

# 黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化<sup>\*</sup>

焦 燕 胡海清<sup>\*\*</sup>

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

**【摘要】** 黑龙江省的森林资源在全国森林资源中占有较为重要的位置. 利用我国第一次(1973~1976 年)至第六次(1999~2003 年)森林资源清查资料, 以及不同树种生物量和蓄积量之间的线性关系, 对黑龙江省近 30 年来森林碳储量进行了求和推算. 结果表明, 黑龙江省 6 次森林资源清查中森林的总碳储量分别是  $7.916 \times 10^8$  t、 $5.413 \times 10^8$  t、 $5.661 \times 10^8$  t、 $5.880 \times 10^8$  t、 $6.216 \times 10^8$  t 和  $6.011 \times 10^8$  t, 总体呈先下降后上升的趋势, 说明 30 年间黑龙江省的森林是 CO<sub>2</sub> 的“汇”; 特别是 1977~1981 年后, 黑龙江省森林碳储量呈逐渐上升趋势, 说明近 20 年来黑龙江省森林 CO<sub>2</sub>“汇”的作用在增强. 如果对现有森林进行更好地抚育和管理, 黑龙江省森林作为 CO<sub>2</sub>“汇”的潜力很大.

**关键词** 森林植被 碳储量 黑龙江省

**文章编号** 1001-9332(2005)12-2248-05 **中图分类号** Q948.1;S718 **文献标识码** A

**Carbon storage and its dynamics of forest vegetations in Heilongjiang Province.** JIAO Yan, HU Haiqing (College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(12): 2248~2252.

Forest is the leading sink of carbon on the earth, while the forest resources of Heilongjiang Province take an important position in China. Based on the national forest inventory data from 1973 to 2003, the carbon storage of forests in Heilongjiang Province was estimated by the linear relationship between stand biomass and volume. The results showed that the total carbon storage of forests in 1973~1976, 1977~1981, 1985~1988, 1989~1993, 1994~1998 and 1999~2003 was  $7.916 \times 10^8$ ,  $5.413 \times 10^8$ ,  $5.661 \times 10^8$ ,  $5.880 \times 10^8$ ,  $6.216 \times 10^8$  and  $6.011 \times 10^8$  t, respectively, with an increasing trend since 1977, indicating that the forests in this Province played a role as a sink of atmospheric carbon dioxide, and this functioning was strengthened during the last 20 years. If the current forest is managed well, it would become a huge potential carbon sink in the future.

**Key words** Forest vegetation, Carbon storage, Heilongjiang Province.

## 1 引 言

森林是陆地生态系统中最大的碳储库. 单位面积森林储存的碳是农田的 20~100 倍. 森林生态系统作为一个重要的碳库, 其生物量中碳储存量为  $359 \times 10^{15} \sim 744 \times 10^{15}$  g, 森林土壤中碳储量为  $787 \times 10^{15} \sim 2\,775 \times 10^{15}$  g<sup>[19]</sup>. 森林是大气 CO<sub>2</sub> 重要的碳汇, 在减少碳收支不平衡中起着关键作用, 对大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的影响越来越受到科学家的关注<sup>[6,23]</sup>. 森林在全球生物圈碳平衡中的作用十分显著. 一方面, 森林的生长可以从大气中吸收和固定大量的碳, 是大气 CO<sub>2</sub> 的一个重要碳汇; 另一方面, 森林的采伐利用会使原先已固定的碳释放, 又可成为大气 CO<sub>2</sub> 的一个重要碳源<sup>[30]</sup>. 而森林生态系统的碳储量是研究森林生态系统与大气间碳交换的基本参数, 也是估算森林生态系统向大气吸收和排放的关键因子<sup>[26]</sup>. 2000 年 IPCC 发表的报告估计, 全球陆地生态系统碳储量约  $24.77 \times 10^{11}$  t, 其中植被碳量总额

