

# 兴安落叶松林碳平衡和全球变化影响研究\*

蒋延玲\*\* 周广胜 (中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

**【摘要】** 利用CENTURY模型模拟兴安落叶松林的C循环并探讨全球变化对其C循环的影响。结果表明,兴安落叶松林是一个C汇,年净吸收C  $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。气候变化和大气CO<sub>2</sub>浓度增加将对北方森林的生长有利,使其净吸收C的能力增强。温度上升2℃时,兴安落叶松林的植物总生物量和生产力均增加,而土壤C含量降低。降水减少20%比降水增加20%时其植物总生物量、生产力和土壤C含量变化的幅度大,说明温度是大兴安岭地区森林生长的主要限制因子。

**关键词** 兴安落叶松林 C循环 全球变化

**文章编号** 1001-9332(2001)04-0481-04 **中图分类号** P595, S718.5 **文献标识码** A

**Carbon equilibrium in *Larix gmelinii* forest and impact of global change on it.** JIANG Yanling, ZHOU Guangsheng (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(4):481-484

In order to provide a methodological demonstration for the study of C cycle in forest, the CENTURY model was applied to simulate the C cycle in *Larix gmelinii* forest and to approach the impact of global change on it. The results showed that the *Larix gmelinii* forest served as a C sink, with an annual net absorption of  $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ . Climate change and increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration benefited for the net primary production (CNPP) and net C absorption capacity of forests in North China. When the atmospheric temperature was increased by 2℃, the gross biomass and NPP of *Larix gmelinii* forest increased, while soil C content decreased, and the variation of these three indices was bigger when the precipitation was decreased by 20% than increased by 20%, indicating that the limiting factor for the forest growth in this area is atmospheric temperature, while precipitation is abundant or even too much.

**Key words** *Larix gmelinii* forest, Carbon cycle, Global change.

## 1 引言

因地球大气中CO<sub>2</sub>等温室气体浓度的剧增而导致的全球气候变化以及由此产生的一系列生态环境问题已成为生态系统研究的焦点,而森林作为陆地生态系统的主体,在全球环境变化中起着举足轻重的作用。无论从其面积、生物量,还是C储量上来看,森林都是地球生物圈的重要组成部分,是陆地生态系统的主体,在整个陆地生态系统的结构和功能中居于重要地位<sup>[1,2,4,6,7,21]</sup>。

兴安落叶松林是我国东北寒温带针叶林区北段的地带性植被,也是世界环球北方森林即所谓泰加林的一部分,历来为森林生态系统研究的重点。我国有兴安落叶松林约  $15.6 \cdot 10^6\text{hm}^2$ ,每年可提供价值约  $4.7 \cdot 10^9$  美元的生态系统公益<sup>[15]</sup>。同时,兴安落叶松林地区也是我国对全球变化反应最为剧烈的地区。据张新时等<sup>[19,20]</sup>预测,在气温增加2℃或4℃,年降水量增加20%的情况下,兴安落叶松林将有可能全部北移出境。因而兴安落叶松林又将成为人们研究全球变化的一个重点地区。

目前世界上应用于森林生长动态模拟的模型主要

有两类,一类是以单木为基础,反映森林生长和演替动态的Gap模型,如NEWCOPE、ZELIG、KOPIDE等<sup>[17,18]</sup>。另一类是模拟生态系统生物地球化学循环的生物地球化学循环模型,如BIOME-BGC模型<sup>[13]</sup>、TEM模型<sup>[8]</sup>和CENTURY模型<sup>[10-12]</sup>等,主要用于模拟植被、枯枝落叶和土壤有机质各库之间以及库内部的C和养分循环。在这3个生物地球化学循环模型中,只有CENTURY模型考虑了植物的生理生态过程,能够模拟全球变化对森林生态系统的影响<sup>[5,9,14]</sup>。本文以CENTURY模型为研究工具,以兴安落叶松林为研究对象,试图通过模拟研究来揭示大兴安岭地区兴安落叶松林的C平衡,预测全球变化对该森林C循环的影响,并为森林C循环的模拟研究提供一个方法范例。

## 2 研究区域与研究方法

### 2.1 研究区概况

兴安落叶松林主要分布于我国大、小兴安岭地区(43°~53°

\* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043407)、中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-1-07)和国家自然科学基金重点项目(39370110和49835001)及国家自然科学基金资助项目(49905005、30070642)

