

兴安落叶松 (*Larix gmelini*) 幼中龄林的 生物量与碳汇功能

孙玉军¹, 张俊¹, 韩爱惠^{1, 2}, 王雪军², 王新杰¹

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083 2. 国家林业局调查规划设计院 北京 100714)

摘要 兴安落叶松是我国的主要用材林,由于传统上对木材的长期依赖,使得其资源受到破坏,年龄结构发生改变,成过熟的原始林日渐减少,绝大部分是次生的幼中龄林。因此,研究其幼中龄林的生物量及碳汇功能很重要。森林生物量与森林生态系统的固碳能力密切相关,生物量与碳储量的多少直接影响到森林生态系统的功能,因而生物量与碳储量问题成为不同尺度生态学研究热点。以我国大兴安岭兴安落叶松林为研究对象,通过样地调查,并结合我国森林资源清查资料对内蒙古大兴安岭地区兴安落叶松林的幼中龄林生物量转换因子(BEF)、生物量及碳储量、碳密度、碳汇功能等进行了估算。通过实测数据及模型分析,得出以下基本结论:研究对象的 BEF 在 0.4557 与 0.6988 之间变动,平均值为 0.5332。干、皮、枝、叶各组分生物量的分配比为 68.74 : 14.86 : 10.54 : 5.86。分别树干、树皮、枝、叶等组分,对其生物量与蓄积量的关系进行了拟合,建立了多组分生物量蓄积量的相关模型,分别是:干 $y = 0.4683x - 11.291$;皮 $y = 0.0472x + 3.5674$;枝 $y = 0.0415x + 1.6787$;叶 $y = 0.0197x + 1.3405$,均有很好的线性关系。地上生物量随蓄积量的增加而增加,其线性关系为 $B = 0.5767V - 4.7042$ 。利用近期清查数据,按材积源生物量法推算总生物量为 9.49×10^7 t,按 0.5097 的含碳率计算,得出兴安落叶松林幼中龄林总的碳储量为 4.84×10^7 t,碳密度为 19.616 t/hm²。通过两期数据对比分析,5a 间所研究林分的碳储量增加 0.89×10^7 t,碳密度增加 0.404 t/hm²,说明其发挥着一定的碳汇作用。尽管近年来大兴安岭兴安落叶松林表现出了明显的碳汇功能,但整体上碳固定能力还不强,碳密度低于我国平均森林碳密度。应通过科学经营,挖掘潜力,使大兴安岭地区的森林生态系统在全球碳循环中发挥更大的作用。

关键词 森林生物量 碳储量 碳汇 兴安落叶松

文章编号 1000-0933 (2007) 05-1756-07 中图分类号 Q948.5718.5 文献标识码 A

Biomass and carbon pool of *Larix gmelini* young and middle age forest in Xing'an Mountains Inner Mongolia

SUN Yu-Jun¹, ZHANG Jun¹, HAN Ai-Hui^{1, 2}, WANG Xue-Jun², WANG Xin-Jie¹

1 The Key Lab. for Silviculture and Forest Conservation of Ministry of Education, Beijing For. Univ., 100083, China

2 Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1756 ~ 1762.

Abstract : *Larix gmelini* forest is the predominant timber source in China. Chronic dependence on this species for lumber has significantly modified this forest type. *Larix gmelini* forest has been damaged. Age structures have changed; areas of mature and over-mature virgin forest have declined. Most of the remaining forest type is comprised of secondary young and middle-age forest. Therefore, it is important to research biomass and carbon pool of young and middle-age forest. There is the close relationship between forest biomass and fixed carbon of forest ecosystems. The amount of biomass and carbon

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30571492), 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20060022009)

收稿日期 2006-08-23; 修订日期 2007-03-02

作者简介 孙玉军 (1963 ~) 男, 博士, 教授, 主要从事森林资源与环境监测研究. E-mail sunyj@bjfu.edu.cn

Foundation item The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30571492); Foundation of MOE for Ph. D. Work (No. 20060022009)

