

# 中国杉木林生态系统碳储量研究\*

王 兵<sup>1</sup>, 魏文俊<sup>2</sup>, 李少宁<sup>3</sup>, 郭 浩<sup>1</sup>, 白秀兰<sup>1</sup>

(1. 中国林科院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;  
2. 辽宁省林业科学研究所, 辽宁 沈阳 110032; 3. 北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

**摘 要:** 利用中国 4 次森林资源清查资料以及中国森林生态系统定位观测研究站 (CFERN) 的实测数据, 估算了中国 1977-2003 年 4 个时期杉木林生态系统的碳储量, 分析了其年龄结构特征、垂直分配结构特征、时空动态格局和贮碳潜力。总碳储量研究结果 1977-1981 为 1.09 Gt, 1984-1988 为 1.496 Gt, 1994-1998 为 2.446 Gt, 1999-2003 为 2.866 Gt。江西、湖南、浙江、福建、云南、广西和广东 7 省的杉木林碳储量约占 84%~86%。幼、中龄杉木林碳储量在 79%~83.90% 之间, 随着杉木林的演替成熟, 我国杉木林生态系统是一个潜在的碳库。在垂直分布上, 乔木层碳储量占 9.38%~10.63%, 林下植被占 0.6%~0.7%, 土壤占 87.99%~89.02%, 枯落物占 0.68%~0.78%, 不同时期杉木林生态系统碳储量的垂直分配结构基本相似。1999-2003 期间中国杉木林生态系统碳素现存量 2.866 Gt, 一个龄级期 (10 a) 后碳储量将达到 3.772 Gt, 并以 90.63 Mt·a<sup>-1</sup> 的平均积累速率递增, 是一个贮存潜力大, 增长速率快的碳库。

**关键词:** 碳; 储量; 生态系统; 杉木林; 中国

**中图分类号:** Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0093-06

近年来, CO<sub>2</sub> 排放量升高而影响全球气候变化引起了许多科学家对陆地生态系统中碳平衡以及碳存储和分布的关注<sup>[1]</sup>。人们利用陆地生态系统植被和土壤积累有机碳来增加陆地生态系统碳贮量以达到减缓全球变暖速度的目的<sup>[2-4]</sup>。森林作为最主要的植被类型, 在全球碳平衡及潜在的碳储存中扮演着重要的角色, 已成为与全球气候变化密切相关的重要有机体, 它维持的碳库占全球总碳库的 46.3%, 森林植被部分维持的碳库占全球植被碳库的 77.1%, 土壤碳贮量约占世界陆地土壤总碳库的 73%<sup>[5]</sup>。森林通过生长从大气中吸收贮存大量的 CO<sub>2</sub>, 其存贮能力取决于森林类型、种类组成、林龄及其与人类活动的关系<sup>[6]</sup>。因此, 对森林碳储量的科学探究, 有助于正确认识它的碳汇功能和贡献。《京都议定书》认可通过增加森林碳汇来履行温室气体减排义务之后, 世界各国政府更加关注和重视森林碳汇的研究, 对人工林这类特殊、新增的森林生态系统碳储量进行细致研究的重要性、必要性和紧迫性愈益彰显。它将有助于了解现有人工林的贮碳状况, 为人工造林增加碳蓄积提供科学的依据, 同时为我国经济迅速增长的前提下, 迫于压力未来承担和履行《京都议定书》减排义务时提

供充足有力的证据。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是亚热带特有优良速生乡土用材树种, 杉木林在我国南方集体林区是主要森林类型之一, 对湖南、福建和广西等地的 11~25 a 生杉木人工林和混交林生态系统的碳密度进行过报道<sup>[7-10]</sup>, 而对我国杉木林生态系统的总体碳汇功能尚未见详尽的报道和全面的评估, 鉴于此, 本文对我国 1977-2003 年 4 个时期杉木林生态系统碳储量的年龄结构、垂直分配结构特征、时空动态格局和贮碳潜力进行了比较和分析。

## 1 方法与材料

早期利用森林生物量的野外样地调查资料和森林统计面积估算乔木层碳贮量, 近年来以建立生物量与蓄积量关系为基础的估算方法已得到广泛应用<sup>[3]</sup>。基于森林清查资料的详细性和权威性, 在计算国家或区域森林碳平衡中最具有代表性<sup>[11-12]</sup>, 本文充分利用中国 4 次 (1977-1981, 1984-1988, 1994-1998, 1999-2003) 森林资源清查资料, 提取不同年龄 (幼龄林 (1~10 a)、中龄林 (11~20 a)、近熟林 (21~25 a)、成熟林 (26~35 a) 和过熟林 (>36 a) 杉木林的蓄积量和分布