为  $4.66 \times 10^{11}$  t、土壤  $20.11 \times 10^{11}$  t. 森林占全球陆地面积的 29.6% (国家林业局, 2005), 森林植被的碳储量约占全球植被的 77%, 植被不仅本身能够吸收和储存大量的碳, 而且植物的凋谢物混入土壤使得土壤也成为巨大的碳汇. 目前, 中国的森林覆盖率为 13.92%, 到本世纪末, 全国森林覆盖率将达到 15%, 2050 年达到 20%<sup>[12]</sup>. 中国森林碳库为  $2.14 \times 10^{10}$  t~ $2.81 \times 10^{10}$  t 碳, 占全球的 1.87%~2.45%. 根据刘允芬<sup>[17]</sup>和刘国华等<sup>[16]</sup>的估计结果, 我国生物物质和化石燃料燃烧、人体呼吸等每年释放的总碳量为  $9.87 \times 10^8$  t, 而我国森林生态系统可以吸收其中的 48.7%. 我国森林碳储量约占全球植被碳储量的 1.1%, 森林碳密度低于世界平均水平, 但中国森林植被以未成熟林为主 (大于 80%), 所以

<sup>\*</sup>国家自然科学基金项目 (30471404)、黑龙江省重点基金项目 (ZJG04-0102) 和国家“十五”科技攻关重大资助项目 (2001-BA509B17).

<sup>\*\*</sup>通讯联系人.

2005-08-11 收稿, 2005-09-25 接受.

我国森林植被具有巨大的固碳潜力,在全球碳循环中的作用不容忽视。

目前,俄罗斯、加拿大和美国等国家对森林生态系统植物碳储量的估算研究有较大进展<sup>[1,2,21]</sup>。Wang 等在 1994 年利用 Marland<sup>[18]</sup>的参数,根据中国森林总蓄积量估算了中国森林生态系统的植物碳贮量为 2.1 Pg<sup>[25]</sup>,远比王效科等<sup>[28]</sup>估计的 3.26 ~ 3.73 Pg 值小。这说明要得出中国森林生态系统植物碳贮量的可靠值,必须采用中国的参数和按类型或区域进行详尽的统计,不断更新数据库,并引用最新的森林生物量的生态调查结果<sup>[14,29]</sup>。我国学者对我国森林碳储量的研究起步较晚,主要研究了全国范围内或气候带范围内的碳储量及动态变化特点<sup>[7,15,26,27,31,33]</sup>,方精云等<sup>[8]</sup>采用 4 次全国森林资源清查资料估算了我国不同时期森林碳库的蓄积量,而对于区域范围内的小尺度森林碳储量的研究较少,且仅限于我国中南部个别地区<sup>[4,5,22,32]</sup>,而对北方林局部地区的碳储量缺乏研究。本文以黑龙江省森林为例,充分利用该省 6 次森林资源清查资料,分析了近 30 年来黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化,并给出了其发展态势。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

黑龙江省位于 121°11' ~ 135°5' E, 43°25' ~ 53°23' N, 面积约 45.4 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。该地区属大陆性气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,春秋季多大风,空气湿度低,干燥。全省地貌可分为 5 个区域:西北部的大兴安岭、东北部的小兴安岭、东南部的东部山地(张广才岭、老爷岭和完达山等)、西部的松嫩平原区及东部的三江兴凯湖平原。山地海拔高度在 300 ~ 1 600 m,平原地区海拔在 35 ~ 200 m。山地面积占 58.9%,平原占 41.1%。省内有较大面积的森林土壤、草原土壤和森林草原土壤,均属于地带性土壤,同时也存在着大面积的非地带性土壤。黑龙江省森林覆盖率达 39.54%,森林面积高达 1 797.50 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,森林蓄积量为 137 502.31 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,地带性植被为寒温带针叶林和温带针阔叶混交林。森林主要分布在大兴安岭、小兴安岭、张广才岭、老爷岭和完达山等地区。天然林比重大,人工林少。

