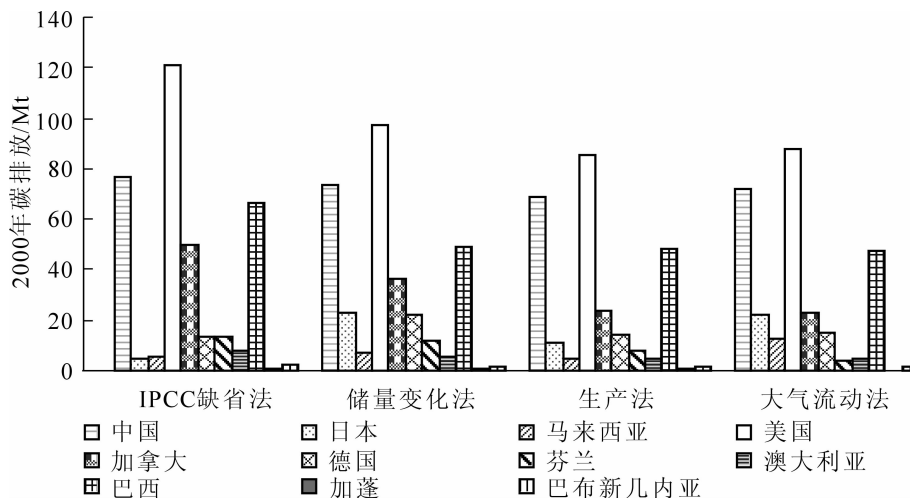


图 1 不同国家木质林产品碳排放比较

Figure 1 Comparison of carbon emissions from HWP in different countries

由于 IPCC 缺省法认为采伐的木材产品的碳被立即释放到大气，因此，该法估算的各国木质林产品的碳排放要高于另外 3 种计量方法的估算结果。尽管日本原木的生产量不高，但是储量变化法和大气流动法估算结果却显示其碳排放量不低。这主要是由于日本进口大量的木质林产品在国内消费所导致的，2000 年日本的原木消费量(碳)是 8.76 Mt，而原木生产量(碳)仅为 4.50 Mt。虽然中国原木生产量很高，但是由于中国木质林产品中有相当一部分被用作薪材消耗，从而短期内将固定的碳释放到大气，再加上中国木材的加工利用率不高也导致了中国的碳排放量结果较高。巴西、加蓬和巴布亚新几内亚也是薪材在国家木质林产品碳排放中占有很大比例，除加蓬生产法估算薪材碳排放比重是加蓬碳排放总量的 34%外，其余方法各国薪材碳排放所占比重范围是 59%~95%，并且这几个国家的贸易又是以出口为主。马来西亚由于是木质林产品净出口国，因此，大气流动法估算的木质林产品碳排放结果要高于储量变化法和生产法估算的碳排放结果。