\* 收稿日期: 2007-09-19

基金项目: 国家自然科学基金重大项目资助项目 (30590381-03); 江西大岗山森林生态系统定位研究资助项目 (2001-06); 江西大岗山国家级森林生态站资助项目

作者简介: 王兵 (1965 年生), 男, 博士后, 研究员; 通讯联系人: 魏文俊; E-mail: wwj0318@126.com

面积等,运用方精云等用换算因子连续函数法建立的生物量与蓄积量回归模型(即材积源生物量法)计算杉木的生物量,结合 CFERN 森林生态站杉木林的野外调查资料,包括其植被、土壤和枯落物的相关资料。植被资料包括年净生产力(NPP)、杉木与林下灌木和草本的生物量和器官有机碳含量;枯落物资料包括枯落物贮量和有机碳含量;土壤资料包括容重、有机碳含量、厚度、大于 2 mm 石砾体含量和土壤年净固碳量等。

在当地的自然条件下,森林生态系统积累的以碳为单位的最大生物量,即为潜在的植物碳贮量,由于这种生物量的测定比较困难,采用成、过熟林的植物碳贮存密度代替潜在的碳密度来估算潜在的植物碳贮量<sup>[13]</sup>。由于森林碳密度与年龄密切相关,利用现存的森林可以估算经过一个龄级期(杉木相邻两个年龄阶段的间隔时间)后的潜在碳储量。植被和土壤是森林生态系统主要的碳库组成部分,准确地估算其潜在贮碳量关键是要同时考虑二者的固碳能力。假设处在一定年龄阶段的森林林地年净固碳量是个常量,则经过一个龄级期后的土壤净固碳量可以用土壤年净固碳量来计算。基于以上分析,杉木林生态系统的贮碳潜力可以采用以下公式(1)来进行估算。

$$C_p = C_n + T \times (NPP \times C_i + C_s) \times A \quad (1)$$

式中,  $C_p$  - 杉木林生态系统一个龄级期后的贮碳潜力(t),  $C_n$  - 杉木林生态系统碳素现存量(t),  $T$  - 龄级期(a),  $NPP$  - 杉木林年净生产力( $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $C_i$  - 杉木有机碳含量,  $C_s$  - 杉木林林地土

壤年净固碳量( $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $A$  - 面积( $\text{hm}^2$ )。在森林生态系统中,土壤碳库是植被碳库的 3~4 倍,而林下植被仅占植被层碳储量的 0.6%~9.5%<sup>[14]</sup>,林下植被在整个生态系统碳储量中比例更小,因此在估算时可以忽略这一部分碳库,年净生产力包括每年自然凋落的枝和叶等,可见,估算结果可近似视为整个生态系统潜在碳储量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 中国不同时期杉木林生态系统碳储量年龄结构

森林的碳动态在很大程度上取决于其年龄级的变化。由表 1 可见,中国自 1977 到 2003 年,幼、中龄林碳储量在杉木林生态系统中都是主要的组成部分。1977-1981 年期间各省市幼、中龄杉木林碳储量处于 46.52%~94.78%,总碳储量占全国杉木林生态系统总碳储量的 83.90%;1984-1988 年期间幼、中龄林处于 74.31%~94.75%,总碳储量占 83.17%;1994-1998 年期间幼、中龄林处于 60.1%~89.03%,总碳储量占 82.87%;1999-2003 年期间幼、中龄林处于 32.3%~89.12%,总碳储量占 79%。杉木生长迅速,材质优良,是我国南方重要的造林树种,期间连续大规模营造杉木人工林与其幼、中龄林碳储量的比例持续处于高水平是密不可分的。1989-1993 期间我国幼、中、近熟林占森林总碳储量的 80% 以上,我国森林生态系统在全球碳循环中的作用是不容忽视的<sup>[15]</sup>,1973-1993 年期间,我国森林的幼、中龄林面积和

表 1 中国不同时期杉木林生态系统碳储量年龄结构

Tab. 1 Carbon storage of different ages of Chinese fir forest ecosystem in different times in China