Received date 2006-08-23; **Accepted date** 2007-03-02

Biography SUN Yu-Jun, Ph. D., Professor, mainly engaged in forest resources and environment monitoring. E-mail sunyj@bjfu.edu.cn

storage directly affect functions of forest ecosystems , so biomass and carbon storage have been the focus of ecological researches in different scale. In researching the young and middle age forest *Larix gmelini* of Da Xing'an mountains Inner Mongolia , we estimate BEF (Biomass Expansion Factor) , biomass , carbon storage , carbon density and carbon pool function of *Larix gmelini*'s using the standard Sample-plot survey data combined with Chinese Continuous Forest Inventory data. Through measurement data and model analysis , basic conclusions are as follows : BEF moves between 0.4557 and 0.6988 , the average is 0.5332. The partition ratio of trunks , bark , branches and leaves' biomass is 68.74 : 14.86 : 10.54 : 5.86. The relationship between biomass and stock volume of trunks , bark , branches , and leaves is fitted to estimate the correlative model of biomass and stock volume of multiple components : Trunks : $y = 0.4683x - 11.291$; Bark : $y = 0.0472x + 3.5674$; Branches : $y = 0.0415x + 1.6787$; Leaves : $y = 0.0197x + 1.3405$, which are fairly linear. The above-ground biomass also increases as volume increases and the linear equation they follow is : $B = 0.5767V - 4.7042$. According to the latest CFI data , total biomass is estimated as $9.49 \times 10^7 \text{ t}$ by the volume-biomass method. According to 0.5097 carbon content , total carbon storage of *Larix gmelini*'s young and middle-age forest is $4.84 \times 10^7 \text{ t}$, and carbon density is 19.616 t/hm^2 . Comparing two period data , carbon storage of forest stand and carbon density for 5 years increase by $0.89 \times 10^7 \text{ t}$ and 0.404 t/hm^2 respectively , demonstrating that young and middle age forest of *Larix gmelini* has certain carbon sink functions. Although recently *Larix gmelini* of Da Xing'an mountains shows obvious carbon pool functions , overall capacity of fixing carbon is not strong and carbon density is less than Chinese average forest carbon density. By emphasising quality of intensive management and digging potential , forest ecosystem of Da Xing'an mountains will have greater influences on global carbon cycle.

Key Words : forest biomass ; carbon storage ; carbon sink ; *Larix gmelini*

由于人类认识到全球变化的严重性 ,在全球范围内 ,许多学者开始对热带雨林、温带阔叶林、北方针叶林的生物量进行了研究^[1~3] ,并对世界范围内不同区域、不同类型的森林碳储量进行了估算^[4~9] ,同时近来的研究表明 ,北半球中高纬度的陆地生态系统是一个巨大的“碳汇” ,固定了大部分全球碳循环中去向不明的 CO_2 ^[10~12]。我国的兴安落叶松 (*Larix gmelini*) 林是欧亚大陆北方针叶林的一部分 ,属于东西伯利亚南部落叶针叶林沿山地向南的延续部分 ,也是寒温带针叶林的主要建群种 ,其林分面积大 ,蓄积量多 ,面积和蓄积分别占我国寒温带有林地面积和蓄积量的 55% 和 75% ,是我国主要的木材生产基地^[13]。因此 ,研究兴安落叶松林的生物量及固碳能力对研究全球 CO_2 浓度及全球环境变化有重要的作用与意义。由于传统上对木材的长期依赖 ,使得其资源受到破坏 ,森林结构发生改变 ,兴安落叶松原始林和成熟林日渐减少 ,取而代之的是次生林和幼中龄林 ,因此 ,对兴安落叶松的研究焦点是幼中龄林。森林生态系统碳库的估算方法有多种^[14,15] ,本文以我国的主要用材林兴安落叶松幼中龄林为研究对象 ,基于标准地及森林资源清查资料建立了兴安落叶松生物量与蓄积量的关系模型 ,并对我国兴安落叶松的主要集中地内蒙古大兴安岭地区的生物量和碳储量进行了估算。提供了基于一类调查数据与实测生物量解析木数据的联合应用估算碳储量的新方法 ,同时 ,也为进一步研究生物量和碳储量的遥感宏观估测奠定了基础。