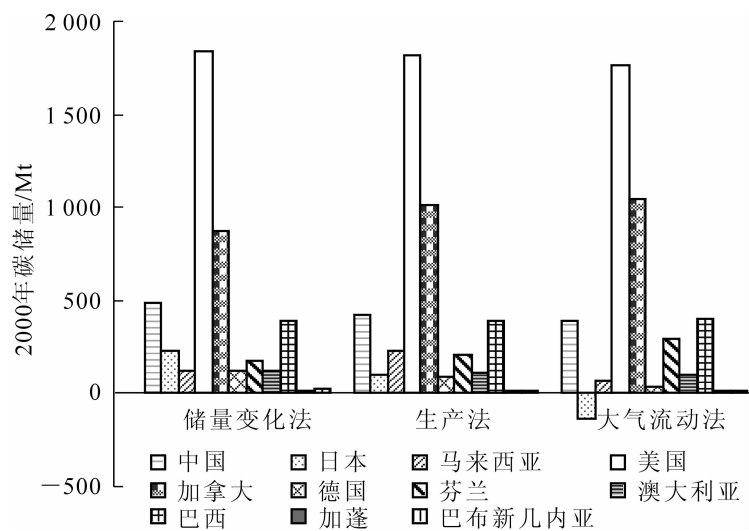


图 2 不同国家木质林产品碳储量比较

Figure 2 Comparison of carbon stock in HWP in different countries

## 2.2 不同国家木质林产品碳储量比较

利用储量变化法、生产法和大气流动法估算不同国家 2000 年木质林产品的碳储量结果如图 2 显示：美国、加拿大、中国和巴西等 4 国木质林产品的碳储量较大，其中美国木质林产品的碳储量最大，高达 1 761.85~1 836.84 Mt；加拿大的木质林产品碳储量为 874.71~1 041.34 Mt，中国的木质林产品碳储量为 385.59~484.52 Mt。加蓬和巴布亚新几内亚的碳储量相对于其他国家而言较小，储量变化法、生产法和大气流动法分别估算巴布亚新几内亚 2000 年木质林产品碳储量分别是 25.70，17.50 和 17.90 Mt；加蓬木质林产品的碳储量分别是 11.20，14.10 和 19.10 Mt。

中国和巴西相比，储量变化法和生产法估算中国木质林产品的碳储量结果要高于巴西国家的碳储量，但是大气流动法略低于巴西国家的碳储量 14.00 Mt；储量变化法估算的 2000 年中国木质林产品的碳储量结果最高，而巴西是大气流动估算的碳储量结果最高，主要是由于中国以进口木质林产品为主，巴西则以出口木材为主的缘故。大气流动法估算日本 2000 年木质林产品的碳储量是 -139.73 Mt，说明日本木质林产品库是一个碳源，这主要是由于日本是木质林产品净进口国，大气流动法认为进口将不会增加进口国家的碳储量，但是进口产品若在进口国消费所产生碳排放要计入产品的消费国，因此，对于进口的木质林产品是一个潜在的碳源；另一方面由于日本的木质林产品的历史排放已经超过了当年进入木质林产品库的碳储量，因此整体表现为一个碳源。

## 2.3 转化因子对碳储量变化的影响

木质林产品碳储量变化的大小能够反映其碳储量增长的快慢程度，然而转化因子对碳储量变化的估算结果也会产生较大的影响。日本学者 Hashimoto 等<sup>[3,23]</sup>基于 Winjum 等转化因子估算了日本、美国、加拿大、芬兰、德国和澳大利亚等主要发达国家 1990-1999 年木质林产品的年平均碳储量变化。本研究基于表 1 中转化因子估算这些国家同期的碳储量变化，结果显示：基于转化因子不同导致估算结果不同（图 3）；另外一个原因是 Hashimoto 等计算过程中考虑垃圾填埋和回收部分木质林产品对碳储量变化的影响。由图 3 可以看出：尽管转化因子来源不同，但是两者估算的美国、日本和加拿大以及中国的碳储量变化结果都较高，这 4 个国家 1990-1999 年间木质林产品碳库增加比较快，美国木质林产品的碳库增长最快，但 Hashimoto 等估算的结果要高于本研究的结果 12.60  $\text{Mt}\cdot\text{a}^{-1}$ 。中国木质林产品碳储量变化结果仅次于美国且碳储量是在不断增加，说明中国 1990-1999 年木质林产品是一个碳库，中国木质林产品的年平均碳储量变化是 9.80  $\text{Mt}\cdot\text{a}^{-1}$ ，也证明了中国木质林产品是一个不断增长的碳库。芬兰和澳大利亚木质林产品的碳储量增长与其他发达国家和中国相比增长比较缓慢，本研究数据估算芬兰和澳大利亚木质林产品碳储量变化的平均值分别为 0.40  $\text{Mt}\cdot\text{a}^{-1}$  和 1.80  $\text{Mt}\cdot\text{a}^{-1}$ 。由此可见，不同转化因子对木质林产品的碳储量变化结果有一定的影响，但是不同国家国情的差异导致碳储量变化的结果也不尽相同。

## 3 结论

森林由于采伐使得固定在森林中的碳被转移到木质林产品中，且这部分碳不是立即被释放到大气中。通过延长木质林产品的使用寿命和替代能源密集型产品等途径可以减缓碳的释放<sup>[3,6]</sup>，因此，木质林产品的碳流动问题成为当前国际气候变化谈判中各国比较关注的一个问题。为更好地为中国参加国际