本研究采用 1973 ~ 1976 年、1977 ~ 1981 年、1984 ~ 1988 年、1989 ~ 1993 年、1994 ~ 1998 和 1999 ~ 2003 年 6 个时段国家 6 次森林资源清查资料(下称森林资源清查资料)和生物生产力研究资料(下称文献调研资料)。森林资源清查资料主要包括黑龙江省的森林面积和森林蓄积量资料。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 生物量计算** 生物量包括在该单位面积上全部植物、动物和微生物现存的有机质总量,但由于微生物所占比重极

小,动物生物量也不足植物生物量的 10%,所以通常以植物生物量为代表。目前材积源-生物量法<sup>[10,16]</sup>被认为是一种较好的估测森林生物量的方法。森林资源清查资料提供了林分各优势树种各龄组的面积和蓄积。因此,为了准确推算黑龙江省森林总的生物量,需要建立蓄积量( $X_v$ )与生物量( $Y_b$ )之间的换算关系。

$$Y_b = aX_v + b \quad (1)$$

式中, $X_v$ 和 $Y_b$ 分别表示林分蓄积(m<sup>3</sup>)和林分生物量(t); $a$ 和 $b$ 均为参数,这里采用方精云等<sup>[9]</sup>计算的我国不同森林类型森林生物量的基本参数。

由于 1999 ~ 2003 年的具体森林资源清查资料还没有公布,无法得知各优势树种的林分面积和蓄积,难以按树种求知总生物量。但经研究发现 1984 ~ 1998 年的黑龙江森林植被生物量和蓄积量呈很好的线性相关,由此利用这一阶段已知的生物量和蓄积量,可以推导出一个线性回归方程:

$$y = 1.166x - 4.01 \text{ E} + 08 \quad (r^2 = 0.994) \quad (2)$$

从而利用式(2)估算 1999 ~ 2003 年黑龙江省森林植被的生物量。

森林蓄积量是森林生长的立地条件、气候条件和森林年龄级及其它各因素的综合反映。分析表明,总平均生物量与总平均森林蓄积量之间呈良好的线性关系,且此关系不随时段不同而发生变化<sup>[3,7,10]</sup>。因此,在求算全国总森林生物量时,采用了利用森林清查资料的面积和蓄积建立的生物量与蓄积量之间的总回归方程<sup>[8]</sup>:

$$y = 0.5751x + 38.706 \quad (n = 120, r^2 = 0.83) \quad (3)$$

利用式(1)~(3)来估算全国以及黑龙江省森林生物量。

**2.2.2 碳储量计算** 早期对森林植被碳储量的估算是利用森林生物量的野外样地调查资料和森林统计面积。由于在实际森林样地调查时,一般都选取生长较好的地段进行测定,其结果往往高估了森林植被的碳储量<sup>[26]</sup>。近年来,以建立生物量与蓄积量关系为基础的森林植被碳储量的估算方法已得到广泛应用<sup>[6]</sup>,本研究也采用该方法。通常,植物生物量转化为碳量是按照植物干有机物中碳所占的比重。考虑不同植被树种组成、年龄和种群结构不同,转化率也不同。由于获取各种植被类型的转化率比较困难,所以国际上常用的转化率为 0.45<sup>[20]</sup>和 0.50<sup>[13]</sup>。本文中森林植被的碳储量仅指活立木的碳储量,并没有包括森林生态系统的枯死木、下木层、草本层、枯枝落叶层以及森林土壤层的碳储量,碳储量用生物量乘以转化率 0.50 得到。

## 3 结果与分析

### 3.1 森林植被碳储量及其动态变化

运用统一标准归纳的全国统计值(表 1),以准确比较黑龙江省和引用全国的森林植被碳储量。为了准确计算森林碳密度值,森林面积和蓄积量均采用林分的面积和蓄积量,不包括经济林面积。