\*\* 通讯联系人。

2000-12-01收稿,2001-02-13接受。

7 N, 118°~132°5'E) 该地区属于寒温带季风气候区, 冬季(候平均气温 < 10℃) 长达 9 个月, 夏季(候平均气温 ≥ 22℃) 最长不超过 1 个月, 绝大部分地区几乎无夏, 年均气温 - 4.7~5.4℃, 无霜期长达 90~180d, 年均降雨量 300~600mm 日温持续 ≥ 10℃ 的时期(生长季)自 5 月上旬开始, 到 8 月末结束, 长 70~100d. 土壤为漂灰土, 土层较浅薄, 一般厚 20~40cm. 这一地区分布最广、面积最大的植被类型是杜鹃-兴安落叶松林, 其乔木层多为兴安落叶松纯林, 少数混生有白桦和樟子松, 郁闭度 0.4~0.9; 灌木层主要由兴安杜鹃组成, 盖度可达 50% 以上 [3, 16, 22]

2.2 研究方法

在模型验证的基础上, 利用 CENTURY 模型探讨了兴安落叶松林的 C 源/汇问题, 并根据全球变化的情景预测, 模拟了

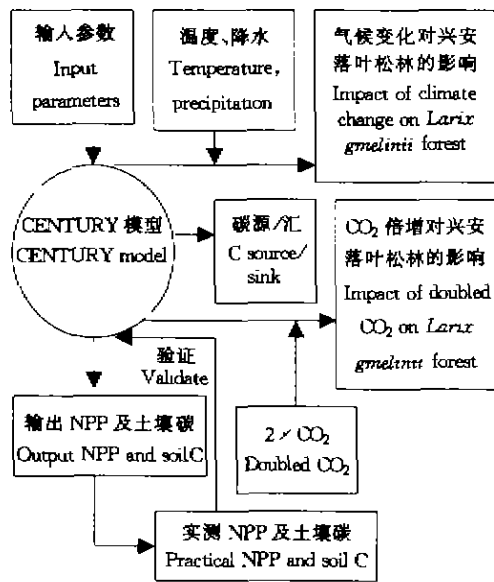


图 1 兴安落叶松林 C 循环模拟技术路线图  
Fig. 1 Flow chart for simulating *Larix gmelinii* forest carbon cycle.

CO<sub>2</sub> 浓度倍增和气候变化(温度升高 2℃, 降水分别增加 20% 和减少 20%) 情景下兴安落叶松林的土壤 C 含量、植物总生物量、生产力以及 C 源/汇的变化情况(图 1).

CENTURY 模型是用于模拟植被-土壤系统的 C、N、P、S 的长期动态的一种生物地球化学模型, 最初是从草原生态系统发展起来的, 现已广泛应用于农田、森林、Savanna 等生态系统生物量和生产力动态的模拟. 运行模型所需的主要输入参数包括: 1) 月平均最高、最低气温, 2) 月降雨量, 3) 植物的木质素含量, 4) 植物的 N、P、S 含量, 5) 土壤质地, 6) 大气和土壤中的 N 素输入, 7) 土壤的初始 C、N、P、S 水平等. 输出变量包括植物的生物量、生产力、土壤有机质含量、土壤水分等 [11]

3 结果与分析

3.1 模型验证

为了验证 CENTURY 模型在北方森林生态系统碳循环模拟上的适用性, 首先将基本参数输入模型, 将

模型从裸地开始运行 500a, 令其土壤有机质达到稳定(成熟林阶段), 然后比较模型的输出变量(生物量、土壤 C 含量)与实际观测值来验证此模型.

验证结果表明, 运用 CENTURY 模型来模拟的兴安落叶松林生态系统植物体各器官的生物量值均与实际观测值符合得较好, 相对误差均 < 0.11(表 1、图 2a), 其土壤 C 含量的模拟值(5539.7g·m<sup>-2</sup>)也在该生态系统实际观测的土壤 C 含量(5382.4~9419.2g·m<sup>-2</sup>)变化范围内(图 2b). 上述验证结果证明, CENTURY 模型能够准确地模拟兴安落叶松林生态系统的 C 循环过程, 因而可利用该模型来模拟兴安落叶松林的 C 循环以及全球变化的影响.