/10<sup>-1</sup>Gt

| 区域 | 1977-1981 |       |     |       |     | 1984-1988 |       |       |       |       | 1994-1998 |        |       |       |        | 1999-2003 |        |       |       |       |
|----|-----------|-------|-----|-------|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------|-------|-------|
|    | 幼龄林       | 中龄林   | 近熟林 | 成熟林   | 过熟林 | 幼龄林       | 中龄林   | 近熟林   | 成熟林   | 过熟林   | 幼龄林       | 中龄林    | 近熟林   | 成熟林   | 过熟林    | 幼龄林       | 中龄林    | 近熟林   | 成熟林   | 过熟林   |
| 陕西 | 0.011     | -     | -   | -     | -   | 0.008     | 0.013 | -     | -     | -     | 0.004     | 0.028  | 0.005 | -     | -      | 0.008     | 0.018  | 0.012 | 0.002 | -     |
| 四川 | 0.043     | 0.069 | -   | 0.067 | -   | 0.213     | 0.198 | 0.066 | 0.035 | -     | 0.16      | 0.369  | 0.077 | 0.087 | 0.014  | 0.082     | 0.301  | 0.058 | 0.016 | 0.021 |
| 云南 | 0.007     | 0.015 | -   | 0.025 | -   | 0.08      | 0.014 | 0.008 | 0.008 | -     | 0.194     | 0.148  | 0.028 | 0.014 | 0.016  | 0.225     | 0.227  | 0.017 | 0.008 | 0.031 |
| 浙江 | 0.586     | 0.644 | -   | 0.182 | -   | 0.92      | 0.662 | 0.185 | 0.168 | 0.037 | 1.012     | 1.092  | 0.186 | 0.179 | 0.065  | 0.853     | 1.35   | 0.359 | 0.157 | 0.049 |
| 贵州 | 0.101     | 0.187 | -   | 0.203 | -   | 0.122     | 0.209 | 0.04  | 0.048 | 0.027 | 0.429     | 0.392  | 0.075 | 0.016 | 0.019  | 0.421     | 0.631  | 0.136 | 0.056 | 0.025 |
| 广西 | 0.048     | 0.744 | -   | 0.195 | -   | 1.116     | 0.574 | 0.225 | 0.174 | 0.018 | 2.481     | 0.86   | 0.415 | 0.28  | 0.054  | 3.038     | 1.415  | 0.741 | 0.353 | 0.017 |
| 广东 | 0.631     | 0.329 | -   | 0.009 | -   | 0.475     | 0.605 | 0.051 | 0     | 0.009 | 0.647     | 0.768  | 0.17  | 0.059 | 0.009  | 0.586     | 0.704  | 0.233 | 0.135 | -     |
| 福建 | 0.574     | 0.414 | -   | 0.146 | -   | 0.998     | 0.856 | 0.2   | 0.054 | 0.006 | 1.001     | 2.11   | 0.422 | 0.143 | 0.016  | 0.727     | 2.312  | 0.725 | 0.354 | 0.029 |
| 安徽 | 0.205     | 0.154 | -   | 0.031 | -   | 0.226     | 0.157 | 0.029 | 0.033 | 0.008 | 0.407     | 0.299  | 0.055 | 0.03  | 0.002  | 0.332     | 0.445  | 0.088 | 0.048 | 0.002 |
| 湖北 | 0.208     | 0.257 | -   | 0.034 | -   | 0.209     | 0.26  | 0.041 | 0.019 | 0.004 | 0.186     | 0.239  | 0.053 | 0.012 | -      | 0.274     | 0.255  | 0.038 | 0.033 | -     |
| 湖南 | 0.848     | 1.066 | -   | 0.653 | -   | 0.91      | 1.128 | 0.243 | 0.292 | 0.036 | 1.335     | 1.749  | 0.52  | 0.343 | 0.034  | 1.09      | 2.226  | 0.621 | 0.52  | 0.074 |
| 江苏 | 0.022     | 0.002 | -   | 0.001 | -   | 0.005     | 0.03  | 0.002 | 0.002 | -     | 0.005     | 0.017  | 0.013 | 0.001 | 0.0004 | 0.002     | 0.009  | 0.01  | 0.014 | -     |
| 河南 | 0.072     | 0.005 | -   | -     | -   | 0.012     | 0.045 | -     | -     | -     | 0.014     | 0.028  | 0.005 | 0.005 | -      | 0.024     | 0.038  | -     | -     | -     |
| 江西 | 0.722     | 1.182 | -   | 0.208 | -   | 0.998     | 1.396 | 0.235 | 0.159 | 0.055 | 1.615     | 2.674  | 0.571 | 0.128 | 0.068  | 1.215     | 3.345  | 0.541 | 0.285 | 0.054 |
| 海南 | -         | -     | -   | -     | -   | -         | -     | -     | -     | -     | 0.003     | 0.001  | -     | -     | -      | 0.198     | 0.279  | 0.075 | 0.051 | 0.033 |
| 重庆 | -         | -     | -   | -     | -   | -         | -     | -     | -     | -     | -         | -      | -     | -     | -      | 0.002     | 0.004  | -     | -     | -     |
| 合计 | 4.076     | 5.067 | -   | 1.755 | -   | 6.293     | 6.148 | 1.324 | 0.993 | 0.2   | 9.495     | 10.776 | 2.596 | 1.296 | 0.298  | 9.078     | 13.559 | 3.654 | 2.03  | 0.334 |