从 1973 ~ 1976 年和 1977 ~ 1981 年两次森林清

查计算结果可以看出,黑龙江省森林碳储量分别为  $7.961 \times 10^8$  和  $5.413 \times 10^8$  t,分别占全国森林碳储量的 24.544 %和 20.851 %;碳密度分别为 31.74 和  $35.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比全国分别高出 9.15 和  $9.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .而 1984 ~ 1988 年、1989 ~ 1993 年和 1994 ~ 1998 年的计算结果表明,黑龙江省森林碳储量分别为  $5.661 \times 10^8$ 、 $5.880 \times 10^8$  和  $6.216 \times 10^8$  t,分别占全国森林碳储量的 21.533 %、20.172 % 和 19.185 %;碳密度分别为 36.40、36.50 和  $35.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比全国分别高 1.189、1.086 和  $1.130 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .全国森林碳储量呈增加趋势,平均每年增加的碳储量为  $3.643 \times 10^7$  t,黑龙江省森林碳储量在 1977 ~ 1998 年呈上升趋势,平均每年的森林碳储量增加  $3.824 \times 10^6$  t,平均每年增加的碳储量占全国的 10.497 %.

3.2 人工林和天然林植被碳储量及其动态变化

表 2 结果表明,人工林碳储量总体上呈增加趋势,1994 ~ 1998 年最大为  $2.155 \times 10^7$  t,平均每年的

碳储量  $2.908 \times 10^6$  t.从 1973 年到 1998 年的 5 次森林清查中,黑龙江省人工林碳密度总趋势是增加的,并且有两次高峰,分别为 1977 ~ 1981 年的  $15.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 1984 ~ 1988 年的  $12.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

黑龙江省天然林碳储量呈降低趋势,从 1973 年到 1981 年平均每年减少  $3.221 \times 10^7$  t,之后以平均每年  $3.806 \times 10^6$  t 增加,到 1998 年又回升到  $6.000 \times 10^8$  t.黑龙江省天然林的碳密度除 1977 ~ 1981 年有所降低外,均呈增加趋势,平均每年增加  $0.326 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

3.3 不同用途林种植被碳储量及其动态变化

表 3 结果表明,用材林的植被碳储量在 1973 ~ 1988 年间逐渐降低,平均每年减少  $2.541 \times 10^7$  t; 1988 ~ 1998 年开始增加,平均每年增加  $1.874 \times 10^7$  t.用材林的碳密度则呈增加趋势.其它林种的植被碳储量呈不规则变化,1984 ~ 1988 年达到最高,为  $1.715 \times 10^8$  t,其碳密度总体呈增加趋势.

表 1 全国和黑龙江省森林面积和碳储量

Table 1 Forest area and total carbon during six periods from 1973 to 2003 in China and Heilongjiang Province

区域 Area	清查期 Inventory time	森林面积 Forest area ( $\text{hm}^2$ )	总蓄积量 Total volume ( $\text{m}^3$ )	总生物量 Total biomass (t)	碳储量 Total carbon (t)	碳密度 Carbon density ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
全 国 China	1973 ~ 1976	1.102E+08	8.656E+09	4.978E+09	2.489E+09	2.259E+01
	1977 ~ 1981	1.007E+08	9.028E+09	5.192E+09	2.596E+09	2.578E+01
	1984 ~ 1988	1.072E+08	9.141E+09	5.257E+09	2.629E+09	2.451E+01
	1989 ~ 1993	1.137E+08	1.014E+10	5.830E+09	2.915E+09	2.564E+01
	1994 ~ 1998	1.344E+08	1.127E+10	6.479E+09	3.240E+09	2.411E+01
	1999 ~ 2003	1.749E+08	1.246E+10	7.163E+09	3.582E+09	2.048E+01
黑龙江省 Heilongjiang Province	1973 ~ 1976	2.508E+07	2.125E+09	1.592E+09	7.961E+08	3.174E+01
	1977 ~ 1981	1.526E+07	1.437E+09	1.083E+09	5.413E+08	3.546E+01
	1984 ~ 1988	1.555E+07	1.317E+09	1.132E+09	5.661E+08	3.640E+01
	1989 ~ 1993	1.611E+07	1.348E+09	1.176E+09	5.880E+08	3.650E+01
	1994 ~ 1998	1.756E+07	1.411E+09	1.243E+09	6.216E+08	3.541E+01
	1999 ~ 2003	1.798E+07	1.375E+09	1.202E+09	6.011E+08	3.344E+01