1 研究地区概况

兴安落叶松林主要分布于我国大、小兴安岭地区 ($43^\circ \sim 53^\circ 7' \text{N}$, $118^\circ \sim 135^\circ 5' \text{E}$)。本研究地位于内蒙古大兴安岭地区 ($47^\circ 3' 40'' \sim 52^\circ 20' \text{N}$, $119^\circ 36' 20'' \sim 125^\circ 19' 50'' \text{E}$) ,海拔 425m 到 1760m ,区内山峦起伏 ,河流密布。本区属亚寒带 ,具有明显的寒温带大陆性季风气候 ,冬季漫长寒冷 ,夏季暂短温热 ,年均温 -3.5°C ,极端最低气温为 -52°C (图里河 1966 年 2 月 22 日) ,极端最高气温 37.5°C (大杨树 1969 年 7 月 21 日) 。年降水量 300 ~ 450mm。区内北部及中部以棕色针叶林土为主 ,南部是暗棕壤区。该区以兴安落叶松为优势种 ,其中杜香兴安落叶松林、杜鹃落叶松林、草类落叶松林为主要林型。

2 研究材料及方法

本文所用资料主要有两部分 ,其中标准地及生物量解析木数据为 “兴安落叶松幼中龄林生长规律及经营措施研究 ”课题的部分资料^[6] ,面积与蓄积资料分别来自国家第 5 次和第 6 次森林资源一类连续清查数据。全部数据来源于天然林 ,且为相对同龄林 20a 一个龄级 40a 以下为幼龄林 41 ~ 80a 为中龄林。

本文的生物量 ,仅指以重量表示的单位面积上所有地上部分生物有机体的干重。本文用标准地法取样 ,在内蒙古大兴安岭地区共选取 28 块标准地 ,每块标准地选取平均标准木一株 ,伐倒后 ,其中树干从基部到梢头按 1m 分段取样 ,测得带皮鲜重 ,在每段两端取 10cm 长的皮样称鲜重计算全段的树皮鲜重 ;枝、叶全部称鲜重。称重完后 ,分别在树干、树皮、枝、叶按比例取样 ,将样品放置于 105℃ 烤箱中干燥至恒重 ,测出样品干重 ,然后推算出各组分的干重。

3 结果与分析

本文所用 28 块标准地的因子及组分生物量的测定结果见表 1。

表 1 标准地及组分生物量测定值

Table 1 The measurement of standard fields and biomass of every component										
编号 No.	平均胸径 Mean DBH (cm)	平均高 Mean height (m)	平均年龄 Average age (a)	林分密度 Stand density (No./hm ²)	蓄积量 Volume (m ³ /hm ²)	干材生物量 Biomass of trunk (t/hm ²)	干皮生物量 Biomass of bark (t/hm ²)	枝生物量 Biomass of branch (t/hm ²)	叶生物量 Biomass of leaf (t/hm ²)	地上总 生物量 Aboveground biomass (t/hm ²)
1	6.8	7.3	25	4200	68.6848	21.3981	3.9542	3.4365	1.8230	30.6118
2	6.4	7.9	56	13410	165.3313	67.5357	13.1573	10.0700	5.7123	96.4752
3	6.1	8.2	57	11045	135.5793	52.5290	10.3761	7.3920	4.2162	74.5133
4	2.7	4.2	48	34000	61.6975	17.0401	6.0742	3.5897	1.9974	28.7014
5	4.1	6.2	45	23199	108.4085	38.6145	9.9702	6.1750	3.5632	58.3229
6	5.7	8.2	35	11645	128.3892	48.5191	9.8992	6.6338	3.8065	68.8586
7	6.5	8	55	10600	140.4023	55.7002	10.7416	8.2630	4.6781	79.3829
8	4.5	2.9	54	33200	83.2726	31.5056	9.4495	10.9203	6.3141	58.1894
9	7.1	9.9	62	8133	157.3279	62.4367	11.0324	7.8591	4.3904	85.7185
10	6.8	10.5	62	8550	163.0284	63.9078	11.3595	7.4351	4.1827	86.8851
11	6.7	8.8	60	8033	127.7706	49.1325	9.1418	6.7385	3.7991	68.8120
12	4.1	5.7	55	23900	102.9195	36.6375	9.6679	6.3616	3.6709	56.3379
13	5.4	7.1	55	12828	112.5445	41.7830	9.0659	6.4346	3.7052	60.9887
14	7.4	13.9	59	7250	212.9935	83.7745	13.5951	7.7572	4.3009	109.4277
15	6.7	11.6	50	6033	131.0816	48.2660	8.4513	5.0608	2.8533	64.6313
16	4	6.8	62	21600	107.6793	37.4983	9.5751	5.4376	3.1347	55.6457
17	3.9	6.8	62	23200	109.9759	38.3282	9.9158	5.5168	3.1766	56.9374
18	5.2	8.2	55	10434	103.4914	36.3393	7.7527	4.7918	2.7642	51.6479
19	2.7	3.9	49	31900	56.4228	14.8671	5.4054	3.3680	1.8741	25.5145
20	10.4	11.9	80	4882	217.661	93.4602	13.9460	12.4897	6.2726	126.1685
21	5.6	7.5	50	13230	127.7522	48.8091	10.2637	7.2284	4.1530	70.4543
22	2.8	3.7	53	29000	53.5397	13.7844	4.9850	3.3139	1.8526	23.9359
23	6.3	7.6	55	10000	121.9238	47.0304	9.3152	7.2302	4.1092	67.6851
24	11.5	14	46	3206	206.9248	86.6994	12.4790	10.7595	5.1696	115.1045
25	9.7	12.1	59	4240	175.5879	72.1785	10.9525	9.0247	4.6526	96.8084
26	2.9	4.3	46	39447	75.0988	23.2745	7.9369	4.8663	2.7321	38.8098
27	9.7	11	34	4890	180.6963	72.6961	10.5961	10.2362	4.9866	98.5150
28	8.3	11.1	63	5920	169.7062	68.7113	11.1411	8.4387	4.5604	92.8514