注: 1977-1981 年森林资源清查资料中划分为幼龄林、中龄林和成熟林;“-”为其间资源清查时该省份还没有该年龄阶段的杉木林

表2 中国杉木林生态系统碳储量时空格局

Tab. 2 Spatial and temporal patterns of carbon storage of Chinese fir forest ecosystem in China

/10<sup>-1</sup>Gt

| 时期        | 陕西    | 四川    | 云南    | 浙江    | 重庆    | 海南    | 贵州    | 广西    | 广东    | 福建    | 安徽    | 湖北    | 湖南    | 江苏    | 河南    | 江西    | 合计     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1977-1981 | 0.011 | 0.179 | 0.047 | 1.412 | -     | -     | 0.491 | 0.987 | 0.969 | 1.133 | 0.39  | 0.499 | 2.567 | 0.025 | 0.077 | 2.111 | 10.897 |
| 1984-1988 | 0.021 | 0.512 | 0.11  | 1.972 | -     | -     | 0.446 | 2.108 | 1.14  | 2.115 | 0.452 | 0.532 | 2.609 | 0.039 | 0.056 | 2.844 | 14.958 |
| 1994-1998 | 0.037 | 0.708 | 0.4   | 2.533 | -     | 0.004 | 0.932 | 4.091 | 1.653 | 3.692 | 0.793 | 0.49  | 3.982 | 0.037 | 0.052 | 5.056 | 24.46  |
| 1999-2003 | 0.041 | 0.477 | 0.507 | 2.768 | 0.636 | 0.006 | 1.269 | 5.564 | 1.658 | 4.147 | 0.914 | 0.601 | 4.531 | 0.035 | 0.062 | 5.441 | 28.657 |

注:“-”系1997年重庆正式成为我国直辖市之一之前,森林资源清查时一直在四川省内

碳储量都呈上升趋势,随着它们的进一步发展成熟,幼、中龄林所发挥的作用越来越大,我国森林将是一个潜在的巨大的碳库<sup>[12]</sup>。杉木林总碳储量亦以幼、中龄林碳储量占优势,随着杉木林的演替成熟,它将发挥越来越强的固碳功能,是一个巨大的潜在碳库。

### 3.2 中国杉木林生态系统碳储量时空格局

森林的碳储量动态与其面积的变化、演替阶段、年龄组成以及人类干扰等因素密切相关<sup>[9]</sup>。探讨森林碳储量的时空动态变化不仅对评估区域和国家尺度上森林在全球碳循环中的作用具有重要意义,对森林的恢复重建以及管理保护也有较大的指导意义。4个时期杉木林生态系统碳储量的时间和空间动态格局见表2,从1977年至2003年,中国各省市杉木林生态系统碳储量在不断地增加,增长超过50%的省份为云南(②133%,③262%)、四川(②186%)、广西(②113%,③94%)、贵州(③109%)、陕西(②98%,③75%)、福建(②87%,③75%)、江西(②78%)、安徽(③76%)、湖南(③53%)。四川(④-33%)和河南(②-26%)两省的碳储量在降低,且减少较快。杉木林总碳储量的增长先增加后降低(②37%,③63%,④17%),杉木人工林的营建逐年在进行,林分面积逐年增加,杉木林在区域森林生态系统内的作用愈益重要,随着杉木林演替成熟,生态系统的碳蓄积量越来越多。在此期间内,各省份杉木林生态系统总碳储量的贡献,分别为江西(①19%,②19%,③21%,④19%)、湖南(①24%,②17%,③16%,④16%)、浙江(①13%,②13%,③10%,④10%)、福建(①10%,②14%,③17%,④19%)、云南(①13%,②13%,③10%,④10%)、广西(①9%,②14%,③17%,④19%)、广东(①9%,②8%,③7%,④6%)。7省份杉木林的碳储量占据优势地位,26a间占84%~86%。

1984-1988期间杉木林生态系统共增加了0.406 Gt C,平均固碳量(以C计,下同)为81.21 Mt·a<sup>-1</sup>,1994-1998期间增加0.95 Gt,平