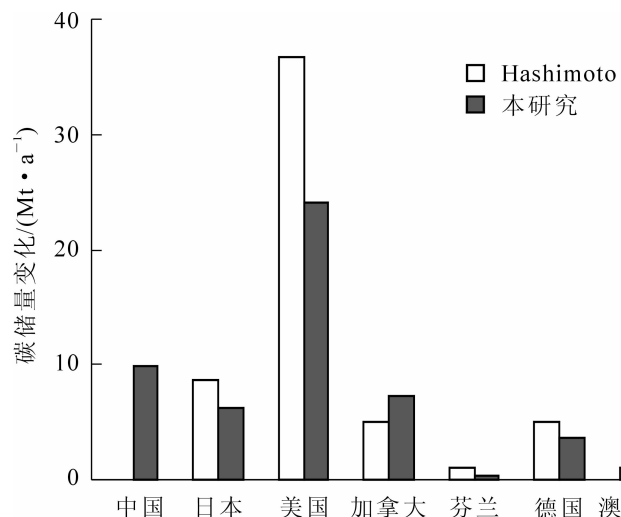


图 3 不同转化参数估算的木质林产品的碳储量变化结果对比

Figure 3 Comparison of carbon stock change of HWP in use between Hashimoto and this paper

气候变化谈判提供数据支持,本研究基于FAO木质林产品数据,对比分析了应用不同碳计量方法学估算11个国家木质林产品的碳排放和碳储量,并分析了不同转化因子对碳储量变化估算结果的影响。主要结论如下:①美国、中国、巴西和加拿大等4个国家的木质林产品碳排放量和碳储量结果均较高,且碳排放量依次降低,但是它们碳储量由大到小的顺序是美国、加拿大、中国和巴西;加蓬和巴布亚新几内亚的木质林产品的碳排放和碳储量最小。②除日本、德国和芬兰外,相对于其他计量方法,IPCC缺省法估算的碳排放量最大;储量变化法估算的中国、日本、美国、德国、澳大利亚和巴布亚新几内亚等国的储量结果比另两种方法的结果均高。中国木质林产品碳排放量高主要是由于薪材的使用和木材综合利用率低造成的,建议通过提高长寿命产品的使用和提高木材综合利用率的途径减少中国木质林产品的碳排放。③采用的计量方法不同可能导致不一样的结果。储量变化法和生产法估算日本的木质林产品是一个碳库,但是大气流动法的估算结果表明日本是一个碳源。利用前2种方法估算中国的木质林产品碳储量结果要高于巴西的结果,但大气流动法的估算结果却是巴西产品的碳储量高于中国产品。④美国、中国、日本、加拿大和德国的木质林产品的碳储量变化较高,说明这4个国家木质林产品碳储量增长较快。转化因子不同将会造成碳储量估算结果差异,但不会影响到这些国家碳储量变化的快慢程度。建议今后中国开展不同转化因子对估算结果的敏感度分析的研究。⑤此外,中国1990-1999年木质林产品是一个不断增长的碳库,且储量变化法的估算结果要优于另外2种计量方法。不同计量方法应用将会导致碳储量估算结果的差异,今后中国应加强导致不同计量方法应用的结果差异的内在机制研究。