表 1 CENTURY 模型验证结果  
Table 1 Test result of CENTURY model

项目 Item	粗根 Coarse root	细根 Fine root	细枝 Fine branch	粗枝干 Large wood	叶 Leaf	合计 Total
模拟值 Simulation	2605.88	49.06	490.09	8003.94	97.72	11246.69
观测值 Observation	2605.05	48.15	489.15	7980.30	88.20	11210.85
相对误差 Relative error	0.0003	0.0188	0.0019	0.0030	0.1079	0.0032

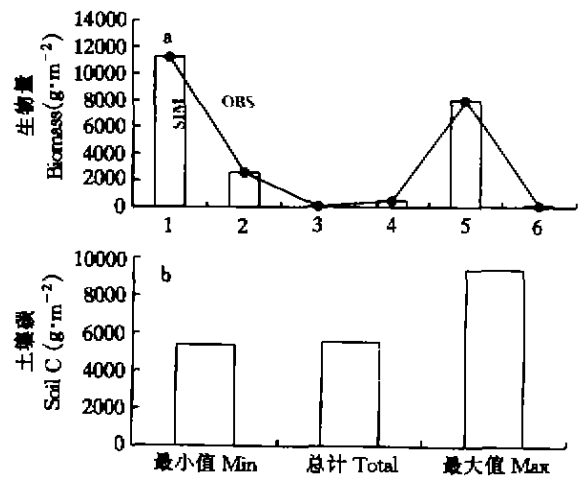


图 2 CENTURY 模型输出变量与实测值比较  
Fig. 2 Comparison of CENTURY model output variable and the observations.

1) 合计 Total, 2) 粗根 Coarse root, 3) 细根 Fine root, 4) 细枝 Fine branch, 5) 粗枝干 Large wood, 6) 叶 Leaves.

3.2 兴安落叶松林 C 源/汇模拟

由于人类活动的影响, 导致大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的迅速增加, 已由工业革命前(1750~1800 年)的 285ppm 增加到了 1991 年的 355ppm. 而且 CO<sub>2</sub> 浓度的增长速度也一直在增加, 年增加率已由 20 世纪 60 年代的 0.8ppm·a<sup>-1</sup> 增加到了 80 年代的 1.5ppm·a<sup>-1</sup> (约合 31.8·10<sup>8</sup>t C·a<sup>-1</sup>). 按照此速率, 到 2050 年, 大气 CO<sub>2</sub>

浓度将达到现在的 2 倍,即 710ppm 左右。 $\text{CO}_2$  排放的剧增将引起全球性的气候变化,并将由此带来一系列问题。这已成为全人类共同关注的一个热点。根据 GCTE 综合的结果,在全球范围内,从大气吸收 C 的速率将很难保持现有水平,陆地生物圈将很可能最终成为一个 C 源。世界各国在致力于减少工业  $\text{CO}_2$  排放的同时,也开始考虑陆地生态系统如何减缓大气  $\text{CO}_2$  浓度的增加。由于森林巨大的 C 储量及其在全球 C 循环中的重要地位,弄清森林是 C 的源或汇对于全球 C 预测具有重要意义。而森林在调节大气  $\text{CO}_2$  浓度中究竟是 C 的源(source)还是汇(sink)? 目前对这一问题的研究尚无定论。

CENTURY 模型模拟结果表明,兴安落叶松林生态系统每年通过植物的光合作用可从大气中吸收 C  $4.03\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$  (其中已减去植物呼吸作用所释放的部分),而每年通过土壤呼吸及凋落物的分解过程可向大气中释放 C  $1.38\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。因此,兴安落叶松林生态系统每年可净吸收 C  $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,是一个重要的 C 汇。

3.3 大气  $\text{CO}_2$  浓度倍增和气候变化对兴安落叶松林的影响

3.3.1 大气  $\text{CO}_2$  浓度倍增对兴安落叶松林 C 源/汇的影响 大气  $\text{CO}_2$  浓度倍增将使兴安落叶松林的生产力增加 9.8%。考虑土壤呼吸和凋落物分解的 C 排放,兴安落叶松林仍是一个 C 汇,且年净吸收 C  $2.69\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,比当前水平( $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )增加了 1.5%。