均固碳量为190.05 Mt·a<sup>-1</sup>,1999-2003期间增加0.42 Gt,平均固碳量为83.92 Mt·a<sup>-1</sup>,在这26a中,我国的杉木林生态系统一直是一个碳汇,其中1994-1998年期间积累的碳量最多,增长的速率也最快。根据中国森林资源历次清查和全国历年造林面积统计公布数据<sup>[16]</sup>,1977-1981年、1982-1988年、1994-1998年和1999-2003的造林贡献率为19.3%、47.1%、53.9%和46.9%,1994-1998期间我国加大了森林保护和植树造林力度,促使杉木林的固碳效益亦得到了大幅度的提高。在1977-1981年的5a中,中国森林共积累0.37 Gt,每年增加74 Mt,在这一时期是一个较强的汇,1982-1988年的7a间,森林共损失0.06 Gt,每年减少8.6 Mt,在该时期内表现为一个弱的碳源<sup>[12]</sup>。而杉木林生态系统则一直是碳汇,它在我国森林生态系统中的碳汇贡献不可忽视<sup>(1)</sup>。

### 3.3 中国不同时期杉木林生态系统碳储量垂直分配格局

4个时期中国杉木林生态系统碳储量乔木层占9.38%~10.63%,林下植被占0.6%~0.7%,土壤占87.99%~89.02%,枯落物占0.68%~0.78%。不同时期杉木林生态系统碳储量的垂直分配结构基本相似。1989-1993期间中国杉木林的植被碳储量63.69 Mt<sup>[17]</sup>,与之相比,4期研究结果似乎都大,分别为123.52 Mt,150.5 Mt,249.59 Mt和305.67 Mt,前者的森林植被碳储量缺少林下植被部分,主要原因在于所采用的杉木生物量资料来源不同。与周玉荣<sup>[18]</sup>估算的中国森林生态系统碳储量相比,杉木林植被碳储量占全国森林植被碳储量的4.03%,土壤碳储量占10.36%,枯落物碳储量占2.13%。对于森林植被碳储量而言,与刘国华<sup>[12]</sup>对1973-1993年间我国森林植被碳储量相比,1977-1981期间杉木林植被碳储量占2.81%,1984-1988期间占3.45%,可见杉木林植被层的固碳功能在我国森林植被中发挥的作用是增强的。

(1) 注:①:1977-1981;②:1984-1988;③:1994-1998;④:1999-2003

表 3 中国不同时期杉木林生态系统碳储量垂直分配格局

Tab. 3 Vertical distribution of carbon storage of Chinese fir forest ecosystem in different times