3.1 兴安落叶松幼中龄林的 BEF

结果表明 ,生物量与蓄积量的比值 ,即生物量转换因子 (BEF) 在 0. 4557 与 0. 6988 之间变动 ,平均值为 0. 5332 (图 1)。

3.2 兴安落叶松幼中龄林的生物量分配比

林分各组分生物量的大小有明显差异 ,林分的地上生物量主要体现为树干的生物量 ,占地上总生物量的 68. 74% ,其次为皮、枝、叶 ,分别占 14. 86% ,10. 54% , 5. 86% (图 2)。

3.3 生物量与蓄积量的关系

首先 ,分别树干、树皮、枝、叶等组分 ,对其生物量与蓄积量的关系 ,选用多种方程进行了拟合 ,并对拟合结果进行综合分析 ,建立了多组分生物量蓄积量的相关模型 ,分别是 :干 $y = 0. 4683x - 11. 291$;皮 $y = 0. 0472x + 3. 5674$;枝 $y = 0. 0415x + 1. 6787$;叶 $y = 0. 0197x + 1. 3405$,林分各组分的生物量与林分蓄积量均存在着不同程度的线性相关性 ,干材的生物量与林分的蓄积量有明显的线性关系 ,且相关系数达到了 0. 99 ,其他三类的生物量则与蓄积量的关系也具有较好的相关性 ,各组分的生物量随林分蓄积量的增加表现为不同程度的线性上升趋势 (图 3)。

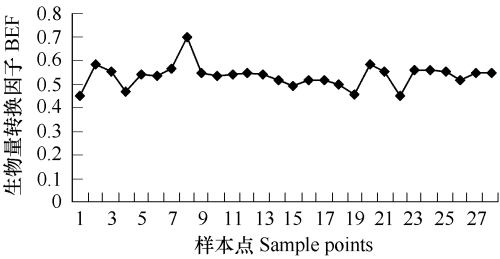


图 1 BEF 值分布图
Fig. 1 BEF value map

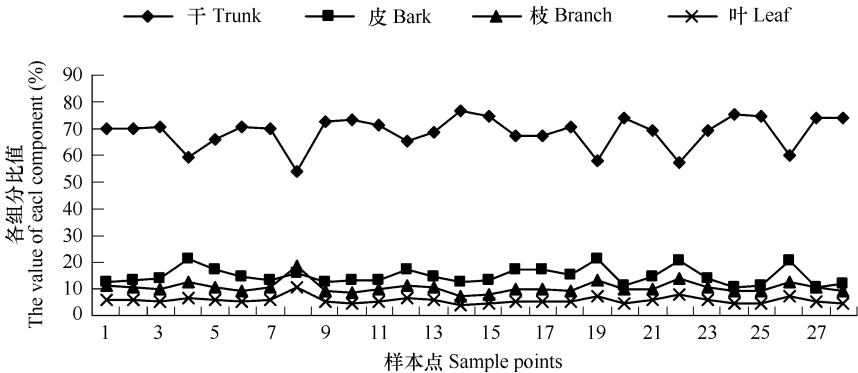


图 2 林分各组分的生物量占总生物量的比值
Fig. 2 The ratio of biomass of forest stand's every component to total biomass