#### 参考文献:

- [1] REID H, HUQ S, INKINEN A, *et al.* *Using Wood Products to Mitigate Climate Change: A Review of Evidence and Key Issues for Sustainable Development* [R]. London: International Institute for Environment and Development (I-IED), and the Edinburgh Centre for Carbon Management (ECCM), 2004.
- [2] BROWN S, LIM S, SCHLAMADINGER B. *Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood products* [R/OL]. [2012-08-11]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/dakar.html>. 1998.
- [3] WINJUM JK, BROWN S, SCHLAMADINGER B. Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide [J]. *For Sci*, 1998, **44**(2): 272 - 284.
- [4] DIAS A C, LOURO M, ARROJA L, *et al.* The contribution of wood products to carbon sequestration in Portugal [J]. *Ann For Sci*, 2005, **62**(8): 902 - 909.
- [5] 潘家华. 碳汇: 中国林业长足发展的新机遇[R]. 北京: 全国政协2001绿色论坛, 2001.
- [6] IPCC. *IPCC Special Report Land Use, Land-use Change, and Forestry-Summary for Policymakers* [M]. New York: Cambridge University Press, 2000: 1 - 375.
- [7] GREEN C, AVITABLIE V, FARRELL EP, *et al.* Reporting harvested wood products in national greenhouse gas inventories: implications for Ireland [J]. *Biom Bioenergy*, 2006, **30**(2): 105 - 114.
- [8] WATSON R T, ZINYOWERA M C, MOSS R H, *et al.* *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change-Scientific and Technical Analysis-Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [M]. New York: Cambridge University Press, 1996.
- [9] PINGOUD K, SOIMAKALLIO S, PERALA A-L, *et al.* *Greenhouse Gas Impacts of Harvested Wood Products: Evaluation and Development of Methods* [M]. Espoo: VTT, 2003.
- [10] 林俊成, 李国忠. 台湾地区木质材料消费之碳流动与储存量研究[J]. 台湾林业科学, 2003, **18**(4): 293 - 305. LIN Juncheng, LEE Kouchung. Carbon flows and stocks from consumption of wood materials in Taiwan [J]. *Taiwan J For Sci*, 2003, **18**(4): 293 - 305.
- [11] 阮宇, 张小全, 杜凡. 中国木质林产品碳贮量[J]. 生态学报, 2006, **26**(12): 4212 - 4218. RUAN Yu, ZHANG Xiaoquan, DU Fan. Carbon stocks of harvested wood products in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(12): 4212 - 4218.
- [12] 白彦锋, 姜春前, 鲁德, 等. 中国木质林产品碳储量变化研究[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(5): 587 - 592. BAI Yanfeng, JIANG Chunqian, LU De, *et al.* Carbon stock change of harvested wood products in China [J]. *J*

- Zhejiang For Coll*, 2007, **24**(5): 587 – 592.
- [13] 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[J]. 生态学报, 2009, **29**(1): 399 – 405.  
BAI Yanfeng, JIANG Chunqian, ZHANG Shougong. Carbon stock and potential of emission reduction of harvested wood products in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(1): 399 – 405.
- [14] UNFCCC. *Estimating, Reporting and Accounting of Harvested Wood Products* [R/OL]. [2012-07-18]. <http://unfccc.int/resource/docs/tp/tp0307.pdf>. 2003.
- [15] 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[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982: 1 – 154.
- [16] 沈隽. 木材加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005
- [17] 中国标准出版社第一编辑室. 木材工业标准汇编: 人造板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [18] 张会儒, 王学利, 王柱明. 落叶松单木生物量生长变化规律的研究[J]. 林业科技通讯, 2000(2): 17 – 20.  
ZHANG Huiru, WANG Xueli, WANG Zhuming. Study on the individual tree growth law of biomass of *Larix olgensis* [J]. *For Sci Technol*, 2000(2): 17 – 20.
- [19] 刘兴良, 宿以明, 刘世荣, 等. 四川西部川西云杉人工林非同化器官营养元素含量与分布[J]. 生态学报, 2003, **23**(12): 2573 – 2578.  
LIU Xingliang, SU Yiming, LIU Shirong, *et al.* Macronutrients and their allocations in non-photosynthetic organs in the *Picea balfouriana* in western Sichuan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23**(12): 2573 – 2578.
- [20] 党承林, 吴兆录. 云南松林的生物量研究[J]. 云南植物研究, 1991, **13**(1): 59 – 61.  
DANG Chenglin, WU Zhaolu. Study on biomass of *Pinus yunnanensis* forests [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1991, **13**(1): 59 – 61.
- [21] 唐万鹏, 王月荣, 郑兰英. 南方型杨树人工林生物量与生产力研究[J]. 湖北林业科技, 2004(增刊1): 43 – 47.  
TANG Wanpeng, WANG Yuerong, ZHENG Lanying. Study on biomass and productivity from plantation for southern type of poplar [J]. *J Hubei For Sci Technol*, 2004 (supp 1): 43 – 47.
- [22] 宿以明, 慕长龙, 潘攀, 等. 岷江上游辽东栎天然次生林生物量测定[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, **27**(6): 107 – 109.  
SU Yiming, MU Changlong, PAN Pan, *et al.* Research on biomass of *Quercus liaotungensis* natural secondary stand [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2003, **27**(6): 107 – 109.
- [23] HASHIMOTO S, NOSE M, OBARA T, *et al.* Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries [J]. *Environ Sci & Policy*, 2002, **5**(2): 183 – 193.