| 省份 | 1977 - 1981 |      |        |      | 1984 - 1988/Mt |       |         |       | 1994 - 1998 |       |         |       | 1999 - 2003 |       |         |       |
|----|-------------|------|--------|------|----------------|-------|---------|-------|-------------|-------|---------|-------|-------------|-------|---------|-------|
|    | 乔木层         | 林下植被 | 土壤     | 枯落物  | 乔木层            | 林下植被  | 土壤      | 枯落物   | 乔木层         | 林下植被  | 土壤      | 枯落物   | 乔木层         | 林下植被  | 土壤      | 枯落物   |
| 陕西 | 0.22        | 0.04 | 0.81   | 0.01 | 0.45           | 0.03  | 1.61    | 0.04  | 0.87        | 0.04  | 2.74    | 0.09  | 0.97        | 0.08  | 2.90    | 0.10  |
| 四川 | 3.11        | 0.29 | 14.35  | 0.16 | 6.87           | 0.65  | 43.11   | 0.57  | 10.56       | 0.82  | 58.54   | 0.84  | 7.87        | 0.45  | 38.81   | 0.61  |
| 云南 | 1.03        | 0.07 | 3.59   | 0.03 | 1.56           | 0.16  | 9.22    | 0.08  | 5.71        | 0.48  | 33.43   | 0.37  | 8.18        | 0.57  | 41.50   | 0.47  |
| 浙江 | 11.06       | 0.94 | 128.67 | 0.51 | 13.74          | 1.52  | 181.02  | 0.94  | 17.92       | 1.76  | 232.49  | 1.14  | 20.87       | 1.70  | 252.86  | 1.32  |
| 重庆 | -           | -    | -      | -    | -              | -     | -       | -     | -           | -     | -       | -     | 4.55        | 0.35  | 58.41   | 0.32  |
| 海南 | -           | -    | -      | -    | -              | -     | -       | -     | 0.10        | 0.01  | 0.29    | 0.00  | 0.17        | 0.01  | 0.43    | 0.01  |
| 贵州 | 7.01        | 0.64 | 41.11  | 0.35 | 5.75           | 0.48  | 37.99   | 0.42  | 11.03       | 0.89  | 80.48   | 0.79  | 17.08       | 1.10  | 107.57  | 1.14  |
| 广西 | 11.73       | 0.27 | 86.35  | 0.37 | 11.50          | 0.68  | 197.81  | 0.78  | 22.94       | 1.32  | 383.36  | 1.46  | 36.23       | 1.70  | 516.38  | 2.07  |
| 广东 | 8.60        | 1.30 | 86.37  | 0.62 | 10.67          | 1.54  | 100.92  | 0.89  | 16.97       | 2.26  | 144.68  | 1.34  | 20.42       | 2.27  | 141.80  | 1.36  |
| 福建 | 11.88       | 0.92 | 99.89  | 0.61 | 21.14          | 1.49  | 187.64  | 1.26  | 42.47       | 2.04  | 322.29  | 2.42  | 53.52       | 2.43  | 355.90  | 2.86  |
| 安徽 | 4.75        | 0.39 | 33.56  | 0.28 | 5.23           | 0.50  | 39.08   | 0.36  | 8.89        | 0.79  | 69.03   | 0.63  | 11.76       | 0.78  | 78.08   | 0.79  |
| 湖北 | 5.37        | 0.42 | 43.74  | 0.37 | 5.82           | 0.45  | 46.54   | 0.44  | 5.14        | 0.40  | 43.06   | 0.43  | 6.46        | 0.55  | 52.57   | 0.47  |
| 湖南 | 28.74       | 1.27 | 224.87 | 1.82 | 29.44          | 1.22  | 228.10  | 2.19  | 44.72       | 1.87  | 348.11  | 3.50  | 56.08       | 2.23  | 390.67  | 4.13  |
| 江苏 | 0.21        | 0.04 | 2.24   | 0.01 | 0.43           | 0.02  | 3.39    | 0.04  | 0.44        | 0.03  | 3.20    | 0.04  | 0.44        | 0.05  | 2.95    | 0.04  |
| 河南 | 0.32        | 0.06 | 7.26   | 0.02 | 0.34           | 0.01  | 5.27    | 0.03  | 0.33        | 0.02  | 4.83    | 0.03  | 0.40        | 0.02  | 5.76    | 0.03  |
| 江西 | 21.83       | 1.01 | 186.03 | 2.23 | 27.34          | 1.50  | 252.39  | 3.18  | 46.28       | 2.49  | 450.94  | 5.91  | 43.45       | 2.93  | 491.10  | 6.60  |
| 合计 | 115.86      | 7.66 | 958.84 | 7.39 | 140.28         | 10.25 | 1334.09 | 11.22 | 234.37      | 15.22 | 2177.47 | 18.99 | 288.45      | 17.22 | 2537.69 | 22.32 |

3.4 中国杉木林碳素现存量与贮碳潜力估算

表 4 1999 - 2003 期间中国杉木林现存量与潜在贮碳量

Tab. 4 Carbon storage in China from 1999 to 2003 and its potential storage after ten years

| 1999 - 2003 | 陕西 | 四川     | 云南     | 浙江     | 重庆     | 海南     | 贵州     | 广西     | 广东     | 福建     | 安徽     | 湖北     | 湖南     | 江苏     | 河南     | 江西     | 总计     |
|-------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 碳素现存量(Gt)   | 植被 | 0.001  | 0.0083 | 0.0088 | 0.0226 | 0.0049 | 0.0002 | 0.0182 | 0.0379 | 0.0227 | 0.0559 | 0.0125 | 0.007  | 0.0583 | 0.0005 | 0.0004 | 0.3057 |
|             | 土壤 | 0.0029 | 0.0388 | 0.0415 | 0.2529 | 0.0584 | 0.0004 | 0.1076 | 0.5164 | 0.1418 | 0.3559 | 0.0781 | 0.0526 | 0.3907 | 0.003  | 0.0058 | 2.5377 |
|             | 合计 | 0.0041 | 0.0477 | 0.0507 | 0.2768 | 0.0636 | 0.0006 | 0.1269 | 0.5564 | 0.1658 | 0.4147 | 0.0914 | 0.0601 | 0.4531 | 0.0035 | 0.0062 | 2.8657 |
| 潜在固碳量(Gt)   | 植被 | 0.0028 | 0.0307 | 0.0293 | 0.0738 | 0.0172 | 0.0005 | 0.0652 | 0.1563 | 0.1031 | 0.1622 | 0.0342 | 0.0276 | 0.212  | 0.002  | 0.0016 | 1.127  |
|             | 土壤 | 0.0031 | 0.0405 | 0.0431 | 0.2582 | 0.0595 | 0.0005 | 0.1138 | 0.5183 | 0.1451 | 0.3685 | 0.0814 | 0.0544 | 0.3987 | 0.0031 | 0.0059 | 2.6055 |
|             | 总量 | 0.0061 | 0.0722 | 0.0734 | 0.3351 | 0.0774 | 0.0009 | 0.1813 | 0.6783 | 0.2518 | 0.536  | 0.1172 | 0.0831 | 0.617  | 0.0052 | 0.0075 | 3.772  |