然后 ,对地上生物量随其蓄积量的变化关系进行了拟合与分析 ,表明其生物量随其蓄积量的增加而增加 ,且表现出明显的线性关系 (图 4) ,其生物量与蓄积量的关系可表示为 :

$$B = 0. 5767V - 4. 7042 \quad R^2 = 0. 9758 \quad n = 28$$

式中 B 为森林生物量 (t/hm^2) , V 为森林蓄积量 (m^3/hm^2)

这一结果与 Brown 和 Lugo^[6]及方精云^[17]提出的生物量与蓄积量间存在线形关系基本相符合。也说明这一关系式可以作为估测地上森林生物量的基础。

3.4 兴安落叶松林的碳储量与碳密度

根据国家第 5 次与第 6 次森林资源清查资料中内蒙古大兴安岭地区兴安落叶松幼中龄林的蓄积量、森林面积等资料 (表 2) 利用本文 3.3 生物量与蓄积量的关系式 ,先估算生物量 ,进而对大兴安岭兴安落叶松林碳储量和碳密度进行估算。

碳储量 $C = B \times C_c$

式中 C 为碳储量 (t) ; B 为地上生物量 ; C_c 为含碳率。

碳密度 $C_p = C/S$,

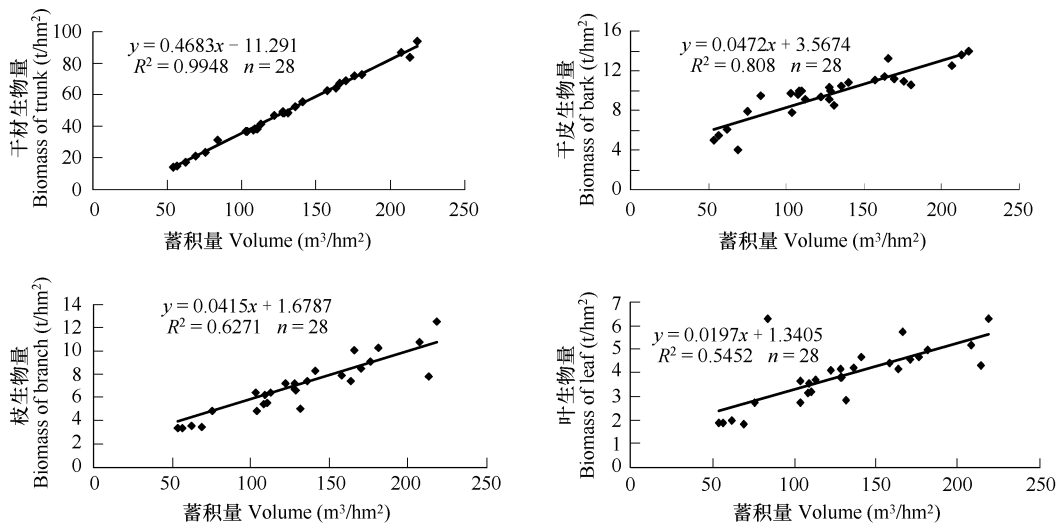


图 3 林分各组分生物量与林分蓄积量的关系图

Fig. 3 The Map of Relationship between each component's Biomass and stand's stock volume

式中 C_p 为碳密度 (t/hm^2) S 为森林面积 (hm^2)。

有关文献^[14,18~20]所用的含碳率为 0.45 或 0.5 ,而马钦彦等^[21]的研究结果表明 ,我国乔木树种平均含碳率值均大于 0.45 ,而阔叶树的平均含碳率值大多低于 0.5 ,针叶树的平均含碳率大多等于或高于 0.5 ,所以用 0.5 作为转换系数要优于 0.45。但更准确的估算应该是分森林类型而采用不同的含碳率转换系数。故本文中的含碳率采用同为落叶松林的华北落叶松的含碳率 (0.5097) 。估计结果表明 :近期幼中龄林总的生物量 9.49×10^7 t、单位面积生物量 $38.4854 t/hm^2$ 、碳储量 4.84×10^7 t、碳密度为 $19.616 t/hm^2$ (见表 2)。