3.3.2 气候变化对兴安落叶松林生态系统的影响 由图 3 可见,在温度上升  $2^\circ\text{C}$  的情况下,无论降水增加 20% 还是减少 20%,兴安落叶松林的土壤 C 含量均下降,而其植物总生物量和净初级生产力均增加。该生态系统仍是 C 汇,且净吸收 C 能力增加。到 2050 年(50a 后),兴安落叶松林生态系统的各项指标与气候不变情况下相比,当温度上升  $2^\circ\text{C}$  时,降水增加 20% 和降水减少 20% 情况下,兴安落叶松林土壤 C 含量分别降低了 4.4% 和 3.2%,植物总生物量分别增加了 0.6% 和 1.4%,净初级生产力分别增加 8.3% 和 10%,净吸收 C 能力分别增加了 9.5% 和 11.4%。

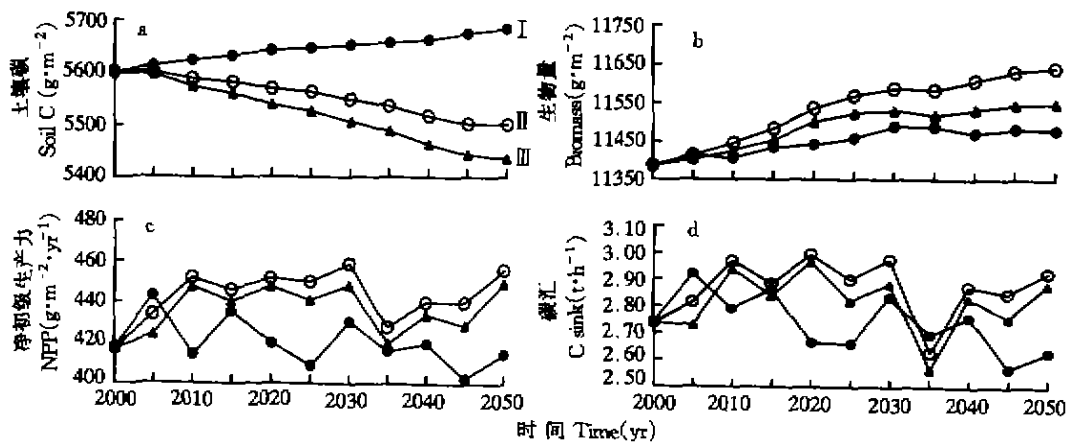


图 3 气候变化对兴安落叶松林的影响

Fig. 3 Impact of climate change on *Larix gmelini* forest.

I: t+2, p-20%; II: t+2, p-20%; III: t+2, p+20%.

## 4 结 论

4.1 模型验证结果表明, CENTURY 模型能够准确地模拟兴安落叶松林的 C 循环。

4.2 兴安落叶松林是一个 C 汇, 每年净吸收 C  $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。全球变化 ( $\text{CO}_2$  浓度倍增, 气温升高) 后, 兴安落叶松林仍是一个 C 汇, 净吸收 C 能力均有所增加。

4.3 温度上升  $2^\circ\text{C}$  后, 无论降水增加 20% 还是减少 20%, 兴安落叶松林的土壤 C 含量均下降。50a 后 (2050 年), 降水增加 20% 和减少 20% 分别使土壤 C 含量比温度、降水不变情况下降低 4.4% 和 3.2%。

4.4 温度上升  $2^\circ\text{C}$  后, 兴安落叶松林的植物总生物量增加。50 年后, 降水增加 20% 和减少 20% 情况下的植物总生物量分别比气候不变情况下的总生物量水平增加 0.6% 和 1.4%。

4.5 温度上升  $2^\circ\text{C}$  后, 兴安落叶松林的净初级生产力增加。50 年后, 降水增加 20% 和减少 20% 情况下的森林净初级生产力分别比气候不变情况下的生产力水平增加 8.3% 和 10%。

4.6 温度上升  $2^\circ\text{C}$  情况下, 降水减少 20% 比降水增加 20% 时兴安落叶松林植物总生物量和生产力增加的幅度大, 说明温度是兴安落叶松林生长的主要限制因子,