表 2 黑龙江省人工林和天然林面积及碳储量

Table 2 Area and total carbon of planted forests during five periods from 1973 to 1998 in Heilongjiang Province

林型 Forest type	清查期 Inventory time	森林面积 Forest area ( $\text{hm}^2$ )	总蓄积量 Total volume ( $\text{m}^3$ )	总生物量 Total biomass (t)	碳储量 Total carbon (t)	碳密度 Carbon density ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
人工林 Plant forest	1973 ~ 1976	8.800E+05	2.386E+07	1.372E+07	6.861E+06	7.797E+00
	1977 ~ 1981	6.446E+05	2.392E+07	1.957E+07	9.787E+06	1.518E+01
	1984 ~ 1988	1.616E+06	5.131E+07	4.070E+07	2.035E+07	1.259E+01
	1989 ~ 1993	1.504E+06	4.920E+07	2.829E+07	1.415E+07	9.404E+00
	1994 ~ 1998	1.922E+06	7.495E+07	4.311E+07	2.155E+07	1.121E+01
	1973 ~ 1976	2.420E+07	2.101E+09	1.578E+09	7.892E+08	2.394E+01
天然林 Natural forest	1977 ~ 1981	1.462E+07	1.413E+09	1.063E+09	5.315E+08	2.028E+01
	1984 ~ 1988	1.394E+07	1.266E+09	1.091E+09	5.457E+08	2.380E+01
	1989 ~ 1993	1.460E+07	1.298E+09	1.148E+09	5.738E+08	2.710E+01
	1994 ~ 1998	1.563E+07	1.336E+09	1.200E+09	6.000E+08	2.419E+01

表 3 1984~1998 年黑龙江省不同林种的面积、生物量和碳储量  
Table 3 Area, biomass and carbon stocks of forest types from 1984 to 1998 in Heilongjiang Province

清查期 Inventory time	森林类型 Forest type	森林面积 Forest area (hm <sup>2</sup> )	总蓄积量 Total volume (m <sup>3</sup> )	总生物量 Total biomass (t)	碳储量 Total carbon (t)	碳密度 Carbon density (t·hm <sup>-2</sup> )
1973~1976	用材林 Commercial forest	2.341E+07	1.998E+09	1.551E+09	7.757E+08	3.313E+01
	其 他 Others	1.670E+06	1.270E+08	4.073E+07	2.036E+07	1.219E+01
1977~1981	用材林 Commercial forest	1.424E+07	1.339E+09	1.003E+09	5.013E+08	3.521E+01
	其 他 Others	1.027E+06	9.795E+07	8.000E+07	4.000E+07	3.894E+01
1984~1988	用材林 Commercial forest	1.221E+07	8.777E+08	7.892E+08	3.946E+08	3.233E+01
	其 他 Others	3.346E+06	4.392E+08	3.429E+08	1.715E+08	5.124E+01
1989~1993	用材林 Commercial forest	1.507E+07	1.267E+09	1.108E+09	5.538E+08	3.676E+01
	其 他 Others	1.043E+06	8.082E+07	6.826E+07	3.413E+07	3.271E+01
1994~1998	用材林 Commercial forest	1.653E+07	1.316E+09	1.164E+09	5.820E+08	3.522E+01
	其 他 Others	1.031E+06	9.452E+07	7.918E+07	3.959E+07	3.842E+01