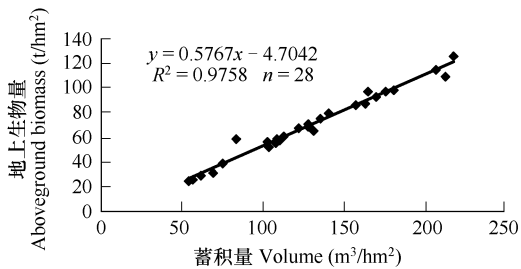


图 4 兴安落叶松林生物量与蓄积量的关系图

Fig. 4 The relationship between biomass and stock volume of *Larix gmelini* forest

Table 2 The carbon storage of young and middle age <i>larlx gmelini</i> forest in Daxing 'an Mountains							
清查时间/次数 Time of CFL/ Frequency	龄组 Age group	面积 Area ($\times 10^5 hm^2$)	蓄积 Volume ($\times 10^7 m^3$)	生物量 Biomass ($\times 10^7 t$)	平均生物量 Average biomass (t/hm^2)	碳储量 Carbon storage ($\times 10^7 t$)	碳密度 Carbon density (t/hm^2)
1994 ~ 1998/5	幼 Young	8.65	4.32	2.49	28.7941	1.27	14.6763
	中 Middle	11.90	9.12	5.26	44.1596	2.68	22.5081
	小计 Sum	20.56	13.44	7.75	37.6927	3.95	19.2120
1999 ~ 2003/6	幼 Young	8.14	3.69	2.13	26.1711	1.09	13.3394
	中 Middle	16.52	12.76	7.36	44.5501	3.75	22.7072
	小计 Sum	24.66	16.45	9.49	38.4854	4.84	19.6160

3.5 兴安落叶松林的碳汇功能分析

从表 2 看出 ,内蒙古大兴安岭地区的兴安落叶松幼龄林的面积在减少 ,中龄林的面积增大 ,整体上幼中龄林的固碳能力不断增强 ,碳密度从 $19.212 t/hm^2$ 上升到了 $19.616 t/hm^2$,增加了 $0.404 t/hm^2$ 。兴安落叶松幼中龄林的碳储量从 1998 年的第 5 次全国森林清查的 3.95×10^7 t 上升到了 2003 年第 6 次森林清查时的 4.84×10^7 t ,增加了 0.89×10^7 t ,表现出了明显的碳汇作用。由于良好的森林经营和保护 ,以及幼中龄林的不断发

展 ,大兴安岭地区的兴安落叶松林碳储量和碳密度不断增加 ,兴安落叶松林是重要的碳汇贡献者。同时 ,看出固碳能力总体水平不高 ,碳密度还远低于我国森林植被的平均水平^[14,18~20] ,一方面由于我国北方森林所处自然条件的局限性 ,另一方面兴安落叶松林尚未达到演替过程的稳定阶段。

4 结论与建议

联合应用标准地生物量解析木数据与森林资源连续清查数据研究森林碳汇的新方法 ,适用于对兴安落叶松幼中龄林的生物量转换因子 (BEF) 、生物量及碳储量、碳密度、碳汇功能等进行系统估算。

通过实测数据分析 ,BEF 在 0.4557 与 0.6988 之间变动 ,平均值为 0.5332。干、皮、枝、叶各组分生物量的分配比为 68.74:14.86:10.54:5.86。分别树干、树皮、枝、叶等组分 ,对其生物量与蓄积量的关系进行了拟合 ,建立了多组分生物量蓄积量的相关模型 ,分别是 :干 $y = 0.4683x - 11.291$;皮 $y = 0.0472x + 3.5674$;枝 $y = 0.0415x + 1.6787$;叶 $y = 0.0197x + 1.3405$,表明各组分生物量同蓄积量均有很好的线性关系。地上生物量随蓄积量的增加而增加 ,其线性关系为 $B = 0.5767V - 4.7042$ 。利用清查数据 ,按材积源生物量法推算总生物量为 9.49×10^7 t ,按 0.5097 的含碳率计算 ,得出兴安落叶松林幼中龄林总的碳储量为 4.84×10^7 t ,结合一类清查的面积 ,得出兴安落叶松林幼中龄林的碳密度为 19.616 t/hm^2 。通过两期数据对比分析 ,5 年间所研究林分的碳储量增加 0.89×10^7 t ,碳密度增加 0.404 t/hm^2 ,说明其发挥着一定的碳汇作用。

尽管在这 5a 里大兴安岭兴安落叶松林表现出了明显的碳汇功能 ,但整体上碳固定能力还不强 ,碳密度低于我国平均森林碳密度。通过科学经营 ,挖掘潜力 ,大兴安岭地区的森林生态系统在全球碳循环中将发挥更大的作用。

References :

[1] B Bond-Lamberty , Wang C , Gower S T. Aboveground and belowground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research* ,2002 ,32 (8) :1441 — 1450.