而水分对森林生长来说是充足的,甚至是过多的。

### 参考文献

- Dixon RK, Brown S, Houghton RA *et al.* 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, **263**:185~190
- Editorial Committee of "Inner Mongolic Forest"(《内蒙古森林》编辑委员会). 1989 Inner Mongolic Forest. Beijing: Chinese Forestry Press. (in Chinese)
- Feng L(冯林), Yang Y-G(杨玉珺). 1985. The study on biomass of three *Larix gmelinii* virgin forests types. *Sci Silvae Sin*(林业科学), **21**(1):86~92(in Chinese)
- Feng Z-W(冯宗炜) 1999. Biomass and Primary Production of China's Forest Ecosystem. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Holland EA, Parton WJ, Delung JK *et al.* 1992. Physiological response of plant population to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow. *Am Nat*, **140**(4):685~706
- Jiang Y-X(蒋有绪) 1996. Brief of study on the structure and function of global forest ecosystem. In: Jiang Y-X(蒋有绪) ed. Study on the Structural and Functional Law of Chinese Forest Ecosystem- Collected Works on the Major Project of National Natural Scientific Fund. Beijing: Chinese Forestry Press. 3~15(in Chinese)
- Jiang Y-L(蒋延玲), Zhou G-S(周广胜). 1999. Estimation of ecosystem services of major forest in China and its role in forest sustainable development. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **23**(5):426~432 (in Chinese)
- Melillo JM, McGuire AD, Kicklighter DW *et al.* 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, **363**:234~240
- Ojima DS, Parton WJ, Schimel DS *et al.* 1990. Simulated impacts of annual burning on prairie ecosystems. In: Collins SL and Wallace LL eds. Fire in North American Tallgrass Prairies. Norman, Okla And London: University of Oklahoma Press. 175
- Parton WJ, Schimel DS, Ojima DS *et al.* 1994. A general model for soil organic matter dynamics, sensitivity to litter chemistry, texture and management. In: Bryant RB and Arnold RW eds. Quantitative Modeling of Soil Forming Processes. SSSA Spec. Publ. 39. ASA, CSSA and SSA, Madison, Wisconsin, USA. 147~167
- Parton WJ, Scurlock JMO, Kinyamano JI 1993. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochem Cycles*, **7**(4):785~809
- Parton WJ, Stewart JWB, Cole CV. 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*, **5**:109~131
- Running SW, Hunt Jr ER 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models. In: Ehleringer JR and Field C eds. Scaling Process between Leaf and Landscape Levels. San Diego: Academic Press, Inc 141~158
- Sauford RL, Parton WJ, Ojima DS *et al.* 1991. Hurricane effects on soil organic matter dynamics and forest production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico; Results of simulation modelling. *Ecotropica*, **23**(4a):364~372
- Science and Technology Department, Forestry Ministry(林业部科技公司). 1994. Long-term Research on China's Forest Ecosystems. Harbin: Northeast Forestry University Press (in Chinese)
- Xu H-C(徐化成) 1998. Daxinganling Mountains Forests in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Yan X-D(延晓冬), Zhao S-D(赵士洞), Yu Z-L(于振良). 2000. Modeling growth and succession of northeastern China forests and its applications in global change studies. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **24**(1):1~8(in Chinese)
- Yn Z-L(于振良), Zhao S-D(赵士洞). 1997. Simulation of oak forest succession in broad-leaved Korean pine at Changbai Mountain. *J Jilin For Univ*(吉林林学院学报), **13**(1):1~4(in Chinese)
- Zhang X-S(张新时). 1993. The vegetation-climate classification system for study on global change. *Quaternary Studies*(第四纪研究), **2**:157~169(in Chinese)
- Zhang X-S(张新时), Yang D-A(杨奠安), Ni W-G(倪文革). 1993. The vegetation PE (Potential Evaporation) index and vegetation-climate classification (III)-Introduction of several major methods and PEP program. *Acta Phytocol et Geobot Sin*(植物生态学与地植物学报), **17**(2):97~109(in Chinese)
- Zheng B-J(郑百钧) 1989. World Forestry. Beijing: Chinese Forestry Press. 3~22(in Chinese)
- Zhou Y-L(周以良). 1991. Vegetation in Daxinganling Mountain in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)

作者简介 蒋延玲,女,1973年生,博士研究生,主要从事森林生产力生理生态学模型研究,发表文章11篇. E-mail: yljiang@ns. ibcas. ac. cn or yljiangli@chinaren. com