4 讨 论

4.1 不同时期碳汇功能变化

第一次森林清查(1973~1976 年)计算结果显示,黑龙江省森林植被碳储量为  $7.961 \times 10^8$  t,占全国森林碳储量的 31.804%;碳密度为  $31.74 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比全国高出  $9.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . 黑龙江省森林的特点是天然林占的比重大,人工林少,此阶段仅天然林的植被碳储量达  $7.892 \times 10^8$  t,占黑龙江省森林植被碳储量的 99.697%,表明黑龙江省的森林植被不仅资源丰富而且具有较高的质量,是一个天然碳库. 第二次森林清查(1977~1981 年)计算结果显示,黑龙江省森林植被碳储量比第一次减少  $2.503 \times 10^8$  t,使黑龙江省森林植被的碳汇功能有所减弱,但仍具有较高的森林植被质量. 黑龙江省的地带性植被多为原生林,在 20 世纪 70 年代初期,天然林破坏较轻;70 年代后期,森林植被碳储量急剧下降. 这是由于前期受到人为干扰,木材产量下降,出现单纯砍伐木材现象,皆伐面积比重仍减不下来,而择伐强度普遍过大,造成许多“四不象”伐区,使森林分布的自然组织结构遭到破坏<sup>[24]</sup>,以致天然林的植被碳储量从 1973~1976 年的  $7.892 \times 10^8$  t 下降到 1977~1981 年的  $5.315 \times 10^8$  t,下降了 32.653%,极大地影响到黑龙江省整个森林的源汇功能. 虽然人工林的植被碳储量比 70 年代初期增加了  $2.926 \times 10^6$  t,但仍然改变不了总的下降趋势. 因此,到 70 年代后期,黑龙江省的森林植被作为碳汇的功能有所减弱.

80 年代以后,黑龙江省森林植被的碳储量呈上升趋势,1994~1998 年最高为  $6.216 \times 10^8$  t,再现了其天然碳库功能. 这是由于我国采取了正确的林业对策:加强对原始林和天然林次生林的管理和保护;加大植树造林强度. 90 年代后,黑龙江省林业开始由采伐利用天然林为主转为以营林为基础,加强人

工林建设;由单一木材生产转为多种经营、综合利用、调整林业产业结构和产品结构;由粗放经营为主转为重视科学技术,实行集约经营、科学管理;由林业部门为主转为全社会办林业、全民搞绿化. 到 1998 年为止,黑龙江省人工林植被的碳储量达到  $2.155 \times 10^7$  t,由此可见,人工林所发挥的作用越来越大,将成为一个潜在的巨大的碳库,增强了碳汇功能.

黑龙江省森林植被的碳密度值总体上呈增加趋势,说明该省的森林质量一直比较高. 如果对现有森林更好地抚育和管理,作为 CO<sub>2</sub> 的“汇”,黑龙江省森林还有很大的潜力. 因此,对现有森林的抚育管理不容忽视. 黑龙江省森林植被碳储量的不断增高,将使该区植被系统对大气中 CO<sub>2</sub> 起到更强的“汇”的作用.

黑龙江省用材林植被碳储量 80 年代后呈上升趋势,特别是重点地区速生丰产用材林基地建设工程启动以后,造林规模将进一步扩大,用材林植被碳储量还会持续升高,碳汇功能将会不断加强.

4.2 未来发展趋势

植被对大气中 CO<sub>2</sub> 浓度效应的研究是全球变化研究的重要内容之一. 通过研究植被碳储量和碳密度,有助于评价植被对大气中 CO<sub>2</sub> 的源汇功能. 中国全境的水平地带分布总体上表现出东部地区植被碳密度和碳储量随纬度增加而降低的趋势,但东北地区的寒温带、温带山地针叶林植被碳密度很高<sup>[23]</sup>. 黑龙江省的寒温带针叶林和温带针阔叶混交林的地带性植被多为原生林,并且植物生长茂密,种群密度大,生物量相对比较大,所以该区寒温带、温带山地针叶林的植被固碳能力和碳密度都比较高. 兴安落叶松林是黑龙江省的主要林型,蒋延玲等<sup>[11]</sup>利用 CENTURY 模型模拟兴安落叶松林的碳循环并探讨全球变化对其碳循环的影响,结果表明,兴安