[2] Jeffrey A , Hicke , Rosemary L Sherriff , Thomas T Veblen , Gregory P Asner. Carbon accumulation in Colorado ponderosa pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* ,2004 ,34 (6) :1283 — 1295.

[3] Brown S , Lugo A E. Biomass of tropical forests : A New Estimate Based on forest Volumes. *Science* ,1984. 233 :1290 — 1293.

[4] Houghton R A , Hackler J L , Lawrence K T. The U. S. Carbon Budget : Contributions from Land-Use Change Science ,1999 ,285 :574 — 577.

[5] David Schimel , Jerry Melillo , Hanqin Tian , *et al.* Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science* ,2000 ,287 :2004 — 2006.

[6] Fang J Y , Chen A P. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science* ,2001 ,262 :2320 — 2323.

[7] Homann P S , Remillard S M , Harmon M E , Bormann B T. Carbon Storage in Coarse and Fine Fractions of Pacific Northwest Old-Growth Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal* ,2004 ,68 (6) :2023 — 2030.

[8] David E Rothsteln , Zhanna Yermakov , Allison L Buell. Loss and recovery of ecosystem carbon pools following stand-replacing wildfire in Michigan jack pine forests. *Canadian Journal of Forest Research* ,2004 ,34 (9) :1908 — 1918.

[9] Sampson D A , Waring R H , Maier C A , Gough C M , Ducey M J , Johnsen K H. Fertilization effects on forest carbon storage and exchange , and net primary production : a new hybrid process model for stand management. *Forest Ecology and Management* ,2006 ,221 :91 — 109.

[10] Tans , Pieter P , Fung , Takahashi Taro. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science* ,1990 ,247 :1431 — 1438.

[11] Keeling C D , Chin J F S , Whorf T P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* ,1996 ,382 :146 — 149.

[12] Fang J Y , Piao S L , Zhao S Q. The carbon sink : The role of the middle and high latitudes terrestrial ecosystems in the northern hemisphere. *Acta Phytocologica Sinica* ,2001 ,25 (5) :594 — 602.

[13] <http://jpk.sicau.edu.cn/sjll/kwx8.htm>

[14] 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.

[15] Zhang J , Sun Y J. Review on carbon cycle in Forest ecosystems. *Forest Resources Management* 2007 ,1 :102 — 104.

[16] Liu Z G , Ma Q Y , Pan X L. A study on the biomass and productivity of the natural *Larix gmelini* forests. *Acta Phytocologica Sinica* ,1994 ,18 (4) :328 — 337.

[17] Fang J Y , Liu G H , Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica* , 1996 , 16 (5) : 498 — 508.

[18] 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.

[19] Zhao M , Zhou G S. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors. *Scientia Geographica Sinica* , 2004 , 24 (1) : 50 — 54.

[20] Zhou Y R , Yu Z L , Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica* , 2000 , 24 (5) : 518 — 522.

[21] Ma Q Y , Chen X L , Wang J , *et al.* Carbon content rate in constructive species of main forest types in northern China. *Journal of Beijing Forestry University* , 2002 , 24 (5/6) : 96 — 100.

参考文献：

[12] 方精云 朴世龙 赵淑清. CO₂ 失汇与北半球高纬度陆地生态系统的碳汇. *植物生态学报* 2001 25 (5) : 594 ~ 602.

[14] 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.

[15] 张俊 孙玉军. 森林生态系统碳循环研究方法概述. *林业资源管理* , 2007 1 : 102 ~ 104.

[16] 刘志刚, 马钦彦, 潘向丽. 兴安落叶松天然林生物量及生产力的研究. *植物生态学报* , 1994 18 (4) : 328 ~ 337.

[17] 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) : 498 ~ 508.

[18] 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.

[19] 赵敏 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳储量及其影响因子分析. *地理科学* , 2004 24 (1) : 50 ~ 54.

[20] 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.

[21] 马钦彦 陈遐林 王娟, 等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析. *北京林业大学学报* 2002 24 (5/6) : 96 ~ 100.