注：碳素现存量包含乔木、林下植被、枯落物和土壤 4 部分

1999 - 2003 期间中国杉木林生态系统碳素现存量为 2.866 Gt，经过一个龄级期（10 a）后贮碳量将达到 3.772 Gt，其中植被为 1.127 Gt，其现存量为 0.288 Gt，土壤为 2.606 Gt，其现存量为 2.538 Gt。以平均每年 90.63 Mt·a<sup>-1</sup> 的积累速率递增，其中植被为 83.86 Mt·a<sup>-1</sup>，土壤为 6.78 Mt C·a<sup>-1</sup>。而 1977 - 1993 年期间中国森林植被碳库则以 26.5 Mt·a<sup>-1</sup> 的速率递增<sup>[12]</sup>，1999 - 2003 年期间的杉木林植被碳积累速率高于前者。1989 - 1993 年间我国森林植物固定大气碳的潜力为 8.4 Gt，当时森林生态系统中碳素的现存量为 3.7 Gt，潜在固碳量为现存量的 2.26 倍<sup>[13]</sup>，其中杉木林的固碳潜力为 240.71 Mt，现存量为 63.96 Mt，潜在固碳量为现存量的 3.76 倍，文中一个龄级期后的杉木林植被潜在固碳量为现存量的 3.91 倍与之接近。我国目前森林净固碳量为 86.3 Mt·a<sup>-1</sup><sup>[19]</sup>，杉木林的净

固碳量为 90.63 Mt·a<sup>-1</sup>，杉木林的固碳能力接近全国森林的平均水平。由此看来，我国的杉木林生态系统的贮碳潜力较大，且增长速率也较快。

4 结 论

(1) 1977 - 1981 期间我国杉木林生态系统总贮碳量为 1.09 Gt，1984 - 1988 期间 1.496 Gt，1994 - 1998 期间 2.446 Gt，1999 - 2003 期间为 2.866 Gt，碳储量在逐年增加。江西、湖南、浙江、福建、云南、广西和广东 7 省杉木林的碳储量达到了 84%~86%，在我国杉木林总碳储量中占有重要的地位。

(2) 1977 - 2003 期间幼、中龄杉木林碳储量在 79%~83.90% 之间，随着杉木林的演替成熟，是一个潜在的巨大碳库。

(3) 1977 - 2003 期间我国杉木林生态系统碳

储量乔木层占9.38%~10.63%, 林下植被占0.6%~0.7%, 土壤占87.99%~89.02%, 枯落物占0.68%~0.78%。不同时期杉木林生态系统碳储量的垂直分配结构基本相似。

(4) 1999-2003 期间我国杉木林生态系统碳素现存量为2.866 Gt, 一个龄级期后贮碳量将达到3.772 Gt, 以平均每年90.63 Mt·a<sup>-1</sup>的积累速率递增, 是一个贮碳潜力大, 增长速率快的碳库。