落叶松林是一个碳汇,年净吸收碳  $2.65 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。加上目前正在实施的天然林保护工程,重点国有林区木材产量已基本调减到位,森林资源得到了有效管护,可使该省的森林植被碳储量和碳密度保持较快的增长速度,碳汇作用将不断增强,储碳能力有望持续提高。

此外,退耕还林工程、“三北”防护林工程和重点地区速生丰产用材林基地建设工程的实施,使林业建设呈现出蓬勃发展的态势,造林速度明显加快。中国森林碳汇主要来自人工林的贡献<sup>[15]</sup>,黑龙江省人工林的碳储量和碳密度也在逐年大幅度增加,而这些人造林的林龄较短、质量较高,具有很大的碳吸收潜力,更进一步加强了黑龙江省森林植被的碳汇功能,以达到通过造林、再造林和森林管理活动来缓解大气  $\text{CO}_2$  浓度增加的目标。

#### 参考文献

- Alexeyev V, Birdsey R, Stakanov V, et al. 1995. Carbon in vegetation of Russian forests: Methods to estimate storage and geographical distribution. *Water Air Soil Poll*, **82**: 271 ~ 282
- Apps MJ, Kurz WA. 1994. The role of Canadian forests in the global carbon budget. In: Kanninen M ed. *Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment*. Finland: SIL-MU. 12 ~ 20
- Brown S, Iverson LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resour Rev*, **4**: 366 ~ 384
- Cao J (曹 军), Zhang Y-L (张镜铨), Liu Y-H (刘燕华). 2002. Changes in forest biomass carbon storage in Hainan Island over the last 20 years. *Geogr Res (地理研究)*, **21** (5): 551 ~ 560 (in Chinese)
- Ding S-Y (丁圣彦), Liang G-F (梁国付). 2004. Changes of forest vegetation stocks and dynamic change in the past 20 years in Luoning County. *Resour Sci (资源科学)*, **26** (3): 105 ~ 108 (in Chinese)
- Dixon RK, Brown S, Houghton RA, et al. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, **262**: 185 ~ 190
- Fang J Y, et al. 2001. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, **292**: 2320 ~ 2322
- Fang J-Y (方精云), Chen A-P (陈安平). 2001. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance. *Acta Bot Sin (植物学报)*, **43** (9): 967 ~ 973 (in Chinese)
- Fang J-Y (方精云), Liu G-H (刘国华), Xu C-L (徐崇龄). 1996. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **16** (5): 497 ~ 508 (in Chinese)
- Fang J Y, Wang G G, Liu G H, et al. 1998. Forest biomass of China: An estimate based on the biomass-volume relationship. *Ecol Appl*, **8** (4): 1984 ~ 1991
- Jiang Y-L (蒋延玲), Zhou G-S (周广胜). 2001. Carbon equilibrium in *Larix gmelinii* forest and impact of global change on it. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **12** (4): 481 ~ 484 (in Chinese)
- Kang H-N (康惠宁), Ma Q-Y (马钦彦), Yuan J-Z (袁嘉祖). 1996. Estimation of carbon sink function of forests in China. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **7** (3): 230 ~ 234 (in Chinese)
- Levine JS, Cofer WR, Carbon Jr DR, et al. 1995. Biomass burning, a driver for global change. *Environ Sci Technol*, **120**: 120 ~ 125
- Li L-H (李凌浩), Lin P (林 鹏), Xing X-R (邢雪荣). 1998. Fine root biomass and production of *Castanopsis eyrei* forests in Wuyi Mountains. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **9** (4): 337 ~ 340 (in Chinese)
- Liu G-H (刘国华), Fu B-J (傅伯杰), Fang J-Y (方精云). 2000. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **20** (5): 733 ~ 740 (in Chinese)
- Liu G-H (刘国华), Xu S-L (徐嵩龄), Fang J-Y (方精云). 1996. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **16** (4): 497 ~ 508 (in Chinese)
- Liu Y-F (刘允芬). 1995. A study on the carbon cycle in the agroecological system of China. *J Nat Resour (自然资源学报)*, **10** (1): 1 ~ 8 (in Chinese)
- Marland G. 1988. The prospect of solving the carbon dioxide problem through global reforestation. Oak Ridge National Laboratory, DOE/NBB20082, Oak Ridge, TN, USA.
- Nie D-P (聂道平), Xu D-Y (徐德应), Wang B (王 兵). 1997. The relation between global  $\text{CO}_2$  balance and forests - Problems and developments. *World For Res (世界林业研究)*, (5): 33 ~ 40 (in Chinese)
- Olson JS, Watts JA, Allison LJ. 1983. Carbon in Live Vegetation of Major World Ecosystems. Report ORNL-58620. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn. 15 ~ 25
- Turner DP, Koepfer GJ, Harmon ME, et al. 1995. A carbon budget for forests of the conterminous United States. *Ecol Appl*, **5**: 421 ~ 436
- Wang B-Q (王百群), Wu J-S (吴金水), Wu Z-H (吴振海). 2004. Organic carbon storage in the vegetation biomass in secondary forest region of Zwuling Mountain. *Acta Bot Boreal-Occident Sin (西北植物学报)*, **24** (10): 1870 ~ 1876 (in Chinese)
- Wang S-Q (王绍强), Zhou C-H (周成虎), Luo C-W (罗承文). 1999. Studying carbon storage spatial distribution of terrestrial natural vegetation in China. *Prog Geogr (地理科学进展)*, **18** (3): 238 ~ 244 (in Chinese)
- Wang S-L (王树良). 2003. The system analysis of Heilongjiang modern forest management since 1949 s. Ph. D. Degree. Beijing: Beijing Forestry University.
- Wang X, Zhuang Y, Feng Z. 1994. Carbon dioxide release due to change in land use in China mainland. *J Environ Sci*, **6**: 287 ~ 295
- Wang X-K (王效科), Feng Z-W (冯宗伟). 1995. The history of research on biomass and carbon storage of forest ecosystems. In: Wang R-S (王如松), eds. *Hot Topics in Modern Ecology*. Beijing: China Science and Technology Press. 335 ~ 347 (in Chinese)
- Wang X-K (王效科), Feng Z-W (冯宗伟). 2000. The potential to sequester atmospheric carbon through forest ecosystems in China. *Chin J Ecol (生态学杂志)*, **19** (4): 72 ~ 74 (in Chinese)
- Wang X-K (王效科), Feng Z-W (冯宗伟), Ouyang Z-Y (欧阳志云). 2001. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **12** (1): 13 ~ 16 (in Chinese)
- Wang Y (王 燕), Zhao S-D (赵士洞). 1999. Biomass and net productivity of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* forest. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **10** (4): 389 ~ 391 (in Chinese)
- Wu Z-M (吴仲民), Li Y-D (李意德), Zeng Q-B (曾庆波), et al. 1998. Carbon pool of tropical mountain rain forests in Jianfengling and effect of clear cutting on it. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **9** (4): 341 ~ 344 (in Chinese)
- Yan X-D (延晓冬), Zhao S-D (赵士洞). 1995. Simulation model of carbon storage dynamics in temperate broad-leaved-coniferous mixed forest ecosystem I. Dynamics of carbon storage in tree layer. *Chin J Ecol (生态学杂志)*, **14** (2): 6 ~ 12 (in Chinese)
- Zhang D-Q (张德全), Sang W-G (桑卫国), Li Y-F (李日峰), et al. 2002. Forest organic carbon storage and its trend in Shandong Province. *Acta Phytocool Sin (植物生态学报)*, **26** (1): 93 ~ 97 (in Chinese)
- Zhou Y-R (周玉荣), Yu Z-L (于振良), Zhao S-D (赵士洞). 2000. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytocool Sin (植物生态学报)*, **24** (5): 518 ~ 552 (in Chinese)

作者简介 焦 燕,女,1981年生,硕士生。主要从事森林碳释放研究。E-mail: jiaoyan2003 @126.com