#### 参考文献:

- [1] 何志斌, 赵文智, 刘鹄, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.  
HE Zhibin, ZHAO Wenzhi, LIU Hu, et al. Characteristic of *Picea crassifolia* forest soil organic carbon and relationship with environment factors in the Qilian Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2572-2577.
- [2] DIXON R K, WINJUM J K, SCHROEDER P E. Conservation and sequestration of carbon[J]. Global Environment Change, 1993, 3(2): 159-173.
- [3] DIXON R K, SOLOMON A M, BROWN S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. Science, 1994, 262: 185-190.
- [4] BROWN S. Present and potential roles of forests in the global climate change debate[J]. Unasylva, 1996, 47: 3-10.
- [5] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and world life zones[J]. Nature, 1982, 298: 156-159.
- [6] HOUGHTON R A, SKOLE D L, NOBRE C A, et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon [J]. Nature, 2000, 4(3): 301-304.
- [7] 田大伦, 方晰, 项文化. 湖南会同杉木人工林生态系统碳素密度[J]. 生态学报, 2004, 4(11): 2382-2386.  
TIAN Dalun, FANG Xi, XIANG Wenhua. Carbon density of the Chinese fir plantation ecosystem at Huitong, Hunan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 4(11): 2382-2386.
- [8] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 14-19.  
FANG Xi, TIAN Dalun, XIANG Wenhua. Density, storage and distribution of carbon in Chinese fir plantation at fast growing stage[J]. Forestry Science, 2002, 38(3): 14-19.
- [9] 方晰, 田大伦, 项文化, 等. 杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 418-423.  
FANG Xi, TIAN Dalun, XIANG Wenhua, et al. Vertical distribution of soil organic carbon in *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. Journal of Zhejiang Forestry college, 2004, 21(4): 418-423.
- [10] 康冰, 刘世荣, 张广军, 等. 广西大青山南亚热带马尾松、杉木混交林生态系统碳素积累和分配特征[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1320-1329.  
KANG Bing, LIU Shirong, ZHANG Guangjun, et al. Carbon accumulation and distribution in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest ecosystem in Daqingshan, Guangxi of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1320-1329.
- [11] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国森林植被的生物量和生产力[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.  
FANG Jingyun, LIU Guohua, XU Songling. Biomass and net production of forest vegetation in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5): 497-508.
- [12] 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[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.  
LIU Guohua, FU Bojie, FANG Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733-740.
- [13] 王效科, 冯宗炜. 中国森林生态系统中植物固定大气的潜力[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 72-74.  
WANG Xiaoke, FENG Zongwei. The potential sequester atmospheric carbon through forest ecosystem in China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(4): 72-74.
- [14] 李海涛, 王姗姗, 高鲁鹏, 等. 赣中亚热带森林植被碳储量[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 693-703.  
LI Haitao, WANG Shanna, GAO Lupeng, et al. The carbon storage of the subtropical forest vegetation in central Jiangxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 693-703.
- [15] 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[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 50-54.  
ZHAO Min, ZHOU Guangsheng. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factor[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(1): 50-54.
- [16] 张煜星. 人工造林对森林覆盖率的贡献分析[J]. 东北林业大学学报[J]. 2007, 35(3): 76-78.  
ZHANG Yuxing. Analysis on contribution of artificial afforestation to forest coverage[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(3): 76-78.
- [17] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.  
WANG Xiaoke, FENG Zongwei, Ouyang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystem in China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1):

- 13 - 16.
- [18] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 中国主要森林生态系统的碳贮量与碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518 - 522.
- ZHOU Yurong, YU Zhenliang, ZHAO Shidong. Carbon storage and budget of major Chinese forest types[J]. Acta Phytocological Sinica, 2000, 24(5): 518 - 522.
- (in Chinese)
- [19] 康惠宁, 马钦彦, 袁嘉祖. 中国森林 C 汇功能基本估计[J]. 应用生态学报, 1996, 7(3): 230 - 234.
- KANG Huining, MA Qingyan, YUAN Jiazu. Estimation of carbon sink function of forests in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1996, 7(3): 230 - 234.

## Carbon Storage of Chinese Fir Forest Ecosystem in China

WANG Bing<sup>1</sup>, WEI Wen-jun<sup>2</sup>, LI Shao-ning<sup>3</sup>, GUO Hao<sup>1</sup>, BAI Xiu-lan<sup>1</sup>

(1. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Forestry Ecology Environment Main Laboratory, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Liaoning Academy of Forestry, Shenyang 110032, China; 3. Beijing Academy of Agriculture and Forestry, Institute of Forestry and Pomology, Beijing 100093, China)

**Abstract:** Forest resources inventories materials and data from China Forest Ecosystem Location Research Network (CFERN) were prepared for estimating 4 periods of carbon storage of Chinese fir forest ecosystem from 1977 to 2003. We analyzed their ages structure, vertical distribution, spatial and temporal patterns and its potential carbon storage. Carbon storage of Chinese fir forest ecosystem were, 1.09 Gt C in 1977 - 1981, 1.496 Gt C in 1984 - 1988, 2.446 Gt C in 1994 - 1998, 2.866 Gt C in 1999 - 2003, they were increasing year by year. Carbon storage of Jiangxi, Hunan, Zhejiang, Fujian, Yunnan, Guangxi and Guangdong accounted for between 84% and 86%, it is a huge carbon pool in China. Carbon storage of young growth and half-mature trees were the major carbon pools of Chinese fir forest, with the percentages between 79 and 83.9, they will be a large carbon pool as trees grew elder and elder. In Chinese fir forests, carbon storage of trees were between 9.38% and 10.63%, trees under Chinese fir were between 0.6% and 0.7%, soil were between 87.99% and 89.02%, litter were between 0.68% and 0.78%. Thus, they were similar vertically. Carbon storage was 2.866 Gt from 1999 to 2003, and it will be 3.772 Gt C after ten years, there will be 90.63 Mt carbon fixed by Chinese fir forest every year, henceforth, Chinese fir forest can store more and more carbon, and it will be larger and larger soon.

**Key words:** carbon; storage; ecosystem; Chinese fir forest; China